

ブータン王国
経済省 地質・鉱山局
(MoEA, DGM)

ブータン国
鉱業開発計画策定プロジェクト

ファイナルレポート
(第 I 部)

2021 年 1 月

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

住鉱資源開発株式会社
日本工営株式会社

第 I 部（業務実施）

目 次

要約

第 1 章 プロジェクトの概要.....	1
1-1 プロジェクトの背景	1
1-2 プロジェクトの上位目標	1
1-3 プロジェクトの目的	1
1-4 プロジェクトの範囲	2
1-5 業務実施の項目	2
1-6 業務の実施体制と従事者	2
1-7 業務の工程	3
第 2 章 業務の内容	4
2-1 業務の実施方針	4
2-2 業務の概要	5
2-3 業務工程と実施内容	6
第 3 章 情報収集	10
3-1 既存資料	10
3-2 その他	10
第 4 章 鉱物資源開発計画の策定	11
第 5 章 現地視察	13
5-1 鉱徴地踏査	13
5-1-1 REE 鉱徴地	14
5-1-2 グラファイト鉱徴地	17
5-2 鉱山視察	19
5-2-1 RSA Private Limited	22
5-2-2 Bhutan Ferro Alloys Limited (BFAL)	24
5-2-3 Penden Cement Authority Limited (PCAL)	26
第 6 章 能力向上に係る行事	33
6-1 セミナー	33
6-2 技術移転レクチャー	37
6-2-1 リモートセンシングと物理探査	37
6-2-2 地球化学と試錐	39
6-3 SEA レクチャー	42
第 7 章 ステークホルダー会議	44
第 8 章 JCC 会議	47

8-1 第1回 JCC 会議	47
8-2 第2回 JCC 会議	49
8-3 第3回 JCC 会議	51

図 表 一 覧

【図】

図 2-1 プロジェクトの骨子	4
図 2-2 業務実施のフロー	9
図 5-1 鉱徴地調査位置図	13
図 5-2 Maure 鉄鉱山の調査写真	16
図 5-3 Khepchishi hill の調査写真	18
図 5-4 鉱山視察の位置図	19
図 5-5 Gidaphug 大理石鉱山視察の写真	23
図 5-6 Gidaphug Top 大理石鉱山視察の写真	24
図 5-7 Pakchina 珪石鉱山視察の写真	25
図 5-8 BFAL プラント視察の写真	26
図 5-9 Penden 石灰石鉱山視察の写真	28
図 5-10 PCAL プラント視察の写真	29
図 6-1 セミナーの写真	36
図 6-2 リモートセンシングと物理探査の技術移転レクチャーの写真	39
図 6-3 地球化学と試錐の技術移転レクチャーの写真	41
図 6-4 SEA レクチャーの写真	43
図 7-1 ステークホルダー会議の写真	46
図 8-1 第1回 JCC の写真	48
図 8-2 第2回 JCC の写真	50
図 8-3 第3回 JCC の写真	52

【表】

表 1-1 業務従事者一覧	2
表 1-2 業務概略工程	3
表 1-3 業務従事者別の派遣日程	3
表 2-1 業務実施におけるチーム編成	6
表 4-1 鉱物資源開発計画（第II部）の目次	11

第Ⅱ部（鉱業開発計画）

目 次

1. 基礎情報
 - 1.1. 自然社会環境
 - 1.2. 国民総幸福量（GNH）
 - 1.3. 地形
 - 1.4. 植生
 - 1.5. 環境保護区
 - 1.6. インフラストラクチャー
 - 1.7. 地質
 - 1.7.1. 地史
 - 1.7.2. 構造
 - 1.7.3. 地質
2. 鉱物資源
 - 2.1. 金属鉱物資源
 - 2.1.1. ブータン国で期待される鉱床タイプ
 - 2.1.2. ブータン国の金属鉱物資源
 - 2.1.3. ブータン国の周辺国の金属鉱物資源
 - 2.1.4. チベットヒマラヤ地区のレアメタル
 - 2.1.5. ブータン国における過去の調査
 - 2.2. 金属鉱物資源ポテンシャル
 - 2.2.1. 鉛（Pb）
 - 2.2.2. 亜鉛（Zn）
 - 2.2.3. タングステン（W）
 - 2.2.4. 銅（Cu）
 - 2.2.5. 金（Au）
 - 2.2.6. 希土類元素（REE：Rare Earth Elements）
 - 2.3. エネルギー鉱物資源
 - 2.4. 工業原料資源
 - 2.5. 工業原料資源ポテンシャル
 - 2.5.1. ドロマイト
 - 2.5.2. 石灰石
 - 2.5.3. 石膏
 - 2.5.4. 大理石
 - 2.5.5. 珪石
 - 2.5.6. 滑石
 - 2.5.7. グラファイト

3. 鉱工業生産
 - 3.1. 種類と用途
 - 3.2. 生産量
 - 3.3. 鉱業セクターの企業
 - 3.4. 世界の金属価格
 - 3.4.1. 金属価格決定の仕組み
 - 3.4.2. 金属価格の変動要因
 - 3.4.3. 金属価格の推移
4. 鉱業行政
 - 4.1. 鉱業政策
 - 4.2. 鉱業関連法
 - 4.2.1. Mines and Minerals Management Act 1995
 - 4.2.2. Mines and Minerals Management Regulations 2020
 - 4.2.3. ブータン国の政策
 - 4.2.4. Mines and Minerals Bill 2020
 - 4.3. 鉱業に係る予算
 - 4.4. 鉱業セクターの管理体制
 - 4.5. 課題
5. 環境行政
 - 5.1. 環境政策
 - 5.2. 環境関連法
 - 5.3. 鉱業に係る環境社会配慮
 - 5.4. 課題
6. 鉱物資源開発計画
 - 6.1. 鉱物資源開発の工程
 - 6.1.1. 鉱物資源開発の段階
 - 6.1.2. JORC コード
 - 6.1.3. 金属の生成過程
 - 6.2. 対象鉱種（金属鉱物）
 - 6.3. 金属鉱物資源の開発計画
 - 6.3.1. 鉛（Pb）
 - 6.3.2. 亜鉛（Zn）
 - 6.3.3. タングステン（W）
 - 6.3.4. 銅（Cu）
 - 6.3.5. 金（Au）
 - 6.3.6. 希土類元素（REE）
 - 6.3.7. まとめ
 - 6.4. 工業原料資源の開発計画
 - 6.4.1. ドロマイト
 - 6.4.2. 大理石

- 6.4.3. 石膏
- 6.4.4. 石灰石
- 6.4.5. 珪石
- 6.4.6. 滑石
- 6.4.7. グラファイト
- 6.4.8. まとめ
- 6.5. 鉱物資源開発に係る環境調査
 - 6.5.1. 環境ベースライン調査
 - 6.5.2. 環境影響評価
 - 6.5.3. 環境モニタリング
- 6.6. 課題
 - 6.6.1. 一般的な課題
 - 6.6.2. 鉱物資源開発の特性
 - 6.6.3. 投資環境の要因
- 6.7. 結論と提言
- 7. その他の提案
 - 7.1. 保安全管理
 - 7.2. 環境管理

【巻末資料】

- Appendix II-1 参考資料一覧
- Appendix II-2 化学分析結果
- Appendix II-3 Compliance Monitoring Checklist for Mines/Quarries

略 語 表

ADB	Asian Development Bank
AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, JAPAN
ArcGIS	ArcGIS for Desktop Basic (software name)
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
BTN	Bhutan Ngultrum
CDA	Community Development Agreement
CNDP	Comprehensive National Development Plan for Bhutan
CP	Counterpart
CSI	Cottage and Small Industries
CSR	Corporate Social Responsibility
DB	Data Base
DEM	Digital Elevation Model
DGM	Department of Geology and Mines, BHUTAN
DHI	Druk Holding & Investments Ltd.
DHPS	Department of Hydropower & Power Systems, BHUTAN
DMG	Department of Mines and Geology, Nepal
DoFPS	Department of Forest and Park Services, BHUTAN
DoT	Department of Trade, BHUTAN
EBS	Environmental Baseline Study
EIA	Environmental Impact Assessment
EITI	Extractive Industries Transparency Initiative
ESCAP	United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific
FDI	Foreign Direct Investment
EU	European Union
F/S	Feasibility Study
FYP	Five Year Plan
GDEM	Global Digital Elevation Model
GDP	Gross Domestic Product
GIS	Geographic Information System
GNH	Gross National Happiness
GSI	Geological Survey of India
GSJ	Geological Survey of Japan
GVA	Gross Value Added
ICP	Internet Service Providers
IMF	International Monetary Fund
INR	India Rupee
JCC	Joint Coordination Committee, JICA project
JICA	Japan International Cooperation Agency
JMCL	Jigme Mining Corporation Limited
JOGMEC	Japan Oil, Gas and Metals National Corporation
JORC	Joint Ore Reserves Committee
J/V	Joint Venture
KT	Khang Thrust
LCA	Logistics Capacity Assessment

LME	London Metal Exchange
LULC	Land Use Land Cover
Ma	Mega annum
MBT	Main Boundary Thrust
MCT	Main Central Thrust
MFT	Main Frontal Thrust
MHT	Main Himalaya Thrust
NKRA	National Key Results Areas
MoAF	Ministry of Agriculture and Forests, BHUTAN
MoEA	Ministry of Economic Affairs, BHUTAN
MRA	Mining Regulatory Authority
MRDP	Mineral Resources Development Plan
MVT	Mississippi Valley Type
NASC	North American Shale Composite
NBSAP	National Biodiversity Strategies and Action Plan
NCB	National Council of Bhutan
NECS	National Environment Commission Secretariat, BHUTAN
NK	Nippon Koei Co., Ltd.
NKRA	National Key Results Areas
NLCS	National Land Commission Secretariat, BHUTAN
OHS	Occupational, Health and Safety
OJT	On-the-Job Training
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PCAL	Penden Cement Authority
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PGE	Platinum Group Elements
PPP	Public Private Partnership
R/D	Record of Discussions
REE	Rare Earth Element
RGoB	Royal Government of Bhutan
RSMP	Road Sector Master Plan
SAARC	South Asian Association for Regional Co-operation
SEA	Strategic Environmental Assessment
SEDEX	Sedimentary Exhalative
SEG	Society of Economic Geologists
SHM	Stakeholder Meeting
SIM	Subscriber Identity Module
SMCL	State Mining Corporation
SMM	Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SRED	Sumiko Resources Exploration & Development Co., Ltd.
STD	South Tibetan Detachment
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
UN	United Nations
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
US/USA	United States of America

USGS	United States Geological Survey
WB	World Bank
XRD	X-ray diffraction

要 約

I プロジェクト全体

ブータン王国（以下、「ブータン国」と記す）はヒマラヤ山脈の南東山麓に位置し、インド国境南部の標高 100m の低地帯から中国国境北部の標高 7,550m まで、標高差の大きい急峻な地形を有する。1991 年に国連によって地質図と鉱物資源図が作成され、多様な鉱物資源の存在が確認されているが、鉱物資源に関する情報量は非常に少ない。これは、地質・資源の調査が体系的に十分に実施されていないことと、急峻な地形と未発達なアクセスのために資源開発が困難であることに起因する。

ブータン国政府は第 12 次 5 年計画において、17 の「National Key Results Areas (NKRAs)」の 2 点目に経済的多様性と生産能力向上 (Economic Diversity and Productive Capacity) を挙げており、これを達成するために農業、観光、中小企業、鉱業、水力発電の 5 つの分野への投資促進を定めている。しかし、鉱業分野では関連行政機関の能力と経験の不足により、既存の鉱業関連規則は十分な効果を発揮しておらず、石灰石や珪石などの非金属工業原料鉱物を除いて鉱物資源の開発には至っていない。

このような状況の下、ブータン国政府と国際協力機構 (JICA) は 2019 年 3 月に鉱物資源開発に資する技術協力プロジェクトを実施することで合意した。このプロジェクトでは、国内の鉱物資源を有効に開発し、人材育成を強化する目的で最適な開発計画を策定する。

4 名の JICA 専門家がプロジェクト期間中に数回ブータン国に派遣され、ブータン国の経済省の地質鉱山局 (DGM : Department of Geology and Mines) のカウンターパートと共同で業務を実施した。プロジェクトを効率的に実施するために、日本人とブータン人のカウンターパート間で 4 つの調査チームが形成された。

国民総幸福量 (GNH : Gross National Happiness) および経済開発政策 2017 を考慮し、ブータン国の地質および鉱物資源情報と鉱業に関連する世界的かつ一般的な情報に基づき、調査チームは鉱物資源開発計画 (MRDP : Mineral Resources Development Plan) を策定した。この MRDP は、環境保全を考慮してブータン国での鉱物資源の持続可能な開発を目的とする。

調査チームは、地質、鉱床成因、鉱物資源および資源のポテンシャルと経済に基づいて、MRDP の対象鉱種として以下を選定した。

(a) 金属鉱物資源

鉛 (Pb), 亜鉛 (Zn), タングステン (W), 銅 (Cu), 金 (Au), 希土類元素 (REE)

(b) 工業原料資源

ドロマイト, 大理石, 石膏, 石灰石, 珪石, 滑石, グラファイト

鉱物資源の適正な評価と MRDP の策定のためには、既存の地質資料の解析だけでなく、全対象鉱種の代表的な鉱徴地を現地視察で確認することが望ましい。JICA 専門家と DGM は、アクセスと将来的な探査・開発可能性を考慮して、2 つの鉱徴地のみを訪問することとした。調査チームは各鉱徴地で地質観察を行い、化学分析と室内試験用の岩石試料を採取した。

ブータン国は工業原料資源（非金属鉱物資源）に恵まれている。工業原料資源（石灰石、ドロマイト、珪石など）の多くの鉱山は主にブータン南部で稼働している。調査チームは、4つの鉱山会社の採石場と2つのプラントを訪問して、地質、鉱物資源および鉱業活動と環境の現在状況などの情報を取得した。

合同調整委員会（JCC）会議はプロジェクト期間中に3回開催された。3回のうち、最後の会議はCOVID-19の感染拡大によりリモート会議で実施された。能力強化のセミナーはプロジェクト初頭に開催された。技術移転レクチャーは3回開催され、リモートセンシング、物理探査、地化学探査、試錐および戦略的環境アセスメント（SEA）の5つの分野を対象とした。

II 鉱物資源開発計画（MRDP）

II-1 基本情報

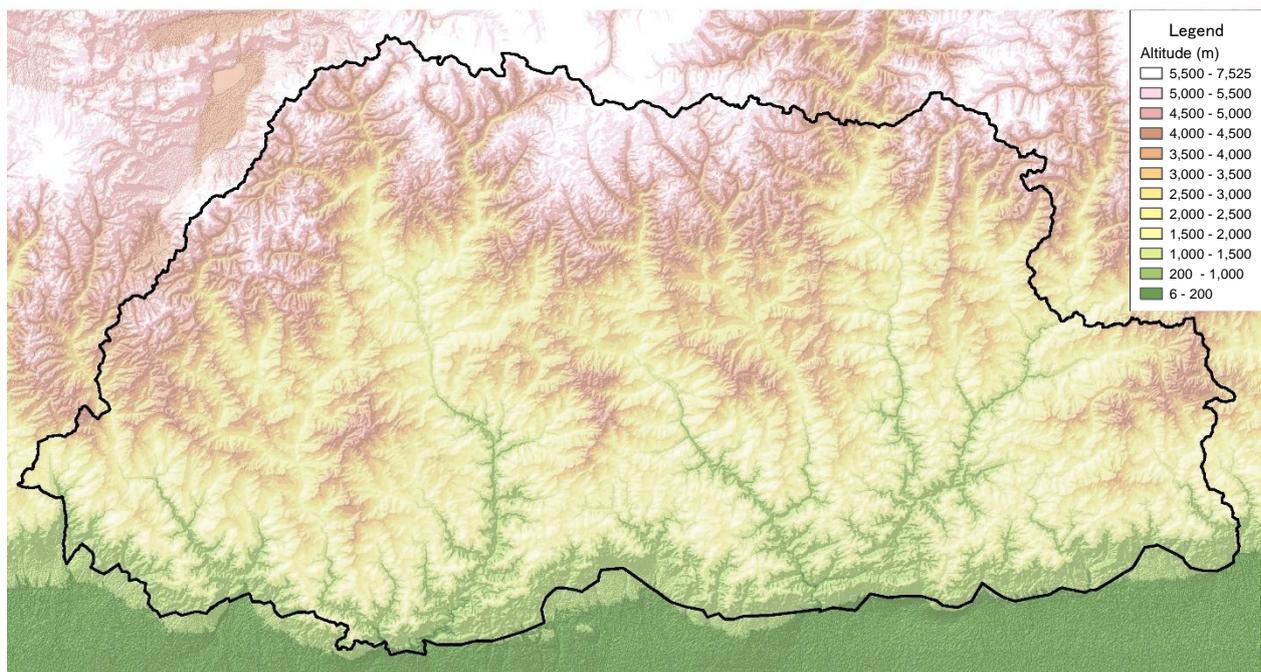
ブータン国はヒマラヤ山脈の南東部に位置する小さな内陸国であり、北側は中国と南側はインドと国境を接する。ブータン国の地勢は3つの標高と地理的ゾーンに区分される、すなわち、北側高地の大ヒマラヤ、丘と谷の内ヒマラヤ、および山裾と平原のサブヒマラヤである。

GNHのコンセプトは、第4代ブータン国王のJigme Singye Wangchuckによって1970年初頭に公布された。GNHは、2008年に制定されたブータン国憲法におけるブータン国政府の目標として制定された。GNHは、人間が幸福を求めたいという信念のもとでの物質的価値と非物質的価値のバランスを有する、全体的で持続可能な開発アプローチである。

ブータン国の経済開発政策は、4本の柱に基づくGNHの包括的な哲学によって引き続き導かれている。しかし、持続可能な経済成長は依然として大きな課題である。経済開発政策2017では、経済戦略として「5つの宝石」を推進することを定めている。5つの宝石：水力発電、中小規模産業、鉱業、観光および農業は、社会経済開発を促進および奨励するための優先セクターであり、社会全体への可能性と影響の観点から中核的な成長分野を構成している。

ブータン国は世界で最も地形が険しい国の1つであり、標高は150mから7,000mを超えている。標高の高い険しい山々や深い谷などの起伏の多い地形は、多くの川とその支流によってよく開析されている。ほとんどの河川は北部の高山を源流として、狭い峡谷や溪谷を南下して流れ、ドゥアール平原に入り、最終的にインドのブラマプトラに流れ込む。

ブータン国の位置と独特の地理的および気候的变化のため、ブータン国は世界で最後に残された生物多様性のホットスポットの1つである。ブータン国の手付かずの環境は、豊かで多様な生態系を提供している。環境の重要性を認識して、その豊かな生物多様性を保全することは、政府の開発パラダイムの1つである。政府は、少なくとも60%の森林被覆面積を常に維持する法律を制定した。現在、ブータン国の総国土面積の70.47%は森林に覆われており、土地面積の51.44%は10の国立公園と保護区、および生物回廊からなる保護地域に分類されている。



本プロジェクトで ASTER GDEM データから作成されたカラー陰影地形図

II-2 地質

これまでに、縮尺 1 : 500,000 のいくつかの全国地質図が公開されている。1983 年に、インド地質調査所 (GSI) はブータン国の最初の地質図を公開したが、この地図では北部の広い山岳地帯は調査されていない。同年に、Gansser は北部山地の未知の領域が埋められた最初の地質図を発表した。1991 年に UN/ESCAP は編集した地質図を公開した。これらの地質図におけるブータン東部と中央部の地質分布は、これまで大きな変更なしに踏襲されてきた。最新の地質図は、2011 年に Long らによって編集された。これは、公開された地質図と新しい地質構造データの編集を組み合わせたものである。

ブータン国を含むヒマラヤ山脈は褶曲と衝上断層地帯であり、衝上断層によって南から北に 4 つのゾーン (サブヒマラヤ、レッサーヒマラヤ、グレイターヒマラヤ、テチスヒマラヤ) に区分される。サブヒマラヤは基本的にヒマラヤ山地の浸食に由来する中新世から鮮新世のモラッセ堆積物からなる。レッサーヒマラヤはカンブリア紀からペルム紀の砂岩、頁岩、グレイワッケ、珪岩、千枚岩、ドロマイト、石炭層などの堆積岩からなる。グレイターヒマラヤは古生代後期からカンブリア紀初期の片麻岩、片岩、大理石、変グレイワッケ、珪岩などの結晶質岩からなる。テチスヒマラヤは、強く褶曲し畳み込まれて弱変成の堆積岩系列によって形成される約 100km 幅の向斜である。

II-3 鉱物資源

(1) 金属鉱物資源

鉱床はさまざまな構造的および地質学的環境で形成される。さまざまな種類の鉱床は特定の構造環境で形成される。ある種の鉱床は特定のひとつの場所で形成されるが、地殻変動力または他の地質学的変遷の結果として、別の地理的場所に転移することがある。したがって、地殻変動過程と広域的地質の研究は、鉱床の分布を理解する上で重要である。

既存の文献によると、ブータン国で期待される金属鉱化作用の種類は豊富ではないだろう。鉱床成因的には、大陸衝突の状況において地殻の変堆積岩から生成された S タイプの花崗岩は、スズ、タングステン、ウランなどを含む熱水性鉱化作用を引き起こすことがよくある。それらはしばしばスカンタイプ鉱床として産する。特に優白質花崗岩を伴うテチスヒマラヤの浅熱水性鉱脈タイプ Sb-Au は、大陸衝突後の構造マグマの進化または期間に関連している。ブータン国の地質は大陸衝突過程の変成作用に関係しているので、別な造山型金鉱床の可能性もあるかもしれない。また、砂金もあるかもしれない。他の予測可能な鉱化作用は、SEDEX と MVT を含む「堆積物内タイプの鉱化作用」であり、これらは火成岩由来の欠如と基底流体の活動との関係の点においていくつかの類似性を共有している。多数の花崗岩の貫入と少数の塩基性岩の貫入は、熱水性鉱床とペグマタイト鉱床の成因となりうる。

ブータン国での過去の金属鉱物調査と詳細探査の結果、タングステン (W)、鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn)、銅 (Cu)、金 (Au)、希土類元素 (REE)、ベリリウム (Be) および鉄 (Fe) などの小規模な鉱床と多数の鉱徴地が発見されている。これらの鉱物資源のうち、低品位の鉄鉱石のみが開発され、1つの鉄鉱山のみが操業している。

(2) 工業原料資源

ブータン国は工業原料資源（非金属鉱物資源）に恵まれている。ブータン国でこれまでに確認されている鉱物資源のうち、石灰石（セメントと化学用品質）、ドロマイト、石膏、珪石（建材と化学用品質）、石炭、大理石および滑石は、国内での消費だけでなく、主にインドやバングラディッシュへの輸出のために採掘されている。これらの工業原料資源の産業は確実に発展しており、GDP への貢献も近年着実に増えている。2017 年には、ドロマイト、石灰石、石膏、大理石、珪石、滑石、建築材料、建設石材（花崗岩）、千枚岩、粘土、石灰粉および砂が生産された。工業原料資源はブータン国の経済に重要な役割を決定的に担っている。

ほとんどの工業原料資源はブータン南部の地形的低地に位置しているため、地形的かつ地理的環境において開発に比較的有利な条件を有する。基本的に、これらの工業原料資源の将来の生産性と成長の傾向は前向きかつ上向きである。ブータン国のこれらの工業原料資源に基づいて、あらゆる規模の産業が設立されており、過度に環境を汚染しない限り、さらに多くの産業が増える可能性がある。

II-4 鉱物資源

MRDP の基本的な考え方は、ブータン国の鉱物資源の現状を正しく認識することにある。対象鉱種は、(1) 6つの金属鉱物資源；Pb, Zn, W, Cu, Au, REE, (2) 7つの工業原料資源；ド

ロマイト，大理石，石膏，石灰石，珪石，滑石，グラファイト，である。

II-4-1 ブータンの鉱業セクター

ブータン国の鉱物資源産業は発展途上にあり，国内で生産された工業原料で構成されている。これらの資源の一部は主にインドとバングラディッシュに輸出されているため，鉱山産業は GDP の成長に見られるようにブータン国の経済に貢献してきている。2018 年の輸出の上位 10 商品はすべて工業原料製品で構成され，75%以上のシェアを持つ。鉱業および採石セクターは，2017 年に GDP に対して 4.86 パーセントのシェアを記録した。

いくつかのブータンの国営企業は鉱物資源を生産し，鉱業をリードしている。数多くの小規模鉱業者も多量の鉱物資源を生産している。Druk Holding & Investments Ltd. (DHI) は，ブータン国政府の商業機関として 2007 年に設立され，現在，製造，エネルギー，天然資源，金融，通信，航空，貿易，不動産の各分野で 21 社を所有している。

II-4-2 政策，法律，規則

ブータン鉱山鉱物法案 2020 (Bill 2020) は，1995 年の鉱山鉱物管理法の改正であり，2020 年に制定された。Bill 2020 は，規制当局，鉱物の調査と探査，鉱業活動の管理，借主の義務と権利，短期採掘と小規模採掘，環境と社会のリスク管理，鉱物財政体制，コミュニティの関与と開発，義務と免除，紛争解決，罰則など規則を規定している。Bill 2020 は，鉱業の将来の発展と成長，および現実的な鉱業の発展に伴って発生する問題に対処することを記している。

独立機関としての鉱業規制当局 (MRA) は，規制機能を個別かつ効果的に実施するために Bill 2020 の規定により設立された。DGM は，鉱業に関連する主要な重要組織であり，重要な役割を果たしている。DGM の主な役割は，政策と推進，割り当て／ライセンス供与，地質インフラストラクチャー，地球科学研究，広域地質マッピング，鉱山オークションなどである。

鉱山の開発は，建設中および操業中の両方で周囲の環境に影響を与える可能性がある。そのため，さまざまな環境影響を考慮して開発を進める必要がある。ブータン国では，法律や政策においても環境保全への配慮が強く求められており，探鉱段階から必要な手続きを行い，地方自治体や住民との共通の合意を形成することが重要である。

II-4-3 金属鉱山

金属は自然界では一般に酸化物や硫化物などの化合物として産しており，最初に元素状態に変換する必要がある。次に，特定の実用的用途で金属を使用できるようにするために，広くさまざまな方法で処理される。金属鉱石から製品を製造するまでに多くの段階が必要であり，多くの種類の施設，エネルギーおよび土地スペースのような，より多くのコストが必要となる。例えば，銅鉱山は一般的に次の手順が必要である。

- (1) 鉱石処理：発破による採掘→破碎→粉碎：鉱石 (0.1～2%Cu)
- (2) 分離：浮選→濃縮→ろ過／乾燥：精鉱 (20～30%Cu)
- (3) 金属抽出：製錬→変換→精製：カソード／ケーキ (99.99%Cu)

このような金属資源の特性や金属鉱山の構造は，工業原料資源とは異なることに注意しなければならない。

金属価格は基本的に需給バランスで決まる。卑金属 (Cu, Pb, Ni, Al など)，貴金属 (Au,

Ag, Pt など), および鋼の価格は, ロンドン金属取引所 (LME) およびシカゴ・マーカンタイル取引所 (CME) のような世界的な金属市場で決定される。電子金属や W や Ta などの高融点金属を含むマイナー金属の価格は, ほぼ独占的に買い手と売り手との間で交渉される。

II-4-4 金蔵鉱物資源の開発

多くの金属鉱物資源は, 主にブータン国の中部から南部のアクセスが悪い地域で確認されている。これらの資源のほとんどが小規模で低品位であるため, これまで開発されたことはない。ブータン国の地質と鉱床成因に基づくと, 世界クラスの大規模な資源は期待できない。しかし, いくつかの種類の金属資源は開発される可能性がある。例えば, 戦略的金属, 世界市場または近隣市場での需要が高い製品, 低コスト (労働力, 電力, 生産性) で競争力のある製品, 少量で高価値の金属/製品。

6 つの鉱種 (Pb, Zn, Cu, W, Au, REE) を, 地質情報, 鉱床成因, 資源評価, および世界と地域の経済状況に基づいて評価した。SWOT 分析を含めた評価結果により, ブータン国での金属資源開発では W と REE がより高い優先度を有すると考えた。

いくつかの金属鉱物資源は, 四半世紀以上前に試錐調査で実際に調査されている。しかし, 地質学および鉱物学的情報は, 信頼性の高い資源量推定には不十分である。一般的な観点からは, 既存の鉱床周辺のさらなる詳細探査と鉱化地域の広域的調査が必要である。

資源開発に関する具体的な提言は, 以下の II-5(2)に記す。

II-4-5 工業原料資源の開発

7 つの鉱種 ; 石灰石と大理石 (CaCO_3), ドロマイト ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), 珪石 (SiO_2), 石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 滑石 ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) およびグラファイト (C) を地質情報, 生産統計および輸出データなどに基づいて評価した。

金属と石油は主に国際取引所を通じて販売されているが, 工業原料と岩石の生産者は, 顧客と関係を築いて契約を獲得するために互いに直接競争する必要がある。効率的な鉱業技術と経済的な輸送システム, そして労働力の安価な利用は, 鉱業界の利益率に大きく貢献する。工業原料資源の市場は, 輸送のリスクとコストのために, インド, バングラディシュ, ネパールなどの近隣諸国に限定されている。ドロマイト, 大理石, 石膏は主にインドとバングラディシュに輸出されており, 石灰石と珪石は主に国内で消費されている。

工業原料資源開発の最大の利点は, 関係が良好なインドとバングラディシュの大規模で近い市場である。インドは巨大な経済市場を持つ新興国の 1 つである。バングラディシュはこの数十年で工業化を通じて経済政策を推進しており, 2024 年に後発開発途上国 (LDC) を卒業する予定である。したがって, ブータン国で生産されたほとんどの工業原料資源は, これまで同様にインドとバングラディシュに継続的に輸出されるであろう。

石灰石, ドロマイト, 珪石などの工業原料資源は, 大量かつ低価格の商品であるため, 「近い市場」が必要となる。これらの産業の競争力と進展を強化するためには, 以下のような輸送コストの削減と付加価値製品の生産が強く推奨される。

(A) 高品位資源の探査 : 高品位資源はより高価であり, 生産と輸送のコスト削減に貢献する。

(B) 付加価値製品の開発 : 付加価値製品は原材料よりも高い価格で取引される。しかし, その生産には, 加工・製造設備のためにより多くのコストが必要である。

資源開発に関する具体的な提言は、以下の II-5(1)に記す。

II-5 提言

工業原料資源、金属鉱物資源および人材能力強化の3分野に対する提言を以下に記す。

(1) 工業原料資源の探査と開発の促進

➤ 新規および高品位鉱床の探査

珪石、石膏、滑石などの新規の大規模な鉱床および高品位の資源を発見するために、広域的または詳細な探査が必要である。

探査対象となる地域は、地質構造や地層の連続性などの地質情報および既存の鉱山の位置から簡単に特定できる。すなわち、いくつかの地域は既存鉱山に近く、いくつかは鉱山と同じ地質的背景を有する。

基本的に地質調査を実施して、物理探査は資源の種類によって実施される。試錐調査はこれらの後に実行される。

➤ 付加価値製品の開発

ブータン国の鉱業製品はほとんどが未処理の岩石片や粉末のような原材料である。下記例のような付加価値製品がさらなる発展のために必要である。

- ✓ ドロマイト：マグネシウム塩
- ✓ 石膏：高品質製品、石膏ボード
- ✓ 石灰石：生石灰、消石灰、カルシウムカーバイド
- ✓ 珪石：高品位シリコン製品（SiO₂ 95%以上）
- ✓ 滑石：高品位製品（低不純物）

➤ 既存鉱山の管理と開発について鉱山所有者との協議

課題、障害、要望、期待などについて確認する。

➤ 新規鉱山の開発について既存鉱山所有者および新規開発者との協議

例えば、ティンプー近郊の大理石資源を対象とする。

(2) 金属鉱物資源の探査

➤ タングステンやREEのような戦略的金属鉱物資源の詳細探査

ブータン南部に賦存するタングステン鉱床は、1970年代から1980年代に試錐による探査と資源量計算が行われている。これらの地質および化学分析データを再解析すること、およびより詳細な探査が必要である。既存情報によると、タングステンの有望地域はブータン南部中央に限られている。

REE 鉱徴地はインドとの南側国境に近い鉄鉱山で確認されている。REE に対する地質と鉱床成因の情報が十分ではないため、地質、地化学、地球物理の広域的かつ基礎的な探査が試錐調査の前に必要である。

➤ 金属鉱物資源の基礎的調査

本来、金属鉱山開発を促進するためには、国土を網羅する地球科学データ（詳細地質図、地球化学データ、地球物理データ）が不可欠である。ブータン国では、地質図作成は進められているが、体系的な地球化学調査はこれまでに実施されていない。空中物理探査は起伏に富む地形と高標高のため実施は困難と考えられる。

鉱化作用を受けた岩石を新たに発見するためには、地質踏査だけではなく、河川堆積物による地化学調査が効果的である。

(3) 鉱業セクターの人材育成強化

➤ 金属鉱物資源探査

ブータン国では工業原料資源は開発されているが、金属鉱物資源は鉄を除き未開発である。一方で、金属鉱物資源の探査は1970年代から1990年代に主にインド地質調査所が実施しているが、近年はほとんど行われていない。上述のように金属鉱物資源探査が推奨されることから、DGMは資源探査に対する人材を育成することが求められる。例えば、DGMが外国の探査／鉱山会社および関連研究所と共同して地質、地化学および地球物理調査を実施できれば、実践的な探査経験が欠如していることから、OJTとして技術やノウハウを習得するために単に非常に有益である。

➤ 労働衛生安全環境（HSE）管理

ブータン国では数多くの工業原料資源の鉱山が稼働しており、鉱山と工場のHSE管理は関連組織により統制されている。しかし、金属鉱山の操業は工業原料資源の鉱山とは異なる。例えば、坑道採掘のような採掘方法、地形的環境、環境影響など。金属鉱山の開発を仮定した場合、金属鉱山のHSE管理における人材育成の強化が将来的に行われなければならない。

➤ 鉱山開発と管理

環境保護、鉱山開発および法的取り決めなどは将来の鉱山開発者にわかりやすい方法で提示される必要がある。

(4) 鉱山開発に係る環境影響評価及び環境保全措置の適正化

➤ 既存鉱山における環境保全措置の徹底

ブータンでは他の国と比較しても自然保護、特に国立公園の保護規制が厳しく、鉱物資源開発や既存鉱山運用については、環境保全の観点から厳しい環境保全措置を迫られている。持続可能な鉱山開発のため、規制当局・鉱山開発関係者は既存鉱山における環境保全措置を徹底しなければならない。

➤ 国立公園など自然保護区での鉱物探査への環境社会配慮の適正化

保護区内における迅速な鉱物資源ポテンシャルの把握が求められており、コアゾーン以外の保護区内において、自然生態系に影響を与えないレベルの小規模な地質探査については、EIA手続きの簡素化などの例外措置を関係機関と協議することが奨励される。なおその場合

でも環境保全措置の実施は必須である。

上記のような人材育成・研修教育は、世界の各所で準備されており、JICAにおいても短期研修コースが用意されており、ブータンからも参加実績がある。世界の多様な研修コースを有効に使う教育することを薦める。また、ブータン国として英国、インドなどへの留学者を出しているが、引き続きこのように世界的視野と知識、技術を持つ人材育成を継続していくべきである。

II-6 その他の提案

II-6-1 保安管理

操業中の鉱山における安全管理については、すでに必要な対策が講じられている。しかし、鉱山労働者のための安全教育プログラムの継続的な実施は不十分であると考えられる。また、鉱山／プラント周辺に住む地域住民の健康管理も重要な課題のひとつである。

日本では、鉱山保安法およびその他の規制に基づいて、国と民間企業が協力して鉱山労働者の健康と安全を確保している。すなわち、これらの法令は、鉱山およびそれらの周辺地域のそれぞれの鉱山労働者の安全と健康を保証し、環境と鉱物資源の保全を規定している。

ブータン国でも、官民協力して、鉱山／プラントの労働者とその周辺住民の安全と健康を確保・維持するように、操業と保安対策を管理していくことが求められる。

II-6-2 環境管理

(1) 持続可能な開発

鉱業活動は、持続可能な開発、特にその経済的側面にも貢献することが可能である。鉱業活動は国に財政収入をもたらす、経済成長を促進し、雇用を創出し、インフラの構築に貢献することができる。したがって、鉱業は持続可能な開発目標（SDGs）にプラスとマイナスの両方の側面を有し、17のSDGsのうち11に特に強い影響を及ぼす（UNDP, 2018）。

世界的に鉱業セクターの持続可能な開発は近年大きな問題となっている。特にブータン国では、ブータン王国憲法と国民総幸福量政策に基づき、天然資源と環境保全が非常に重要である。天然資源の厳格な保護によって、高度な採鉱が容易にできないことは、特に外国投資による鉱業開発につながる可能性がある。鉱物資源のポテンシャルに応じて、限られた地域では環境保護と鉱業の共存が受け入れられる可能性がある。

環境保護地域において資源調査を行うことで有望な鉱物資源が特定された場合、政府はさらなる採鉱を許可し、進展させるかどうかを決定する必要がある。この決定は微妙で難しいかもしれない。将来の混乱を避けるために、環境保護地域における鉱物資源の探査と開発のための特定の規則を確立する必要がある。

日本の国立公園内の開発規制などを事例とし、コアゾーン以外の保護区内における国立公園の自然生態系に影響を与えないレベルの小規模な地質探査は、EIA手続きの簡素化など、例外的な措置を求めていくことも必要である。ただし、これらの例外措置を要請する場合は、現状復旧として環境回復措置を行い、必要なモニタリング等を実施することは必須である。今後 DGM は

環境関連機関とこの例外措置について、協議をすることが奨励される。

また、どのような調査手法がどのような地域で認められるのか、どの過程でどのような手続きが必要なのか、などについて、調査・開発者が理解しやすいように具体的に関連法令で記述されなければならない。例えば、調査手法としては、地質調査、地化学調査、物理探査およびボーリング調査がある。岩石採取については、地表の転石や露頭、トレンチ／ピット、ボーリングなどがある。

(2) 鉱山閉山の手順（採掘現場の修復と再生）

採掘現場の修復と再生は、鉱山開発による影響に対する非常に重要な手順である。NECS は環境保護の責任機関として、これらの手順に非常に関心を持っている。NECS によると、ブータンは現在、完全に閉鎖された鉱山の経験がほとんどない（現在の状況では、一部の鉱山は部分的に閉鎖されている）。ブータン国での今後の鉱山閉鎖の取り組みの参考として、日本で JOGMEC が実施している鉱山閉鎖活動に関する取り組みを本文中で紹介した（詳細は第 2 部 7.2(2)参照）。

現在、ブータンで JOGMEC の役割を果たす機関として DGM が提案される。DGM は採掘後の修復および跡地の埋め立てを確実にするために、鉱山会社から環境修復基金を徴収する、というシステムがすでに構築されている。今後、国内で社会的かつ環境的に責任のある鉱業を確保するために、人材育成や技術開発など必要な活動がさらに行われることが望まれる。

第1章 プロジェクトの概要

1-1 プロジェクトの背景

ブータン王国（以下、「ブータン国」と記す）はヒマラヤ山脈の南東山麓に位置し、インド国境南部の標高 100m の低地帯から中国国境北部の標高 7,550m まで、標高差の大きい急峻な地形を有する。1991 年に国連によって地質図と鉱物資源図が作成され、多様な鉱物資源の存在が確認されているが、鉱物資源に関する情報量は非常に少ない。これは、急峻な地形と未発達なアクセスのために、地質・資源の調査が不十分であることと、開発が困難であることに起因する。

ブータン国政府は 2019 年現時点で策定中の第 12 次 5 か年計画（ガイドラインは公表済み）において、17 の「National Key Results Areas (NKRAs)」の 2 点目に経済的多様性と生産能力向上（Economic Diversity and Productive Capacity）を挙げており、これを達成するために農業、観光、中小企業、鉱業、水力発電の 5 つの分野への投資促進を定めている。しかし、鉱業分野では関連行政機関の能力と経験の不足により、既存の鉱業関連規則は十分な効果を発揮しておらず、石灰石や珪石などの非金属工業原料鉱物を除いて鉱物資源の開発には至っていない。

このような状況の下、ブータン国政府は国内の社会経済発展のため、資源開発を適切に計画し、実施していくための支援を日本政府に要請した。同要請に基づき、国際協力機構（JICA）は 2016 年 9 月と 2017 年 9 月に詳細計画策定調査を実施し、ブータン国政府と協議の上、ブータン国内の資源を有効に開発に役立てるための開発計画の作成およびそれを通じた能力向上を行うことを確認した。これを踏まえ、2019 年 3 月に開発調査型技術協力として協議議事録（Record of Discussions, 以下 R/D）の署名を行った。

1-2 プロジェクトの上位目標

プロジェクトの上位目標は「ブータン国の鉱物資源開発が効果的・効率的に行われる」である。

1-3 プロジェクトの目的

本業務は、ブータン国における鉱物資源にかかる開発計画が作成されるとともに、開発計画検討にかかる政府機関の能力向上を図ることを目的に実施される。

ブータン国における鉱物資源のポテンシャルを把握し、同国の行政能力、法制度、地理的条件や世界的資源価格動向を踏まえ、「将来的に自国資源を効率的かつ効果的に活用するための開発計画の策定」および「それを通じた技術協力」を行うことを主目的とする。

1-4 プロジェクトの範囲

(1) 対象地域

ブータン国全土

(2) 関係官庁・機関

経済省 地質鉱業局 (Department of Geology and Mines (DGM), Ministry of Economic Affairs)

DGM は地質調査局 (Geological Survey Division (GSD)), 地震・物理探査局 (Earthquake and Geophysics Division (EGD)), 鉱物開発局 (Mining Division (MD)), 鉱山局 (Mineral Development Division (MDD)) の4つの局からなる。

1-5 業務実施の項目

- (1) 業務実施計画の作成
- (2) 情報収集
- (3) 鉱物資源開発計画の対象鉱種の選定
- (4) 工業原料資源の評価
- (5) 対象鉱種の資源ポテンシャルの分析
- (6) 鉱物資源開発計画の作成
- (7) 環境社会配慮 (SEA) の実施
- (8) 能力向上と技術移転
- (9) 成果品等の作成

1-6 業務の実施体制と従事者

住鉱資源開発株式会社 (以下, SRED) と日本工営株式会社 (以下, NK) は, SRED を代表者とする共同企業体を形成して, 本プロジェクトを実施する。

業務従事者は以下の4名で構成される。

表 1-1 業務従事者一覧

担 当	氏 名	所 属
総括／鉱業開発・経済分析	小沼 工 (ONUMA Takumi)	SRED
鉱山環境・環境社会配慮	石川 弘真 (ISHIKAWA Hiromasa)	SRED
地質調査	町田 怜史 (MACHIDA Satoshi)	SRED
環境社会配慮	榎木 淳子 (MASAKI Junko)	NK

1-7 業務の工程

業務の概略工程を表 1-2 に、業務従事者別の現地業務への派遣日程を表 1-3 に示す。

表 1-2 業務概略工程

国内作業	現地調査	時 期	業務概要
事前		2019年9月～10月	情報収集，調査計画策定
	第1次	2019年10月下旬～11月初旬	情報収集，業務方針の確認
第1次		2019年11月	情報整理，対象鉱種の検討
	第2次前半	2019年12月上中旬	情報分析，セミナー実施
	第2次後半	2020年1月下旬～2月中旬	SEA分析，鉱物資源開発計画の検討
第2次		2020年1月～3月	鉱物資源開発計画案の策定
	第3次 (最終)	COVID-19感染拡大により中止 (2020年4月に計画)	(計画された業務は第3次国内 作業にてリモート会議で実施)
第3次		2020年5月～2021年2月	鉱物資源開発計画の協議(リモ ート会議) 鉱物資源開発計画の作成

表 1-3 業務従事者別の派遣日程

現地調査	期間	小沼	石川	町田	柁木
第1次	2019年10月20日 ～11月2日	10月20日～ 11月2日	10月20日～ 11月2日	10月20日～ 11月2日	—
第2次 前半	2019年11月30日 ～12月14日	11月30日～ 12月7日	11月30日～ 12月14日	—	11月30日～ 12月14日
第2次 後半	2020年1月25日 ～2月13日	1月25日～ 2月7日	2月3日～ 2月11日	1月25日～ 2月13日	2月1日～ 2月13日
第3次	中止(2020年4月 13～25日に計画)	中止	—	中止	中止

第2章 業務の内容

2-1 業務の実施方針

ブータン国は国民総幸福量（GNH：Gross National Happiness）という概念を提唱していることで世界から注目され、GNHの4本柱は、①持続可能で公平な社会経済開発、②環境保護、③文化の推進、④良き統治、からなる。この一つ目の経済開発を推進するために、5つの宝石（Five Jewels）【水力発電、農業、観光、中小企業および鉱業】を強化する方針となっている。

このようなブータン国の方針に従って、本プロジェクトでは『環境保護に基づく』『持続可能な発展を目指す』鉱業開発計画を策定することとする。本プロジェクトの骨子（目的・成果・活動・方針の関係）を図2-1に示す。

鉱物資源の分析においては、未開発の金属鉱物（金、銅、タングステンなど）と開発が行われている非金属工業原料資源（石灰石、珪石など）とを個別に分析する。

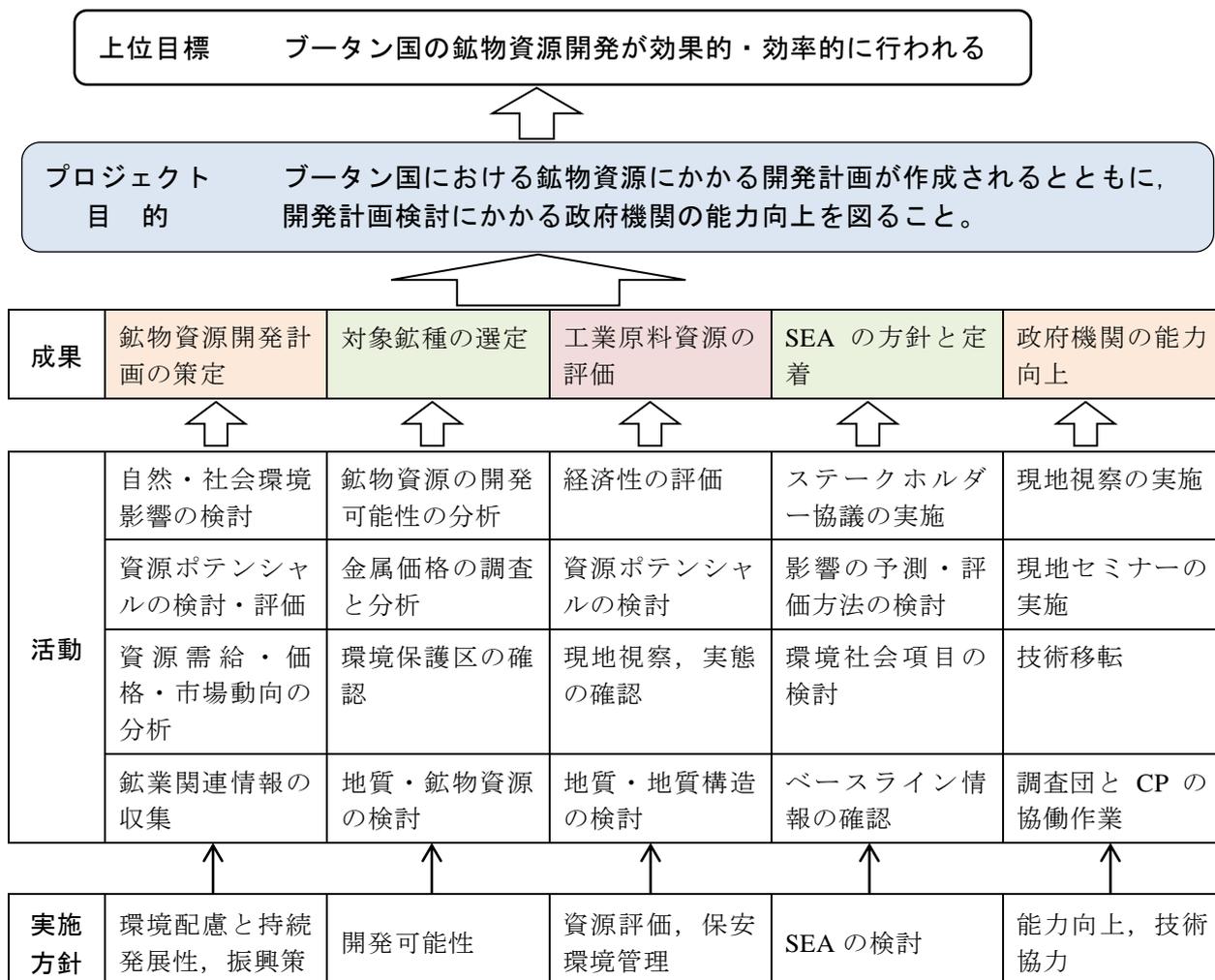


図 2-1 プロジェクトの骨子

2-2 業務の概要

以下の業務について CP と協議しながら実施し、鉱物資源開発計画（第Ⅱ部）を策定した。共同での業務実施に際しては、4つの分野ごとに JICA 調査団 4名とブータン国政府関係者とのチームを編成した（表 2-1）。

(1) 業務実施計画の作成

業務（下記(2)～(8)）の実施方針・方法および調査日程をとりまとめた。

(2) 情報収集

ブータン国の関係政府機関・企業および世界の関連 WEB サイトから、ブータン国の基礎情報、地質・鉱物資源、鉱業・鉱山、法令・制度・方針、関連組織の関わりについての情報・資料・データ等を収集し、整理した。

(3) 鉱物資源開発計画の対象鉱種の選定

収集した地質および鉱物資源全体の情報を整理し、ブータン国政府側の希望および開発可能性を踏まえて CP と協議して、鉱物資源開発計画の対象鉱種として、鉛・亜鉛、タングステン、銅、金、希土類元素（REE）を選定した。

(4) 工業原料資源の評価

既存情報に基づいて、ブータン国における工業原料（非金属鉱物）資源の開発を重視して、金属鉱物資源と個別に工業原料資源（石灰石、ドロマイト、珪石、石膏、グラファイト）の評価と開発についてとりまとめた。

(5) 対象鉱種の資源ポテンシャルの分析

収集情報（地質、地質構造、鉱床タイプ、鉱化作用、鉱徴、変質、化学分析結果など）に基づいて、対象鉱種毎の資源ポテンシャルを分析する。ポテンシャル分析に資するために、CP と協議の上、鉛・亜鉛、REE とグラファイトの鉱徴地を踏査し、岩石を採取して室内試験を実施した。

(6) 鉱物資源開発計画の作成

本プロジェクトで作成した鉱物資源開発計画（第Ⅱ部）では具体的開発プロジェクトの提案は行っていないが、長期的視点に立ち、鉱業分野における課題を抽出し分析し、選定した対象鉱種ごとに将来的開発可能性、開発に関わる課題、条件および見通しを提示した。

(7) 環境社会配慮（SEA）の実施

ブータン国の SEA ガイドラインを踏まえた上で、鉱業開発における環境対策に関連する各種課題および環境社会配慮上の留意点を抽出して、鉱業活動の適正管理と環境負荷低減に資する SEA 方針をとりまとめた。環境社会配慮に係るステークホルダー協議を実施した。

(8) 能力向上と技術移転

ブータン国の関連機関の能力向上を目的として、セミナーおよび技術移転レクチャーを実施した。セミナーでは、DGM の技術者と JICA 調査団の双方が鉱業分野の関連情報について発表を行った。技術移転レクチャーでは、JICA 調査団員が地質リモートセンシング、地化学探査、物理探査、ボーリングなどの基礎的な資源探査の方法を技術移転した。

(9) 成果品等の作成

本業務の成果品は本ファイナルレポートである。業務期間中の定められた時期に、インセプ

ションレポートとドラフトファイナルレポートを作成した。

表 2-1 業務実施におけるチーム編成

チーム	JICA 調査団	DGM
MRDP integration	All experts	Mr. Tashi Tenzin, Mr. Karma Chopel, Mr. Ugyen Dorji
Mining development	Mr. Onuma	Mr. Karma Chopel, Mr. Nima Yoezar
Mining environment	Mr. Ishikawa	Mr. Tashi Phuntsho, Mr. Binesh Pradhan
Geology	Mr. Machida	Mr. Tashi Tenzin, Mr. Yonten Jamtsho
SEA	Ms. Masaki	Mr. Ugyen Dorji, Mrs. Sonam Choden

2-3 業務工程と実施内容

業務工程（表 1-2）に従った業務の実施内容は以下のとおりである。業務のフローを図 2-2 に示す。

(1) 事前国内作業の概要：2019年9月～10月

- ・既存の関連資料・情報，データを整理，分析，検討した。
- ・調査の実施方針・内容・方法及びスケジュールを検討した。
- ・現地で収集する必要がある資料・情報，データをリストアップした。
- ・上記の結果をとりまとめてインセプションレポートを作成した。

(2) 第1次現地業務の概要：2019年10月20日～11月2日

- ・インセプションレポートを説明し，内容を協議した。
- ・JCC 会議を開催して，本業務の全体計画を説明，内容を協議して，合意した
- ・業務分野/JICA 調査団員の担当業務別に，JICA 調査団員とブータン側 CP からなる 4 つのチームを編成した。
- ・ブータン国の各種基本情報，地質および鉱物資源に係る資料等，鉱業政策，他ドナー活動に係る情報を収集し，更新した。
- ・鉱業関係機関，鉱業・環境関連の法制度，開発に関わる手続きについて現状を確認し，整理した。
- ・鉱物資源開発計画における開発の対象とする金属鉱物資源鉱種（5～6 種類）について協議を行った。
- ・第2次現地業務の工程および内容を協議して確認した。
- ・第2次現地業務で実施するセミナーの内容と発表者を協議した。会場を下見した。
- ・第2次現地業務で計画している鉱山視察および鉱徴地調査の日程および内容を協議した。
- ・第1回 JCC 会議を実施した。

(3) 第1次国内作業の概要：2019年11月～12月

- ・収集情報を確認し、ブータン国内の（対象鉱種に限らない）地下資源情報を整理した。
- ・同国の鉱業分野の課題を抽出した。
- ・対象鉱種となり得る鉱種について世界の鉱物価格情報や統計データを収集した。
- ・環境社会配慮面での課題を整理した。
- ・第2次現地業務の計画と準備を行った。
- ・CPと連絡を取りながらセミナーの内容を検討し、会場を決定した。
- ・技術移転レクチャーの発表資料を作成した。
- ・鉱山視察の計画と準備を行った。

(4) 第2次現地業務前半の概要：2019年11月30日～12月14日

第2次現地業務は2回に分け、前半は2019年12月、後半は2020年1月から2月に実施した。

- ・能力向上を目的とするセミナーを実施した。
- ・技術移転レクチャーを実施した。
- ・担当分野ごとに収集した情報を分析した。
- ・対象鉱種を確定し、鉱物資源開発計画の作成方針、内容等について協議した。
- ・工業原料資源のポテンシャルや経済性を検討した。
- ・鉱山（採掘現場、プラント工場）周辺の視察を行い、採掘や環境対策にかかる現状および課題を把握した。同時に、現地関係者へのヒアリングと意見交換を行った。
- ・環境社会配慮（SEA）の実施手法を確認した。
- ・第2次現地業務後半で計画している鉱徴地調査の日程および内容を協議した。

(5) 第2次現地業務後半の概要：2020年1月25日～2月13日

- ・担当分野ごとに収集した情報を分析した。
- ・REEとグラファイトの鉱徴地での地質巡検を行い、室内試験用の岩石試料を採取した。
- ・対象鉱種の資源ポテンシャルを分析した。
- ・工業原料資源のポテンシャルや経済性を検討した。
- ・SEAに関するレクチャーを実施した。
- ・SEA方針にかかる関係者との意見交換（環境社会配慮面からの政策等の妥当性分析含む）を行った。
- ・ステークホルダー会議の実施を準備した。ステークホルダー協議実施にかかる関係者との調整を行った。
- ・第2回JCC会議を実施した。

(6) 第2次国内作業の概要：2020年1月～3月

- ・対象鉱種ごとに国内鉱徴地を踏まえたポテンシャル分析、経済分析、環境社会配慮との関係性を整理した。
- ・SEA方針を作成した。
- ・対象鉱種ごとに開発計画案を作成した。

- ・ 鉱物資源開発計画のドラフト英語版を 3 月下旬に DGM に提供した（ステークホルダー会議参加者への事前配布を目的としていたが、新型コロナウイルス COVID-19 の影響で第 3 次現地業務が延期となったため、事前配布は行わなかった）。

(7) 第 3 次（最終）現地業務の概要：中止（2020 年 4 月 13 日～25 日に計画）

- ・ COVID-19 の感染拡大のために派遣が中止となった。
- ・ 計画されていた技術移転レクチャー，ステークホルダー会議および JCC 会議は第 3 次国内作業においてリモート会議にて実施された。

(8) 第 3 次国内作業の工程と概要：2020 年 5 月～2021 年 2 月

- ・ 第 3 次現地業務で計画されていた作業の実施について，リモート会議にて CP と協議した。
- ・ 鉱物資源開発計画および環境社会配慮にかかるステークホルダー会議をリモート会議で実施した。
- ・ 技術移転レクチャーをリモート会議で実施した。
- ・ 第 3 回 JCC 会議をリモート会議で実施した。
- ・ 上記のリモート会議に対しては，会議の発表資料や鉱物資源開発計画のドラフト版を事前に CP に提供した。
- ・ 調査結果をとりまとめてドラフトファイナルレポートを作成した。
- ・ 関係者との協議を通じて鉱物資源開発計画を確定した。
- ・ 全調査結果をとりまとめて鉱物資源開発計画を含むファイナルレポートを作成し，JICA へ提出した。

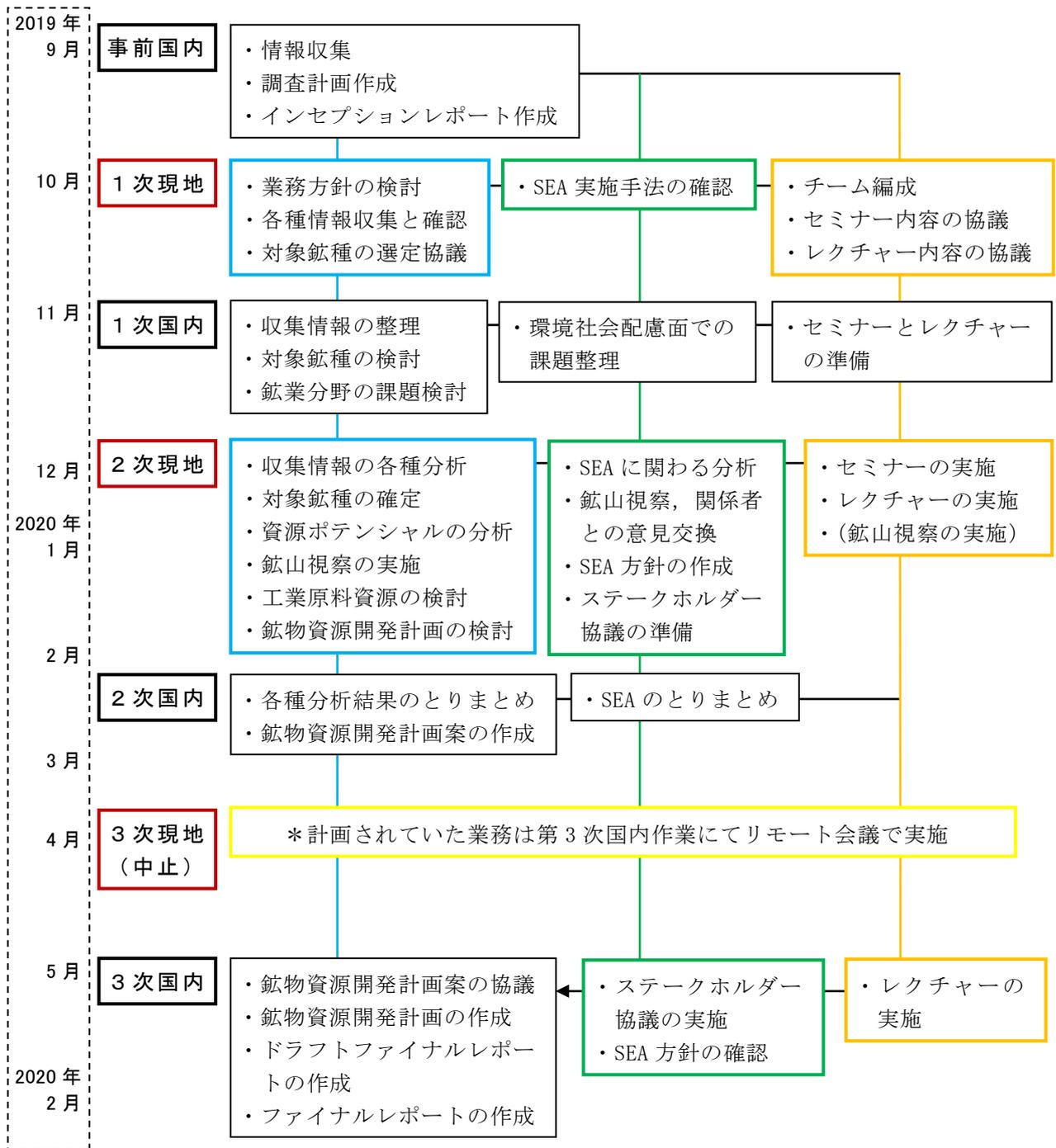


図 2-2 業務実施のフロー

第3章 情報収集

3-1 既存資料

収集した資料は下記のような 7 分野に区分して、リストを作成した。収集資料リストは巻末の Appendix II-1 とした。

- 【A】 ブータン国の政策，法律
- 【B】 ブータン国の鉱業関連
- 【C】 ブータン国の環境関連
- 【D】 ブータン国の地質，鉱物資源など
- 【E】 関連する地質，鉱物資源など
- 【F】 関連する環境など
- 【G】 その他

3-2 その他

Web サイト上の情報を参考にした場合は，報告書内および巻末 Appendix II-1 で適宜サイト名や Web アドレスを表示した。

第4章 鉱物資源開発計画の策定

前章で記した収集資料等および現地業務において取得した情報等に基づき、ブータン国の鉱物資源開発計画（MRDP：Mineral Resources Development Plan）を策定した。鉱物資源開発計画は第Ⅱ部として独立させて作成した。鉱物資源開発計画の目次のみ表 4-1 に示す。

表 4-1 鉱物資源開発計画（第Ⅱ部）の目次

<ul style="list-style-type: none"> 1. 基礎情報 <ul style="list-style-type: none"> 1.1. 自然社会環境 1.2. 国民総幸福量（GNH） 1.3. 地形 1.4. 植生 1.5. 環境保護区 1.6. インフラストラクチャー 1.7. 地質 <ul style="list-style-type: none"> 1.7.1. 地史 1.7.2. 構造 1.7.3. 地質 2. 鉱物資源 <ul style="list-style-type: none"> 2.1. 金属鉱物資源 <ul style="list-style-type: none"> 2.1.1. ブータン国で期待される鉱床タイプ 2.1.2. ブータン国の金属鉱物資源 2.1.3. ブータン国の周辺国の金属鉱物資源 2.1.4. チベットヒマラヤ地区のレアメタル 2.1.5. ブータン国における過去の調査 2.2. 金属鉱物資源ポテンシャル <ul style="list-style-type: none"> 2.2.1. 鉛（Pb） 2.2.2. 亜鉛（Zn） 2.2.3. タングステン（W） 2.2.4. 銅（Cu） 2.2.5. 金（Au） 2.2.6. 希土類元素（REE） 2.3. エネルギー鉱物資源 2.4. 工業原料資源 2.5. 工業原料資源ポテンシャル <ul style="list-style-type: none"> 2.5.1. ドロマイト 2.5.2. 石灰石 2.5.3. 石膏 2.5.4. 大理石 2.5.5. 珪石 2.5.6. 滑石 2.5.7. グラファイト 	<ul style="list-style-type: none"> 3. 鉱工業生産 <ul style="list-style-type: none"> 3.1. 種類と用途 3.2. 生産量 3.3. 鉱業セクターの企業 3.4. 世界の金属価格 <ul style="list-style-type: none"> 3.4.1. 金属価格決定の仕組み 3.4.2. 金属価格の変動要因 3.4.3. 金属価格の推移 4. 鉱業行政 <ul style="list-style-type: none"> 4.1. 鉱業政策 4.2. 鉱業関連法 <ul style="list-style-type: none"> 4.2.1. Mines and Minerals Management Act 1995 4.2.2. Mines and Minerals Management Regulations 2002 4.2.3. ブータン国の政策 4.2.4. Mines and Minerals Bill 2020 4.3. 鉱業に係る予算 4.4. 鉱業セクターの管理体制 4.5. 課題 5. 環境行政 <ul style="list-style-type: none"> 5.1. 環境政策 5.2. 環境関連法 5.3. 鉱業に係る環境社会配慮 5.4. 課題 6. 鉱物資源開発計画 <ul style="list-style-type: none"> 6.1. 鉱物資源開発の工程 <ul style="list-style-type: none"> 6.1.1. 鉱山開発の段階 6.1.2. JORC コード 6.1.3. 金属の生成過程 6.2. 対象鉱種（金属鉱物） 6.3. 金属鉱物資源の開発計画 6.4. 工業原料資源の開発計画 6.5. 鉱物資源開発に係る環境調査 <ul style="list-style-type: none"> 6.5.1. 環境ベースライン調査
--	---

	<ul style="list-style-type: none">6.5.2. 環境影響評価6.5.3. 環境モニタリング6.6. 課題<ul style="list-style-type: none">6.6.1. 一般的な課題6.6.2. 鉱物資源開発の特性6.6.3. 投資環境の要因6.7. 結論と提言7. その他の提案<ul style="list-style-type: none">7.1. 保安管理7.2. 環境管理
--	--

第5章 現地視察

5-1 鉱徴地踏査

金属鉱物資源を対象とした鉱物資源開発計画（本報告書の第 II 部）は基本的に既存情報に基づいて策定されている。この開発計画に含まれる対象鉱種の金属鉱物資源を適正に評価するためには、本来は現地視察による全対象鉱種の代表的な資源賦存状況や周辺地質を確認することが望ましい。しかし、業務期間等の制約などがあることから、将来的な資源探査の可能性や既知鉱徴地へのアクセスについて CP と協議した上で、2 種類の鉱徴地を選択して以下に示す 2 箇所の現地調査を実施した（図 5-1）。

(1) 調査場所

- ① Maure 鉄鉱山：REE 鉱徴地，Dagana Dzongkhag
- ② Khepchishi hill：グラファイト鉱徴地，Haa Dzongkhag



図 5-1 鉱徴地調査位置図

(2) 調査日程

① Maure 鉄鉱山

2020 年 1 月 28 日（火）：Thimphu～Gedu～Lhamoi Dzingkha 移動（約 200km）

2020 年 1 月 29 日（水）：Maure 鉄鉱山訪問，REE 鉱徴地調査

2020 年 1 月 30 日（木）：Lhamoi Dzingkha～Gedu～Thimphu 移動

宿泊地：Lhamoi Dzingkha

② Khepchishi hill

2020年1月31日（金）：Thimphu～Chele La Pass 移動，Khepchishi hill graphite 鉍徴地調査
ティンプーから日帰り

(3) 参加者

① Maure 鉄鉍山 REE 鉍徴地

(a) JICA 調査団

小沼 工：住鉍資源開発株式会社 資源環境調査部
町田 怜史：同上

(b) Department of Geology and Mines (DGM)

Tashi Tenzin: Executive engineer, Geological survey division
Binesh Pradhan, Executive mining engineer, Mineral development division
Norbu Tamang: Mine inspector, Mining division

(c) Mining companies

Dilip Mukhia: Owner of Maure iron mine
M.K.Pradhan: Consulting mining engineer of Maure iron mine

② Khepchishi hill グラファイト鉍徴地

(a) JICA 調査団

小沼 工：住鉍資源開発株式会社 資源環境調査部
町田 怜史：同上

(b) Department of Geology and Mines (DGM)

Tashi Tenzin: Executive engineer, Geological survey division
T.P. Thapa: Former geologist of DGM

5-1-1 REE 鉍徴地

(1) 概要

REE 鉍徴地である Maure 鉄鉍山は、ブータン南部にある Dagana 県の Lhamoi Dzingkha の東方、インドとの国境近くに位置している。ティンプーと Lhamoi Dzingkha との直線距離は約 90km であるが、車での走行距離は約 200km となる。車での所要時間は、ティンプーから国道 1 号を南下し、Gedu を経由して Lhamoi Dzingkha まで約 6 時間である。Maure 鉄鉍山は Lhamoi Dzingkha の東方約 3km に位置するが、間に南北に流れる Sankosh 川があり、車両が通れる橋がないため、車で同鉍山に直接到達することができない。ただし、Sankosh 川には人が往来するための長さ 220m の吊り橋があり、Lhamoi Dzingkha から車でこの右岸に到達した後は、吊り橋を徒歩で渡り、対岸で Maure 鉍山側が用意した車両に乗り換えて鉍山に至った。Lhamoi Dzingkha から車両で同鉍山に到達するためには、一度インドに出て 30km ほど南下して、東に向けて Sankosh 川（インドでは Gadadhar 川）を渡り、北上してブータンに戻ってくる必要がある。

Maure 鉍山で採取される鉄鉍石は、セメント原料として出荷されている。ただし、定常的に採掘しているのではなく、セメント会社から依頼があった時だけ操業している。

Maure 鉄鉍山の 9km 上流では水力発電所を建設中で、今後インフラ事情が改善される見込み

である。

1992~1993 年の GSI によるチャンネルサンプリングを含む調査で、Maure 地域の鉄鉱石中に燐灰石と REE の濃集を示す分析値が報告されている。

(2) 地質

黒色鉄鉱石は頁岩、炭質千枚岩中に独立した東西に細長い 3 つの岩体からなる。厚さ 25m 以上の顕著に鉱化した鉄鉱石の上下は衝上断層に挟まれる。黒色鉄鉱石には厚さ最大 20m ほどの燐灰石（リン酸塩鉱物）帯がみられる。燐灰石帯は水平方向に 820m 以上連続する。

鉄鉱石は低品位で、Fe 成分 25~46%を示し、中新世シワリク層の砂岩中に胚胎する。鉄鉱石中には燐灰石帯がみられ、 P_2O_5 品位 0.43~23.9%，総 REE 量 2,677.5~10,289.5ppm を示す。

(3) 観察内容

Maure 鉄鉱山は赤鉄鉱、磁鉄鉱からなる鉄鉱石の露天掘りを行っている。

層状および塊状で赤褐色～黒色の鉄鉱石は中新世の雲母砂岩に挟まれ胚胎する。その境界は衝上断層によって区切られる。鉄鉱石は砂岩に似た葉理構造を持ち堆積作用によって形成された可能性が高い。

鉄鉱石中にレンズ状～薄層状に白色のリン酸塩鉱物、炭酸塩鉱物集合体が見られる。今回の調査範囲では最大 20cm 程の層が見られた。

鉱山の北東 700m では、赤褐色～黒色の鉄鉱石を確認できたが、リン酸塩鉱物は確認できなかった。下部にはシルト岩を礫状に含んでいた。

現地踏査の写真を図 5-2 に示す。

(4) 岩石試料採取

REE の含有量を確認するための化学分析および構成鉱物を把握するための X 線回折試験用に岩石 10 試料を採取した。

鉄鉱石中にレンズ状～薄層状に白色のリン酸塩鉱物、炭酸塩鉱物集合体から 6 試料、塊状で黒色の鉄鉱石から 4 試料を採取した。

化学分析および X 線回折試験結果は第 II 部の 2.2.6.節に示した。

(5) 写真



左：Maure 鉄鉱山オープンピット（西側から東方を望む）

右：同上（南側から北方を望む）

ピット大きさは東西約 200m，南北約 140m，深さ約 30m。

赤褐色～黒色部分が鉄鉱石で，この上位に灰色の雲母砂岩と淡褐色の河川堆積物がみられる。



左：鉄鉱石

右：鉄鉱石中にレンズ状に胚胎する白色リン酸塩鉱物，炭酸塩鉱物集合体（黄色円内）



左：鉱山の東北東延長部に相当する鉄鉱石の露頭と転石（鉱山に至る道路脇）

右：Sankosh 川にかかる吊り橋（長さ 220m）

図 5-2 Maure 鉄鉱山の調査写真

5-1-2 グラファイト鉱徴地

(1) 概要

グラファイト鉱徴地である Khepchishi hill はティンプーの西南西約 30km, Paro から Haa に通じる峠道 (Bondey-Haa Highway) の最高地点 Chele la 峠の南側に位置する。Chele la 峠は Paro 県と Haa 県の境界に位置し、標高は 3,988m, ブータン国内で最も高い所にある車道とされている。Bondey から Chele la 峠までは、車で通常 1 時間ほどで到達できる。Khepchishi hill は Chele la 峠の南側に位置し、徒歩で 30 分ほどである。

Paro 県と Haa 県の境界をなす北北西-南南東に伸びる山地の頂部, Chele la 峠周辺にはグラファイトの鉱徴が確認されている。インド地質調査所 (GSI) は 1983 年までに地質調査と探鉱試験を実施し、詳細な地質図を作成した。試験を実施した際に造成した道路が現在も残っている。Khepchishi hill グラファイト鉱徴地では、グラファイト (C) の品位 10~22%, 53.74Mt のグラファイト鉱量が推定されている。GSI は選鉱試験も実施しており、グラファイト 90%以上の濃集に成功している (Austroplan, 1989)。

(2) 地質

既存文献によると、グラファイトは Paro 層に属する珪岩、石灰質珪岩、ドロマイトに挟在するグラファイト片岩中に産する。グラファイト片岩層は 3 層からなり、それぞれ 5~10m の厚さで走向方向に 250m 連続する。南東部では 3 層が 1 層に合わさり、30m 以上の幅で走向方向に 1,500m 連続する。

グラファイトの大部分は非結晶質であるが、フレーク状のグラファイトも産する。

(3) 観察内容

グラファイト片岩は層状を呈し、グラファイト、石英、白雲母を含む。下位側のグラファイト片岩は上位のものよりも粗粒であり、黒色で金属光沢が強い。

グラファイト片岩の上位には珪質片岩を確認した。珪質片岩はおもに石英で構成され、少量の層状の黒雲母を伴う。南西側の尾根ではグラファイト片岩が風化し、土壌を形成している。

現地踏査の写真を図 5-3 に示す。

(4) 岩石試料採取

グラファイト (炭素) の含有量を確認するための化学分析およびグラファイトの結晶度を判定するための X 線回折試験用に岩石 5 試料を採取した。

化学分析および X 線回折試験結果は第 II 部の 2.5.7.節に示した。

(5) 写真



左：Chele la 峠から南方に向かい最初のグラファイト片岩の露頭（写真奥が Khepchishi hill）
右：Khepchishi hill 側から北方の Chele la 峠を望む



左：珪質片岩露頭
右：グラファイト片岩露頭



左右：露頭観察風景

図 5-3 Khepchishi hill の調査写真

5-2 鉱山視察

ブータンでは非鉄金属鉱物資源は未開発であるが、非金属工業原料資源（石灰石、ドロマイト、珪石など）の鉱山は国南部を主体として多く稼働している。鉱物資源開発計画（本報告書の第 II 部）ではこれらの工業原料資源についても解析しているため、地質・資源賦存状況だけではなく、鉱山の安全・環境についても情報を得るために現地視察を計画して実施した。

第 1 次現地調査においては、ティンプーに近く日帰りでの視察が可能な大理石－石灰石鉱山を訪問した。第 2 次現地調査においては、ブータンで最も工業原料資源が豊富な地域である、南西部のブンツォリン周辺にある鉱山とその採石場を訪問した。視察地の位置を図 5-4 に示す。

ブンツォリン周辺の鉱山視察に際しては、採掘や環境対策に係る現状および課題を把握すること目的として、稼働鉱山（採掘現場、加工工場）とその周辺の視察、並びに現地関係者へのヒアリングや意見交換を行った。訪問に先立って、JICA 調査団員は C/P 担当者と協同で質問票（Questionnaire）を作成し、訪問時の情報収集の効率化を図った。

(1) 訪問場所

- ① RSA Private Limited (RSA)
- ② Bhutan Ferro Alloys Limited (BFAL)
- ③ Penden Cement Authority Limited (PCAL)



図 5-4 鉱山視察の位置図

(2) 日程

- ① RSA Private Limited および Nortak Mines and Minerals Private Limited
2019 年 10 月 25 日（金）
・ 09:30～10:30：移動（Thimphu～Gidaphug）

- ・ 10:30～12:00 : RSA Gidaphug Marble Mine 事務所訪問, 概要説明受け
- ・ 12:00～12:40 : Limestone, Marble 採石現場訪問, 現場視察
- ・ 13:30～14:00 : Gidaphug Top Marble Mine の石灰石採石予定地訪問, 現場視察
- ・ 15:00～16:00 : 移動 (Gidaphug～Thimphu)

② Bhutan Ferro Alloys Limited (BFAL) および Penden Cement Authority Limited (PCAL)

2019年12月8日(日)

- ・ 09:00～13:30 : 移動 (Thimphu～Pakchina)
- ・ 13:30～15:30 : Pakchina Quartzite Mine 訪問
- ・ 15:30～17:30 : 移動 (Pakchina～Phuentsholing)
- ・ Phuentsholing 宿泊

2019年12月9日(月)

- ・ 09:00～10:00 : 移動 (Phuentsholing～Pasakha)
- ・ 10:00～12:00 : Bhutan Ferro Alloys Plant 訪問
- ・ 12:00～18:30 : 移動 (Pasakha～Phuentsholing～Gomtu)
- ・ Gomtu 宿泊

2019年12月10日(火)

- ・ 09:30～10:00 : 移動 (Gomtu～Pugli)
- ・ 10:00～12:00 : Penden Limestone Mine 訪問
- ・ 12:00～12:30 : 移動 (Pugli～Gomtu)
- ・ 14:00～16:00 : Penden Cement Plant 訪問
- ・ 16:00～18:00 : 移動 (Gomtu～Phuentsholing)
- ・ Phuentsholing 宿泊

2019年12月11日(水)

- ・ 10:30～16:00 : 移動 (Phuentsholing～Thimphu)

(3) 参加者

① RSA private limited および Nortak Mines and Minerals Private Limited

(a) 独立行政法人 国際協力機構 (JICA)

飯島大輔 : 産業開発・公共政策部 資源・エネルギーグループ 第二チーム課長
吉澤由美子 : ブータン事務所 Project Formulation Adviser

(b) JICA 調査団

小沼工 (総括) : SRED 資源環境調査部 技師長
石川弘真 : SRED 資源環境調査部 陸上資源グループリーダー
町田怜史 : SRED 資源環境調査部 陸上資源グループ

(c) Department of Geology and Mines (DGM)

Tashi Phuntsho: Officiating Chief Engineer, Mining Division
Tashi Tenzin: Executive Engineer, Geological Survey Division
Sangay Dendup: Mining Engineer, Mining Division
Mina Tshering: Regional Coordinator, Khasadrapchu Region

Sonam: Mines Inspector, Khasadrapchu Region

Tshering: Mines Inspector, Khasadrapchu Region

(d) Mining companies

Sunil Rasailey: General Manager, RSA Private Limited

Chimi Rinzin: Mines Manager, Gdaphug Marble Mine, RSA Private Limited

Sangay: Mines Manager, Gidaphug Top Marble Mine, Nortak Mines and Minerals Private Limited

② Bhutan Ferro Alloys Limited (BFAL)

(a) JICA 調査団

石川弘真 : SRED 資源環境調査部 陸上資源グループリーダー

榎木淳子 : NK 環境技術部

(b) Department of Geology and Mines (DGM)

Binesh Pradhan: Executive Mining Engineer, Mineral Development Division, DGM

Ugyen Dorji: Chief Chemist, Chemical Laboratory Section, Geological Survey Division, DGM

Tshering Dorji A.: Offtg. Corrdinator, Phuentsholing Regional Office of DGM

Pema Mangyal: Mines Inspector, Phuentsholing Regional Office of DGM

(BFAL は DGM の Phuentsholing Regional Office の監督下にあり, 同事務所からも参加)

(c) Pakchina Quartzite Mine (Bhutan Ferro Alloys Limited)

Phuntsho Namgyal: Senior Mines Manager, BFAL

Sangay Tsheringi: Mines Manager, BFAL

Mon Bhadus Rai: Mines Supervisor, BFAL

(d) Bhutan Ferro Alloys Plant (Bhutan Ferro Alloys Limited)

Tshering Penjor: General Manager of Plant, BFAL

Lotar: General Manager of Production, BFAL

Kencho Pelche: Administration Plant Manager, BFAL

③ Penden Cement Authority Limited (PCAL)

(a) JICA 調査団

石川弘真 : SRED 資源環境調査部 陸上資源グループリーダー

榎木淳子 : NK 環境技術部

(b) Department of Geology and Mines (DGM)

Binesh Pradhan: Executive Mining Engineer, Mineral Development Division, DGM

Ugyen Dorji: Chief Chemist, Chemical Laboratory Section, Geological Survey Division, DGM

Changay: Regional Coordinator, Gomtu Regional Office of DGM

Lelie Chodup: Mines Inspector, Gomtu Regional Office of DGM

(PCAL は DGM の Gomtu Regional Office の監督下にあり, 同事務所からも参加)

(c) Penden Limestone Mine (Penden Cement Authority Limited)

Purna Bduadur Rai: Head of Mines and Supply Division, PCAL

Karma Wangchuk: Mining Engineer, PCAL

Tshering: Senior Mines Foreman, PCAL

(d) Penden Cement Plant (Penden Cement Authority Limited)

Sonam Tamang: Head Manager, PCAL

Durga Bda. Adhikan: Chemist, PCAL

Tenzin Wangchuk: Junior Chemist, PCAL

5-2-1 RSA Private Limited

(1) 全体概況

- ・ 訪問した2つの鉱山はティンプーの南西約11kmに位置する。Gidaphug Marble Mineへは車で約40分かかり、ここからGidaphug Top Marble Mineへはさらに山道を登り約1時間かかる。
- ・ Gidaphug Top Marble Mineは標高3,300mの山頂に位置し、ブータン国内でも屈指の高さにあるLimestoneの鉱山である。現在、採掘開始に向けて準備している。
- ・ Gidaphug Marble MineはLimestone、MarbleおよびQuartziteを露天掘りで採石している。
- ・ 両鉱山周辺の地質はLessar Himalaya帯のParo層に属しており、下位よりSchist、Limestone、Quartzite、Limestone、Quartziteとなる。Paro層中には3層のLimestone層が知られており、Limestoneの一部は再結晶して粗粒なMarbleとなっている。

(2) Gidaphug Marble Mine

i) 概要

- ・ 同鉱山は1988年に設立された。所有企業はRSA Private Limitedである。
- ・ RSAの従業員数は110名である。RSA本社はティンプー市内にある。
- ・ 2018年の年間生産量は90,000tであった。
- ・ 3~4年前に実施した試錐探鉱では1.8Mtのlimestone鉱量が確認されている。試錐機は探鉱後に売却して、現在は所有していない。

ii) 地質と採掘

- ・ 採掘しているLimestoneは2つの地層であり、この中にMarbleのブロックが含まれる。
- ・ Marbleのブロックは割れ目が多いため、石材に適しておらず、粉砕して製品化している。
- ・ Limestoneは純度の高い(92~93%CaCO₃)白色部分と不純物の多い(60~70%CaCO₃)灰色部がある。
- ・ 傾斜のあるLimestone層を走向に沿って露天掘りしている。ベンチの数は14段。

iii) 粉砕処理

- ・ Limestoneは山元のプラントでロータリミルとボールミルにより粉砕される。
- ・ ミルによって200~800メッシュ程度まで粉砕され、細かさを基準としたいくつかの段階のパウダー製品が製造される。一般に細かいほど価格が高くなる。
- ・ 製品のグレードは、CaCO₃の含有量、明度(brightness)、色調(color)によって決まる。

iv) 用途、輸出

- ・ Limestoneの用途は、白色で粗粒のもの(granule)はニワトリや魚の餌に混ぜるため、細粒のもの(powder)はプラスチックや紙の副材料として、より細粒なものは医療用として利用される。CaCO₃含有量が低い灰色部分はセメントの材料となる。
- ・ これらの製品はバングラディッシュへ輸出されている。
- ・ 輸出運搬経路は、プンツォリンのインド国境でインドのトラックに積み替えて、インドを

縦断して（インド内の移動距離は約 100km）、バングラディッシュへ運ばれている。

- バングラディッシュへの輸出によって米ドルを獲得することができ、鉱山設備等の輸入のための資金源としている。外貨として米ドルを獲得できることが大きな利点でもある。インドとの輸出入はルピーで精算される。
- 白色の Limestone は 92~93%CaCO₃ で高純度だが、ベトナム、マレーシア等近隣の競合国に比べるとやや劣る。しかし、バングラディッシュとブータン間の貿易協定により、Limestone が免税の品目であることがアドバンテージとなっている。
- 鉱業関連では、dolomite, gypsum, plaster (anhydrite), limestone (marble), calcium carbide, contraction rocks の 6 品目がこの免税品目に該当する。

(3) 写真



左：Gidaphug Marble Mine 事務所での会社側説明風景（中央の青服が Sunil 氏）

右：石灰岩を粉砕した製品サンプル（左が 250 メッシュ、右が 800 メッシュ）



左：Gidaphug Marble Mine 採掘現場（中央上部から右下にかけて Limestone 層が分布）

右：Gidaphug Marble Mine 採掘現場から粉砕処理プラントを見下ろす

図 5-5 Gidaphug 大理石鉱山視察の写真



左：Gidaphug Top Marble Mine 採掘予定現場（表層の土壌と風化岩を除去している）

右：Gidaphug Top Marble Mine（標高 3,300m）からティンブー市方面を望む

図 5-6 Gidaphug Top 大理石鉱山視察の写真

5-2-2 Bhutan Ferro Alloys Limited (BFAL)

Bhutan Ferro Alloys Limited (BFAL) は、ブータン国、日本の丸紅株式会社、そしてブータン国最大の民間企業である Tashi 財閥により 1990 年に設立された共同企業体である。本社はブータン南部の都市プンツォリンにある。1994 年に溶鉱炉を導入して以来、自社鉱山（Pakchina Quartzite Mine）の Quartzite を原料としたフェロアレイの生産を翌 1995 年より行っている。主な生産物はフェロシリコンと副産物のマイクロシリカである。マーケットの需給動向により、フェロシリコンマグネシウムやフェロシリコンアルミニウムの生産を行うこともある。このうち、最大の生産物であるフェロシリコンの生産量は、年間 30,000 トンにもなる。今回、同社の鉱山である Pakchina Quartzite Mine 及びその加工工場である Bhutan Ferro Alloys Plant を訪問した。

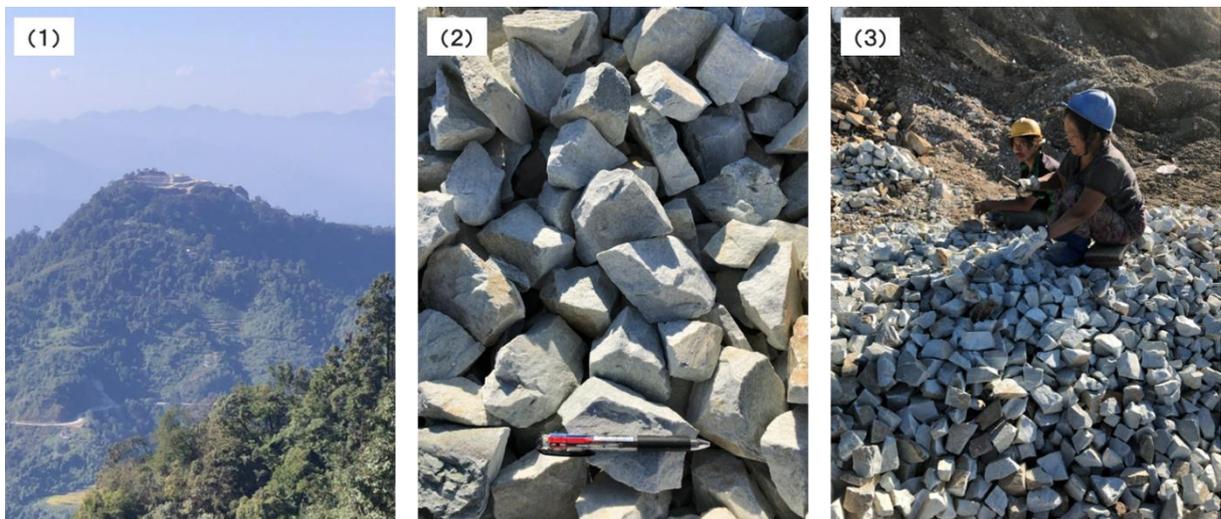
(1) 鉱山：Pakchina Quartzite Mine

本鉱山は広域的には Lesser Himalaya 帯に位置する。採掘地の地質は Buxa 層群に属する Shumar 層又は Manas 層であり、同地層中にある Quartzite を採掘対象としている。SiO₂ の品位は非常に高く、平均で 97.5～98%程度である。表層には植生があるものの、採掘に伴う Overburden はほとんど発生していない。これは、採掘対象としている山が表面からほとんど Pure な Quartzite であることが理由である（図 5-7、写真 1）。本鉱山は BFAL 社の自社鉱山（Captive mine）であり、採石後は低地にある自社の工場のみトラック輸送している。

採掘方法はベンチカット方式である。本来は非常に硬質の Quartzite であるが、割れ目が多いため、通常はパワーショベルのみで採掘している。パワーショベルで採掘できないほどの塊状の Quartzite のときのみ、爆薬（Explosive）を使用しているが、それほど頻度は高くない。パワーショベルは全部で 3 台である。従来 KOMATSU 製の 2 台で稼働していたが、今年に入って HYUNDAI 製を 1 台導入している。採掘は複数のベンチで同時に行っており、常時 100 名程度の労働者が採掘及び砕石に従事している。労働者の多くは現地雇用であり、これは CSR の一環である（採石場の近くに宗教的場所があることも影響しているようである）。

採掘後は、鉍石を現地でハンマーにより砕き、サイズを小さく均一（概ね拳大）にしている（図 5-7、写真 2）。これは、処理工場での Waste 量を最小限にするための取り組みである。現地での砕石は現地雇用の労働者により行われている。ヘルメットや防塵マスク、革手袋は着用していたが、ゴーグルの着用がみられなかった（図 5-7、写真 3）。硬質の Quartzite は割ると細かな破片が生じやすいため、ゴーグルの着用は重要であると思われるが、ここでは着用していないし支給もされていないようである。また、採掘に伴い粉塵が発生すると思われる。現地労働者の衛生面、さらには採掘場所から数百メートル程度近くにある民家への影響が懸念されるが、粉塵抑制のための水の使用などは施されていないようである。

本鉍山の近くに位置するプンツォリンには DGM のスタッフが 10 名程度常駐する Regional office があり、そこから最低でも週に 1 回は査察に来て現状把握を行っている。ただし具体的な査察項目があるわけではなく、状況を大雑把に把握しているのみのようである。なお、Environmental Management Plan (EMP) は現地事務所に常備されていたが、本鉍山はブータン国の EIA 法整備前に開発されたため、EIA 手続きは行っていない。



左：南東から見た Pakchina Quartzite Mine（表層部から品位の高い Quartzite を採掘している）
 中：採石後に現地で小さく均一化された鉍石（概ね拳大）
 右：現地で砕石する労働者（ハンマーにより一つ一つ砕いている）

図 5-7 Pakchina 珪石鉍山視察の写真

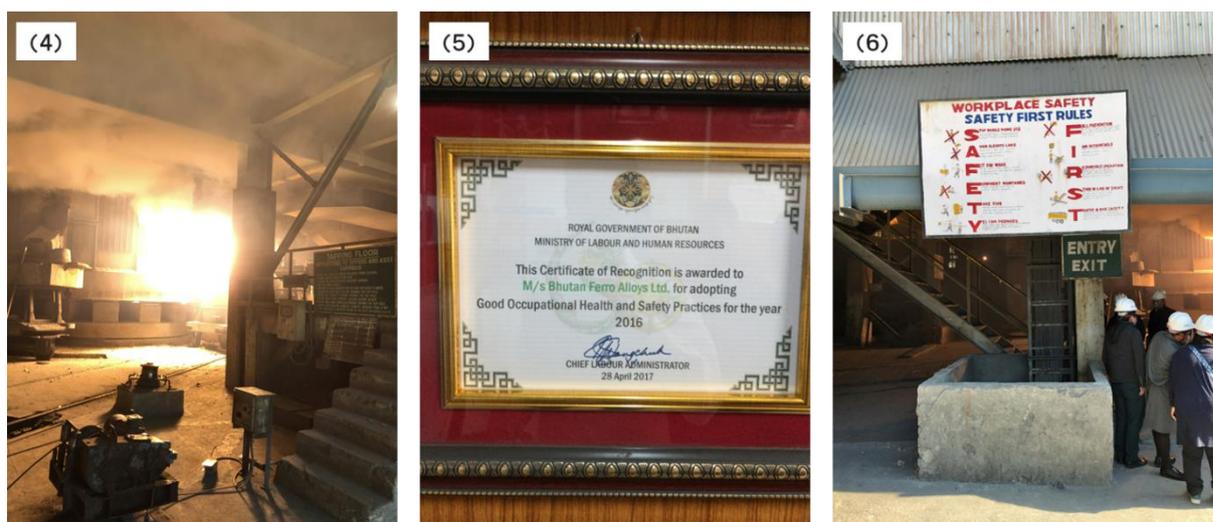
(2) プラント：Bhutan Ferro Alloys Plant

本工場はフェロシリコンの生産工場である（ISO 9001-2000 を取得済）。主な原材料は Pakchina Quartzite Mine 産の Quartzite であるが、これにサムツェ県の Tintaley 鉍山産の Quartzite を加えている（Pakchina：Tintaley = 4：1）。両者の品質に大きな違いはない。従来、インドから輸入した Quartzite も使用していたが、供給不安の経緯もあり、現在は国内の Quartzite のみで生産を行っている。これらの Quartzite に、副原料として Coke や Coal/Charcoal（いずれも還元剤）、Limestone（スラグ除去用）、Mill scale（鉄分源）を使用し、2つの溶鉍炉（load 20MW 及び 14MW）によってフェロシリコンを生産（日産 56 トン及び日産 40 トン）している（図 5-8、写

真 4)。溶融炉の火力源として、国内の竹破片と、中国から輸入したコークスを用いている。コークスは元々インドから輸入していたが、インド炭鉱の閉鎖により中国からの輸入に切り替えたようである。生産物であるフェロシリコンは、主に隣接するインドに輸出されているほか、過去には日本に輸出されたこともある。

環境面では、同社所在地のパサカに regional office を持つ DOI (Department of Industry) の環境部門 (Environmental Unit) や NECS (環境省) が定期的に査察を行っていることもあり、環境意識は高いようである。粉塵のモニタリングも定期的になされている。

安全衛生面では、2016年に OSH (Occupational Health and Safety) 部門で国から表彰されている (図 5-8, 写真 5)。敷地内には至る所に安全行動を啓蒙する看板や標識が設置されている (図 5-8, 写真 6)。工場は1日24時間常時稼働しており、3勤交代制により常時50名以上の従業員が作業をしているため、工場敷地内には医療担当者が常駐しているほか、応急処置のできる場所も設置されている。このほか、従業員は毎年2回の健康診断を受けているなど、少なくとも形式的な安全衛生活動はなされているようである。しかし、場所によってはサンダルで作業する従業員がみられたり、通路に大きな穴が開いていたりするなど、実態としての安全には問題があるように思われる。



左：フェロシリコンを生産する溶鉱炉 (load 20MW 及び 14MW)
中：国による OSH (Occupational Health and Safety) 部門での表彰 (2016 年)
右：工場内の至る所に見られる安全掲示板

図 5-8 BFAL プラント視察の写真

5-2-3 Penden Cement Authority Limited (PCAL)

Penden Cement Authority Limited (以下、PCAL) は、1974年に設立された Joint Sector Company であり、Druk Holding & Investments Ltd. (DHI) が株式の 40.33% を保有する。本社はブータン南部の町ゴムトゥウにあり、プンツォリン、ゲレフ、サムドゥブ・ジョンカルに出先機関を置いている。1977年に日産 300 トンの工場を導入して以来、1981年よりゴムトゥウにおいてセメントの商

業生産を開始している。2002 年には生産能力を日産 1,000 トンに、そして 2004 年には日産 1,650 トンにまで増強している。今回、同社の鉱山である Penden Limestone Mine 及びその加工工場である Penden Cement Plant を訪問した。

(1) 鉱山：Penden Limestone Mine

本鉱山は広域的には Lesser Himalaya 帯に位置する。採掘地の地質は Buxa 層群に属する Manas 層であり、同地層中にある Limestone を採掘対象としている。CaCO₃ の品位は 76%以上 (CaO 換算で 43%以上) と比較的に高い (図 5-9, 写真 7)。本鉱山は PCAL 社の自社鉱山 (Captive mine)

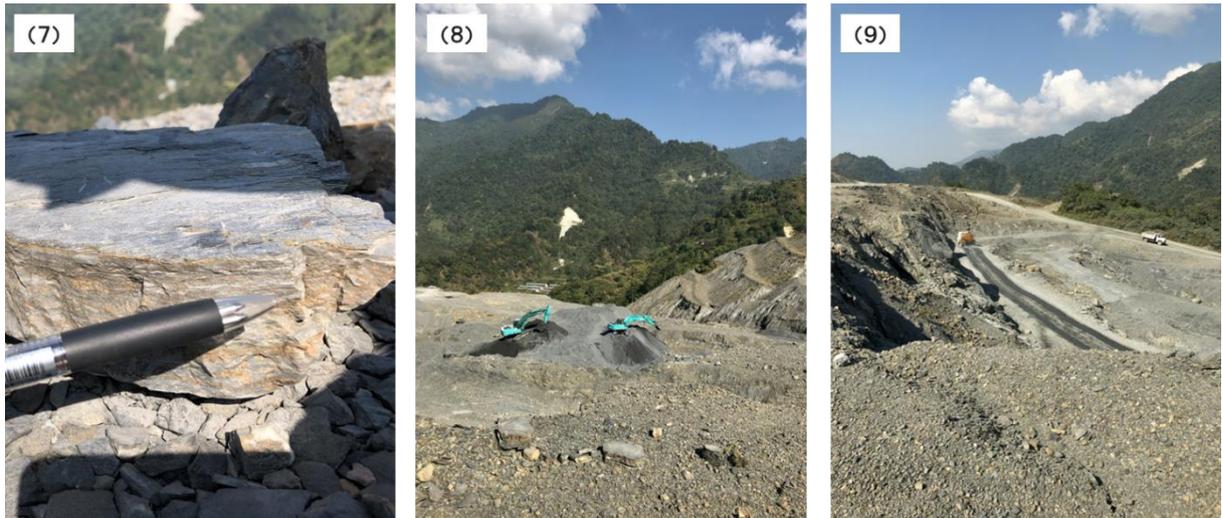
であり、低地にある自社の工場のみにはトラック輸送している。

採掘方法はベンチカット方式である。最高標高の 830m レベルから 10m 前後の複数のベンチを経て、現在は 690m レベルまで採掘を行っている。Waste としては Dolomite, Phyllite 及び Quartzite が含まれる。Waste の処理については専用のダムを作って管理しており (図 5-9, 写真 8), さらに下流側に砂防堰堤を作ることにより、近隣河川への流出を抑制している。採掘やその後の運搬に伴い多くの粉塵が発生しているが、散水車を定期的に走らせており、ある程度の通減を行っている (図 5-9, 写真 9)。しかし採掘地は気温が高く、散水により一時的に湿った地盤も容易に乾燥してしまうため、粉塵発生抑制には限界があるようである。採掘地の近くには従業員用の宿舎があり、100 名以上の労働者が住み込みで作業を行っている。

本鉱山を含め、すべての稼働鉱山は DGM の査察及びモニタリングを受ける仕組みになっており、安全や環境に関しては国の基準を概ね満たしているようである。鉱山事務所には看護師が常駐しているほか、従業員は毎年 1 回の健康診断を受けているなど、少なくとも形式的な安全衛生活動はなされているように見える。このほか、鉱山側として従業員の健康のために Sugar cane (さとうきび) を配布していることや、新規入場者教育を行っていることも強調していた。

本鉱山においては、Environmental Management Plan (EMP) は現地事務所に常備されているほか、EIA についても 2002 年にインドのコンサルタントを雇用して手続きを実施し、許可を取得済みである。

本鉱山が閉山する場合、植林などの必要な手続きが終了したことを DGM が確認し、その後森林局に管理が譲渡されることになっている。それに関連して Environmental Protection Bond (環境保護基金のようなもの) が積み上げられており、閉山後の管理に使用される計画である。この仕組みについては 2020 年に改訂される Mining Act にも規定される予定である。



左：採掘対象となる Limestone（表面は Phyllite からなる）
 中：採掘後に集められた Waste（Waste ダムを造成する）
 右：散水車による定期的な散水（粉塵抑制のためであるが、乾季にはすぐに乾いてしまう）

図 5-9 Penden 石灰石鉱山視察の写真

(2) プラント Penden Cement Plant

本工場はセメントの生産工場である（ISO 9001-2015 を取得済）。主な原材料は Penden Limestone Mine 産の Limestone である。以前は Uttarey 鉱山産の Limestone も使用していたが、鉱山の閉鎖に伴って現在は Penden 鉱山のもののみである。これに副原料として Sandstone や Iron-ore, Calctuff を混ぜ、セメントを作っている（図 5-10, 写真 10）。これらの原料はいずれも国内産である。作られたセメントの約 60%はインドへ輸出され、残りの約 40%は国内での需要に充てられている。

セメント工場であるため粉塵の発生が問題となるが、NECS（環境省）による粉塵モニタリングは毎日行われており、国の基準値以下であるとのことである。また、毎週土曜日には3時間の清掃を行っているようである。それでも工場内の粉塵量は極めて多く、短時間の滞在でも服が汚れてしまう程であった（図 5-10, 写真 11）。工場は1日24時間常時稼働しており、合計700名以上の従業員が3勤交代制により作業をしていることから、労働環境への配慮は重要である。しかし、短時間の本視察において、粉塵のほかにも労働者の安全や健康管理についていくつか気になるところがあった。例えば、シンナーを扱う作業員がマスクをしておらず、長時間の作業では健康被害の懸念がある。また、工場敷地内を複数の犬が徘徊していることも安全上問題である。それでも、2017年には OSH（Occupational Health and Safety）部門で国から表彰されているようである（図 5-10, 写真 12）。



左：セメント工場（自社鉱山 Penden Limestone Mine 産の Limestone を使用）
中：大量の粉塵により汚れた工場敷地（階段のステップが見えなくなるほどの粉塵）
右：国による OSH（Occupational Health and Safety）部門での表彰（2017 年）

図 5-10 PCAL プラント視察の写真

Questionnaire

This supplemental information from this questionnaire will help us to understand the current situation in environmental consideration.

1. General

1.1. Do you take any environmental protection measures for air pollution?

YES / NO

If yes, describe the details.

()

1.2. Do you take any environmental protection measures for water pollution?

YES / NO

If yes, describe the details.

()

1.3. Do you take any environmental protection measures for noise?

YES / NO

If yes, describe the details.

()

1.4. Do you take any environmental protection measures for solid waste or siltation control measure?

YES / NO

If yes, describe the details.

()

1.5. Do you take any environmental protection measures for ground vibration?

YES / NO

If yes, describe the details.

()

1.6. Do you take any environmental protection measures for forest and wildlife protection?

YES / NO

If yes, describe the details.

()

1.7. Has the EIA procedure been implemented and completed before the start of mining operation?

YES / NO

If yes, please show us the report.

1.8. Do you have an Environmental Management Plan (EMP) and Environmental Monitoring Plan (EMoP) prepared under the guidance of NECS and DGM?

YES / NO

If yes, is it being properly implemented? Please show us the report.

2. Safety & Health

2.1. Do you have any personnel who are in charge of health and safety at site?

YES / NO

2.2. Are training on health and safety necessary for any laboratory, equipment, processes?

YES / NO

2.3. Is there a worker safety program exist at site?

YES / NO

2.4. Do you have any records of training or safety meeting?

YES / NO

2.5. Do you have any first aid kit in each workplace?

YES / NO

2.6. What major health and safety hazards are anticipated or reported?

()

2.7. Do you use proper safety equipment (safety helmet, safety boots, working clothes, dust respirator etc.)?

YES / NO

2.8. Do you have any emergency plans?

YES / NO

3. Mining & Processing

3.1. What is the current average rate of production?

()

3.2. What is the expected life of the mine?

()

3.3. Describe the type(s) of explosives used in mining operations.

()

3.4. What is the source for drinking water and water for other purposes?

()

3.5. Are there any treatment plants for mine water and chemicals used in such treatment?

YES / NO

If yes, list the names of chemicals used in the water treatment process.

()

3.6. What is the average generation of waste material?

()

3.7. How is the waste material managed?

()

4. Monitoring

4.1. Has any baseline data been collected for the main water bodies in the area prior to development?

YES / NO

If yes, describe the details.

()

4.2. Do you have any plan to collect data for the monitoring of the environment?

YES / NO

If yes, describe the details.

()

4.3. How often do you monitor the environmental parameters of the site?

YES / NO

If yes, describe the details.

()

第6章 能力向上に係る行事

6-1 セミナー

(1) 開催日時

2019年12月3日（火）

9時10分から16時まで

(2) 開催場所

Ariya Hotel, 大会議場（5階）

Olakha, Thimphu

(3) プログラム

Time	Contents / Title	Presenter
8:40-9:10	Registration	
9:10-9:15	Opening remarks	Offtg. DG, DGM Mr. Dowchu
9:15-9:35	The geology and mineral resources in Bhutan	DGM/ Mr. Yonten J.
9:35-10:15	General information of mines and quarries in Bhutan	DGM/ Mr. Tashi P.
10:15-10:25	Q&A	
10:25-10:45	<i>Coffee break</i>	
10:45-11:15	Global trends of price and production of metallic mineral resources and industrial raw materials	JICA/ Mr. Onuma
11:15-11:45	Metallogeny of target commodities	JICA/ Mr. Ishikawa
11:45-12:15	Exploration methods of mineral resources	JICA/ Mr. Onuma
12:15-12:30	Q&A	
12:30-13:20	<i>Lunch</i>	
13:20-13:40	Mines and minerals policy and laws of Bhutan	DGM/ Mr. Karma C.
13:40-14:00	National environmental policies and general issues in Mining	DGM/ Mr. Sangay D.
14:00-14:20	Training report of mining course in Japan	DGM/ Ms. Sonam C.
14:20-14:30	Q&A	
14:30-14:50	<i>Coffee break</i>	
14:50-15:10	Mine environment	JICA/ Mr. Ishikawa
15:10-15:40	Social environment on mining activity	JICA/ Ms. Masaki
15:40-15:55	Q&A	
15:55-16:00	Closing remarks	DGM/ Mr. Karma C.

(4) 参加者

42 名

(5) 報告概要

- i) The geology and mineral resources in Bhutan by Mr. Yonten J. of DGM
 - ✓ History of creation of the Himalayas
 - ✓ Geology and structures of the Himalayas
 - ✓ Geology and structures of Bhutan
 - ✓ Historical geological maps of Bhutan
 - ✓ Summary of metallic mineral resources of Bhutan
 - ✓ Summary of non-metallic mineral resources of Bhutan
- ii) General information of mines and quarries in Bhutan by Mr. Tashi P. of DGM
 - ✓ Information on the existing mines and quarries
 - ✓ Dzongkhag wise distribution of mines and quarries
 - ✓ Total mineral production in last 5 years (stones >dolomite >limestone >gypsum >coal >quartzite >marble >Phyllite >others)
 - ✓ Sales, export, royalty, GDP contribution
 - ✓ Import of minerals (2018) (Silica, quartz, quartzite, stones, cement clinkers)
 - ✓ Employment in mining sector (2018)
- iii) Global trends of price and production of metallic mineral resources and industrial raw materials by Mr. Onuma of JICA Study Team
 - ✓ Economy of base metals
 - ✓ Metallic mineral resources (Copper, Lead, Tungsten, Gold, Nickel, Zinc, Tin)
 - ✓ Industrial raw materials (Limestone, gypsum, talc, graphite)
- iv) Metallogeny of target commodities by Mr. Ishikawa of JICA Study Team
 - ✓ Mineral deposits
 - ✓ Metal mineral potential in Bhutan
 - ✓ Possible approach for the potential metals
- v) Exploration methods of mineral resources by Mr. Onuma of JICA Study Team
 - ✓ Fundamental definition: mineral occurrence, mineral deposit, ore deposit
 - ✓ Mine development process: flow from exploration to mine closure
 - ✓ Flow of mineral resources exploration
 - ✓ JORC Code
 - ✓ Mineral Resources and Ore Reserves: inferred, indicated, measured, probable, proved
 - ✓ Exploration methods
- vi) Mines and minerals policy and laws of Bhutan by Mr. Karma C. of DGM
 - ✓ The Constitution
 - ✓ Mining Laws
 - ✓ Government Policies
 - ✓ Mines and Minerals Bill 2019

- ✓ Other important government laws
- vii) National environmental policies and general issues in Mining by Mr. Sangay D. of DGM
 - ✓ National Environmental Policies
 - ✓ Environmental Acts and Regulations
 - ✓ The environmental management requirements of DGM
 - ✓ Environmental Clearance
 - ✓ Environmental Restoration Bond
 - ✓ General issues for mining in environment management
- viii) Training report of mining course in Japan by Ms. Sonam C. of DGM
 - ✓ Introduction about the Training Program
 - ✓ Overview of the Training program
 - ✓ Learning experiences and achievements
 - ✓ Acknowledgement
- ix) Mine environment by Mr. Ishikawa of JICA Study Team
 - ✓ Environment, Health and Safety (EHS) Guidelines issued by IFC (World Bank Group) in 2007
 - ✓ Water pollution affected by metal mineral mining
 - ✓ Mitigation of water pollution
- x) Social environment on mining activity by Ms. Masaki of JICA Study Team
 - ✓ Anticipated Social Impact by Mining Development
 - ✓ Environmental and Social Impact on Surrounding Area
 - ✓ Mitigation Measures for Surrounding Environment (Japanese Case)
 - ✓ Occupational Health and Safety
 - ✓ Mitigation Measures for Occupational Health and Safety (Japanese Case)
 - ✓ Health Risk Assessment/Management

(6) 写真



左上：Ariya ホテルのロビーに設置された Welcome board

右上：Dr. Dawchu Drukpa（Offtg. Director General of DGM）による Opening remarks

左下：ホテル 5 階にある会議室の入り口から室内を望む

右下：室内風景，参加者 42 名

図 6-1 セミナーの写真

6-2 技術移転レクチャー

6-2-1 リモートセンシングと物理探査

(1) 実施日時

2019年12月5日(木)

9時30分から13時, 14時から15時

(2) 実施場所

DGM 会議室

(3) 参加者

27名

(4) 概略内容

JICA 調査団の小沼が i)から vi)まで, 石川が vii)のレクチャーを行った。

i) Company profile of Sumiko Resources Exploration & Development

- ✓ Overview
- ✓ Business fields
- ✓ Projects location, recent projects on resources exploration

ii) Introduction

- ✓ Information of remote sensing

iii) Theory of remote sensing and spectrum

- Electromagnetic wave and wavelength
- Sensor type
- Synthetic Aperture Radar (SAR) Sensor
 - ✓ SAR system
 - ✓ SAR polarization
 - ✓ SAR features
 - ✓ PALSAR data
- Optical Sensor
 - ✓ System and theory of Optical Sensor
 - ✓ Spectral pattern
 - ✓ Band location of ASTER and LANDSAT
- Spectrum
- Spatial resolution
- Spectral resolution
- Mineral mapping theory
 - ✓ Spectral patterns of alteration minerals
 - ✓ ASTER data analysis to detect minerals

- iv) Geobotany
 - Roots of Geobotany
 - Ultramafic / Serpentine flora
 - Synthetic Aperture Radar (SAR) Sensor
- v) Case Study 1: ASTER data analysis in the area of ultramafic rock
 - Method
 - ✓ ASTER image analysis
 - ✓ PALSAR image analysis
- vi) Case Study 2: ASTER and PALSAR data analysis in the area of ultramafic rock with vegetation
 - Background
 - ✓ Geobotany
 - ✓ Ultramafic / Serpentine flora
 - ✓ Multi-polarimetric SAR data
 - Overview of the study area
 - ✓ Location, regional features
 - ✓ Typical ultramafic flora
 - Results of satellite data analysis
 - ✓ ASTER data analysis
 - ✓ Vegetation index
 - ✓ ENVISAT ASAR data analysis
 - ✓ PALSAR data analysis
 - ✓ Data fusion
 - Ground truth
 - ✓ Ultramafic flora and general flora
 - ✓ Spectral pattern of leaves
 - Conclusion
- vii) Airborne Geophysics for Mineral Resources
 - Geophysical survey
 - ✓ Comparison of airborne and ground survey
 - Airborne geophysical survey
 - ✓ Electromagnetic survey
 - ✓ Magnetic survey
 - ✓ Gravity survey
 - ✓ Airborne Electromagnetic & Magnetic survey for Geothermal exploration
 - ✓ Airborne Gravity Gradiometry
 - Recent advances in mineral exploration
 - ✓ UAV magnetics
 - ✓ The use of Artificial Intelligent (AI) in mineral exploration

(5) 写真



図 6-2 リモートセンシングと物理探査の技術移転レクチャーの写真

6-2-2 地球化学と試錐

(1) 実施日時

2020年10月9日(金)

10時00分から13時00分(ブータン時間)

(2) 実施場所

Web会議(Zoom)

ブータンではDGMの会議室, 日本ではSRED社の会議室

(3) 参加者

29名

(4) 概略内容

JICA調査団の小沼が i)と ii), 町田が iii)のレクチャーを行った。

- i) Geochemical survey and data analysis
 - ✓ Flow of mineral resources exploration
 - ✓ Geochemical samples
 - ✓ Characteristics of geochemistry

- ✓ Geochemical survey flow
 - ✓ Introduction of geochemical sampling
 - ✓ Geochemical exploration
 - ✓ Geochemical exploration methods
 - ✓ Statistical analysis
 - ✓ Geochemical anomaly
 - ✓ Multivariate statistical analysis
 - ✓ GIS mapping of geochemical map
- ii) Example of statistical analysis in Bhutan
- ✓ Geochemical data in Bhutan
 - ✓ Geochemical data analysis
 - ✓ Histogram
 - ✓ Statistical population of Zn
 - ✓ Geochemical estimation for Zn
 - ✓ Multivariate statistical analysis
- iii) Exploration drilling
- ✓ Exploration drilling
 - ✓ Wireline drilling
 - ✓ Estimating deposit
 - ✓ An example of Hishikari mine
- iv) Watching video
- ✓ “Introduction of Hishikari gold mine”

(5) 写真

レクチャーはリモート Web 会議で行われたため、写真はパソコンのモニター画面のキャプチャである。ほとんどの DGM の参加者は会議室に集合していた。



Project on Mineral Resources
Development Plan in Bhutan

Geochemical Survey
-- Survey method, statistical analysis, GIS mapping --

Lecture
9th October 2020

JICA Study Team leader
Takumi ONUMA
Chief geologist of SRED



図 6-3 地球化学と試錐の技術移転レクチャーの写真

6-3 SEA レクチャー

(1) 実施日時

2020年2月10日(月)

9時30分から12時

(2) 実施場所

DGM 会議室

(3) 参加者

18名

(4) 概略内容

JICA 調査団の柁木が以下のレクチャーを行った。

i) Introduction of SEA and the Process

ii) Case study

Strategic Environmental Assessment (SEA) for the Project for Formulation of Comprehensive National Development Plan (CNDP) for Bhutan 2030

iii) Opinion Exchange for SEA of Mineral Resources Development Plan (Group Discussion)

Based on topic (1) and (2), all participants joined group discussion.

Discussion as following topics:

- ✓ Key factors which should be paid attention in the SEA of Mineral Resources Development Plan (Ex. water resource, protected area, economical Potential, local communities)
- ✓ Alternatives of the Mineral Resources Development (Ex. Possibility of Another Development (ex. Tourism, Agriculture)
- ✓ Effective Mitigation Measures of the Development of Mining Site
- ✓ Other necessary surrounding developments (Ex. Infrastructure (Access Road Network, Industrial area, and Export Route)

(5) 写真



図 6-4 SEA レクチャーの写真

第7章 ステークホルダー会議

(1) 開催日時

2020年10月5日（月）

10時00分から13時00分（ブータン時間）

(2) 開催場所

Web会議（Zoom）

ブータンでは関係機関の会議室等，日本でも同様。

(3) 参加者

34名

(a) Department of Geology and Mines (DGM), Ministry of Economic Affairs, Bhutan

- * Choiten Wngchuk, Director General
- * Dowchu Dukpa, Chief seismologist, Earthquake and Geophysics Division
- * Ugyen Dorji, Chief chemist, Geological Survey Division
- * Karma Chophel, Officiating Chief engineer, Mineral Development Division
- * Nima Yoezar, Senior Program Officer, Mineral Development Division
- * Tashi Phuntsho, Officiating Chief engineer, Mining Division
- * Binesh Pradhan, Executive mining engineer, Mineral Development Division
- * Tashi Tenzin, Executive geologist, Geological Survey Division
- * Sonam Choden, Sr. Mining engineer, Mining Division
- * Yonten Jamtsho, Geologist, Geological Survey Division
- * Ruk Mani Ghalley, Geologist, Geological Survey Division
- * Ugyen Namdol, Geologist, Geological Survey Division
- * Sonam Tshomo, Geologist, Geological Survey Division
- * Kuenzang Choden, Geologist, Geological Survey Division
- * Namgay Dorji, Geologist, Geological Survey Division
- * Kinley Khandu, Mechanical Engineer, Geological Survey Division
- * Sangay Dendup, Mining engineer, Mineral Development Division
- * Sangay Laida, Mining engineer, Mineral Development Division
- * Sangay Lhendup, Mining engineer, Mineral Development Division
- * Pratik Bhattarai, Mining engineer, Mineral Development Division
- * Pem Doji Tamang, Asst. Environmental Officer, Mining Division
- * Kuenga Choden, Intern to Mining Division

(b) Department of Industry (DoI)

- * Tashi Dorji, Deputy Chief Industries Officer, Industrial Development Division

(c) National Environment Commission Secretariat (NECS)

- * Sonam L Khandu, Chief Environment officer, Biodiversity and Land Use Division

- * Choki Wangmo, Chief Environment officer, Environment Assessment and Compliance Division
- (d) Department of Forest and Park Services (DFPS)
 - * Kinley Tshering, Chief Forestry Officer
 - * Nima Om, Deputy Chief Legal Officer
- (e) National Land Commission Secretariat (NLCS)
 - * Kinzang Namgay, Head of Satshan Section
- (f) Japan International Cooperation Agency (JICA)
 - * Yoshitaka Hosoi, Senior Advisor for Natural Resources, JICA Headquarters
 - * Kozo Watanabe, Chief Representative, JICA Bhutan Office
 - * Jun Kudo, Representative, JICA Bhutan Office
- (g) JICA Study Team
 - * Takumi Onuma (Team leader), SRED, Chief geologist, Mineral Resource division
 - * Satoshi Machida, SRED, Land-based mineral resource group, geologist
 - * Junko Masaki, Nippon Koei Co., Ltd., Environmental Science & Engineer Department, oversea consulting administration

(4) Agenda

- 1 Opening Remarks by Chairperson Mr. Choiten Wngchuk, Director General of DGM
- 2 Outline of MRDP by Mr. Onuma, JICA Study Team leader
- 3 Geology and mineralization by Mr. Machida, JICA Study Team
- 4 Focus on selective potential minerals by Mr. Machida and Mr. Onuma, JICA Study Team
- 5 Environmental issues about MRDP by Ms. Masaki, JICA Study Team
- 6 Discussions
- 7 Closing Remarks by Chairperson Mr. Choiten Wngchuk, Director General of DGM

(5) 写真

ステークホルダー会議はリモート Web 会議で行われたため、写真はパソコンのモニター画面のキャプチャである。



Project on Mineral Resources
Development Plan in Bhutan

- Stakeholder Meeting -

5th October 2020
by Web conference / Zoom



図 7-1 ステークホルダー会議の写真

第8章 JCC 会議

8-1 第 1 回 JCC 会議

(1) 開催日時

2019 年 10 月 24 日 (木)

10 時から 12 時

(2) 開催場所

DGM 会議室

(3) 参加者

17 名

(a) Department of Geology and Mines (DGM), Ministry of Economic Affairs, Bhutan

- * Dowchu Dukpa, Officiate Director General
- * Pema Tshering, Chief engineer, Mineral Development Division
- * Ugyen Dorji, Chief chemist, Geological Survey Division
- * Tashi Tenzin, Exective geologist, Geological Survey Division
- * Karma Chopel, Exective engineer, Mineral Development Division
- * Tashi Phuntsho, Chief Engineer, Mining Division
- * Benish Pradhan, Executive mining engineer, Mineral Development Division
- * Nima Yoezar, program officer, Mineral Development Division

(b) Department of Industry (DOI), Ministry of Economic Affairs, Bhutan

- * Sonam Lhamo, Asst, Industries Officer, Foreign Direct Investment Division
- * Dakpa Gyeltsen, Industries Officer, Industrial Development Division

(c) Japan International Cooperation Agency (JICA)

- * Daisuke Iijima, Director, Team2 Energy and Mining Group, Industrial Development and public Policy Department, JICA Headquarters
- * Kozo Watanabe, Chief Representative, JICA Bhutan Office
- * Yumiko Yoshizawa, Project formulation adviser, JICA Bhutan Office
- * Kinley Dorji, Chief Program Officer, JICA Bhutan Office

(d) JICA Study Team

- * Takumi Onuma (Team leader), Sumiko Resources Exploration & Development Co., Ltd. (SRED), Chief geologist, Mineral Resource division
- * Hiromasa Ishikawa, SRED, Land-based mineral resource group leader
- * Satoshi Machida, SRED, Land-based mineral resource group, geologist

(4) Agenda

1 Opening Remarks by Chairperson Mr. Dowchu, Director of DGM

- 2 Opening Remarks by Mr. Iijima, JICA Headquarters
- 3 Opening Remarks by Mr. Watanabe, JICA Bhutan office
- 4 Introduction of attendants
- 5 Explanation of the project by Mr. Onuma, JICA Study Team leader
- 6 Discussions
- 7 Closing Remarks by Mr. Pema, Chief engineer, Mineral Development Division, DGM

(5) 写真



図 8-1 第 1 回 JCC の写真

8-2 第2回 JCC 会議

(1) 開催日時

2020年2月3日(月)

10時から12時

(2) 開催場所

DGM 会議室

(3) 参加者

(a) Department of Geology and Mines (DGM), Ministry of Economic Affairs, Bhutan

- * Choiten Wngchuk, Director General
- * Dowchu Dukpa, Chief seismologist, Earthquake and Geophysics Division
- * Ugyen Dorji, Chief chemist, Geological Survey Division
- * Tashi Tenzin, Executive geologist, Geological Survey Division
- * Karma Chopel, Executive engineer, Mineral Development Division
- * Tashi Phuntsho, Chief Engineer, Mining Division
- * Binesh Pradhan, Executive mining engineer, Mineral Development Division
- * Nima Yoezar, program officer, Mineral Development Division

(b) National Environment Commission Secretariat (NECS)

- * Karma Tshering, Head, Policy and Programming Services
- * Rinchen Dorji, Assistant environment officer, Environment Assessment and compliance Division

(c) Japan International Cooperation Agency (JICA)

- * Kozo Watanabe, Chief Representative, JICA Bhutan Office
- * Kota Wakabayashi, Representative, JICA Bhutan Office
- * Kinley Dorji, Chief Program Officer, JICA Bhutan Office

(d) JICA Study Team

- * Takumi Onuma (Team leader), Sumiko Resources Exploration & Development Co., Ltd. (SRED), Chief geologist, Mineral Resource division
- * Satoshi Machida, SRED, Land-based mineral resource group, geologist
- * Junko Masaki, Nippon Koei Co., Ltd., Environmental Science & Engineer Department, overseas consulting administration

(4) Agenda

- 1 Opening Remarks by Chairperson Mr. Choiten, Director of DGM
- 2 Introduction of attendants
- 3 Report on progress of the project by Mr. Onuma, JICA Study Team leader
- 4 Report on draft of the MRDP by Mr. Onuma, JICA Study Team leader
- 5 Discussions
- 6 Closing Remarks by Mr. Watanabe, Chief Representative, JICA Bhutan office

(5) 写真



集合写真



左から
DG of DGM, Mr. Choiten Wngchuk
JICA ブータン事務所, 渡部所長
DGM, Mr. Dowchu Dukpa



参加者

図 8-2 第 2 回 JCC の写真

8-3 第3回 JCC 会議

(1) 開催日時

2020年10月14日(水)

10時00分から12時00分

(2) 開催場所

Web 会議

ブータン、日本とも各関係機関の会議室等

(3) 参加者

25名

(a) Department of Geology and Mines (DGM), Ministry of Economic Affairs, Bhutan

- * Choiten Wngchuk, Director General
- * Dowchu Dukpa, Chief seismologist, Earthquake and Geophysics Division
- * Ugyen Dorji, Chief chemist, Geological Survey Division
- * Karma Chopel, Officiating Chief engineer, Mineral Development Division
- * Tashi Phuntsho, Officiating Chief Engineer, Mining Division
- * Binesh Pradhan, Executive mining engineer, Mineral Development Division
- * Tashi Tenzin, Executive geologist, Geological Survey Division
- * Sonam Choden, Sr. Mining engineer, Mining Division
- * Nima Yoezar, Senior Program Officer, Mineral Development Division
- * Sangay Laida, Mining engineer, Mineral Development Division
- * Pratik Bhattarai, Mining engineer, Mineral Development Division

(b) National Environment Commission Secretariat (NECS)

- * Sonam L Khandu, Chief Environment officer, Biodiversity and Land Use Division
- * Choki Wangmo, Chief Environment officer, Environment Assessment and Compliance Division

(c) Department of Forest and Park Services (DFPS)

- * Kinley Tshering, Chief Forestry Officer
- * Nima Om, Deputy Chief Legal Officer

(d) National Land Commission Secretariat (NLCS)

- * Kinzang Namgay, Head of Satshan Section

(e) Japan International Cooperation Agency (JICA)

- * Daisuke Iijima, Director, Team2 Energy and Mining Group, JICA Headquarters
- * Takahiro Okamoto, Team2 Energy and Mining Group, JICA Headquarters
- * Rie Ogata, Team2 Energy and Mining Group, JICA Headquarters
- * Yoshitaka Hosoi, Senior Advisor for Natural Resources, JICA Headquarters
- * Kozo Watanabe, Chief Representative, JICA Bhutan Office
- * Jun Kudo, Representative, JICA Bhutan Office

(f) JICA Study Team

- * Takumi Onuma (Team leader), SRED, Chief geologist, Mineral Resource division
- * Satoshi Machida, SRED, Land-based mineral resource group, geologist
- * Junko Masaki, Nippon Koei Co., Ltd., Environmental Science & Engineer Department, oversea consulting administration

(4) Agenda

- 1 Opening Remarks by Chairperson Mr. Choiten, Director General of DGM
- 2 Opening Remarks by Mr. Watanabe, Chief Representative, JICA Bhutan office
- 3 Report on results of the project by Mr. Onuma, JICA Study Team leader
- 4 Report on the MRDP by Mr. Onuma, JICA Study Team leader
- 5 Discussions
- 6 Closing Remarks by Dr. Hosoi, Representative, JICA Headquarters
- 7 Closing Remarks by Chairperson Mr. Choiten, Director General of DGM

(5) 写真

第3回 JCC 会議はリモート Web 会議で行われたため、写真はパソコンのモニター画面のキャプチャである。



図 8-3 第3回 JCC の写真

ブータン王国
経済省 地質・鉱山局
(MoEA, DGM)

ブータン国
鉱業開発計画策定プロジェクト

ファイナルレポート
(第 II 部)

2021 年 1 月

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

住鉱資源開発株式会社
日本工営株式会社

第 I 部（業務実施）

目 次

要約

第 1 章 プロジェクトの概要

- 1-1 プロジェクトの背景
- 1-2 プロジェクトの上位目標
- 1-3 プロジェクトの目的
- 1-4 プロジェクトの範囲
- 1-5 業務実施の項目
- 1-6 業務の実施体制と従事者
- 1-7 業務の工程

第 2 章 業務の内容

- 2-1 業務の実施方針
- 2-2 業務の概要
- 2-3 業務工程と実施内容

第 3 章 情報収集

- 3-1 既存資料
- 3-2 その他

第 4 章 鉱物資源開発計画の策定

第 5 章 現地視察

- 5-1 鉱徴地踏査
 - 5-1-1 REE 鉱徴地
 - 5-1-2 グラファイト鉱徴地
- 5-2 鉱山視察
 - 5-2-1 RSA Private Limited
 - 5-2-2 Bhutan Ferro Alloys Limited (BFAL)
 - 5-2-3 Penden Cement Authority Limited (PCAL)

第 6 章 能力向上に係る行事

- 6-1 セミナー
- 6-2 技術移転レクチャー
 - 6-2-1 リモートセンシングと物理探査
 - 6-2-2 地球化学と試錐
- 6-3 SEA レクチャー

第 7 章 ステークホルダー会議

第 8 章 JCC 会議

- 8-1 第 1 回 JCC 会議

8-2 第2回 JCC 会議

8-3 第3回 JCC 会議

第Ⅱ部（鉱業開発計画）

目 次

1. 基礎情報	1
1.1. 自然社会環境	1
1.2. 国民総幸福量（GNH）	2
1.3. 地形	4
1.4. 植生	5
1.5. 環境保護区	6
1.6. インフラストラクチャー	7
1.6.1. 輸送	7
1.6.2. 電力	8
1.6.3. 物流サービス	9
1.7. 地質	11
1.7.1. 地史	11
1.7.2. 構造	12
1.7.3. 地質	13
2. 鉱物資源	18
2.1. 金属鉱物資源	18
2.1.1. ブータン国で期待される鉱床タイプ	19
2.1.2. ブータン国の金属鉱物資源	24
2.1.3. ブータン国の周辺国の金属鉱物資源	25
2.1.4. チベットヒマラヤ地区のレアメタル	27
2.1.5. ブータン国における過去の調査	29
2.2. 金属鉱物資源ポテンシャル	32
2.2.1. 鉛（Pb）	34
2.2.2. 亜鉛（Zn）	35
2.2.3. タングステン（W）	36
2.2.4. 銅（Cu）	39
2.2.5. 金（Au）	40
2.2.6. 希土類元素（REE：Rare Earth Elements）	42
2.3. エネルギー鉱物資源	47
2.4. 工業原料資源	48
2.5. 工業原料資源ポテンシャル	56
2.5.1. ドロマイト	56
2.5.2. 石灰石	57
2.5.3. 石膏	58

2.5.4.	大理石	59
2.5.5.	珪石	60
2.5.6.	滑石	61
2.5.7.	グラファイト	61
3.	鉱業セクターの生産	66
3.1.	鉱物資源の種類と用途	66
3.2.	鉱物資源の生産量	67
3.3.	鉱業セクターの企業	72
3.4.	世界の金属価格	75
3.4.1.	金属価格決定の仕組み	75
3.4.2.	金属価格の変動要因	76
3.4.3.	金属価格の推移	79
4.	鉱業行政	92
4.1.	鉱業政策	92
4.2.	鉱業関連法	92
4.2.1.	Mines and Minerals Management Act 1995	93
4.2.2.	Mines and Minerals Management Regulations 2002	94
4.2.3.	ブータン国の政策	94
4.2.4.	Mines and Minerals Bill 2020	95
4.3.	鉱業に係る予算	100
4.4.	鉱業セクターの管理体制	101
4.5.	課題	103
5.	環境行政	104
5.1.	環境政策	104
5.2.	環境関連法	105
5.3.	鉱業に係る環境社会配慮	108
5.4.	課題	109
6.	鉱物資源開発計画	112
6.1.	鉱物資源開発の工程	112
6.1.1.	鉱物資源開発の段階	112
6.1.2.	JORC コード	115
6.1.3.	金属の生成過程	116
6.2.	対象鉱種（金属鉱物）	118
6.3.	金属鉱物資源の開発計画	121
6.3.1.	鉛（Pb）	121
6.3.2.	亜鉛（Zn）	122
6.3.3.	タングステン（W）	122
6.3.4.	銅（Cu）	123
6.3.5.	金（Au）	123
6.3.6.	希土類元素（REE）	124

6.3.7.	まとめ	124
6.4.	工業原料資源の開発計画	130
6.4.1.	ドロマイト	130
6.4.2.	大理石	131
6.4.3.	石膏	132
6.4.4.	石灰石	134
6.4.5.	珪石	137
6.4.6.	滑石	138
6.4.7.	グラファイト	140
6.4.8.	まとめ	141
6.5.	鉱物資源開発に係る環境調査	143
6.5.1.	環境ベースライン調査	143
6.5.2.	環境影響評価	145
6.5.3.	環境モニタリング	149
6.6.	課題	150
6.6.1.	一般的な課題	150
6.6.2.	鉱物資源開発の特性	153
6.6.3.	投資環境の要因	154
6.7.	結論と提言	157
7.	その他の提案	160
7.1.	保安管理	160
7.2.	環境管理	163

【巻末資料】

Appendix II-1	参考資料一覧
Appendix II-2	化学分析結果
Appendix II-3	Compliance Monitoring Checklist for Mines/Quarries

図 表 一 覧

【図】

図 1-1	ブータンの地図	2
図 1-2	GNH における 9 の領域と 33 の指標	3
図 1-3	陰影地形図	4
図 1-4	衛星画像	5
図 1-5	保護区	6
図 1-6	道路網	7
図 1-7	電力網	9
図 1-8	インドプレートの移動変遷	11
図 1-9	ヒマラヤ山地の地質構造帯	12
図 1-10	ブータンの簡略地質図	14
図 1-11	ヒマラヤ変動帯の地質－変成帯－変成温度の模式断面図	16
図 2-1	プレート境界にある主要な鉱物鉱床タイプ	18
図 2-2	テクトニック－火成作用進化と大陸衝突造山システムでの典型的鉱床	19
図 2-3	SEDEX 鉱床タイプの模式断面	21
図 2-4	スカルン鉱床タイプの模式断面	22
図 2-5	ブータンの鉱物資源図	25
図 2-6	ヒマラヤ地域の優白質花崗岩分布を示す概略地質図	28
図 2-7	コンドライトによる REE 規格化図	46
図 2-8	NASC による規格化図	46
図 3-1	主要鉱物資源の生産推移（2014～2018 年）	67
図 3-2	LME のホームページ	75
図 3-3	クロム鉱石の分布	77
図 3-4	世界的規模の銅鉱床の分布	77
図 3-5	5 つの資源メジャーの事業分野別の売上高	79
図 3-6	非鉄金属の価格推移（2003～2019 年）	80
図 3-7	国別の銅生産量（2016 年）	81
図 3-8	国別の銅鉱石の輸入量推移	81
図 3-9	国別の銅鉱石の輸出量推移	82
図 3-10	LME の銅価格推移	82
図 3-11	二次電池の世界市場	83
図 3-12	鉛の生産・消費の主要国	83
図 3-13	LME の鉛価格	84
図 3-14	国別の亜鉛生産量	85
図 3-15	LME の亜鉛価格	85
図 3-16	タングステンの主要用途	86
図 3-17	国別のタングステン生産量	86

図 3-18	タングステンの価格推移.....	87
図 3-19	国別の金生産量.....	88
図 3-20	LME の金価格.....	88
図 3-21	国別の REE 生産量.....	89
図 3-22	REE 価格の推移.....	90
図 3-23	国別のニッケル生産量.....	91
図 3-24	LME のニッケル価格.....	91
図 4-1	鉱業セクターの GDP.....	100
図 4-2	ブータンの鉱業セクターのロードマップ.....	101
図 4-3	MRA とその役割.....	101
図 4-4	DGM の組織図.....	102
図 4-5	DGM の役割.....	102
図 5-1	SEA の手順.....	107
図 6-1	鉱業開発の過程.....	114
図 6-2	探査結果－鉱物資源量－鉱石埋蔵量の一般的関係.....	115
図 6-3	鉱山操業のインフォグラフィック.....	117
図 6-4	銅鉱山操業に係る写真.....	117
図 6-5	地質－テクトニクス環境と鉱床モデルの関係.....	118
図 6-6	環境保護区と鉱物資源図.....	121
図 6-7	国別の石膏生産量.....	132
図 6-8	石膏ボートの製造フロー.....	134
図 6-9	国別の石灰生産量.....	136
図 6-10	中国を除くアジア国別の石灰生産量.....	136
図 6-11	国別のフェロシリコン生産量.....	137
図 6-12	中国を除くアジア国別のフェロシリコン生産量.....	138
図 6-13	国別の滑石生産量.....	139
図 6-14	国別のグラファイト生産量.....	141
図 6-15	BFAL 社の環境緩和策.....	143
図 6-16	PCAL での環境緩和対策.....	144
図 6-17	キャッシュコスト（C3 フルコスト）と銅価格の関係.....	154
図 7-1	鉱業と SDGs.....	163
図 7-2	鉱山開発における主要な影響.....	164
図 7-3	JOGMEC の鉱害防止事業の取組み.....	166

【表】

表 2-1	過去の調査の概要	29
表 2-2	金属鉱物資源の概要	32
表 2-3	タングステン鉱徴地の岩石の化学分析結果	37
表 2-4	タングステン鉱徴地の岩石の X 線回折試験結果	39
表 2-5	REE 鉱徴地の岩石の化学分析結果	43
表 2-6	アイアンストーン の X 線回折試験結果	45
表 2-7	石炭	47
表 2-8	ドロマイト	48
表 2-9	石灰石	49
表 2-10	珪石	51
表 2-11	石膏	51
表 2-12	大理石	52
表 2-13	スレート	53
表 2-14	石墨	53
表 2-15	滑石	53
表 2-16	リン鉱石	54
表 2-17	粘土	55
表 2-18	Khepchishi Hill のグラファイト片岩の化学分析結果	63
表 2-19	Khepchishi Hill のグラファイト片岩の X 線回折試験結果	65
表 3-1	鉱物資源種別の生産量 (2014~2018 年)	68
表 3-2	輸出額上位 10 番までの生産物 (2018 年)	69
表 3-3	輸入額上位 10 番までの生産物 (2018 年)	70
表 3-4	輸出国リスト (2018 年輸出額順位)	70
表 3-5	鉱業・砕石分野の GDP (2014~2017 年)	71
表 3-6	企業リスト：鉱業, 砕石	72
表 3-7	企業リスト：鉱物資源	73
表 3-8	企業リスト：アロイ製造	74
表 3-9	企業リスト：鉄鋼	74
表 4-1	Mines and Minerals Management Act の新旧版の比較	96
表 5-1	その他の環境に関連する国の法令	108
表 5-2	保護地域の分類	110
表 6-1	岩相-テクトニクス環境による鉱床モデルの分類	119
表 6-2	SWOT 分析	125
表 6-3	環境保護区内で確認された鉱化作用	126
表 6-4	鉱物資源開発の優先順位	128
表 6-5	現在の操業採掘現場における環境問題と課題	144
表 6-6	環境社会影響評価に対する手続きの結果	145
表 6-7	ブータンとインドの間の貿易関係	150

略 語 表

ADB	Asian Development Bank
AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, JAPAN
ArcGIS	ArcGIS for Desktop Basic (software name)
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
BTN	Bhutan Ngultrum
CDA	Community Development Agreement
CNDP	Comprehensive National Development Plan for Bhutan
CP	Counterpart
CSI	Cottage and Small Industries
CSR	Corporate Social Responsibility
DB	Data Base
DEM	Digital Elevation Model
DGM	Department of Geology and Mines, BHUTAN
DHI	Druk Holding & Investments Ltd.
DHPS	Department of Hydropower & Power Systems, BHUTAN
DMG	Department of Mines and Geology, Nepal
DoFPS	Department of Forest and Park Services, BHUTAN
DoT	Department of Trade, BHUTAN
EBS	Environmental Baseline Study
EIA	Environmental Impact Assessment
EITI	Extractive Industries Transparency Initiative
ESCAP	United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific
FDI	Foreign Direct Investment
EU	European Union
F/S	Feasibility Study
FYP	Five Year Plan
GDEM	Global Digital Elevation Model
GDP	Gross Domestic Product
GIS	Geographic Information System
GNH	Gross National Happiness
GSI	Geological Survey of India
GSJ	Geological Survey of Japan
GVA	Gross Value Added
ICP	Internet Service Providers
IMF	International Monetary Fund
INR	India Rupee
JICA	Japan International Cooperation Agency
JMCL	Jigme Mining Corporation Limited
JOGMEC	Japan Oil, Gas and Metals National Corporation
JORC	Joint Ore Reserves Committee
J/V	Joint Venture
KT	Khang Thrust
LCA	Logistics Capacity Assessment
LME	London Metal Exchange
LULC	Land Use Land Cover

Ma	Mega annum
MBT	Main Boundary Thrust
MCT	Main Central Thrust
MFT	Main Frontal Thrust
MHT	Main Himalaya Thrust
NKRA	National Key Results Areas
MoAF	Ministry of Agriculture and Forests, BHUTAN
MoEA	Ministry of Economic Affairs, BHUTAN
MRA	Mining Regulatory Authority
MRDP	Mineral Resources Development Plan
MVT	Mississippi Valley Type
NASC	North American Shale Composite
NBSAP	National Biodiversity Strategies and Action Plan
NCB	National Council of Bhutan
NECS	National Environment Commission Secretariat, BHUTAN
NK	Nippon Koei Co., Ltd.
NKRA	National Key Results Areas
NLCS	National Land Commission Secretariat, BHUTAN
OHS	Occupational, Health and Safety
OJT	On-the-Job Training
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PCAL	Penden Cement Authority
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PGE	Platinum Group Elements
PPP	Public Private Partnership
R/D	Record of Discussions
REE	Rare Earth Element
RGoB	Royal Government of Bhutan
RSMP	Road Sector Master Plan
SAARC	South Asian Association for Regional Co-operation
SEA	Strategic Environmental Assessment
SEDEX	Sedimentary Exhalative
SEG	Society of Economic Geologists
SHM	Stakeholder Meeting
SIM	Subscriber Identity Module
SMCL	State Mining Corporation
SMM	Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SRED	Sumiko Resources Exploration & Development Co., Ltd.
STD	South Tibetan Detachment
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
UN	United Nations
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
US/USA	United States of America
USGS	United States Geological Survey
WB	World Bank
XRD	X-ray diffraction

1. 基礎情報

1.1. 自然社会環境

ブータン王国はヒマラヤ山脈の南麓にある小さな内陸国であり、北側の国境は中国と、南側の国境はインドと接する。ブータン国は主権国家であり、国土総面積は 38,394 km²、総人口は約 73.5 万人である。

ブータンの地形は、北から大ヒマラヤ山脈、インナーヒマラヤの丘と谷、サブヒマラヤ山麓の丘陵と平野という 3 つの標高ゾーンに分けることができる。

ブータンの気候は非常に多様であり、2 つの主な要因：国内での非常に大きな標高差と北インドモンスーンの影響、に起因すると考えられる。標高の低いブータン南部は高温多湿の亜熱帯気候であり、年間を通じて気候的な変化はほとんどなく、気温は摂氏 15 度から 30 度の間で変動する。温帯と落葉樹の森からなる国の中央部では、気候はより季節的であり、夏は温暖で冬は涼しく乾燥する。標高の高い国の最北端では、冬の天候はより寒くなり、山頂は通年で雪に覆われており、夏でも山地の下部は涼しい。

ブータンの地理的位置と独特の地形的および気候的な変化により、ブータンは世界で最後に残った生物多様性ホットスポットの 1 つである。ブータンの高く険しい山々と深い谷に伴われる手付かずの自然環境は豊かで多様な生態系を提供している。環境の重要性を認識して、豊かな生物多様性を保全することは政府の開発規範の 1 つである。政府は、少なくとも 60% の森林被覆面積を常に維持する法律を制定した。現在、ブータンの総国土面積の 80.89% が森林に覆われており、同 51.40% が 10 の国立公園と保護区からなる保護地域となっている。

ブータンは仏教国である。小さな国でありながら、その文化的多様性と豊かさは深遠である。そのユニークな文化を維持し促進することに重点が置かれている。

ブータンの人口の約 3 分の 1 は依然として文盲であり、約 8.2% が貧困ライン下で生活する農村地域に住んでいるが、ブータン人の大多数は住居を持ち自給自足している。近年の急速な近代化により、ブータン国民の生活水準は大幅に改善された。

ブータンの主要な経済は農業である。氷河から供給される流れの速い河川があることで、ブータンは水力により膨大な発電を生み出す可能性を持っている。いくつかの大きなダムが建設されて、電力セクターは確実にブータン国の最大の貢献者となっている。製造セクターは、国の収入に対するもう 1 つの主要な貢献者である。パサカに産業セクターが設立されたことで、セメント工場、カルシウムと炭化物、鉄鋼とフェロシリコン、コココーラ、さらに木材利用産業などの小規模産業が発展し始めた。ブータンの観光産業は、1974 年に最初に開始された。それ以来、観光産業は無数の雇用機会を生み出し、政府に追加の収入をもたらすという、ブータンの経済に大きく貢献する要因となった。

最近の経済発展の結果、ブータンは一人当たりの所得が 3,438 米ドルと南アジアで最も高い国の 1 つである。しかし、この高度な成長と発展にもかかわらず、ブータンの自然環境を保護するために、厳しい規制が制定されてきた。

(以上、Tourism Council of Bhutan より)



出典：iGuide Bhutan, UNCTAD

図 1-1 ブータンの地図

1.2. 国民総幸福量（GNH）

国民総幸福量（GNH：Gross National Happiness）の概念は、1970年代初頭にブータンの4番目の国王であるJigme Singye Wangchuckによって公布された。同国王は、幸福が指標であり、ブータン国民の進歩的な発展の兆候であると信じていたため、「国民総幸福は国民総生産よりも重要である」と述べた。

GNHは、2008年7月18日に制定されたブータン憲法において、ブータン政府の目標として制定された。

GNHは、物質的および非物質的価値と人間が幸福を探求したいという信念とのバランスをとる、総合的で持続可能な開発へのアプローチである。GNHの目的は、国民の幸福のために不可欠な生活のあらゆる面でバランスの取れた発展を達成することである。地球とすべての生命の運命が人類の力の範囲内にあるという人新世の時代に我々は居る。限りない消費主義、拡大する社会経済的不平等および不安定性は、急速な天然資源の枯渇と劣化を引き起こしている。気候変動、種の絶滅、度重なる危機、増大する不安、不安定性および紛争は、私たちの幸福を損なうだけでなく、私たちの生存を脅かしている。今日、現代社会が商業、金融、産業または貿易のビジネスなしで機能することは考えられない。これらの大いなる要因は、ポジティブとネガティブの両方

の極端な方法で日ごとに人間の運命を変えている。GNH は、幸福の非物質的なルーツを指摘すること、および、自然が持続可能な基盤で提供できるものの制限内で人間の二重のニーズのバランスをとりつつ満足させる方法を提供することにより、このような世界的、国家のおよび個人の課題に直接対処する。(GNH Center Bhutan より)

GNH を達成するために 4 つの柱 (pillar) と 9 つの領域 (domain) が定義されている (図 1-2)。

GNH の 4 つの柱は、1) 良い政治、2) 持続可能な社会経済発展、3) 文化の保存と推進、および 4) 環境保全である。

GNH の 9 つの領域は、生活水準、教育、健康、環境、コミュニティの活力、時間の使い方、心理的な幸福、良い統治、文化的な回復力と推進、である。



Source: Centre for Bhutan Studies & GNH Research, 2016

図 1-2 GNH における 9 の領域と 33 の指標

ブータンの経済開発政策は、4 つの柱に基づく GNH の包括的な哲学に導かれ続けている。しかし、持続可能な経済成長は引き続き大きな課題として残っている。経済開発政策 2017 は、経済戦略として 5 つの宝石 (Five Jewels) を推進することを記している。五つの宝石『水力発電、家内および小規模産業、鉱業、観光および農業』は、社会経済開発を促進および奨励するための優先セクターであり、社会全体への影響および潜在的可能性の点において中核的な成長分野を構成する。鉱業および採石セクターは、2017 年に GDP において 4.86% のシェアを記録した。

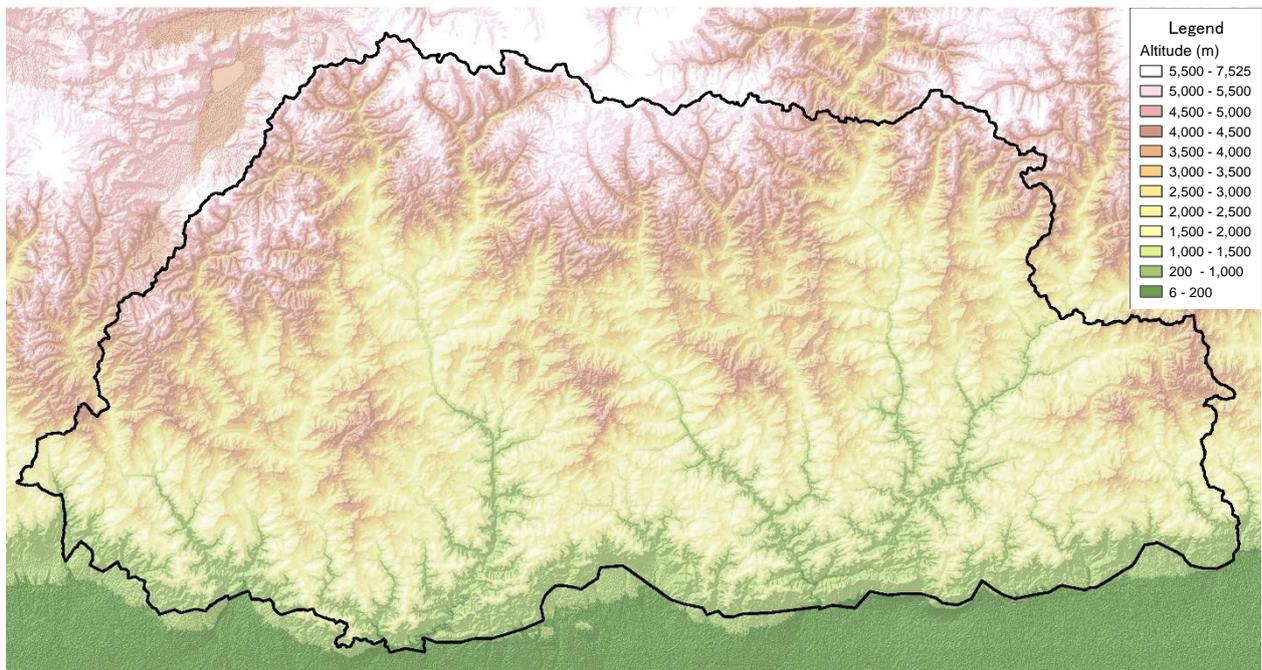
1.3. 地形

ブータンはヒマラヤ山脈の南部に位置する内陸国である。標高は 150m から 7,000m 以上に及び、世界で最も地形的に険しい国の 1 つである。

ブータンは、地理的に 3 つの主要な山地帯：大ヒマラヤ山脈、低ヒマラヤ山脈（または内ヒマラヤ山脈）、サブヒマラヤ山脈に区分される。ブータンで最も高い山は標高 7,561m の Gangkhar Puensum 山である。ブータン北部の雪で覆われる大ヒマラヤは、ブータンと中国の国境に沿って延びる標高約 5,500m 以上の範囲である。この北部地域は氷河で覆われた稜線からなる。標高 1,500m から 5,500m にあたる低ヒマラヤ山脈は多くの分岐する稜線からなり、ブータン西部では北西から南東に、ブータン東部では北東から南西に伸びている。これらの山岳地帯は、標高が 1,500m 以下の丘陵のサブヒマラヤおよび Duars 平原とは対照的である。

このような起伏に富む地形は数多くの川とその支流によって分断されており、ほとんどの河川は北部の高山を源流とし、狭い峡谷や溪谷を通り南方に流下して Duars 平原に入り、インドの Brahmaputra 川に流れ込む。ブータンの主要な河川は、西から東へ順に、Jaldhaka, Amo Chhu, Wang Chhu, Punatsang Chhu, Mangde Chhu, Chamkhar Chhu および Dangme Chhu である。広い谷は、パロ、ティンプー、プナカ、ブムタンにあり、国の経済と文化の中心地を構成している。ブータン中部の重要な特徴は、南北に広がるブラックマウンテンで、気候条件に大きな影響を与えている。

国土総面積の 71%は森林に、7%は万年雪と氷河に覆われ、耕作可能な農地は約 3%、牧草地と草原は4%を占め、残りは不毛地帯、岩石または低木である。



本プロジェクトで ASTER GDEM データから作成

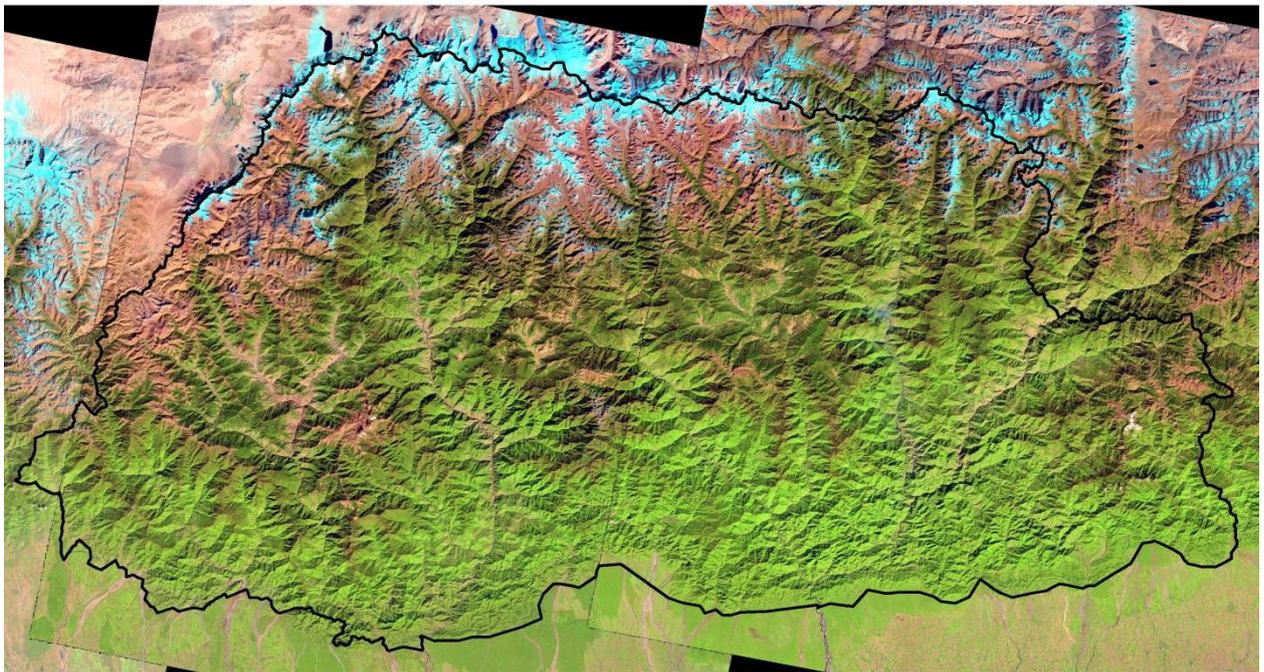
図 1-3 陰影地形図

1.4. 植生

ブータン王国の憲法は、第 5 条 3 に「国の天然資源を保護し、生態系の劣化を防ぐために、政府はブータンの国土総面積の最低 60%が永遠に持続的に森林で被覆されることを確認する」と言及している。

ブータンは、23 の重要な鳥類地域、8 つの生態地域、重要な植物地域および湿地をもち、2 つのラムサール登録地域がある。標高と気候の範囲が広いため、動植物は多様で豊かである。ブータンは、森林被覆率が国の総面積の 70.46%に達する世界でも唯一の生物多様性ホットスポットでもある。

ブータンは大きく次の 3 つの地帯に分けることができる。森林が全く無い高山地帯（標高 4,000m 以上）、針葉樹林や広葉樹林が広がる温帯（標高 2,000m から 4,000m）、熱帯や亜熱帯の植物が自生する亜熱帯（標高 150m から 2,000m）である。森林の種類は、針葉樹林、広葉樹林、混合樹林、モミやブルーパインやヒマラヤマツの森、高地や低地の硬木の森、熱帯低地林などである。ブータンには、特定の標高範囲と気候環境に相当する 6 つの主要な農業生態学地帯：高山、冷温帯、暖温帯、乾燥亜熱帯、多湿亜熱帯、湿潤亜熱帯がある。東ヒマラヤに生息する植物種の約 60%がブータンだけに存在している。現在、10 の保護地域は生物多様性の富の重要な供給源として機能している。(Banerjee, 2016)



本プロジェクトで LANDSAT データから作成

図 1-4 衛星画像

LULC (2016) の土地被覆評価では、70.77%（低木を除く）の全国森林被覆が示されている。そのうち 45.94%は広葉樹、13.53%は混合針葉樹、6.02%はモミ、2.64%はヒマラヤ松、2.64%はヒマラヤゴヨウ松である。高山低木は 3.39%、低木は 9.74%、耕作された農地と牧草地はそ

それぞれ 2.75%と 2.51%を占める。雪の被覆は 5.35%，岩石の露頭は 4.15%であり，水域，造成地域，非造成地域，地滑り，モレーンはそれぞれ 1%未満である。

1.5. 環境保護区

ブータン王国の憲法は，第 5 条 5 に「議会は，法律により，国のいかなる地域を国立公園，野生生物保護区，自然保護区，保護林，生物圏保護区，危機的な流域および保護に値するその他の区分であると宣言することができる」と言及している。

ブータンの保護区システムは 1960 年代に開始され，1993 年にブータン環境保全信託基金の資金調達条件として，公園システムはより良い生態学的表現と現実的な管理を目的として改訂された。今日，ブータンには国土総面積の半分以上を網羅する 10 の正式に保護された地域（公園，サンクチュアリと生物学的回廊を含む）がある。Wangchuck Centennial 公園はこの中で最大の面積 4,914 km² を有し，Jomotshangkha（旧 Khaling）野生動物保護区は最小 335 km² である（図 1-5）。

ブータンの生物学的回廊は，すべての保護地域を 1 つの途切れのない地域として接続し，野生動物が自由に移動できるように 1999 年に導入された。野生生物や植物の孤立した個体群は，遺伝的に生存可能性が低く，接続された個体群よりもはるかに大きなリスクを有する。生息地域の断片化は，種子や花粉を広く分散させるために動物に依存している植物をも絶滅させる。回廊の位置は，森林火災のリスク，要となる種の移動パターン，地形的困難，生息地の状態，人間の影響，最狭部の幅などの通路の形状など，多くの要因のバランスを考慮して選択された。最長の回廊は 76 km の北回廊であり，最短はプルムセングラ国立公園と北回廊の間を結ぶ 16 km である。

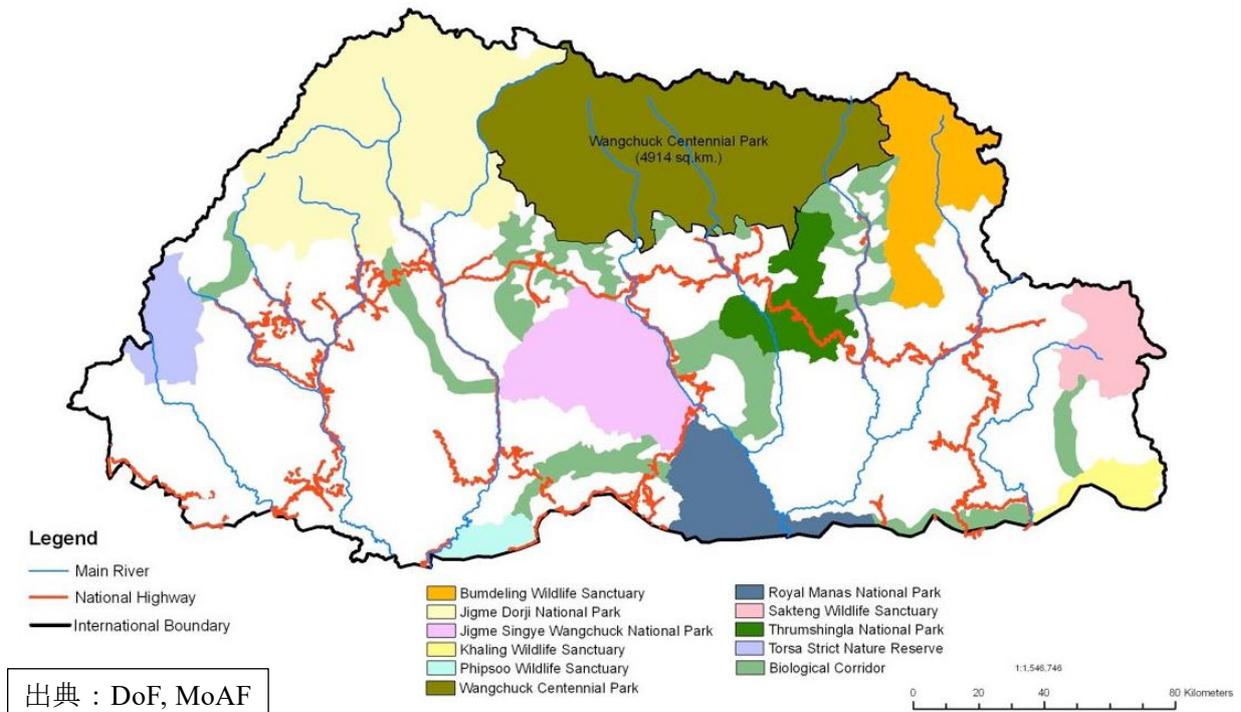


図 1-5 保護区

環境の保全は GNH の 9 つの領域の 1 つである。さらに、憲法は、ブータンの総国土面積の最低 60% が永遠に森林に覆われていることを要求している。地理的に、ブータンはヒマラヤ東部の生物多様性ホットスポットの一部を形成している。森林はブータンの主要な生態系であり、国土面積の 71% が森林に覆われ、さらに 10.43% が低木に覆われている。国立公園、野生生物保護区、生物学的回廊などの形で保護されている森林の総面積は、総土地面積の 51.44% に相当する。農業生態学的に、ブータンには標高範囲と気候条件が異なる 6 つの地帯がある。ブータンの水生生態系は、主に河川、湖、湿地帯、温泉で構成される。ブータンには 5,600 種以上の維管束植物が記録されており、そのうち約 94 パーセントが在来種であり、約 144 種がブータンの固有種である。200 種以上の哺乳類が確認されており、そのうち 27 種が世界的に絶滅の危機にある。さらに、これまでに 739 種の鳥が記録されており、そのうち 18 種が世界的に絶滅の危機にある。(NBSAP Bhutan 2014)

1.6. インフラストラクチャー

1.6.1. 輸送

(1) 道路

ブータンは内陸国であるため、国内および近隣のインドの州への旅客および貨物の主要な輸送手段は道路輸送である。13 本の 1 級国道（1 本のアジアハイウェイを含む）と 11 本の 2 級国道があり、これらの総延長は 2,574 km である（図 1-6）。現在、既存の自動車道路網の全長は約 12,000 km である。政府は道路網の改善によって国内のより孤立した地域を積極的に開こうとしているが、実際には道路インフラは限られている。



図 1-6 道路網

路面交通局（RSTA）は道路インフラの効率と品質を改善し、交通規則の監督を強化する目的で、1997年に設立された。道路局（DoR）は、その目的のために専任の全国的な労働力を使用して、道路の維持管理作業を実施している。

ブータンの道路と橋梁インフラは、活動的なテクトニクス、高いヒマラヤ山岳地の地勢および崩壊しやすい地形のために、地震、洪水および地滑りに対して脆弱である。5月から8月にかけてのモンスーン季節には、道路はしばしば地滑りや泥滑りによって塞がれる。2車線のいくつかの幹線国道を除き、ほとんどの道路は狭く、大型車両やトレーラーは通行不可能である。海上コンテナは国境の町、Phuentsholing で荷下ろしされ、国の内部へ輸送するために、貨物はより小さなトラックに積み替えられる。（LCA ウェブサイトから）

(2) 港

ブータンは内陸国であり、海上貨物による実質的にすべての輸入をブータンから約 700 km 離れたインドのコルカタ港に依存している。ブータンは、コルカタ港からのすべての輸入貨物を容易にするために、コルカタに税関を置いている。

ブータン政府は、プンツォリンに 1 つの小さなドライポートを建設する計画をもっている。ドライポートが稼働すると、ほとんどのトラックがドライポートに迂回されるため、現在の通関場所の混雑が緩和されると期待される。また、プンツォリンの交通渋滞も緩和されると予想される。

(3) 空港

ブータンではパロに唯一の国際空港がある。2 つの航空会社が、インド、ネパール、タイを往復する国際線を運航している。Drukair（ロイヤルブータン航空）は、1981年にブータン政府によって設立されたブータンのフラッグシップ会社である。ブータン航空は、2011年に設立された民間航空会社である。

パロ国際空港は標高 2,243m の深い谷間にあり、周囲の山稜は標高 5,500m にもなる。したがって、世界で最も着陸が難しい空港の 1 つとされている。

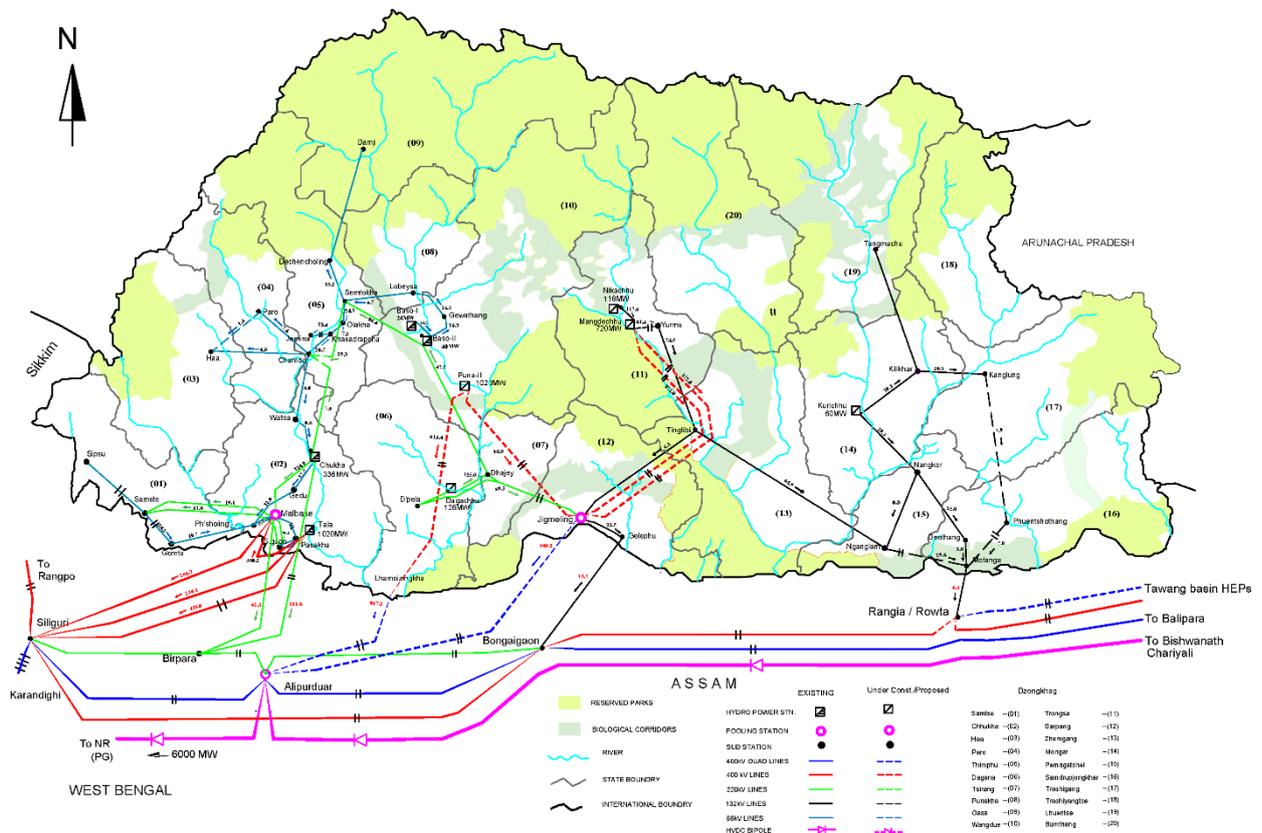
(4) 鉄道

ブータンには鉄道システムは存在しない。非常に山岳的な地形特性および頻繁な土砂崩れと地震のリスクによる不安定な地形のために、ブータンで鉄道システムが建設される可能性はほとんどない。

1.6.2. 電力

21 世紀初頭には、ブータンの全エネルギー消費の約 70% は家計部門であった。薪を使用した加熱と調理は特に総エネルギー消費量の 70~90% を占め、家庭用エネルギー消費量のほぼ 100% を占めていた。対照的に、ブータンの商業活動は、主に水力発電（約 97%）、一部の化石燃料ベースの火力（約 3%）、および最小量の他の化石燃料によって支えられていた。今日まで、ブータンの電気エネルギー供給は事実上完全に水力発電であった。気候変動の中での水の供給の脆弱性のため、ブータン政府は 21 世紀初頭に太陽光、風力、バイオガスなどの代替エネルギーの探索を始めた。

ブータンでは 4 つの大型水力発電設備およびいくつかの小型と極小型の水力発電機が稼働しており、さらにいくつかのサイトが開発中である (図 1-7)。ブータンの小規模および小水力発電所の多くは、主要な電力網から切り離されたままの遠隔地の村に電力を供給している。ブータンはインド政府と協力していくつかの水力発電プロジェクトを実施しており、その電力が国家間で取引されることで、水力発電はブータンの GDP に最大に貢献している。ブータンの多くの水力発電所は夏季には需要をはるかに上回る電力を供給するものの、乾燥する冬季および増加する燃料消費需要のために、ブータンはインドからエネルギーを輸入している。



出典：DHPS, MoEA (2018)

図 1-7 電力網

1.6.3. 物流サービス

(1) 電話

ブータンの通信には、電話、携帯電話、ラジオ、テレビ、インターネットが含まれる。国際通信を扱う Intelsat 衛星の衛星地球局が 1 か所にある。国有の会社であるブータン放送局は、国内で最初で唯一のテレビ放送局である。現在 5 つの民間ラジオ局が放送を行っている。インターネットサービスは 1999 年に始まり、携帯電話サービスは 2003 年に始まった。

ブータンには 2 つのインターネットサービスプロバイダー (ISP)、国営企業であるブータンテ

レコムと民間企業であるタシセルがある。両社は共に、さまざまなリース回線、ブロードバンドとモバイルデータを競争力のある価格で提供している。ほとんどの企業は、この2つのISPプロバイダーからインターネット接続サービスを購入している。両ISPプロバイダーの帯域幅は最大30 mbpsであるが、全20のゾンカクで4 GBのデータが利用できる。携帯電話のSIMカードは容易に利用でき、データプランは非常に信頼性が高く、簡単に利用できる。

ブータンテレコムはブータンで最大のモバイルネットワークプロバイダーであり、すべてのゾンカクとサブ地区を網羅しており、全国のカバー率は95%である。Tashicellはすべてのゾンカクといくつかのサブ地区を網羅しているが、全国のカバー率は75%である。両事業者は顧客へのサービス品質を向上させるために努力している。

(2) 燃料

ブータンへのすべての燃料は、国内の3つの民間販売業者であるブータン石油会社、ドゥルック石油会社、ダムチェン石油会社と国営企業の国家貿易会社を通じて、インディアンオイル会社（59%シェア）とバーラト石油会社（41%シェア）により供給されている。これらの販売業者は、全国の57のガソリンスタンドにサービスを提供している。ブータンにおける燃料の品質と価格は、経済省の管轄下にある貿易局（DoT）によって規制されている。すべての3つの販売業者はDoTが定めた同一価格で提供している。

(3) 労働者

ブータンの肉体労働者は、道路建設やその他の政府や民間のインフラ建設など、建設部門で主に利用されている。人口が少なく、多くの肉体労働を必要とする農業国であることを考えると、国内の肉体労働者は深刻に不足しており、ほとんどの肉体作業は主にインドからの外国人労働者によって行われている。

1.7. 地質

1.7.1. 地史

ヒマラヤ造山帯は典型的な大陸-大陸衝突帯，つまりインドプレートとユーラシアプレートとの約 5,500 万年前の衝突による収束プレート境界である (Hodges, 2000; Mukherjee et al., 2013)。

約 2 億 2,500 万年前，インドはオーストラリアの沖合にある大きな島であった。テチス海と呼ばれる巨大な海がインドとアジア大陸を隔てていた。約 2 億年前にパンゲア超大陸が分裂し，インドはアジア大陸に向けて 100 年で 9m のペースで北上を始めた。4,000~5,000 万年前にインドがアジアに激突した頃，北上スピードはその半分程度に減速した。衝突と関連する移動速度の減速はヒマラヤの急速な隆起の開始と解釈される。両方の大陸が同じ密度をもつので片方のプレートはもう片方に沈み込めない。プレートに作用する圧力は上方への衝上によって軽減され，水平に 2,900km 広がる尖ったヒマラヤの峰々を形成した (図 1-8)。

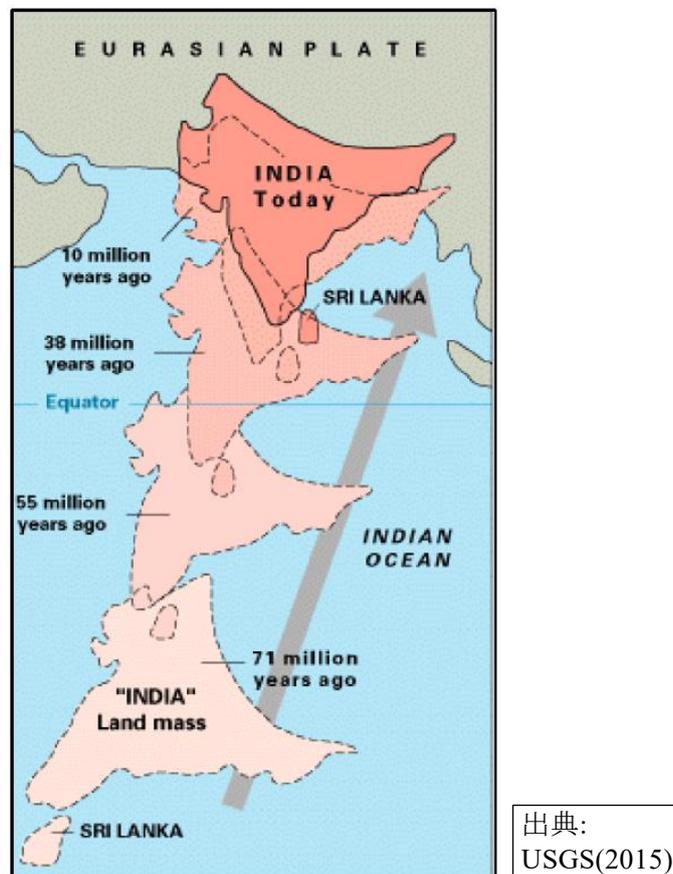


図 1-8 インドプレートの移動変遷

ユーラシアプレートとインドプレートが衝突したことで，アジア側が地層を乗り越えながらインド側にゆっくりと乗り上げ始めた。インドプレートとユーラシアプレートの地殻中部での境界は主ヒマラヤ衝上断層 (MHT) と呼ばれる。地表ではこの構造は異なる時期に形成した 3 つの異なった衝上断層として現れる。初期段階で衝突と MHT に沿ったプレートの動きによってインド地殻から古く熱い岩石の輸送をもたらし，比較的若い岩石の上に定置した。この地層の不連

続は主中央衝上断層（MCT）と呼ばれる。古く熱い岩石を上昇させる MCT の変動が継続する一方でこのテクトニックユニットを上昇させる MHT の変動も継続した。MCT の活動が終了した時期にはいまだ論争があり、走向によって変化するにもかかわらず、ブータンでは約 1000 万年活動したと考えられている。

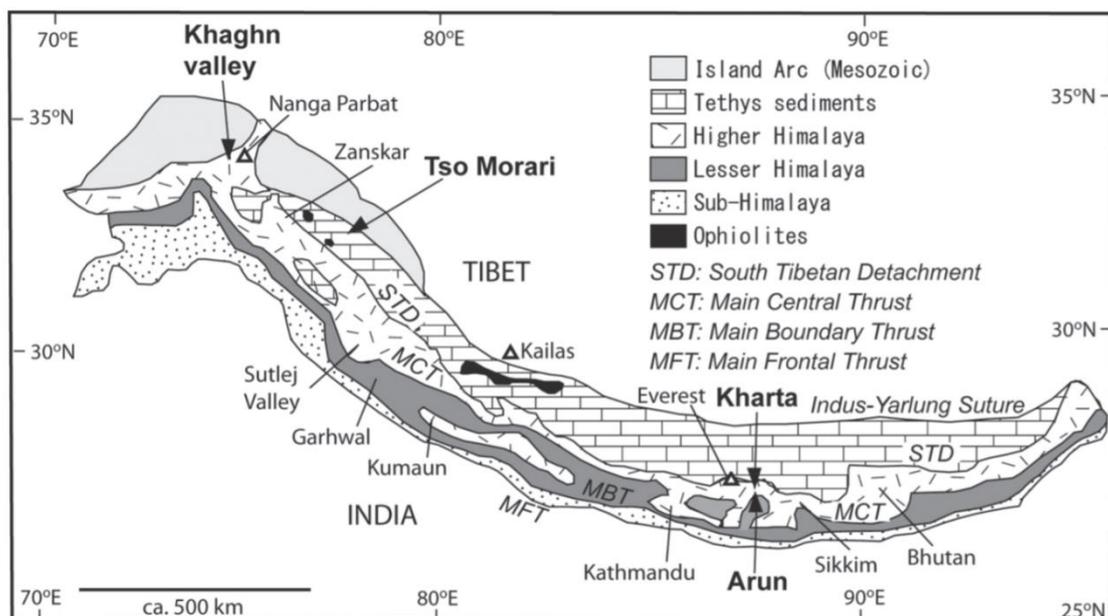
同様に、次の段階では変堆積岩や堆積岩を若い堆積岩の上へ定置する MHT から分岐する主要断層を主境界衝上断層（MBT）と呼ぶ。MCT のようにこの構造はプレートの短縮に寄与し、その形成以来上昇させている。

ヒマラヤで最も若く活動的な構造は主前縁衝上断層（MFT）である。しばしば二つのプレートの衝突境界の代理となる。この構造に沿って最大の短縮が起こっている。先に活動した断層（MCT, MBT）のように、MFT も次第に上昇を始め、他のより若い衝上断層が MHT から分岐し始めている。

1.7.2. 構造

ブータン国はヒマラヤ山脈の南東山麓に位置し、インド国境南端部の標高 100m の低地帯から中国国境北端部の標高 7,550m まで、標高差の大きい急峻な地形を有する。

ブータンのテクトニックセッティングや地質についていくつかの調査がある（例えば Gansser, 1983; Bhargava, 1995; Long et al., 2011）。地質構造的には、ブータンはヒマラヤ変動帯の東部に位置し、ヒマラヤ弧と平行にほぼ東西に延びる 3 つの大きな衝上断層帯と、それに画された 4 つの地質構造帯からなる。南から北へ順に、衝上断層帯は主前縁衝上断層（MFT）、主境界衝上断層（MBT）、主中央衝上断層（MCT）が分布し、これらに挟まれる地質構造帯はサブヒマラヤ帯（Sub-Himalaya）、レッサーヒマラヤ帯（Lesser Himalaya）、高ヒマラヤ帯（Greater Himalaya）と呼ばれる。高ヒマラヤ帯の上部は南チベットデタッチメント断層（STD）と呼ばれる正断層によってテチス堆積物（Tethyan Himalaya）帯と区切られる。（図 1-9 : 酒井ほか(2017), 図 1-10 : Yin(2006)）。



出典：酒井ほか(2017)

図 1-9 ヒマラヤ山地の地質構造帯

主前縁衝上断層（MFT）は、高ヒマラヤ帯とインドプレート下部地殻との境界をなす主ヒマラヤ衝上断層（MHT）の浅部の水平断層である。MFT はサブヒマラヤ帯のシワリク層群とインド北部の第四紀堆積物の境界である。MFT は基本的には北傾斜で南落ちの逆断層である。この北側には撓曲による丘陵地（標高 1,800m 以下）をなす新生代のシワリク（Siwalik）層が分布する。シワリク層は後ヒマラヤ造山のモラッセ堆積物であり、ヒマラヤ山脈から供給された碎屑物で形成された砂岩、泥岩と礫岩からなる。

主境界衝上断層（MBT）はレッサーヒマラヤ帯（標高 1,000～2,000m）の南側境界をなす北傾斜の逆断層である。レッサーヒマラヤ帯は原生代から古生代の弱変成堆積岩類であり、珪岩、千枚岩、ドロマイト、砂岩、頁岩、粘板岩、石炭などからなる。

主中央衝上断層（MCT）は高ヒマラヤ帯（標高 1,500m 以上）の南側境界をなす北傾斜の逆断層である。高ヒマラヤ帯は原生代から古生代の変成堆積岩類であり、珪岩、片岩、泥質片麻岩、砂質片麻岩、ミグマタイトなどからなる。高ヒマラヤ帯は岩相と構造によってさらに構造的上部と構造的下部の 2 つに分類される。MCT とカクタン衝上断層（KT）に挟まれた構造的下部高ヒマラヤ帯は新原生代～オルドビス紀（<1,000～443.8Ma）の変堆積岩と若い小規模な優白質花崗岩質貫入岩からなる。KT と STD に挟まれた構造的上部高ヒマラヤ帯は高変成度変堆積岩類と若い大規模な優白質花崗岩質貫入岩からなる。

高ヒマラヤ帯の北側はヒマラヤ山地北側斜面に当たり、広くテチス堆積物帯が分布するが、ブータン国内ではテチス堆積物帯の分布は北端部に限られる。両帯の境界は北傾斜の低角の正断層であり、南チベットデタッチメント断層（STD）と呼ばれる。テチス堆積物帯は原生代から中生代の海成堆積物であり、頁岩、石灰岩などからなる。

ブータン国の北半部の主に高ヒマラヤ帯中には、中新世中期に活動した優白質花崗岩質の貫入岩類が分布している。

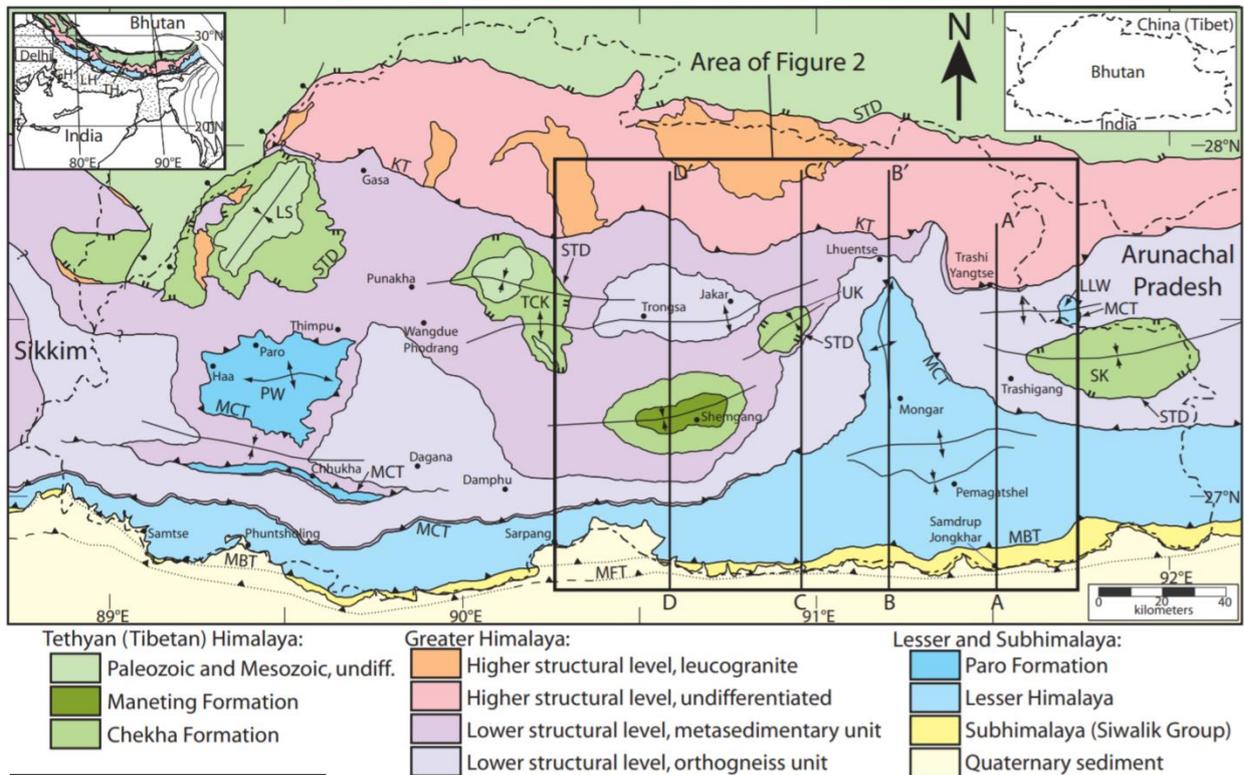
1.7.3. 地質

ブータン全域の地質については、これまでにいくつかの地質図が縮尺 50 万分の 1 で公刊されている。最初の地質図は 1983 年にインド地質調査所が発行した *Geological and Mineral Map of Bhutan* で、広大な北部山岳地帯は未調査で残されたが、同じ年に出版された Gansser (1983) の地質図によって、北部山岳地帯の空白域が記載された。さらに 1991 年には、ESCAP のコンパイルによる地質図が公刊された (ESCAP, 1991)。ブータン東部から中央部にかけては、これら地質図の地質分布がほぼそのまま現在まで踏襲されている。ただし、Gansser (1983) の地質図で変成岩中の石灰岩として図示された岩石のかなりの部分は、珪岩や優白色花崗岩を誤認しているといわれる (Davidson et al., 1997)。インド地質調査所は 1995 年に *Bhutan Himalaya, A Geological Account* (GSI Special Publication 39, 著者 Bhargava) を出版した。最新の地質図は、2011 年に Long ほかによって新しい構造データを加えてコンパイルされた。

Long ほか (2011) によるとブータンの層序は新しいものから順に以下ようになる。

- (i) サブヒマラヤ帯 (Subhimalaya zone)
 - ・シワリク (Siwalik) 層群
- (ii) レッサーヒマラヤ帯 (Lesser Himalaya zone)

- ・ Gondwana (Gondwana) 層群
 - ・ ディウリ (Diuri) 層
 - ・ バクサ (Baxa) 層
 - ・ ジャイシダнда (Jaishidanda) 層
 - ・ ダリナーシュマール (Daling - Shumar) 層群
 - ・ パロ (Paro) 層
- (iii) 高ヒマラヤ帯 (Greater Himalaya zone)
- ・ 構造的な上部高ヒマラヤ帯
 - ・ 構造的な下部高ヒマラヤ帯
- (iv) テチス堆積物帯 (Tethyan Himalaya zone)
- ・ マネティン (Maneting) 層
 - ・ チェカ (Chekha) 層



出典：Long et al. (2011)

図 1-10 ブータンの簡略地質図

サブヒマラヤ帯は中新世～鮮新世のシワリク層群からなり，活動的なヒマラヤ造山帯から流れた前地盆地堆積物である。シワリク層群は下部，中部，上部に分類され，シルト岩や粘土岩から砂岩，礫岩へと上位で粗粒化する。

レッサーヒマラヤ帯はインドクラトンの北縁で堆積した碎屑岩や炭酸塩岩からなる。レッサーヒマラヤの大半は緑色片岩相に変成している。レッサーヒマラヤ帯は6ユニットからなり，層序の連続性から二つに分類される。(1) 古原生代下部レッサーヒマラヤと(2) 新原生代～古生

代上部レッサーヒマラヤである。下部レッサーヒマラヤは古原生代ダリナーシュマール層群からなる。ダリナーシュマール層群は珪岩のシュマール層と上位の片岩、千枚岩、珪岩からなるダリナー層の2つからなり、緑色片岩相の低温部分に変成している。シュマール層は厚い層状珪岩からなり地層間に片岩や千枚岩を挟む。ダリナー層は漸移的にシュマール層に載り、珪岩を挟みながら緑色千枚岩、片岩で構成される。花崗岩質正片麻岩体はダリナーシュマール層群の様々な層準にみられる。新原生代～古生代上部レッサーヒマラヤはバクサ層群、ジャイシダングラ層、ディウリ層、ゴンドワナ層群の4つの地層からなる。新原生代～カンブリア紀(?)のバクサ層群は粗粒～礫質珪岩からなり、レンズ状、溝斜交成層構造の暗灰色千枚岩、ドロマイトを伴う。新原生代～オルドビス紀(?)のジャイシダングラ層はMCTの下位でダリナーシュマール層群の上に不整合で重なり他の上部レッサーヒマラヤには連続しない。ジャイシダングラ層は黒雲母に富み局所的にザクロ石を含む片岩からなり黒雲母に富む珪岩を挟む。ディウリ層は中礫のダイアミクタイトで構成される。約390Maの若い碎屑性ジルコンの年代ピークは最大でデボン紀の堆積年代を示す。ゴンドワナ層群は砂岩、炭質シルト岩、頁岩及び石炭からなり、ペルム紀の化石を産する。パロ層はパロ、ハ、ブナカ、ティンブーにまたがる地域に分布する。パロ層は高変成度変堆積岩、石灰質岩から構成される。これらには石灰珪質岩や大理石、珪岩、石英-ザクロ石-十字石-藍晶石片岩と少量の長石質片岩と両雲母花崗岩質正片麻岩体を含む(Tobgay et al., 2010)。正確な構造的類似性はまだ不確かであるが、岩相と上位の高ヒマラヤより低い変成度であることからシュマール層上位の珪岩やバクサ層下位の炭質岩に関連すると考えられる。

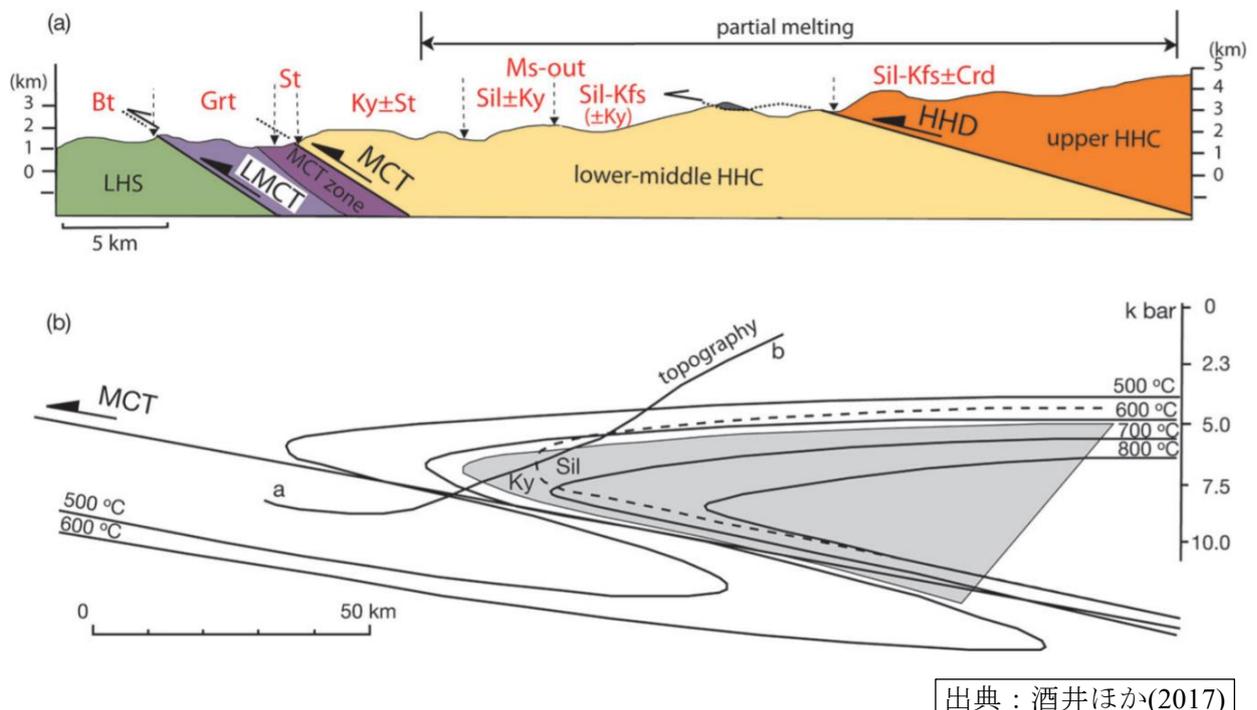
高ヒマラヤ帯は角閃岩層高温部に相当する変火成岩と変堆積岩、造山帯形成時の貫入岩からなる。変堆積岩の原岩の年代は新原生代から古生代の範囲にわたる。造山運動のいたるところで、カンブリア紀～オルドビス紀正片麻岩体が高ヒマラヤ帯中に存在する。カンブリア紀～オルドビス紀の広範囲な変成作用と火成活動は古生代初期の造山活動の証拠と考えられている。高ヒマラヤ帯は構造的に上部と下部に分類される。構造的な上部はミグマタイト質正片麻岩と変堆積岩類、中新世優白質花崗岩で構成される。構造的な下部は下位の正片麻岩と上位の変堆積岩類からなる。両者は全体にわたって部分熔融構造(優白質部は花崗岩組成)を示す。高ヒマラヤ帯の正片麻岩は花崗岩質正片麻岩で構成され、変堆積岩類を挟む。高ヒマラヤ帯の変堆積岩類は珪岩、片岩、準片麻岩で構成される。

テチス堆積物帯は新原生代～始新世の堆積物からなる。北西インドとネパールでのカンブリア紀～オルドビス紀の上昇、浸食、粗粒碎屑物の堆積から古生代初期の造山活動がテチス堆積物にも関係していると考えられている。このテクトニックな活動はインド北縁のパッシブマージンとして継続し、古テチス海の南縁に堆積したオルドビス紀～石炭紀陸棚堆積物や新テチス海の南縁に堆積したペルム紀～中生代堆積物を表す。新テチス海は古生代後期のインドの分裂とアジアへの地殻断片の北上の後に起こった。チェカ層は厚い層状珪岩で構成され、局所的に礫質珪岩や黒雲母-白雲母-ザクロ石片岩を伴う。マネティン層はグラファイト-黒雲母-ザクロ石千枚岩からなる。5つのテチス堆積物帯の分布域のうち4つはSTDより上位のクリッペと考えられている。

レッサーヒマラヤ帯と高ヒマラヤ帯の変成タイプは、大陸衝突帯の広域変成作用を特徴づける中圧型変成帯である。高ヒマラヤ帯の変成岩類(角閃岩相高温部～グラニュライト相低温部)は、レッサーヒマラヤ帯の変成岩類(緑色片岩相～角閃岩相高温部)の上にMCTに沿って覆い

かぶさり、構造的に下位から上位に向かい変成度が上昇する逆転温度構造になっている。

これらの逆転温度構造は、東西約 2,000km にわたって、MCT にほぼ平行に分布する。MCT より下位のレッサーヒマラヤ帯では、MCT に近いほど変成度が高く、下位から上位へ緑泥石帯→黒雲母帯→ザクロ石帯（→十字石帯）と変化する（約 330°C から 620°C）。逆転温度構造は、高ヒマラヤ帯の内部へ続き、藍晶石帯→珪線石/カリ長石帯（→堇青石帯）と変化する（約 630°C から 860°C）。藍晶石は、MCT 付近や高ヒマラヤ帯下部に出現する。高ヒマラヤ帯中~上部では、白雲母は脱水溶融反応によって消滅しており、高ヒマラヤ帯下部に比べると変成温度は明確に高い。高ヒマラヤ帯最上部は、STD に沿って非~低変成度のテチス堆積物で覆われており、再び変成度は低くなる（図 1-11：酒井ほか, 2017）。



出典：酒井ほか(2017)

図 1-11 ヒマラヤ変動帯の地質－変成帯－変成温度の模式断面図

バクサ層群とシュマール層は緑泥石帯の変成作用で特徴づけられ、黒雲母の成長に伴って次第に片岩に移行し、続いてザクロ石雲母片岩、最終的に片麻岩に至る。狭い分布範囲にもかかわらず、これらの変成帯は南部の低変成度変堆積岩から北部で片麻岩に覆われるまで連続する。中西部ブータンでブラックマウンテンとパロ層の変堆積岩類の大半は緑色片岩相に属し、アルマンディン角閃岩相や十字石、藍晶石、珪線石を含む高変成度のティンパー片麻岩へ移行する。中部ブータンの変堆積岩は黒雲母帯、ザクロ石帯の変成作用を示す。含十字石－石英－雲母片岩はザクロ石帯の狭い範囲に分布し、長石化作用を被ることにより片麻岩に移行する。北部のテチス堆積物は緑泥石帯を越えない低い変成度を示す。しかしながら、中部ではティンパー片麻岩に接して花崗岩化した境界への変化を示す。黒雲母斑状変晶もみられ、これは中部ブータンではテチス堆積物の特徴であると考えられている。複雑な造山運動により先カンブリア紀後期の結晶質基盤

岩と変堆積岩，その後の黒雲母花崗岩，続く若い年代の累進的ヒマラヤ変成作用を被った岩石が露出する。中部の古い岩石は新第三期のヒマラヤ変成作用によって完全に再結晶している。変成作用は主に最後のヒマラヤの変成相を示しており，先行する先カンブリア紀変成作用は示していない。対照的に地質構造は様々な場所で古い構造の再活性化を示す構造を残している（ESCAP, 1991）。広域変成作用以外では 10~20Ma の若い優白質花崗岩が局所的に顕著な接触変成作用を引き起こしている。

2. 鉱物資源

ブータン国では鉱物資源産業は未発達と言ってよく、小規模採掘業者がほとんどの鉱物資源を採掘・生産しているのが現状である。一方で、いくつかのブータン国有企業も鉱物資源を生産し、鉱業界をリードしている。Druk Holding & Investments Ltd. (DHI) はブータン政府の商業機関として 2007 年に設立され、現在は製造業、エネルギー、天然資源、金融、通信、航空、貿易および不動産セクターにおいて 21 の企業を所有する。このうち、鉱物資源に係る企業は 6 社あり、その企業リストは 3.3 節に示した。

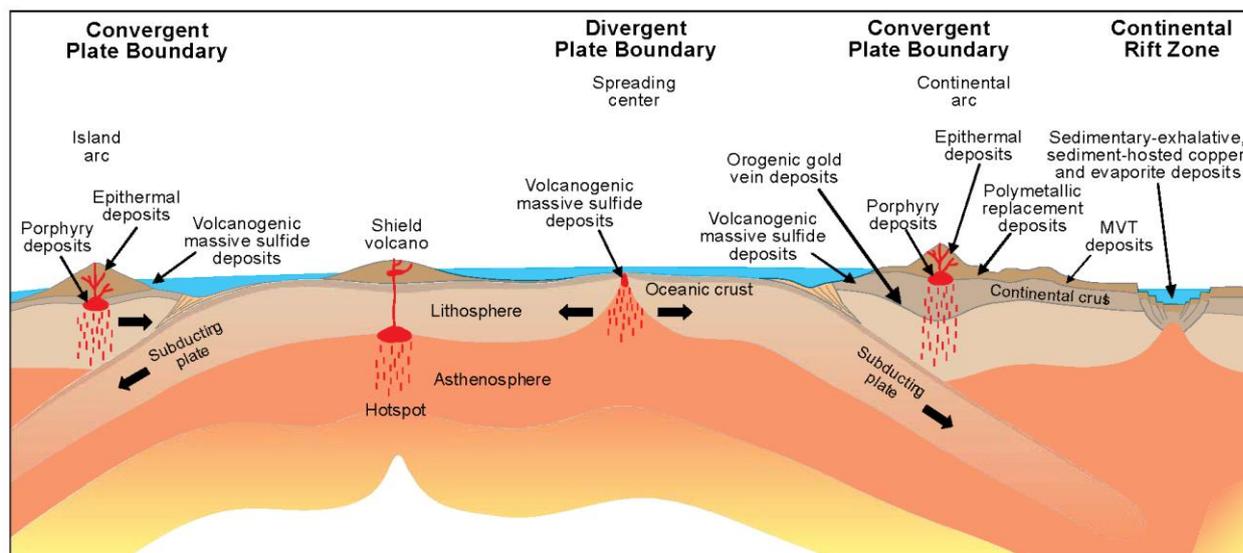
以下に、金属鉱物資源、工業原料資源（非金属鉱物資源）とエネルギー鉱物資源とに分けて記述する。

2.1. 金属鉱物資源

プレートテクトニクスは鉱物と岩石の形成過程において大きな役割を果たしている（USGS, 2005）。プレート境界は 4 種類ある。

- ✓ 発散境界：プレートが互いに離れることによって新しい地殻が形成される場所
- ✓ 収束境界：プレートが他のプレートの下に潜ることで地殻が破壊される場所
- ✓ トランスフォーム境界：プレートが互いに水平移動し生産も破壊も起きない場所
- ✓ プレート境界帯：境界がはっきりと定義できずプレートの相互作用の影響が明らかではない幅の広い地帯

主要な鉱物鉱床タイプのモデルと模式的な地質セッティングを図 2-1 に示す。



出典：Open File Report of USGS (2005)

図 2-1 プレート境界にある主要な鉱物鉱床タイプ

鉱物鉱床は様々なテクトニック地質セッティングに産出する。様々な鉱物鉱床タイプはある限定されたテクトニックセッティングでみられる。テクトニックな作用や地質的作用の結果とし

である場所で形成された鉱床が他の地理的位置に運ばれることもある。そこで、鉱物鉱床の分布の理解にはテクトニックな過程や広域地質の調査が重要である。

2.1.1. ブータン国で期待される鉱床タイプ

ヒマラヤ山脈での鉱化作用についての研究を参考にするとブータン国内である種の鉱化作用が期待できる (e.g. Hou and Cook, 2009; Hou and Zhang, 2014)。図 2-2 にテチス鉱床成因区での衝突造山運動の具体的なセッティングに関連した鉱物鉱床を示す。

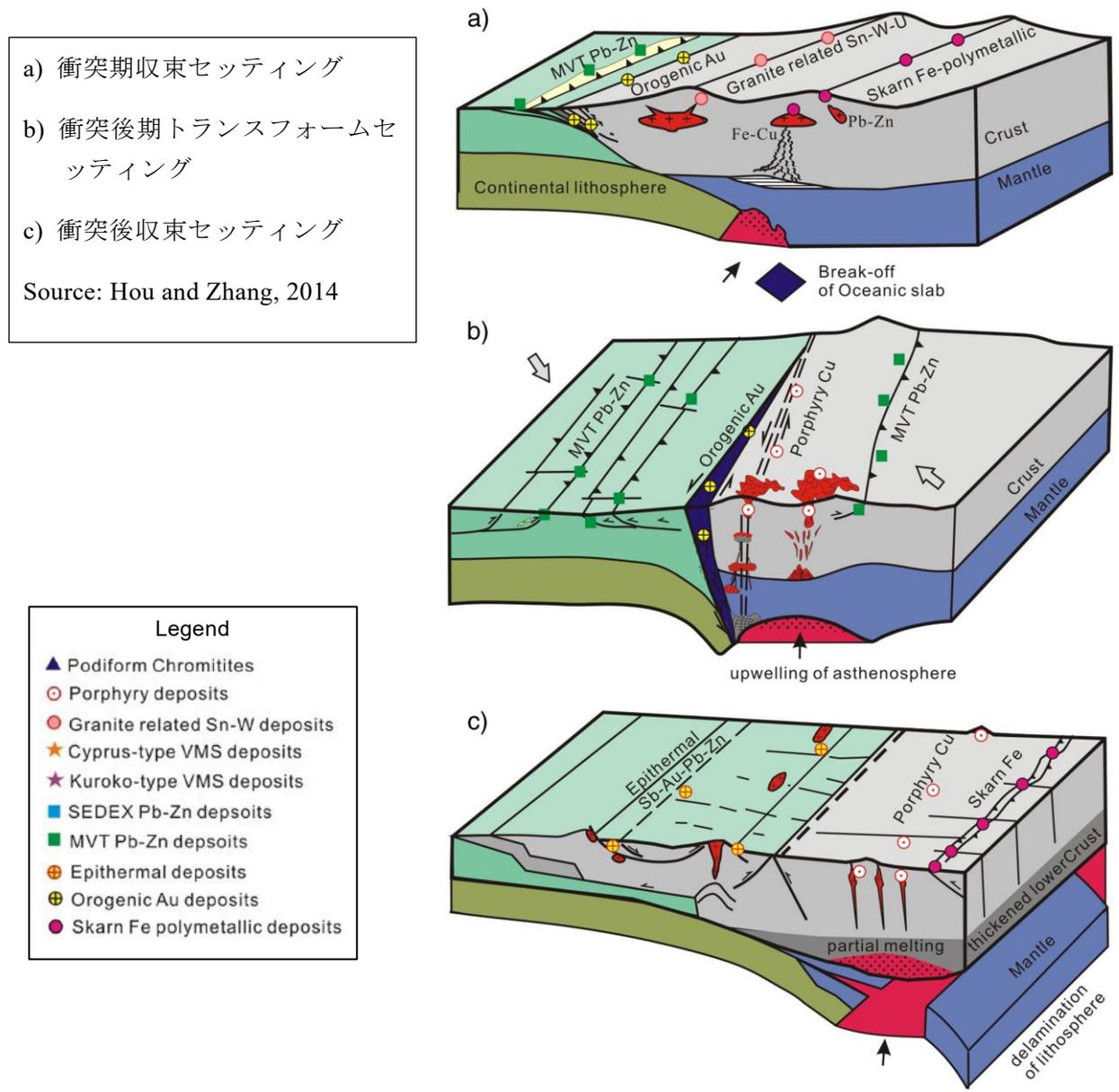


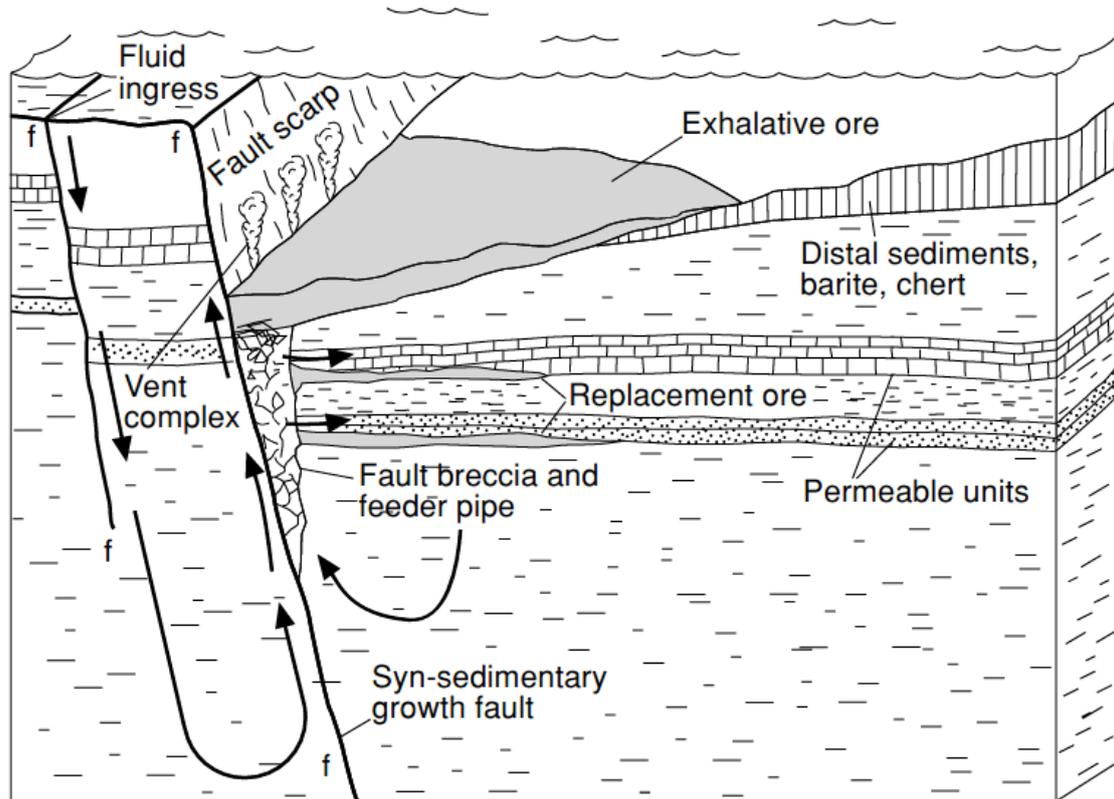
図 2-2 テクトニック-火成作用進化と大陸衝突造山システムでの典型的鉱床

鉱床成因論では、大陸衝突セッティングで地殻の変堆積岩から生み出される S タイプ花崗岩ではしばしば錫とタングステン、ウランを含む金属の熱水鉱化作用を生じる (Hou and Zhang, 2014)。それらはしばしばスカルン型鉱床として産する。浅熱水性アンチモン—金鉱床、特にテチス堆積物と優白色花崗岩中の中ものは衝突後テクトニック火成作用進化に関係してみられる。プータンの地質は衝突過程の変成作用に関連することから、造山帯型金鉱床の可能性が見込まれる。浅熱水鉱床や造山帯型金鉱床を起源とした漂砂型金鉱床も存在するかもしれない。他の期待される鉱床は SEDEX や MVT を含む堆積岩内ベースメタル鉱床である。これらは火成岩類の欠如や堆積盆地性塩水の活動といった点で類似する。造山帯内部の短縮によって形成された衝上断層—ナップシステムがトランスフォームセッティングの前地盆地に発達し、地殻に由来する金属成因区 (亜鉛, 鉛, 銀) を規制する。そこでは深部のデタッチメント断層に沿って移動した堆積盆地性塩水の濃集と放出によって多くの堆積岩内含銀ベースメタル鉱床が形成される (Hou and Cook, 2009)。大量の花崗岩質貫入岩類及び少数の塩基性貫入岩類は熱水性鉱床とペグマタイト鉱床を生じさせた可能性がある。Laurence (2005) を基にそれぞれの鉱床タイプを以下に説明する。

(1) 堆積岩内ベースメタル鉱床 (SEDEX, MTV)

噴出堆積鉱床 (SEDEX) は亜鉛と鉛に富み、銅に乏しく、通常バリウムと銀を伴う。海底に噴出した熱水流体が関与するが、火成活動との直接的な関係はみられない。SEDEX 鉱床は世界の鉛、亜鉛資源の半分以上を占める。これらは一般にクラトン内リフト盆地に形成され、火山岩に直接関連しない化学的堆積物や海洋砕屑物に胚胎する。熱水系の研究は堆積時の噴出と交代プロセスを示唆し、堆積性層状鉱床の起源についての論争をある程度は無視できる。この鉱床タイプは鉱化プロセスを直接研究できる優位性から現代の類似した鉱床から議論できる。SEDEX 鉱床は紅海やカリフォルニアのソルトン湖周辺の地溝帯に関連した熱水活動の点から考察できる。

ミシシッピバレー型鉱床 (MVT 鉱床) は SEDEX に似て堆積盆地内での流体の循環と金属の移動/沈殿を起源とする。SEDEX 鉱床のように続成作用と同時形成ではなく、MVT 鉱床は明らかに後生的であり金属元素は堆積物の堆積後数千万年後に沈殿している。鉱床は比較的低温の流体 (150 度以下) から沈殿し、主に炭酸塩岩に胚胎して広く層準規制される。蛍石と重晶石を伴い閃亜鉛鉱と方鉛鉱に卓越する。多くの MVT 鉱床で方鉛鉱より閃亜鉛鉱が著しく多い。



出典：Laurence(2005)

図 2-3 SEDEX 鉱床タイプの模式断面

(2) スカルン鉱床

「スカルン」は石灰珪質鉱物（Ca ザクロ石，輝石，角閃石，緑簾石）からなる非常に硬い岩石を意味するスウェーデンの古い言葉で磁鉄鉱鉱床や黄銅鉱鉱床に関連した独特な変質組み合わせと識別されていた。スカルンは接触変成作用や広域変成作用で石灰珪質鉱物組み合わせによる炭酸塩岩（石灰岩，ドロマイト）の交代作用を示す言葉として今や世界中で使われている。スカルンの鉱物組み合わせを持つ鉱床はスカルン鉱床と言われ，接触変成作用と炭酸塩岩への花崗岩の貫入に伴った交代作用の典型的産物である。関連する金属の多様なスカルン鉱床はタングステン，錫，モリブデン，銅，鉄，鉛-亜鉛，金といったスカルン鉱床の種類に分類される。金属元素の違いは組成や酸化状態，貫入岩の成因的類似性の違いによって生じる。交代作用が貫入した深成岩体の内部か外部かによって内成スカルン，外成スカルンと呼ばれる。

大きく経済的に採掘可能なスカルン鉱床は石灰質外成スカルンに関連する。タングステンスカルンは世界のタングステン生産量の大部分を生産し，一般的には地殻の比較的深い場所に定置したカルクアルカリ貫入岩に関連する。一方，銅スカルンは浅部の斑岩貫入岩に関連し，炭酸塩岩に貫入した斑岩銅鉱床にしばしば伴われる。スカルン鉱床に関連する金属元素が多いにもかかわらず，地殻の様々な深度であるが形成プロセスは類似し花崗岩類の定置とマグマ熱水活動と呼ばれる。花崗岩質貫入岩体の関連性が常に明らかになるわけではないが，多くの場合は推定さ

れる。スカルン鉱床は一般に 3 つの一連のプロセスの結果形成される (Einaudi et al., 1981; Meinert, 1992)。深成岩の定置と結晶化初期の等化学系接触変成作用, 続く開放系交代作用とマグマ流体飽和時の変質, 最後の深成岩冷却時の天水の混入である。

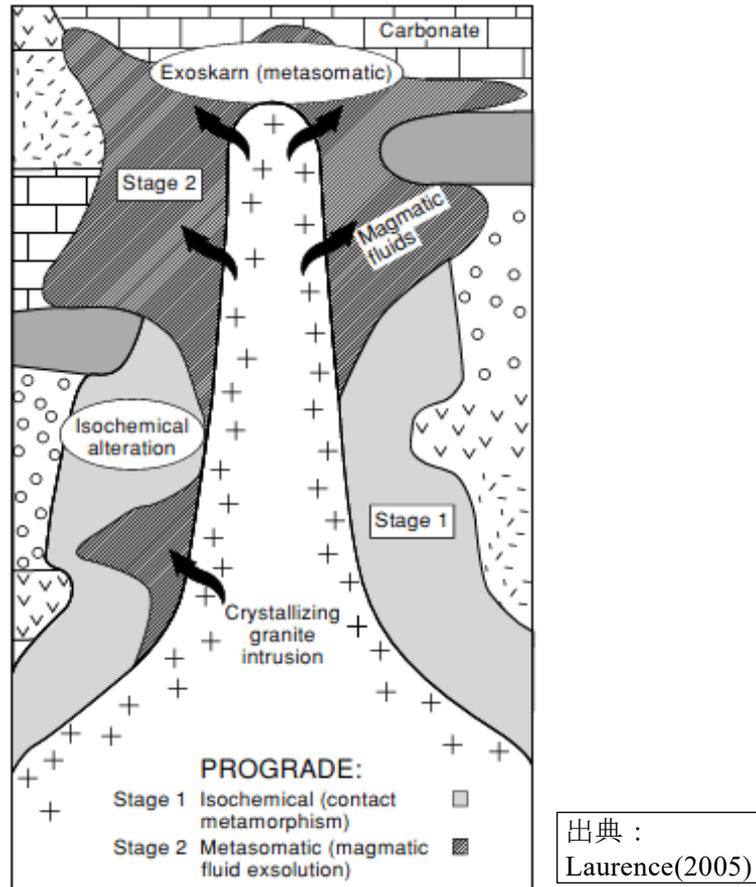


図 2-4 スカルン鉱床タイプの模式断面

(3) 造山帯型金鉱床 (オロジェニック)

多くの種類の造山帯型金鉱床があり, 一つの区分での分類は議論の余地が多い。しかしながら記載的, 体系的観点から, 分類は妥当で, 地質学的時間と地殻進化の観点からさまざまなサブタイプの識別が最善の方法しれない。始生代の造山帯型金鉱床の特徴は苦鉄質火山岩類, 変堆積岩類, 縞状鉄鉱層, 珩長質深成岩類を含む岩相に関連した多様なグリーンストーン帯に胚胎することである。母岩の変化をよそに, 流体が循環する深度に合わせて脆性, 脆性-塑性, 塑性変形として現れる高ひずみ帯に伴って常に見つかる。原生代の金鉱床は主要な造山帯に関連し, 始生代造山帯型金鉱床の形成にかかわった変成流体に似た変成流体を伴う。金鉱床は多くの場合後期造山運動で, 主要な高角衝上断層に胚胎する (Partington and Williams, 2000)。花崗岩貫入岩類とマグマ流体成分が原生代の鉱床の多くに関連する。顕生代の金鉱床は再びプレート収束境界に関連し, 緑色片岩相に変成した分厚い海底頁岩層を横切る圧縮から横ずれ圧縮せん断帯に胚胎する。

(4) 熱水鉱床

熱水鉱床のうちで浅熱水性鉱床が最も重要である。浅熱水性鉱床には高硫化型と低硫化型のふたつの対照的な鉱化形態がある。これらの用語は鉱液中の硫黄の酸化状態、化学的性質、pHについて明言し、それらは付随する変質作用にも影響する。高硫化型と低硫化型浅熱水性鉱床は火山周辺での流体進化と循環のプロセスの端成分として捉えられる。高硫化型鉱床は中心に出現し、通常火道内かその近傍に見つかる。鉱化作用を引き起こす流体は流体と揮発性成分の飽和の産物として直接マグマに由来し、鉱化環境での沸騰を引き起こす。流体は非常に酸性で (pH1~3) 酸化状態である。この酸性流体は循環の過程で火山岩や火山砕屑岩の母岩から多くの主要成分を溶脱する能力を持ち、多孔質構造と高度粘土変質作用をもたらす。一方、低硫化型では温泉や熱流量が高い地熱兆候で見られるような流体に伴われる。この流体は母岩に平衡しており、活火山に近い場合、放出されたマグマ流体と混合しそうであるが一般に天水成分に卓越する。結果として低硫化型は火山体、とりわけ天水の降下が期待される火山活動末期に形成される。一般的に火山活動の中心から離れたところに形成する。流体は中性、低塩分濃度で、高硫化型同様に鉱化帯の周囲での沸騰が期待される。

モリブデンやタングステン、錫のような金属は初期または深部で高温熱水溶液からの沈殿が示唆されている。このような溶液は深熱水と呼ばれる。理想的なプロセスでは、流体の地殻上部への浸透と中熱水溶液への冷却につれて銅、亜鉛、鉛、マンガン、銀が沈殿する。金、アンチモン、水銀のような貴金属や揮発性金属は一般に最終段階に現れ、地表近くでまだ冷却途中の浅熱水溶液から形成される。

(5) ペグマタイト

ペグマタイトは一般にマグマ水流体の存在する環境で結晶化したマグマ由来の岩石と考えられている。ペグマタイトは非常に粗粒な岩石として定義され、典型的には花崗岩に伴い花崗岩の主要造岩鉱物から構成される。多くのペグマタイトの大半を構成する石英、長石、白雲母の巨晶はしばしば工業原料として採掘される。加えて、電気石、トパズ、ベリルのような風変わりな半貴石的特徴を持つ豊富な随伴鉱物からなる。ペグマタイトには錫、タングステン、ウラン、トリウム、リチウム、ベリリウム、ホウ素、タンタル、ニオブ、セシウム、セリウム、ジルコニウムのような LIL 元素や HFS 元素が濃集する。ペグマタイトには 2 系列が識別されている。主にサブアルカリ~メタアルミナスな I タイプ花崗岩に伴う Nb-Y-F 系列と主にパーアルミナスな S タイプ花崗岩に伴うホウ素に富む Li-Cs-Ta 系列である。あるペグマタイトは小さい部分熔融の結果形成され、高変成度変成岩中のセグリゲーションと小規模な岩脈を形成するものもある。他のペグマタイトでは大規模な花崗岩貫入岩体のドーム部分に伴われ、水に飽和し、非常に分化した部分に関連する。

(6) その他

ブータン国では他の鉱床タイプも可能性がある。ひとつには漂砂鉱床がある。漂砂鉱床は堆積物作用の間に重い砕屑性鉱物が濃集したものである。金、閃ウラン鉱、ダイヤモンド、錫石、イルメナイト、ルチル、ジルコンなどを含み多くの鉱物、金属にとって重要な鉱床分類である。形成プロセスは砕屑物の沈降過程が重要であり、重い粒子と軽い粒子の分級によって形成される。沈降、流体の巻き込み、分級機構など多くの流体力学的メカニズムが多様な極小~中間の堆積環

境で異なる鉱種が濃集する原因となる。巨視的には漂砂鉱床は主に河川環境や砂浜環境で形成され、金、ダイヤモンド、錫、ジルコニウム、チタンが濃集する。

他にはラテライト鉱床がある。ラテライト鉱床は熱帯地方の激しい湿度と気温の産物として定義され、一般にカオリナイト質粘土、鉄やアルミニウムの酸化物/水酸化物に富む。ラテライトは雨水の下方浸透による変質のため層構造がよく発達し、乾季の間にはレゴリス中を湿気が移動し、しばしば表面固化物で覆われる。ラテライトはアルミニウムの産する主要な環境として経済的に重要である。ニッケル、マンガン、金、銅、白金族のような金属が濃集することもある。ラテライトは長い期間をかけて安定陸塊で形成される。

さらに、レッサーヒマラヤ帯と高ヒマラヤ帯は変成岩で構成されるので、変成作用以前にインド大陸北縁で形成された古い鉱床があるかもしれない。

2.1.2. ブータン国の金属鉱物資源

ブータン国での過去の鉱徴地調査や詳細な探鉱により小規模な鉱床や多くの鉱徴地の発見されている。それらの鉱種は、鉛-亜鉛、銅、タングステン、ベリリウム、鉄、黄鉄鉱、金、グラファイト、石炭、石膏、石灰石、石灰華、ドロマイト、雲母、滑石、燐灰岩、石綿、建築資材（頁岩、大理石、花崗岩）である。既存文献で報告されている金属鉱物資源はタングステン（W）、鉛-亜鉛（Pb, Zn）、銅（Cu）、金（Au）、希土類元素（REE）、鉄（Fe）である。これらの位置を図 2-5 に示す。生産実績のある金属鉱物資源は鉄だけであり、稼行鉱山も 1 つだけである。

投資機会調査 2006（MoEA, 2006）では全国規模の鉱物資源データの解析が報告されている。隣国のインド、中国、パキスタンのような大規模鉱山活動は第一に鉱床規模の小ささから第二に起伏の激しい不安定な環境のため現実的でない。物流の改善と冶金プロセスの発展により、ゲネハの鉛-亜鉛鉱床、ブルコラードルパニのタングステン鉱床、チェレラのグラファイト鉱床、ゴンコラの銅鉱床は稼行できる可能性がある。しかしながら、これらの鉱物を基にした中～大規模冶金産業は環境問題の観点から可能ではない。したがって、商業的に探鉱可能な金属鉱物はせいぜい選鉱を実施し製錬のため近隣国へ輸出されるものであろう。

鉛-亜鉛鉱床・鉱徴地はブータン西部のパロ層のゲネハや南部のバクサ層のラテパニーゴンバダラにみられる。鉛-亜鉛鉱化作用は鉱染、網状、裂か充填を形成して薄層やテーブル状、レンズ状、細脈網状として結晶質石灰岩やドロマイトに胚胎する。鉱化帯は層理に平行～やや平行で鉱化作用は構造規制されると考えられる。

タングステン鉱床・鉱徴地はブータン中央部や南部でみられ、ブルコラードルパニ地域のティンパー層やピンサ地域のチェカ層で報告されている。灰重石を含む石英脈は部分的～完全にスカルンが発達した石灰珪質岩に胚胎する。これらの鉱化作用は花崗岩の貫入による石灰珪質岩の交代作用によるスカルン型鉱床と推定される。

銅鉱床・鉱徴地はブータン南西境界～南部～中部～南東にかけてゴンコラ-ノブジチュのマナティン層やサムチェカッパーベルト（例えばブンティン）のバクサ層、ゴムチュのシュマール層に胚胎する。石英土炭酸塩脈は銅鉱物として黄銅鉱を伴い、石英炭酸塩岩や石英-緑泥石-セリサイト千枚岩、珪岩、石灰質千枚岩、塊状角閃岩に胚胎する。調査は十分ではないが、鉱化作用は熱水活動に関連し層序に調和的である。

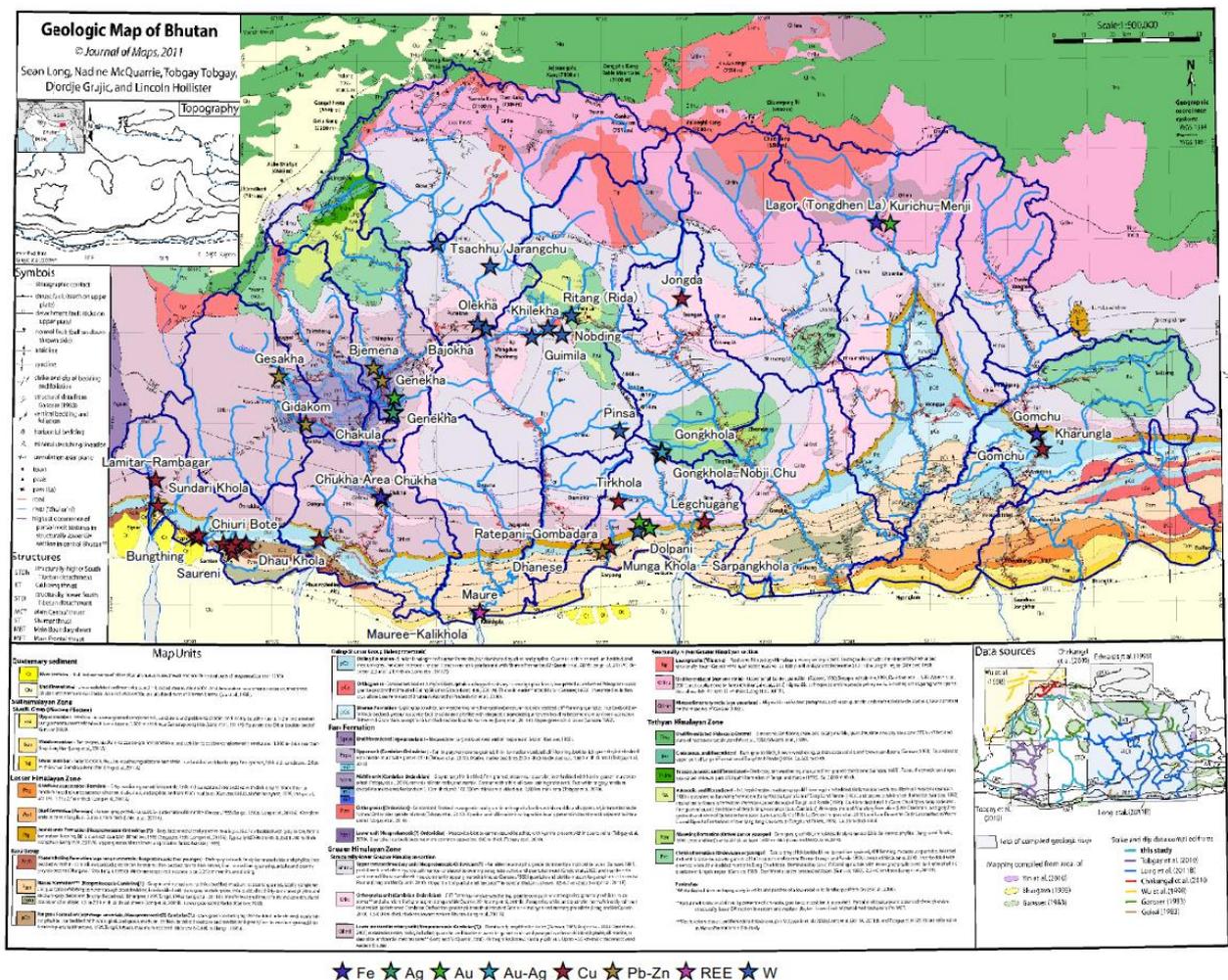


図 2-5 ブータンの鉱物資源図

金の鉱徴地はグルンコラのバクサ層やクリチュの第四紀堆積物で報告されている。他の鉱化作用（例えば銅鉱化作用）に伴う鉱徴も報告されている。バクサ層では含金石英脈は炭質千枚岩に胚胎する。地層の浸食によって生じた砂金は第四紀堆積物に再堆積し、漂砂鉱床を形成する。

REE 鉱徴地はブータン南部のマウレにてシワリク層群と Gondwana 層群の境界に近い黒色鉄質頁岩中でのみ報告されている。REE を含む鉱物は黒色鉄質頁岩とともに堆積したと考えられる。黒色鉄質頁岩は 2010 年から個人経営者 (Dilip Kumar Mukhia 氏) によって採掘されている。2017 年の採掘量は 33,000 トンである (RGoB, 2018)。採掘面積は 4.4ha で 1.23ha が採掘済みである。もとは 1994 年に Penden Cement Authority (PCAL) 社がセメント原料としての生産を開始したが、今は新しい地主が季節ごとに運営している (NCB, 2013)。この鉱床は、2つの小さな低品位鉱体からなり、平均品位は 25~46%Fe である (Mishra, 1985)。

2.1.3. ブータン国の周辺国の金属鉱物資源

ネパール連邦民主共和国はヒマラヤ山脈の南側に位置し、その地質はブータンの東方延長に当たる。ネパールでは多くの鉱床探査により レッサ-ヒマラヤ帯、高ヒマラヤ帯、テチス堆積物

帯での経済的鉱床についての知見がある。Ram and Kabi (2019) によるとネパールでは 63 鉱種の経済性が知られている (DMG, 2004; 2011)。ネパールではウラン、銅-鉛-亜鉛、錫-タンゲステン、モリブデン、ニッケル-コバルト、金-鉄-銅硫化物などいくつかの鉱床成因的区域が知られている (ESCAP, 1993)。これらのうち 5 鉱種 (銅、鉛、亜鉛、ウラン、鉄) だけが詳細に調査され、主にレッサーヒマラヤ帯に分布し、経済的～経済限界下の鉱床と評価されている。

(1) 銅

ネパールは銅鉱化作用に恵まれている。国内の 100 か所以上で銅鉱化作用が存在する。地質条件に基づき銅鉱化作用は概して 3 つのタイプに分類できる。

- (i) 層状鉱化作用：シート状、平板状鉱体の単純組成を示す鉱化作用の広い空間分布と層状配列で特徴づけられる。(Dhusa, Devrali, Lodim Khani, Jantare Khani, Siddhi khani など)
- (ii) 断層規制熱水鉱化作用：激しいせん断帯や破碎帯での黄銅鉱単一の銅鉱化作用で特徴づけられる。(Wapsa, Kalitar, Chhirling Khola, Sanotar など)
- (iii) スカルン型：銅の鉱化作用は貫入岩体との接触帯に発達し、多元素の鉱化作用として特徴づけられる。(Kurule, Bamangaon, Sikri khola, Kimti Khola など)

タナフンの Bhut Khola 銅鉱床は変塩基成岩に重なる大きな珪岩のブーダン中の銅鉱化した塩基性岩の貫入の結果と考えられている (Paudyal, 2015)。一般に銅の鉱化作用は同生的である (Bhattarai and Paudyal, 2018) が、おそらく堆積作用に関しては後生的である。主要な断層規制が想定される場所では多かれ少なかれ地層の走向に沿って断層が存在し、特定の層序の鉱化帯内に金属が局所的に濃集する結果となる。鉱化作用は主に先カンブリア紀粘土質、砂質、炭酸塩岩に限定的にみられる。

(2) 鉛、亜鉛

一般に鉛と亜鉛の鉱床は一緒に産するのでまとめて説明する。現在のところ 50 か所以上の鉛-亜鉛鉱徴地がネパールで発見されている。これらは主にレッサーヒマラヤ帯と高ヒマラヤ帯のドロマイトに胚胎する。ドロマイト鉱床は Himal 層群 (Formation-II), Bhimphedi 層群 (Markhu 層, 塊状大理石 (Bhaisedobhan?)), Phulchauki 層群 (Chandragiri 石灰岩, Godabari 大理石), Nawakot 層群 (Dhadhing ドロマイト) のある岩相に限られる。通常、鉱染状、塊状、脈状方鉛鉱および閃亜鉛鉱が鉛と亜鉛の鉱石として産する。層理に平行なバンドでの強い層序規制は鉱化作用の大半が堆積起源であることを示唆する。しかし褶曲軸や断層のような圧力開放部での鉱液の後の移動は明らかに構造規制示す。ガネーシュヒマールなどの鉛亜鉛鉱床は堆積作用時の層状堆積鉱床だと示唆されている (e.g. Chakrabarti, 1982)。もしかしたらそれらは後生鉱床で、金属は堆積作用の数千万年後に沈殿した可能性がある。

(3) ウラン

ネパールではウラン鉱徴地は高ヒマラヤ帯の花崗岩、片麻岩、サブヒマラヤの第三紀後期の地層、ネパール極西部のレッサーヒマラヤ帯の Thakkhola-Mustang 地溝, Banku 珪岩 (Bhimphedi 層群?) で記録されている。中央ネパールのシワリク層では、肉眼で見えるウラン鉱化作用が Buka Khola, Chiruwa Khola, Chandi Khola, Tinbhangle Khola, Mardar Khola, Panpa Khola 地域の上中部シワリク層 (UMS) と上部シワリク層 (US) の下部～最下底から報告されている

(Kaphle and Khan, 2003)。鉍化作用は上中部シワリク層の礫質アルコース砂岩層に限られる。通常、赤茶~黄色の褐鉄鉍層に伴い、ツヤムン石とコフィン石を含む。

(4) 鉄

非常に多くの鉄鉍徴地があり、主に先カンブリア紀後期、シルル紀、下部第三紀の 3 つの層準に制限される。大半は堆積性変成赤鉄鉍-磁鉄鉍型鉍床である。

インドのアルナーチャル・プラデーシュ州はブータンの東隣に位置する。Kesari (2010)によると、考える限り様々なテクトニック環境下での多様な年代の岩石は様々な鉍化ポテンシャルを持ち、既存データに基づくと以下のように分類できる。

アルナーチャルヒマラヤとミシュミ丘陵に露出する先カンブリア紀結晶質岩にはベースメタル、錫-タングステン鉍化作用が出現する。鉍石品位の鉍床は無いが、探査の増強が進行中である。鉛、亜鉛、銅といったベースメタル鉍徴地は西カメン県、東カメン県、上スバンシリ県、低スバンシリ県、西シアン県、ディバン谷県、ローヒト県、ティラプ県で報告されている。鉍化作用は変堆積岩類中の層準規制や石英脈の形成として現れる。多くの場合、低品位で不安定であるので、経済的に開発できない。

Naga-Lushai-Patkoi の第三紀山地帯を構成する地向斜碎屑物は鉍物資源に欠くが、陸棚縁に沿って石油、天然ガス、石炭のポテンシャルがある。

石灰石、ドロマイト、ベースメタルなどの鉍徴地はアルナーチャル・プラデーシュの古生代からも見つかっている。さらなる調査が求められている。

Goodell et al. (2014) では、隣接するインド国内でのニッケルラテライト鉍床の存在からブータン国内のラテライトでニッケル鉍床の可能性を示唆している。しかしながら、ニッケルラテライトの原岩となる超苦鉄質岩はブータン国内にまれである。

2.1.4. チベットヒマラヤ地区のレアメタル

2017 年にサイエンスチャイナプレスがヒマラヤのレアメタルについて報告した。“A preliminary study of rare-metal mineralization in the Himalayan leucogranite belts, South Tibet” (Wang and et. al., 2017, Science China/ Earth Science) に基づき以下に抜粋する。図 2-6 はこの論文から引用した。

チベット高原の 2 つの平行する新生代ヒマラヤ優白色花崗岩は東西に 1,000km 以上広がり、世界最大級の花崗岩地帯である。これらの優白質花崗岩に付随するレアメタル鉍化作用が明らかになった。

ヒマラヤ優白質花崗岩は世界中のレアメタル花崗岩と似た岩石学的特徴を持つユニークな岩石である。しかしながら、この地域では比較的わずかなレアメタル鉍化作用の研究しか公表されていない。南京大学と中国科学院地質与地球物理研究所の研究グループは鉍化作用の分布を調査するために 2016 年の夏、南チベットでの野外調査を組織し、結果をサイエンスチャイナアースサイエンス誌に公表した。

野外調査では多くの優白質花崗岩体でベリリウムと鉍の鉍化作用が広く認められた。著者らによると、ベリルムの一種でネパール産の主要な宝石鉍物資源であるアクアマリンは長い間、広範に調査、開発、売買されてきており、ヒマラヤの中国側でもベリリウムの鉍化作用のポテンシャルが

あるかもしれない。

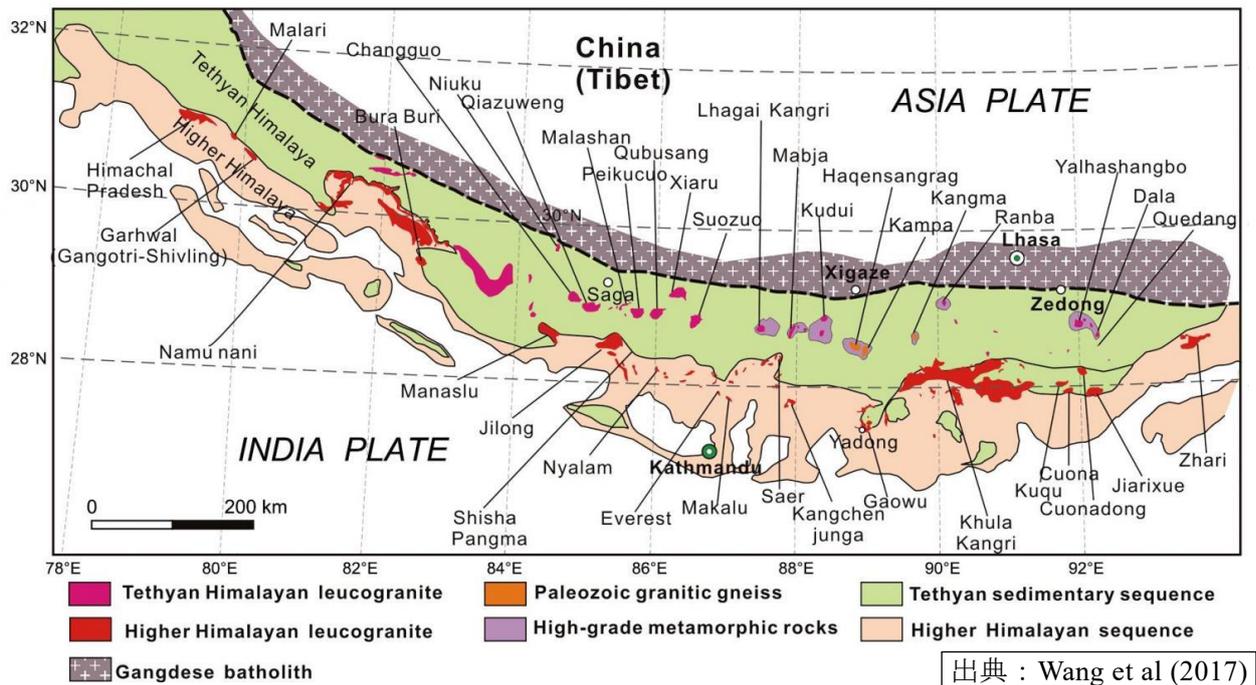


図 2-6 ヒマラヤ地域の優白質花崗岩分布を示す概略地質図

研究室で詳細な顕微鏡観察とマイクロプローブ分析が行われ、12 か所の優白色花崗岩体でベリル、コルンブ石グループ、タピオライト、パイロクロアーマイクロ石、フェルグソン石、Nb-Ta ルチル、錫石のようなレアメタルを含む鉱物がみられた。ベリルはベリリウムの鉱化作用、コルンブ石グループ、タピオライト、パイロクロアーマイクロ石、フェルグソン石、Nb-Ta ルチルはニオブ、タンタルの鉱化作用、錫石は錫の鉱化作用でそれぞれ代表的にみられる。

分析結果から研究者は鉱化作用の分布をあきらかにした。レアメタルの鉱化作用はテチス堆積物帯と高ヒマラヤ帯でみられ、両者にははっきりとした違いは見られない。しかし、東西で比較するとはっきりとした違いがみられる。東部の深成岩体はニオブ、タンタル、錫、ベリリウムの鉱化作用で特徴づけられるが、西部の深成岩体ではあきらかに錫の鉱化作用が欠如する。この結果、ヒマラヤ優白質花崗岩のレアメタル鉱化作用は地域的に変化し、深成岩体の大きさと定置のテクトニックな特徴によって規制されないことが示唆される。

ヒマラヤ優白質花崗岩の岩石成因では、マグマ分別作用モデルとメルトへの溶融を助ける成分（例えば H₂O, Li, F, B, P）の存在が花崗岩の形成とメルト±流体へのレアメタルの富化に重要である。レアメタルは新しい産業の戦略的発展に幅広い利用価値がある。中国はレアメタル鉱物資源と生産、特に世界クラスの鉱床がある南嶺山脈とアルタイ地区（新疆ウイグル自治区）の花崗岩体に高い優先順位を与えている。論文で著者らはヒマラヤでの調査の計り知れない価値を指摘し、ヒマラヤ地域で予備的調査は国内で経済的に重要な鉱床地帯となり得るさらなるレアメタル鉱化作用のポテンシャルを示唆する。

採掘可能なベリリウム資源のポテンシャルを持つ様々なベリリウム鉱床の品位と鉱量の大きまか

な推定値は主に 0.05～1.0%BeO, 0.01～100 百万トンに分布する (Foley et al., 2017)。ニオブとタンタルはとても良く似た物理的・化学的性質を持つので、自然界ではほぼいつも伴って発見される。見積もられているニオブ鉱床の品位・鉱量は 0.01～3.0% Nb₂O₅ で 1.0～1,000 百万トンである (Schulz et al., 2017)。タンタル鉱床の品位・鉱量は 0.01～0.2% Ta₂O₅ で 0.01～1,000 百万トンである (Schulz et al., 2017)。

2.1.5. ブータン国における過去の調査

ブータンにおける鉱業と製錬業の歴史は小規模な低品位鉄鉱石を採掘した 14 世紀初頭にまでさかのぼる。ブータンでは 1960 年代に鉱物資源の刺激的な発見があり、1970 年代にインド地質調査所によって探鉱プログラムが実施された。過去の調査の概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 過去の調査の概要

Period	Agency	Commodity	Area	Contents	Outlines of result
1960, 1964-1965	GSI	Au	Kuri Chu	<ul style="list-style-type: none"> Stream sediment sampling-gold extraction by panning carried out. 	<ul style="list-style-type: none"> 0.001-0.25 g per 1524 kg (0.764 m³) of gold from sand is reported
1961-1966?, 1977?	GSI	Cu	Samtse copper belt (Sundarikhola, Bungthing, Chungpathang, Chirubotey, Dhamdhum, Dhaukhola, Lamitar-Rambagar, Athaikhola and Saureri)	<ul style="list-style-type: none"> Detailed mapping accompanied with pitting, trenching and sampling Drilling of 8 boreholes at Bungthing *some reports are not provided 	<ul style="list-style-type: none"> Samples analysis from the surface indicated that only mineralized bands from Chungpathang, Lamitar-Rambagar and Athaikhola are above the typical exploitable grade.
1965-1977	GSI	Pb-Zn	Genekha (Romegang Ri, Chakula)	<ul style="list-style-type: none"> Large scale geological mapping (1:5,000 and 1:2,000), pitting, trenching, groove sampling, geochemical soil sampling. Detailed exploration by drilling (43+178 boreholes) Exploratory mining by Mineral Exploration Corporation of India Beneficiation tests by hindustan Zinc Ltd. and National Metallurgical Laboratories of India. 	<ul style="list-style-type: none"> Average grades are 3.74% Pb, 4.46% Zn and 1.03% Pb, 6.33% Zn at Romegang Ri and Chakula respectively Estimated ore is 0.514 and 3.116 million tons, at Romegang Ri and Chakula respectively
1973-1976	GSI	Pb-Zn	Bjemena	<ul style="list-style-type: none"> Geological mapping (1:50,000 and 1:1,000) Drilling of 7 boreholes 	<ul style="list-style-type: none"> The grade range between 3.5% and 48.15 Pb+Zn from grab samples.

					<ul style="list-style-type: none"> • The grade range between 1.29% and 41.69 Pb+Zn from drilling samples with thickness between 0.1 and 2.3m. • Mineralization limited areal extent and thickness.
1974-1977	GSI	Cu	Gomchu	<ul style="list-style-type: none"> • Largescale mapping (1:1,000), pitting, trenching • Explored with 10 boreholes 	<ul style="list-style-type: none"> • The estimated ore reserve (both for Cu and Pb+Zn) are indeed very small with low grade
1976-1992	GSI	Cu	Gongkhola - Nobji Chu	<ul style="list-style-type: none"> • Systematic mapping (1:2,000) • Detailed exploration by drilling is completed with 104 boreholes. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1.55% of average Cu upto 120 m depth & 1.50% of averager Cu upto 500 m depth. • Postulated as hydrothermal origin. • Estimated ore is 2.5 million tones under 1.0% cut-off & 1.0m stopping width. 10.00 to 500m depth. <p>* GSI report Au content 0.20 - 1.20 ppm in the Eastern Block</p>
1978-1984	GSI	W	Burkhola-Dolpani	<ul style="list-style-type: none"> • Large scale geological mapping (1:5,000 and 1:1,000), trenching groove sampling • Detailed exploration by drilling (19 + 25 boreholes) completed • Bench scale beneficiation 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.25% of average W and 0.22% of average W at Dolpani and Bhurkhola, respectively. • Estimated ores are 0.349 (0.12% WO₃ cutt-off grade) and 3.29 (0.20% cut-off WO₃ grade) million tons at Dolpani and Bhurkhola, respectively. <p>* At Gurungkhola in Dolpani - Bhurkhola area 0.10-3.99 ppm of golds are reported from carbonaceous phyllite</p>
1989-1990	DGM	Au	Kuri Chu	<ul style="list-style-type: none"> • Upstream sediment sampling 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.0001-0.0034g/70kg of gold spec are recovered only from 25 samples in 50 panned samples
1990	GSI	Pb-Zn	Gombadara	<ul style="list-style-type: none"> • Explored by large scale (1:1,000) mapping and sampling 	<ul style="list-style-type: none"> • The grade of ore is 0.48 – 4.1% Pb, 0.47 – 2.1% Zn
1992-1993	GSI	REE	Maure	<ul style="list-style-type: none"> • Geologically mapped (1:50,000) • Systematic channel sampling; Ten representative samples for REE analyzed 	<ul style="list-style-type: none"> • 2,677.5-10,289.5 ppm of total REE <p>* REE reported in the investigation for phosphate.</p>
1992-1993	GSI	W	Nobding	<ul style="list-style-type: none"> • Geological mapping (1:50,000) • 190 samples are collected 	<ul style="list-style-type: none"> • Scheelite mineralization is observed at the contact zones of aplite granite veins in carbonate-basic rock of the order of 0.1% WO₃.
1994-1996	GSI	W	Pinsa	<ul style="list-style-type: none"> • Geological mapping (1:2,000), groove sampling and 2 test drillings 	<ul style="list-style-type: none"> • Scheelite occurs as disseminations and stringers along bedding, concentrations

					along the contact between carbonate and metabasic rocks and as lump in late stage epidote-tourmaline-quartz and pegmatite vein.
1995-1996	GSI	Pb-Zn	Bjemena	• Large scale mapping (1:25,000)	• Occurrence of base metal mineralization associated with magnetite are recorded at several place in mable.
2004	DGM	Au	Peping, Hauree Khola, Rangatung and Dungina	• 28 grab samples collected	• Average gold of 14.11ppm in Peping, 36.44ppm in Haureekhola, 9ppm in Dungina and 18.57ppm in Rangatug

2.2. 金属鉱物資源ポテンシャル

一般にヒマラヤに顕著な金属鉱物鉱床は胚胎しない。これはヒマラヤの若い形成年代と顕著な浸食速度に関連するかもしれない。約 5,500 万年前の若い山脈なので、地殻に金属の鉱化作用をもたらすマグマ-熱水系が発達する十分な時間が無かった可能性がある (Mitchell, 1983)。若い大規模な造山帯型金鉱床の露出に欠く事は地殻中部の鉱床が地表に露出するのに約 5,500 万年以上の時間がかかることを示唆する (Goldfrab et al., 2001)。ヒマラヤ山脈の主要部分は片岩と片麻岩からなる高ヒマラヤ帯の岩石に覆われる。この 18~6 億年前の高変成度な変成岩は造山帯中心にある造山帯型金鉱床の削剥を示す。なぜなら、多くの造山帯でこれらの岩石は造山型金鉱脈の下部に形成されるであろう (Goldfrab et al., 2001)。

ブータンでは、今日までに銅、鉛-亜鉛、タングステン、金、希土類元素 (REE) の金属鉱徴地が知られている。概要を表 2-2 にまとめ以下に説明する。鉱物資源の分布は図 2-5 (既出) に示す。

表 2-2 金属鉱物資源の概要

	地域	鉱石	産状	鉱量 (Reserve)	品位	関連鉱化作用	ブータン国内鉱徴地
Pb	ゲネハ	方鉛鉱, 白鉛鉱	層状岩体(鉱染状や鉱脈状~塊状ポケット, レンズ状)	3.63Mt	Pb 1.41%	Ba, Ag, Cd	他に Paro 層や LHZ 中の石灰岩に伴うスカルン鉱徴地が知られる
Zn	同上	閃亜鉛鉱, 異極鉱, 水亜鉛土, 菱亜鉛鉱	同上	同上	Zn 6.06%	同上	同上
W	ブルコラ-ドルパニ	灰重石	衝上断層近傍の雲母片岩中に整合的な石灰珪質岩層に鉱染状灰重石がみられる	0.349Mt (ドルパニ) 3.29Mt (ブルコラ)	WO ₃ 0.25% (ドルパニ) 0.22-0.26 (ブルコラ)	低品位な Cu, Sn, Au, Mo, Ag	W の鉱徴を含む花崗岩は報告されているが、スカルン型鉱床の報告は少ない

Cu	ゴンコ ラ-ノブ ジチュ	黄銅鉱	珪石中の石 英脈や塊, 炭酸塩岩に 密接に関連 した細脈に 硫化物が産 する	2.5Mt	Cu 1.50%	場合によ っては Fe, Mn, Au	南部のサム チェ県を中 心に LHZ で 複数の鉱徴 地の報告が ある
Au	グルン コラ	黄鉄鉱や黄 銅鉱に伴う	炭質千枚岩 に胚胎	?	Au 0.10- 3.99ppm	Ag	他にクリチ ュの漂砂鉱 徴地 (0.001 -0.25g/1524 kg), 緑泥石 千枚岩中の 鉱化作用 (9- 36.44ppm) が知られ る。
	ゴンコ ラ-ノブ ジチュ	銅鉱化作用 に伴う	ゴンコラ-ノ ブジチュと 同じ	?	Au0.2- 1.2g/t		
REE	マウレ	不明 (燐灰 石, モナザ イト, 鉄酸 化物)	3つの独立 した細長い 岩体に産す る	?	REE 2677.5- 10289.5ppm	Fe, P	なし

2.2.1. 鉛 (Pb)

(1) 地質と鉱化作用

重要な鉛-亜鉛鉱化システムは噴出堆積鉱床 (SEDEX) として知られる。このシステムでは、鉛-亜鉛を含む流体は堆積盆地内の蒸発岩、堆積岩および/または火山岩からもたらされる。これらの流体は断層や裂かを伝って石灰岩やドロマイト、頁岩、シルト岩などの堆積岩を母岩とする沈殿場所へ移動する。前弧海盆のような拡張、発散テクトニクス系でこの鉱床タイプはよく見られる。他にミシシッピーバレー型 (MVT) の鉛-亜鉛鉱化作用も一般的である。この鉱床タイプは SEDEX と似た特徴を示すが、MVT は後生的な鉱床であり、造山帯の前地や関連する衝上断層帯のような収束テクトニクスで典型的にみられる。ブータンでの鉛-亜鉛鉱化作用はレッサーヒマラヤ帯や高ヒマラヤ帯の一部でみられる衝上断層帯や造山帯前地に関連した堆積岩内鉛-亜鉛鉱化作用と推定される。鉱化作用は先カンブリア紀~オルドビス紀のパロ層の結晶質石灰岩や変堆積岩類、レッサーヒマラヤ帯シュマール層の千枚岩、珪岩、石灰岩、ドロマイトで構成される変堆積岩類に主に胚胎する。初生鉱物は方鉛鉱と閃亜鉛鉱で、酸化2次鉱物も報告されている。

ゲネハ地域はブータンの鉛-亜鉛鉱床としてよく知られており、詳細な調査が実施されている。ゲネハ鉛-亜鉛鉱床はティンプー県に位置し、Romegang Ri 地域と Chakula 地域の2か所で調査されている。鉱床は1965年にGSIによって発見された。1968年から1977年にかけて詳細な探査が実施され、Romegang Ri 地域で43孔 5,222.23m、Chakula 地域で178孔 7,509m、合計221孔の試錐を実施した。Romegang Ri 地域の試錐間隔は走向方向に60~70m以下、断面方向で約30m以下である。Chakula 地域では、走向方向に30m、断面方向に30~50mである。試錐結果を確認するため、Chakula 地域ではピット調査とトレンチ調査、Romegang Ri 地域ではトレンチ調査と坑道探鉱が実施された。Romegang Ri 地域では2本で366mの坑道、750.10m³のトレンチが掘られた。Chakula 地域では21か所で300mのピットと2,245m³で8トレンチが掘られた。推定鉱量はRomegang Ri 地域で51.4万トン、品位3.74% Pb、4.46% Zn である。Chakula 地域では311.6万トン、品位1.03% Pb、6.33% Zn である。GSIではゲネハ鉱床全体で経済限界下に分類している。この資源量では硫化鉱石と酸化鉱石を区別していない。

鉱化作用は主にパロ層の結晶質石灰岩に胚胎する。鉱床は堆積作用と同生的であると仮定され、SEDEXに関連する鉱化作用と考えられている。産状は層状鉱体で、まばらな鉱染、細脈群からほぼ塊状なポケット、レンズ状鉱体まで鉛、亜鉛鉱物の濃集度合いが変化する。Chakula 地域では鉱体は地表も深部もほぼ完全に酸化されているが、Romegang Ri では酸化度が大きく変化し、完全に新鮮な鉱石から完全に酸化された鉱石まで見られる。Chakula 地域では異極鉱が優勢を占め、水亜鉛土、菱亜鉛鉱、白鉛鉱を伴う。Romegang Ri 地域では、鉛鉱物は方鉛鉱が優勢を占め、白鉛鉱を伴う。亜鉛鉱物は閃亜鉛鉱が優勢を占め、菱亜鉛鉱、異極鉱、水亜鉛土を伴う。Chakula 地域の鉱体はNW-SE方向に伸び、走向延長は1,100m以上になる。Romegang Ri 地域の鉱体は北西に走向長750mに限定される。予察的ベンチスケール選鉱試験ではChakula 地域の2次鉱石は浮遊選鉱に適さないが、乾式製錬と湿式製錬の組み合わせと電解製錬によって金属分の抽出ができる可能性が示された。Romegang Ri 地域の硫化物として存在する金属分は浮遊選鉱によって濃集できる。

鉛-亜鉛鉱化作用はほかの地域でも報告されている。例えば、ティンプー県のBjemena 地域

や、サルパン県の Gombadara 地域である。Bjemena 地域は 0.1km の範囲で 7 孔の試錐による探査が行われている。品位は 1.29%~41.69%Pb+Zn である。Gombadara 地域は詳細な地質図 (1 : 1,000) 作成とサンプリングが行われ、鉛品位 0.48%~4.1%, 亜鉛品位 0.47%~2.1%であった。

(2) ポテンシャル

堆積岩内 Zn-Pb(-Cu-Ag)鉱床は大陸衝突後期の変形機構でできた Lanping 前地断層帯に産し、チベット高原東部で最大の銀を含むベースメタル地区として知られている (Hou & Cook, 2009)。Lanping 前地断層帯は、三畳紀後期の地殻伸長、ジュラ紀-白亜紀の沈降、第三紀初期の前地盆地の発達、続くインド-アジア大陸衝突による東チベットでの地殻短縮を含む複雑なテクトニクス進化を経験した (Wang and Burchfiel, 1997)。この断層帯では新生代の 2 つの大規模なナップシステムによって中生代石灰岩や前地盆地内の第三紀層を覆う石膏を含む碎屑層が並行し、新生代のベースメタル鉱床の空間的配置を規制する。それぞれの衝上断層-ナップ系は緩やかに傾斜したデタッチメント帯の底部に現れ、デタッチメント帯が広域的に流体の十分な通り道を提供すると考えられる (Xu and Li, 2003; Hou et al., 2006c)。これらの衝上断層に規制された堆積岩内 Zn-Pb-Cu-Ag 鉱床は広域的鉱化作用の時期を始新世後期~漸新世初期 (42~30Ma) に制約される。

ブータンの東隣に位置するインドアルナーチャル・プラデッシュ州ではバクサ層群に対比される Bomdila 層群の Chilliepam 層上部のドロマイトに層準規制型の鉛-亜鉛鉱床がみられる。ネパールには MCT 直下に炭酸塩岩に伴う層準規制型の鉛-亜鉛鉱床があり、約 300 万トンの鉱量が確認されている。ヒマラヤ山脈では、層準規制鉛-亜鉛鉱床は MCT の下盤に分布する (茂木, 2001)。ブータンは前地盆地や衝上断層-ナップ系が発達できるヒマラヤ造山帯の前面に位置する。鉛-亜鉛鉱床が胚胎する可能性のある Paro 層やレッサーヒマラヤ帯の上限も MCT に区切られる。

ゲネハ地域 (Romegang Ri 地域および Chakula 地域)

- 鉱石鉱物：方鉛鉱，閃亜鉛鉱，異極鉱，水亜鉛土，菱亜鉛鉱，白鉛鉱
- 産状：層状鉱体でまばらな鉱染，細脈からほぼ塊状なポケット，レンズ状鉱体まで変化する。
- 規模：推定鉱量 51.4 万トン (Romegang Ri 地域)，311.6 万トン (Chakula 地域) 1% Pb + Zn 以上を計算
- 化学分析値：Pb 3.74%，Zn 4.46% (Romegang Ri 地域)，Pb 1.03%，Zn 6.33% (Chakula 地域)
- 評価：GSI によると経済限界下

2.2.2. 亜鉛 (Zn)

(1) 地質と鉱化作用

一般的に世界中の亜鉛は鉛に伴って産し、ブータンでも同様である。鉛と合わせて記述している。

(2) ポテンシャル

ブータンでの亜鉛鉱化作用は鉛鉱化作用と相伴うので、亜鉛鉱床のポテンシャルは鉛とともに

に考察する。

2.2.3. タングステン (W)

(1) 地質と鉱化作用

タングステンと錫はたいていの場合優白質花崗岩に伴い、収束テクトニクスセッティングで典型的にみられる。花崗岩はマグマ/メルトから結晶化し、多くの場合、金属の供給源となる。マグマの結晶化の間、メルトに富む流体が放出され、そこで流体は多孔質で透過性のある炭酸塩岩（例えば、石灰岩）に浸透し、金属が沈殿する。そのようなプロセスを伴う鉱物系はマグマ熱水スカルンと呼ばれる。ブータンでのタングステン鉱化作用はスカルンで特徴づけられ、タングステンを含む優白質電気石花崗岩が貫入した大理石の交代作用の産物と想定される。ブルコラードルパニ鉱床はジャイシダングダ層とシュマール層の境界をなす衝上断層に胚胎する。主な鉱石鉱物は灰重石で、わずかに鉄マンガン重石と磁硫鉄鉱や黄銅鉱のような硫化物を伴う。

ブルコラードルパニタングステン鉱床はブータンで最も見込みのある鉱床の一つである。鉱床はサルパン県に位置し、8kmの隔りがある。両地域では1976年から1984年にGSIにより詳細な地質図作成、100m間隔のトレンチサンプリング、47孔4,219.2mの試錐が実施された。試錐は100m間隔で実施され、19孔1,399.3mがドルパニ地域、28孔2,819.9mがブルコラ地域である。タングstenはザクロ石輝石スカルン中の灰重石に含まれる。片麻岩内の石灰珪質岩中の灰重石の鉱染として鉱化作用がみられる。石灰珪質岩は衝上断層近傍で雲母片岩に調和的なバンドとして産する。灰重石は層理と平行な層に現れる。ブルコラ地域では、バンド状や塊状のスカルンが走向延長に1,200m以上、厚さ約40mにわたって存在する。

スカルンは熱水変質と石英脈の形成を受けた石灰質岩石（主に大理石）の交代変質作用の結果生じたと推定されている。

推定鉱量はドルパニ地域で34.6万トン、WO₃品位0.25%、ブルコラ地域で339万トン、WO₃品位0.22~0.26%である。1997年のDHVインターナショナル社の評価では、ブルコラ地域は露天採掘で61.5万トンWO₃品位0.40%、WO₃品位0.15%以上の坑内採掘で58.0万トン、WO₃品位0.49%である。

タングステン鉱徴地はほかにもあり、主要な鉱徴地としてワンデュ・ポダン県のPinsa地域、Nobding地域がある。これらは低品位で小規模な鉱化帯のため経済的意義は小さいと考えられている。

JICA本部によるブルコラードルパニ地域の予察調査で採取された5試料について化学分析をカナダALS社にて実施した（表2-3, Appendix II-3）。採取地の詳細は不明である。JICA-W01はザクロ石および輝石を含むスカルンと雲母片岩の混合物である。JICA-W02とJICA-W03はスカルンでJICA-W02はザクロ石と輝石を含む、一方JICA-W03は輝石のみを含む。JICA-W04は雲母珪岩でJICA-W05は電気石花崗岩である。

JICA-W01~JICA-W03のスカルンはX線回折装置（XRD）で測定された（表2-4）。これらの岩石は石英、斜長石、単斜輝石、角閃石、黒雲母、ザクロ石からなる。タングステン鉱物の灰重石や鉄マンガン重石は同定されなかった。

タングステンの最大含有量はJICA-W02の1,580ppmでWO₃-量1,993ppmに相当する。分析結

果は特に JICA-W02 の輝石ザクロ石スカルンで既存資料と同程度のタングステン品位を示す。世界のタングステン鉱山をみると、北ベトナムの Nui Phao 鉱床（スカルン型）で 8,790 万トン、平均 WO₃ 品位 0.19%、西カナダの Mac Tung 鉱床（スカルン型）で、32,000 万トン、平均 WO₃ 品位 0.92%である（石原, 2010）。JICA-W02 はビスマス、インジウム、銅、マンガン、亜鉛、銀、錫、カルシウムも比較的高い値を示している。このような金属は一般に多金属型スカルン型鉱床で富む。例えば、中国の柿竹園鉱床は WO₃ 品位が 0.22~0.802%、Mo 品位 50~1,210ppm、Bi 品位 40~5,010ppm、Sn 品位 0.103~0.170%である（Lu et al., 2003）。通例、銅、鉛、亜鉛、タングステンはカルクアルカリ含磁鉄鉱酸化花崗岩（I タイプ）貫入岩体に関係する。

表 2-3 タングステン鉱徴地の岩石の化学分析結果

成分	単位	JICA-W01	JICA-W02	JICA-W03	JICA-W04	JICA-W05	分析コード
SiO ₂	%	59.3	49.5	46.3	72	63.5	ME-ICP06
Al ₂ O ₃	%	11.9	7.52	5.24	8.92	12.85	ME-ICP06
Fe ₂ O ₃	%	8.51	11.45	11.85	7.03	9.7	ME-ICP06
CaO	%	8.34	25.6	18.95	3.9	5.45	ME-ICP06
MgO	%	3.6	1.09	11.65	1.34	2.03	ME-ICP06
Na ₂ O	%	1.64	0.08	0.59	2.12	3.64	ME-ICP06
K ₂ O	%	3.55	<0.01	0.1	1.93	0.78	ME-ICP06
Cr ₂ O ₃	%	0.009	0.005	0.005	0.007	0.009	ME-ICP06
TiO ₂	%	0.56	0.23	0.32	0.37	0.59	ME-ICP06
MnO	%	0.39	1.38	0.31	0.42	0.06	ME-ICP06
P ₂ O ₅	%	0.08	0.04	0.22	0.08	0.1	ME-ICP06
SrO	%	0.04	0.01	0.01	0.04	0.01	ME-ICP06
BaO	%	0.07	<0.01	<0.01	0.02	0.01	ME-ICP06
LOI	%	1.14	3.14	2.79	1.86	0.86	OA-GRA05
Total	%	99.13	100.05	98.34	100.04	99.59	TOT-ICP06
C	%	0.21	0.45	0.18	0.04	<0.01	C-IR07
S	%	0.12	0.42	0.82	1.5	0.52	S-IR08
Ba	ppm	575	5.6	14.7	195	70.3	ME-MS81
Cr	ppm	60	30	30	50	70	ME-MS81
Cs	ppm	18.15	0.3	0.13	4.84	0.7	ME-MS81
Ga	ppm	16.8	21.3	8.7	13.9	21.4	ME-MS81
Ge	ppm	<5	14	<5	<5	<5	ME-MS81
Hf	ppm	6.3	3.1	7.2	6	9.5	ME-MS81
Nb	ppm	11.4	3.7	6.2	8	13.9	ME-MS81
Rb	ppm	297	0.9	2.1	140	17.1	ME-MS81
Sn	ppm	109	417	114	27	77	ME-MS81
Sr	ppm	333	59.8	122	356	129	ME-MS81
Ta	ppm	0.9	0.4	0.5	0.7	2.6	ME-MS81
Th	ppm	13.4	4.39	8.54	10.5	15.7	ME-MS81
U	ppm	2.55	3.45	3.49	2.73	3.97	ME-MS81

V	ppm	63	29	46	35	67	ME-MS81
W	ppm	12	1580	13	247	5	ME-MS81
WO ₃ *1	ppm	15	1993	16	311	6	
Zr	ppm	233	113	275	220	343	ME-MS81
As	ppm	3.6	24.6	8.4	31	11	ME-MS42
Bi	ppm	7.54	226	1.88	20.4	6.8	ME-MS42
Hg	ppm	<0.005	0.091	<0.005	0.027	<0.005	ME-MS42
In	ppm	0.075	3.86	0.065	0.077	0.09	ME-MS42
Re	ppm	<0.001	0.016	0.001	0.003	0.001	ME-MS42
Sb	ppm	0.25	1.32	0.17	0.11	0.1	ME-MS42
Se	ppm	0.2	0.7	0.2	0.9	0.4	ME-MS42
Te	ppm	0.04	0.34	0.02	0.04	0.02	ME-MS42
Tl	ppm	0.54	0.14	<0.02	0.15	0.05	ME-MS42
Ag	ppm	<0.5	4.5	<0.5	<0.5	<0.5	ME-4ACD81
Cd	ppm	0.8	1.7	<0.5	0.5	<0.5	ME-4ACD81
Co	ppm	6	8	4	8	5	ME-4ACD81
Cu	ppm	427	1545	14	334	34	ME-4ACD81
Li	ppm	40	10	20	20	10	ME-4ACD81
Mo	ppm	1	4	<1	2	1	ME-4ACD81
Ni	ppm	20	13	12	9	19	ME-4ACD81
Pb	ppm	12	3	9	3	3	ME-4ACD81
Sc	ppm	10	4	8	6	12	ME-4ACD81
Zn	ppm	571	658	92	132	58	ME-4ACD81
Au	ppm	0.002	0.006	0.001	0.001	0.001	Au-ICP21
La	ppm	25.9	18.8	14.4	18.3	42.8	ME-MS81
Ce	ppm	51.4	35.7	31.3	36.9	81.5	ME-MS81
Pr	ppm	5.99	4.02	4.04	4.47	9.66	ME-MS81
Nd	ppm	24.5	14.3	17.7	17	36.1	ME-MS81
Sm	ppm	4.84	2.84	6.62	3.53	8.34	ME-MS81
Eu	ppm	0.96	1.38	2.95	0.69	1.84	ME-MS81
Gd	ppm	4.36	2.74	9.56	3.2	7.3	ME-MS81
Tb	ppm	0.71	0.43	1.67	0.46	1.16	ME-MS81
Dy	ppm	4.63	2.76	10.5	2.97	7.54	ME-MS81
Ho	ppm	0.97	0.56	1.8	0.63	1.6	ME-MS81
Er	ppm	2.68	1.51	5.53	1.77	5.04	ME-MS81
Tm	ppm	0.41	0.22	0.75	0.3	0.7	ME-MS81
Yb	ppm	2.9	1.46	5.23	1.95	5.02	ME-MS81
Lu	ppm	0.46	0.23	0.66	0.31	0.7	ME-MS81
Y	ppm	24.4	15.9	50.2	16.8	42.8	ME-MS81

*1: W 量からの計算値

表 2-4 タングステン鉱床地の岩石の X 線回折試験結果

鉱物	石英	斜長石	単斜輝石	角閃石	黒雲母	ザクロ石
JICA-W01	+		++	++	++	
JICA-W02	++	++	++			++
JICA-W03				+++		

凡例： +++：多量， ++：中量， +：少量

(2) ポテンシャル

衝突収束環境では、地殻衝上間に湿った堆積ウェッジから分離した揮発性成分は覆いかぶさった熱い衝上シートに浸透し大規模な地殻溶融 (Harris et al., 1986) を引き起こす。さらに前地衝上断層と隆起帯中軸における大規模な花崗岩質マグマを形成するだけでなく、生じた珪長質メルトに金属 (タングステン、錫、ウラン) や不適合元素 (ルビジウム、セシウム、リチウム、イットリウム) を富化する (Seltmann and Faragher, 1994)。この地殻由来の水に飽和した低酸素フガシティー珪長質系は衝突中心 (例えばチベット造山帯) や後衝突期 (例えばピレネー造山帯) に産出し、鉱床形成に大きなポテンシャルを持ち、多くのタングステン鉱床やウラン鉱床の形成が知られている (Leroy, 1978; Kelly and Rye, 1979)。ブータンでは多くの地殻由来 S タイプ花崗岩体が高ヒマラヤ帯に存在する。

世界最大のタングステン鉱床である柿竹園鉱床に関連する花崗岩はタングステン濃度 12.4～47.1ppm を示す (Lu et al., 2003)。一方日本のタングステン鉱床を伴わない花崗岩では 0.6～4.0ppm を示す (Ishihara, 2002)。ブータン中部や西部にある花崗岩体 (例えば、Cheri 花崗岩、Garzikha 花崗岩、Sha Ngawang 花崗岩、Nobding 花崗岩、Trongsa 花崗岩、Kamichu 花崗岩、Burichu 花崗岩) は 0.6～4.6ppm のタングステンを含む (Tashih, 2015MS)。これらはタングステン鉱床に関連した花崗岩よりも低い値を示す。

- 鉱石鉱物：灰重石
- 産状：層状スカルンに平行に粒状灰重石が産出
- 規模：露天掘り 61.5 万トン (0.40% WO₃)、坑内掘り 58.0 万トン (0.49% WO₃, 最低品位 0.15%WO₃)
- 化学分析値：平均 0.40-0.495% WO₃
- 評価：GSI によると経済性あり

2.2.4. 銅 (Cu)

(1) 地質と鉱化作用

世界で主要な銅鉱床は斑岩銅鉱床として知られている。他の銅鉱化作用の供給源としては交代作用・スカルンに伴うものがある。主要断層や衝上断層のような岩石中の弱線を通して循環する熱水流体は多孔質で透過性のある炭酸塩岩に金属を沈殿させ、周囲の母岩を変質させる。ブータンでは銅鉱化作用はオルドビス紀マネティン層の千枚岩と珪岩の境界でマンガンシデライトと呼ばれる石英炭酸塩岩に胚胎する。母岩にセリサイト-黒雲母-緑泥石変質が存在することから

鉍化作用は熱水起源と考えられる。他の鉍化作用はバクサ層群中のプンツォリン層の千枚岩中の石英脈でも観察される。これらの鉍化作用はひょっとしたらスカルン型鉍床に関連するものかもしれないが、鉍床生成の詳細な研究はない。主要な鉍石鉍物は黄銅鉍で磁硫鉄鉍，黄鉄鉍，硫砒鉄鉍を伴い，ごく微量の方鉛鉍や閃亜鉛鉍を伴うこともある。

ゴンコラーノブジチュ銅鉍床はブータンで重要な銅鉍床で，トンサ県，ブラックマウンテンの南斜面に位置する。鉍床は GSI によって 1976 年にはじめて発見され，1976 年から 1992 年まで詳細に調査された。調査は 2.6 km² の範囲で，詳細不明の試錐を含めて合計 104 孔 16,302m の試錐が実施された。試錐間隔は走向方向で 100~300m である。走向方向に 3.6km 以上，厚さ 1~2m，幅 1~10m の 2 つの鉍体がこの地域で記載された。銅の鉍化作用はオルドビス紀マネティン層の炭質千枚岩と石質ワッケ・珪岩の岩相境界にほぼ限定される結晶質マンガンシデライト中にみられる。そのような炭酸塩岩の薄い層は炭質千枚岩や珪岩中にもみられる。石英炭酸塩岩は豊富な石英細脈，レンズを伴ったマンガンシデライトで構成される。硫化物は類似の炭酸塩岩や珪岩中の石英細脈やクロットを密接に伴った細脈や鉍染状に産する。硫化物は黄銅鉍，磁硫鉄鉍，黄鉄鉍，硫砒鉄鉍で少量の方鉛鉍や閃亜鉛鉍もみられる。ゴンコラ銅鉍床は東部，中央部，西部の 3 つのブロックに分類され，それぞれ 2,100m，500m，800m の走向長，1~3m の幅を持つ。東部と中央部では，250 万トン Cu 品位 1.50% の推定鉍量が見積もられている。西部の鉍化作用はこれよりも弱い。

サムツェ県の Sundarikhola 地域，Bungthing 地域，Chungpathang 地域，Chirubotey 地域，Dhamdhum 地域，Dhaukhola 地域，Lamitar-Rambagar 地域，Athaikhola 地域，Saureri 地域の 9 地域でも銅鉍化作用は報告されており，サムツェ銅ベルトと呼ばれる。サムツェ銅ベルトの個々の鉍床は小さいが，いくつか鉍徴地は鉍床群としてまとめて評価すべきである。

(2) ポテンシャル

鉛や亜鉛の鉍化作用のように新生代の衝上構造と第三紀の前地盆地に発達した横ずれ断層に規制され，堆積盆地塩水に関連した亜鉛-鉛-銅-銀鉍床システムが存在する可能性がある。中部地殻に達する深い断層系が発達するので，銅を含む熱水が地殻深くから上昇し鉍石鉍物を沈殿できるかもしれない。特にブータン南部に位置する石灰岩は熱水流体と反応しスカルン鉍床として沈殿しやすいだろう。

- 鉍石鉍物：黄銅鉍
- 産状：石英-炭酸塩岩中の石英脈
- 規模：250 万トン，Cu 品位 1%以上を計上
- 化学分析値：Cu 品位 1.5%
- 評価：東部と中央部ブロックは GSI によって採算が取れると評価されたが，残りの部分は期待できない。

2.2.5. 金 (Au)

(1) 地質と鉍化作用

主要な金鉍床は熱水鉍床や地表での鉍床，例えば，浅熱水鉍床，造山型金鉍床，漂砂鉍床で

ある (Zientek and Orris, 2005)。典型的な浅熱水金鉱床は収束プレート境界縁で形成される火山弧に関連した火山岩とともに見つかる (Cooke and Simmons, 2000)。通常にそのような火山岩は海底よりも地表に噴出する。これらの鉱床は一般に若い造山帯で見つかる。ブータンにはいくつかの温泉や比較的若い貫入岩類が存在するが、火山は知られていない。造山型金鉱床は収束するプレートで形成された造山帯に生じる大断層帯に伴う (Hageman and Brown, 2000)。この断層帯はすべての時代の広域変成岩を横切り、ほぼ垂直に幅数 km 長さ 100km 以上広がる。沈み込みに関連した熱イベントによって生じた熱水流体にとってこれらの断層は通り道になる。また、金のような重鉱物は水の移動によって堆積物に濃集することがある。これらの金に富む堆積物や漂砂鉱床は比較的粗い金粒子の熱水鉱床の浸食や風化に由来する。漂砂金鉱床は高品位で、探査が容易、比較的単純な採掘になることがある。

ブータンの金鉱徴地はグルンコラ地域、ゴンコラーノブジチュ地域、クリチュ地域、南部の丘陵地帯 (Peping, Hauree Khola, Rangatung, Dungina など) で知られている。

グルンコラ地域はブルコラードルパニ地域のタングステン鉱床内にあり、GSI は予察的地表調査をして 37 個の千枚岩を採取した。金の鉱化作用は黄鉄鉱と黄銅鉱を伴う炭質千枚岩に胚胎する。分析結果は 0.10~3.99ppm の金濃度を示した。一方でブルコラタングステン鉱床の試錐コアサンプルでは 0.1~0.6ppm という微量な金が報告されている。

GSI の報告によると、ゴンコラーノブジチュ銅鉱床の 30 孔の試錐から採取された 449 試料では金濃度 0.20~1.20ppm、ヒ素濃度 0.15 以下~2,000 以上 ppm であった。ヒ素濃度が幅広い値を示したにもかかわらず、ヒ素と金の間には相関がみられなかった。入手可能な試錐コア記載データによると、金分析を行った区間は部分的から完全に酸化された母岩である。おそらく金分析のために試錐コアから新鮮な硫化鉱石を得られなかったようである。

ルンツェ県クリチュの沖積堆積物中の砂金鉱徴地は 1960 年 GSI による横断調査で報告された。1965 年に川に沿って地質図作成とパンニングが実施され 869 個の砂礫サンプルを採取した。重鉱物とともに 0.001 to 0.25 gm / 0.764 m² (1,524 kg の砂に相当) の細粒フレーク状の金の広範囲な分布が報告された。1990 年クリチュに沿ってブータン北部のチベット国境まで上流の堆積物サンプリングが実施された。概して国境に至るまで金の値は不規則な分布を示した。プレートテクトニックモデルからおそらくはクリチュの砂礫中の金はチベットから供給されていると考えられる。

DGM は 2004 年、南部の丘陵地域で予備的な金の調査を実施した。Peping 地域, HaureeKhola 地域, Rangatung 地域, Dungina 地域から 28 試料を採取した。金の鉱徴はバクサ層の激しく擾乱された緑泥石千枚岩にみられる。結果は良く、平均金品位 14.11 ppm (Peping 地域), 36.44 ppm (Haureekhola 地域), 9 ppm (Dungina 地域), 18.57 ppm (Rangatug) である。

(2) ポテンシャル

Hou & Cook (2009)によると造山型金鉱床は非対称型造山システムや複合型造山システムで特徴的である。チベット造山帯では造山型金鉱床は衝突中心期 (例えば Mayum) や衝突後 (Ailaoshan 帯) における造山活動同時期から後期の変成作用とともに起こっている。秦嶺造山運動では少なくとも 2 種類、カーリン型のような金鉱床 (Li and Peters, 1998) とせん断帯型金鉱床 (Zhang, 2001) がある。前者は 240Ma~170Ma (Mao et al., 2002) の放射年代を持ち脆性-延性せん断帯を伴った古生代の縫合帯近傍に鉱染状として現れる (Li and Peters, 1998; Zhang, 2001)。

後者は 170Ma~120Ma の放射年代 (Chen, 2001) を持ち、衝突後伸長セッティングで形成される衝上断層帯の背後の変成コアコンプレックスの石英脈として現れる (Zhang and Zheng, 2001; Chen, 2001)。これらは南チベットで中新世優白質花崗岩の貫入した STD や構造ドームに関連した浅熱水金鉱床と似ている (Yang et al., 2009b, Hou & Zhang, 2014)。ブータン北部にも STD や変成岩類が広範囲にみられるので、このような金鉱床がある可能性がある。

金鉱床や鉱徴地に関する詳細な調査が少ないのでブータン国内の金のポテンシャルを評価することは難しい。

2.2.6. 希土類元素 (REE : Rare Earth Elements)

(1) 地質と鉱化作用

Long et al. (2010) によると、希土類元素 (REE) は地球の地殻に比較的豊富な元素であるにもかかわらず、採掘できる鉱床に濃集することはまれである。希土類元素の初生的濃集はアルカリ岩やカーボナタイトといった珍しい火成岩に伴われる。希土類元素を含む鉱物の十分な濃集は火成岩やペグマタイト、鉄酸化物銅金鉱床、海洋燐灰岩の深い風化によって形成される漂砂鉱床や残留鉱床でも可能性がある。あらゆる種類の岩石の風化は河川や海岸、扇状地、デルタといった幅広い環境で堆積を生じる。浸食過程は金などの重鉱物を漂砂鉱床へと濃集する。浸食される岩石の起源によって、モナズ石やゼノタイムのようなある種の希土類元素を含む鉱物は他の重鉱物と一緒に濃集することがある。熱帯環境では岩石は深部まで風化され、厚さ数 10m のラテライト、すなわち鉄に富む土壌やアルミニウムに富む土壌からなる独特な土壌断面を形成する。土壌形成プロセスは、通常残留鉱床として重鉱物を濃縮し、未風化な岩盤の上に金属に富む層をつくる。希土類元素鉱床がそのような風化を受けた場合、希土類元素は経済性のある濃度に濃集するかもしれない。イオン吸着型のような特別な希土類元素鉱床は一般的な見た目の火山岩から希土類元素が溶出され土壌の粘土に固定されることによって形成される。

ブータンには鉄を含む堆積物の直接的な堆積や化学的な富化作用で形成された堆積岩からなるアイアンストーンが知られている。ダガナ県のマウレ鉄鉱山では燐灰岩と希土類元素の濃集が報告されている。1993 年、GSI は詳細な地質図作成、ピット調査とトレンチ調査によるサンプリングを行いアイアンストーン中の燐灰岩、希土類元素の濃集を報告した。アイアンストーンは走向長約 450m 以上平均厚さ約 20m の中部シワリク層の灰色雲母質砂岩中に 3 つの分離した細長い鉱体として産する。通常、アイアンストーンは層状、ち密、塊状である。GSI による 10 試料の分析結果は総 REE 量 2,677.5~10,289.5 ppm を示す。希土類元素はアイアンストーンの層序的上位方向で全体的に増加する傾向を示す。La, Ce, Pr, Nd 元素は地殻存在量に対して非常に富む。

本 JICA プロジェクトにおいて化学分析に供するためマウレ鉱山から 10 試料を採取した (表 2-5, Appendix II-3)。すべての試料は赤褐色アイアンストーンであり、JICA-R01, JICA-R02, JICA-R03, JICA-R05, JICA-R06, JICA-R08 では肉眼で白色のリン酸塩鉱物が確認できた。JICA-R10 はアイアンストーンだけではなくシルト岩質礫を含んでいる。

5 試料 (JICA-R02, JICA-R03, JICA-R05, JICA-R06, JICA-R07) に対しては XRD 試験を実施した (表 2-6)。アイアンストーンには針鉄鉱、クランダライト、ギブサイト、ベーマイト、燐灰石、ルチル、カオリナイトからなる。クランダライトはラテライト中や燐灰石に

富むペグマタイトの変質物中に見つかる鉱物である。

10 試料をカナダ ALS 社に送り化学分析を実施した。La から Lu に Y を加えた総 REE 量は GSI の報告と同程度の値である。軽希土類元素 (LREE : La~Eu) は重希土類元素 (HREE : Gd~Lu) の 10~25 倍多く含まれている。すべての試料で滑らかな REE パターンを示し、図 2-7 に示すようにコンドライトに比べて LREE に富み、HREE で減少する (コンドライト規格化は Taylor & McLennan, 1985 による)。ユーロピウム異常やセリウム異常は示さない。北アメリカ頁岩 (NASC ; Haskin et al., 1968 ; Gromet et al., 1984) に比べて LREE で平坦なパターンを示し、HREE で減少する (図 2-8)。総 REE 量は鉄酸化物量に比例して増加する。希土類元素はリン酸塩鉱物ではなく鉄酸化物・水酸化物に含まれるかもしれない。一般にイルメナイトやルチル、ジルコンのような化学的に安定な重鉱物に含まれる TiO₂ や Zr に富むことはアイアンストーン の堆積作用による形成を示唆する。世界の主要な希土類元素鉱床はバヤンオボー、タミルナドゥ、南中国、マオニューピン、ロボゼロなどが知られている (渡辺, 2010)。中国のバヤンオボー鉱床は熱水性鉄酸化物型鉱床で、8,000 万トン、品位 6.0% の鉱量である。インドのタミルナドゥ鉱床と周辺鉱床はウランやトリウムの副産物として生産する漂砂鉱床で、799 万トン、品位 56% と推定されている。南中国にはイオン吸着型鉱床があり、概算 18,000 万トン、品位 0.05~0.25 である。中国のマオニューピン鉱床は鉱量 3,660 万トン、品位 4.1% のカーボナタイト型鉱床である。ロシアのロボゼロ鉱床はアルカリ岩型で、鉱量 1,670 万トン以上、品位 0.6% と推定される。マウレ鉱床は世界の鉱床に比べ低品位である。

(2) ポテンシャル

ブータンではマウレ鉄鉱山を除く希土類元素鉱床・鉱徴地の報告例はなく、GSI による燐灰岩と希土類元素の報告は限られたデータである。ブータンの希土類元素鉱床は分布や鉱物学、鉱床成因の点から記載や理解が不十分のままである。ブータンの希土類元素鉱床ポテンシャルは十分に議論することはできない。ブータンにはカーボナタイトやアルカリ岩が知られていないので、マウレ鉱床は大河に沿った漂砂鉱床やブータン南部の暑く湿った環境での残留鉱床に関連した鉱床かもしれない。

表 2-5 REE 鉱徴地の岩石の化学分析結果

成分	単位	JICA-R01	JICA-R02	JICA-R03	JICA-R04	JICA-R05	JICA-R06	JICA-R07	JICA-R08	JICA-R09	JICA-R10	分析方法
SiO ₂	%	28.5	14.15	25.9	3.17	29.6	1.71	3.73	36.2	2.19	12	ICP
Al ₂ O ₃	%	30.8	21.2	29.7	15.1	30.6	30.5	14.8	32.2	14.75	20.5	ICP
Fe ₂ O ₃	%	16.8	24.7	19.05	54.1	17.75	6.12	46.5	11.85	34	26.8	ICP
CaO	%	1.54	1.35	1.71	2.81	0.84	5.08	4.14	0.38	0.89	7.78	ICP
MgO	%	0.24	0.51	0.49	0.32	0.13	0.17	0.17	0.22	0.24	0.23	ICP
Na ₂ O	%	0.12	0.43	0.53	0.11	0.1	0.05	0.11	0.38	0.03	0.09	ICP
K ₂ O	%	0.02	2.09	2.07	0.07	0.09	0.14	0.06	0.12	0.4	0.16	ICP

Cr ₂ O ₃	%	0.002	0.005	0.004	0.006	0.006	0.002	0.008	0.003	0.004	0.021	ICP
TiO ₂	%	0.99	15.25	1.07	0.76	2.25	1.2	2.95	1.44	0.98	6.97	ICP
MnO	%	0.16	0.54	0.43	0.42	0.29	5.67	1.18	0.27	22.6	0.24	ICP
P ₂ O ₅	%	5.29	6.68	5.7	10.35	3.67	23.8	12.1	2.61	5.28	12	ICP
SrO	%	0.28	0.42	0.21	0.56	0.14	2.79	0.31	0.03	0.64	0.64	ICP
BaO	%	0.57	2.01	0.53	0.75	0.33	4.85	0.82	0.06	1.17	0.68	ICP
LOI	%	13.55	9.38	12.4	10.8	13.45	16.55	12.1	14.5	15.3	11.65	GRA
Total	%	98.86	98.72	99.79	99.33	99.25	98.63	98.98	100.26	98.47	99.76	ICT
C	%	0.03	0.05	0.02	0.05	0.03	0.94	0.06	0.02	0.1	0.19	IRC
S	%	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.18	0.02	<0.01	0.03	0.09	IRS
Ba	ppm	5450	>10000	5080	7080	3000	>10000	7840	512	>10000	6600	MS8
Cr	ppm	20	30	20	40	40	10	50	20	20	140	MS8
Cs	ppm	0.28	4.1	3.46	0.18	0.45	0.31	0.56	1.4	0.62	1.73	MS8
Ga	ppm	43.9	44.7	49	64.2	45.2	36.4	43.1	58.3	25.6	36.6	MS8
Ge	ppm	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	MS8
Hf	ppm	16.8	54.7	12.7	13.6	23.6	13.9	12	38.1	10.5	16.4	MS8
Nb	ppm	586	1310	244	667	344	252	530	147.5	1575	439	MS8
Rb	ppm	0.9	69.6	57.9	1.8	3	4.5	3.2	5.1	12.3	10.7	MS8
Sn	ppm	12	19	8	4	8	1	7	8	5	7	MS8
Sr	ppm	2310	3550	1720	4690	1135	>10000	2600	267	5230	5230	MS8
Ta	ppm	11.7	87.9	9.7	134	22.8	17.6	29.8	10.7	33.7	52.8	MS8
Th	ppm	66.9	114	41	47.2	16.15	16.95	40.4	8.83	100	92.4	MS8
U	ppm	6.95	29.8	14.85	57.3	28.9	26.9	37.6	8.37	25.8	18.85	MS8
V	ppm	187	335	170	467	192	94	688	173	180	363	MS8
W	ppm	3	4	1	1	1	2	2	1	1	3	MS8
Zr	ppm	649	1830	532	876	1555	1135	507	2750	517	680	MS8
As	ppm	3.7	2	3.1	8.5	2.1	3.6	15.5	5.2	18.6	7.6	MS4
Bi	ppm	0.07	0.18	0.09	0.81	0.08	0.07	0.25	0.01	0.09	0.16	MS4
Hg	ppm	<0.005	0.675	0.3	<0.005	0.036	0.026	0.22	0.008	0.074	0.114	MS4
In	ppm	0.345	0.39	0.312	0.713	0.183	0.069	0.356	0.133	0.356	0.242	MS4
Re	ppm	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.001	0.001	MS4
Sb	ppm	0.11	0.13	0.11	1.02	0.05	0.15	0.7	<0.05	0.31	0.58	MS4
Se	ppm	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	MS4
Te	ppm	0.02	0.1	0.03	0.16	0.1	0.33	0.21	0.01	0.17	0.21	MS4
Tl	ppm	0.09	21.7	14.55	1.1	1.04	2.96	0.26	0.2	4.02	0.23	MS4
Ag	ppm	<0.5	14.2	25.6	<0.5	<0.5	<0.5	5.5	<0.5	<0.5	<0.5	ACD
Cd	ppm	1.2	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	0.8	1.1	<0.5	7.4	<0.5	ACD
Co	ppm	5	55	22	38	72	47	98	70	816	29	ACD

Cu	ppm	121	450	165	94	956	746	1065	214	263	144	ACD
Li	ppm	<10	<10	40	<10	30	<10	<10	10	20	40	ACD
Mo	ppm	1	3	1	4	2	3	3	<1	<1	1	ACD
Ni	ppm	36	40	38	68	64	9	48	13	204	48	ACD
Pb	ppm	36	83	50	546	43	35	146	3	76	40	ACD
Sc	ppm	47	87	49	62	24	5	69	17	40	60	ACD
Zn	ppm	884	597	525	1265	273	425	746	135	865	211	ACD
Au	ppm	0.003	1.49	0.006	0.005	0.001	0.03	0.007	0.001	<0.001	0.002	ICA
La	ppm	214	1005	221	1790	212	185	664	91.9	539	452	MS8
Ce	ppm	468	2390	482	3880	393	431	1320	178	1215	1120	MS8
Pr	ppm	52.9	304	55.3	507	62.4	51.3	154.5	21.4	152.5	142.5	MS8
Nd	ppm	188.5	1130	201	1900	260	193.5	566	76.9	597	547	MS8
Sm	ppm	31.7	168	32.6	290	49.2	28.4	92.4	10.2	102.5	82	MS8
Eu	ppm	9.51	41.4	8.55	75.9	13.8	6.37	23.2	2.83	26.4	19.1	MS8
Gd	ppm	29.5	114	24.6	221	43.1	16.4	67.2	8.76	72.3	50.4	MS8
Tb	ppm	4.37	12.65	3.16	26.9	4.79	1.71	8.06	1.08	8.03	5.37	MS8
Dy	ppm	26.2	62.9	18.05	151	24.9	8.32	43.9	7.64	41	28	MS8
Ho	ppm	4.74	9.89	3.08	25	4.19	1.27	7.03	1.55	6.17	4.27	MS8
Er	ppm	13.35	25.1	8.18	67.4	10.85	3.38	18.55	5	14.8	11.35	MS8
Tm	ppm	1.53	2.58	0.95	8.02	1.09	0.4	2.17	0.56	1.63	1.42	MS8
Yb	ppm	9.21	14.55	5.99	49.1	5.78	2.71	12.85	3.83	8.86	8.83	MS8
Lu	ppm	1.28	2.09	0.91	6.39	0.78	0.54	1.7	0.58	1.23	1.25	MS8
Y	ppm	128.5	246	78.2	652	126.5	35	171.5	48	147	107.5	MS8
TREE	ppm	1183.29	5528.16	1143.57	9649.71	1212.38	965.3	3153.06	458.23	2933.42	2580.99	

TREE: total REE

分析方法 : ICP: ME-ICP06, ICT: TOT-ICP06, ICA: Au-ICP21, IRC: C-IR07, IRS: S-IR08, MS8: ME-MS81, MS4: ME-MS42, ACD: ME-4ACD81, GRA: OA-GRA05

表 2-6 アイアンストーンの X 線回折試験結果

鉱物	針鉄鉱	クランダ ライト	ギブサイ ト	バーマイ ト	燐灰石	ルチル	カオリナ イト
JICA-W01	++	++	++			++	
JICA-W02	++	++	++			++	++
JICA-W03	++	++					+++
JICA-W04	++	++	++	++	++	++	++
JICA-W05	++	++	++			++	++

凡例 : +++ : 多量, ++ : 中量, + : 少量

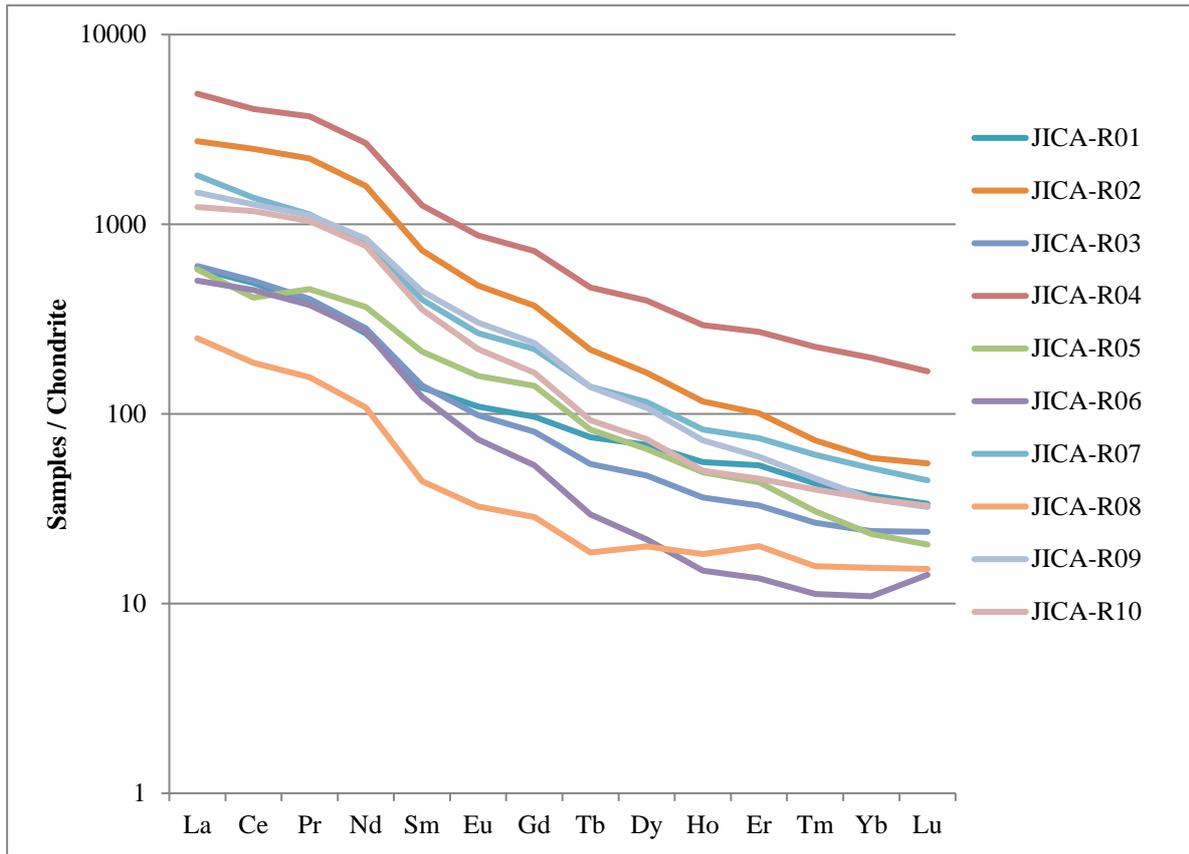


図 2-7 コンドライトによる REE 規格化図

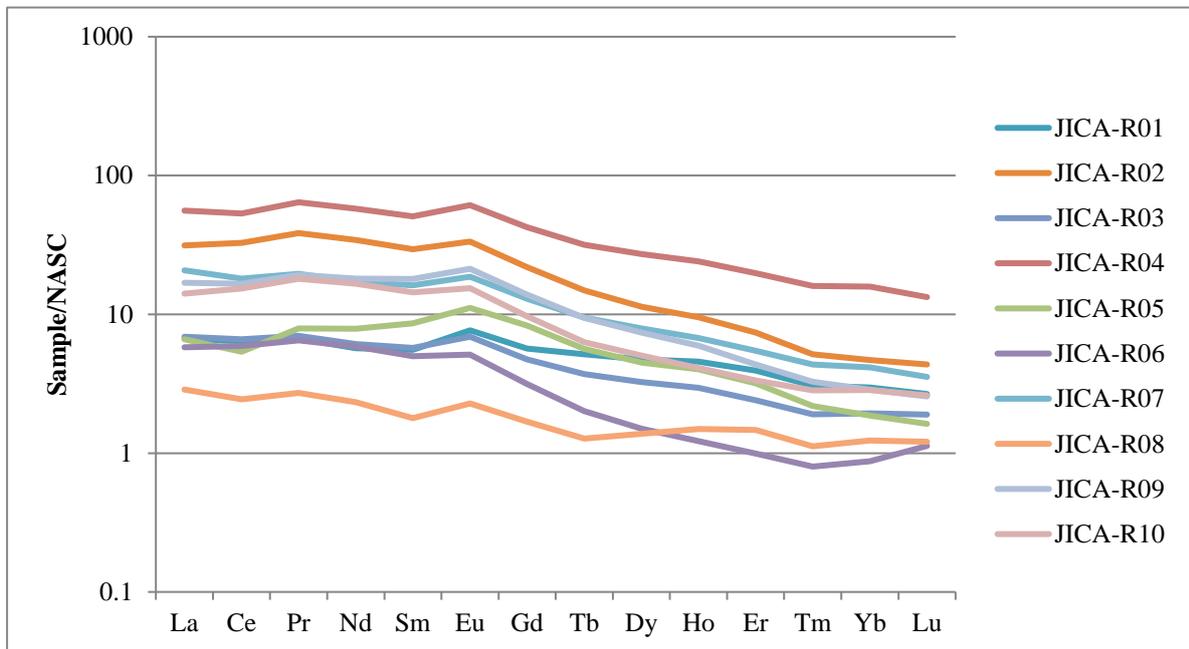


図 2-8 NASC による規格化図

2.3. エネルギー鉱物資源

生産実績があるエネルギー鉱物資源は、石炭だけである。2017 年には 162 千トンの石炭が生産された (RGoB(2018))。資源概要を表 2-7 に示す (RGoB(2006))。

表 2-7 石炭

No.	Occurrence	No. of coal seams	Thickness (m)	Strike length (m)	Dip-Extension (m)	Reserve (tons)	Reserve Category	Grade	Fuel Ratio	% Fixed Carbon	Status of investigation/Remarks
1	Jagartala	38	0.70-2.80	15-150	30	103,000	Probable	Sub-bituminous	-	46.0	Detailed exploration by drilling completed.
2	Bhangtar	5	6.50-12.30	236	50	98,000	Probable	Sub-bituminous	-	39.0-44.0	Detailed exploration by drilling completed.
3	Diglai Nadi	40	0.70-2.10	11-500	20	86,500	Possible	Sub-bituminous	2.05-2.67	52.5	Surface investigation
4	Gerua-Dimala Khola	5	0.45-5.00	125-500	20	44,000	Probable	Sub-bituminous	-	30.6-41.7	Detailed exploration by drilling completed.
5	Chamrang Nadi	8	1.00-4.50	10-175	20	72,600	Possible	Sub-bituminous to Anthracitic	1.42-1.72	43.0	Surface investigation
6	Kalapani Nadi	36	1.00-12.00	5-112	20	119,290	Possible	Sub-bituminous	1.22-2.0	41.5	Surface investigation
7	Nunai Nadi	4	0.90-1.70	30	-	-	-	Sub-bituminous to semianthracitic	2.76-5.69	-	Surface investigation, coal seams are thin and persistent.
8	Bhorila-Rash Ri	15	0.50-6.00	50,290	25	303,650	Possible	Sub-bituminous	-	40.1	Surface investigation
9	Nagor Khola	5	1.00-2.50	17-60	30	52,000	Possible	Bituminous	1.02-2.0	41.0	Surface investigation
10	Khaurang-Leshing Ri	5	1.00-6.00	500	-	270,00	Possible	Bituminous to Anthracitic	-	-	Surface investigation
11	Deothang	12	0.50-3.50	2250	-	-	-	Sub-bituminous	-	-	Surface investigation, coal seams are thin and persistent.

2.4. 工業原料資源

ブータン国は工業原料資源（非金属鉱物資源）に恵まれており、多くは南部の地形的な低地に賦存することから、比較的に開発に有利な条件にある。

2017年に生産実績があるのは、ドロマイト、石灰石、石膏、大理石、粘板岩（スレート）、珪石、滑石、砕石、石材（花崗岩、千枚岩）、粘土、石灰華、砂である（RGoB(2018)）。以下に主な資源種類別に資源概要を記す（RGoB(2006)）。

(1) ドロマイト

ドロマイトは、レッサーヒマラヤ帯の Baxa 層群 Manas 層として、ブータン南部一帯に帯状に分布する。最大のドロマイト鉱床は Samtse 県から Sarpang 県にかけて分布する。

表 2-8 ドロマイト

No.	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Samtse-Rehti-Sarkitar, Samtse Dzongkhag	102	Inferred	20% MgO 30% CaO	Suitable as fluxing agent and for refractory purposes in steel industry	Parts of the deposit leased to M/S Jigme Mining Corporation Ltd. for 15 years through an open auction.
2	Uare-Deergaon, Samtse Dzongkhag	29	Inferred	20.50% MgO 30% CaO	Bands of dolomite intercalated with phyllite, slaty phyllite and quartzite	
3	Khanabharti North-Pagli-Titi-Hauree, Samtse Dzongkhag	426.55	Inferred	20.50% MgO 30% CaO	Bands of dolomite intercalated with phyllite, slaty phyllite and quartzite	
4	Sukti Khola, Samtse Dzongkhag	7.20	Proved	21.49% MgO 29.70% CaO	Exploration by drilling	
5	Titring to Kalesore North, Samtse-Chhukha Dzongkhag	86 529	Inferred	21.35% MgO 29.80% CaO	Grey dolomite	Seasonal mining only possible at this juncture. These two deposits however, fall on the new Samtse-Phuentsholing highway.
6	Kalesore, Samtse-Chhukha Dzongkhag	2500	Inferred	21.14% MgO 29.73% CaO	Four bands of dolomite with 330 m thickness & 5.25 km strike length	
7	Dhanese,	730	Inferred	20.95% MgO	Thick beds of	Poor

	Sarpang Dzongkhag			28.78% CaO	dolomite interbedded with grey slates	accessibility
8	Kakulung, Sarpang Dzongkhag	2900	Inferred	20.00% MgO 2.30% SiO ₂	Two bands: Kanamakra- north band (over 20 km extension & 2 km max. thickness) & Kanamakra- south band (12 km length & 800 m max. thickness)	Seasonal mining areas possible east of Gelephu, which is not declared Game sanctuary area.
9	*Decheling, Samdrup Jongkhar Dzongkhag * Now in Pemagatshel Dzongkhag	2400	Inferred	21.00% MgO	Crystalline dolomite deposit with average thickness of 2 km and strike length of 20 km.	Falls on the Mongar-Nganglam highway under construction.

(2) 石灰石

石灰石は、レッサーヒマラヤ帯の Baxa 層群および Shmar 層として、ブータン南部一帯に広く分布する。カルシウムカーバイド用の石灰石は化学組成上の制限があり、分布は限られている。

表 2-9 石灰石

No.	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Tintale, Samtse Dzongkhag	0.38	Inferred	50.51% CaO 2.93% MgO	Bedded limestone interbanded with phyllite and quartzite	Needs further study for use by the existing cement plants in the Dzongkhag.
2	Pagli, Titi, Bhavani Khola, Uttare, Kalapani, Samtse Dzongkhag			Total known reserves of around 19.95 M tons leased & being mined by PCAL. Some portions leased to M/S Lhaki Cement Pvt. Ltd. also.		
3	Khanabharti, Samtse Dzongkhag	0.26	Inferred	45.30% CaO 3.66% MgO	Bedded limestone intercalated with phyllites and quartzite	Falls on the new Samtse-Phuentsholing highway.
4	Kalesore, Samtse-Chhukha Dzongkhag	1.42	Inferred	44.47% CaO 1.51% MgO	Bedded limestone intercalated with phyllites and quartzite	0.20 mio tons chemical grade (51.29% CaO, 1.23% MgO)
5	Hauree Khola, Samtse-Chhukha			Estimated reserves of 17.22 M tons leased and mined by BCCL.		
6	Rong Ri, Sarpang Dzongkhag	3.13	Proved	50-51% CaO 2.52 % MgO	Grey to light grey crystalline limestone interbedded with phyllite and quartzite	Leased to BCCL for calcium carbide manufacture.

7	Katle Dara, Sarpang Dzongkhag	0.11	Inferred	CaO>51.0% MgO<2.3 3%	Light grey crystalline limestone	Eastward extension of the Rongri limestone, which is known to extend further eastward as thin bands.
8	Dholpani-Bhurkhola, Sarpang Dzongkhag	0.21	Inferred	41.08-42.06% CaO; 1.87- 2.24% MgO	Low grade limestone inter-bedded with phyllite and quartzite.	Could be used to supplement other sources for the manufacture of cement.
9	Gomphu, Zhemgang Dzongkhag	4.30	Proved	Calcium carbide grade	Banded, light to dark grey, fine to medium grained crystalline limestone.	A local mini cement plant can be considered.
		7.32	Proved	Cement grade		
10	Marung South, Marung North, Kangrizhe, Kangrizhe North Extension, Kurung Ri, *Nganglam, Samdrup Jongkhar Dzongkhag *Now in Pemagatshel Dzongkhag			60.16 M tons proven cement grade limestone all reserved for the one-million ton Dungsam Cement Project.		Investigation planned to prove more reserves in the remaining unexplored areas.
11	Tsebar, Pemagatshel Dzongkhag	3.94	Proved	42-46% CaO 1.02% MgO	Grey to light grey, fine-grained, crystalline limestone	Could consider a mini cement plant although grade is just marginal.
12	Tokaphu, Wamrong, Trashigang Dzongkhag	20.4	Probable	46.01% CaO, 1.19% MgO	Bedded crystalline limestone in Shumar Formation	Second largest deposit after Nganglam area in Eastern Bhutan.
		8.5	Probable	CaO<45%		
13	Brekha, Trashigang Dzongkhag	2.0-3.0	Inferred	44.3% to 51.93% CaO 0.33% to 2.74% MgO	Bedded dark grey crystalline limestone	Can be used with Tokaphu (Wamrong) limestone for a cement plant.
14	Pelela, Wangdue Phodrang Dzongkhag	216	Inferred	50.56 to 53.26% CaO 0.56 to 0.85% MgO	Predominantly bluish grey in colour, limestone is thinly bedded to massive	High grade limestone may be suitable for chemical industries
15	Genekha, Thimphu Dzongkhag	0.900	Probable	CaO 52.00% MgO 1.40%	Crystalline limestone hosting Pb+Zn ore	High grade limestone but not fit for calcium carbide manufacture.
16	Khanku, Paro Dzongkhag	12.44, 29.59	Proved, Probable	CaO 46.94% MgO 2.50%	Crystalline limestone associated with mica schist & quartzite	Located right next to Paro Airport & mining not allowed for environmental reasons.
17	Wangcha, Haa Dzongkhag	5.00	Probable	CaO 52% MgO 2%	Bedded crystalline limestone in the Shumar/ Paro formation	High grade limestone, but physical characteristics not fit for calcium carbide manufacture.
18	Chilungkha, Haa Dzongkhag	0.447	Probable	CaO 52.5%		

(3) 珪石

珪石は、レッサーヒマラヤ帯および高ヒマラヤ帯の多くの層に分布する。

表 2-10 珪石

No.	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Tintale (East), Samtse Dzongkhag	0.89	Proved	97.52%, SiO ₂ , 1.06% Al ₂ O ₃	Coarse grained, snow-white to greenish/ greyish white, hard, well jointed	Leased to Bhutan Ferro-Alloys Ltd. Pasakha.
	Tintale (West), Samtse Dzongkhag	3.49	Proved	97.54% SiO ₂ , 1.06% Al ₂ O ₃		Free for mineral concession.
2	Omchena-Pepchu area, Chhukha Dzongkhag	1.20	Proved	96 to 98% SiO ₂ , 0.39- 2.19% Al ₂ O ₃	White/smoky white quartzite with interbands of phyllite and basic sills	Leasehold area of M/S Druk Stone and Minerals Company Ltd.
3	Kamji-Kezari areas, Chhukha Dzongkhag	20.36	Inferred	95-97% SiO ₂ , 0.76-2.01% Al ₂ O ₃	Fine grained, white to smoky quartzite is located in a 23-km belt from Kamji in the west to Kezari in the east	The Dungina-Pakchina, Padzekha Chhu and Singey Chhu deposits, which are leasehold areas of existing / proposed ferrosilicon plants fall in this belt.
4	Wakhar-Mukazor area, Trashigang Dzongkhag	0.76	Inferred	96 to 98% SiO ₂ , 0.11-2.80% Al ₂ O ₃	Highly jointed, fine grained, white to grayish white in colour	Investigated for M/S SD Eastern Bhutan Ferrosilicon plant in Samdrup Jongkhar.

(4) 石膏

石膏は、ブータン南東部の Pemagatshel 県に賦存する。レッサーヒマラヤ帯の Shmar 層の千枚岩や炭酸塩岩中に挟在し、硬石膏を伴う。

表 2-11 石膏

No.	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Cherung Ri, Khothakpa, Pema Gatshel Dzongkhag	69.03	Proved	48.67% Gyp. 18.90% Anhy.	With phyllite, intercalations	Leased to M/S Druk Satair Corporation Ltd. for 15 years through an open auction.
		56.44	Proved	58.22% Gyp. 23.30% Anhy.	With phyllite, intercalations	
2	Uri, Pema Gatshel	13.60	Inferred	91.63% Gyp. 1.26% Anhy.		Available for future development.
3	Khar, Pema Gatshel	0.03	Probable	87.87% Gyp. 1.18% Anhy.		Available for future development.

4	Omsi Ri, Pema Gatshel	8.83	Inferred	91.00% Gyp. ...% Anhy.		Available for future development.
---	--------------------------	------	----------	---------------------------	--	-----------------------------------

* Gyp: Gypsum, Anhy: Anhydrite

(5) 大理石

大理石は、Baxa, Shumar/Paro, Thimphu および Tethyn 構造帯に関連して産する。

表 2-12 大理石

No.	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Khanku, Paro Dzongkhag	42.03	Probable	MgO <4.0%	Suitable for decorative purposes. Finer varieties withstand chiseling and cutting by lathe for making various artifacts	Medium-coarse grained banded & white varieties. Once mined during the eighties but mining discontinued for environmental reasons.
2	Gida-Jemina, Thimphu Dzongkhag	2.186	Proven	>90% CaCO ₃	Medium to coarse-grained, white and banded & is quite pure.	Being mined by Bhutan Marbles & Minerals Ltd.
3	Genekha, Thimphu Dzongkhag	----	----	MgO < 1.4%	Banded marble extend over 1.25 km and 75-166m thick.	Suitable for ornamental building stone.
4	Mirchang-Tala, Chhukha Dzongkhag	----	----	MgO <4%	Three bands 30-80 m thick & extending 350- 950 m. Suitable for building and ornamental purpose.	Was once mined by BCCL.
5	Wangcha & Chilungkha, Haa	----	----	MgO 2.00%	Thick bands of white crystalline marble extends over 1 km.	Marble occurs associated with the limestone in the areas.
6	Tsebar, Pemagatshel Dzongkhag	0.700	Probable	CaO <50.70% MgO <1.20%	Marble occurs associated with cement grade limestone.	Marble occurs associated with the limestone in the areas.
7	Bunakha- Chapcha, Chhukha Dzongkhag	----	----	CaO 43.0%	Crystalline marble bands 40-50 m thick extends over 1 km.	Preliminary surface investigation only.

(6) 粘板岩（スレート）

スレートは、Wangdue Phodrang および Pemagatshel 県に産する。

表 2-13 スレート

No	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Sha Bhel, Wangdue Phodrang	16.00	Estimated	Dark, Good quality	Distinct cleavage planes and well spaced joints	Mined since the 1970's for roofing & still being mined on a small scale
2	Pangthang & Pemagatshel east, Pemagatshel	Not estimated	----	Poor quality	Thinly laminated, soft, steel-grey, slaty phyllite	Locally quarried for roofing purposes only.

(7) 石墨（グラファイト）

石墨は、高ヒマラヤ帯の Thimphu 層の石墨片岩に産するが、主な産地は Haa 県 Cheliala である。

表 2-14 石墨

No.	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Chelaila, Haa Dzongkhag	11.83, 33.88, 8.03	Proved, Probable, Inferred	10-25% N.C. 70-85% Ash	Crypto-crystalline to amorphous /flaky type within graphitic schist	Beneficiation tests & feasibility studies done.
2	Donga, East southeast Takti Chu, Chhukha Dzongkhag	0.217	Estimated	18.20% N.C. (Average)	Fine-coarse flaky graphite in the graphitic schist.	More detailed study proposed.
3	Depchasa-Dorjamsa & Dungna areas, Chhukha Dzongkhag	-----	-----	14.62% N.C. & 14.18 to 23.10 % Ash	Occurrences noted during reconnaissance mapping. More study needed.	Depchasa-Dorjamsa area is East of Tsimasham.

(8) 滑石

滑石は、レッサーヒマラヤ帯 Baxa 層群の珪岩、千枚岩、ドロマイトなどに伴われて、ブータン南部の Samtse から Sarpang 県にかけて分布する。

表 2-15 滑石

No.	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Pa Chu-Seti Khola,	0.110	Estimated	Medium-high grade	Two lenses of white, pale green & dark	Workable deposit. Average

	Chhukha Dzongkhag				grey colored talc with inclusions of quartzite, phyllite and dolomite.	width 9.0 m. Strike length 300 m
2	Khempa, Chhukha Dzongkhag	0.0125	Estimated	Medium grade	White pale green talc foliated & grades into quartzite.	Average Width 3.0-20.0 m. Strike length 7m-48m
3	Thunuwa, Chhukha Dzongkhag	0.0036	Estimated	Low grade	Four small lenses of talc.	Average Width 5-40m. Strike length 30-70 m
4	Pagli- Sarkitar, Samtse Dzongkhag	0.0017	Estimated	Low grade	Three small lenses of talc intercalated with quartzite and phyllite.	
5	Molabanse, Samtse Dzongkhag	0.0053	Estimated	Low - medium grade	Three small lenses of green to white schistose talc.	Strike length upto 170 m
6	Lapchekha, Samtse Dzongkhag	0.0042	Estimated	Low grade	Five lenses of grey and light green soapstone.	
7	Sukti Khola, Samtse Dzongkhag	0.0023	Estimated	Low grade	Small lenses of talc with quartzite impurity.	
8	Budheni-Tin Doban, Samtse Dzongkhag	0.0018	Estimated	Low grade	Small lenses of talc, highly impure & sheared.	
9	Lhoring, Sarpang Dzongkhag		Surface investigation	High grade	As small lenses within dolomite bands.	Light cream in colour and of steatite grade.

(9) リン鉱石

リン鉱石は、Sarpang 県 Maure-Kalikhola 地域のみで確認されている。

表 2-16 リン鉱石

No.	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Maure- Kalikhola area, Sarpang Dzongkhag	-----	-----	2.10-10.80% P ₂ O ₅ & 8.70- 1.66% Fe ₂ O ₃	Phosphorite mineralization within 7-21 m thick ironstone shales & carb phyllites extending over 820 m.	Host rocks found along Siwalik- Gondwana-Baxa sequence contact.

(10) 粘土

粘土は、Thimphu および Wangdue Phodrang 県で確認されている。風化残留型であり、カオリナイトやセリサイトを主体とする。

表 2-17 粘土

No .	Location	Reserves (M tons)	Reserve Category	Grade	Description	Remarks
1	Wang Paon, Sisina, Thimphu Dzongkhag	0.070	Estimated (surface investigation)	Has moderate plasticity and can be easily moulded.	A lensoidal body 2400 m in length and 4 m thick. Found associated with metapelites of the Paro/Janshidanda Formation.	Extracted for local use only currently. May find use in ceramics and bricks industry and as a drilling mud.
2	Khelkha, Wangdue Phodrang	-----	Channel sampling	Impure clay	A lensoidal body of 50 m by 2 m non-foliated, massive & well jointed. Found over the pegmatitic granite of the Chekha Formation.	Insignificant quantity but should look for similar occurrences for bricks making.

2.5. 工業原料資源ポテンシャル

ブータンでこれまでに発見された鉱物資源のうち、石灰石（セメントおよび化学グレード）、ドロマイト、石膏、珪石（建設資材および化学グレード）、石炭、大理石、スレートは、国内での使用と輸出の両方のために採掘されている。これらの非金属工業原料資源に基づいて、あらゆる規模の産業が設立されており、資源開発による過度な汚染がない限り、さらに多くの産業の設立が可能である（MoEA, 2006）。

工業原料資源はブータンの鉱物資源として重要な役割をもつ。石灰石（ CaCO_3 ）、ドロマイト（ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ）、珪石（ SiO_2 ）、石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）、滑石（ $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）およびグラファイト（C）のポテンシャルを以下に示す。

2.5.1. ドロマイト

(1) 地質と鉱物

ドロマイトは、 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ の化学組成を持つカルシウムマグネシウム炭酸塩鉱物である。ドロマイトは続成作用下におけるマグネシウムに富む地下水による炭酸カルシウム泥と石灰岩の堆積後の変質によって形成される。

ドロマイトは、レッサーヒマラヤシーケンス（LHS）内の Baxa 層群の Manas 層内に地層として産する。この地層には、石灰岩、千枚岩、珪岩がしばしば互層する。

(2) 分布

ドロマイトは、西側の Samtse 県から東側の Sarpang 県までのヒマラヤ南麓に沿って主に産する。

(3) 資源

ブータンにおけるドロマイトの既知の総資源量は、確定埋蔵量で約 5,133 万トン、予測資源量で 159 億 7,900 万トンである。

資源量の 3 分の 1 以上が動物保護区内に存在するが、産業で利用するために開発が制限されていない地域でも十分な資源量が存在する。

(4) 用途

ドロマイトは、鉄鋼、フェロアロイ、ガラス、合金鋼、肥料産業などの重要な原料の 1 つである。

採掘されたドロマイトは、主にブータンのアロイ会社とインドの Jigme Mining Corporation Limited (JMCL) の鉄鋼工場に対して原料として輸出されている。ある程度の量は国内で細粉碎され、ドロマイト粉末として輸出されている。その他の用途のいくつかは、セラミックおよびガラス産業における砕石骨材、規格石材、農業土壌のマグネシウム源、およびマグネシウム化合物の原料である。

(5) ポテンシャル

ドロマイトの地質的資源量は十分に大きい。

現在ほぼ完全に原料として輸出されているドロマイトは、マグネシウム塩や関連化合物に加工することで付加価値を付けることができる。

(6) その他

Samtse 県にある Chunaikhola ドロマイト鉱山は、国の実質的収入に貢献する国内最大の露天掘り鉱山の 1 つである。このドロマイト鉱床の詳細な探査としては、1975 年から 1976 年にインドの地質調査所 (GSI) が 21 のボーリング孔を掘削している (Reddy, 1977)。GSI は、30.05%の CaO と 20.49%の MgO の平均品位を有する合計 2,747 万トンのドロマイト埋蔵量 (確定埋蔵量 1,672 万トン、推定埋蔵量 1,076 万トン) を推計した。DGM は 2019 年に調査を行い、ドロマイトの地質学的確定埋蔵量は、標高 420 m レベルまでで 5 億 9,269 万トンであると報告した。

この鉱床は現在 JMCL によって採掘されている。ドロマイトは粉碎され、さまざまなサイズに選別されて、ブータン国内外の鉄合金、銑鉄、スポンジ鉄、鉄鋼産業に供給されている。微粉化したドロマイトは、大部分が農業ベースの産業と、紙、塗料、洗剤などその他の部門産業に供給される。

Chunaikhola のドロマイトの主な市場は、インドの鉄鋼と耐火物を含む関連部門である。岩塊と小岩片は、主に鉄鋼プラント、フェロアロイプラント、スポンジ鉄プラントのフラックスとして使用される。

2.5.2. 石灰石

(1) 地質と鉱物

石灰岩は、方解石という鉱物の炭酸カルシウム (CaCO_3) で主に構成された堆積岩である。ほとんどの石灰岩は生物学的に海水に由来し、比較的浅い海洋環境で沈積した。炭酸カルシウムの純度は、堆積時の環境と大理石への変成作用を含むその後の鉱物学的変遷および構造史に依存する。

石灰岩は主に LHS 内の Baxa 層群と Daling-Shumar 層群内に、スレート、片岩、千枚岩、珪岩と互層して産する。結晶質石灰岩のマッピング可能な地層は、LHS のパロ層内に片岩と珪岩に挟まれて産する。

(2) 分布

石灰石の鉱床は、西側の Samtse から東側の Nganglam, Tsebar と Wamrong までの南部地帯に広く産する。

パロ層の結晶質石灰石の鉱床は、Haa からパロ、ティンプー県まで、国の西部の内陸部に産する。

(3) 資源

石灰石鉱床はドロマイト鉱床よりも多く存在するが、石灰石の資源量はそれほど多くない。

Samtse, Chukha および Sarpang 県の石灰石鉱床は、一般に Paro, Wangdue, Pemagatshel および Trashigang 県の鉱床よりも小さい。最大の石灰石鉱床は Wangdue 県の Pelela 地域にあり、資源量は 2 億 1,600 トンである。Trashigang 県の Wamrong と Brekha 地域の鉱床は 3,000 万トンの資源量である。いくつかの石灰石鉱床は鉱床の延長を調査する必要がある。

(4) 用途

炭酸塩岩およびその生産物は、骨材、フラックス、ガラス原料、耐火物、充填材、硫黄酸化物除去における反応剤、研磨剤、土壌改良剤、紙・プラスチック・塗料の混ぜ物、およびその他の様々な市場用途で使用されている。

石灰石のほとんどは国内で消費されている。

(5) ポテンシャル

石灰石の資源量は、セメントやフラックスの国内使用としては十分のようである。

建設資材としての国内利用では、ブータンの道路アクセスが良くないため、石灰石鉱山は消費地の近くにある必要がある。

2.5.3. 石膏

(1) 地質と鉱物

石膏は、岩塩、硬石膏、硫黄、方解石、ドロマイトと関連する層状堆積性鉱床に最も普遍的に見られる蒸発岩鉱物である。石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) は、無水石膏 (CaSO_4) と非常によく似ている。石膏岩体は一般に、堆積岩に挟まれたり混合する石膏結晶の集合体で構成される。粘土質石膏は石膏の二次的産物である。硬石膏は、その地史に応じて、鉱床中の一次または二次鉱物として産する。

石膏は、LHS の Daling-Shumar 層群の Shumar 層内の硬石膏と密接に関連した厚い地層として産する。この石膏-硬石膏層は、一般に厚さ 25m の緑色の千枚岩と崖錐で覆われている。石膏に富む部分は、通常、硬石膏帯の上位に位置する。石膏-硬石膏層は、石灰質千枚岩と炭酸塩岩の薄層と互層する。

(2) 分布

石膏鉱床は、ブータン南東部の Pemagatshel 県の Khothakpa 地域に位置する。

(3) 資源

Khothakpa 地域とその周辺地域を合わせて、計 1 億 2,500 万トンの確定埋蔵量と 2,200 万トンの推定埋蔵量が報告されている。現在、M/S Druk Satair 社は、年間約 15 万トンの石膏を生産している。

(4) 用途

石膏鉱山の近くにある 3 つの小さな焼石膏プラントへの一部の供給を除いて、ほとんどの石膏は原料としてインドに輸出されている。

石膏は、ポルトランドセメント、土壌改良剤、製薬業界やガラス産業で使用されている。焼石膏は、成形石膏、鋳造石膏、壁石膏、および石膏壁板の製造に使用される。硬石膏は、硫黄資源委乏しい国で硫黄源として使用される。

(5) ポテンシャル

石膏は、輸出品の 2.33% のシェアとドロマイトの輸出の半分の価値を持っている。したがって、石膏はブータンの重要な資源であることを意味する。

ただし、石膏鉱床の分布は 1 つの地域に限定されている。地質学的には、石膏鉱床の走向方向への延長が予想される。

2.5.4. 大理石

(1) 地質と鉱物

大理石は、石灰岩が熱と圧力の変成作用を受けたときに形成される変成岩である。大理石は主に方解石 (CaCO_3) で構成されている。変成作用の条件下で、石灰岩中の方解石は再結晶して、方解石結晶が連結して塊状となる岩石を形成する。

再結晶は、石灰岩と大理石の分離を示すものである。低度の変成作用にさらされた大理石は、非常に小さな方解石の結晶をもつ。変成作用の程度が進むにつれて、結晶は大きくなる。大理石中の粘土鉱物は、変成作用の程度が上がるにつれて、雲母やより複雑な珪酸塩構造に変化する。

大理石は、3 つのすべてのヒマラヤベルトに関連する地層として、主に LHS の Baxa 層群の Manas 層内に産する。重要な大理石鉱床は、主に LHS のパロ層内に、石灰岩、ドロマイト、片岩、珪岩と互層して産する。

(2) 分布

大理石はブータンでは多くの地区で確認されている。パロ県の Khanku 鉱床は、建築および観賞用の目的で一時採掘された。現在、RSA が運営する Gidaphug Marble Mine のみが大理石平板、岩片および粉末を生産している。Gidaphug 大理石層は北方に延長して Jemina 地域に達すると報告されている。この大理石鉱山の近くに Nortak Mines and Minerals 社が Gidaphug Top Marble Mine を開発している。

その他の大理石鉱床の鉱区は Genekha (Thimphu 県)、Wangcha (Haa 県)、Mirchang-Tala (Chhukha 県) と Tsebar (Pemagatshel 県) に設定されている。Thimphu—Paro—Haa 地域のほとんどの大理石は粗粒であるが、平板や工芸品の作成には細粒大理石が必要とされる。このような品質の大理石は他地域の鉱床で発見されると考えられる。

(3) 資源

Gidaphug Marble Mine の総資源量は、 CaCO_3 が 90% 以上で 218.6 万トンと推定される。大理石層の厚さは 4.5 m から 8.0 m、走向方向の延長は約 800m である。

(4) 用途

大理石は、化学的特性から医薬品や農業で、および光学的特性から化粧品、塗料、紙に使用されている。さらに、大理石はその美観から建築や彫刻にも使用され、碎石または規格石材に作られる。

(5) ポテンシャル

大理石の資源量は豊富なようである。しかし、大理石は石灰岩と珪岩内の薄層として地形の急峻な地域に産することから、経済的に採掘するにはいくつかの困難がある。

大理石の厚い地層は Haa 県の Dorithasa, Rangtse および Sombaykha 地区に存在しており、現在 DGM が探査している。粗粒であるが、大理石層の大部分は CaCO_3 が 90%以上の品位を有する。

2.5.5. 珪石

(1) 地質と鉱物

珪岩は、ほぼ完全に石英で構成された非葉状の変成岩である。珪岩は、石英に富む砂岩が変成作用の熱、圧力および化学的作用によって変質して形成される。これらの条件により、砂粒とそれらを結合するシリカ基質が再結晶する。その結果、石英結晶粒子がネットワーク上に絡み合うことで信じられないほどの強度を有する。

珪岩は、最も物理的に堅硬かつ化学的に耐性のある岩石の 1 つである。山岳地帯では、耐性が低く耐久性の低い岩石は風化や浸食によって破壊されるが、珪岩は残存して尾根を形成する。

珪岩は、3つのすべてのヒマラヤ帯で片岩と互層し、厚い地層として産する。

(2) 分布

高品位の珪岩帯は、Samtse 県の Tintale 地域の Shumar 層、Chhukha 県の西側の Omchena-Pepchu 地域から東側の Kezari 地域（長さ約 33 km の帯）、Trashigang 県の Wakhar-Mukazor 地域に産する。

高品位の珪岩が利用できるようになったことで、国内にフェロシリコン工場が設立された。すべてのフェロシリコン工場は、これらの珪岩帯内の鉱床を利用している。

珪石は、ガラス、炭化珪素、珪化カルシウム、金属珪素の製造にも使用できる。Samtse 県にあるこのような産業の場合、Tintale（西）は鉱物の鉱区として適用可能である。Tintale 鉱床の東方と西方の拡張も可能であり、調査の必要がある。Chhukha 県でこれらの産業を設立するためには、フェロシリコン工場によってリースされていない珪岩帯において新規の鉱床を探す必要がある。Shumar 層が広く分布している東部ブータンでは、Wakhar-Mukazor 珪岩地帯からの鉛に対するさらなる調査を取り上げる必要がある。

(3) 資源

フェロシリコンと珪化カルシウム産業に適している Tintale にある珪石鉱床の資源量は、厚さ 4~42m、 SiO_2 が 97.54%で 349 万トンと推定される。

Kamji-Kezari 地域では、95~97%の SiO_2 で 2,036 万トンと推定される。

(4) 用途

珪石は、建設、製造、建築、装飾芸術においてさまざまな用途がある。

珪石はシリカの含有量が高いため、原料として価値がある。いくつかの特異な鉱床は、98%を超えるシリカ含有量がある。これらは採掘されて、ガラス、フェロシリコン、マンガンフェロシリコン、金属シリコン、シリコンカーバイド、その他の材料を製造することに使用される。

(5) ポテンシャル

珪石の地質的資源は石灰石と同じくらい豊富である。ただし、高品位の鉱床は採掘可能な鉱

量全体の一部であると考えられる。

2.5.6. 滑石

(1) 地質と鉱物

滑石は、変成岩によく見られる $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ の化学組成をもつ含水マグネシウムケイ酸鉱物である。ブータンの滑石鉱床は、マグネシウムとシリカが溶解した加熱された水がドロマイト質大理石と反応する変成作用によって形成されている。滑石が形成される他の過程としては、熱と化学的に活性な流体によりダンかんらん岩や蛇紋岩などの岩石が滑石に変質することがある。

滑石、LHS の Baxa 層群の珪岩、千枚岩、石灰質珪岩に伴われる薄いレンズ、フィルム、ポケット、層として産する。

(2) 分布

ブータン南部の丘陵地帯で多くの滑石鉱徴地が報告されている。これらは西の Samtse から東の Sarpang まで伸びている。

滑石は Baxa 層群内に産し、滑石層の厚さは数センチから 40 メートルの範囲である。

(3) 資源

報告されている鉱物の既知の総量は 139,700 トンである。

最大の滑石鉱床は、Chhukha 県の Pa Chu と Seti Kohla にある。厚さ 5~12m、長さ 90m、厚さ 13~40m、長さ 300m の 2 枚のレンズで構成されている。推定資源量の合計は 11 万トンである。

(4) 用途

滑石は、滑石粉として広く知られている白い粉末に粉砕される。この粉は、水分を吸収し、油を吸収し、臭いを吸収し、潤滑剤として機能し、人間の皮膚に収斂作用をもたらす効力を有する。滑石の独特な特性は、セラミック、塗料、紙、屋根材、プラスチック、ゴム、殺虫剤、および他の多くの製品を作るための重要な材料である。

(5) ポテンシャル

採掘可能な鉱床が存在する Chhukha 県と Samtse 県では、滑石製粉とバルク包装の装置が設置できると考えられる。

南部の丘陵地帯では、探査および開発が可能な小規模鉱体が多く存在すると考えられる。正確な資源量を証明するための体系的な調査することで、付加価値なしで単に輸出するのではなく、国内に滑石濃縮プラントを設置することが可能となる。

2.5.7. グラファイト

グラファイトは天然元素鉱物であり、変成岩や火成岩に見られる天然に産する結晶性炭素の形態である。グラファイトは非常に柔らかく、非常に軽い圧力で剥離し、非常に低い比重を持っている。一方で、グラファイトは熱に非常に耐性があり、他のほとんどの物質と接触してもほとんど不活性である。これらの極端な特性により、冶金学および製造業において幅広い用途が得られる。

➤ フレーク（鱗状）グラファイト（Flake graphite）

ほとんどのグラファイトは、グラニュライト変成相と同等の広域変成作用の熱と圧力にさらされた有機物に富む頁岩と石灰岩に形成される。この変成作用により、グラファイトの極省の結晶とフレークを含む大理石、片岩、片麻岩が生成される。グラファイトの濃度が十分に高い場合、これらの岩石は採掘され、グラファイトフレークを遊離させる粒径に破碎され、低密度グラファイトを除去するための比重分離または泡浮選によって選鉱される。製造された製品は「フレークグラファイト」となる。

➤ アモルファス（土状）グラファイト（Amorphous graphite）

いくつかのグラファイトは石炭層の変成作用から形成される。石炭の有機物は主に炭素、酸素、水素、窒素、硫黄で構成される。変成熟は石炭の有機分子を破壊し、酸素、水素、窒素、硫黄を揮発させる。残存するのは、結晶化して鉱物黒鉛となったほぼ純粋な炭素物質である。このグラファイトは、石炭の元の層に対応する「薄層」に産する。採掘されると、その物質は「アモルファスグラファイト」となる。「アモルファス」という言葉は、グラファイトが結晶構造を有するため、この場合には実際には正しくない。鉱山で見ると、この物質は明るく鈍い縞のない石炭の塊に似た外観を持っている。

(1) 地質と鉱物

グラファイトの鉱床はパロ層内に片岩、千枚岩、珪岩と互層して、ティンプー層内に片麻岩と互層して主に産する。

(2) 分布

Khepchishi Hill のグラファイト鉱床は、標高 3,900m を超える Haa 県の Chelela 地域にある。グラファイトは、パロ層の珪岩、石灰質珪岩、カルクケイ酸塩岩およびドロマイトと整合的地層を形成するグラファイト片岩に伴われて産する。グラファイトのほとんどは隠陰微晶質であるが、わずかにフレーク状のものもある。グラファイト片岩の 3 つの地層が存在する。3 層は Latina 尾根の近くでひとつの地層に合体して、南東方に Khepchishi 頂まで伸びる。結合した地層の走向方向の長さは 1,500 m、幅は 30 m 以上である。

(3) 資源

GSI は Khepchishi Hill で 1983 年に地質調査と探査試錐を実施し、グラファイトの総鉱石埋蔵量を 10% から 22% の黒鉛を含む 5,374 万トンと推定した。

(4) 用途

天然グラファイトは、耐火物、電池、製鋼、膨張グラファイト、ブレーキライニング、鑄造の表面仕上げ材、潤滑剤、鉛筆に主に使用される。

(5) ポテンシャル

グラファイト片岩はブータンの西部に広く分布しており、ある程度のグラファイトの資源量が期待される。グラファイトの品位と結晶度は、採掘の可能性にとって重要である。

(6) 室内試験

本 JICA プロジェクトにおいて、ブータンおよび日本の地質家が Chelela Hill と Khepchishi Hill 地域のグラファイト鉱地を踏査して、化学分析および X 線回折試験用の岩石試料を採取した。化学分析結果を表 2-18 (Appendix II-3) に、X 線回折試験結果を表 2-19 に示す。

採取した 5 試料には、7.47~17.9%の炭素または 7.33~17.55%の有機炭素が含まれている。すなわち、ほとんどの炭素は炭酸塩鉱物として存在していない。GSI の既存報告書では、平均品位が 12.10~15.65%の非炭酸炭素であるとしているため、本件の化学分析結果と整合的である。採掘や選鉱において汚染を引き起こすような重金属は多く含まれていない。

グラファイト片岩は、石英、雲母および微量の斜長石で構成されている。グラファイトも含まれるが、X 線回折における主要なピークがグラファイト片岩に豊富に含まれる石英のピークと重なっているため、グラファイトの量を見積ることは難しい。

表 2-18 Khepchishi Hill のグラファイト片岩の化学分析結果

Component	unit	JICA-C01	JICA-C02	JICA-C03	JICA-C04	JICA-C05	Analytical method
SiO ₂	%	57.1	52.9	70.4	62	57.2	ME-ICP06
Al ₂ O ₃	%	13.75	16.8	10.6	8.92	16.05	ME-ICP06
Fe ₂ O ₃	%	2.18	2.64	3.18	0.95	0.74	ME-ICP06
CaO	%	0.86	0.3	0.53	0.01	0.02	ME-ICP06
MgO	%	1.22	1.63	0.45	0.53	1.05	ME-ICP06
Na ₂ O	%	0.37	0.32	0.1	0.15	0.2	ME-ICP06
K ₂ O	%	3.05	4.53	2.73	2.54	5.03	ME-ICP06
Cr ₂ O ₃	%	0.04	0.024	0.032	0.054	0.029	ME-ICP06
TiO ₂	%	0.67	0.89	1.04	0.51	0.72	ME-ICP06
MnO	%	0.02	1.44	0.03	0.01	0.04	ME-ICP06
P ₂ O ₅	%	0.44	0.45	0.85	0.06	0.02	ME-ICP06
SrO	%	0.03	0.05	0.04	0.01	<0.01	ME-ICP06
BaO	%	0.09	0.21	0.15	0.09	0.12	ME-ICP06
LOI	%	19.05	14	10.1	18.55	15.45	OA-GRA05
Total	%	98.87	96.18	100.23	94.38	96.67	TOT-ICP06
C	%	14.6	10.55	7.47	17.9	12.95	C-IR07
C organic	%	13.8	10.45	7.33	17.55	12.85	C-IR17
S	%	0.07	0.01	0.01	0.01	<0.01	S-IR08
Ba	ppm	862	1960	1385	823	1080	ME-MS81
Cr	ppm	280	170	220	390	210	ME-MS81
Cs	ppm	4.79	5.79	3.34	3.74	7.24	ME-MS81
Ga	ppm	19.2	26.2	18.9	13.2	25.3	ME-MS81
Ge	ppm	<5	<5	<5	<5	<5	ME-MS81

Hf	ppm	4	4.9	4.5	3.5	4.1	ME-MS81
Nb	ppm	21.3	116	43.3	15.1	20.9	ME-MS81
Rb	ppm	127.5	187	128	101.5	227	ME-MS81
Sn	ppm	3	7	5	2	5	ME-MS81
Sr	ppm	290	473	357	94	64	ME-MS81
Ta	ppm	1.6	3.7	4.2	0.8	1.4	ME-MS81
Th	ppm	18	28	22.8	16.45	18.95	ME-MS81
U	ppm	13.25	5.41	5.88	7.81	4.71	ME-MS81
V	ppm	193	237	111	154	243	ME-MS81
W	ppm	4	4	2	3	4	ME-MS81
Y	ppm	36.6	28.6	55.8	38.2	15.9	ME-MS81
Zr	ppm	153	184	168	130	140	ME-MS81
As	ppm	4.1	1.1	1.5	0.7	1.4	ME-MS42
Bi	ppm	0.1	0.08	0.68	0.08	0.46	ME-MS42
Hg	ppm	<0.005	<0.005	0.009	<0.005	<0.005	ME-MS42
In	ppm	0.056	0.031	0.051	0.007	0.019	ME-MS42
Re	ppm	0.003	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	ME-MS42
Sb	ppm	<0.05	0.06	0.18	<0.05	0.08	ME-MS42
Se	ppm	7.5	0.2	5.1	0.4	0.5	ME-MS42
Te	ppm	<0.01	0.08	0.04	<0.01	0.03	ME-MS42
Tl	ppm	0.45	0.37	0.13	0.21	0.22	ME-MS42
Ag	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	ME-4ACD81
Cd	ppm	0.8	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	ME-4ACD81
Co	ppm	5	52	3	1	2	ME-4ACD81
Cu	ppm	36	21	56	14	2	ME-4ACD81
Li	ppm	20	30	20	10	20	ME-4ACD81
Mo	ppm	5	1	2	1	2	ME-4ACD81
Ni	ppm	71	17	9	11	4	ME-4ACD81
Pb	ppm	20	28	10	12	22	ME-4ACD81
Sc	ppm	15	20	18	14	17	ME-4ACD81
Zn	ppm	96	77	28	7	7	ME-4ACD81
Au	ppm	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	Au-ICP21
La	ppm	45.4	74.6	76.6	36.2	37.1	ME-MS81
Ce	ppm	79	153	154	62.3	68.2	ME-MS81
Pr	ppm	11.1	19.85	21.2	9.22	8.84	ME-MS81
Nd	ppm	39.7	73.9	78.2	35.7	31.1	ME-MS81
Sm	ppm	8.05	13.15	14.5	7.05	5.86	ME-MS81
Eu	ppm	1.13	2.6	2.06	1.08	0.55	ME-MS81

Gd	ppm	6.48	9.39	11.3	6.34	4.37	ME-MS81
Tb	ppm	1.02	1.2	1.5	0.88	0.6	ME-MS81
Dy	ppm	6.58	6.56	8.86	5.98	3.24	ME-MS81
Ho	ppm	1.21	1.14	1.8	1.18	0.62	ME-MS81
Er	ppm	3.96	3.17	5.51	3.91	1.81	ME-MS81
Tm	ppm	0.52	0.38	0.7	0.51	0.2	ME-MS81
Yb	ppm	3.87	2.46	4.39	3.72	1.49	ME-MS81
Lu	ppm	0.55	0.37	0.65	0.53	0.24	ME-MS81

表 2-19 Khepchishi Hill のグラファイト片岩の X 線回折試験結果

試料	石英	斜長石	雲母
JICA-C01	+++	++	++
JICA-C02	+++		++
JICA-C03	+++		++
JICA-C04	+++		++
JICA-C05	+++		+++

量の凡例： +++：多量， ++：中量， +：少量

3. 鉱業セクターの生産

3.1. 鉱物資源の種類と用途

地球の物質から鉱物を抽出するプロセスは鉱業と呼ばれる。鉱物は国の経済的およびインフラ開発の中核として機能する。

鉱物資源は以下の3種類に区分される。

(1) 金属鉱物

- ・ 貴金属鉱物：金，銀，プラチナなど
- ・ 非鉄金属鉱物：銅，亜鉛，鉛，タングステン，コバルト，ニッケルなど
- ・ 鉄鉱物：赤鉄鉱，磁鉄鉱など

(2) 非金属鉱物

- ・ 建設（工業）材料と石：石灰石，大理石，砂岩，粘土など
- ・ 非金属鉱物：グラファイト，ダイヤモンド，石英，螢石など

(3) 燃料鉱物

- ・ ウラン，石炭，石油，天然ガスなど

鉱業および経済学では、「卑金属（ベースメタル）」という用語は，貴金属を除く非鉄金属を指す。最も一般的な卑金属は，銅，鉛，ニッケル，亜鉛，スズとアルミニウムである。卑金属は貴金属より普遍的であり，より容易に抽出される。

A) 銅

銅は主に電線に加工される。その他に，スイッチ，配管，暖房，電気，屋根材／電子部品／産業用機械および装置／輸送機関／消費および一般製品／硬貨と宝石などに使用される。

B) ニッケル

ニッケルはステンレス鋼の合金として不可欠である。化学および航空宇宙産業で重要な役割を果たす。

C) 鉛

鉛は自動車用バッテリーに使用されている。また，建設，弾薬，テレビ受像管，原子核の遮蔽，セラミック，錘，管またはコンテナにも使用される。

D) 亜鉛

亜鉛は鋼板や材料のメッキに使用される。また，ダイカスト，銅との合金による真鍮の製造，ゴムや塗料の化合物としても使用される。酸化亜鉛は薬，塗料，加硫ゴム，日焼け止めローションに使用される。

E) スズ

スズは，缶や容器，電気機器，化学薬品の製造に使用される。

F) アルミニウム

アルミニウムは地球の地殻で最も豊富な金属元素である。アルミニウムは，自動車や飛行機，瓶や缶詰産業，建築および電気などの用途で使用される。

3.2. 鉱物資源の生産量

ブータンの鉱物資源生産量は NSB が発行する統計白書 2019 にまとめられている。種類と用途別の鉱物生産量（2014～2018 年）を表 3-1 に示す。このデータに基づき JICA 調査団が作成した経年推移図を図 3-1 に示す。

建設資材としての岩石の生産は年々増加している。これは、ビル建設やインフラ整備などの経済発展が着実に進んでいることを意味する。ドロマイト、石灰石、大理石の生産量も増加している。これらの材料のほとんどは輸出されており、これらの生産はブータンの GDP 成長に貢献している。

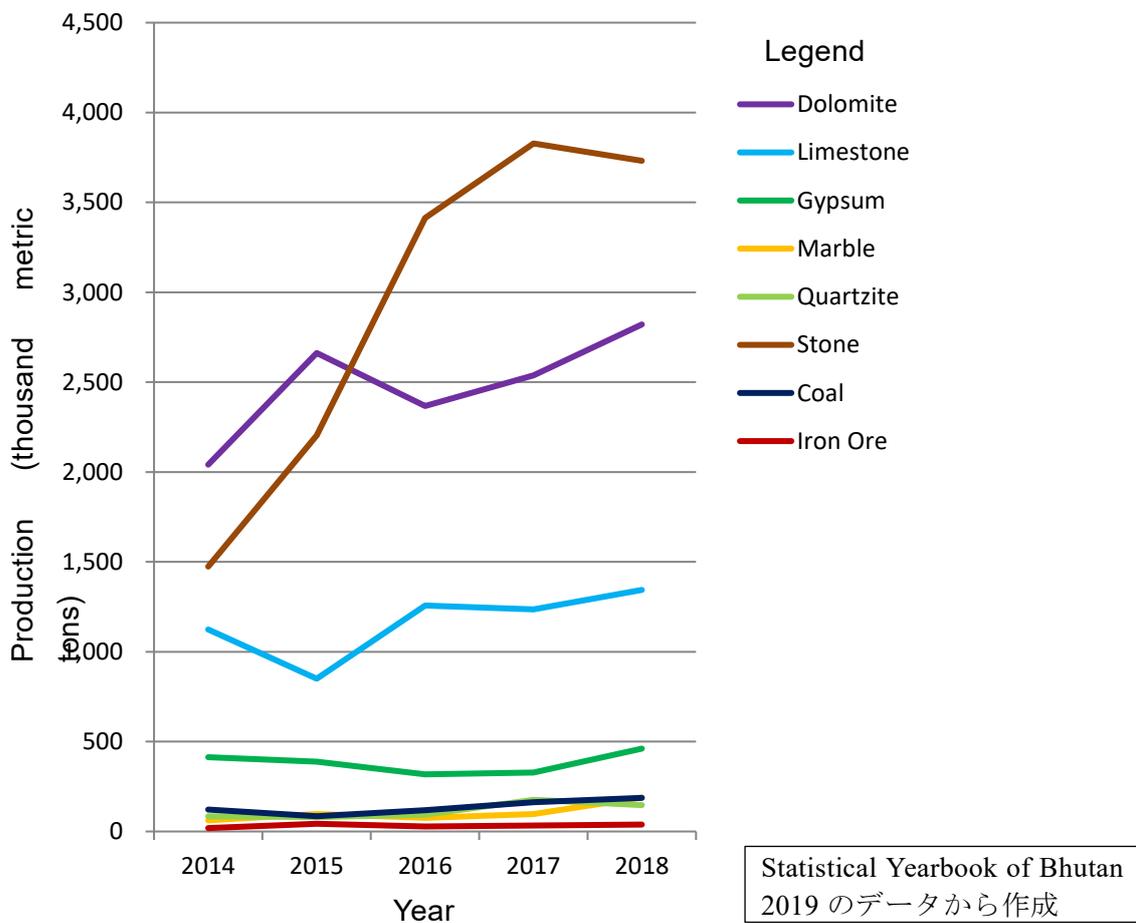


図 3-1 主要鉱物資源の生産推移（2014～2018 年）

表 3-1 鉱物資源種別の生産量（2014～2018年）

Minerals (unit)		2014	2015	2016	2017	2018
Dolomite (metric tonnes)	Total	2,040,691	2,662,310	2,367,659	2,536,693	2,821,166
	Export	2,004,877	2,495,580	2,283,725	2,546,210	2,816,806
	Domestic use	35,814	166,730	83,934	46	4,361
Limestone (metric tonnes)	Total	1,122,825	850,431	1,257,101	1,235,162	1,344,038
	Export	16,406	24,579	1,244,999	40,121	53,345
	Domestic use	1,106,419	825,853	12,102	1,195,041	1,290,693
Gypsum (metric tonnes)	Total	414,148	389,365	317,597	328,128	461,128
	Export	368,411	343,684	241,650	269,385	377,197
	Domestic use	45,736	45,681	75,948	58,743	83,932
Coal (metric tonnes)	Total	121,891	85,164	117,783	161,527	186,824
	Export	26,574	5,403	...	18,931	26,916
	Domestic use	95,317	79,762	117,783	142,596	159,908
Marble (metric tonnes)	Total	61,921	97,648	75,031	96,567	188,901
	Export	39,850	14,543	36,358	75,655	152,585
	Domestic use	22,071	83,105	38,674	20,912	36,315
Slate (square feet)	Total	...	...	...	...	...
	Export	...	...	...	...	...
	Domestic use	...	...	...	...	...
Quartzite (metric tonnes)	Total	83,907	79,818	92,770	175,501	145,714
	Export	2,228	2,120	2,745	...	...
	Domestic use	81,679	77,699	90,025	175,501	145,714
Talc (metric tonnes)	Total	12,601	5,807	2,261	1,293	2,042
	Export	6,917	3,470	...	1,293	
	Domestic use	5,685	2,338	2,261	...	
Stone (metric tonnes)	Total	1,474,395	2,203,065	3,414,215	3,828,254	3,730,975
	Export	28,340	104,482	553,639	299,369	
	Domestic use	1,446,055	2,098,584	2,860,576	3,528,885	
Granite (metric tonnes)	Total	4,362	3,889	96,827	26,364	6,080
	Export	0	-	...	...
	Domestic use	4,362	63,438	96,827	26,364	
Phyllite (metric tonnes)	Total	40,077	40,417	41,800	61,910	53,189
	Export	12	36,592	2,615	771	
	Domestic use	40,065	3,826	39,185	61,139	
Calc Tufa (metric tonnes)	Total	...	...	...	...	12,324
	Export	...	...	...	...	...
	Domestic use	...	...	...	...	12,324

Iron Ore (metric tonnes)	Total	18,997	43,202	28,065	32,974	37,843
	Export	0	...	...	...	...
	Domestic use	18,997	43,202	28,065	32,974	37,843
Clay (metric tonnes)	Total	10,209	...	...	...	...
	Export	0	...	...	...	...
	Domestic use	10,209	...	...	...	...

出典：NSB(2019)

2018年の輸出入額の上位10産物を表3-2および表3-3に示す。2018年の国別の輸出額順位を表3-4に示す。

鉱業に関連する工業原料である輸出産物のシェアは、2018年には74%を超え、そのほとんどがインドとバングラデシュに輸出された。

このような工業原料は金属鉱物よりも比較的価値が低いため、必然的に低い輸送コストが必要であり、言い換えれば、鉱山や採石場が「市場の近くにある」ことが必要である。したがって、インドとバングラデシュは、鉱業セクターにおいて極めて重要な市場である。これら2か国における工業原料の市場調査が不可欠になる。

表 3-2 輸出額上位 10 番までの生産物（2018 年）

Mining	Commodity description	Value (Million Nu.)	Percent share
○	Containing by weight more than 55% of silicon	13,050.06	42.32
○	Boulders	2,121.64	6.88
○	Other, of rectangular (other than square) cross-section	1,419.67	4.60
○	Dolomite, not calcined or sintered, chips	1,232.48	4.00
○	Portland pozzolana cement	1,091.03	3.54
○	Neither crushed nor ground	929.41	3.01
○	Pebbles, gravel, broken or crushed stone, of a kind commonly used for concrete	895.26	2.90
○	Of silicon	842.56	2.73
○	Gypsum; anhydrite	718.81	2.33
○	Ordinary portland cement	616.28	2.00
	Others	7,918.01	25.68
	Total	71,345.20	100.00

出典：NSB(2019)

表 3-3 輸入額上位 10 番までの生産物（2018 年）

Mining	Commodity	Value (Million Nu.)	Percent share
	Other light oils and preparations (HSD)	7,943.33	11.13
○	Ferrous products obtained by direct reduction of iron ore	2,563.00	3.59
	Motor spirit (gasoline) including aviation spirit (petrol)	2,333.61	3.27
	Other (Wood Charcoal)	2,226.24	3.12
	Dumpers designed for off-highway use	1,916.41	2.69
○	Coke and semi-coke	1,796.53	2.52
	Semi-milled or wholly milled rice, whether or not polished or glazed	1,689.09	2.37
	For a voltage exceeding 1,000 V	1,253.15	1.76
	g.v.w. (gross vehicle weight) not exceeding 5 tonnes	992.30	1.39
	Petroleum bitumen	850.85	1.19
	Others	47,780.70	66.97
	Total	71,345.20	100.00

出典：NSB(2019)

表 3-4 輸出国リスト（2018 年輸出額順位）

No.	Country Name	Value in Nu.
1	India	21,591,811,700
2	Bangladesh	5,948,359,953
3	Italy	917,899,323
4	Netherlands	550,273,774
5	Nepal	525,055,549
6	Germany	423,176,288
7	Spain	125,529,733
8	Hong Kong	104,923,262
9	Turkey	102,460,007
10	Singapore	99,950,573
11	United Arab Emirates	90,148,957
12	Belgium	68,375,998
13	Thailand	52,307,644
14	Japan	48,985,579
15	Viet Nam	43,851,248
16	Malaysia	31,016,852
17	South Africa	25,126,830
18	Taiwan	14,591,653

19	Poland	14,524,467
20	Slovenia	12,181,086
21	United States of America	11,225,121
22	France	10,610,754
23	Romania	9,339,800
24	United Kingdom	8,418,564
25	China	1,459,855
26	Korea South	1,362,394

出典：NSB(2019)

表 3-5 鉱業・砕石分野の GDP (2014~2017 年)

Contents	2014	2015	2016	2017
Prices (million Nu.)	3,376.43	4,484.27	6,455.09	6,954.62
Percentage share (%)	2.82	3.40	4.34	4.22
Sectional growth rate (%)	17.01	13.38	11.47	7.01
National overall GDP growth rate (%)	5.75	6.49	7.99	4.63

出典：NSB(2019)

鉱業・採石セクターの成長率は、2017 年の 7.01%の成長から 2018 年の 37.56%の成長と、30.56%増加した。石膏と大理石の鉱山が同セクターの成長に最も貢献しており、2018 年の年間成長率はそれぞれ 92.36%と 67.67%であった。

2018 年の同セクターの成長率は 10 年以内の最高値の 1 つであり、2013 年には 36.20%の高成長率を記録した。

鉱業・採石セクターは、GDP に対して 4.86%のシェアを記録し、2017 年の 4.35%から 0.51%ポイント増加した。現在の価格における総付加価値 (GVA) は 2018 年に 81 億 1,378 万 Nu と推定される。

3.3. 鉱業セクターの企業

鉱業セクターに係る規模の大きな企業のリストを、「鉱業，砕石」，「鉱物資源」，「アロイ製造」，「鉄鋼」の4部門別に，表 3-6～表 3-9 に示す (DOI, MOEA(2017))。鉱業と砕石部門およびアロイと鉄鋼を除く鉱物ベースの産業において大規模な企業はわずかである。

鉱業セクターにおいて，DHI 社に関連する企業は以下の6社である。

- State Mining Corporation 社 (SMCL) : 鉱物資源探査および採掘を実施
- Natural Resources Development Corporation (NRDCL) : 砕石と砂を生産・供給
- Dungsam Cement Corporation 社 (DCCL) : セメント生産 (国内最大生産量)
- Penden Cement Authority 社 (PCAL) : セメント生産
- Bhutan Ferro Alloys 社 (BFAL) : フェロシリコン製造
- Druc Metallurgy 社 (DML) : 軟鋼製品製造

(1) 鉱業，砕石

表 3-6 企業リスト：鉱業，砕石

No.	Company Name	Scale	Location	Investment	Scale
1	Jigme Industries Pvt. Ltd.	Medium	Samtse	Domestic	Large
2	Adagangchu Stone Quarry	Medium	Wangdue		
3	Begagong Stone Quarry Pvt. Ltd.	Medium	Bjena, Wangdue		
4	Bhutan Crushing Unit	Medium	Pugli, Samtse	Domestic	Medium
5	Bhutan Green Aggregate & Sand	Medium	Bhurkhola, Sarpang		
6	Bhutan Stone & Aggregate Factory	Medium	Mewangd, Thimphu	Domestic	Medium
7	Bhutan Stone & Mineral	Medium	Samtse		Medium
8	CDCL Stone Crushing Unit	Medium	Drepong, Mongar		
9	Dawa Dotshang Pvt. Ltd.	Medium	Dogar, Paro	Domestic	Medium
10	Dhendup Stone Crushing Unit	Medium	Sjongkhar	Domestic	Medium
11	Dolliwa Stone Quarry	Medium	Doliwa, Wangdue		
12	Druk Mining Pvt Ltd.	Medium	Kamji	Domestic	Medium
13	Druk Norbu Kuenphen Mining	Medium	Kunkha/ Chukhan		
14	Gebakha Stone Quarry	Medium	Wochugang, Wangdue		
15	Gewachu Stone Crushing Unit	Medium	Wewachu, Wangdue		
16	GP Aggregates	Medium	Sjongkhar		Medium
17	Homdar Crushing Plant	Medium	Zhemgang		
18	Jigme Industries Pvt. Ltd.	Medium	Samtse	Domestic	Large
19	Jigme Mining Corporation Ltd.	Large	Chunaikhola, Samtse	Domestic	Large
20	Jomokha Quartzite Mine	Medium	Jomokha, Chukha		
22	Jungomla Stone Quarry	Medium	Bjena, Wangdue		

23	Kilikhar Stone Crushing Unit	Medium	Kilikhar, Mongar		
24	KNT Stone Processing Unit	Medium	Paithachu, Sarpang	Domestic	Medium
25	Kuenphen Norden Mining	Medium	Thimphu	Domestic	Medium
26	Kuenphen Norden Crushing & Powdering Unit	Medium	Pasakha IE		
27	Lhaki Dolomite & Mining Industries	Medium	Duarpani, Samtse	Domestic	Medium
28	Lomekha Stone Quarry & Aggregate	Medium	Drakarpo, Paro		
29	Nortak Mines & Minerals	Medium	Gidaphu, Thimphu		
30	Quality Stone & Aggregate Factory	Medium	Siligang, Thimphu	Domestic	Large
31	Radak Co. Pvt. Ltd.	Medium	Wangdue		
32	Samden Dolomite	Medium	Pugli		
33	Samden Dolomite	Medium	Sjongkhar		
34	Taktshang Aggregate & Sand Plant	Medium	Gidaphu, Thimphu		
35	Tara Dolma Ghardar Mines	Medium	Gardara, Samtse		
36	Tingzam Stone Crushing	Medium	Drepong, Mongar		
37	Upper Gida Stone Quarry	Large	Gidaphu, Thimphu		
38	Yurmong Stone Quarry	Medium	Trongsa		

(2) 鉱物資源

表 3-7 企業リスト：鉱物資源

No.	Company Name	Scale	Location	Investment	Scale
1	Penden Cement Authority Ltd.	Large	Gomtu, Samtse	Domestic	Medium
2	Barma Chemical Industries	Medium	Pemagatshel	Domestic	NO
3	Bhutan Bricks Pvt. Ltd.	Medium	Pasakha	Domestic	NO
5	Bhutan Concrete Bricks	Medium	Bjemina	Domestic	Medium
6	Bhutan Gypsum Products Pvt. Ltd.	Medium	Pemagatshel	Domestic	Large
7	Druk Cement Compant Pvt. Ltd	Large	Pasakha	Domestic	Large
8	Druk Gypproduct & Chemical Ltd.	Medium	Samdrupjongkhar	Domestic	Medium
9	Druk Mining Pvt. Ltd.	Medium	Kamji, Chukha	Domestic	Medium
10	Druk Plaster & Chemicals Ltd.	Medium	Samdrupjongkhar	Domestic	Large
11	Druk Satair Corp. Ltd.	Large	Pemagatshel	Domestic	Large
12	Dungsam Cement Corporation Limited	Large	Nganglam	Domestic	Large
13	Lhaki Cement	Large	Gomtu, Samtse	Domestic	Large
14	RSA Pvt. Ltd. (Marble Unit)	Medium	Pasakha IE	Domestic	Medium
15	RSA Pvt. Ltd. (Carb Unit)	Medium	Bjemina, Thimphu	Domestic	Medium
16	RSA Pvt. Ltd. (LSU)	Medium	Bjemina, Thimphu	Domestic	Medium

17	SD Eastern Bhutan Coal Co. Ltd.	Large	Samdrupjongkhar	Domestic	Large
18	Yangzom Cement Industry	Medium	Samtse	Domestic	Medium
19	Yoezer Bricks	Medium	Sarpang		Medium

(3) アロイ製造

表 3-8 企業リスト：アロイ製造

No.	Company Name	Scale	Location	Investment	Scale
1	Bhutan Alloys Steel Casting	Medium	Pasakha IE	Domestic	Large
2	Bhutan Carbide & Chemicals Industry Ltd.	Large	Pasakha IE	Domestic	Large
3	Bhutan Ferro Alloys Ltd.	Large	Pasakha IE	Domestic	Large
4	Bhutan Silicon Metals Pvt. Ltd.	Large	Pasakha IE	Domestic	Large
5	Druk Ferro Alloys Ltd.	Large	Pasakha IE	Domestic	Large
6	Druk Wang Alloys Ltd.	Large	Pasakha IE	Domestic	Large
7	Pelden Enterprise Ltd.	Large	Pasakha IE	Domestic	Large
8	Saint Gobain Ceramics Materials Pvt. Ltd.	Large	Pasakha IE	Foreign Direct Investment	Large
9	SD Eastern Bhutan Ferrosilicon Pvt. Ltd.	Large	Samdrupjonkhar	Domestic	Large
10	SKW-Tashi Metals & Alloys Pvt. Ltd.	Large	Pasakha IE	Foreign Direct Investment	Large
11	Ugen Ferro Alloys Pvt. Ltd.	Large	Pasakha IE	Foreign Direct Investment	Large

(4) 鉄鋼

表 3-9 企業リスト：鉄鋼

No.	Company Name	Scale	Location	Investment	Scale
1	Bhutan Rolling Mills Ltd.	Large	Pasakha	Domestic	Large
2	Bhutan Steel Industries Ltd	Large	Pasakha	Domestic	Large
3	Druk Iron & steel Pvt. Ltd	Large	Ramitey	Domestic	Large
4	KK Iron & Steel Pvt. Ltd	Medium	Pasakha IE	Domestic	Medium
5	Lhaki Steel & Rolling Mills Pvt. Ltd.	Large	Pasakha IE	Domestic	Large
6	Bhutan Concast Pvt. Ltd.	Large	Pasakha IE	Domestic	Large

3.4. 世界の金属価格

3.4.1. 金属価格決定の仕組み

LME（ロンドン金属取引所）と呼ばれる取引所が金属価格を毎日発表している。

- ✓ LMEは1877年にロンドンで設立された世界で最も大きい金属取引所である。
- ✓ 取り扱う金属は主に銅，鉛，亜鉛，ニッケル，スズ，アルミニウムである。2010年からは，レアメタルのモリブデンとコバルトを扱っている。
- ✓ LMEは毎日定められた時間に金属単位で公式取引を行っている。
- ✓ LMEは市場基準として金属価格を発表する。

図 3-2 は LME ウェブサイト（<https://www.lme.com>）のホームページ画像である。

US\$: 18 February 2020	
LME Aluminium	1,681.00
LME Copper	5,728.00
LME Zinc	2,128.00
LME Nickel	12,880.00
LME Lead	1,901.00
LME Tin	16,520.00
LME Aluminium Alloy	1,380.00
LME NASAAC	1,270.00
LME Cobalt	33,500.00
LME Gold*	1,600.40
LME Silver*	18.175
LME Steel Scrap**	283.00
LME Steel Rebar**	429.00

Non-ferrous cash prices, per metric tonne, discovered on the Ring: 12.30-13.15

*Gold and Silver spot price, per troy ounce, established basis LMEselect trading: 18.29-18.30

**Ferrous Month 3 prices, per metric tonne, established basis LMEselect trading: 16.25-16.30

図 3-2 LME のホームページ

LME の目的は、LME 契約で取引するための設備を管理と規制組織とともに提供することである。LME は、金融行為監督機構（FCA）によって直接規制されている公認投資取引所（RIE）である。その活動は実物市場と密接に関連しているが、金融サービスおよび市場法（2000 年）の規制の枠組み内で機能している。同法は、取引所が運営する条件を厳密に定義し、RIE としてすべての契約において秩序ある市場を維持することを要求している。

LME における基本的な価格変動要因は、需要と供給のバランスである。これに加えて、投資資金の流入により価格の変動性がさらに高まる。

- ✓ 中国経済が急速に成長し始めた 2004 年頃から、中国での銅の需要が急増し、銅の LME 価格が急騰した。
- ✓ 2008 年に起こった世界的な金融危機の間に、金属の需要は急激に低下し、その価格は暴落した。
- ✓ 近年、貿易の中心はアジア地域に移っている。

3.4.2. 金属価格の変動要因

金属価格は基本的に需給バランスによって決定される。将来的には、卑金属の主な消費者である中国の経済動向が金属価格に大きな影響を与えると予想されている。実際に、中国経済の急速な成長が最近鈍化し始めているので、金属資源需要の増加するペースは鈍化し、金属価格は全体的に下落している。

金属鉱物資源の安定供給には主に 3 つのリスクがある。

- 1) 資源ナショナリズム
- 2) 資源の偏在
- 3) 主要鉱山会社の寡占

■ リスク 1：資源ナショナリズム

開発途上国の天然資源は、しばしば外国資本または国際資本によって開発されてきた。一方、インドネシアのニッケルのように、資源国は自国の資源を管理・開発しようとする傾向が強まっている。

- 利益への関与を増やすため
 鉱山会社の国有化、外資の規制
- 自国経済の利益を増やすため
 輸出税と制限の強化
- 鉱業からの収入を増やすため
 ロイヤルティと鉱業税の導入と引き上げ

■ リスク 2：資源の偏在

鉱床の形成は地球の地史と密接に関連している。したがって、金属資源は均等に分布しておらず、資源の生産国は偏っている。現在、世界で流通している卑金属の約半分の量が、生産量の上位 3 か国で占められている。偏在の典型的な例として、資源量およびクロムと銅の分布の世界

地図を図 3-3 および図 3-4 に示す。

上位シェアの3か国

- ✓ 銅 47% : チリ, 中国, ペルー
- ✓ ニッケル 46% : フィリピン, ロシア, カナダ
- ✓ 鉛 72% : 中国, オーストラリア, アメリカ合衆国
- ✓ 亜鉛 59% : 中国, ペルー, オーストラリア

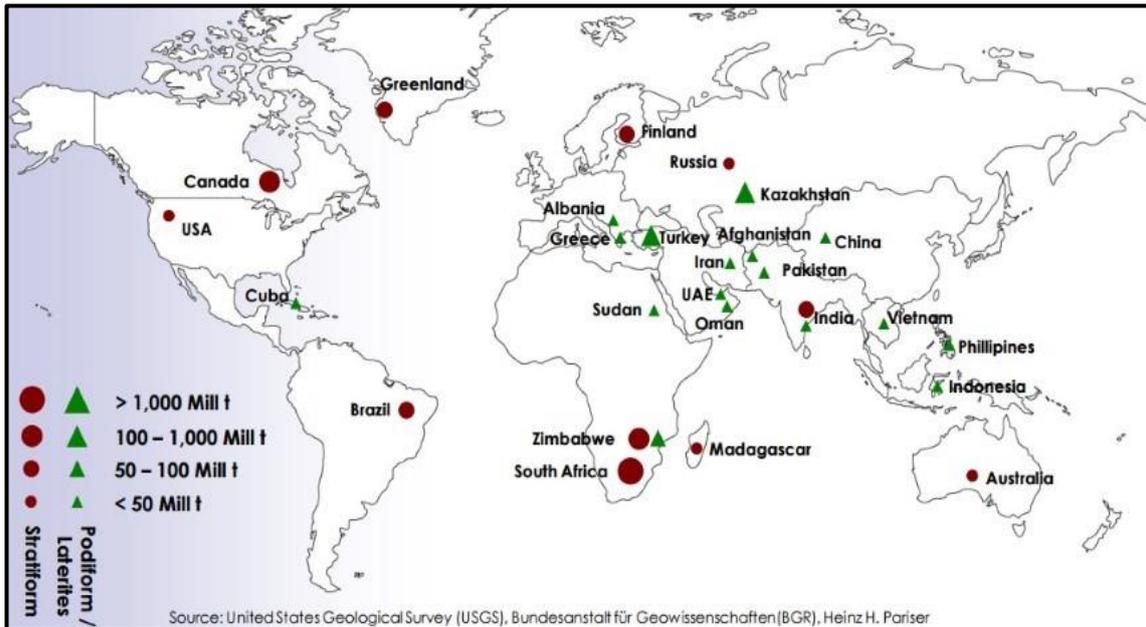


図 3-3 クロム鉱石の分布

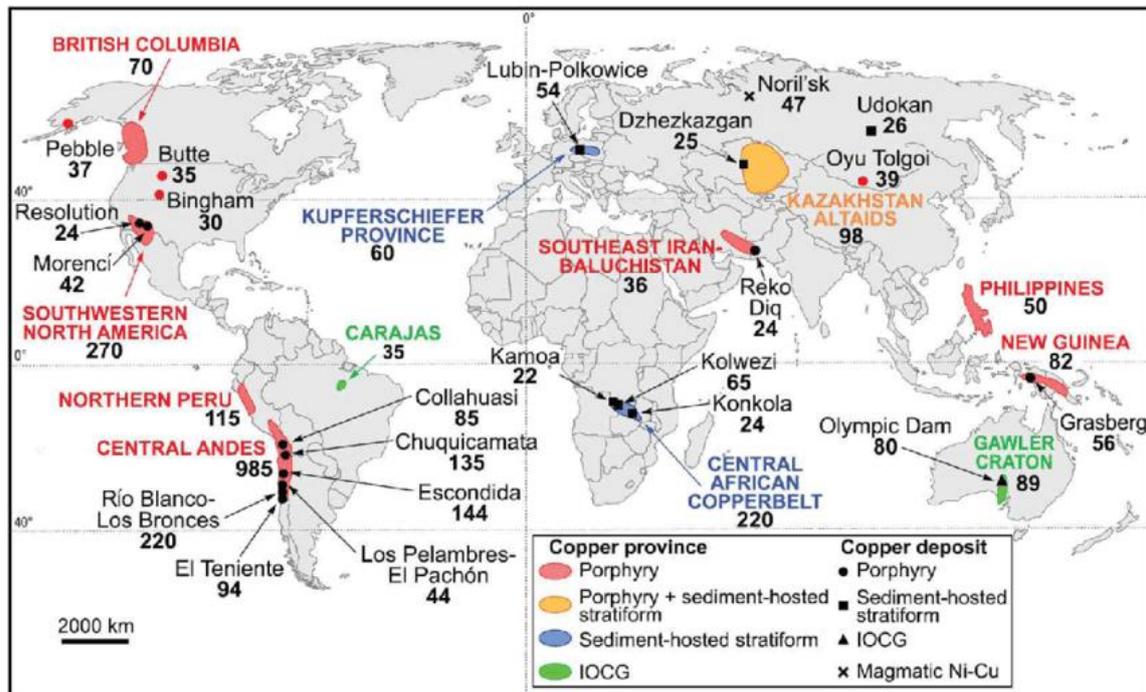


図 3-4 世界的規模の銅鉱床の分布

■ リスク 3：主要鉱山会社の寡占

鉱山開発は主に「資源メジャー」と呼ばれる大企業により長年にわたり実行されてきた。その特徴は、資源メジャーが大規模な採鉱から製錬および製品化までの関心を維持することで、世界的かつ多国籍でビジネスを展開していることである。

最近の金属価格の上昇に伴い、M&Aによる寡占化が進んでいる。いくつかの資源メジャーは、価格交渉力を急速に高める傾向がある。

5つの資源（非鉄金属）メジャーは、BHPグループ、リオティント、アングロアメリカン、バーレとグレンコアである。これらの簡単な概要は以下のとおりである。

1) BHP グループ

[産物：鉛・亜鉛→鉄→銅・その他／スズ→アルミニウム→銅・その他]

BHP（以前は BHP Billiton として知られていた）は、アングロ・オーストラリアの多国籍の鉱業、金属および石油に係る二重上場企業である BHP Group Limited および BHP Group plc からなる貿易企業体である。オーストラリアのビクトリア州、メルボルンに本社がある。

BHP と Billiton は 2001 年に合併した。BHP は 1885 年にオーストラリアのブローケンヒルで銀-鉛-亜鉛鉱山を発見して設立された。Billiton は 1860 年にインドネシアでスズ鉱山を開発するために設立された。

2) リオティント (Rio Tinto)

[産物：銅→鉛・亜鉛→石炭、鉄鉱石→アルミニウム、その他]

リオティントは、アングロ・オーストラリアの多国籍の金属および鉱山会社である。リオティントは、ロンドンとメルボルンに共同本社がある。

1873 年にスペインで設立され、2007 年にアルカンを買収した。

3) アングロアメリカン (Anglo American)

[産物：銅→鉛・亜鉛→石炭、鉄鉱石→アルミニウム、その他]

アングロアメリカンは、南アフリカのヨハネスブルグと英国のロンドンに拠点を置く英国の多国籍鉱山会社である。

1917 年に金鉱を開発するために南アメリカに設立された。

4) バーレ (Vale)

[産物：鉄鉱石→アルミニウム→ニッケル、その他]

バーレ S.A. はブラジルの多国籍の金属と鉱山会社である。

1942 年にブラジルで設立されたリオドセ (Rio Doce) は 2006 年にインコを買収して、2007 年に現在の会社名に変更した。

5) グレンコア (Glencore)

[産物：鉛・亜鉛→銅→ニッケル、その他]

グレンコアは英国とスイスの多国籍の金属と鉱山会社である。スイスのバールに本社を置く。

マークリッチ (Mark Rich & Co) は 1974 年にスイスで設立され、1990 年に社名を変更した。

これら 5 つの資源メジャーの事業分野別の売上高を図 3-5 に示す。これらは、取り扱う商品によって異なる特徴をもつ。

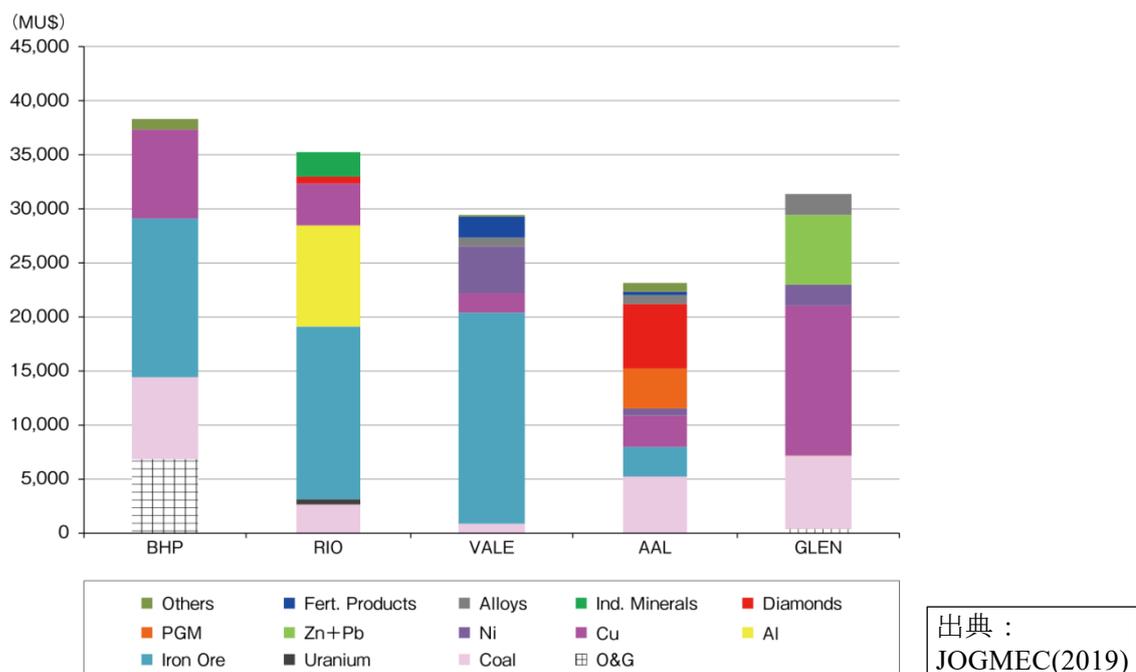


図 3-5 5つの資源メジャーの事業分野別の売上高

3.4.3. 金属価格の推移

第 2.2 章で記述したように、MRDP の対象産物は、銅 (Cu)、鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn)、タングステン (W)、金 (Au)、および希土類元素 (REE) である。これらの産物の金属価格と生産量の推移を以下に示す。

図 3-6 は、2013 年 5 月から 2019 年 5 月までの銅、ニッケル、鉛、亜鉛および金の価格推移を示している。縦軸目盛りは 2013 年 5 月を 1.0 として設定されている。金属価格のいくつかの典型的な上昇と下降が図 3-6 に示されている。

- ✓ 2005 年から 2007 年：ブラジル、ロシア、インド、中国などの新興国で鉱物資源の需要が増加したため、銅、ニッケル、鉛、亜鉛の価格が急増した。
- ✓ 2007 年から 2008 年：銅、ニッケル、鉛、亜鉛の価格は、「世界的な金融危機」（いわゆるリーマンショック）により急激に崩壊した。一方、金価格は上昇した。
- ✓ 2009 年から 2011 年：鉱物資源の世界的な需要が金融緩和を通じて回復したため、銅、ニッケル、鉛、亜鉛、金の価格のすべてが急増した。
- ✓ 2013 年から 2015 年：米国の金融緩和の終了後、鉱物資源の世界的な消費量が減少したため、銅、ニッケル、鉛、亜鉛、金の価格のすべてが減少した。

近年は、米中貿易摩擦が再び激化し、中国の経済成長が鈍化しているため、金属価格は下降傾向にある。

金属価格は、実際には、需給バランス、世界経済、投資金額／資金、新興国発展、資源ナショナリズム、地政学リスク、環境問題、紛争などのさまざまな要因によって変動する。

金の価格は、卑金属やレアメタルのような主要な金属鉱物とは異なる傾向を示していることは明らかである。最近では、金の価格はヨーロッパや主にアメリカのような世界市場に影響を及ぼしている国々の政治経済状況に依存している。

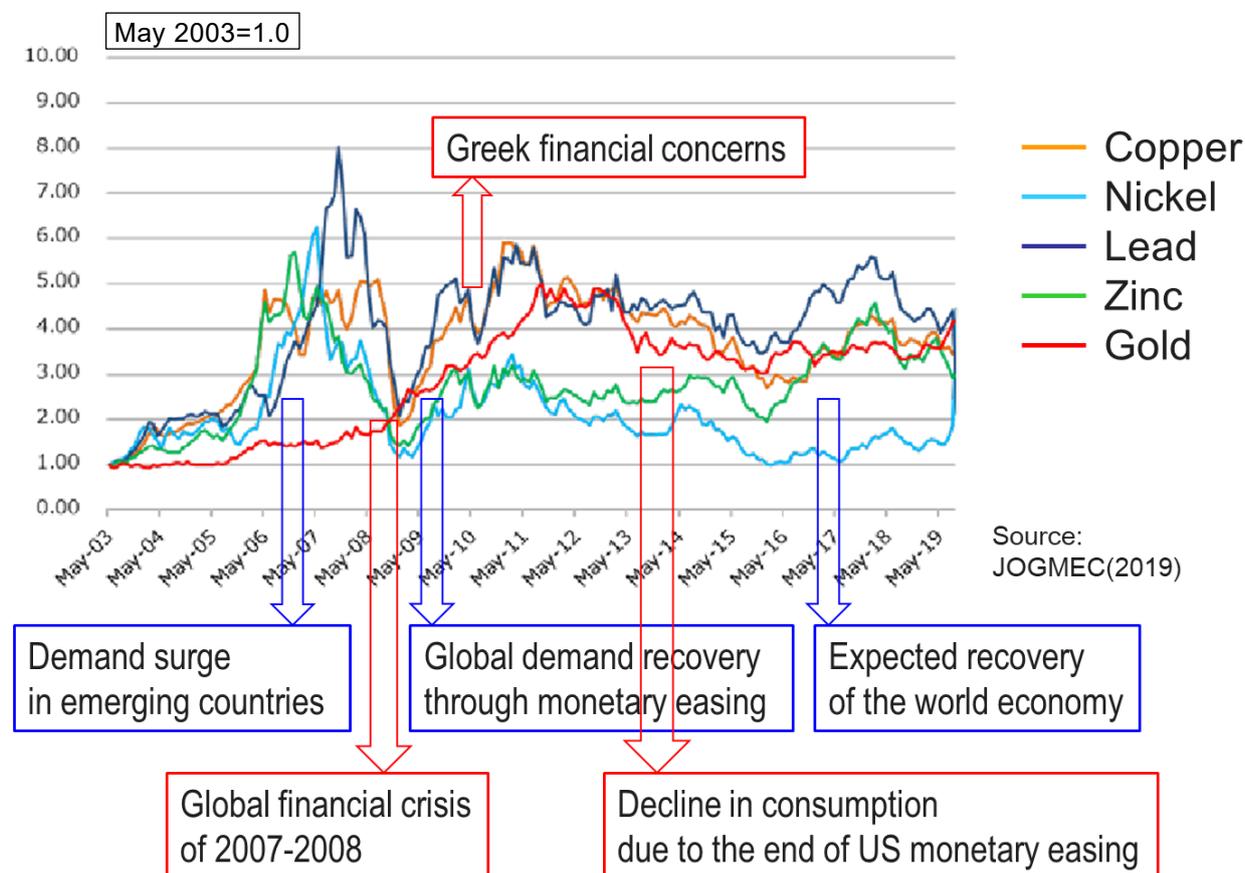


図 3-6 非鉄金属の価格推移（2003～2019年）

(1) 銅

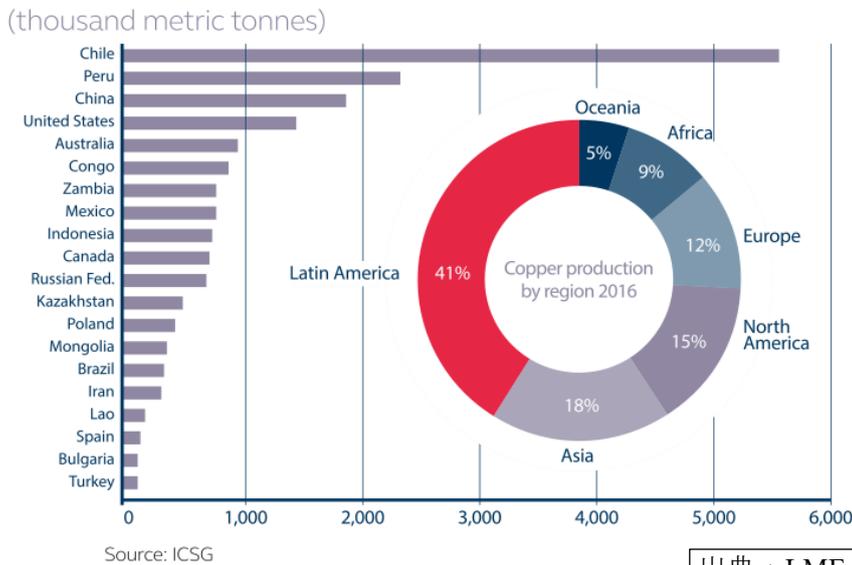
銅の世界的な生産（供給）と消費（需要）は、過去数十年で劇的に増加している。大きな開発途上国が世界市場に参入するにつれて、銅を含む鉱物商品の需要が増加している。過去 20 年間で、南米のアンデス地域は世界で最も銅を生産する地域として浮上している。2016 年に世界の銅の約 41%はラテンアメリカ：チリ、ペルー、メキシコ、ブラジルで生産された（図 3-7 および図 3-9 参照）。

銅の生産は世界的に分散されており、単一の国または地域に限定されていないため、世界的な銅供給の混乱のリスクは低いと考えられている。ただし、建設と送電におけるその重要性のために、銅の供給停止の影響は大きくなる。

銅はすべての金属の中で最も広くリサイクルされている。全世界で消費される銅の約 3 分の 1 はリサイクルされる。リサイクルされた銅とその合金は、金属の化学的または物理的特性を失うことなく、再溶解されて直接利用されるか、さらに再処理して精製銅にすることができる。

中国は、2009年に日本を抜いて銅鉱石の第1位輸入国となった。インドネシアは2010年まで銅鉱石の輸出国でトップ3に入っていたが、鉱石品位の低下と大規模な銅鉱山での労働者ストライキのために輸出量は50~70%に減少したことで2011年から現在までランクが第4位または第5位に落ちた。

図 3-10 に示された銅価格の歴史的傾向は前述のとおりである。



出典：LME Copper factsheet (2019)

図 3-7 国別の銅生産量（2016年）

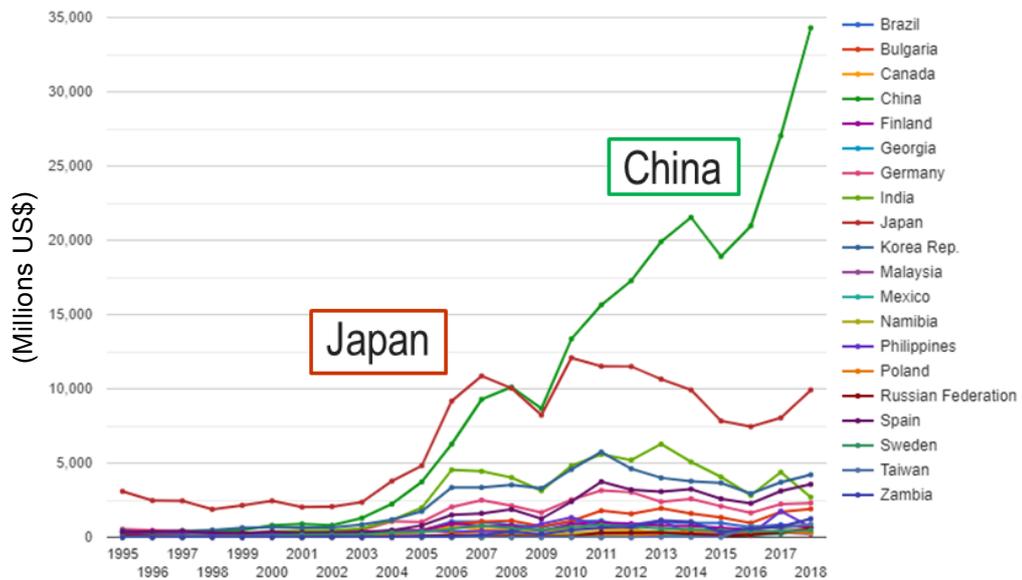
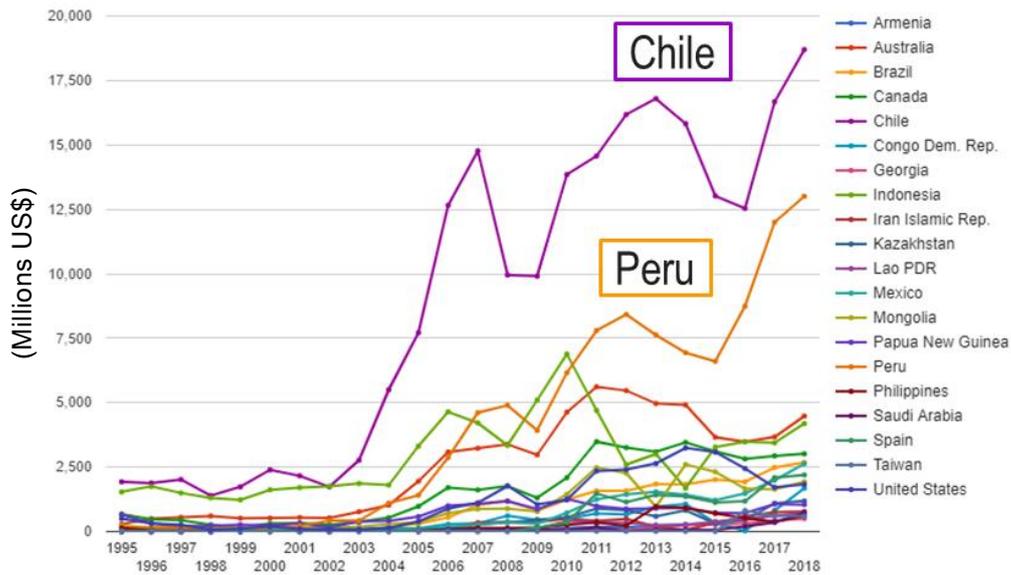
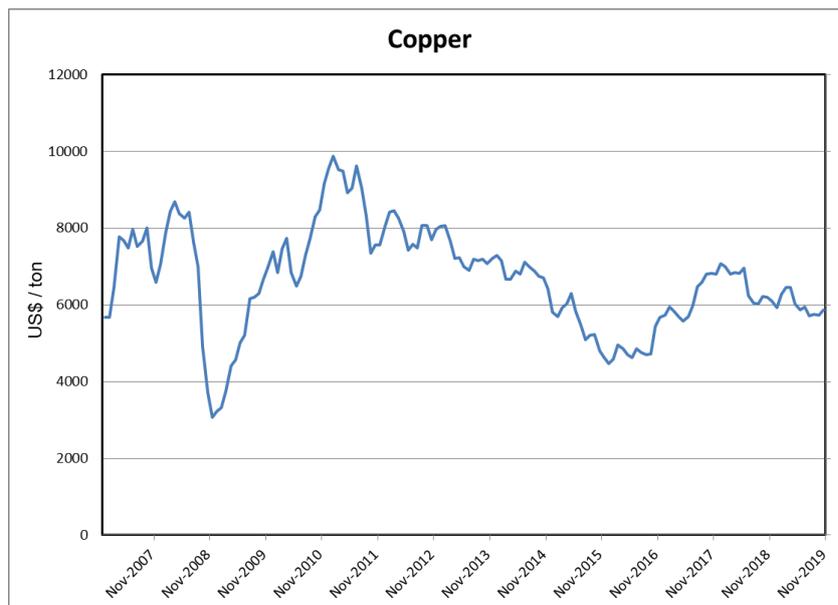


図 3-8 国別の銅鉱石の輸入量推移



データ元：USGS

図 3-9 国別の銅鉱石の輸出量推移



データ元：LME
 グラフは本プロジェクトで作成

図 3-10 LME の銅価格推移

(2) 鉛

世界の鉛需要の 80%は電池である。鉛電池は、すべての自動車 (EV や FCV を含む) に搭載されている。近年、リチウムイオン電池 (LIB) の需要が急速に拡大しているが、鉛は依然として電池市場における主要成分である (参照)。

主要な生産国は、中国、オーストラリア、米国、ペルー、メキシコである（図 3-12）。自動車および電動自転車市場の成長に牽引されている中国での消費の増加により、鉛の世界的な需要は大きく増加すると予想される。

図 3-13 に示された鉛価格の歴史的傾向は前述のとおりである。

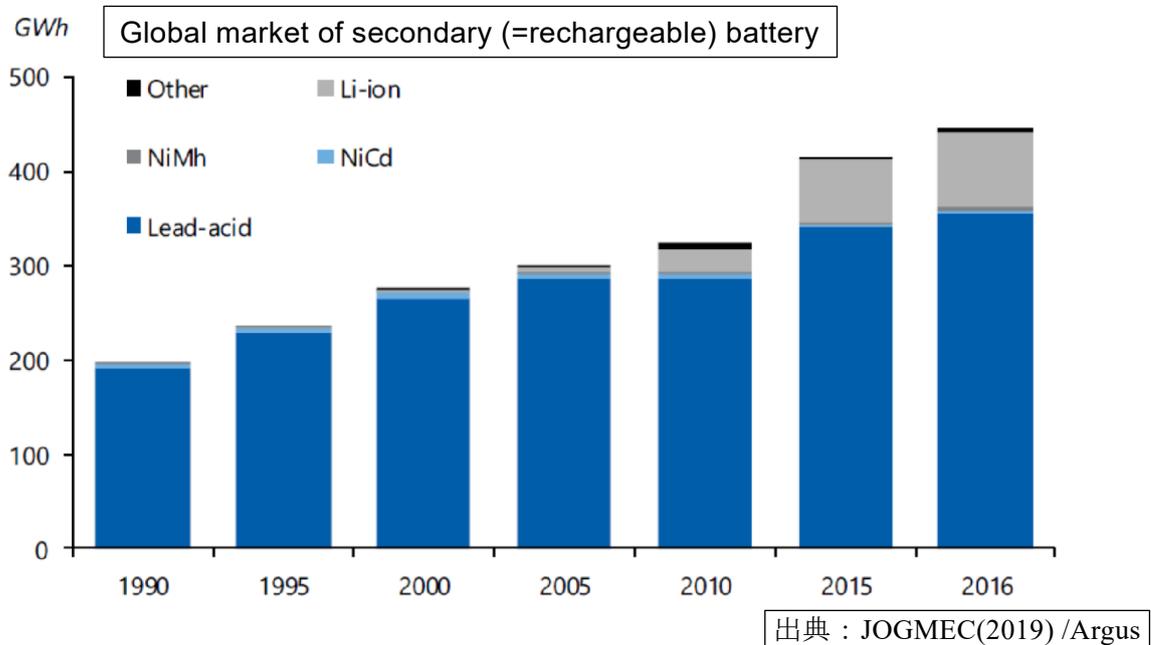


図 3-11 二次電池の世界市場

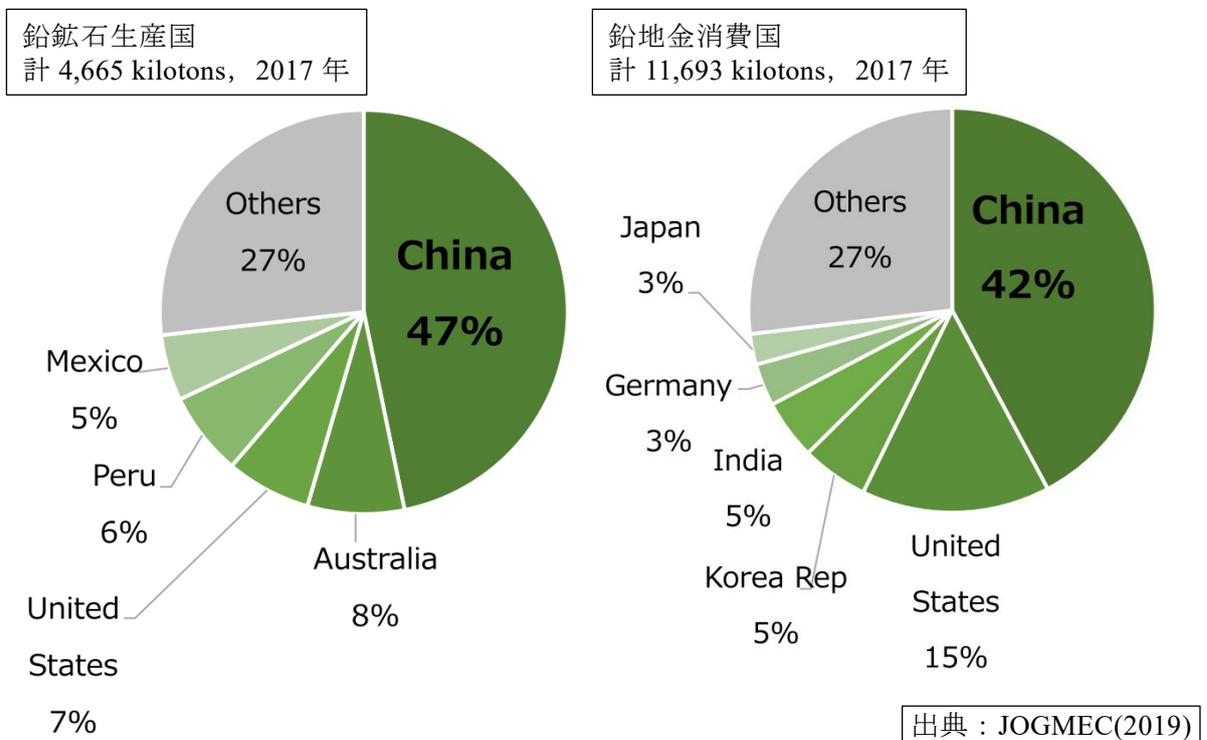
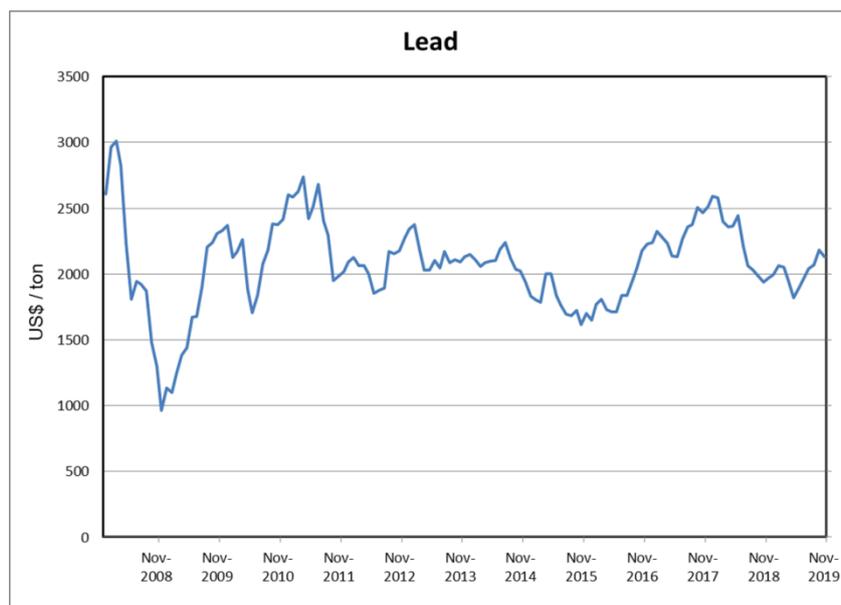


図 3-12 鉛の生産・消費の主要国



データ元：LME
 グラフは本プロジェクトで作成

図 3-13 LME の鉛価格

(3) 亜鉛

亜鉛は現在、鉄、アルミニウム、銅に次いで世界で 4 番目に広く消費されている金属である。防錆力が強い特性を持ち、他の金属との結合性が良好である。その結果、亜鉛生産の約半分は、亜鉛メッキに使用される。亜鉛メッキは、錆を防止するために鉄や鋼に亜鉛の薄層を被覆する処理である。亜鉛は健康にも重要である。亜鉛は、人間、動物、植物の適切な成長と発達に必要な要素である。

亜鉛は通常、鉛や銅などの他の卑金属とともに鉱床に存在する。主要生産国は、中国、ペルー、オーストラリア、インド、米国、メキシコである（図 3-14）。鉛と亜鉛の間には地質学的・鉱物学的に密接な関係があるため、亜鉛の生産国は鉛の生産国と同じである。

図 3-15 に示された亜鉛価格の歴史的傾向は前述のとおりである。

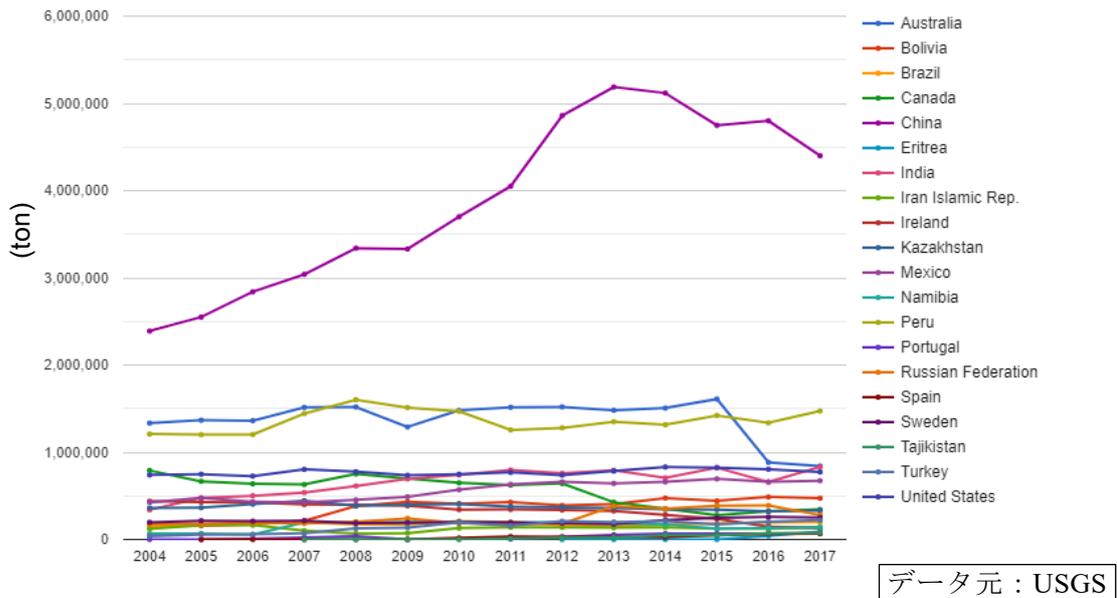


図 3-14 国別の亜鉛生産量

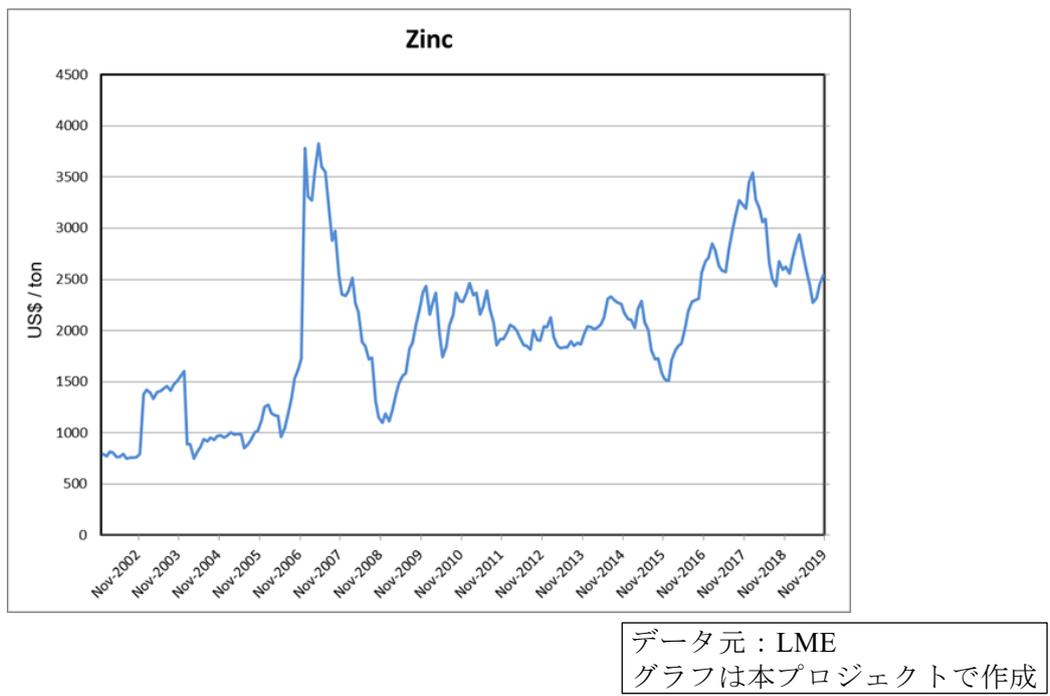


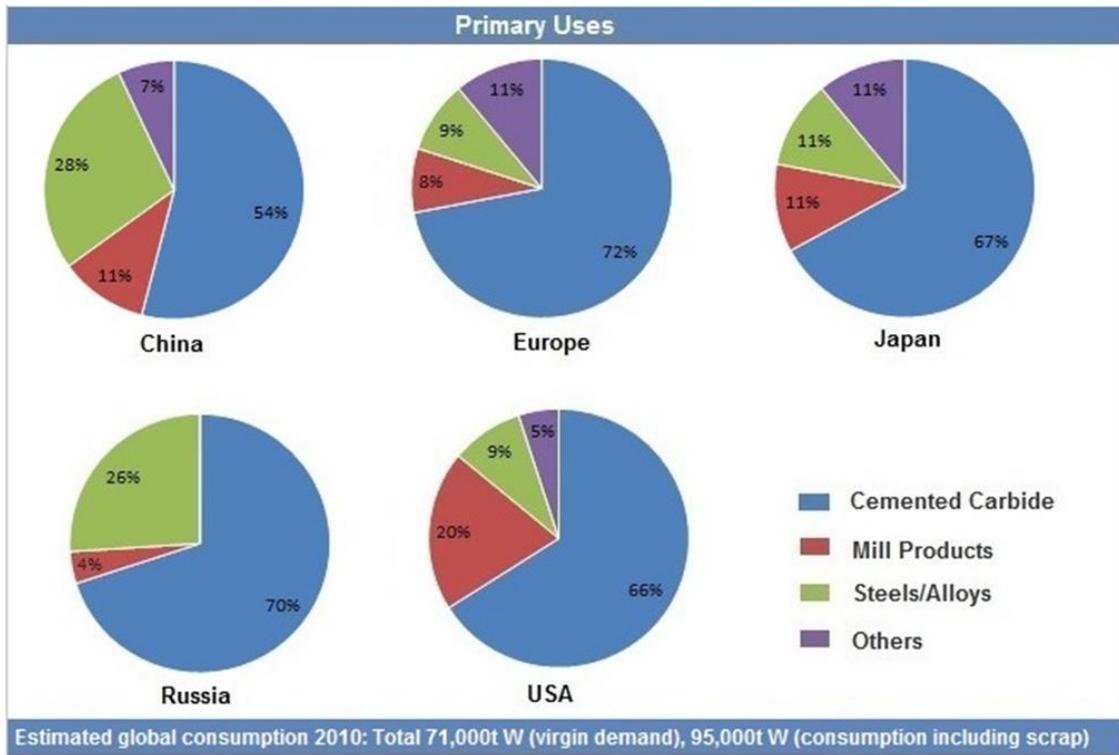
図 3-15 LME の亜鉛価格

(4) タングステン

タングステンは、超硬合金、高速度鋼工具、電子機器、照明技術、電力工学、コーティングおよび接合技術、自動車および航空宇宙産業、医療技術、高温の発生、工具産業（WC/タングステンカーバイドとして）などに使用される。

中国は一次タングステンの主要生産国である。他の主要生産国は、オーストリア、ボリビア、

カナダ、ペルー、ポルトガル、ロシア、タイ、ベトナムおよびいくつかのアフリカの国である。
 図 3-18 に示されたタングステン価格の歴史的傾向は他の卑金属と類似する。



出典：ITIA (International Tungsten Industry Association)

図 3-16 タングステンの主要用途

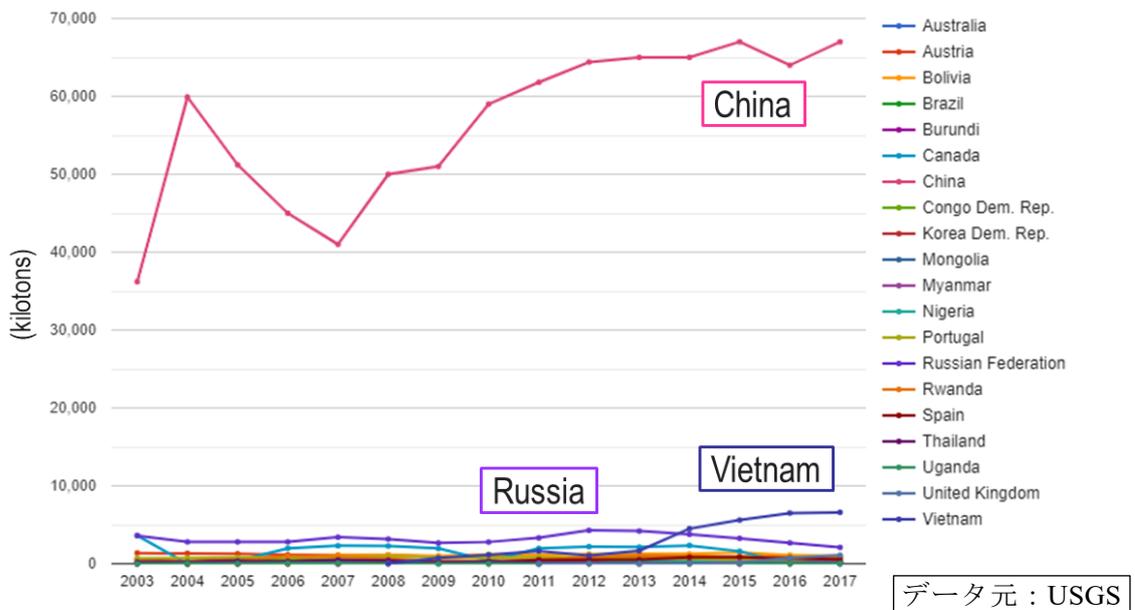
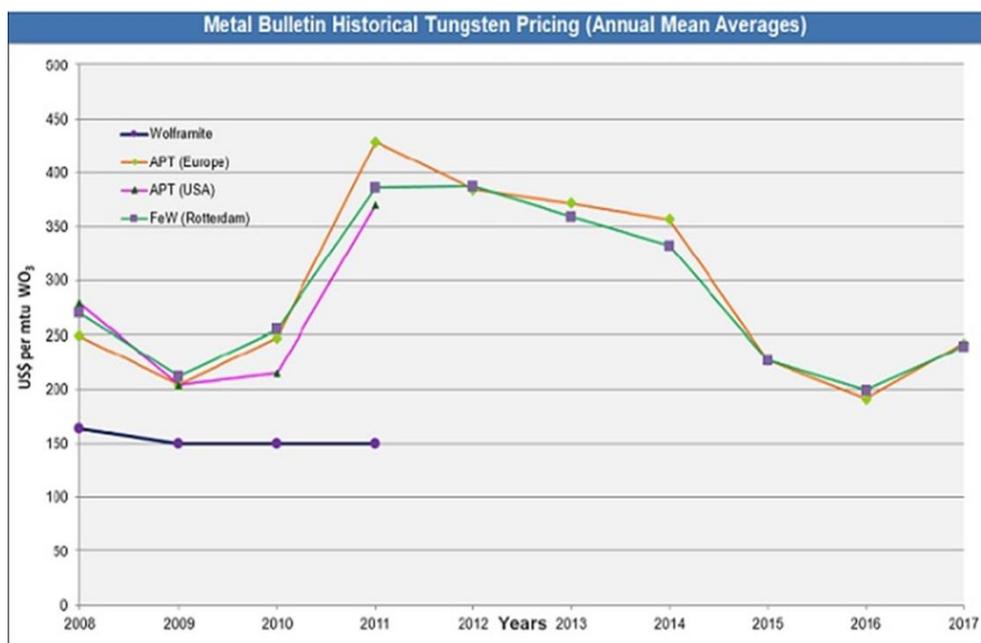


図 3-17 国別のタングステン生産量



出典：ITIA

図 3-18 タングステンの価格推移

◆ タングステン鉱石

タングステンの鉱石鉱物は主に鉄重石と灰重石である。ブータンでは灰重石が産する。

- 鉄重石（Wolframite： $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ ）は花崗岩質貫入岩に伴われる石英脈やペグマタイト中に産する。
- 灰重石（Scheelite： CaWO_4 ）は接触変成のスカルン，高温の熱水性脈とグライゼン，および花崗岩ペグマタイトに産する。

タングステン鉱石は通常，地下坑内で採掘される。ほとんどの鉱石は 1.5%未満の WO_3 を含んでいる。

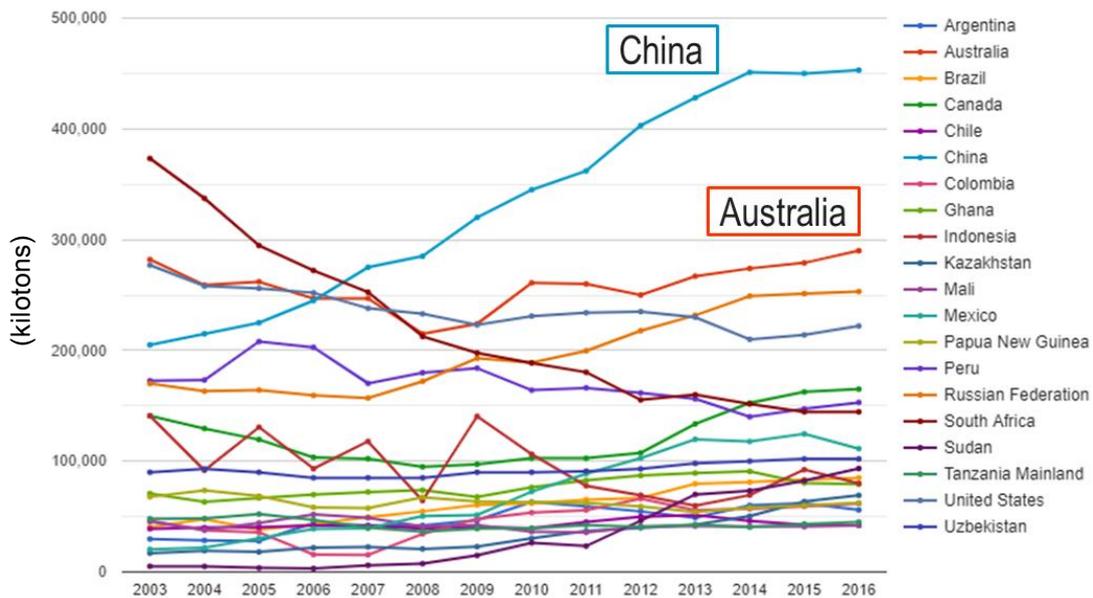
コンゴ民主共和国で非倫理的な採掘が実施されていることが明らかになり，タングステンは紛争鉱物であると考えられている。

(5) 金

今日，世界の国々は金を金融取引の交換手段として使用している。金は，金銭的な用途以外にも，宝飾と関連品，電気電子用途，歯科，航空機，航空宇宙産業，芸術，医療，化学分野で使用されている。

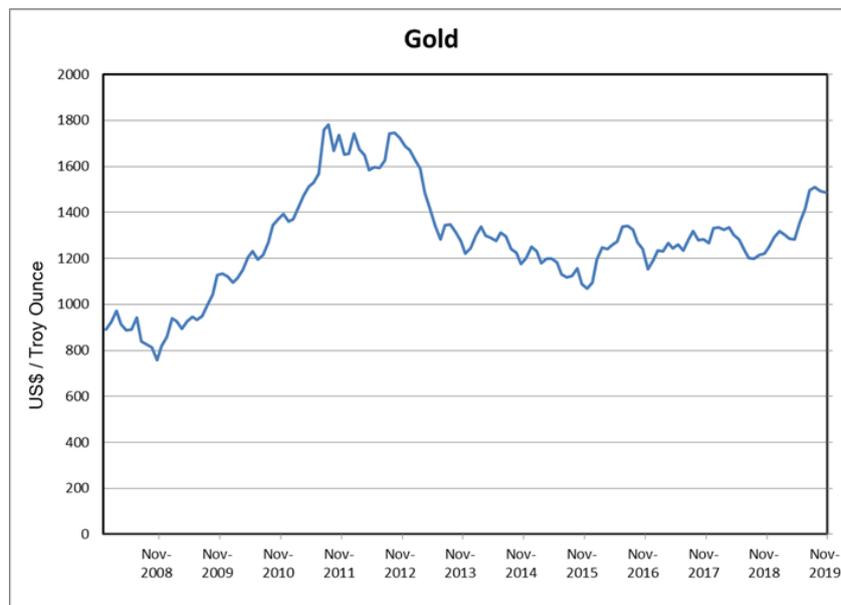
水銀は金と化学的に親和性がある。金を含む材料に水銀を添加すると，2つの金属がアマルガムを形成する。水銀は揮発処理によってアマルガムから分離される。水銀を使用した処理による鉱石からの金およびその他の貴金属の抽出は，アマルガム（混汞）法と呼ばれる。この方法は，特に発展途上国の小規模採鉱で使用され，環境と健康に被害を与える。

金はシアン化ナトリウムまたはシアン化カリウムに溶解するため，これらの溶媒は低品位鉱石から金を回収するために使用されるシアン処理法の主成分である。



データ元：USGS

図 3-19 国別の金生産量



データ元：LME
 グラフは本プロジェクトで作成

図 3-20 LME の金価格

(6) 希土類元素 (REE)

希土類元素は、周期表で一緒に出現する 17 の化学元素のグループである。このグループは、スカンジウム、イットリウムと 15 のランタノイド元素（ランタン、セリウム、プラセオジウム、ネオジウム、プロメチウム、サマリウム、ユーロピウム、ガドリニウム、テルビウム、ジスプロシ

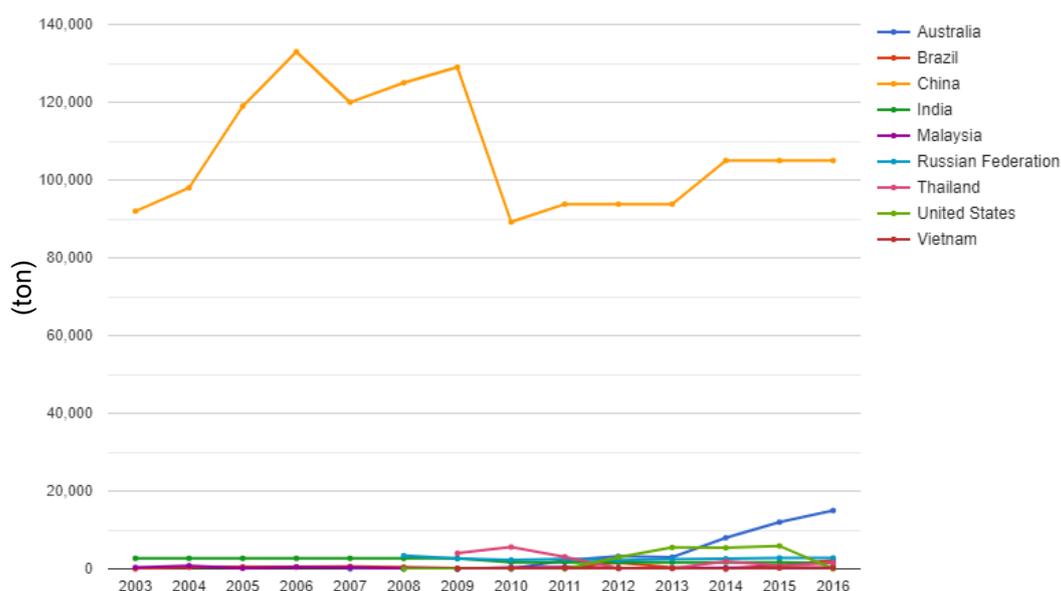
ウム、ホルミウム、エルビウム、ツリウム、イッテルビウム、ルテチウム) で構成されている。

希土類金属とそれらを含む合金は、コンピューターのメモリ、DVD、充電式電池、携帯電話、触媒コンバーター、磁石、蛍光灯など、人々が毎日使用する多くの装置で使用されている。過去20年間、希土類金属を必要とする多くの品物の需要が爆発的に増加した。多くの種類の充電式電池は希土類化合物で作られている。バッテリーの需要は、携帯電話、読み取り機、ポータブルコンピューター、カメラなどのポータブル電子装置の需要によって牽引されている。

希土類元素は、その名前が示すように「希」ではない。希土類元素は地球の地殻に比較的豊富であるが、発見されている採掘可能な鉱石の濃度は他のほとんどの鉱石のように高くない。

中国は希土類材料の世界最大の生産国であり、主要な消費国でもある。日本と米国は、希土類材料の第2位と第3位の消費国である。

自動車、家庭用電化製品、エネルギー効率の高い照明、および触媒の世界的な需要は、今後10年間で急速に増加すると予想される。充電式電池の希土類磁石の需要は増加すると予想される。医療技術における新たな発展が増加すると予想される。希土類元素はこれらすべての産業で大量に使用されているため、これらの需要は高いまま維持されるはずである。



データ元：USGS

図 3-21 国別のREE生産量

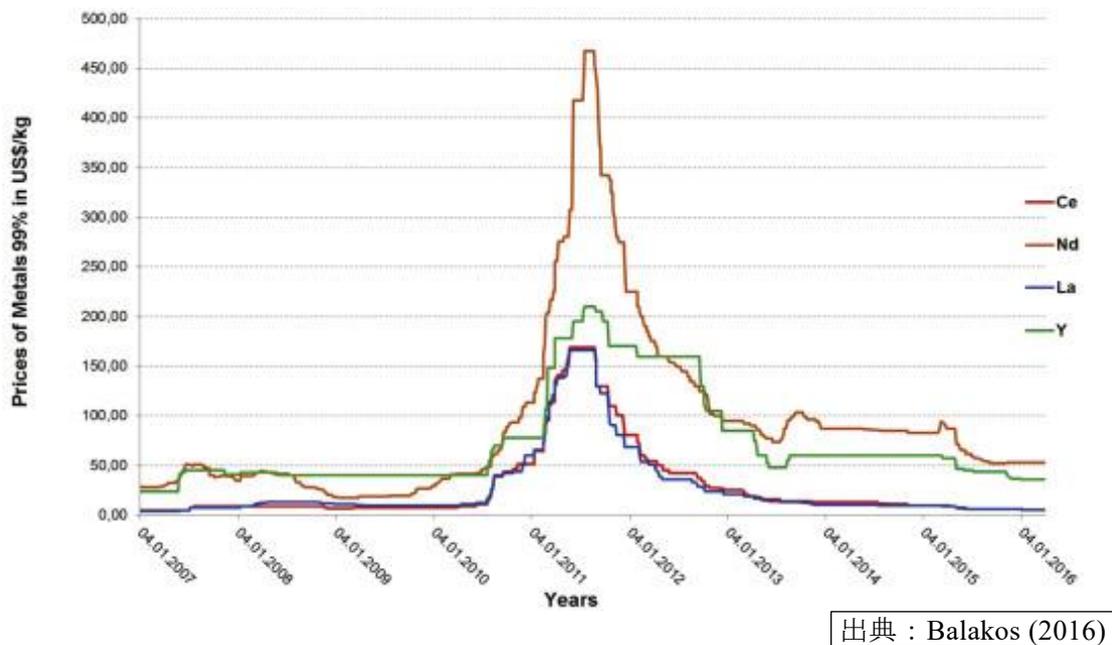


図 3-22 REE 価格の推移

(7) ニッケル

ニッケルは主に、ステンレス鋼やその他の合金をより強くし、極端な温度や腐食性の環境に耐えられるようにするために使用される。

ロシアは 2010 年まではニッケルの主要生産国であった。近年、上位 6 位の生産国はインドネシア、フィリピン、ロシア、カナダ、オーストラリア、ニューカレドニアである（図 3-23）。

図 3-23 に示すように、インドネシアは 2014 年 1 月に天然ニッケル鉱石の輸出を停止し、その生産量は大幅に減少した。これは、「リスク 1：資源ナショナリズム」として前述した安定供給のリスクの 1 つである。このインドネシアの鉱業政策に対応して、ニッケルの価格は 2014 年に一時的に上昇したが、2016 年までは徐々にそして大幅に減少した。この傾向は、10 か国以上に分散したニッケルの世界的な埋蔵量が十分にあり、米国の金融緩和の終了後に鉱物資源の世界的な消費量が大幅に減少したことを反映している。

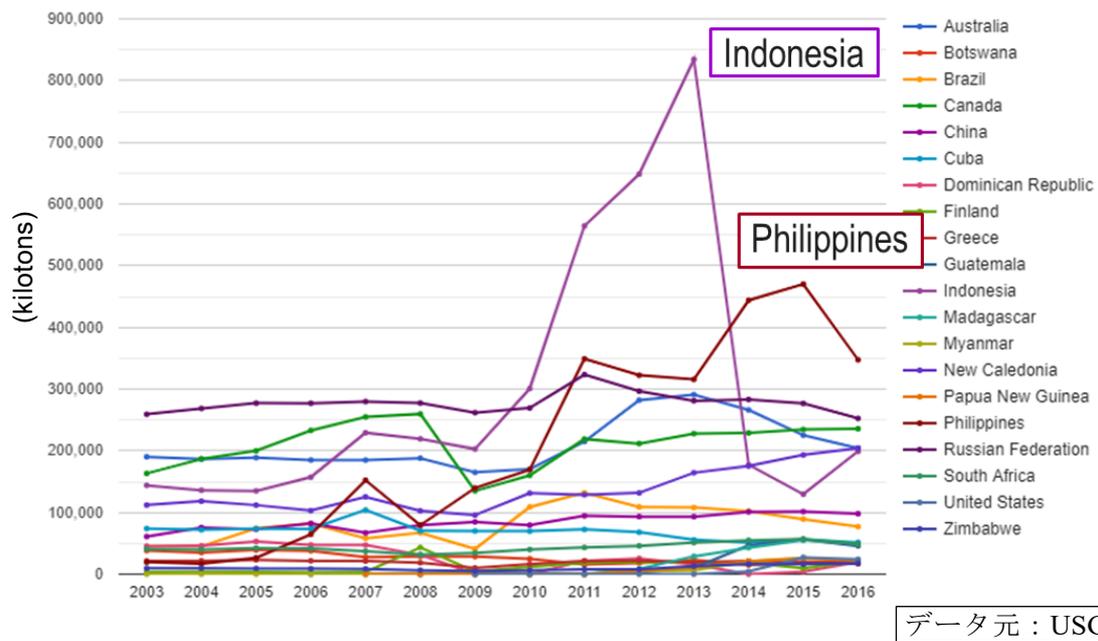
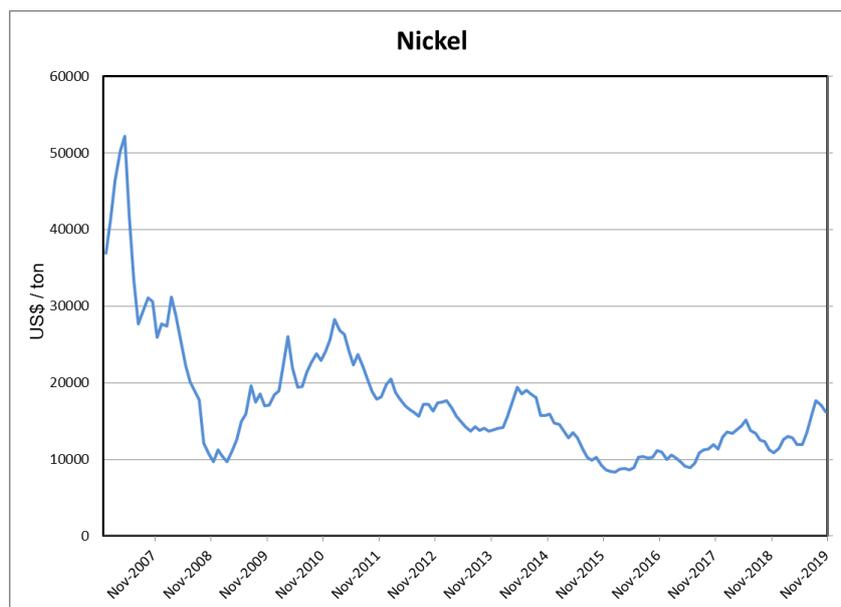


図 3-23 国別のニッケル生産量



データ元：LME
 グラフは本プロジェクトで作成

図 3-24 LME のニッケル価格

4. 鉱業行政

4.1. 鉱業政策

ブータン国政府は 2019 年 2 月に「第 12 次 5 か年計画 (FYP)」を策定した。同計画では、17 の「National Key Results Areas (NKRA)」が制定され、2 番目の NKRA は「経済多様化」である。この NKRA は、加速された民間セクターの成長と、農業、観光、家内・小規模産業 (CSIs)、鉱業、および関連する水力発電産業への投資を通じて、すべての人々に相応な生計の機会をもたらすような、包括的で持続可能な公平な経済の発展を目指している。この NKRA の主導機関は経済省である。

しかし、鉱業セクターでは関連行政機関の能力と経験の不足が課題であり、石灰石や珪石などの非金属工業原料鉱物を除いて鉱物資源の開発には至っていない。

2017 年にブータン政府によって策定された経済開発政策は、水力発電、農業、家内・小規模産業、観光、鉱業の 5 つの宝石を含むマクロ経済基盤の再構築を含む主要な経済改革を網羅している。鉱業セクターは経済において重要な役割を果たしている。しかし、国土の約 40%だけが縮尺 5 万分の 1 で地質学的にマッピングされ、調査されている。現在、国内には 24 の稼働中の鉱山と 40 の採石場があり、3,319.86 エーカーに占める。鉱業は、鉱物ベースの産業、インフラストラクチャー、およびその他の開発プロジェクトの原料の供給において重要な役割を果たしている。鉱物開発は益々の経済活動と発展をもたらすが、社会と環境に悪影響を与える可能性もある。このような影響をすべての市民と環境のために適切に対処および管理する必要がある。

適切に計画され、効率的に規制され、専門的に管理された鉱業は、国の発展に大きく貢献できる。鉱物は貴重な天然資源であるが、有限で再生不可能である。したがって、鉱業と採石に関するブータンの政策は、世代間の公平性を考慮している。この政策は、規定された政策の目的を満たすための制度的能力と人材育成の両方の観点から所管官庁の能力を強化することを強調している。

ブータン政府は、鉱物資源が持続可能な方法で経済を多様化するために利用され、産業への供給とバリューチェーンの不可欠な部分を形成するようにする。さらに、政策機能を規制機能から適切に分離することにより、鉱物セクターの効果的な管理と監視が確実に行われることになる。

2017 年経済開発政策は、定められた目標を達成するための方法を示している。

鉱物開発政策は 2017 年に策定され、鉱業セクターの持続可能な開発のための全体的な政策の枠組みとロードマップを提供した。

4.2. 鉱業関連法

ブータン国で制定されている鉱業に直接的に関連する法令等は以下のとおりである。

- Mines and Minerals Bill of Bhutan 2020
- Mines and Minerals Management Act 1995
- Mines and Minerals Management Regulations 2002

- Mineral Development Policy 2017
- Mineral Prospecting and Exploration Guideline 2018
- Guideline for Leasing Mine

その他の関連法令等は以下のとおりである。

- Economic Development Policy 2017
- Foreign Direct Investment Policy 2019
- Foreign Direct Investment Rules and Regulations 2019
- Revised Taxes and Levies Act of Bhutan 2016
- Forest and Nature Conservation ACT 1995
- Forest and Nature Conservation Rules and Regulations 2017
- Environmental Assessment Act 2000
- National Environment Protection Act 2007
- Water Act of Bhutan 2011
- Labour and Employment Act 2007
- The Land Act of Bhutan 2007
- The Local Government Act of Bhutan 2009
- Waste Prevention and Management Act 2009
- Regulation for Environmental Clearance of Projects 2016
- Regulation on Strategic Environment Assessment (Draft) 2019

4.2.1. Mines and Minerals Management Act 1995

Mines and Minerals Management Act 1995 (Act 1995) は 1995 年に制定された。同法の前文には以下が記されている。

『鉱物資源はブータン王国の天然資源資産の重要な要素であるため、鉱物資源の開発はブータン王室政府の社会・経済方針に適した方法で、かつ、持続可能な発展、環境の保護およびブータン国の貴重な宗教と文化遺産の保全の枠組みの中で実施されなければならない。この Act 1995 は、これらの国家目標の達成に向けて公布され、鉱物セクターの秩序ある管理と健全な成長のための法的枠組みの提供を目指している。』

同法では、法の管理、探鉱と鉱業活動の管理、鉱業の操業行為、鉱物税、罰則、紛争解決等、規則などが定められている。

Act 1995 では、第 1 章で鉱物資源は国に属していると定義している。

第 5 条：鉱物の所有権

5. THRIMSHUNG-CHHENPO のセクション KA 11-1 に従って、鉱物のすべての所有権は、私有地か公有地に産するにかかわらず、政府にのみ帰属する。

ブータン王国憲法は、鉱物資源の権利を第 1 条から第 12 条に定義している。

第 1 条：ブータン王国

12. 鉱物資源、河川、湖沼、森林に対する権利は、国に帰属し、国の所有物であり、法律によって規制される。

Act 1995 は、以下を定義している。

- ✓ この法律に基づくすべての探査，採掘および関連活動の規定
- ✓ 法律の管理
- ✓ 鉱物関連の公共機関の権限と機能の明確化
- ✓ リース規定
- ✓ 鉱物税
- ✓ 借手の権利と義務
- ✓ 鉱山の管理
- ✓ 違反と罰則
- ✓ 論争の解決

4.2.2. Mines and Minerals Management Regulations 2002

Mines and Minerals Management Regulations 2002 は、Mines and Minerals Management Act 1995 の第 50 条により付与される権限を行使して通産大臣が作成して、2002 年に制定された。

同法は以下を定義している。

- ✓ 更新と譲渡を含む詳細なリース手続き
- ✓ 鉱物税・ロイヤリティ，鉱物使用料，地表使用料，環境修復ボンド
- ✓ 鉱山の閉鎖，放棄および終了の手続き
- ✓ 鉱山情報と報告要件
- ✓ 検査とモニタリング
- ✓ 鉱山における労働安全衛生環境（OHS）

4.2.3. ブータン国の政策

(1) Economic Development Policy 2017

経済発展政策 2017 は、マクロ経済基盤の再構築を含む主要な経済改革を網羅し、「5 つの宝石（Five Jewels）」を経済戦略として推進することを記している。

以下の 5 つの宝石は、社会経済的発展を促進および奨励するための優先セクターであり、潜在的な可能性と社会全体への影響の観点から中核の成長分野を構成する。

- 水力発電
- 家内・小規模産業
- 鉱業
- 観光
- 農業

経済発展政 2017 は、鉱業を促進する目的とこれらの目的を達成する方法を示している。

- ✓ 輸出前に国内での鉱物への付加価値を促進すること
- ✓ 鉱業と鉱物所有権への幅広い参加を促進すること

(2) Foreign Direct Investment Policy 2019

2002 年に最初の海外直接投資（FDI）政策が制定された。経済およびビジネス環境の変化に応

じて、FDI 政策はこの政策をより適切にし、投資家に優しいものにするために定期的に改訂されている。最新の FDI 政策は 2019 年に制定された。

FDI は、以下に貢献する分野で奨励される。

- グリーンで持続可能な経済の発展
- 社会的責任があり、環境に優しい産業の促進
- 文化的小および精神的に鋭敏な産業の促進
- ブータンブランドの宣伝
- 知識社会の創造
- 輸出と輸入代替の経済の多様化

FDI 政策では、FDI の促進から除外される活動をネガティブリストとして定義している。ネガティブリストには 7 つの活動があり、「一次形態の鉱物の販売のための採掘」が含まれる。これは、経済開発政策 2017 で推進されている鉱物への付加価値と一致している。

(3) Mineral Development Policy 2019

鉱物開発政策 2019 は、国、GNH の全体的な開発哲学を追求して、地域社会や他の産業と相互に有益な共存に貢献するような、環境に優しく社会的に責任のある鉱物産業の開発を想定している。

- ✓ 鉱物セクターの持続可能な開発のためのロードマップ
- ✓ 政策と規制機能の分離：鉱業規制当局（MRA）
- ✓ 鉱物の分類
- ✓ 鉱物の探査と探鉱の推進
- ✓ より長期間の鉱業リース：更新条件付きで最長 30 年
- ✓ 鉱山修復基金
- ✓ 地域社会の開発協定および地域社会の開発基金

4.2.4. Mines and Minerals Bill 2020

Mines and Minerals Bill 2020（Bill 2020）は上述の Mines and Mineral Management Act 1995 を改定する草案であり、2020 年に制定された。同法案の前文には以下が記されている。

『王室政府は、鉱業セクターの長期的発展、鉱物バリューチェーンの構築、広範な所有権の確保、鉱山規模の経済の達成、透明性と説明責任の強化、および、科学的で環境に優しく、社会的責任のある鉱業の確保のために、国内の鉱業活動の規制と管理に関する法律を改正することが適切であると考えている。』

Bill 2020 では、規制当局、鉱物探査と探鉱、鉱業活動の管理、賃借人の権利と義務、短期間の採掘・小規模採掘、環境・社会的リスク管理、鉱物税制、地域社会の関与と開発、義務・免責、紛争解決、罰則などが定められている。

Bill 2020 は Act 1995 に比べて、記載項目および文書量が増えており、将来的な鉱業の開発と発展および現実的な鉱業の開発に伴って生じている問題などに対応する内容となっている。

Bill 2020 は 15 の章と 191 の節で構成される。

Bill 2020 の重要な章は以下を含む。

- ✓ 省，DGM および鉱業規制局（MRA）の権限と機能
- ✓ 鉱物探査と探鉱
- ✓ 鉱業活動の管理
- ✓ 借主の権利と義務
- ✓ 短期間の採掘，表層の採掘，鉱物採集，小規模採掘
- ✓ 環境および社会リスクの管理
- ✓ 鉱物財政体制
- ✓ 地域社会の関与と発展
- ✓ 違反と罰則
- ✓ 異議申し立てと紛争解決

Bill 2020 における新しい改革は以下のとおりである。

- ✓ 鉱物権の土地台帳
- ✓ 鉱業規制当局（MRA）
- ✓ 在職の保障
- ✓ 探査および探鉱ライセンスの優先権
- ✓ 鉱山のリース期間：最大 30 年
- ✓ リースの終了を理由とする明確性
- ✓ 短期間の採掘
- ✓ 小規模採掘
- ✓ 鉱物採集（フォシッキング）
- ✓ 表層採掘：1 つの機関でのすべての土地台帳
- ✓ 鉱山修復基金：利子を生み出し，終掘後の土地修復時に使用できる
- ✓ 地域社会開発協定（CDA）
- ✓ 異議申し立て手続き
- ✓ 違反と罰則の詳細

新法 Bill 2020 と旧法 Act 1995 の比較を表 4-1 に示す。

表 4-1 Mines and Minerals Management Act の新旧版の比較

No.	Items	Act 2020	Act 1995
1	Preliminary	Chapter I	Chapter I
	Application		
	Ownership of minerals	Chapter V	
2	Administration	Chapter II	Chapter II
	Power	More detail	
	Function		
3	Mining Regulatory Authority	Chapter III New	NA
4	Mineral Prospecting and Exploration	Chapter IV	Chapter III

		More detail	Quite simple
5	Management of Mining Activities	Chapter V	Chapter III
	Mining Lease		
	Mining Rights	More detail	
	Mine Feasibility Study		
	Accident Reporting and Investigations		Chapter IV
	Termination		
6	Rights and Obligations of Lessee	Chapter VI	Chapter III, IV
	Rights of Lessee		
	Obligations of Lessee	Items increased	
7	Short Term Mining, Surface Collecting, Fossicking and Artisanal Mining	Chapter VII New	NA
8	Environmental and Social Risk Management	Chapter VIII	Chapter III
	Protection of the Environment and the Affected Communities	More detail	
	Mine Reclamation Fund and Reclamation	New	NA
9	Mineral Fiscal Regime	Chapter IX	Chapter V
10	Community Engagement and Development	Chapter X New	NA
11	Duties, Immunities and Intelligence	Chapter XI New	NA
12	Search, Seizure and Disposal	Chapter XII New	NA
13	Appeals and Dispute Settlement	Chapter XIII	Chapter VII
14	Offences and Penalties	Chapter XIV More detail	Chapter VI

Bill 2020 では、鉱物資源に対する権利は国に帰属し、それらは国の所有物であり、この法律に規定されている場合を除き、探査、探鉱、採掘、表層採掘、鉱物採集および関連する活動を実施することは許可されていない。

Bill 2020 では、鉱物権の土地台帳は、鉱物権の付与と管理に関連する登録、ファイル、文書、地図および手順を維持し、鉱物が私有地か国有地に産するに関わらず、国は関係機関と協議の上で鉱物を促進および開発する特権を持つことにも言及している。経済省は、将来の資源利用の可能性がある領域を割り当てて宣言し、インフラストラクチャーと開発作業を導く権利を有する。鉱業リースの管理に関して、Bill 2020 は、部局によって証明されたすべての鉱物埋蔵量は、封入または公開の競争入札プロセスによる広告を通してまたは国営企業に割り当てられること、および、経済省は開発される戦略的鉱物または戦略的保護区の社会経済的な実行可能性を評価し、承認のための配分方法について政府に勧告することを言及している。

Bill 2020 は、短期間の採掘、表層採掘、鉱物収集、小規模採掘、環境および社会的リスク管

理についても述べている。鉱業活動によって影響を受ける地域社会は、鉱山会社の株式を購入する優先権が与えられ、規定に従った利益分配計画を通じて補償される。

Bill 2020 はまた、当局が地域社会の利益分配計画を規定するリース鉱山のために地域社会開発協定を策定すること、および、当局がリースのために金融機関との預金口座に維持されている地域社会開発資金を作成および管理して、地域社会開発協定に基づく融資活動に対する基金を預金することも述べている。

Bill 2020 は、新たに「鉱業規制当局 (MRA)」を第 3 章として以下を定義している。

鉱業規制当局の設立／理事会の構成／理事会の欠員／理事会の機能／理事会の会議、定足数および決定／当局の事務局／当局の機能／他の団体との協力／行動規範／財務／人的資源、権限の委譲および調達を管理するためのフレームワーク／報酬

Bill 2020 では、探査 (Prospecting) と探鉱 (Exploration) は個別に定義されており、探査ライセンスと探鉱は別々に説明されている。

Bill 2020 の注目すべき点は以下のとおりである。

(1) 鉱業規制当局 (MRA) とより良い規制

鉱業セクターに対する批判の 1 つは、鉱山が違法または非倫理的な慣行から逃れることを可能にする適切な監視の欠如である。Bill 2020 は、より強力な規制と説明責任を確保することを目的として、自律的な MRA を設立する。MRA は主に鉱業セクターを規制することを焦点として、鉱山が法律を順守し、適切な鉱業慣行を実践することを確実にする。MRA には、捜査、差し押さえ、罰金の徴収、その他必要な措置を講じる権限が与えられている。MRA はまた、鉱山に適切な技術担当者がいることを検査して確認する。

DGM には、鉱業申請書を受け取り処理するための国際的な優良例に基づいた鉱物権土地台帳と呼ばれる特別な部署が設置される。柔軟性を可能にし、鉱業セクターを存続するために、Bill 2020 は初めて、鉱物権土地台帳を通じた適正な処理に基づいて鉱業権の移転を認める。DGM 自体は規制から離れて、より多くの政策と法律に焦点を当て、地質図を作成し、優先鉱物の探査と探鉱を実施し、探査と探鉱ライセンスを発行し、新しい鉱山の鉱業権証明書を発行・更新し、必要に応じて戦略的鉱物と埋蔵量を記録・レビュー・更新する。

Bill 2020 は、鉱山計画および環境と社会的なリスク管理に従って鉱業を実施すること、正確な財務記録を保持すること、および、鉱山修復の作業を実施することなどに関して、鉱業者または借主の義務も述べている。

Bill 2020 はまた、ブータン王国警察によって扱われるべき最終的な部類とともに、犯罪、主要な行政上と刑事上の部類、ならびに関連する罰則と行動を明確に定義している。

Act 1995 には、鉱業者が鉱業地を修復するか、保証金が土地修復のために使用される場合に返還される鉱山修復保証金が設定されている。しかし、この保証金は全く利息をもたらさなかった。代わりに Bill 2020 では、普通預金口座に入金される保証金と、発生した利息が規定されている。

(2) 地域社会への利益

Bill 2020 には、「地域社会の関与と開発」という新しい章があり、多く議論された地域社会開

発の問題に焦点を当てている。この章で、鉱業者は、雇用機会および商品とサービスの調達を受ける資格があり、影響を受ける地域社会を優先すると記されている。重要なことは、影響を受ける地域社会は、幅広い所有権の原則を実現するために、鉱業会社の株式を購入する優先権を与えられるとされていることである。

Bill 2020 は、影響を受ける地域社会は、規則や規定による利益分配制度を通じて補償されると述べている。また、地域社会は、鉱山によって開発された社会インフラや、医療施設、道路、水道などの他のインフラにもアクセスすることができる。

Bill 2020 によれば、リースによる鉱山が地域社会への利益共有制度を規定するために、鉱業局が地域社会開発協定を策定するものとしている。鉱業局はまた、地域社会開発協定に基づく活動に資金を提供するために、リースによる鉱山のために地域社会開発基金を設立・管理する。

(3) 付加価値

Bill 2020 では、技術的にも経済的にも実行可能な場合、輸出する前に鉱物に付加価値を付けるべきとしている。これは、原料鉱物の輸出に反対して、代わりに産業や鉱物の加工を奨励するという重要な規定である。Act 1995 にはこの条項は存在しない。

(4) 表層採掘

DGM と森林公園局 (DoFPS) の間で議論されている問題は、両局が表層採掘を管轄していることである。これは、森林・自然保護法 1995 が DoFPS に表層採掘の管理を認めているためである。同法により、DoFPS は多くの企業に表層採掘と浚渫権を与えている。

現在、Bill 2020 は、新しい章として「短期採掘、表層採掘、鉱物採集、小規模採掘」という第7章を通じて表層採掘を単独で管理しようと試みている。ここでは、短期採掘、表層採掘、鉱物採集、小規模採掘の権利に対する申請者は規則と規定で提供される形式で鉱物権土地台帳に提出することが述べられている。また、市場見通しが大きい表層採掘または鉱物採集の特定された地区を局が競売にかける可能性が述べられている。

4.3. 鉱業に係る予算

(1) GDP

ブータンの鉱業による GDP は、2017 年の 1,927.30 百万 BTN から 2018 年の 2,062.30 百万 BTN に増加した（図 4-1）。

鉱業・採石と製造業の GDP に対するシェアは、同セクターを促進するための政府の協調した努力と介入にもかかわらず低いままである。鉱業・採石セクターは、2017-18 年度に 10.6% の成長率が見込まれ、今後 3 年間には平均で 12.5%，その後の 2021-22 年度は 4.9% に減速すると予測されている。2017-18 年度の同セクターの GDP に対するシェアは 3.2% であり、今後 4 年間で毎年平均 0.05% ポイント増加すると予測されている。

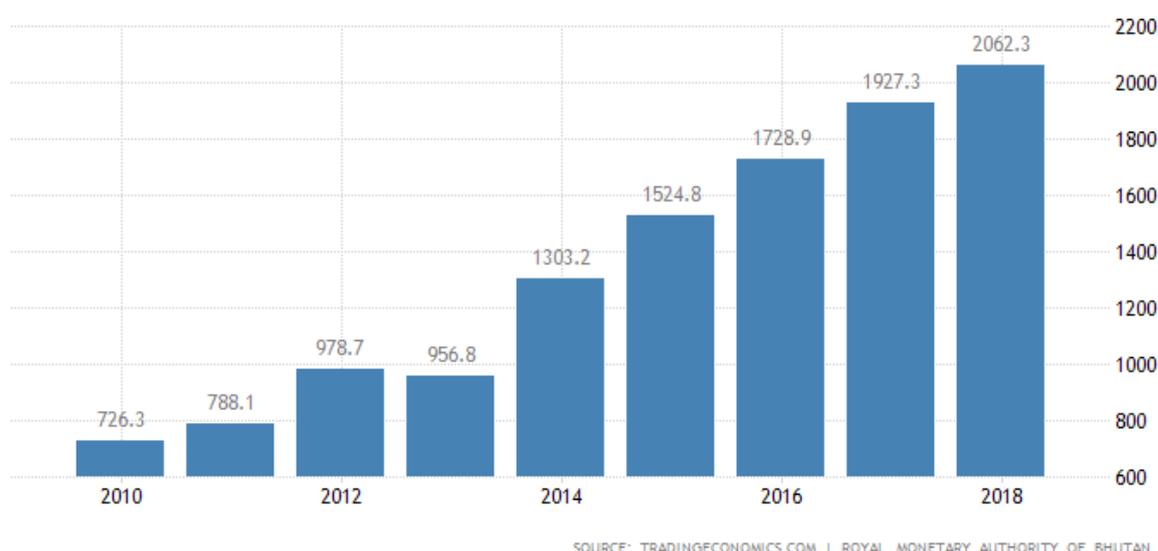


図 4-1 鉱業セクターの GDP

(2) 鉱業と製造業の予算

輸出の強化と貢献するビジネス環境の創出による経済の多様化の重要性を認識すれば、鉱業・製造業セクターの焦点は、輸出量を増加するために製造業を拡大すると同時に、水力発電の開発の取り組みを継続することである。

これらの目標を達成するために、同セクターには 2019-20 年度で 17 億 7,673 万 1 千 Nu が配分されている。このうち 2 億 8,610 万 Nu が、4 つの工業団地（Bondeyma, Dhamdum, Motanga, Jigmeling）の設立に向けた作業を継続するために用意されている。さらに、Bjemina と Pasakha 工業団地のインフラの改善および拡張のために、それぞれ 826.9 万 Nu と 1,517.6 万 Nu が割り当てられている。さらに、革新、競争力、多様化を促進するために、起業やビジネス開発の支援とともに、家内・小規模産業（CSI）が最重要プログラムの 1 つとして追求されている。2019-20 年度のこの最重要プログラムの総予算は、起業プログラムのための 6,900 万 Nu を含む 23,569.8 万 Nu である。貿易インフラの開発に加えて、貿易円滑化と自動化のシステムおよび貿易促進のための民間部門への支援が、暫定貿易支援施設の下で実施されている。（国家予算 2019-20，財務省 2019 による）

4.4. 鉱業セクターの管理体制

政府と鉱業セクターの民間部門との関係を図 4-2 に示す。独立した機関である MRA は、規制機能を個別かつ効果的に請け負うために設立された。MRA の役割を図 4-3 に示す。4.1 章および 4.2 章で前述したように、鉱業セクターの政策および法的枠組みは適切に設定されている。DGM は、鉱業に関連する主要かつ要所の組織であり、重要な役割を担っている。DGM の主な役割は、政策と促進、ライセンス発行、地質インフラ、地球科学的研究、広域地質マッピング、鉱山競売などである。DGM の組織図と役割をそれぞれ図 4-4 と図 4-5 に示す。

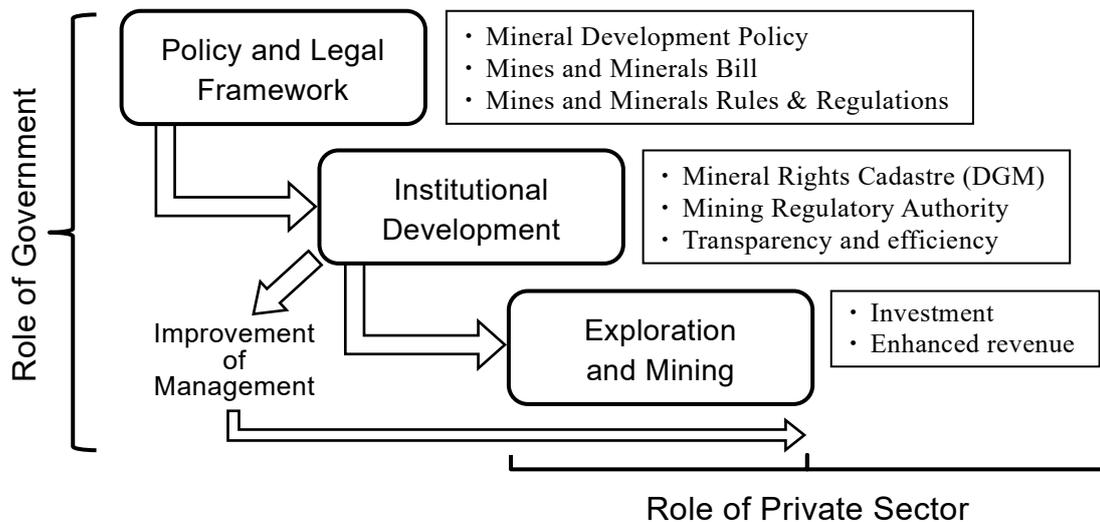


図 4-2 ブータンの鉱業セクターのロードマップ

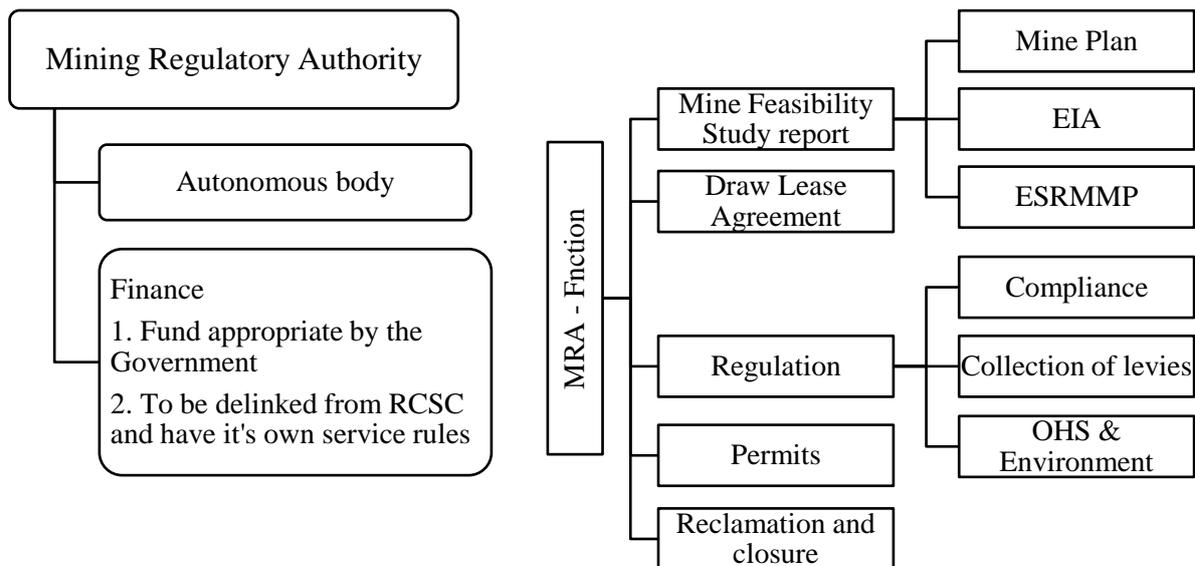


図 4-3 MRA とその役割

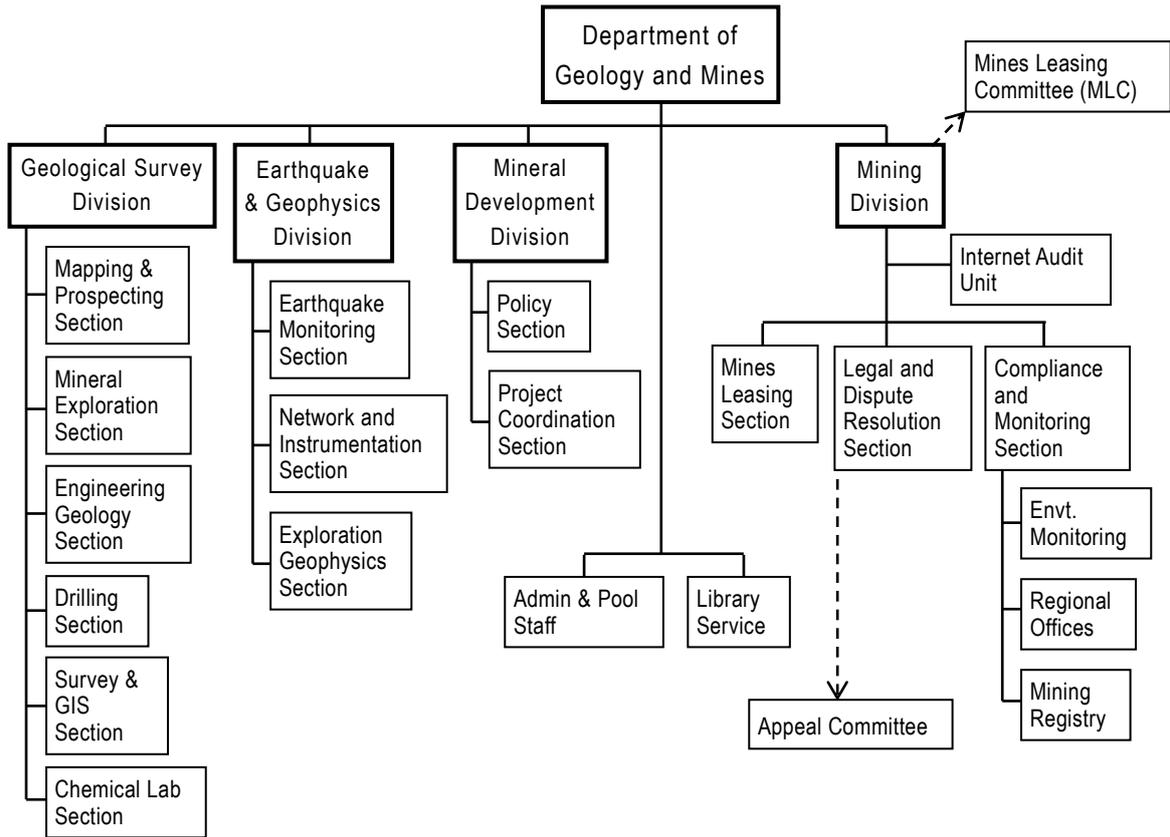


図 4-4 DGM の組織図

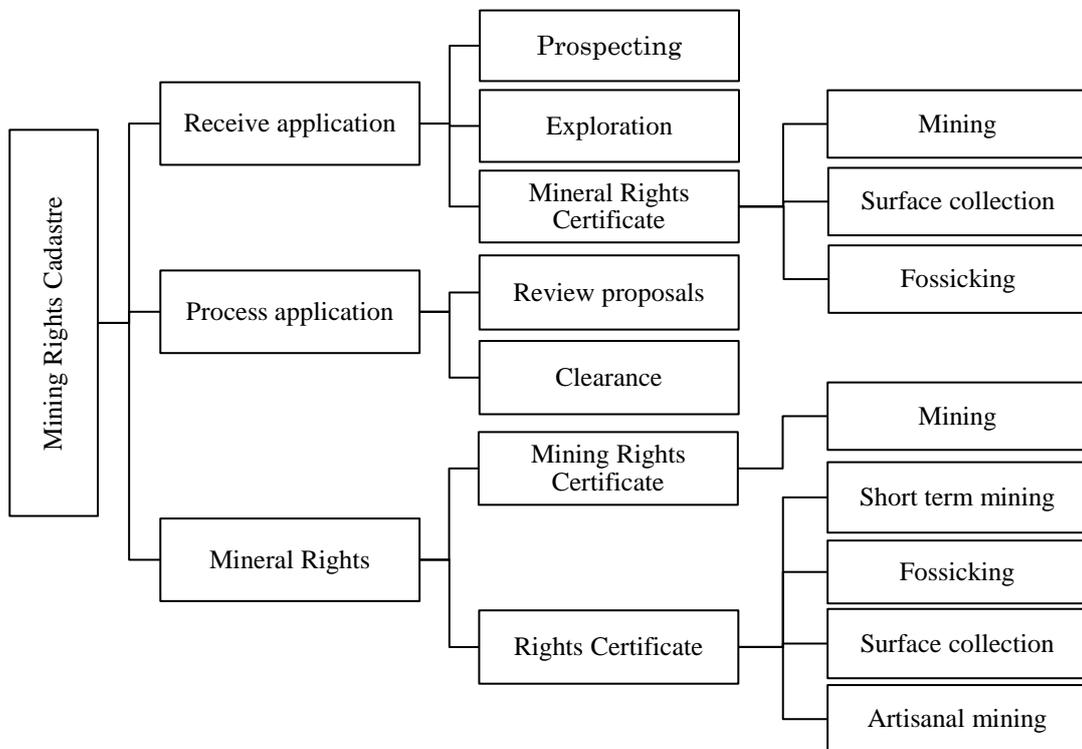


図 4-5 DGM の役割

4.5. 課題

(1) MRA の適正な活動

MRA は Mines and Minerals Bill 2020 の規定に従い設立される。MRA は役割および組織の両面で DGM とは異なる（図 4-2 から図 4-5 参照）。

MRA が規則に従ってその役割を適正にかつ独立して実行することができるかどうかは大きな課題である。

(2) DGM の弱点

DGM は鉱業の管理の点において以下のような弱点をもつ。

- ✓ DGM による利用可能な鉱物資源の評価の欠如
- ✓ 既存の人材能力と将来のニーズの評価の欠如
- ✓ 関連する利害関係者との弱いパートナーシップ

(3) その他

- ✓ 利害関係者間の調整が弱い
- ✓ 公聴と CSR 活動の監視機構の欠如
- ✓ 地方政府による鉱山手続きに関する専門知識の欠如

5. 環境行政

鉱山の開発は、建設中および操業中の両方で周囲の環境に影響を与える可能性がある。そのため、さまざまな環境影響を考慮して進める必要がある。ブータンでは法令や政策においても環境保全への配慮が強く求められており、採鉱段階から必要な手続きを行い、地方自治体や住民との共通の合意を形成することが重要である。

5.1. 環境政策

(1) ブータン王国憲法（2008年）

憲法第5条は、持続可能な開発へのブータンのコミットメントと、GNHを強化するための4つの柱の1つとしての環境保全の認識を反映している。第5条は以下を定めている。

- 1) すべてのブータン人は、現在および将来の世代の利益のために王国の天然資源と環境の受託者である。環境にやさしい実行と方針の採用と支援を通じて、自然環境の保護、ブータンの豊かな生物多様性の保全、および、騒音、景観的および物理的汚染を含むあらゆる形態の生態学的劣化の防止に貢献することは、すべての市民の基本的な義務である。
- 2) 王立政府は次のことを行うものとする。(a) 手付かずの環境を保護、保全、改善し、国の生物多様性を保護する。(b) 汚染と生態系の劣化を防ぐ。(c) 正当な経済的および社会的開発を促進しながら、生態学的にバランスの取れた持続可能な開発を確保する。(d) 安全で健康的な環境を確保する。
- 3) 政府は、国の天然資源を保護し、生態系の劣化を防ぐために、ブータンの総土地の少なくとも60パーセントが常に森林に覆われていることを保証するものとする。
- 4) 議会は、天然資源の持続可能な利用を確保し、世代間の公平性を維持し、自国の生物資源に対する国家の主権の権利を再確認するために、環境法を制定する可能性がある。
- 5) 議会は、法律により、国の任意の部分国立公園、野生生物保護区、自然保護区、保護林、生物圏保護区、重要な流域、および保護に値するその他の分類であると宣言することができる。

(2) ブータン王国憲法（2008年）

Bhutan 2020 は、5カ年計画と一致しなければならない国の平和、繁栄、幸福を想定した未来像の文書である。Bhutan 2020 は、過去の業績、開発の問題、包括的な目標と指針を用いた将来の課題、2020年以降のブータンの想定される状況をレビューした。

包括的な目標は、将来の独立、安全、主権を確保することである。指針となる原則は6つの主題で構成されている。アイデンティティは、文化的要請を尊重することによって確保されなければならない。社会の統一と調和は第2の原則である。堅固な君主制による安定性は3番目である。自立は4番目である。社会的、財政的、経済的、文化的、環境的側面を網羅する持続可能性は、5番目として非常に重要である。問題を引き起こさずに変化に適応する柔軟性は、6番目の中道（Middle Path）の概念と一致している。Bhutan 2020 は、指針となる原則を実行しつつ、悪影響のない近代化のメリットを受け入れる国、自信を持って自立する人々、豊かな生物多様性に

基づく新しく清らかな産業を伴う経済，無傷の環境，民間部門のダイナミックな活動を伴う分散型機関を有する国家のイメージを想定している。

5.2. 環境関連法

(1) National Environment Strategy (2020)

国家環境戦略（NES）2020 は，2020 年 6 月に国家環境委員会（NEC）事務局で発効された。

この文書は，関連する環境政策，法律，規制に沿ったものであり，さまざまな統治機関における既存の法律の実施のバランスを取り，強化することを目的としている。新しい戦略は，21 世紀の経済ロードマップを形成する上でも非常に重要であり，連続する 5 カ年計画の実施を支援する。水，空気，生命，土地に関する 4 つの主要な章があり，気候と生物多様性の主要な課題に取り組みながら，持続可能な開発目標を達成するための統合アプローチについて考察している。

環境戦略は，環境保全を導き，社会的，文化的，経済的發展を等しく重要視する上で重要である。これは，すべてのセクターが環境問題の範囲内で計画とプログラムに優先順位を付けるのに役立つ。

(2) National Environment Protection Act (2007)

国家環境保護法（NEPA）2007 は SEA の定義を提供する。この法律は SEA の役割については論じていないが，SEA の実施に重要かつ有用なパラメーターを定めている。

この法律は，土地，水，森林，鉱物，その他の天然資源の使用を管理する他のすべての法律および規制がその規定と一致することを要求し，法律と矛盾する環境に関連するすべての既存の法律を廃止する（それらを特定しないが）。

この法律は，すべてのブータン人に，国の環境福祉を保護および促進するための平等かつ対応する義務を伴う，安全で健康的な環境に対する基本的権利を与えている。政府の中道戦略に沿って，この法律は，経済發展と環境保全は同等の優先順位を受けると述べている。

(3) Environment Assessment Act (2007)

環境アセスメント法（EAA）2007 の第 1 条は，戦略的政策，計画またはプログラム（SEA の両方を意味する）およびプロジェクト（EIA を意味する）が環境に及ぼす潜在的な影響を評価すること，および，潜在的な悪影響を軽減し，環境への利点を促進するための方針および措置を決定するための手順を確立する。

同法は，開発プロジェクトに対して環境アセスメントを実施し，環境クリアランスを取得するための要件を規定している。

- ✓ 環境クリアランスの発行は，開発同意の発行の前提条件でなければならない。（第 8 条）
- ✓ 開発の同意を必要としない王立政府のプロジェクトは，事務局（NECS）から環境許可を受けた後にのみ開始することができる。（第 9 条）
- ✓ 開発の同意を必要とするプロジェクトを実行しようとする者は，管轄当局への申請書にプロジェクトの潜在的な環境影響の説明を含めるものとする。（第 11 条）
- ✓ 事務局（NECS）が申請者から提供された情報に基づいてプロジェクトの潜在的な環境影響を特定できない場合，または提供された情報がプロジェクトが第 18 条の条件を満たし

ていることを証明するのに十分でない場合、所管官庁は事務局が承認した委託条件に従って環境アセスメント文書を作成するよう申請者に求めるものとする。(第 15 条)

この法律は、その実施を導くことを目的としたさまざまな文書によって支持されている。規制例として、

- ・プロジェクトの環境クリアランスに関する規制 (2016)
- ・環境アセスメントの一般的なガイドライン (2012 年)

プロジェクトの環境クリアランスに関する規則 (2016) は、所轄官庁が、EAA 2000 の第 III 章および規則の第 III 章に基づいて、プロジェクトの環境影響をスクリーニング、スコーピング、および評価した後、リストされたプロジェクトに対して環境クリアランスを発行できると述べている。

DGM に関連する活動とプロジェクトは、色分けされた区分にプロジェクトを分類するような「鉱床を検証するための鉱物探査」である。

(4) Regulation on Strategic Environmental Assessment (2002)

SEA に関する規則も、いくつかの特定の目的で導入された。

- ✓ 方針、計画、またはプログラムを策定、更新、変更、または実行する際には、すべての政府機関が環境問題を十分に考慮していることを確認すること。
- ✓ 方針、計画、またはプログラムを策定、更新、変更、または実行する際に、累積的かつ大規模な環境への影響が考慮されていることを確認すること。
- ✓ プロジェクトの環境クリアランス規則 (RECP) に従ってプロジェクト固有の環境レビューを補完し、適切な計画段階で環境目標とすべての政府提案の影響を早期に特定することを奨励する。
- ✓ 再生可能資源とクリーンテクノロジーの使用を奨励する環境的に持続可能な提案の設計とその実行を促進する。
- ✓ 地区、地方、国レベルでの包括的な天然資源と土地利用計画の開発を促進し、奨励する。

戦略的環境アセスメントに関する規則の第 5 章は、次のように述べている。「環境に重大な影響を与える可能性のある 5 か年計画を含む方針、計画、またはプログラムを策定、更新、変更、または実行する機関は、提案が採択されるか、ブータン王立政府に提出される前に、この規制に従って戦略的環境アセスメント (SEA) を実施するものとする。」

SEA に含まれる情報は、人間、動物、植物、土壌、水、空気、気候、景観、物質的資産と文化遺産に対して PPP を実施することによる重大な直接的および間接的影響を評価する目的で合理的に必要とされる可能性のある詳細なものでなければならない。

この規則は、ブータンの戦略的環境アセスメント (SEA) の国家ガイドライン草案 (2016) によってサポートされており、SEA プロセスは図 5-1 のように規定されている。

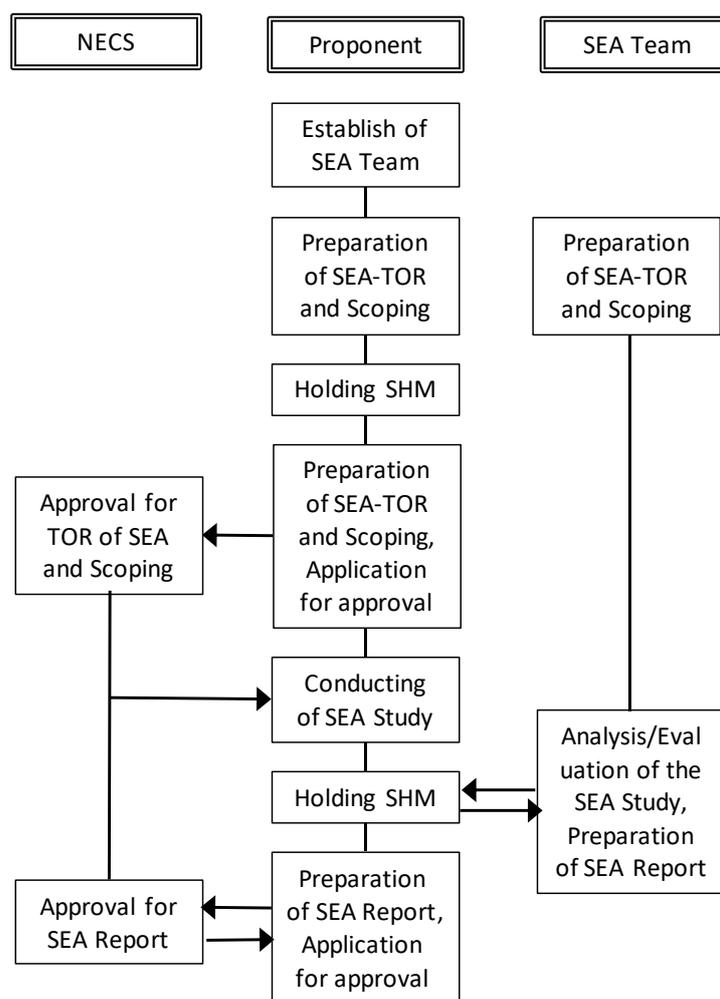


図 5-1 SEA の手順

(5) Environmental Standards under NECS

環境基準 2016 は、追加のパラメーターと新しい基準を含むように改訂された。環境基準 2020 は、2020 年 6 月 25 日に国家環境委員会（NEC）によって採択された。

改訂された環境基準 2020 は、以下の項目の環境基準を定めている。

- ✓ 周囲の水質基準
- ✓ 産業排水の排出基準
- ✓ 下水処理プラント（STP）の排出基準
- ✓ 周囲の大気質の基準
- ✓ 産業排出基準（汚染物質の最大制限）
- ✓ アルミニウム製錬ユニットの産業排出基準
- ✓ 職場の排出基準
- ✓ 車両排出ガスおよび騒音制限の基準
- ✓ 騒音レベルの制限

- ✓ 焼却の排出基準
- ✓ 廃棄物焼却炉の灰処理／利用の基準

(6) 他の関連法令

その他に環境に関連する国の法令を表 5-1 に示す。

表 5-1 その他の環境に関連する国の法令

Item	No	Name	Related Organization
Biodiversity	1	Forest and Nature Conservation Rules and Regulations of Bhutan, 2017	Ministry of Agriculture and Forests
	2	Rules on Biological Corridor, 2006	
Water	3	Water Act of Bhutan, 2011	National Environment Commission
	4	Water Regulation of Bhutan 2014	
Waste	5	Waste Prevention and Management Act, 2009	
	6	Waste Prevention and Management Regulation, 2012	
Disaster	7	Disaster Management Act, 2013	Ministry of Home and Cultural Affairs
Culture	8	Movable Cultural Property Act, 2005	Department of Culture

5.3. 鉱業に係る環境社会配慮

IFC による環境・健康・安全ガイドライン（以下、EHS ガイドラインと呼ぶ）によると、鉱業開発には、次のような鉱業活動に関連する潜在的な環境問題がある。

- ✓ 水の使用と水質
- ✓ 廃棄物
- ✓ 危険物
- ✓ 土地利用と生物多様性
- ✓ 大気質
- ✓ 騒音と振動
- ✓ エネルギー使用
- ✓ 景観への影響

労働安全衛生に関しては、鉱山サイクルのすべての段階でいくつかの問題が発生する。問題は、次のカテゴリに従って分類できる。

- ✓ 一般的な職場の健康と安全
- ✓ 有害物質
- ✓ 爆発物の使用
- ✓ 電氣的安全性と隔離

- ✓ 物理的な危険
- ✓ 電離放射線
- ✓ 仕事への適合性
- ✓ 旅行とリモートサイトの健康
- ✓ 熱応力
- ✓ 騒音と振動
- ✓ 地下採掘における特定の危険性（火災，爆発，閉所および酸素欠乏空気）

5.4. 課題

(1) 既存鉱山に対する環境保全措置の要求

鉱業セクターでのさらなる開発は経済発展と輸出強化のため第 11 次 5 年計画の重要な目標に挙げられている。2020 年のブータンの鉱山開発規模は依然限定的で、政府は環境に調和しながら今後の鉱山開発の拡大に期待している。

一方、既存の鉱山開発の環境社会配慮の課題については、関係機関から適切な対応を要望されている。「A Bhutan National Council study on the socioeconomic and environmental assessment of mining and activities」(2013) では、ブータン国家評議会からの鉱業セクターにおける環境問題についての重要な課題が示されている。国家評議会は政府に鉱業権の発行前に、以下の 7 つの重要な対応を行うよう提言している。

- i. 今後の新規の採掘および採石活動の着手前に、全国の詳細な地質図作成を優先する。
- ii. 鉱山および採石場の貸与、モニタリング、管理に関与する関係機関毎の責任を定め、それらの失敗についての責任を明確化する。
- iii. 鉱山および採石場が法律の規定に従って運営されていることを保証するために、既存の方針、法律、ガイドライン、ライセンス供与、運営及び管理基準を再検討する。
- iv. 鉱業及び採石活動の費用便益分析と、社会経済的および環境的影響を実施する。
- v. 現在実施されている環境復元措置の有効性をレビューする。(例えば、廃坑となった鉱山は、法律で義務付けられているような復元または再生措置が実施されていない。企業または個人が復元/再生を実施せずに廃坑を離れた場合、その負担は政府が直接、一般市民が間接的に負担することとなる。)
- vi. 全ての鉱業および採石会社が適切な返品を保証し、歳入関税庁と経済省の間の適切な調整を保証する。
- vii. 国家環境委員会事務局が順番に作成することを義務付けられている年次報告書に、NEPA 2007 で定められている the middle path strategy と世代間の責任に沿って、採掘および採石活動を実施するために必要な上記およびその他のすべての措置を含める。また、更なる検討のために、法律に従って国家環境委員会および一般大衆に通知する。
- viii. 上記の問題が解決されるまで、新規の鉱業権の発行を凍結する。

このように今後より将来大規模な鉱山開発が望まれる場合は、これらの提案に従って、既存の工業セクターでの環境管理を適切に運用する必要がある。この目標に向けて、DGM, NECS, および民間の鉱山開発会社は、適切な環境管理計画を策定し、環境緩和策を実施し、監視するために協力する必要がある。

(2) 環境保護地域での鉱業開発

ブータンには、19,750.57 km² または 51.44% に相当する、国の地理的土地の半分以上が保護地域システムの下にある。これは、42.71% の保護地域、8.61% の生物学的回廊、0.12% の保全地域で構成される。ブータンの保護地域は、i) 野生生物サンクチュアリ、ii) 野生生物保護区、iii) 自然保護区、iv) 厳格な自然保護区、v) 研究森林、vi) 重要な流域またはその他の保護地域に分類される。保護地域は、自然森林保護法（1995）に基づいて指定されている。

同法により、環境保護区は、中核ゾーン、緩衝ゾーン、多目的ゾーンの 3 種類に分類されている。この法律は、「禁止された活動」と「制限された活動」を課すことにより、保護地域内の人間の活動を規制している。後者は、当局によって特別な許可が発行された場合にのみ許可される。

保護地域の分類をエラー! 参照元が見つかりません。に示す。保護地域のロケーションマップは前の章に示す。

表 5-2 保護地域の分類

No	Name	Definition/Purpose	Development potential
1	Core Zone	A fully protected area within a protected area designated in accordance with technical regulations, human-related activities are not permitted, except for regulated research and monitoring programs	No potential
2	Buffer Zone	The area established within protected areas based on the mutually beneficial relationship between nature conservation and sustainable management of natural resources. Local people can be used multiple purposes with special approval by the Forest officer.	With EIA approval
3	Multiple-use zone	Area set up as a "buffer" for human activities and nature conservation within the protected area	With EIA approval

NECS の環境アセスメント・コンプライアンス部門によると、多目的ゾーンまたは緩衝地帯で有望な鉱業資源が見つかった場合、プロジェクトは環境影響評価調査の対象となる。コアゾーンでの開発は一切認められないため、資源が存在する可能性があっても開発は断念せざるを得ない。ブータンの環境政策、環境評価手続きは、ADB の技術協力を受けて検討され、世銀の技術協力を受けて策定されたものである。よってブータンの環境評価手続きは、基本的には国際協力機関の環境社会配慮の政策理念に概ねカバーする内容となっており、JICA 環境社会配慮ガイドライン（2014）にも準拠している。ブータン同様、日本も含め、多くの国で国立公園や保護区内での開発行為は規制対象となっている。国立公園内から有望な鉱業資源が特定された場合、DGM は NECS に加えて森林公園サービス局と話し合い、コアゾーン外での開発のための EIA 手順を進める必要がある。マインデベロップメントは環境への負荷が大きな事業であることから、適切な

EIA を行い、影響を最小化すべきである。鉱山開発は環境に大きな影響を持つ開発プロジェクトであるので、影響を最小化するため適切な EIA 手順を実施する必要がある。

しかしながら、鉱物資源調査や鉱物資源の存在を確認するための小規模な試錐のような初期調査でも保護区内での活動である場合、EIA 手続きが要求される。この手続きに予算や期間が必要となり、それが鉱物探査の高い障害となっている。

日本では国立公園の特別地域は規制レベルの厳しさで次の 4 種のカテゴリに分けられる。特別保護地区、第 1 種特別地域、第 2 種特別地域、第 3 種特別地域である。このカテゴリで国立公園の保護規制は運用される。ブータン同様、一番保護のレベルが高い特別保護地域では開発について開発申請はできるものの、現状変更行為はほとんど認められない。より規制レベルの緩い第 1 種から第 3 種特別地域で鉱物の採掘や土石の採取のような小規模な活動を実施したい場合は環境大臣（もしくは知事）に申請し、条件付きで承認を得ることができる。申請書類を提出すると書類は国の基準（自然公園法施行規則第 11 条）および各地域で設定された基準（国立公園管理計画）を満たすか審査される。認可までの期間は開発の内容によって異なるが、概ね 1~3 ヶ月位であり、EIA に比べれば簡素な手続きとなっている。このような簡易手続きを背景に、日本では国立公園内での地熱発電の可能性などについて近年調査が進んでいる。

ブータンにおいても、国立公園の自然生態系に影響を与えないレベルの小規模な地質探査は、コアゾーン以外の保護区では、EIA 手続きの簡素化など、例外的な措置を求めていくことも必要である。ただしもちろん、これらの例外措置を要請する場合は、現状復旧として環境回復措置を行う、必要なモニタリング等を実施することは別途必要である。今後 DGM は環境関連機関とこの例外措置について、協議をすることが奨励される。また、前項で述べている National council の要請の (1) *To prioritize on conducting detail geological mapping of the country before embarking on further mining and quarrying activities.* も重要なポイントである。やみくもに国立公園をターゲットにするのではなく、まず、ブータン全域における地質調査を行い、国立公園内の鉱物資源の可能性についてプライオリティを明確にし、共通の情報をベースに実際の現地での試掘等に臨むべきである。

ブータンでは他の国と比較しても自然保護、特に国立公園の保護規制が厳しく、よって場所によっては自然破壊につながる鉱物資源開発や既存鉱山の運用について厳しい対応が迫られている。一方で鉱物開発は今後大きな外貨獲得手段として期待されており、自然環境との調和や、環境汚染防止策を徹底しながら、必要な調査や開発をバランスよく実施していく必要がある。

6. 鉱物資源開発計画

6.1. 鉱物資源開発の工程

鉱物資源に関連する主な用語の定義は次のとおりである（USGS, 1992）。

「鉱徴」とは、誰かがどこかで価値があると考えている、あるいは、科学的または技術的な関心を有する鉱物の農集である。

「鉱床」とは、最も好ましい状況下で、経済的可能性があると見なされるのに十分な規模と品位を有する鉱徴である。

「鉱石」とは、分析試験が実施済みであり、利益を生み出すための採掘が可能である十分な規模、品位およびアクセスしやすさを有することが知られている鉱床である。

野外観察は通常「鉱徴」から始まり、さらなる調査により「鉱床」へと進み、「鉱石」に至ることはまれである。

「鉱物資源量および鉱石埋蔵量」としての鉱物資源の分類は、6.1.2章に示す。

6.1.1. 鉱物資源開発の段階

鉱物資源開発の工程は単純ではない。効率的かつ効果的な鉱山開発には、細かく慎重な作業手順が必要である。鉱山開発工程では、次の6つの包括的な段階が考えられる（図 6-1 参照）。

(1) 探査（Prospecting）

最初の段階では、熟練した地質家やその他の作業者が地質学的知識を適用して、鉱床が発見される可能性のある地域を特定するための調査を行う。

衛星画像解析、表層地質図作成と試料採取、地球物理探査、地球化学探査などの手法が潜在的な鉱床を発見するために早期の段階で適用される。

(2) 探鉱（Exploration）

第二段階では、試錐調査が実施され、鉱床の品位と量を評価する目的で化学分析のためにコア試料が採取される。この結果に基づき、鉱床評価のために地質モデリングと資源量推測が行われる。さらに、技術、財務および環境の実現可能性を分析するために、事前実現可能性調査（Pre-F/S）が実施される。

(3) 鉱山設計・計画

地質マッピングと鉱物資源データが十分に収集されると、鉱山の設計と計画の段階が始まる。この段階では、プロジェクトが安全で、環境的に健全で、経済的に実行可能で、社会的に責任があるかどうかを判断するための調査を実施する必要がある。

実現可能性調査（フィジビリティスタディ）は、鉱物資源を経済的に採掘できるかどうかを判断するために実施される。これには、地理的境界、鉱区内の鉱物資源の量と品位、採掘方法の検討、鉱石の選鉱方法、生産率、鉱山の耐用年数（マインライフ）、対象市場、開発に必要な設

備投資および株主に対する運営利回りなどが含まれる。

(4) 開発と建設

開発の段階では、鉱物資源の特徴付け、鉱山レイアウトの設計、プロジェクトに関する広聴の実施、財政的および環境的影響の評価、必要な許可の取得、鉱山操業の最終評価が行われる。

建設の工程は、研究、許可、承認が完了した後に行われる。鉱山サイトの建設には、道路、処理施設、環境管理システム、従業員用住宅などの施設の建設が含まれる。

採掘の最も一般的な 2 つの方法は、露天採掘と地下（坑道）採掘である。採掘法は、主に鉱床の特性と、安全性、技術、環境および経済的懸念によって課せられる制限によって決定される。

鉱山の開発と建設には 5 年から 10 年かかる。

(5) 生産

生産工程では、鉱床から鉱石を採掘し、それを処理して金属を抽出する。

生産工程での最初の段階は鉱石鉱物の採掘である。これは、さまざまな工具や機械を使用して岩石から鉱石を採掘する処理である。

2 番目の段階は選鉱である。採掘された鉱石は巨大な砕石機または粉砕機で処理され、商業的に価値のある鉱物が鉱石から分離される。選鉱処理後に残った鉱石は精鉱と呼ばれる。

処理後に、鉱石・精鉱は製錬施設に輸送される。

生産の最後の段階は製錬である。これは、鉱石から金属を抽出するために炉で精鉱を溶解する処理である。金属の純度をより高くするためにはさらに精錬が行われる。溶解液は金型に注がれて金属地金が作られる。

(6) 閉山・修復

鉱山操業の最終段階は閉山と修復である。鉱山サイトで埋蔵量が枯渇すると、鉱区内のすべての施設を解体して、鉱山を閉山する処理が行われる。次に、土地修復の処理が実行され、鉱山サイトは開発前の状態に戻される。

包括的な復旧プログラムには、公衆衛生と安全の確保、環境影響の最小化、廃棄物と有害物質の除去、水質の保全、侵食から保護するための土地の安定化、新しい地形と植生の確立など、明確に述べられた多くの目的がある。

鉱山を閉鎖するのに最大 10 年かかることがある。

<p>探査 (Prospecting)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 衛星画像解析 表層地質図作成と試料採取 地球物理探査 地化学探査 トレンチ調査 	1～3年
<p>探鉱 (Exploration)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 試錐 試料採取と化学分析 地質モデリング 資源量予測 事前実現可能性調査 (Pre-F/S) 	2～5年
<p>鉱山設計／ 計画</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実現可能性調査 (F/S) 鉱業権の取得 鉱山とプラントの設計 鉱滓堆積場 (TSF) の設計 工程計画 	2～5年
<p>鉱山開発と建設</p>	<ul style="list-style-type: none"> 道路、施設の建設 運搬システム 環境影響評価 許認可 工程計画 	2～5年
<p>生産</p>	<ul style="list-style-type: none"> 品位コントロール 鉱石採取 廃石管理 鉱山周辺の探鉱 マインライフ (LoM) の延長 	10～30年
<p>閉山／ 修復</p>	<ul style="list-style-type: none"> 鉱山サイトの修復 維持管理 現状復旧 環境モニタリング 	1～10年

図 6-1 鉱業開発の過程

6.1.2. JORC コード

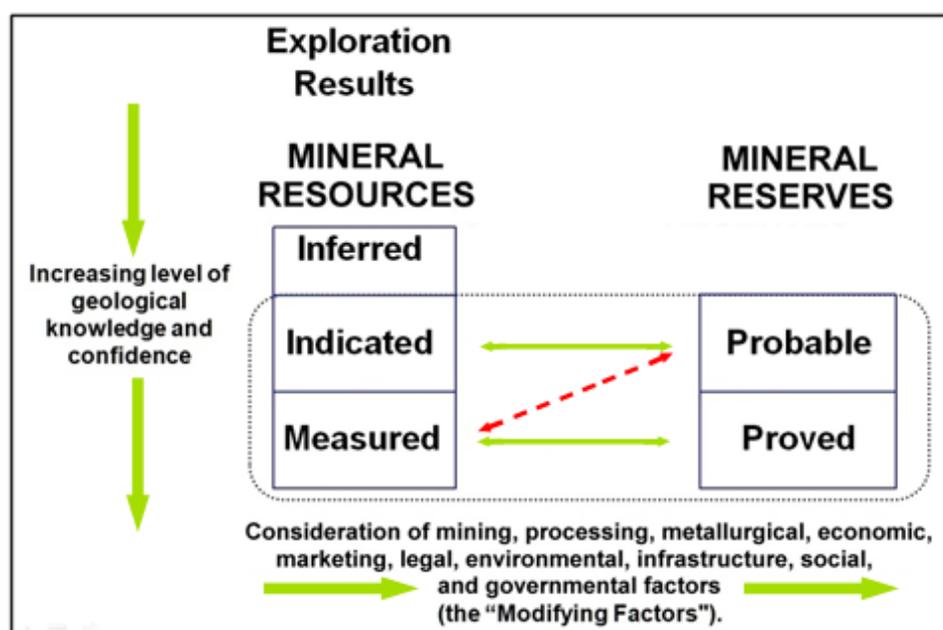
鉱物資源分類は、地質学的情報と信頼度のレベルの上昇に基づく鉱物資源の分類である。この分類は経済的指標であるため、法令、規制および業界の最良慣行の標準により管理されている。世界にはいくつかの分類スキームがあり、最も一般的に使用されているのは Australian Joint Ore Reserves Committee Code (JORC コード) である。

「鉱物資源量および鉱石埋蔵量の報告に関する大洋州規程 (JORC コード)」は鉱物探鉱結果 (Exploration Results)、鉱物資源量 (Mineral Resources) および鉱石埋蔵量 (Ore Reserves) の公的報告に関する最低基準を設定する専門的な実践コードである (図 6-2)。JORC コードは、公的報告書の地質学的知識と技術的・経済的考察の信頼度に従って鉱物資源を分類するための必須システムを提供する。

JORC コードは 1989 年に最初に公開され、最新の改訂版は 2012 年後半に公開された。1989 年と 1992 年の各改訂以降、同コードは「オーストラリアとニュージーランドの証券取引所の上場規則」に組み込まれ、オーストラリアとニュージーランドで公開企業を上場するためには同コードの順守が義務付けられている。JORC コードの最新版は 2012 年に発行され、移行期間の後、2012 年版は 2013 年 12 月 1 日から運用が義務付けられた。

JORC コードは、オーストラレーシア鉱石埋蔵量合同委員会 (「JORC 委員会」) によって作成された。JORC 委員会は 1971 年に設立され、オーストラリアの鉱業とその専門組織によって後援されている。同委員会は、JORC コードの開発と継続的な更新を担当する。

(JORC ウェブサイトより : <http://www.jorc.org>)



出典 : JORC(2012)

図 6-2 探査結果－鉱物資源量－鉱石埋蔵量の一般的関係

6.1.3. 金属の生成過程

金属がすでに元素の形で自然に産するような場合には、比較的少ない処理段階で金属を生産することができる。これは、金、銀、プラチナおよびその他のいわゆる貴金属の場合である。これらの貴金属は通常、他の元素と結合せずに自然界に存在するため、比較的少ない追加の処理で商業的使用に供することが可能となる。ただし、ほとんどの場合、金属は酸化物や硫化物などの化合物として自然界に存在するため、最初に元素状態に変換する必要がある。その後、特定の実用的な用途で使用できるようにするために、さまざまな方法で処理されることになる。

金属鉱物の鉱石から製品にするまでには、多くの工程が必要である。以下に銅の例を述べる(図 6-3, 図 6-4)。

➤ 採掘

鉱業とは、地表(露天掘り)および地下(坑道掘り)鉱山として、地面から鉱石を掘り出すことである。露天掘りでは、鉱石は露天採掘場から採石される。世界の銅の多くは巨大な露天掘り鉱山から得られており、露天掘り採掘場の深度は 1,000m 近く、幅は 3.5 km 以上に達する。銅鉱石の品位は、一般的に 0.1~2% である。

➤ 処理, 破碎と粉碎

鉱石は破碎された後に、粉碎され粉末になる。

➤ 選鉱/精鉱

鉱石は泡浮選により金属が濃縮されて精鉱となる。最初に、粉碎された鉱石は水と起泡剤とで混合される。次に、混合物に空気が吹き込まれ、泡立ちが発生する。泡立て工程では、脈石と呼ばれる不純物が容器の底に沈み、取り除かれる。不純物は、シックナーと呼ばれるタンクで水を排水した後、鉱滓堆積場に貯蔵される。銅精鉱の品位は 20~35% である。

➤ 製錬

製錬は、金属を抽出し、溶剤を使用して付随する脈石をスラグとして取り除くために、鉱石または精鉱に熱を加える処理である。溶剤とは、炉内で鉱石を溶けやすくするために鉱石に加えられる物質である。溶解物は型に注がれ、地金の棒が製造されて、販売される製品となる。

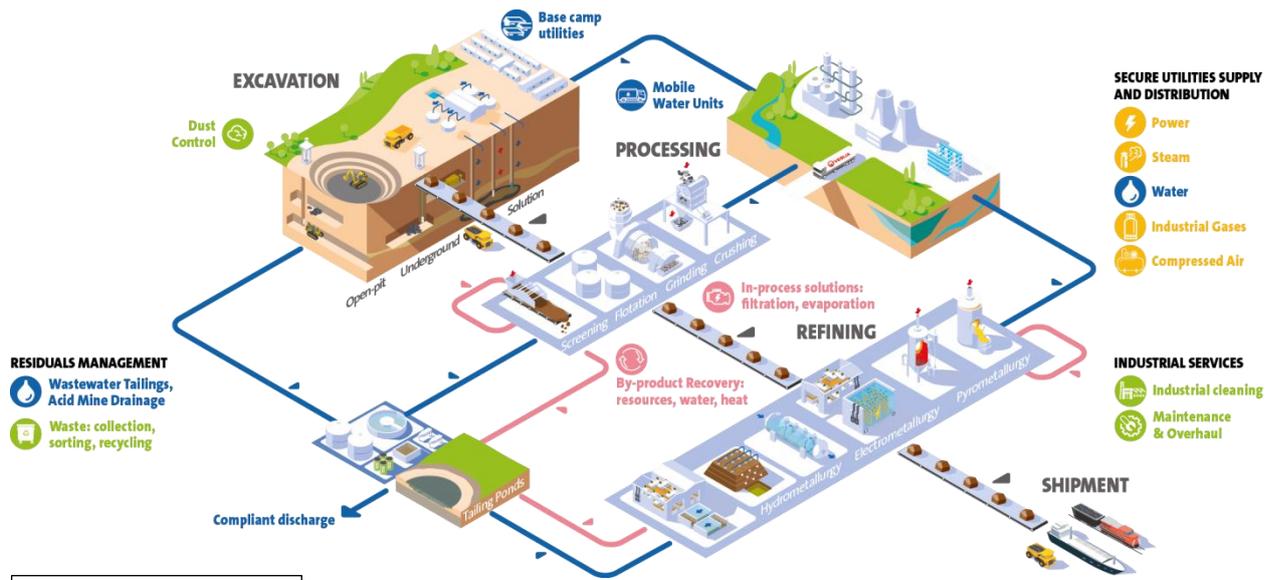
➤ 電解精錬

銅は電気分解により 99.99% に精製される。

上記の製造工程は、約 0.2% の銅を含む岩石から 99.99% の純度の銅陰極を生成する過程を表している。

➤ 浸出(リーチング)

浸出は銅鉱山における新しい手法である。鉱石は希硫酸で処理される。希硫酸溶液は数か月かけて鉱石内をゆっくりと流れ落ちて銅を溶解しながら、希薄な硫酸銅溶液が形成される。その後、硫酸銅溶液から電気分解によって銅が回収される。このプロセスは、SX-EW(溶媒抽出および電解採取)として知られている。



出典：VEOLIA(2016)

図 6-3 鉱山操業のインフォグラフィック



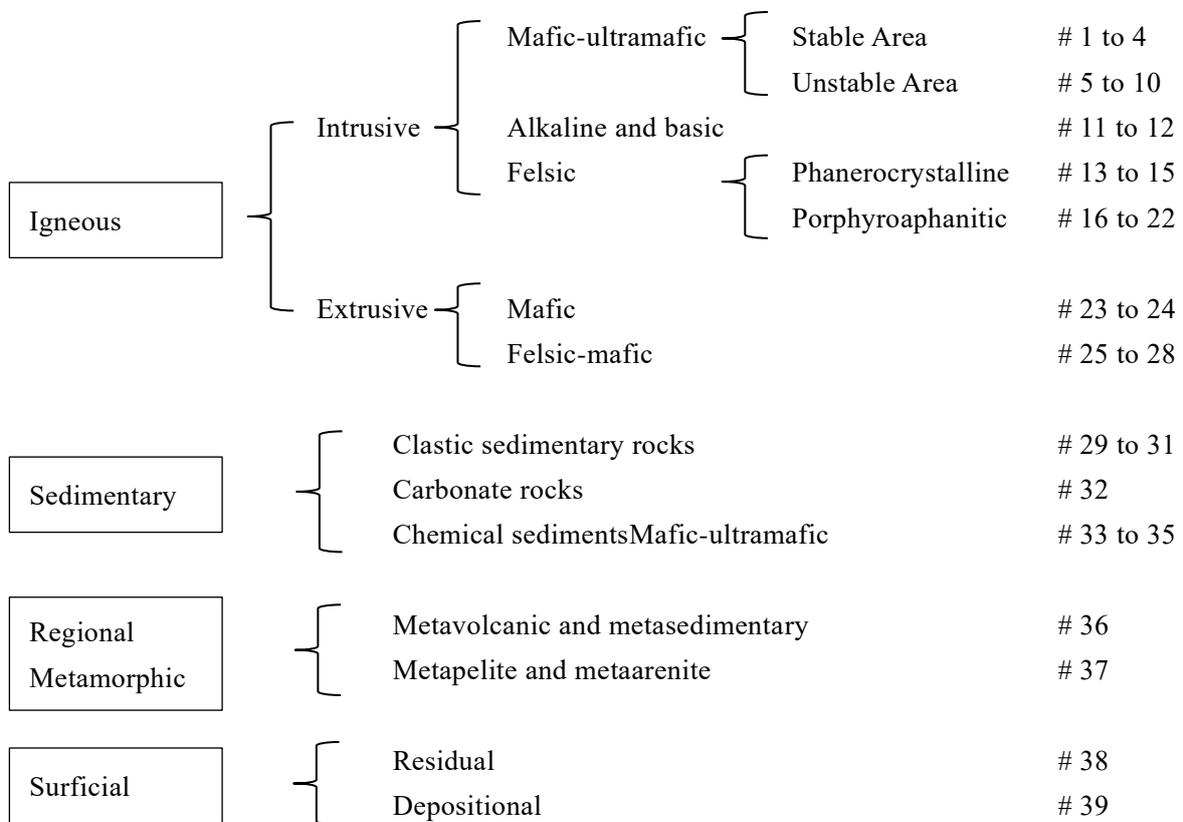
図 6-4 銅鉱山操業に係る写真

6.2. 対象鉱種（金属鉱物）

ブータンにおいて期待される金属鉱物資源の鉱床として、本 MRDP の対象となる鉱種は、鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn)、タングステン (W)、銅 (Cu)、金 (Au) および希土類元素 (REE) である。

金属鉱物資源の探査には、鉱化作用のタイプ／モデル（鉱床成因論）を理解することが非常に重要である。

USGS は、鉱床モデルの包括的なグループ・分類を構築した。これにより、地質家は、自身の観測結果を、より広範な地球科学者グループに共同な知識や経験と比較することができる。幅広い地質－構造環境と鉱床モデルの関係を示す樹形図を図 6-5 に示す。これらの鉱床モデルは、表 6-1 でより細かく分類されている。図 6-5 の右端の数字は、表 6-1 の数字に対応している。



出典：USGS

図 6-5 地質－テクトニクス環境と鉱床モデルの関係

表 6-1 岩相－テクトニクス環境による鉱床モデルの分類

1. Mafic and ultramafic intrusions
 - A. Tectonically stable area; stratiform complexes
 - (1) Basal zone: Stillwater NiCu
 - (2) Intermediate zone: Bushveld chromitite, Merensky Reef PGE
 - (3) Upper zone: Bushveld FeTiV
 - (4) Pipelike deposits: CuNi pipes, PGE pipes
 - B. Tectonically unstable area
 - (5) Intrusions same age as volcanic rocks, Rift environment: Duluth CuNi PGE, Noril'sk CuNiPGE
 - (6) Greenstone belt in which lowermost rocks of sequence contain ultramafic rocks: Komatiitic NiCu, Dunitic NiCu
 - (7) Intrusions emplaced during orogenesis: Synorogenic-synvolcanic NiCu, AnorthositeTi
 - (8) Ophiolites: Podiform chromite, Major podiform chromite
 - (8) Serpentine: Limassol Forest CoNi, Serpentinehosted asbestos
 - (9) Crosscutting intrusions (concentrically zoned): Alaskan PGE
 - C. Alkaline intrusions in stable areas
 - (10) Carbonatite
 - (11) Alkaline complexes
 - (12) Diamond pipes
2. Felsic intrusions
 - D. Mainly phanerocrystalline textures
 - (13) Pegmatitic: BeLi pegmatites, SnNbTa pegmatites
 - (14) Granitic intrusions/ Wallrocks are calcareous: W skarn, Sn skarn, Replacement Sn
 - (15) Granitic intrusions/ Other wallrocks: W veins, Sn veins, Sn greisen
 - E. Porphyroaphanitic intrusions present
 - (16) Highsilica granites and rhyolites: Climax Mo
 - (17) Other felsic and mafic rocks including alkalic: Porphyry Cu
 - (18) Wallrocks are calcareous/ Deposits near contact: Porphyry Cu. skarnrelated, Cu skarn, ZnPb skarn, Fe skarn, Carbonatehosted asbestos
 - (19) Wallrocks are calcareous/ Deposits far contact: Polymetallic replacement, Replacement Mn
 - (20) Wallrocks are coeval volcanic rocks/ In granitic rocks in felsic volcanics: Porphyry Sn, Snpolymetallic veins
 - (20) Wallrocks are coeval volcanic rocks/ In calcalkalic or alkalic rocks: Porphyry CuAu
 - (21) Wallrocks are older igneous and sedimentary rocks/ Deposits within intrusions: Porphyry CuMo, Porphyry Mo-lowF, Porphyry W
 - (22) Wallrocks are older igneous and sedimentary rocks/ Deposits within wallrocks: Volcanic hosted CuAsSb, AuAgTe veins, Polymetallic veins

3. Extrusive rocks
 - F. Mafic extrusive rocks
 - (23) Continental or rifted craton: Basaltic Cu
 - (24) Marine, including ophioliterelated: Cyprus massive sulfide, Besshi massive sulfide, Volcanogenic Mn, Blackbird CoCu
 - G. Felsic/mafic (bimodal) extrusive rocks
 - (25) Subaerial/ Deposits mainly within volcanic rocks: Hotspring AuAg, Creede epithermal vein, Comstock epithermal vein, Sado epithermal vein, Epithermal quartz-alunite Au, Volcanogenic U, Epithermal Mn, Rhyolitehosted Sn, Volcanichosted magnetite
 - (26) Subaerial/ Deposits in older calcareous rocks: Carbonatehosted AuAg, Fluorspar deposits
 - (27) Subaerial/ Deposits in older elastic sedimentary rocks: Hotspring Hg, Almaden Hg, Silicacarbonate Hg, Simple Sb
 - (28) Marine: Kuroko massive sulfide, Fluorspar deposits
4. Sedimentary rocks
 - H. Clastic sedimentary rocks
 - (29) Conglomerate and sedimentary breccia: Quartz pebble conglomerate AuU, Olympic Dam CuUAu
 - (30) Sandstone: Sandstonehosted PbZn, Sedimenthosted Cu, Sandstone U
 - (31) Shalesiltstone: Sedimentary exhalative ZnPb, Bedded barite, Emerald veins
 - I. Carbonate rocks
 - (32) No associated igneous rocks: Southeast Missouri PbZn, Appalachian Zn, Kipushi CuPbZn
 - J. Chemical sediments
 - (33) Oceanic: Mn nodules, Mn crusts
 - (34) Shelf: Superior Fe, Sedimentary, Phosphate-upwelling type, Phosphate-warmcurrent type
 - (35) Restricted basin: Marine evaporite, Playa evaporate
5. Regionally metamorphosed rocks
 - K. Derived mainly from eugeosynclinal rocks
 - (36) Lowsulfide Au quartz vein, Homestake Au
 - L. Derived mainly from pelitic and other sedimentary rocks
 - (37) Unconformity UAu, Gold on flat faults
6. Surficial and unconformity related
 - M. Residual
 - (38) Lateritic Ni, Bauxite- laterite type, Bauxite- karst type
 - N. Depositional
 - (39) Placer AuPGE, Placer PGEAu, Shoreline placer Ti, Diamond placers, Stream placer Sn

出典 : USGS

6.3. 金属鉱物資源の開発計画

工芸品やつり橋の鎖、武器生産の原料を提供した古代の鉄鉱山の痕跡はあるが、歴史的にはブータンは顕著な鉱物資源生産国ではなかった。鉛亜鉛精錬の遺構もまた見つかった。さらに中央ブータンの人を寄せつけないブラックマウンテン地域に金ナゲットが産するとの言及が時折ある (ESCAP, 1991)。過去のブータンでの鉱物資源調査や詳細探鉱活動は鉛、亜鉛、銅、タングステン、ベリリウム、鉄、黄鉄鉱、微量な金の小鉱床や多くの鉱徴地を発見した (図 6-6)。GSI や DGM によって調査された金属鉱物資源はタングステン (W)、鉛-亜鉛 (Pb, Zn)、銅 (Cu)、金 (Au)、希土類元素 (REE)、鉄 (Fe) である。採掘実績のある金属鉱物資源は鉄だけであり低品位な鉄鉱山が一つだけ稼行している。将来の鉱物資源開発のため、鉱床データや世界需要動向などのポテンシャルを基に、鉛、亜鉛、タングステン、銅、金、希土類元素に注目した。保護区との関係や鉱量、品位、アクセスの良さ、インフラへの接続性もまた重要である。6種の鉱物資源は以下に検討しまとめた。ブータンで代表的な鉱床であるゲネハ (Pb-Zn)、ブルコラードルパニ (W)、ゴンコラーノブジチュ (Cu)、グルンコラ (Au)、マウレ (REE) を例に説明する。

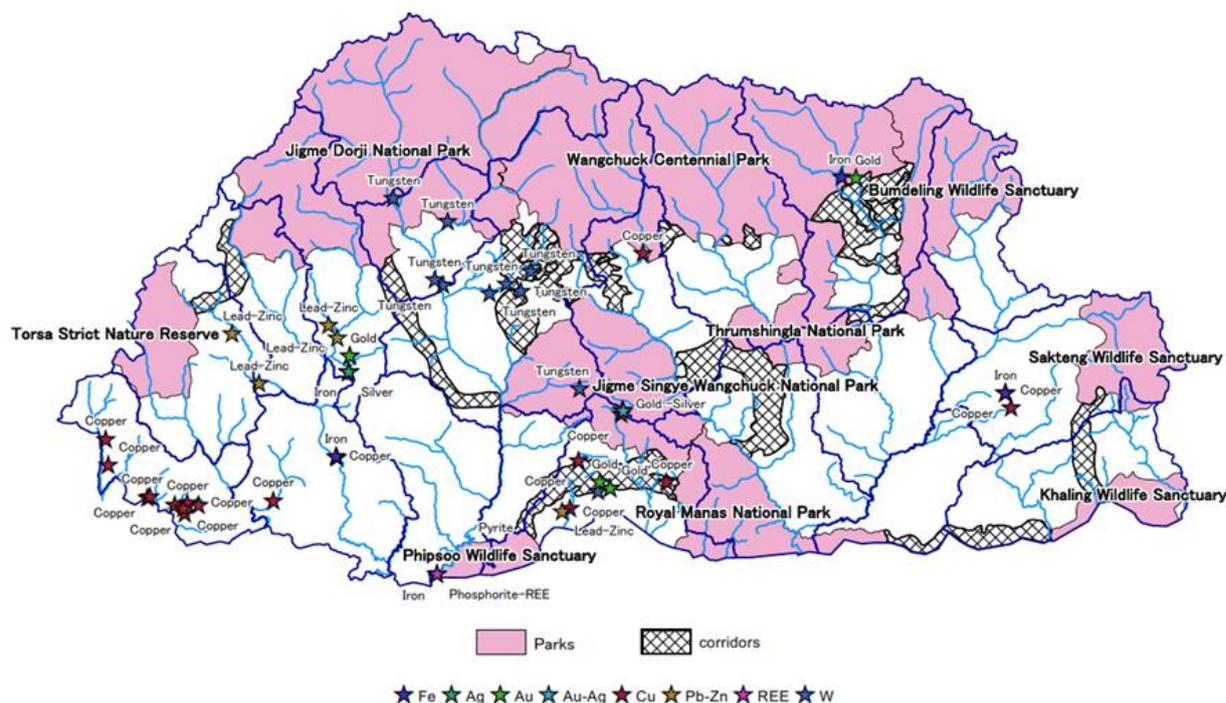


図 6-6 環境保護区と鉱物資源図

6.3.1. 鉛 (Pb)

鉛需要の 80%はバッテリーである。鉛バッテリーは EV や FCV を含むすべての自動車に組み込まれている。近年、リチウムイオンバッテリー (LIB) の需要が急速に拡大したが、鉛は依然バッテリー市場の主要要素である。自動車と電気自転車市場の成長にけん引された中国消費の増

加によって鉛の世界需要は大きく成長が見込まれる。

世界級の鉛亜鉛鉱床は 500~5,000 万トンの鉛と亜鉛金属を含む（鞠子, 2011）。例を挙げると、オーストラリアのブローケンヒル鉱床（SEDEX タイプ）は鉱量 280 百万トン、鉛品位 10%、亜鉛品位 8.5%と見積もられる。アメリカのレッドドッグ鉱床（SEDEX タイプ）は鉱量 165 百万トン、鉛品位 4.6%、亜鉛品位 16.6%である。カナダのハワードパス鉱床（SEDEX タイプ）の見積もりは鉱量 476 百万トン、鉛品位 2.0%、亜鉛品位 5.0%である。アイルランドのナバン鉱床（MVT タイプ）は鉱量 95.3 百万トン、鉛品位 2.1%、亜鉛品位 8.3%である。日本の神岡鉱床（スカルンタイプ）は 100 百万トン、鉛品位 0.8%、亜鉛品位 5.2%である。ブータンの鉛鉱床は例えばゲネハ鉱床の Romegang Ri で鉛品位 3.74%、Chakula で 1.03%と世界の鉱床と比べて低品位である。Romegang Ri で推定された鉱量 0.514 百万トンや Chakula の鉱量 3.116 百万トンは世界の鉱床に比べて小規模である。鉱山開発には既知鉱床周辺でのさらなる発見が待たれる。

ゲネハ鉱床は自然公園外の標高 3,475~3,675m の険しい高山に位置している。アクセスは比較的良く、プンツォリンーティンプーハイウェイから 17km である。電力は道路距離で 80km 離れたチェカ水力発電所を利用できるだろう。必要な設備はインドから高値で購入し、初期投資を最小化するため中古品も購入できるだろう。結果として施設建設は難しいだろう。未加工鉱石をインドやバングラデッシュの港を経由して直接世界市場に輸送するには高いコストがかかるので、輸出前に選鉱を行うことが望ましい。精鉱はインドへ輸出する。鉛は鉱量が多く世界需要も多いベースメタルの一つであるので、やや戦略的な鉱物資源と考えられる。

6.3.2. 亜鉛 (Zn)

亜鉛は鉄、アルミニウム、銅に次いで世界で 4 番目に幅広く消費される金属である。強力な防食特性を持ち、他の金属とよく接合する。結果として亜鉛生産量の約半分が亜鉛メッキに使用される。亜鉛は一般に、銅や鉛のような他のベースメタルと一緒に産する。ブータンの亜鉛鉱床は鉛鉱床で述べたように小さい。ブータンでの亜鉛鉱化作用は鉛鉱化作用に付随するので、鉱床をめぐる状況は鉛鉱床と同様である。亜鉛品位 4.46%（Romegang Ri）、亜鉛品位 6.33%（Chakula）のように、ブータンの鉱床は世界の鉱床に比べて低品位で鉱量が少ない。亜鉛は鉱量が豊富なベースメタルの一つで中程度の需要であることから鉱物資源としての戦略性は低いと考えられる。精鉱は世界の亜鉛生産国の一つであるインドに販売することになるだろう。

6.3.3. タングステン (W)

タングステンはおもにタングステンカーバイド（WC）として超硬合金、高速度鋼工具、電子機器、照明技術、電力工学、コーティングおよび接合技術、自動車、宇宙航空産業、医療技術、高温発熱装置、工作機械などで使用される。最大の消費国は中国で、アメリカ、EU 諸国、日本もまた主要な消費国である。世界的需要は依然増加していると推定される。

世界のタングステン鉱床は 705,000~1,000 トンの WO_3 を含む（石原, 2010）。例えば、北ベトナムのヌイパオ鉱床（スカルンタイプ）は鉱量 87.9 百万トン、 WO_3 品位 0.19%と推定される。西カナダのマクタン鉱床（スカルンタイプ）は鉱量 320 百万トン、 WO_3 品位 0.92%である。アメリカのパインクリーク鉱床（スカルンタイプ）は鉱量 13 百万トン、 WO_3 品位 0.6%である。ブルコラドルパニ鉱床は推定鉱量 0.349 トン、 WO_3 品位 0.25%（ドルパニ地域）、推定鉱量 3.29 百万トン、 WO_3 品位 0.22~0.26%（ブルコラ地域）である。世界のタングステン鉱床と比較すると

比較的小規模で低品位である。一般に、採掘可能なスカルン鉱床は WO_3 品位 0.3~1.5% で規模は数百から数百万トンの鉱量を持つ (Werner et al., 2014)。この鉱床にはタングステンだけではなくある程度の他のレアメタルを含むことから多元素分析を含む詳細調査が推奨される。

ブルコラードルパニ地域は標高 800~1,800m の比較的高く起伏のある丘陵に位置する。この地域は部分的にバイオロジカルコリドールに含まれる。ブルコラ鉱床はゲレフの約 15km 北西に位置し、舗装道路、車両通行可能な道路、登山道を通してアクセスする。結果として、現地に施設を建設することは難しいだろう。必要な設備はインドから素早く購入できる。設備はインドから高いコストで購入することもできるが、初期投資を最小化するために中古品を購入することもできる。鉱石を直接インドやバングラデッシュの港を通して世界市場に輸送することはコストが高いので、輸出前に選鉱を実施することが望ましい。さらに、タングステン鉱石を抽出して半製品としてタングステン酸溶液を得ることが望ましい。精鉱と半製品は主にインドに輸出されるだろう。タングステンの約 80% が中国で生産されているとはいえ、世界では鋼鉄製造の需要がある。タングステンは高い戦略性を持った鉱物である。

新しい化学分析値が示すところでは、タングステン鉱化作用は Bi, In, Cu, Mn, Zn, Ag, Sn を伴っている。既存の試錐データでは数種類の限られた化学分析値しかないので、多元素鉱化作用を評価するためには多元素化学分析が必要である。

6.3.4. 銅 (Cu)

銅の主な用途は建設分野（建築資材など）と機器製造（銅線など）である。過去数十年のうちに銅の世界的生産と消費は劇的に増加した。巨大な発展途上国が世界市場に加わったことによって銅を含む鉱物種の需要は増加した。世界の主要な銅鉱床は斑岩銅鉱床であり、銅生産量の 50~60% を占める。このタイプの銅鉱床は大規模（1,000 万トン~10 億トン）、低~中品位（0.2%~1%以上）で特徴づけられる。ゴンコラーノブジチュなどのブータンの銅鉱床は小規模で中品位である。ブータン国内の基礎的な広域地質調査によってさらなる鉱床の発見が期待される。

ゴンコラーノブジチュは 1,500~3,000m の険しい高山に位置し、ジグメ・シンゲ・ワンチュク国立公園内に位置する。アクセス手段はゲレフトンサハイウェイの Sureylekha から 56km の登山道（3 日間の登山）である。送電線は遠く簡単には接続できない。結果として鉱床周辺に施設を建設することは難しい。必要な設備はインドから高いコストで購入することもできるが、初期投資を最小化するために中古品を購入することもできる。鉱石を直接インドやバングラデッシュの港を通して世界市場に輸送することはコストが高いので、輸出前に選鉱を実施することが望ましい。精鉱はインドに販売することになるだろう。

銅は世界での高い需要と大規模な生産によって中程度の戦略的鉱物であると考えられる。

6.3.5. 金 (Au)

今日の世界の国々で金は金融取引の交換手段として用いられる。金融用途以外では宝飾品と関連製品、電気製品、電子製品、歯科、航空および宇宙航空産業、芸術、医療、化学分野で使用される。

ブータンの金鉱徴地で報告されている数 ppm の金は世界の鉱床と比べて採掘限界以下である。数十 ppm の金の鉱徴であれば世界クラスの金鉱床に匹敵するだろう。世界中の多くの経済的鉱

床は6トン以上の金と0.2~30g/tの金品位を持つ (Butterman and Amey, 2005)。ブータンには金鉱床に関する詳細な報告はない。そこで、金鉱床の発見のため、沢砂地化学探査のような基礎的な地質データと化学分析値の収集が推奨される。その後、発見された良い鉱徴地に対して詳細調査を実施する。

金鉱石の大部分は廃棄物になるので、鉱石をインドやほかの国に直接輸送することは経済的ではない。輸出前に選鉱することが望ましい。ゴンコラ地域での銅のように他の金属に付随する金鉱徴地が報告されているので、金は製錬や精錬過程で副生産物として回収できる可能性がある。宝飾品や投資財産としての需要の高さと貴重さから金は戦略性の高い鉱物資源である。

6.3.6. 希土類元素 (REE)

希土類元素やその合金は、コンピュータメモリやDVD、充電式電池、携帯電話、触媒コンバーター、磁石、蛍光灯などのような人々が日常で使用する多くの機器に使用されている。過去20年間でREEを必要とする多くの品目の需要が爆発的に増加してきた。多くの種類の充電式電池がREE化合物から作られている。充電式電池の需要は携帯電話、読み取り機、携帯用コンピュータ、カメラのような携帯型電子機器の需要にけん引されている。中国は世界最大のREE生産者であり、主要な消費者でもある。日本とアメリカは2番目と3番目のREEの大消費者である。自動車や家庭用電気製品、エネルギー効率の良い照明、触媒の世界需要は次の10年で急速に増加すると予想されている。充電式電池に対するREE磁石の需要も増加が見込まれる。近年、医療技術の発展により増加が見込まれている。REEはこれらの産業のすべてで頻繁に使用され、それらの需要は依然高いだろう。

世界で稼行している鉱床規模はおおよそ鉱量10~100百万トン、REE品位1~10%である (渡邊, 2010)。例を挙げると、中国のバヤンオボー鉱床 (熱水酸化鉄型) は鉱量80百万トン、品位6.0%である。インドのタミルナドゥ鉱床など (漂砂型) は7.99百万トンの鉱石と品位56%が見積もられている。南中国のイオン吸着型鉱床群は鉱量約180百万トン、品位0.05~0.2%である。中国のマオニューピン鉱床 (カーボナタイト型) は36.6百万トン、品位4.1%である。ロシアのロボゼロ鉱床 (アルカリ岩型) は鉱量16.7百万トン以上、品位0.6%と推定されている。マウレで報告されている品位は世界の鉱床の品位と比べ低く、価値の高いHREEではなくおもにLREEで構成される。十分な調査がされていないため鉱量は不明である。しかしながら、鉱床はシワリク層中の特定の層準に胚胎するので、十分な広がりが見込めるかもしれない。REE鉱床の推定には精密調査が期待される。

マウレREE鉱徴地は標高150mの低い丘陵に位置し、ピブソー鳥獣保護区内に位置する。アクセスは比較的良く、マウレREE鉱徴地は稼行中のマウレ鉄鉱山に賦存する。鉱山のインフラストラクチャーは整備済みで、加えて上流で新しい水力発電所の建設計画もある。インドやバングラデッシュの港を通じて直接世界の市場に原鉱を輸送することはコストが高いため、輸出前に選鉱することが望ましい。REE鉱石はインドに販売することになるだろう。REEの需要は元素ごとに異なるが、特にHREEで限定的な国での生産が、REEを高い戦略資源と考える理由になっている。

6.3.7. まとめ

(1) SWOT 分析

ブータンでの金属鉱物資源開発に資することを目的として、鉱物資源開発計画で対象とした鉱種を考慮して SWOT 分析を実施した。結果を表 6-2 に示す。

ブータンは大きな市場と安価な労働力を持つインドとの良い関係を利用しながら、中国、インド、東南アジアと競争していかなくてはならない。豊富な水資源／水力発電はブータンにとって有利な点である。地質・鉱物資源情報の取得と人材開発によりグリーンフィールドでの金属鉱物資源の開発が期待される。

表 6-2 SWOT 分析

<p>強み (Strength)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 公平で安定した汚職のない政府 ● 地域固有の快適な気候 ● 自由貿易協定によるインドやバングラデッシュ市場への比較的自由的なアクセス ● 東南アジアや中国の大市場に近い ● インドの安価な熟練労働力や単純労働者を利用 ● 安価で信頼できる電力と燃料 ● 鉱業、環境、投資の支援政策 ● 豊富な水資源供給 ● 勤勉で熱心なブータン人 ● インドルピーと等価な安定した通貨 ● GDP の発展 ● 無関税や経済でのインドとの良い関係 ● IT インフラの発展 ● 低インフレーション 	<p>弱み (Weakness)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 厳しい地形と利用可能な平地の少ない小さな内陸国 ● 企業家能力の欠如 ● 小さな国内市場 ● 地元の熟練した人材の不足 ● しばしばモンスーンや地滑りで寸断される限られた道路交通網 ● 世界市場への限定的な繋がり ● 工業組織の支援機構の欠如 ● 冬場の電力不足 ● 地質情報の乏しさ (1 : 50,000 地質図, 資源図) ● 空中磁気, ガンマ線量, 地質年代, 地球化学図の欠如 ● 地質データ管理政策, GIS データベースの欠如 ● 人口成長と企業成長によって妨げられる敏感な森林との生態バランス ● 開発実績なし ● 外国, 特にインドへの依存 ● 燃料の多くを輸入
<p>機会 (Opportunity)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 鉱山開発の余地 ● グリーンフィールドへの投資ポテンシャル ● 政府の積極的努力と支援 (five jewels の 1 つ) ● 金属価格の上昇 	<p>脅威 (Threat)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 強大な中国, インド, 東南アジアとの競争に直面 ● 中国との国境問題 ● 災害 (地震, 豪雨, 洪水, 氷河湖決壊洪水, 地滑り) ● 金属価格の暴落

(2) 保護区での開発

ゴンコラーノブジチュの銅鉱床やマウレ REE 鉱床、ブルコラードルパニのタングステン鉱床の一部のように環境保護区内に位置する鉱床がある（表 6-3 参照）。Forest and Nature Conservation Act (1995)は“禁止活動”と“制限活動”を課すことで保護区内での人間活動を規制している。制限活動は官庁から特別許可が発行された場合のみ実施が認められる。詳細は 5.4 章を参照。

NECS によると保護区内、特に multiple-use ゾーンや buffer ゾーンに有望な鉱山資源が発見された場合は、Environmental Assessment Act に従って EIA 手続きを実施する。仮に EIA 手続きが承認されると、地質図作成、サンプル採取、ピット調査、トレンチ調査、試錐調査を含む探鉱のような鉱山開発に必要な予備的活動が可能になる。しかしながら、環境保護区のコアゾーン内でのあらゆる開発行為は可搬型調査器具を使用した予備調査であっても厳しく禁止されている。

ブータンの現在の工業原料資源鉱山は南部地域に集中し、自然公園内には位置しない。もし、自然公園内で有望な鉱物資源が確認されれば、DGM は NECS と議論しコアゾーン以外での開発を目指して EIA 手続きを開始する。場合によっては保護区の再配置が可能かもしれない。

表 6-3 環境保護区内で確認された鉱化作用

Area/ District	Protected area	Agency	Period	Commo dity	Contents	Outlines of result
Burkhola -Dolpani / Sarpang	Biological Corridor	GSI	1978- 1984	W (Au)	<ul style="list-style-type: none"> Geological mapping Trenching groove sampling Drilling (44 boreholes) Bench scale beneficiation 	<ul style="list-style-type: none"> 0.25% and 0.22% of average W. Estimated ores are 0.349 and 3.29 million tons. 0.10-3.99 ppm of golds are reported at Gurungkhola.
Gongkhola -Nobji Chu / Trongsa, Sarpang	Jigme Singye Wangchuck National Park	GSI	1976- 1992	Cu, Au (Fe)	<ul style="list-style-type: none"> Systematic mapping Drilling (104 boreholes) 	<ul style="list-style-type: none"> Estimated ore is 2.5 million tones with 1.50% of averager Cu. GSI reported Au content 0.20 - 1.20 ppm in the Eastern Block.
Kuri Chu / Lhuntse	Wangchuck Centennial Park	GSI, DGM	1960- 1965, 1989- 1990	Au	<ul style="list-style-type: none"> Stream sediment sampling - panning. Upstream sediment sampling 	<ul style="list-style-type: none"> 0.001-0.25 g/1,524 kg (0.764 m³) of gold from sand. 0.0001-0.0034g/70kg of gold are recovered from 25 samples.
Maure / Dagana	Phipsoo Wildlife Sanctuary	GSI	1992- 1993	REE	<ul style="list-style-type: none"> Geologically mapped Channel sampling; 	<ul style="list-style-type: none"> 2,677.5-10,289.5 ppm of total REE.
Pinsa / Wangdue Phodrang	Jigme Singye Wangchuck National Park	GSI	1994- 1996	W	<ul style="list-style-type: none"> Geological mapping Groove sampling 2 test drillings 	<ul style="list-style-type: none"> Scheelite occurs as disseminations, stringers, concentrations and as lump in vein.
Geonshari / Punakha	Jigme Dorji National Park	?	1990	W	<ul style="list-style-type: none"> Preliminary surface investigation 	<ul style="list-style-type: none"> ?

Tsachhu, Jarangchu / Punakha	Jigme Dorji National Park	GSI	1992- 1993	W	• Preliminary surface investigation	• Scheelite mineralization in carbonate bands, basic rock/calc-silicate skarn.
Lagor / Lhuntse	Wangchuck Centennial Park	DGM	1990	Fe	• Preliminary surface investigation	• Hematite is observed only in boulders.
Legchugang / Sarpang	Biological Corridor	GSI	1983	Cu	• ?	• 4 gossanized zones are found.
Ritang / Wangdue Phodrang	Biological Corridor	?	1990	W	• ?	• 2 sample are analyzed.

(3) 優先度と提言

1970年代にいくつかの鉱床では資源量の推定が実施されたが、多くの鉱徴地ではいまだ資源賦存状況が明らかにされていない。既存の地質データは、詳細な地質図、分析値の正確性、鉱床モデル等の点で不十分である。これらの基礎的データの不足は新規鉱山開発に対する地質的、経済的調査が実施されない原因となっている。鉱山開発を促進するためには、基礎的地質情報の収集が必要である。十分な地質情報が揃うことによって段階的に試錐調査やフィジビリティスタディのようなさらなる探鉱可能となる。

6 鉱種の鉱物資源開発優先度を表 6-4 に示す。優先度は 1 (良い) から 3 (悪い) の 3 段階で示す。6 鉱種の中では W と REE の優先度が高くなった。Pb-Zn は中程度で、Cu と Au は優先度が低い。おおむね、ブータン南部の W 鉱床と REE 鉱床はインドに近く、輸送と人的資源の点でアクセスが良い。加えて W と REE は世界中での偏在性と需要の増加によって高い戦略性をもつ鉱物資源である。Pb-Zn 鉱床はハイウェイでつながるブータン南部と西部に位置している。広い分布と需要の増加から、Pb-Zn も戦略性はあるが W や REE より戦略性が低い。Cu 鉱床や Au 鉱床はブータン中部に位置し、国内および海外とのアクセスが悪い。広い分布と需要の増加から、Cu や Au もまた戦略性が高いが、W や REE より低い。W や REE はほかの金属鉱物よりも鉱山開発をしやすいと考えられる。特に、REE 鉱床が賦存するマウレ鉄鉱山はすでに稼行しているので、REE 鉱山開発を少ない初期投資で始められるであろう。非常に限られた初期情報では REE 品位と HREE の割合はそれほど高くないので、既知のマウレ REE 鉱床は有望とは言えない。しかし、REE の本格的な探査を行うことで、各種情報が増えて鉱床の全容が明らかとなり、開発に向けた動きが活発になる可能性がある。REE 鉱床の開発可能性を判断するためには、鉱量の分布、品位の分布、岩石学的・鉱物学的調査、選鉱試験などが必要である。もし、これらの評価結果が良ければ、経済的視点から実現可能性の調査を実施することになる。

ブータンでは、地質調査や金属鉱物資源探査が実施されていない地域が多いことから、未知の鉱床が存在する可能性は完全には否定できない。全土を網羅する詳細地質図の作成が期待される。

表 6-4 鉱物資源開発の優先順位

	Pb	Zn	W	Cu (Au)	Au	REE
代表的鉱徴地	ゲネハ	Pb に同じ	ブルコラード ルパニ	ゴンコラーノ ブジチュ	グルンコラ	マウレ
他の鉱徴地	パロ層, レッ サーヒマラヤ 帯の結晶質石 灰岩	Pb に同じ	花崗岩に関連 する地域	サムチェ県の レッサーヒマ ラヤ帯	クリチュの漂 砂鉱床や緑泥 石千枚岩	
鉱床タイプ	スカルン	スカルン	スカルン	スカルン	?	堆積性
鉱量 (資源量)	3.63Mt	Pb に同じ	0.349Mt (ドルパニ) 3.29Mt (ブルコラ)	2.5Mt	?	?
	3	3	2-3	3	3	2
品位	Pb 1.41%	Zn 6.06%	WO ₃ 0.25% (ドルパ ニ) 0.22-0.26% (ブ ルコラ)	Cu 1.50% Au 0.2-1.2g/t	Au 0.10-3.99ppm	REE 2677.5- 10289.5ppm
	3	3	3	2	3	3
地形	山地 (標高 3,475-3,675m)	Pb に同じ	丘陵 (標高 800-1,800m)	山地 (標高 1,500- 3,000m)	丘陵 (標高 800-1,800m)	山麓丘陵 (標高 150m)
	3	3	3	3	3	1
自然公園	なし	Pb に同じ	部分的にバイ オロジカルコ リドール内	ジグメ・シン ゲ・ワンチュ ク国立公園内	部分的にバイ オロジカルコ リドール内	ピブソー鳥獣 保護区
	1	1	2	3	2	3
アクセス 性	△ プンツォリン ーティンプー ハイウェイか ら 17km	Pb に同じ	× 車両通行可能 な道路から 9km	× ハイウェイ上 の Sureylekha から 56Km	× 車両通行可能 な道路から 9km	○ 鉄鉱山として 開発済み
	3	3	3	3	3	1
電力	チェカ水力発 電所	Pb に同じ	ゲレフーサル パン送電線	電線から遠い	ゲレフーサル パン送電線	村に近い, 新 しい発電所の 計画がある
	3	3	2	3	2	1
市場	インド	インド	インド	インド, アジ ア	アジア	インド
	1	1	1	1	1	1
製品	精鉱	精鉱	精鉱, 半製品	精鉱	精鉱	精鉱
価格	\$2,000/t	\$2,000-2,500/t	\$200-300/10kg (WO ₃)	\$6,000/t	\$1,000- 1,500/oz	\$50/kg (Nd)
主な利用 分野	充電式電池	亜鉛めっき	超硬合金	電線	宝飾品関連, 金融投資	電子機器

国内需要	低	低	低	低	低	低
アジア	高	中	高	高	高	元素ごとに異なる
世界	高	中	高	高	高	元素ごとに異なる
戦略鉱物	中	低	高	中	高	高
最終評価	2	3	1	2	2	1

6.4. 工業原料資源の開発計画

金属と石油は主に国際取引所を通じて販売される。一方で、工業用の鉱物と岩石の生産者は、顧客と契約を結び関係を築くために業者間で直接的に競争する必要がある。工業用の鉱物と岩石の価格は、一般に、リサイクル性の高い金属と石油の価格よりも高い安定性を示す。工業用原料資源の価値が比較的安く、その結果として輸送コストを低くするため、「市場に近い」鉱床が要求される。世界の人口の増加と発展途上国の生活水準の向上が原料資源の需要を押し上げる。中国、そしてインド、ロシア、極東で上昇する成長率が市場を牽引している。

石灰石とドロマイトは、大量で低価格の鉱種である。工業用鉱物産業の分野は非常に競争が激しく、多くの企業が地元および地域の市場に製品を提供することが特徴である。したがって、競争の激しい環境は、あらゆる石材企業において生産コストの管理が決定的な要素であることを示す。(Industrial Minerals & Rocks, 2006)

世界的には、セメントおよび焼き石膏などの関連製品の需要は増加傾向にある。効率的な採掘技術と経済的な運搬システム、そして安価で利用できる労働力は、業界の利益率に大きく貢献している。インドではセメントの需要が非常に高いが、上記要因によりブータンは競争力を持っていない。直面している最大の問題は、原材料が輸送のリスクとコストを伴うことである。これは、輸送コストのために工業用原料の市場がインド、バングラデシュ、ネパールなどの近隣諸国に限定されていることを意味する。

生産量統計(表 3-1)と輸出データ(表 3-2)に基づいて、本 MRDP では、ドロマイト、大理石、石膏、石灰石、珪石、滑石およびグラファイトが選択され、本章で説明される。

ドロマイト、大理石、石膏は、主にインドとバングラデシュに輸出されている。石灰石と珪石は主に国内で消費されている。基本的に、これらの工業用原料資源の生産性と成長は、上向きで増加傾向にある。

6.4.1. ドロマイト

ドロマイトの生産は近年増加しており、そのほとんどがインドに輸出されている。ドロマイトは、鉱業セクターで最も重要な鉱種である。ドロマイトの地質的資源は非常に大きく、ドロマイト鉱床はブータン南部に分布し、インドへの輸送に有利である。ドロマイトのほぼ全量が原料として輸出されている。ドロマイトをマグネシウム塩や関連化合物に加工することで付加価値をつけることができる。

マグネシウム塩は硫酸マグネシウム (MgSO_4) であり、家庭用化学薬品としてのバスソルト、農業における土壌、医薬品、化粧品、食品添加物などのマグネシウム源として使用される。硫酸マグネシウムは炭酸マグネシウムと硫酸の反応により製造される。



ドロマイト粉末の市場動向に従って、市場は用途に基づき、製鋼、セメント産業、農業、ガラス、セラミック、ゴム、その他に分類される。これらの用途の中で、製鋼の分野では短期将来

的に取引量は優勢を保つと予想される。製鋼用途では、ドロマイト粉末は主に鋼および鉄合金の製造中にスラグフラックスとして使用される。自動車や建設などの産業での鋼の使用の増加は、ドロマイト粉末の需要の増加につながる。ドロマイト粉末は、高い表面硬度や密度比などの特性により、セメント産業で高い需要がある。ドロマイト粉末は、セメントやコンクリート製造の充填材として使用される。また、そのマグネシウム含有量のために、土壌の pH 制御、肥料、飼料の製造などの用途で農業産業でも使用されている。農業用途でのドロマイト粉末の需要の増加は、ドロマイト市場の成長をさらに後押しする。セラミックとガラス分野の成長は、高屈折光学ガラスおよび食器用陶器の釉薬の製造によるドロマイト粉末の需要の増加と関連している。ゴムおよび他の用途の分野では、短期将来的に成長は低迷すると予測される。ドロマイトの需要増加は、塗料およびコーティング、ワニス、水処理、鉱業用途におけるドロマイト粉末の使用量の増加に起因する可能性がある。(Fortune Business Insights より)

以下の要因の状況に基づいて、継続的な生産と新しい鉱床の開発を促進する必要がある。

- 資源量：南部で豊富
- 市場：インド、近くて大きい
- 需要：豊富
- コスト：一般的に低い
- 輸送：鉱床の賦存場所が良い
- 付加価値製品：開発が必要（例えば、マグネシウム塩）
- 探鉱：資源量推定に関する詳細な探鉱が必要
- 設備投資：需要に応ずる
- 労働安全衛生：強化が必要

6.4.2. 大理石

大理石の生産は最近増加しており、大理石はブータンで 4 番目に生産量の多い鉱種である。ただし、大理石の生産量は 2 番目に多い石灰石の 7 分の 1 でしかない。大理石は岩片や粉の原材料として主にバングラデシュに輸出されている。一方、大理石の装飾用の板・厚板はインドから輸入されている。大理石鉱山は起伏の激しい地形を呈するブータンの中央西部に位置する。

大理石産業は、製品、最終用途、供給者の点から非常に細分化されているが、その市場は建設と装飾、彫像と記念碑、家具とその他に大きく分類できる。2016 年までは、EU 全体が大理石の主要な生産国および輸出国であったが、新興国、特に中国、パキスタン、インドにおける市場の著しい成長は、アジアが生産および輸出地域として優勢になっていることを意味する。2016 年、世界の大理石の生産量は 8 億 1,600 万立方メートルに達した。天然大理石の生産量の上位 10 か国は、中国、インド、イラン、トルコ、イタリア、スペイン、ブラジル、エジプト、ポルトガル、ギリシャである。2017 年、トルコ、中国、イタリア、ギリシャおよびスペインは、世界のほぼ 78%にあたる金額と量の大理石（大理石ブロックと大理石完成品の合計）を輸出した。

大理石産業は、大規模な多国籍企業から小規模な民間企業までの多様な製造業者からなる非常に細分化された産業である。大理石生産者の業績における要の変数は、原材料費である。世界の大理石の資源量は十分であるが、特定の種類の石がないことで資源が地域レベルまたは地方レ

ベルに制限される可能性がある。大理石の最大消費地域はヨーロッパで、2016年の世界の大理石消費の29.05%を占めている。米国、インドおよび中国での大理石の消費も相当である。世界の大理石の需要は、2106年から2023年までの収益の点で平均3.0%の成長率で発展すると推定されている。(MarketWatch(2019)より)

以下の要因の状況に基づいて、継続的な生産および新しい鉱床の探査と開発を促進する必要がある。

- 資源量：地質分布としては豊富と想定される
- 市場：バングラデシュ、近くで中規模
- 需要：高い
- コスト：中程度
- 輸送：鉱床の賦存場所は良くない
- 付加価値製品：不要（現在、すでに粉末製品である）
- 探鉱：広域的から詳細な探鉱が必要
- 設備投資：必要（需要に応ずる）
- 労働安全衛生：強化が必要

6.4.3. 石膏

石膏の生産量は2016年から2018年まで常に増加している。石膏はブータンで3番目に生産量の多い鉱種であり、主にバングラデシュに輸出されている。バングラデシュでは、ブータンから輸入された石膏が主にセメント製造会社で使用されている。

石膏は、肥料として、また漆喰、黒板チョーク、乾式壁などの多種製品の主要成分として使用される。アラバスターは古代から多くの文化で彫刻に使用されてきた。図6-7に示すように、中国は突出した世界最大の石膏生産国である。

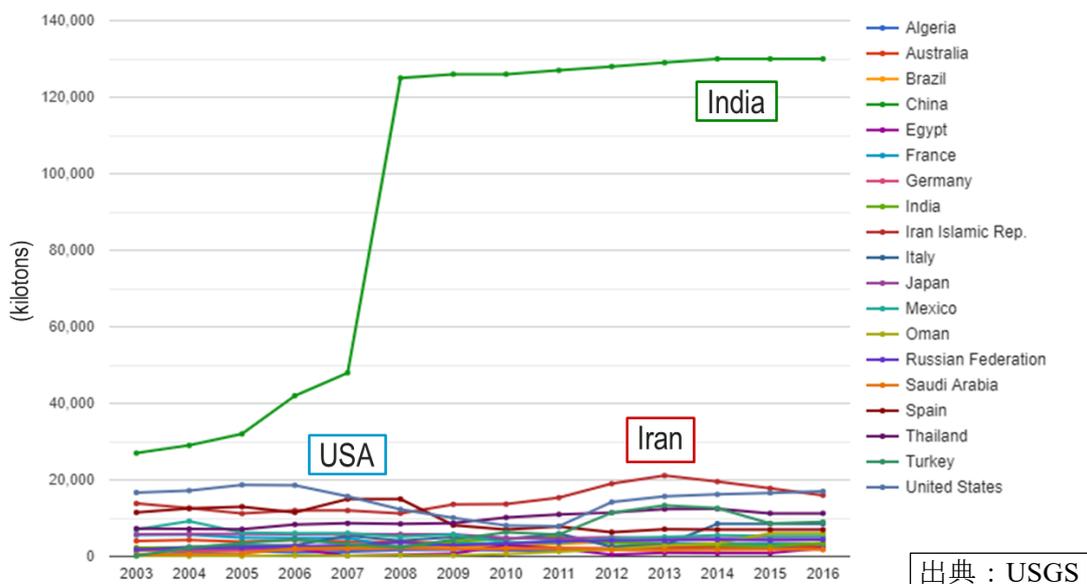


図 6-7 国別の石膏生産量

石膏鉱床の経済的価値は、地質、採掘、土木工事、およびその他の要因に依存する。石膏は、単位量の価値が低く、場所の価値が高い工業用鉱物であり、その最終的な価値は付加価値加工に基づく。

- 低価値：ポルトランドセメント用の粉体石膏および農業用石膏
壁板および建築用の焼成石膏
- 高価値：歯科専用、整形外科および工業用の石膏
食物および薬品用品質の石膏（テラアルバ）
工業用石膏セメント

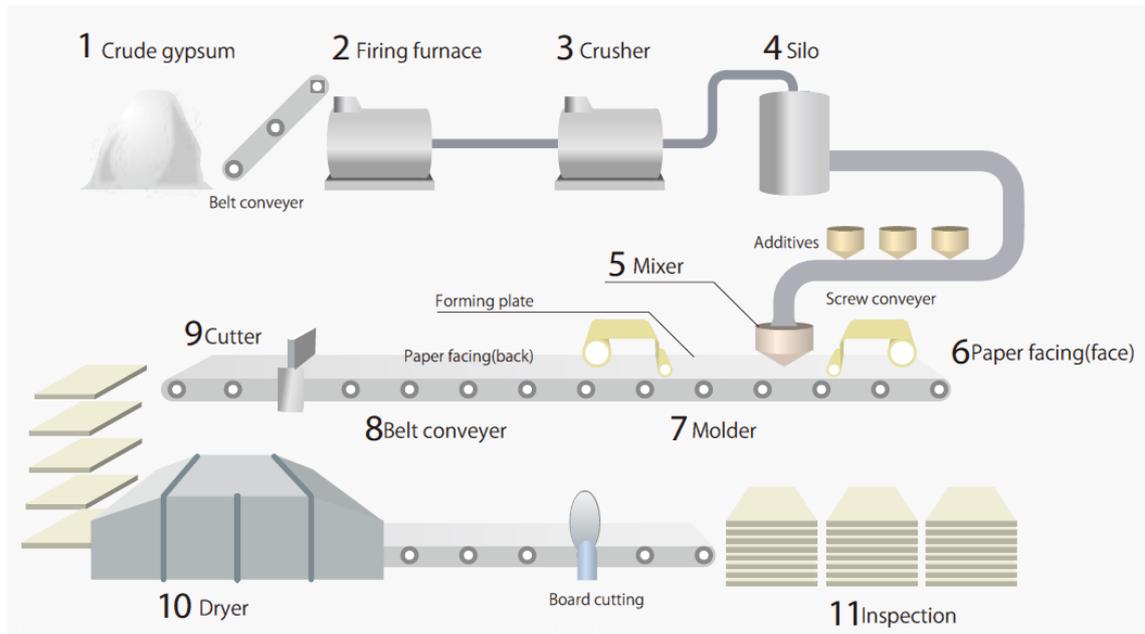
石膏業界の経済状況を予測するために使用される鍵となる指標は建設業界である。建設業界が広大な市場である場合、石膏ベースの製品の需要はそれに応じて増加する。特定の地域では、他の形態の建築材料に比べて石膏ボードで使用されている石膏の比率において興味深い動的な変化が見られる。例としては、ロシアでは 2017 年までは石膏ボードが最も多くの石膏を消費していた。しかし、それ以降は逆転して、ドライミックスとブロックの石膏が石膏ボードよりも多くを消費している。

開発途上国での石膏ボードの用途は確実に勢いを増している。従来、湿式商品（石膏、セメント）と技術を使用していた国々は、石膏ボードの建設にますます移行している。新製品がある地域に導入されると、通常、現地生産を支援するサプライチェーンが初期段階では存在しないため、新製品は別の場所で製造され、新市場に輸入される。その製品利用が確立されるにつれて需要も増えて、これが現地生産開始の原動力となる。2018 年から 2023 年までの年間成長率は 4.0%と予想される。（Smithers, 2020 より）

石膏ボードの需要はブータンだけではなく、近隣諸国でも増加するであろう。石膏ボードはリサイクル可能であることは有利点かもしれない。図 6-8 に石膏ボードの製造フローを示す。

以下の要因の状況に基づいて、継続的な生産および新しい鉱床の探査と開発を促進する必要がある。

- 資源量：限られた地域内で地質分布としては豊富と想定される
- 市場：インド、ネパール、バングラデシュ、近くで中規模
- 需要：高い
- コスト：中程度
- 輸送：鉱床の賦存場所は良くない
- 付加価値製品：現在の粉末製品としては不要、需要に応じた加工製品としては必要
- 探鉱：広域的から詳細な探鉱が必要
- 設備投資：必要（石膏ボードや焼き石膏などの需要に応ずる）
- 労働安全衛生：強化が必要



- 1 Crude Gypsum : Crude Gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- 2 Firing furnace : Calcine crude gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} + 3/2\text{H}_2\text{O}$)
- 3 Crusher : Crush to adjust the grain size of calcined gypsum
- 4 Silo : Store calcined and pulverized gypsum
- * Additives (Additive necessary for board formation)
- 5 Mixer : Mix gypsum and admixture with water to form slurry ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} + 3/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 6 Paper facing : Face and back paper facings
- 7 Molder : Slurry is sandwiched between the face and back paper and molded into the predetermined shape
- 8 Belt conveyer : Gypsum of the molded board hardens while on the conveyer belt
- 9 Cutter : Wait to harden and cut to the predetermined size
- 10 Dryer : Remove excess moisture from the board
- * Board cutting (Cut to the specified size)
- 11 Inspection and Stock

図 6-8 石膏ボードの製造フロー

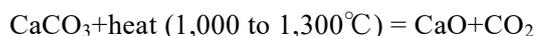
6.4.4. 石灰石

石灰石は、ブータンで 2 番目に生産量の多い工業原材料の鉱種である。石灰石は主に建設資材や合金産業のために国内で消費されている。石灰石鉱山は、ブータンの南部と中央西部に位置している。

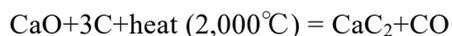
石灰石（炭酸カルシウム； CaCO_3 ）は、石灰・生石灰（酸化カルシウム； CaO ）、消石灰（水酸化カルシウム； Ca(OH)_2 ）および炭化カルシウム（ CaC_2 ）に加工することにより付加価値を加えることができる。製品価格は高い方から消石灰，石灰，石灰石の順である。

さまざまな形態の石灰が、環境，冶金，建設，化学／工業などの用途で使用されている。石灰の使用が最も急速に増加しているのは、環境用途である。

生石灰（酸化カルシウム）は、高カルシウムまたはマグネシウム石灰石とドロマイトから作られ、97%以上の総炭酸塩組成を有する。酸化カルシウムは通常、石灰焼き炉で石灰石を熱分解して作られる。



炭化カルシウムは、石灰とコークスの混合物から電気アーク炉で工業的に生産される。製造されたカーバイド製品は一般に、重量で約80%の炭化カルシウムを含んでいる。



ブータンの競争力のある安価な水力発電は、生石灰と炭化カルシウムの生産において経済的に有利である。

石灰石産業は、採掘または採石で破碎された石灰石を製造、生産する企業で構成される。石灰石は、世界で最も用途の広い鉱物とされ、さまざまな産業の重要な原材料である。

石灰石は、1970年代以降、比較的安定した価格を呈する大量で低価格の鉱種と見なされている。最近の石灰石市場の回復は、世界中の政府によって実施および強行された経済刺激策、製造活動の改善、インフラ投資の回復などの要因によって引き起こされた。中国やインドなどの開発途上国における建設セクターの現在の高い成長は、先進国市場の横ばいの成長を相殺して、石灰石の需要を先導すると期待される。石灰石市場の成長は建設産業、鉄鋼生産およびセメント製造と強く結びついており、世界的な景気後退は国際市場での石灰石販売を大きく弱めることはなかった。中国は世界で最大の石灰石の生産国である。セメントの生産におけるのと同様に、数多くの高価値の日用品の生産に使用されるいくつかの化学物質における石灰石の高い使用は、将来の市場成長のための重要な機会を提供すると予想される。浄水、土壌安定化、施肥などの環境緩和処理における主要な原料としての石灰石の使用も、市場の需要を支持することが期待されている。

(Market Research Reports, 2020 より)

図 6-9 と図 6-10 に示されているように、中国は石灰の卓越した生産国であり、アメリカが 2 番目で、インドが 3 番目である。インドは 2019~2020 年に主にマレーシア、ベトナム、オマーン、UAE およびタイから 38.3 億ルピーの生石灰を輸入した。したがって、インドはそのような付加価値製品をブータンから輸入する可能性がある。ブータンが定常的にかつ安価に多量の石灰を生産・供給することができれば、インドはブータンからより多くの石灰を輸入するであろう。このことは、ブータンの石灰石鉱山における資源量、製造能力およびコストにかかっている。ALC および AAC（軽量気泡コンクリート）を製造するためには、石灰、珪石、セメントおよびアルミニウム粉末が使用される。軽量気泡コンクリートの製造には多くの工程と大きな工場が必要である。

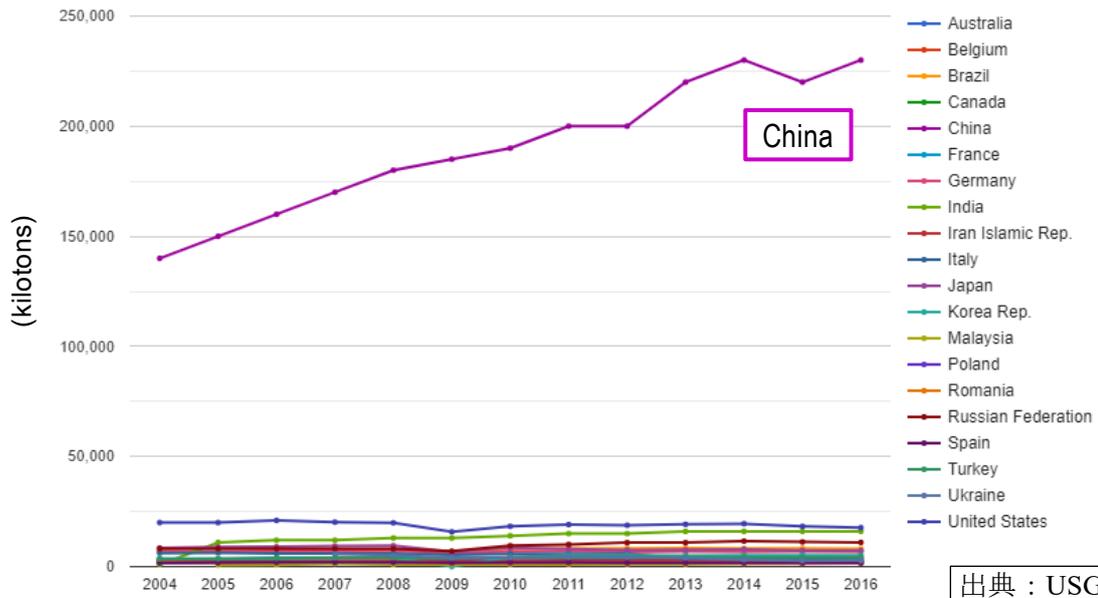


図 6-9 国別の石灰生産量

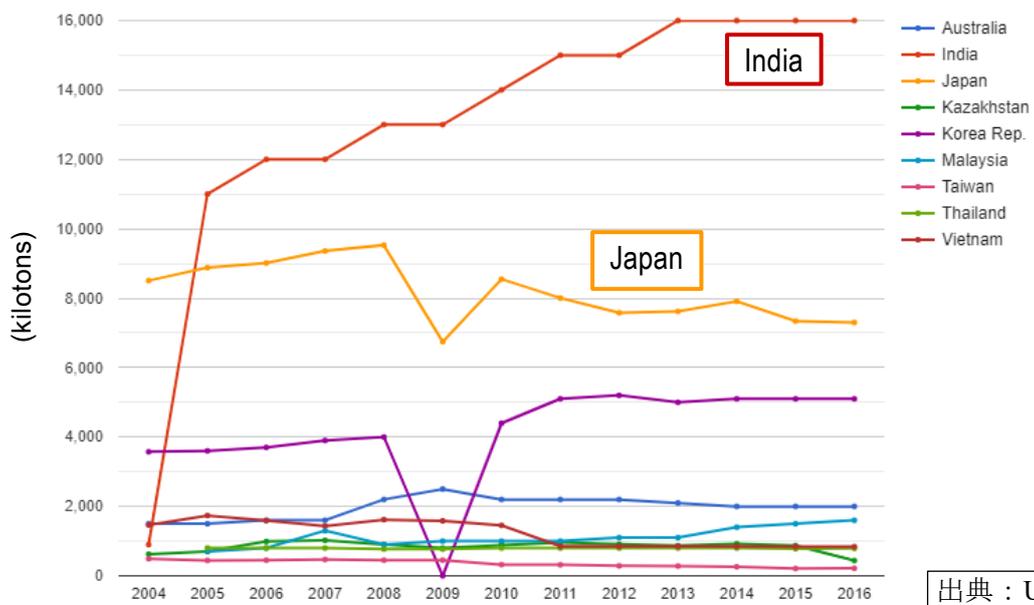


図 6-10 中国を除くアジア国別の石灰生産量

以下の要因の状況に基づいて、継続的な生産および新しい鉱床の探査と開発を促進する必要がある。国内で消費される製品およびバングラデシュに輸出される製品に付加価値を加えることも必要であろう。

- 資源量：地質分布としては豊富
- 市場：原材料としては国内、付加価値製品としてはバングラデシュ
- 需要：中程度
- コスト：国内消費としては中程度
- 輸送：悪くはないが、市場と鉱山の位置関係による

- 付加価値製品：必要（インド、バングラデシュ、ネパールへの輸出品：石灰、消石灰および鉄産業用の炭化カルシウム）
- 探鉱：広域的から詳細な探鉱が必要
- 設備投資：必要（需要に応ずる）
- 労働安全衛生：強化が必要

6.4.5. 珪石

珪石は建設資材とシリコン産業のために主に国内で消費されている。高品位の珪石は、ブータン南部の Shumar 層内に帯状に分布している。すべてのフェロシリコン工場は、これらの珪石帯内の鉱床に関連している。

石英は、ブータンで 6 番目に生産量の多い工業原材料の鉱種である。しかし、珪石から作られるシリコン製品は、輸出品の金額では第 1 位、42%のシェアを持つ。したがって、珪石は鉱業セクターでも重要な鉱種である。珪石の地質的資源量は豊富である。

フェロシリコンの製造工程は、2,000°Cの電気アーク炉で、シリカと酸化鉄を炭素で炭素熱還元する。主な反応物質は、石英、ヘマタイト、コークス・石炭を含む。

最も一般的なフェロシリコン合金相は、Fe₃Si (Suessite または Gupeite), Fe₅Si₃ (Xifengite), FeSi₂ (Ferdasilite), FeSi (Fersilite) である。フェロシリコンの生産では、還元プロセスの吸熱性により、フェロシリコン 1 トンあたり最大 10.5 MWh の電気エネルギーが使用される。

ブータンの競争力のある安価な水力発電は、フェロシリコンの生産において経済的に有利である。

図 6-11 と図 6-12 に示されているように、中国はフェロシリコンの卓越した生産国であり、南アフリカが 2 番目で、インドが 3 番目である。

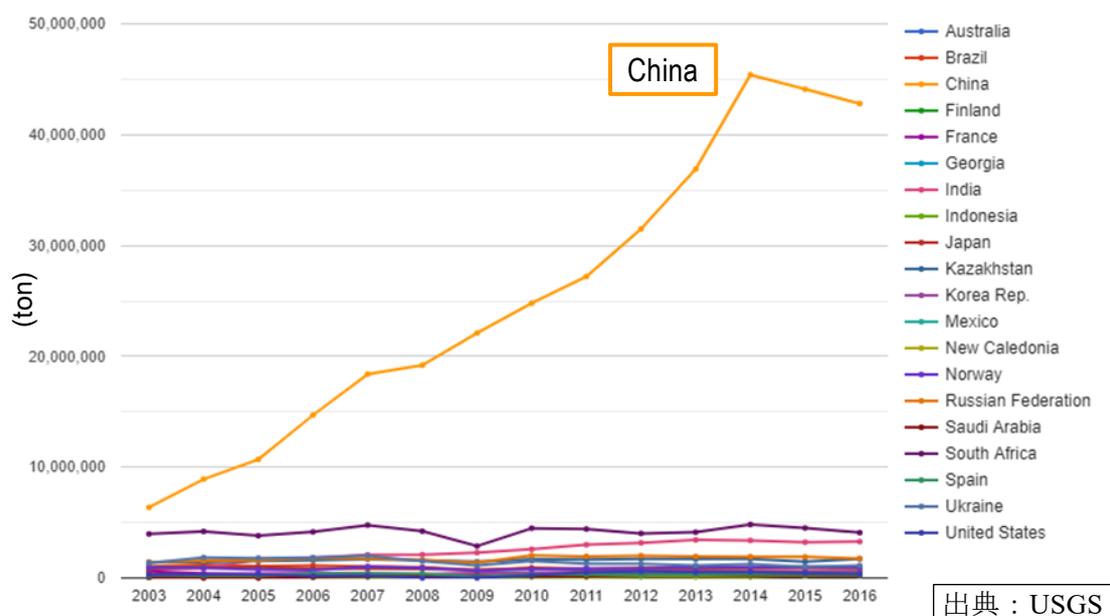


図 6-11 国別のフェロシリコン生産量

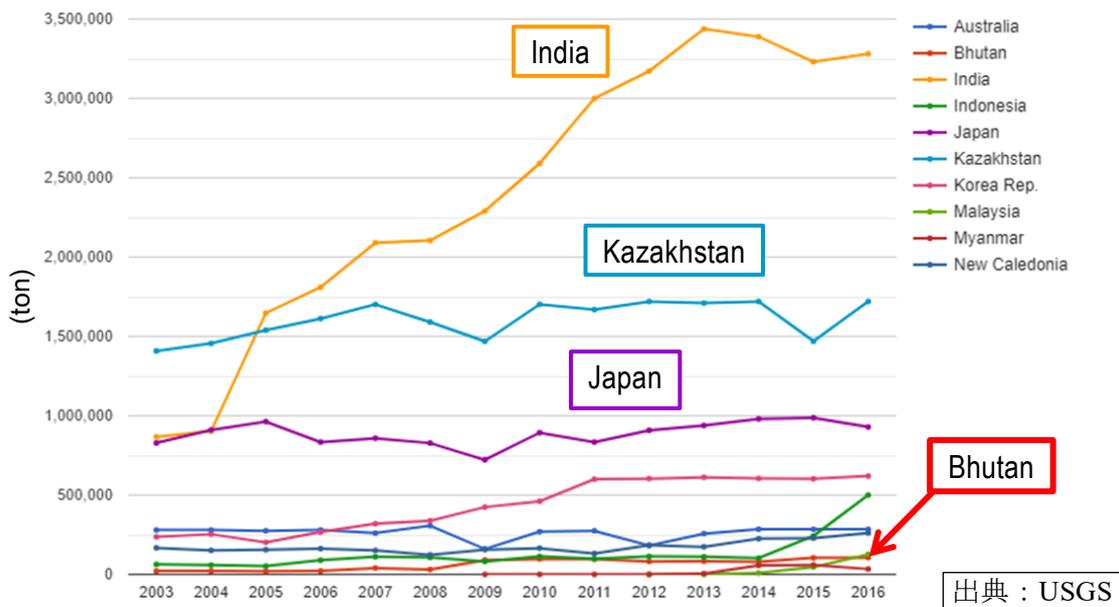


図 6-12 中国を除くアジア国別のフェロシリコン生産量

以下の要因の状況に基づいて、継続的な生産および新しい高品位・品質の鉱床の探査と開発を促進する必要がある。

- 資源量：地質分布としては豊富
- 市場：建設原材料およびシリコン産業として国内
- 需要：中程度
- コスト：国内消費としては中程度
- 輸送：悪くはない
- 付加価値製品：必要（高品質の製品）
- 探鉱：高品位の資源の探鉱が必要
- 設備投資：必要（需要に応ずる）
- 労働安全衛生：強化が必要

6.4.6. 滑石

滑石には多種類の用途がある。滑石粉末の品質は、粒子の大きさ、比重、化学組成、比表面積などで決まる。

滑石は粉砕されてインドに輸出されている。ブータンの滑石鉱床はドロマイト質岩に関連しているため、滑石の資源は確認されているよりも多いと予想される。ブータンの滑石製造者は、市場と需要に応じて粉末を製造する必要がある。

滑石鉱床は、超苦鉄質岩、苦鉄質岩、変堆積岩および変成岩の 4 種類の起源に分類される。後者の 2 つは、ブータンで想定される鉱化作用タイプである。

(i) 超苦鉄質岩起源（例、かんらん岩）

超苦鉄質岩の蛇紋岩化 → 蛇紋岩の炭酸塩化

(ii) 苦鉄質岩起源 (例, 斑れい岩)

苦鉄質岩の蛇紋岩化 → 蛇紋岩の炭酸塩化

(iii) 変堆積岩起源 (ドロマイトまたはマグネサイト)

母岩の熱水変質

(iv) 変成岩起源 (ドロマイト質またはシリカ含有ドロマイト質の大理石)

角閃石を形成する母岩の変成 → 角閃石の滑石炭酸塩化/ステアタイト化

滑石は、ドロマイトとシリカの反応によっても形成される。この典型は、接触変成帯での過剰シリカによるドロマイトのスカルン化 (以下の反応式) である。



図 6-13 に示されているように、中国は卓越した滑石の生産国であり、ブラジルが 2 番目で、メキシコ 3 番目である。2016 年にブータンでは約 6,000 トンの滑石が生産された。この生産量は世界で 20 番目である (USGS, 2016)。

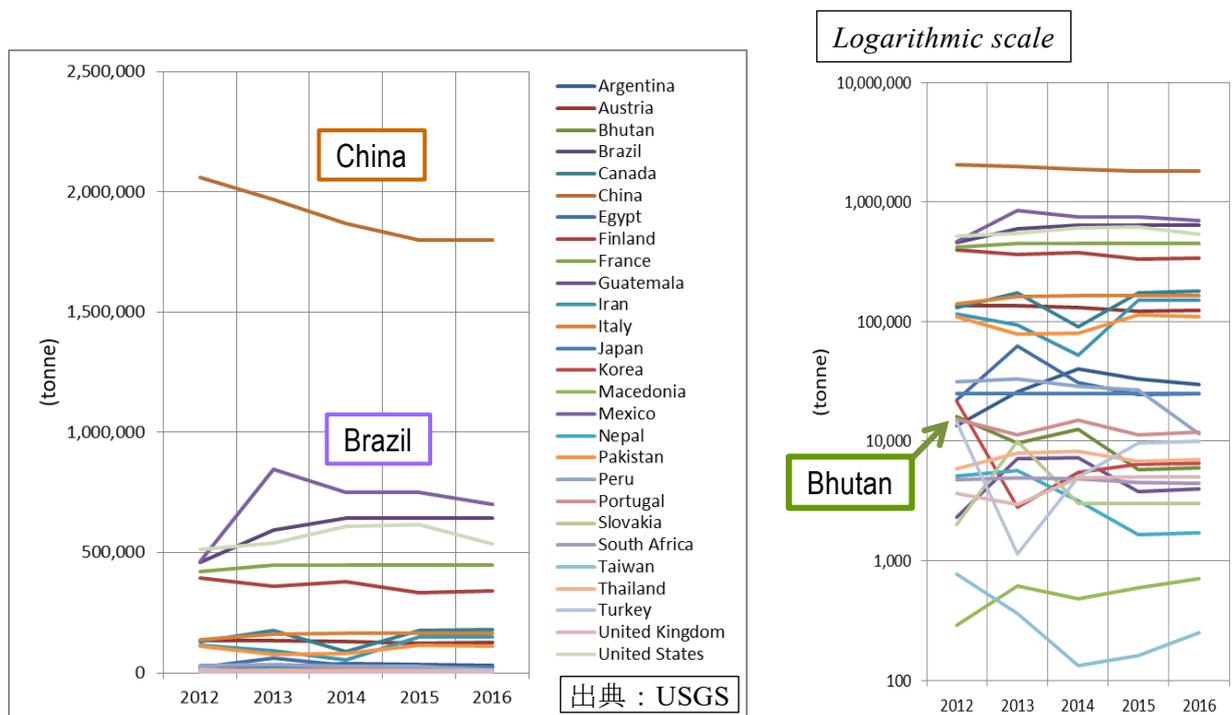


図 6-13 国別の滑石生産量

以下の要因の状況に基づいて、継続的な生産および新しい鉱床の探査と開発を促進する必要がある。

➤ 資源量：不明、既存データではあまり大きくない

- 市場：インド，近くて大きい
- 需要：中程度
- コスト：中程度から低い
- 輸送：良くはない
- 付加価値製品：必要
- 探鉱：必要
- 設備投資：必要
- 労働安全衛生：強化が必要

6.4.7. グラファイト

ブータンではグラファイトは生産されたことはないが，グラファイト資源は GSI の調査で確認されている（2.5.7 章を参照）。グラファイトはリチウムイオン二次電池の電極に使用されている。グラファイト製のグラフェン電池は次世代電池と言われている。したがって，グラファイトの世界的な需要が増加することにより，ブータンのグラファイト資源が重要になる可能性がある。

グラファイトの経済的な鉱床には，5つの主要な地質タイプがある。

- (i) 変成したシリカに富む堆積岩中に散在するフレーク（鱗状）グラファイト
- (ii) 大理石中に散在するフレークグラファイト
- (iii) 石炭または炭素に富む堆積岩の変成作用により形成されたアモルファス（土状）鉱床
- (iv) 母岩中の割れ目や空洞を埋める脈
- (v) 変成した石灰質の堆積岩中の交代作用または熱水作用による鉱床

グラファイトは世界中に広く分布しているが，多くの場合，経済的な重要性はほとんどない。より重要な鉱床は，交代熱水性鉱床，および広域または接触変成作用を受けた堆積岩に産する。フレークと結晶性グラファイトの世界の鉱床の多くは，先カンブリア時代の変成岩に産する。大理石，片麻岩および片岩は，フレークグラファイトの経済的な鉱床が産する最も一般的な岩石種類である。

天然グラファイトは，主に耐火物，電池，製鋼，膨張グラファイト，ブレーキライニング，鋳物用外装材，潤滑剤，鉛筆に使用される。

図 6-14 に示されているように，中国は突出した世界最大のグラファイトの生産国である。最新の情報によると，モザンビークが2番目，マダガスカルが4番目で，インドは6番目である。インドはこれらの国々からグラファイトを輸入しており，ブータンがグラファイトを生産することになれば品質次第でインドに輸出することになると考えられる。

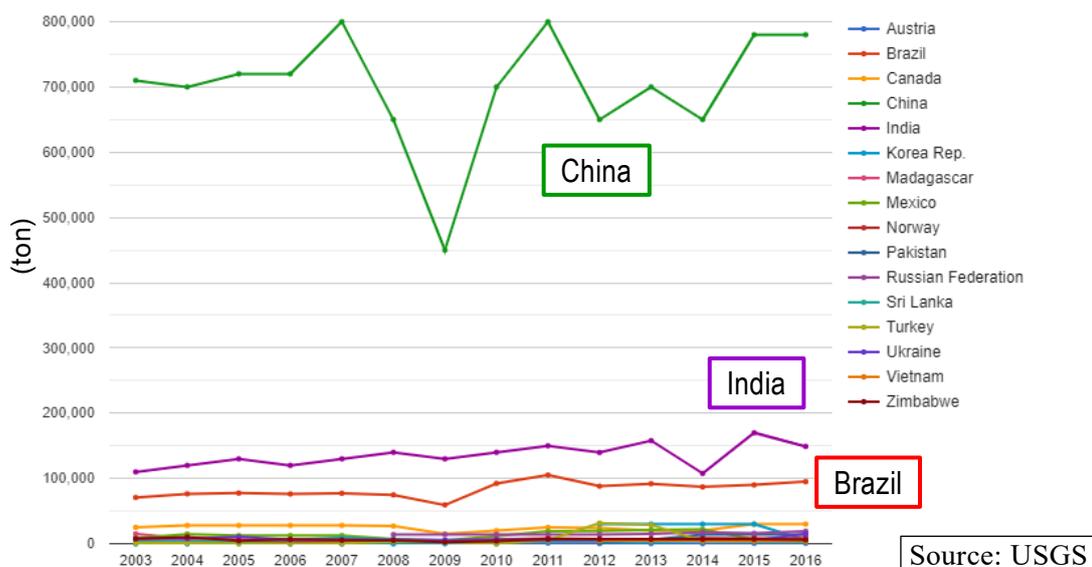


図 6-14 国別のグラファイト生産量

以下の要因の状況に基づいて、継続的な生産および新しい高品位・品質の鉱床の探査と開発を促進する必要がある。

- 資源量：中程度
- 市場：高品位であれば世界
- 需要：高い
- コスト：中～高い
- 輸送：一般車両のアクセスは悪くはないが、トラックでのアクセスは困難
- 付加価値製品：必要（高品質の製品）
- 探鉱：広域から詳細の探鉱が必要（GSIの探査は2.5.7節に記述）
- 開発の課題：探鉱地域の急峻な地形と高い標高

6.4.8. まとめ

ブータンは工業原料資源に恵まれている。これらの資源は国内で消費されるだけでなく、主にインドとバングラデシュに輸出されるために開発されてきた。ブータンでは工業原料資源産業が発達しており、GDPへの貢献度は着実に高まっている。2017年には、ドロマイト、大理石、石膏、石灰石、珪石、滑石、石材、千枚岩などが生産された。鉱業および採石部門は、2017年にGDPに対して4.86パーセントのシェアを記録した。

工業原料資源開発の最大の利点は、関係が良好なインドとバングラデシュという大規模で近い市場である。インドは巨大な経済市場を持つ新興国の1つである。バングラデシュは現在、後発開発途上国（LDC）であるが、バングラデシュは過去数十年で工業化を通じて経済政策を推進しており、2024年にLDCを卒業する予定である。したがって、ブータンで生産されるドロマイト、大理石、石灰石、珪石、石膏、滑石は、これまでと同様にインドとバングラデシュに継続的

に輸出されると考えられる。

石灰石、ドロマイト、珪石などの工業原料資源は、大量かつ低価格の商品である。一般的に、輸送コストを削減し、付加価値のある製品を生産することは、産業を推進して競争力を高めることにある。主要で重要な資源は南部の地形的低地に位置しているため、開発には比較的有利な条件となっている。

工業原料資源をより開発するためには、以下の2つの手法が推奨される。

(A) 高品位の資源の探査

より高い品位の資源はより高価であり、生産および輸送のコスト削減に寄与する。

(B) 付加価値製品の開発

付加価値製品は原料に比べてより高い価格で取引される。しかし、付加価値製品の製造には処理工場に多くのコストがかかる。

6.5. 鉱物資源開発に係る環境調査

6.5.1. 環境ベースライン調査

(1) 現地視察による環境緩和対策と労働安全管理の確認

Phuntsholing と Gomtu にある民間鉱山企業への訪問は 2019 年 12 月に実施された。

(A) Bhutan Ferro Alloys Limited (ブンツォリン)

BFAL 社の生産工場は安全管理に対する意識が高い。安全管理のための看板や医療スタッフの常勤などの対策はすでに講じられている。しかし、従業員向けの定期的な安全教育プログラムはまだ工場で実施されていない。採掘現場では、目立った環境緩和策は確認できず、その緩和策は鉱山労働者にとって十分ではない。

DGM の環境モニタリング担当者によると、DGM と NECS は、工場と採掘現場において年 2 回共同でモニタリングを行っている。しかし、モニタリング項目とその結果を明確に記した環境モニタリング計画 (EMOP) は工場内で確認できなかった。



図 6-15 BFAL 社の環境緩和策

(B) Penden Cement Authority Limited (Gomtu)

PCAL 社の生産工場では、BFAL 社に比べて安全看板の数は少ないが、医療スタッフの立ち会いや消火器の設置などの対策はすでに実施されている。ただし、従業員向けの定期的な安全教育プログラムはない。

採掘現場では、採掘が完了した地域ですでに植林が行われている。今後も環境に配慮した対策が継続して実施されると予想される。また、同社と DGM は、将来的に山が閉鎖されることを想定して、環境管理基金として毎年一定額を積み上げている。採掘現場を閉鎖した後、DGM はその資金を使って森林再生を行い、安定した後に、植林の管理を林業局に移す。

PCAL 社でも BFAL 社同様に、モニタリング計画は確認できなかった。



図 6-16 PCAL での環境緩和対策

総論として、民間鉱山会社は安全対策や環境回復対策の必要性を強く認識している。しかし、採掘場・工場の労働者のレベルでは完全に訓練または教育されていない。採掘・工場現場のモニタリングは一定の間隔で実施されているが、企業はルールや項目を明確に理解していない。

(2) NECS の鉱山管理担当者へのヒアリング結果

2020年2月に、JICA 専門家と DGM は、既存の鉱山の環境管理と新しい鉱山開発のための環境的および社会的配慮について、NECS の鉱山管理スタッフにインタビューした。

NECS は、現在の操業採掘現場における環境問題と課題を次の表のように検討した。

表 6-5 現在の操業採掘現場における環境問題と課題

No	Environmental Items	Consideration in Bhutan
1	Dust emission	The heavy excavation using blasting & drilling techniques and continuous movement of heavy vehicles during dry season lead to dust emission from mining site and approach road.
2	Spillages of overburden	Due to unavailability of flat and suitable area, the designated/ identified over burden dumpsites are small and located in steep terrain. As such, the overburden (OB), which is in excess, is seen overflowing the dumpsite. During monsoon, spillages of OB are observed from the mining sites and the dump yards.
3	Siltation	There are few instances regarding increase of sediments. Natural landslides are found to be the main cause of siltation. However mining activities may contribute to siltation although there are no studies done yet.
4	Monsoon Impact	Most mines across southern Bhutan (except few captive mines) do not operate during the monsoon season however; they resume extraction work during dry season, which is approximately for 6-7 months. The benches which were constructed during the dry season are normally damaged/ washed away during monsoon. Mining operators are not able to carry out mitigation works due to inaccessibility.
5	Visual impact	Mines in general are visually unpleasing.

NECS によると、すべての鉱業活動は、潜在的な環境影響を特定して、その影響に対処するための環境管理計画を提出する環境影響評価（EIA）調査を受ける必要がある。採用されている現在の緩和策は次のとおりである。

- 1) ほとんどの鉱山では、粉塵を抑えるために給水車が使用されている。いくつかの鉱山には散水装置が設置されている。粉塵抑制は、採掘現場とアプローチおよびアクセス道路に沿って1日2回または3回実施されている。
- 2) 鉱山境界外への流出と沈泥を制御または最小限に抑えるために、砂防ダム、包囲排水路、沈砂池が提案され、ほとんどすべての鉱山で建設されている。
- 3) 鉱山/採石場は、段階的な復旧を実施する必要がある。しかし、漸進的な修復は行われておらず、抽出されるべき材料が残っているために実現不可能であることが観察されている。そのため、鉱山の修復は、資源が完全に使い果たされた後、または申請者がその地域での採掘を希望しない場合に実行される。
- 4) ほとんどの鉱山会社は、給水管の建設、灌漑水路の維持、無料輸送の提供、低料金の建設資材の提供、地元の儀式を実施するための寄付、農道の維持などの CSR 活動を行っている。

6.5.2. 環境影響評価

本 JICA プロジェクトは特定の対象資源や発掘現場を提案していないため、環境および社会環境への配慮に関する個々のサイト開発の評価は行われず。次の表は、JICA ガイドラインに従ってブータンの採掘現場を開発する際に考慮すべき環境スコーピングの結果を示している。

表 6-6 環境社会影響評価に対する手続きの結果

	Scoping Item	Result			
		BC	CS	OS	Reason for Scoping Evaluation
Natural Environment					
1	Meteorology	D	D	D	B: No activities are planned that will cause the item. C/O: No activities are planned that will cause the item because the project structures would not affect the air.
2	Topography/ Geography	D	A-	A-	B: No activities are planned that will cause the item. C/O: Large scale land reforms are required for all types of mining development both of construction and operation phase.
3	Soil erosion	D	A-	A-	B: No activities are planned that will cause the item. C: Impact on the item is temporarily anticipated caused by construction work, especially during rain. It's preferable that construction work is implemented in dry season. O: Impact on soil erosion around the mining site is expected to be large.
4	Hydrology	D	C	C	B: No activities are planned that will cause the item. C/O: If the proposed mining sites are located in near water bodies, the development work might affect the hydrology.
5	Land Substance/Groundwater	D	B-	A-	B: No activities are planned that will cause the item. C/O: Land subsidence in mining development may occur due to collapse of the cavities after underground excavation, the excessive springing of groundwater, and shrinkage of the stratum due to the lowering of the groundwater level. In addition, the prevention and control of potential releases of hazardous materials, the management of potential sources of groundwater contamination, primarily associated with leaching and solution mining activities should be implemented..
6	Ecosystem/Flo	D	A-	A-	D: No activities are planned that will cause the item

	Scoping Item	Result			
		BC	CS	OS	Reason for Scoping Evaluation
	ra and Fauna				C/O: The mining development project will be a large-scale project implemented using vast land. If the proposed project site has a rich ecosystem, it may have a significant impact on the ecosystem in the area. Bhutan has more than 60% of its land in forests and maintains a rich ecosystem in the forest. Therefore, mining development in Bhutan is likely to have a significant impact on the ecosystem, so this item was evaluated as A-.
7	Protected areas	C	C	C	B/C/O: The impacts of the mining development on the protected area are expected to be the reduction of protected area, valuable/decrease/extinction/endemic flora and fauna, and disappearance due to indirect effects such as drying due to changes in hydrological environment.
8	Coastal areas	D	D	D	B/C/O: No activities are planned that will cause the item.
9	Natural disasters	D	B-	B-	B: No activities are planned that will cause the item.
					C/O: Construction/Operation works should pay attention to cause land slide due to the development of mining site.
Pollution					
10	Air Quality	D	A-	A-	B: No activities are planned that will cause the item.
					C: Impact on air quality due to operation of construction machinery and movement of construction vehicles is expected, especially during dry season.
					O: Mitigation measures for air quality should be introduced as much as possible because of the large amount of dust generated from all plant equipment processes. In the case of electric power facilities required for production, activities are installed, air pollutants such as SO ₂ , NO _x , and dust are emitted as fuel is burned. Air pollution is one of the most important environmental impact factors in mining development.
11	Offensive Odors	D	D	D	B/C/O: No activities are planned that will cause the item.
12	Water Quality	D	B-	A-	B: No activities are planned that will cause the item.
					C: Surface runoff from the construction site causes water pollution in the surrounding area.
					O: Effluents in mining projects, especially those that can have a serious impact on the surrounding environment, are acidic water and surface runoff water. Other drainage water without taking appropriate measures will cause water pollution in the surrounding rivers.
13	Bottom Sediment	D	D	D	B: No activities are planned that will cause the item.
14	Soil Contamination	D	B-	B-	B: No activities are planned that will cause the item.
					C/O: Drilling operations might cause soil contamination in mining site.
15	Noise/ Vibration	D	B-	B-	B: No activities are planned that will cause the item.
					C: Increase in noise and vibrations due to construction machines and vehicles is anticipated temporarily. Appropriate attention should be paid to villages (especially schools or hospitals) during construction work.
					O: Sources of noise emissions associated with mining would include noise from vehicle engines, loading and unloading of rock into steel dumpers, chutes, power generation, and other sources related to construction and mining activities. The prevention and control of noise sources should be established based on the prevailing land use and the proximity of noise receptors such as communities or community use areas.
16	Sunshine	D	D	D	B/C/O: No activities are planned that will cause the item.
17	Waste/Toxic substances	D	A-	A-	B: No activities are planned that will cause the item.
					C: Construction soil, waste material and garbage will be generated from construction site and worker's camp. In addition, there is possibility of waste including toxic substances.
					O: Mines generate large volumes of waste. Structures such as waste dumps, tailing impoundments / dams, and containment facilities should be planned, designed, and operated such that geotechnical risks and environmental impacts are appropriately assessed and managed throughout the entire mine cycle.
Social Environment					

	Scoping Item	Result			
		BC	CS	OS	Reason for Scoping Evaluation
18	Involuntary resettlement	C	D	D	B: In some cases, involuntary resettlement may occur in and around the Project. In addition, temporary resettlement can be used basically as temporary construction yards and worker's camp. C/O: No activities are planned that will cause the item.
19	Land use	B-	B-	B-	B: There is a possibility of impact on land use due to resettlement and land acquisition. C: Land modification for construction yard and worker's camp is not large scale, and temporary. O: In ROW of T/L and towers, land use would be regulated based on ZESCO Way-leave guidelines.
20	Usage of local resources	D	D	D	B/C/O: No activities are planned that will cause the item.
21	Master plan/Urban planning	D	D	D	B/C/O: No activities are planned that will cause the item.
22	Social institutions such as social capital and local decision-making institutions	C	C	D	B: There is a possibility of impact on social institutions and local decision-making institutions due to resettlement and land acquisition. C: There is a possibility to impact on social institutions and local decision-making institutions due to inflow of construction worker and people from outside. O: No activities are planned that will cause the item.
23	Existing infrastructure and services	D	B- /B +	B- /B +	B: No activities are planned that will cause the item. C: Set-up of construction yard and quarters for construction workers, and traffic congestion due to increase of construction vehicles cause impact on existing infrastructure and services temporarily. If need, a new connection road to the proposed mining site will be constructed as a construction road in advance. O: If new roads are constructed, the road infrastructure of the villagers live in the surrounding area will be improved. However, regular large-vehicles transport will be occurred from mining sites to transport minerals.
24	Lifestyle and livelihood	D	B+ /B-	B+ /B-	B: No activities are planned that will cause the item. C: Positive impact on local economy is anticipated due to increase in commercial/working opportunities from the construction work. O: Working opportunity in mining site will be increased in surrounding area. On the other hand, the operation of mining has possibility of change the lifestyle of traditional communities.
25	Misdistribution of benefits and damages	C	C	C	B/C/O There is a possibility of misdistribution of benefits and damages between affected households and others in same village.
26	Local conflict of interests	B-	C	C	B/C/O: There is a possibility of local conflict between the beneficiary and affected people due to the misdistribution of benefits and damages. To avoid the local conflict, Project proponents should discuss with related local communities to form a consensus among related people.
27	Water use	C	C	A-	B: There is a possibility of impact on water use due to resettlement and land acquisition. However, the impact might be small because relocation site will be set next to existing area. C: There is a possibility of small and temporary impact on water use due to the construction work, such as preventing access to water resources. O: All mines should focus on appropriate management of their water balance. Mines would use large quantities of water, mostly in processing plants and related activities, but also in dust suppression among other uses. Water is lost through evaporation in the final product, but the highest losses are usually into the tailings stream. Mines with issues of excess water supply, such as in moist tropical environments or areas with snow and ice melt, can experience peak flows which require careful management. Most of proposed mine site in Bhutan would fall into the category of that.

	Scoping Item	Result			
		BC	CS	OS	Reason for Scoping Evaluation
28	Cultural heritage	C	C	D	B/C/O: There is a possibility of impact on cultural heritage due to location of proposed mining sites. The project proponent should survey the information in and near proposed mining site before development.
29	Landscape	D	A-	A-	B/C/O: No activities are planned that will cause the item.
					C/O: Mining development, especially open pit drilling, may adversely affect on the landscape and affect recreation and tourism.
30	Religious facilities	C	C	C	B: There is a possibility of impact on religious facilities due to location of proposed mining sites. The project proponent should survey the information in and near proposed mining site before development.
31	Poor	C	C	D	B: It is difficult to envisage the project causing significant impact on poor people. However, accurate status of the poor in the Project area should be ascertained through census survey for RCAP preparation.
					C: In construction work or related work, poor people could gain working opportunities.
					O: No negative impact on the item is forecasted due to the Project.
32	Ethnic minority /Indigenous people	C	C	C	B: No activities are planned that will cause the item.
					C/O: Four ethnic groups – Ngalong (also known as Bhote), Sharchop, Kheng, and Nepali-speakers – make up 98 per cent of the population in Bhutan. Before planning of the mine development, social study should be implemented in local community near the site.
33	Gender	D	C	C	B: No activities are planned that will cause the item.
					C/O: Social relationship between men and women in Bhutan is traditionally characterized by gender equality. However, female mine workers often face discrimination, poor working conditions and unequal pay for equal work. In addition, women can lose their traditional status in society when mining creates a cash-based economy. Great care should be taken to ensure that mine development does not harm women's position in the local community. Before planning of the mine development, social study should be implemented in local community near the site.
34	Children's rights	D	C	C	B: No activities are planned that will cause the item.
					C/O: DGM and private mining companies should carefully monitor and prevent child labor both of the construction and operation work of the Project and in the mining site.
35	Risks of infectious diseases such as AIDS/HIV	D	B-	B-	B: No activities are planned that will cause the item.
					C: Risks of the item would increase with fixed probability due to influx of laborers into the Project area. In addition, risk of STD/STI and HIV/AIDS would increase between construction workers and local people.
					O: Miners who inflow from outside have a possibility of cause of communicable diseases.
36	Occupational health and safety (Working environment)	D	B-	A-	B: No activities are planned that will cause the item.
					C: Working environment of construction workers should be noted.
					O: Community health and safety issues that may be associated with mining activities include transport safety along access corridors, transport and handling of dangerous goods, impacts to water quality and quantity, inadvertent development of new vector breeding sites, and potential for transmission of communicable diseases. Working environment maintenance workers should be noted in operation phase continually.
Other					
37	Accidents	D	B-	A-	B: No activities are planned that will cause the item.
					C: There is a possibility of increased risks of accident due to the operation of construction machines and running of construction vehicles in the mining site.
					O: There is a possibility of increased risks of accident due to machine operation in the mining site.
38	Climate change	D	C	D	B: No activities are planned that will cause the item.
					C: Emission of greenhouse gases (GHGs) would be generated from construction machinery and vehicle traffic caused by the Project. However, the impact will be limited and small-scale.
					O: No activities are planned that will cause the item.

Evaluation: A-: Significant Negative Impact A+: Significant Positive Impact

B-: Some Negative Impact B+: Some Positive Impact

C: Impacts are not clear; need more investigation

D: No Impact or Impacts are negligible; no further study required

Source: EIA Study Team

BC: Before Construction Stage, CS: Construction Stage, OS: Operation Stage

6.5.3. 環境モニタリング

NECS と DGM は、ブータン全土の既存の採掘現場を年 2 回共同で監視している。モニタリング内容の詳細は別添 X に示す。

6.6. 課題

6.6.1. 一般的な課題

(1) インドとの関係

インドとブータンの相互に有益な経済的結びつきは、両国関係の中心的部分である。インドはブータンの最大の輸出市場であり、輸入の最大の供給源であり、国内で最大の外国投資家の1つである。ブータンはインドの領土を通して他の世界との貿易のための海港へアクセスしており、インドはそのための輸送施設をブータンに提供している。水力発電プロジェクトにおける協力は、インドとブータンの間の双方に有利な協力の最も顕著な例の1つである。このプロジェクトはインドへの安価でクリーンな電力の信頼できる供給源となっており、ブータンの GDP およびインドとブータンの経済融合の強化に大きく貢献している。

ブータンは、インドの2つの主要な外交政策である「近隣優先政策」と「東アジア関係強化政策」の中心的存在である。ナレンドラ・モディ率いる BJP 政府は、2014年の政権発足後、インドの近隣国と、ほとんど緊張のないブータンとの関係に特に力を入れてきた。

2018-19年にインドからブータンへ輸出された主な商品は、石油、瀝青質鉱物から生成された油、自動車、鉄鉱石の直接還元によって生成された鉄製品、調理食品および木炭などである。同年にブータンからインドに輸入された商品は、電気エネルギー、フェロシリコン、炭素製品、エチレンのポリマーのプレートシートおよびセメントである。電気エネルギーとフェロシリコンの2つの商品は、ブータンからインドへの総輸入物量の71%を占めている。(ICRIER 2019)

表 6-7 ブータンとインドの間の貿易関係

年	ブータンからの輸出			ブータンへの輸入		
	合計	対インド	インドのシェア	合計	インドから	インドのシェア
2000	11.1	5.8	52.3	112.8	47.5	42.1
2001	11.2	5.3	47.3	122.6	54.7	44.6
2002	12.5	6.9	55.2	127.9	60.9	47.6
2003	14.8	8.4	56.8	186.9	104.4	55.9
2004	44.4	35.1	79.1	1071.1	862.9	80.6
2005	258.7	226.2	87.4	387.2	290.7	75.1
2006	414.3	319.4	77.1	418.9	287.6	68.7
2007	675.7	550.2	81.4	499.8	365.4	73.1
2008	522.3	495.8	94.9	543.4	401.8	73.9
2009	496.4	463.6	93.4	530.0	412.1	77.8
2010	414.0	340.8	82.3	854.4	640.8	75.0
2011	453.5	343.0	75.6	1052.0	760.2	72.3
2012	532.0	497.7	93.6	993.1	781.5	78.7
2013	417.2	384.8	92.2	1245.5	1040.1	83.5

2014	404.9	367.8	90.8	1257.7	1075.0	85.5
2015	603.1	532.8	88.3	1748.3	1483.9	84.9
2016	498.9	464.5	93.1	1719.6	1537.2	89.4
2017	432.9	407.2	94.1	1692.3	1496.2	88.4
2018	568.7	529.1	93.0	2623.9	2345.3	89.4

単位：百万米ドル

出典：Direction of Trade Statistics, IMF

表 6-7 に示すように、ブータンとインド間の総貿易は 2000 年と 2018 年の間にほぼ 50 倍に増加した。二国間貿易の成長は、急速な経済成長と両国間のより大きな商業的融合によって主に推進されてきた。ブータンにおける貿易額が増加するにつれて、ブータンの総貿易におけるインドの貿易シェアも増加してきた。ブータンとインド間の強力でユニークな関係は、ブータンの経済生活において重要な役割を果たしている。したがって、インドの景気後退はブータンの経済に直接的なダメージを与えるであろう。

ブータンは南アジア地域協力連合 (SAARC) のメンバーであり、他の SAARC 署名者とともに南アジア自由貿易協定に参加している。ブータンとインドの良好な関係は今後も続くであろう。しかし、ブータンは他のアジア諸国との貿易拡大を試みる必要がある。

(2) ブータンの経済発展

Economic Development Policy 2017 は以下のように記している。

ブータンの経済開発政策は、「持続可能な経済開発」、「文化と伝統の保存と促進」、「環境保全」および「良い統治」の 4 つの柱に基づく国民総幸福量 (GNH) の包括的な哲学によって引き続き導かれている。しかし、持続可能な経済成長は依然として大きな課題である。経済成長は主に外部援助によって賄われている。経常収支赤字は拡大しており、国際収支は依然として弱く、公的債務は増加しており、外貨準備は輸出を通じて維持することが困難である。さらに、以下の他の制約がある。1) 小さな国内市場、2) 狭い輸出製品の基盤と市場、3) 不十分なインフラストラクチャー、4) 高い輸送費、5) 資金への困難なアクセス、6) 一貫性のないポリシー／調整の欠如、7) 管理技術の欠如、8) 専門家の不足、9) 低い労働生産性、10) 研究開発能力の欠如、11) 土地へのアクセス。

このような課題にもかかわらず、ブータンは以下に示す非常に明確な競争上の優位性を有しており、これらが活用される必要がある。1) 政治的安定、2) 平和と安全、3) 活気に満ちた生きた文化、4) 自然で手付かずの環境、5) 地域市場へのアクセスを備えた戦略的な地理経済的位置、6) 信頼性が高く競争力のある価格のエネルギー、7) GNH の国、8) 英語の幅広い使用。

これらの利点は、国のユニークなセールスポイント (USP) として分類できる。そして、これらに基づいたブータンブランドが作られることになる。ブータンブランドが一度開発されると、クリーンで、文化的に敏感で協力的で、有機的で、コミュニティベースであるなどの「GNH」要素が維持されることを保証する商品やサービスの標準として宣伝される。

上述の 11 の制約は、主に鉱業セクターに適用される。物理的要因を除いたそれらのいくつか

は、将来改善されるであろう。鉱業セクターでは、鉱物資源から付加価値のある製品を開発し、新たな鉱床を開発する必要がある。

(3) 環境

ブータンは常に環境の開発と保全のバランスを保ってきた。これは、2009年にコペンハーゲンで開催された締約国会議でカーボンニュートラルを維持するというコミットメントを通じて認められ、2015年のパリ協定でさらに再確認された。生態学的に脆弱な東ヒマラヤに位置する国として、ブータンは気候変動の影響に対して脆弱である。人口の大部分が農業に依存しており、経済は水力発電と観光に大きく依存しているため、気候変動はブータンの社会経済発展に深刻な影響を及ぼす。GNH調査2015では、環境保護の信念が国民間で高く普及していることが確認された。環境保護の信念は、性別によって異なることはない。ただし、農村部と都市部の居住者の間にはわずかな違いがあり、都市部と比較して、より多くの農村部の居住者が強い環境保護の信念を持っている。人口の大多数は、自然環境の保全に「非常に責任がある」と感じていると報告されている。

ブータンでは人口が少なく、開発が進んでいないことが森林保全に貢献した。地形のせいで、よりアクセスしやすい森林は伐採されてきたが、遠隔地の森林はほとんど自然の状態のままである。政府が支援する進歩的な林業保全政策は、収入のニーズと生態系への配慮、水管理、土壌保全とのバランスを取るよう努めた。

鉱業は、土地利用、環境汚染、社会的影響の面で大きな潜在的影響を与える産業部門の1つである。鉱業活動は必然的に自然環境に影響を及ぼすことから、鉱業セクターでの環境管理は不可欠である。近年、自然環境と社会環境の管理が世界的により重要になっている。

SEAの目的は、広く述べられているように、環境への配慮が、環境的に健全で持続可能な開発を支援するための戦略的意思決定に情報を提供し、統合されることを保証することである。特に、SEAプロセスは、計画とプログラムを担当する当局、および意思決定者が考慮することを支援する。NECSは2019年から新しいSEA規則を策定しており、2020年現在、承認の過程にある。鉱業セクターの開発は、重大な自然環境・社会的影響の可能性がある。したがって、鉱業セクターのSEA調査は、マスタープランと政策の段階から強く推奨される。

さらに、文化的影響評価(CIA)も、既存/計画中の両方の採掘現場で実施することが強く推奨される。既存の採掘現場の開発は承認され、運用されているが、その影響が適切に調査されていない場合がある。

最後に、特定の鉱物に対する地域の生産能力は、地域が「乱獲」されないようにDGMが管理する必要がある。

(4) 脆弱な道路インフラ

第11次5カ年計画2013-2018は、以下の点に留意した。道路インフラはブータンの鉱業を促進するための弱点である。

国の成果と結果を達成するための主な戦略的推進力は、(i) 包括的社会開発、(ii) グリーン経済の加速的な開発、および(iii) 戦略的インフラ開発にある。戦略的インフラストラクチャー開

発は、他の 2 つの推進分野での取り組みを補完し、第 11 次計画の目標を達成するための重要なインフラストラクチャーの開発に焦点を当てている。投資は、主に都市、運輸、ICT、エネルギー、経済、社会、文化インフラに行われる。

道路・橋梁セクターの主要な問題と課題は、(i) 車両交通量が非常に低かった 1960 年代初頭から 70 年代に建設された幾つかの国道での交通安全および地理的に困難な地形での道路の安全性、(ii) 建設の質と高い輸送コスト、(iii) 建設された道路の広大なネットワークの維持と未舗装道路の簡易舗装の財政的持続可能性、である。

このセクターの 2 つの主な目的は、道路インフラの効率と信頼性を高めること、および経済発展を促進し国家安全保障を強化し機械化と民間セクターの参加拡大を通じて持続可能性を確保することである。

2027 年までの道路インフラの建設、拡張、維持のための戦略的枠組みは、道路セクターマスタープラン (RSMP) によって報告されている。

6.6.2. 鉱物資源開発の特性

金属鉱物資源の開発者は通常、鉱物資源開発の以下の特性に関心を持つ (JOGMEC, 2019)。

(1) 鉱床の不動性

当然、事業場所は鉱物資源の鉱床が存在する場所に限定される。この特性は他の製造業とはかなり異なる。

(2) 鉱床の多様性

鉱物資源の鉱床は非常に多種多様であり、それぞれに独自の特徴がある。鉱山ごとにあらゆる種類の費用が異なる。定まった開発マニュアルや基準となるガイドラインは存在しない。

(3) 販売価格とコストの非連動

製品の販売価格はほとんどの場合、国際市場で決定されるため、世界でほぼ同じ価格が適用される。対照的に、生産コストは鉱山ごとに異なる (図 6-17 参照)。

(4) 巨額の投融資

多くの場合、鉱床は遠隔地にあり、開発者は自分でさまざまなインフラストラクチャーを開発したり、鉱山を開発したりする必要がある。通常、投資やローンの額は膨大になり、リスクは過剰である。

(5) 長期の管理

鉱床の発見から操業開始まで少なくとも 10 年、操業開始後のマインライフは約 10~30 年である。

(6) 政府・地元対策

鉱物資源開発は、国の法令を遵守し、無数の許可を得ながら、政府や住民 (ステークホルダー) の理解と支援のもとで推進されなければならない。

(7) 環境対策

鉱物資源開発のための環境管理要件は最近高まっており、環境規制は厳しくなっている。それゆえに、承認に必要な工程と時間がさらに複雑で長くなっている。

(8) 開発意思決定の複雑性

鉱物資源開発には、上述のような幅広い特徴がある。したがって、これらの特性と関連するリスクを十分に検討しながら、開発の意思決定においては、ビジネスと経済を確実にできるかどうかを判断するために、膨大な調査、作業、検証を行う必要がある。

意思決定にはかなり複雑な多面的で複合的な判断が必要であり、意思決定プロセスには多くの時間がかかる。

NET CASH COST C3 VS COPPER PRICE (¢US\$/LB)



出典：JOGMEC(2019)/ COCHILCO

図 6-17 キャッシュコスト（C3 フルコスト）と銅価格の関係

6.6.3. 投資環境の要因

鉱物資源開発には多くの投資環境要因がある。主な要因は以下のとおりである（JOGMEC, 2019）。

(1) 政治的要因

- ・投資先国の政治体制

- ・投資先国政府の安定性
- ・政権交代と政策の変遷
- ・投資先国政府－自国政府間の経済・貿易協定の状況

(2) 経済的要因

- ・投資先国政府の政策（財政政策，金融政策）
- ・景気動向（経済成長率，インフレーション・デフレーション）
- ・金利動向（短期・長期）
- ・政府の財務状況
- ・為替レート動向
- ・投資先国の産業構造

(3) 社会的要因

- ・社会環境の変化（文化，風習，消費者のライフスタイルなど）
- ・社会格差・所得格差
- ・教育水準
- ・宗教問題
- ・治安情勢
- ・産業基盤社会インフラの整備状況
- ・地域振興の必要性
- ・不正・腐敗の状況（中央政府，地方政府，政府機関など）

(4) 法的要因

- ・関連法制の整備状況
- ・鉱業政策・制度の安定性
- ・鉱業規制・環境規制の変化
- ・国家税制の状況
- ・司法システムとその信頼性
- ・外国資本の取扱い

(5) 労働力要因

- ・投資先国の雇用実態（失業率）
- ・勤勉度
- ・熟練度
- ・労使関係
- ・外国人労働者の受入

(6) 生産活動要因

- ・鉱山事業付帯インフラの整備状況
- ・資機材の現地調達力

- ・資機材の価格動向
- ・物流経路の確保状況（資機材の搬入，生産物の搬出）

(7) 自然条件要因

- ・鉱山所在地の気象条件
- ・鉱山所在地の高度及び地形
- ・自然環境（森林・湿地・氷河など）
- ・生態系
- ・水系
- ・自然災害の発生頻度
- ・最近の気候変動の影響

(8) マーケット要因

- ・対象金属の市場規模および需給動向
- ・生産物の市場性・流通性および価格動向

6.7. 結論と提言

(1) 工業原料資源の探査と開発の促進

➤ 新規および高品位鉱床の探査

珪石、石膏、滑石などの新規の大規模な鉱床および高品位の資源を発見するために、広域的または詳細な探査が必要である。

探査対象となる地域は、地質構造や地層の連続性などの地質情報および既存の鉱山の位置から簡単に特定できる。すなわち、いくつかの地域は既存鉱山に近く、いくつかは鉱山と同じ地質的背景を有する。

基本的に地質調査を実施して、物理探査は資源の種類によって実施される。試錐調査はこれらの後に実行される。

➤ 付加価値製品の開発

ブータンの鉱業製品はほとんどが未処理の岩石片や粉末のような原材料である。下記例のような付加価値製品がさらなる発展のために必要である。

- ✓ ドロマイト：マグネシウム塩
- ✓ 石膏：高品質製品、石膏ボード
- ✓ 石灰石：生石灰、消石灰、カルシウムカーバイド
- ✓ 珪石：高品位シリコン製品（SiO₂ 95%以上）
- ✓ 滑石：高品位製品（低不純物）

➤ 既存鉱山の管理と開発について鉱山所有者との協議

課題、障害、要望、期待などについて確認する。

➤ 新規鉱山の開発について既存鉱山所有者および新規開発者との協議

例えば、ティンブー近郊の大理石資源を対象とする。

(2) 金属鉱物資源の探査

➤ タングステンやREEのような戦略的金属鉱物資源の詳細探査

ブータン南部に賦存するタングステン鉱床は、1970年代から1980年代に試錐による探査と資源量計算が行われている。これらの地質および化学分析データを再解析すること、および、より詳細な探査が必要である。既存情報によると、タングステンの有望地域はブータン南部中央に限られている。

REE 鉱徴地はインドとの南側国境に近い鉄鉱山で確認されている。REE に対する地質と鉱床成因の情報が十分ではないため、地質、地化学、地球物理の広域的かつ基礎的な探査が試錐調査の前に必要である。

➤ 金属鉱物資源の基礎的調査

本来、金属鉱山開発を促進するためには、国土を網羅する地球科学データ（詳細地質図、地球化学データ、地球物理データ）が不可欠である。ブータン国では、地質図作成は進められ

ているが、体系的な地球化学調査はこれまでに実施されていない。空中物理探査は起伏に富む地形と高標高のため実施は困難と考えられる。

鉱化作用を受けた岩石を新たに発見するためには、地質踏査だけではなく、河川堆積物による地化学調査が効果的である。

(3) 鉱業セクターの人材育成強化

➤ 金属鉱物資源探査

ブータン国では工業原料資源は開発されているが、金属鉱物資源は鉄を除き未開発である。一方で、金属鉱物資源の探査は 1970 年代から 1990 年代に主にインド地質調査所が実施しているが、近年はほとんど行われていない。上述のように金属鉱物資源探査が推奨されることから、DGM は資源探査に対する人材を育成することが求められる。例えば、DGM が外国の探査／鉱山会社および関連研究所と共同して地質、地化学および地球物理調査を実施できれば、実践的な探査経験が欠如していることから、OJT として技術やノウハウを習得するために単に非常に有益である。

➤ 労働衛生安全環境（HSE）管理

ブータン国では数多くの工業原料資源の鉱山が稼働しており、鉱山と工場の HSE 管理は関連組織により統制されている。しかし、金属鉱山の操業は工業原料資源の鉱山とは異なる。例えば、坑道採掘のような採掘方法、地形的環境、環境影響など。金属鉱山の開発を仮定した場合、金属鉱山の HSE 管理における人材育成の強化が将来的に行われなければならない。

➤ 鉱山開発と管理

環境保護、鉱山開発および法的取り決めなどは将来の鉱山開発者にわかりやすい方法で提示される必要がある。

(4) 鉱山開発に係る環境影響評価及び環境保全措置の適正化

➤ 既存鉱山における環境保全措置の徹底

ブータンでは他の国と比較しても自然保護、特に国立公園の保護規制が厳しく、鉱物資源開発や既存鉱山運用については、環境保全の観点から厳しい環境保全措置を迫られている。持続可能な鉱山開発のため、規制当局・鉱山開発関係者は既存鉱山における環境保全措置を徹底しなければならない。

➤ 国立公園など自然保護区での鉱物探査への環境社会配慮の適正化

保護区内における迅速な鉱物資源ポテンシャルの把握が求められており、コアゾーン以外の保護区内において、自然生態系に影響を与えないレベルの小規模な地質探査については、EIA 手続きの簡素化などの例外措置を関係機関と協議することが奨励される。なおその場合でも環境保全措置の実施は必須である。

上記のような人材育成・研修教育は、世界の各所で準備されており、JICA においても短期研修コースが用意されており、ブータンからも参加実績がある。世界の多様な研修コースを有効に

使って教育することを薦める。また、ブータン国として英国、インドなどへの留学者を出しているが、引き続きこのように世界的視野と知識、技術を持つ人材育成を継続していくべきである。

7. その他の提案

7.1. 保安管理

(1) 保安管理

鉱山操業に伴う安全管理については、工場内に安全看板を設置したり、医療スタッフを配置したりするなど、すでに必要な対策が講じられている。しかし、工場と採掘現場の両方で労働者の衣服と移動経路を見ると、労働者のための安全教育プログラムの継続的な実施は不十分であると考えられる。鉱山には鉱山特有の労働上の課題があり、鉱山労働者の労働安全を守る必要がある。したがって、特に新入社員には安全教育プログラムを実施することを推奨する。

また、工場周辺に住む地域住民の健康管理も重要な課題のひとつである。現地視察により、工場からの粉じんの発生が非常に多いことが確認された。定期的な散水や拡散防止装置の設置など、鉱業活動に関連する追加の緩和策が望まれる。

日本の法令について以下に示すが、ブータンにおいても、官民協力して、鉱山／プラントの労働者とその周辺住民の安全と健康を確保・維持するように、操業と保安対策を管理していくことが求められる。

(2) 日本における鉱業セクターの保安管理政策（参考）

ブータンの鉱業における今後の安全管理対策の参考として、日本での例を以下に紹介する。

(a) 鉱業労働災害の防止

日本では、国と民間企業が協力して鉱山労働者の健康と安全を確保している。

鉱山保安法およびその他の規制は、国内の金属、非金属、石油／天然ガス、石灰石と炭鉱およびそれらの周辺地域のそれぞれの鉱山労働者の安全と健康を保証する。この法律はまた、環境と鉱物資源の保全を規定する。

(b) 鉱山保安法の適格な運用

鉱山の安全は、鉱業権者の自主的な安全に基づいている。

鉱山保安法は、現状調査、安全監督者および作業監督者の任命、安全委員会の設置に基づく安全規則の作成を規定している。鉱山ごとに、全国の9つの産業安全監督部門（支所、事務所）を通じて安全を確保するための安全技術とリスク管理に関する指導と監督が提供されている。

規制に基づき、鉱業権者、鉱山労働者、および国は、鉱山の汚染と被害を防ぐために協力している。また、鉱山保安法違反については、鉱山検査官が司法警察官として捜査し、違反に対して厳格な措置を講じる。

(c) 鉱業労働災害の防止計画

日本の経済産業省は、鉱山の安全対策をさらに強化するための総合的な鉱山災害防止計画として、鉱山労働災害防止計画（5カ年計画）を策定している。この計画は、日本の鉱山労働者の鉱山事故を根絶することを目的としている。最新版として、2018年度から2022年度までの5年間で「第13回鉱業労働災害防止計画」を策定した。

この計画の概要を以下に示す。

I 目標

災害を撲滅させることを目指す。

全鉱山の災害発生状況として、計画期間5年間で、次の指標を達成することを目標とする。

指標1：毎年の死亡災害は0（ゼロ）

指標2：災害を減少させる観点から、年平均で度数率0.70以下

指標3：重篤な災害を減少させる観点から、年平均で重篤災害の度数率0.50以下

II 主要な対策事項

1 鉱山保安マネジメントシステムの導入促進

1.1 鉱山保安マネジメントシステムの導入・運用の深化

鉱山災害を撲滅させるという最終目標を達成するため、より高い次元で保安の確保を実現すべく、鉱業権者、鉱山労働者を始めとする関係者、国は、鉱山保安MSの導入に引き続き一体となって取り組む。導入を進展させている鉱山は実情に応じてより最適なシステムとなるよう努める。このため、鉱業権者は次の二つの取組を引き続き推進。

①リスクアセスメント（現況調査）の充実等

②マネジメントシステム（PDCAを回す仕組）の充実等

1.2 鉱山規模に応じた鉱山保安マネジメントシステムの導入促進

鉱山保安MSの導入に遅れがみられる中小零細鉱山の取組が容易に行い得るよう、国は、ガイドブックをより分かりやすく見直す等、情報提供ツールの整備と、各鉱山の状況に応じた助言を一層きめ細かく行う。

2 自主保安の推進と安全文化の醸成

2.1 自主保安の徹底と安全意識の高揚

鉱業権者、保安統括者、保安管理者、作業監督者、その他の鉱山労働者、保安統括者、保安管理者、作業監督者、その他の鉱山労働者が、それぞれの立場と職責に応じて、自主保安を徹底。

2.2 鉱山における安全文化と倫理的責任の醸成

組織の全構成員の安全を最優先する企業文化である「安全文化」を醸成し、倫理的責任の下に鉱山の活動が行われるよう、経営トップは保安に関する環境作りに努める。

3 個別対策の推進

3.1 死亡災害・重篤災害の原因究明と再発防止対策の徹底

➤ 特に死亡災害や重篤災害は、鉱業権者は徹底した原因究明と再発防止に努める。

➤ 国はこれら災害情報を分かりやすく整理・分析し情報提供を実施。

➤ ヒューマンエラーによる災害を防止するため、人間特性を考慮したRAを徹底するとともに、本質安全対策、フェールセーフやフルプルーフを考慮した施設の工学的対策等を検討。

3.2 発生頻度が高い災害に係る防止対策の推進

➤ 「墜落・転倒」「運搬装置」「取扱中の器材鉱物等」「機械」による災害を着実に減少。

3.3 鉱種の違いに応じた災害に係る防止対策の推進

➤ 鉱種によって異なる鉱山災害の状況に応じ、国は、鉱種特有の保安状況についても情報収集を

行い、関係団体と連携して取組を実施。

4 基盤的な保安対策と新技術の推進

4.1 基盤的な保安対策

①露天掘採場の残壁対策，②坑内の保安対策，③作業環境の整備

4.2 新技術の活用等による保安技術の向上

- 産学官が連携し，保安技術の向上や普及に努めるとともに，ロボット，センサー，自動化等の新技術の実証・情報提供等により鉱山保安分野への活用を推進。

5 現場保安力の向上

5.1 単独作業及び非定常作業に対する保安管理

- 作業関係者でのリスク共有のためのコミュニケーション活動等鉱山全体での保安管理に努める。カメラ，センサーによる記録・管理等により災害の未然防止，原因究明。

5.2 現場保安力の向上と人づくりへの取組

- 鉱業権者は，危険体感教育，危険予知の実践教育等の機会を設ける。現場保安力向上の取組を鉱山保安 MS の中で毎年度評価し改善を推進。

6 国・鉱業関係団体等の連携・協働による保安確保の取組

- 国は，外部専門家による保安指導，鉱山労働者等を対象の各種研修，災害情報の水平展開等を充実。鉱業関係団体は，保安管理マスター制度の運用・改善をはじめとした自主保安体制強化のため支援等，鉱山災害防止のための活動を積極的に実施。
- 国・鉱業関係団体は，保安レベルの継続的向上につながるよう連携・協働。特に中小零細規模鉱山に関しては，中央労働災害防止協会の活用，地域単位での情報交換，大規模鉱山による支援等が円滑に行われるようきめ細かく対応。

出典：経済産業省

<https://www.meti.go.jp/press/2018/04/20180402003/20180402003.html?from=mj>

7.2. 環境管理

(1) 持続可能な開発

地球からの鉱物の抽出は、持続可能な開発に対して契機、課題、リスクをもたらす。鉱物は人間の幸福に不可欠であり、事実上すべての経済分野にとって基本的である。ただし、鉱業は持続可能性に対して重大な課題とリスクをもたらす。鉱物資源は少なくとも人間または生物学のタイムスケールでは有限で再生不可能である。鉱業がもたらす環境的および社会的な問題とリスクは、鉱山会社と地域社会の間にますます対立を引き起こしている。ほとんどの鉱物の鉱石品位が低下するに伴い、生産される資源の単位あたりの利用資源の消費量と発生する廃棄物量が増加する可能性があり、関連する環境コストは絶えず増大する課題となるであろう。

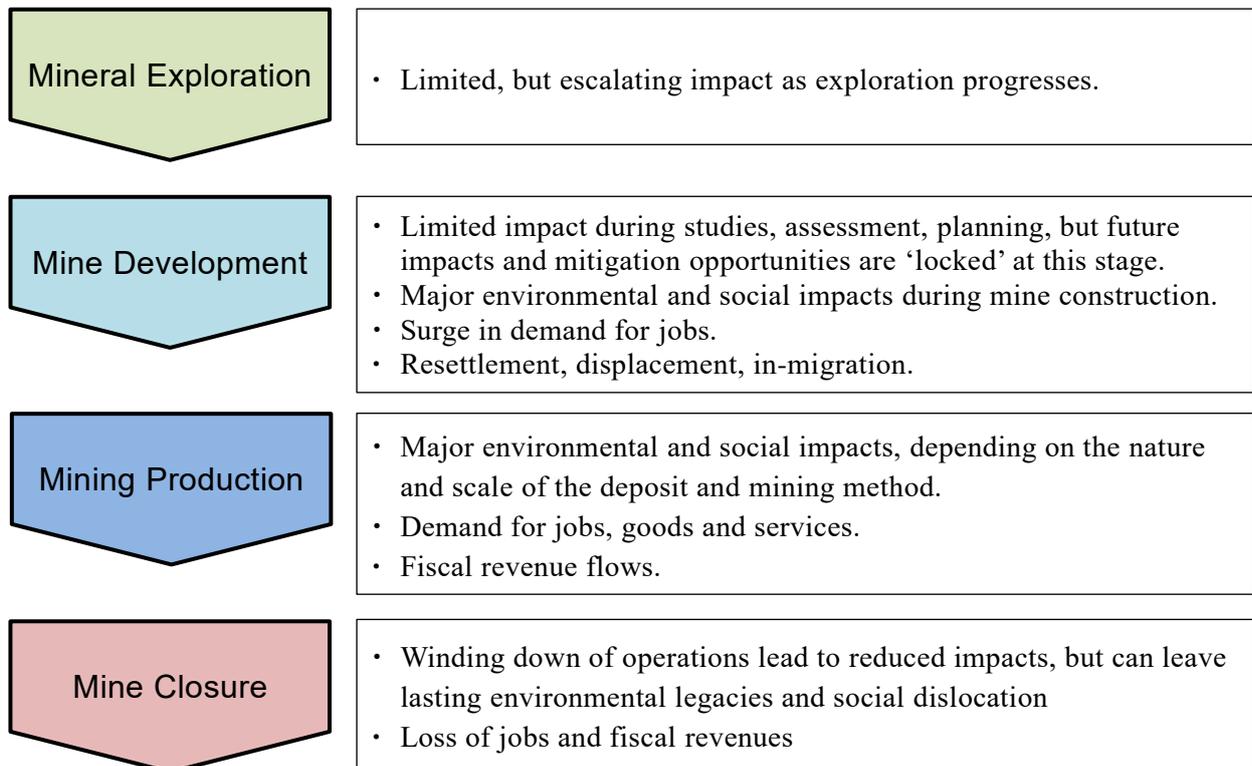
鉱業活動は、持続可能な開発、特にその経済的側面にも貢献することが可能である。鉱業活動は国に財政収入をもたらし、経済成長を促進し、雇用を創出し、インフラの構築に貢献することができる。したがって、鉱業は持続可能な開発目標（SDGs）にプラスとマイナスの両方の側面を有し、17のSDGsのうち11に特に強い影響を及ぼす（図 7-1）。（UNDP, 2018）



出典：Managing mining for sustainable development (UNDP, 2018)

図 7-1 鉱業と SDGs

環境影響を軽減し、人権を保護し、社会的包摂を促進し、鉱業開発からの利益を高める努力は、鉱山の存続期間および鉱業のバリューチェーン全体を通じて行われるべきである。鉱業の影響は、鉱山寿命のさまざまな段階（鉱物探査、鉱山開発、採掘作業および鉱山閉鎖）を通して見ると最もよく理解できる。一連の鉱業活動における影響は（図 7-2）、政府やその他の利害関係者が鉱業のさまざまな段階で実行できる具体的な行動を特定している。（UNDP, 2018）



出典：Managing mining for sustainable development (UNDP, 2018)

図 7-2 鉱山開発における主要な影響

鉱業活動は必然的に多かれ少なかれ自然環境に影響を及ぼす。探鉱の初期段階から鉱業生産を通じた鉱山閉鎖までの環境管理は、政府と利害関係者／鉱山開発者にとって不可欠である。近年、自然および社会環境管理は世界的により重要になっており、そのコストは増加している。

環境ベースライン調査（EBS）は探鉱段階で実施され、その後、鉱山開発における F/S としての環境影響評価（EIA/EIS）、鉱業生産における環境モニタリング、および鉱山閉鎖後の環境モニタリングと環境管理が実施される。

環境ベースライン調査は、開発前の既存の環境条件を特徴づけ、文書化する。提案されたプロジェクトの影響を受ける可能性のある環境要素がデータ収集の焦点となる。ベースライン環境条件の知識は、2つの理由で重要である。1つは環境評価の基礎を形成すること、もう1つは初期条件の記録を提供することである。これはプロジェクトの運用中と廃止措置が行われるときの

両方で不可欠である。予備的な環境ベースライン調査を行い、プロジェクトが地域の環境に与える潜在的な影響を見積ることが重要である。実現可能性調査に必要な環境情報は、環境影響ステートメントに必要な情報と似ているが、詳細レベルは低くなる。(IAEA, 2005)

EBS は、プロジェクト活動が行われる前に、環境条件の記録として将来の鉱山の影響範囲を取得するものである。EBS データは、鉱山の開発、操業、閉鎖の各段階で、さまざまな環境および社会経済的パラメーターの違いと影響を監視するために使用できる。環境マネジメントシステムは、鉱業関連の影響の程度と、影響または土地回復の管理後の回復を評価するために、定期的な評価で継続的に更新される。

鉱山閉鎖後の環境モニタリングも非常に重要である。鉱山閉鎖における課題は、主に危険物、酸性および金属含有排水、分散性物質、土地回復、放射能、鉱山ピット池である。主要な閉鎖要素には、採掘後の土地利用、閉鎖の目的、完了基準、閉鎖データの収集と分析、および鉱物廃棄物を含む材料の特性評価を含める必要がある。

鉱業活動への環境的側面の導入は、他の要因の中でもとりわけ、国の政治的および経済的状況、市場の傾向、および鉱物の国際価格に密接に関連している可能性がある。

世界的に鉱業セクターの持続可能な開発は近年大きな問題となっている。特にブータンでは、ブータン王国憲法と国民総幸福量政策に基づき、天然資源と環境保全が非常に重要である。

天然資源の厳格な保護によって、高度な探鉱が容易にできないことは、特に外国投資による鉱業開発につながらない可能性がある。鉱物資源のポテンシャルに応じて、限られた地域では環境保護と鉱業の共存が受け入れられる可能性がある。

保護地域において資源調査をすることで有望な鉱物資源が特定された場合、政府はさらなる探鉱を許可し、進展させるかどうかを決定する必要がある。この決定は微妙で難しいかもしれない。将来の混乱を避けるために、保護地域における鉱物資源の探査と開発のための特定の規則を確立する必要がある。

日本の国立公園内の開発規制などを事例とし、コアゾーン以外の保護区内における国立公園の自然生態系に影響を与えないレベルの小規模な地質探査は、EIA 手続きの簡素化など、例外的な措置を求めていくことも必要である。ただし、これらの例外措置を要請する場合は、現状復旧として環境回復措置を行い、必要なモニタリング等を実施することは必須である。今後 DGM は環境関連機関とこの例外措置について、協議をすることが奨励される。

また、どのような調査手法がどのような地域で認められるのか、どの過程でどのような手続きが必要なのか、などについて、調査・開発者が理解しやすいように具体的に関連法令で記述されなければならない。例えば、調査手法としては、地質調査、地化学調査、物理探査およびボーリング調査がある。岩石採取については、地表の転石や露頭、トレンチ/ピット、ボーリングなどがある。

(2) 鉱山閉鎖の手順（採掘現場の修復と再生）

採掘現場の修復と再生は、鉱山開発による影響に対する非常に重要な手順である。NECS は環境保護の責任機関として、これらの手順に非常に関心を持っている。NECS によると、ブータンは現在、完全に閉鎖された鉱山の経験がほとんどない（現在の状況では、一部の鉱山は部分的に

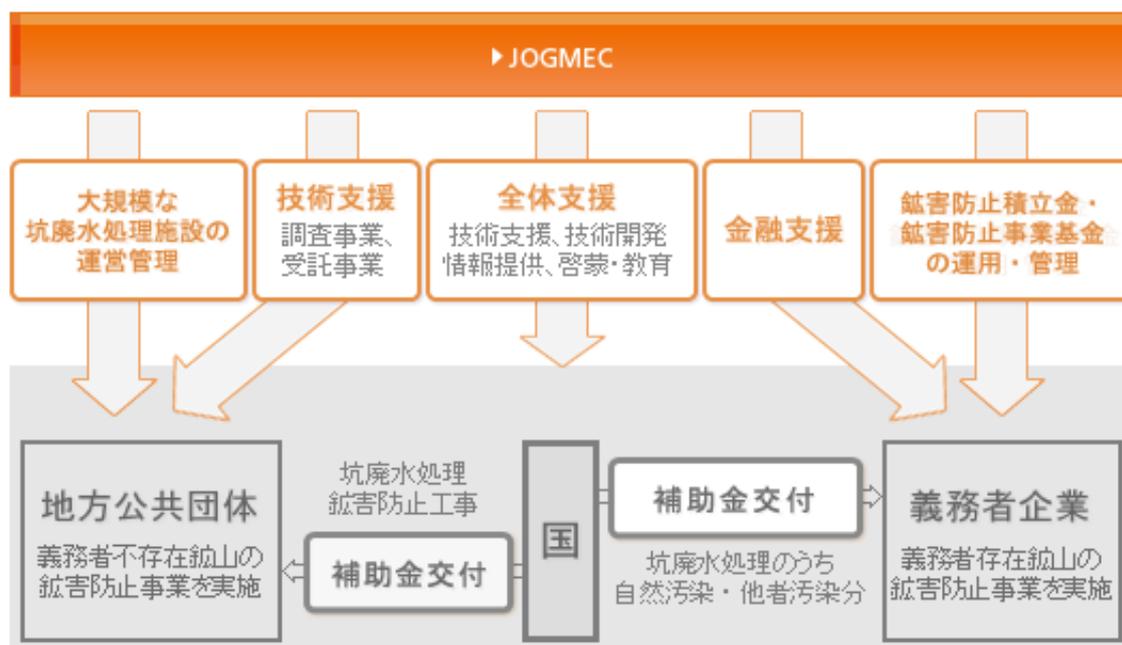
閉鎖されている)。ブータンでの今後の鉱山閉鎖の取り組みの参考として、日本での鉱山閉鎖活動に関する情報を以下に紹介する。

修復／埋め立ての最初の段階として、適切な鉱山閉鎖措置とその支援が重要である。一般的な工場施設とは異なり、鉱山での操業が停止した後も水質汚染や有害廃棄物等周辺環境に悪影響を与える恐れがあるため、放置しておくことはできない。

日本では、全国各地に 5,000 ヶ所に及ぶ「休廃止鉱山」が存在する。そのうち約 450 ヶ所は、鉱山の操業が停止した後、何らかの鉱害防止事業を実施中、あるいはその必要があるとされている。

日本の休廃止鉱山には、かつて鉱山を運営していた企業が現在もその現場を管理し鉱害防止対策を行う「義務者存在鉱山（休止・廃止）」と、運営していた企業が既に消滅し管理義務者が不在となった「義務者不存在鉱山（廃止）」とがある。大企業が運営していた大規模鉱山の多くは閉山後も企業が管理しているが、中小規模の鉱山の多くは経営企業が倒産・消滅して義務者不存在になり、その鉱害防止対策は地方公共団体が担っている。

日本政府は JOGMEC を通じて、これらの企業や地方公共団体に対して技術支援を行っている。



出典：JOGMEC (http://www.jogmec.go.jp/mp_control/main.html)

図 7-3 JOGMEC の鉱害防止事業の仕組み

JOGMEC によると、日本の金属鉱山においては、主として硫化鉱物を採掘していたため、閉山後も黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱等の鉱物が残り、これらが地下水や空気中の酸素と反応し、重金属を含んだ酸性の坑廃水を発生することがある。また、鉱業活動によって発生する廃石（ズリ）等の集積場においては、雨水等によってズリに含まれる有害重金属等が溶出し、鉱害の発生源となるほか、ズリ自体の流出や風による飛散等も問題となることがある。

これらを防止する鉱害防止事業は、大きく「発生源対策」と「坑廃水処理」の 2 つに分けられる。

- ・発生源対策：坑廃水による環境負荷を抑えるために、発生場所の周辺で坑道耐圧閉塞や露天堀跡・集積場の覆土・植栽等を行い、水質の改善や水量の減少を図っている。
- ・坑廃水処理：坑廃水が流入する水域の環境に影響を与えないように、重金属等の成分濃度が一定の基準値以下になるよう処理することである。

JOGMEC はこれまで培ってきた鉱害防止のノウハウを活かして、鉱害防止事業を行う地方公共団体や企業等へ、鉱害防止対策に関する技術支援、技術開発、情報提供等を行い、環境の保全等に貢献している。一方、JOGMEC は、鉱山汚染防止のための技術開発、鉱山防止実務家向けのトレーニングと人材育成、鉱山汚染防止準備基金の管理と運営も行っている。

現在、ブータンで JOGMEC の役割を果たす機関として DGM が提案される。DGM は採掘後の修復および跡地の埋め立てを確実にするために、鉱山会社から環境修復基金を徴収する、というシステムがすでに構築されている。

今後、国内で社会的かつ環境的に責任のある鉱業を確保するために、人材育成や技術開発など必要な活動がさらに行われることが望まれる。

卷 末 資 料

- Appendix II-1 參考資料一覽
- Appendix II-2 化學分析結果
- Appendix II-3 Compliance Monitoring Checklist for Mines/Quarries

Appendix II-1

Reference

Category

A: Policy and law of Bhutan, B: Mining in Bhutan, C: Environment in Bhutan, D: Geology and mineral resources in Bhutan,
E: Reltaed geology and mineral resources, F: Related environment, G: Others

No.	Author or Publisher	Year	Title / Other information
A: Policy and law of Bhutan			
A-01	Ministry of Agriculture (RGoB)	1995	Foest and Nature Conservation Act of Bhutan 1995
A-02	Ministry of Agriculture (RGoB)	2006	Foest and Nature Conservation Rules of Bhutan 2006
A-03	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2017	Mineral Development Policy 2017
A-04	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2018	Mineral Prospecting and Exploration Guideline 2018
A-05	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2019	Foreign Direct Investment Policy 2019
A-06	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2019	Foreign Direct Investment Rules and Regulations 2019
A-07	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2020	Mines and Minerals Bill of Bhutan 2020
A-08	Ministry of Trade & Industry (RGoB)	1995	Mines and Minerals Management Act of the Kingdom of Bhutan, 1995
A-09	Ministry of Trade & Industry (RGoB)	2002	Mines and Minerals Management Regulations 2002
A-10	National Statistics Bureau (RGoB)	2018	12 Five Year Plan: 1 November, 2018 - 31 October, 2023
A-11	Planning Commission (RGoB)	1999	Bhutan 2020: A Vision for Peace, Prosperity and Happiness
A-12	Royal Government of Bhutan	2008	The Constitution of the Kingdom of Bhutan
A-13	Royal Government of Bhutan	2017	Economic Development Policy 2017
B: Mining in Bhutan			
B-01	Anti-Corruption Commission of Bhutan	2016	Improving Business Environment: The case of the Mining Industry in Bhutan
B-02	Asian Development Bank	2015	Draft Maps Bhutan: Version 18 March 2015
B-03	Macroeconomics, Trade & Investment Global Practice	2019	Bhutan Development Report
B-04	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2006	Investment Opportunity Study –2006, Bhutan
B-05	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2017	Study on Productivity Enhancement: in Existing Large and Medium Industries in Bhutan
B-06	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2018	Detailed Feasibility Study on Industrial Linkages and Cluster (Mineral Based Industry)
B-07	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2019	Guideline for Leasing Mines
B-08	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2019	Bhutan's Domestic & External Trade
B-09	Ministry of Finance (RGoB)	2019	National Budget: Finacial Year 2019-20
B-10	National Statistics Bureau (RGoB)	2019	National Accounts Statistics 2019
B-11	National Statistics Bureau (RGoB)	2019	Statistical Yearbook of Bhutan 2019
C: Environment in Bhutan			
C-01	Ministry of Agriculture, Department of Forests (RGoB)	2006	Forest and Nature Conservation Rules of Bhutan
C-02	Ministry of Agriculture and Forests (RGoB)	2018	Forest Facts & Figures 2018
C-03	National Assembly of Bhutan (RGoB)	2005	The Movable Cultural Property Act of Bhutan
C-04	National Environment Comission (RGoB)	2000	Environmental Assessment Act, 2000
C-05	National Environment Comission (RGoB)	2001	Regulation for the Environmental Clearance of Projects
C-06	National Statistics Bureau (RGoB)	2017	Annual Environmental Accounts 2017
C-07	National Statistics Bureau (RGoB)	2018	Environmental Accounts Statistics 2018
C-08	Natural Resources and Environment Committee	2013	Socio Economic Environmental Impact Assessment of Mining and Quarrying Activities in Bhutan
D: Geology and mineral resources in Bhutan			
D-01	Bhargava O.N.	1995	The Bhutan Himalaya: A Geological Account / Geological Survey of India Speacil Publication 39
D-02	Davidson C. et al.	1997	Meatmorphic Reaction Related to Decompressoin and Synkinematic Instrusion of Leucogranite, High Himalayan Crystalline, Bhutan / Jour. Metamorphic Geol 15. 593-612.
D-03	Gansser A.	1983	Geology of the Bhutan Himalaya / Band 96, Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Birkhauser Verlag Basel Boston Sturggart, 181pp
D-04	Goodell et al.	2014	Mineral Resource Potencial of the Kingdom of Bhutan / Society of Economic Geologists, Inc. SEG 2017 Conference
D-05	Greenwood, L.V. and et al.	2015	The geology and tectonics of central Bhutan / Journal of the Geological Society, doi:10.1144/jgs2015-031(online)
D-06	Gupta, A.	2004	Palaeozoic metallogeny in Tethyan Black Mountain Basin, Bhutan Himalaya and its regional implication / 19th Himalaya-Karakoram-Tibet Workshop, 2004, Niseko, JAPAN
D-07	Hou, Z. and Cook, N.J.	2009	Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen / Ore Geology Reviews, 36, 2–24
D-08	Joint Ore Reserves Committee	2012	The JORC Code: 2012 Edition
D-09	Long, S.P. and et al.	2011	Geologic Map of Bhutan / Journal of Maps, 7:1, 184-192
D-10	Long, S.P. and et al.	2011	Geometry and crustal shortening of the Himalayan fold-thrust belt, eastern and central Bhutan / Geological Society of America Bulletin, 123(7-8), 1427-1447
D-11	Mishra S.N.	1985	Report of Regeional Exploration of Iron Ore Occurences Near Maure, Gaylegphug District, Bhutan / GSI Progress report for field season 1979~1980 (DGM内部文書)
D-12	Thomas Caspari et al.	2006	Geochemical investigation of soils developed in different lithologies in Bhutan, Eastern Himalayas / Geoderma, 136, 436-458

Appendix II-1

D-13	United Nations	1991	ATLAS of Mineral Resources of the ESCAP region, Volume 8, Bhutan
D-14	United Nations	1995	Industrial Minerals Development in Asia and the Pacific, Volume 8
D-15	USGS	1992	Mineral Deposit Models / U.S. Geological Survey Bulletin 1693
D-16	USGS	2018	Minerals Yearbook 2015, Bhutan and Nepal
D-17	Wang R.C. and et al.	2017	A preliminary study of rare-metal mineralization in the Himalayan leucogranite belts, South Tibet / Science China, Earth Sciences, doi:10.1007/s11430-017-9075-8
D-18	富樫 幸雄	1995	ブータンの工業原料鉱物資源とその開発 (Japanese) 地質ニュース485号, 29-40
D-19	茂木 睦	2001	ブータンの地形と地質構造—今までに分かったこと— (Japanese) 地学雑誌, 110, 449-453
D-20	茂木 睦	2001	ブータンとその周辺の地質(1)—その概要と問題点— (Japanese) 地質ニュース567号, 6-25
D-21	茂木 睦	2001	ブータンとその周辺の地質(2)—その概要と問題点— (Japanese) 地質ニュース568号, 41-60
D-22	茂木 睦	2002	ブータンと、その地質調査のこぼれ話など (Japanese) 地質ニュース571号, 40-45
E: Reltaed geology and mineral resources			
E-01	Bhattarai A. and Paudyal K.R.	2018	Geology and mineral resources of Phalamdada-Dhuwakot section of west-central Nepal, Lesser Himalaya / Bulltein of Department of Geology, Vol.20-21, 59-64
E-02	Butterman W.C. and Amey III E.B.	2005	Mineral Comodity Profiles - Gold / USGS Open-File Report 02-303
E-03	Chakrabarti C.K.	1982	Zinc-lead mineralization in Ganesh Himal region of central Nepal / Jour. Nep. Geol. Soc. Vol.2, 47-51
E-04	Cooke D.R. and Simmons S.F.	2000	Characteristics and Genesis of Epithermal Gold Deposits / Gold in 2000: Society of Economic Geologists Review in Economic Geology, 13, 221-244
E-05	Cocker M.D.	2014	Lateritic, Supergene rare earth element (REE) deposits / Proceedings of the 48th Annual Forum on the Geology of Industrial Minerals, Phoenix, Arizona, April 30 - May 4, 2012, Arizona Geological Survey Special Paper #9, Chpter 4, 1-18
E-06	Deptmt of Mines and Geology (Nepal)	2004	Mineral Resources of Nepal / Dept. of Mines and Geology, Kathmandu, 154 p.
E-07	Foley N.K. et al.	2017	Beryllium / USGS Professional Paper 1802-E
E-08	Goldfrab et al.	2001	Orogenic gold and geologic time: a global synthesis / Ore Geology Reviews, 18, 1-75
E-09	Gromet L.P. et al.	1984	The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics / Geochemica et cosmochemica Acta, 48, 2469-2482
E-10	Kesari G.K.	2010	Geology and Mineral Resources of Arunachal Pradesh / Geological survey of India Miscellaneous Publication No.30 Part IV Vol(I) Arunchal Pradesh
E-11	Harris N.B.W. et al.	1986	Geochemical characteristics of collision-zone magmatism / Collision Tectonics, Geological Society Special Publication No.19. 67-81
E-12	Haskin L. et al.	1968	An accurate procedure for the determination of the rare earths by neutron activation / Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 1, 337-348
E-13	Hodges K.V.	2000	Tectonics of the Himalaya and southern Tibet from two perspectives / Geological Society of America Bulltin, 112, 324-350
E-14	Hou Z. and Cook N.J.	2009	Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue / Ore Geology Reviews, 36, 2-24
E-15	Hou, Z. and Zhang, H.	2014	Geodynamics and metallogeny of the eastern Tethyan metallogenic domain Ore Geology Reviews
E-16	Kaphle P.K. and Khan H.R.	2003	Ground radiometric survey, prospection of radioactive minerals and its findings in Nepal / Bulettein of Nepal Geological Society, Vol.20. 63-65
E-17	Keith R.L. et al.	2010	The Principal Rare Earth Elements Deposits of United States - A Summary of Domestic Deposits and a Global Perspective / USGS Scientific Investigations Report 2010-5220
E-18	Kelly W.C. and Rye R.O.	1979	Geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies of the tin-tungsten deposits of Panasqueira, Portugal / Economic Geology, 74, 1721-1822
E-19	Krishna P. Kaphle	2020	Mineral Resources of Nepal and Their Present Status / http://ngs.org.np/mineral-resources-of-nepal-and-their-present-status/
E-20	Laurence R.	2005	Introduction to Ore-Forming Processes / Blackwell Science Ltd. 376pp
E-21	Leroy J.	1978	The Margnac and Fanay uranium deposits of the La Crouzille District (western Massif Central, France): geologic and fluid inclusion studies / Economic Geology 73, 1611-1634
E-22	Li Z. and Peters S.G.	1998	Comparative geology and geochemistry of sedimentary-rockhosted (Carlin-type) gold deposits in the People's Republic of China and in Nevada, USA / USGS Open-file report 160, 98-466
E-23	Lu H-Z. et al.	2003	Mineralization and fluid inclusion study of Shizhuyuan W-Sn-Bi-Mo-F skarn deposit, Hunan Province, China / Economic Geology, 98, 955-974
E-24	Mao J. et al.	2002	Geology, distribution, and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central China / Mineralium Deposita, 37, 352-377
E-25	Meinert L.D.	1992	Skarn and Skarn Deposits / Geoscience Canada, 19,145-62
E-26	Mukherjee et al.	2013	Geosciences of the Himalaya-Karakoram-Tibet Orogen / International Journal of Earth Sciences, 102 1757-1758
E-27	Paudyal K.R.	2015	Occurrences of mineral resources in Bandipur-Gondrang area of Tanahun district, central Nepal, Lesser Himalaya / Journal of Science and Engineering, vol. 2, pp. 24-35.
E-28	Paul Emsbo et al.	2015	Rare earth elements in sedimentary phosphate deposits: Solution to the global REE crisis? / Gondwana Research, 27, 776-785

Appendix II-1

E-29	Partington G.A. and Williams P.J.	2000	Proterozoic lode gold and (iron)-copper-gold deposits: a comparison of Australian and global examples / <i>Reviews in Economic Geology</i> , 13, 69–101.
E-30	Ram B.S. and Kabi R.P.	2019	Geological Control of Mineral Deposits in Nepal / <i>Journal of Nepal Geological Society</i> , 58, 189-197
E-31	Schulz K.J. et al.	2017	Niobium and Tantalum / USGS Professional Paper 1802-M
E-32	Taylor S.R. and McLennan S.M.	1985	The continental crust: Its composition and evolution / Blackwell Scientific Publications pp.312
E-33	USGS	2015	The Himalayas: Two continents collide / USGS, 5 May 1999. Retrieved 3 January 2015.
E-34	Wang E. and Burchfiel B.G.	1997	Interpretation of Cenozoic tectonics in the right-lateral accommodation zone between the Ailao Shan shear zone and the eastern Hiamalayan syntaxis / <i>International Geology Review</i> 39, 191-219
E-35	Werner A.B.T et al.	2014	International Strategic Mineral Issues Summary Report - Tungsten / USGS Circular 930-O
E-36	Yang Z. et al.	2009	Post-collisional Sb and Au mineralization related to the South Tibetan detachment system, Himalayan orogen / <i>Ore Geology Reviews</i> , 36, 194-212
E-37	Zientek L.M. and Orris G.J.	2005	Geology and Nonfuel Mineral Deposits of the United States / USGS Open-File Report 2005-1294A
E-38	石原舜三	2002	鉍化花崗岩特性 (I) : 西南日本内帯のモリブデンとタングステン鉍床生成区 (Japanese) / <i>地質ニュース</i> , 53, 657-672
E-39	石原舜三	2010	レアメタルテキスト: (3)タングステン, (4)インジウム, (5)モリブデン (Japanese) / <i>資源地質</i> , 60(3), 165-198
E-40	中尾征三	1984	海成燐灰土鉍床研究の現状 (Japanese) / <i>地質ニュース</i> , No.355, 49-55
E-41	鞠子正	2011	金属資源探鉍テキスト(1):鉛・亜鉛-1 (Japanese) / <i>資源地質</i> , 61(3), 181-216
E-42	鞠子正	2012	金属資源探鉍テキスト(1):鉛・亜鉛-2 (Japanese) / <i>資源地質</i> , 62(1), 43-89
E-43	酒井治孝, その他	2017	ヒマラヤのテクトニクス (Japanese) / <i>地質学雑誌</i> , 123巻, 6号, 403-421
E-44	渡辺寧	2010	レアメタルテキスト: (1)希土類 (Japanese) / <i>資源地質</i> , 60(2), 103-122
F: Related environment			
F-01	Antonia Gawel and Irum Ahsan, ADB	2014	Review and Compendium of Environmental Policies and Laws in Bhutan
F-02	Environmental Law Alliance Worldwide	2010	Guidebook for Evaluating Mining Project EIAs
F-03	Green Public Procurement in Bhutan	2015	Legal Analysis of the Public Procurement Framework in Bhutan
F-04	International Finance Corporation	2007	Environmental, Health and Safety Guidelines for Mining
F-05	JOGMEC, Japan	Web	Mine Pollution Control / http://www.jogmec.go.jp/english/mp_control/mp_control_metal_10_000005.html
F-06	Naoki Nakayama	2007	50th Anniversary of Natural Parks Law History & Prospect / Ministry of the Environment, Japan
F-07	National Council of Bhutan	2013	Socio Economic and Environmental Impact Assessment of Mining and Quarrying Activities in Bhutan
F-08	NEC Secretariat (RGoB)	2016	The Fifth National Report
F-09	OECD	2006	Applying Strategic Environmental Assessment: Good Practice Guidance for Development Co-operation
F-10	UNDP and UN Environment	2018	Managing mining for sustainable development: A sourcebook United Nations Development Programme
F-11	JICA, 鉍工業開発調査部	1993	鉍工業開発調査に係る環境配慮ガイドライン(執務マニュアル)鉍業開発編 (Japanese)
F-12	JICA	2019	ブータン国 全国総合開発計画2030策定プロジェクトファイナル・レポート和文要約 (Japanese)
F-13	JICA	2019	ブータン国 電力マスタープラン2040 策定プロジェクト ファイナル・レポート (Japanese)
F-14	JOGMEC, Japan	Web	鉍害防止支援事業～休廃止鉍山における公害防止対策を推進するために～ (Japanese)
F-15	Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan	2017	第13次鉍業労働災害防止計画案(平成30～34年度)の概要 (Japanese)
F-16	Ministry of the Environment, Japan	2012	自然公園法 (Japanese)
G: Others			
G-01	Australasian Joint Ore Reserves Committee	web	JORC code / http://www.jorc.org
G-02	Barakos, G. and et al.	2016	Strategic evaluations and mining process optimization towards a strong global REE supply chain / <i>Science Direct: online</i>
G-03	Centre for Bhutan & GNH Studies	web	GNH / https://www.bhutanstudies.org.bt/
G-04	Chiyoda Ute Co., Ltd.	web	Chiyoda Gypsum Board, Catalogue01 / http://www.chiyoda-ute.co.jp/en/module/pdf/catalogue01.pdf
G-05	iGuide Bhutan (UNCTAD)	web	Map of Bhutan https://www.theiguide.org/public-docs/guides/bhutan
G-06	IMF	web	Direction of Trade Statistics / https://data.imf.org/?sk=9d6028d4-f14a-464c-a2f2-59b2cd424b85
G-07	Logistics Capacity Accessment	web	Road network in Bhutan / https://dlca.logcluster.org/display/public/DLCA/2.3+Bhutan+Road+Network
G-08	London Metal Exchange	web	Metals prices / https://www.lme.com
G-09	Ministry of Economic Affairs (RGoB)	2018	National Transmission Grid Master Plan (NTGMP) of Bhutan - 2018

Appendix II-1

G-10	Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan	2011	Mining Act (Provisional Translation)／日本の鉱業法(和英対訳)
G-11	Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan	web	13th Mining Occupational Accident Prevention Plan (Japanese) https://www.meti.go.jp/press/2018/04/20180402003/20180402003.html?from=mj
G-12	USGS	web	Commodity Statistics and Information / https://www.usgs.gov/centers/nmic/commodity-statistics-and-information
G-13	Veolia	2016	Delivering value to the mining industry: brochure / https://www.veolia.com/en/newsroom/thematic-reports/delivering-value-mining-industry
G-14	Global Note	web	国際統計・国別統計専門サイト (Japanese) https://www.globalnote.jp/
G-15	JOGMEC (金属資源レポート)	2019	鉱物資源開発を巡る投資環境について考える (Japanese)

Compliance Monitoring Checklist for Mines/Quarries

1. General Details

- 1.1. Name of the Mine/Quarry.....
- 1.2. Address.....
- 1.3. Location.....
- 1.4. Contact Person.....
- 1.5. Year of commencement.....
- 1.6. Operation period: Seasonal or All-seasons (Season- time frame).....
- 1.7. Nearest settlement/house:
- 1.8. Nearest cultural/historical site/public infrastructures.....
- 1.9. Nature of area (mixed/sensitive).....
- 1.10. Operational/non-operational.....

1.7. Mining Details:

- a) Total Leased/Mining area:.....
- b) Type of Minerals Mined:.....
- c) Validity period of the Lease:.....
- d) Method of Mining/Quarrying (mechanized/semi-mechanized):.....
- e) Annual production:.....
- f) Dumpsite area and capacity:.....
- g) Length of haul/access road:.....
- 1.8. Environmental Clearance Ref no.....dated &
Expiry date.....

2. General (Tick if items are monitored)

- | | |
|---|--|
| Approach road..... | Surrounding environment and landuse..... |
| Screening and crushing..... | Labour camp, site office and sanitation- facility..... |
| Dumpsite..... | Progressive restoration..... |
| Water source and supply..... | Explosive Magazine |
| Benches..... | Waste Management Facility..... |
| Public infrastructures (in the vicinity)... | Machineries..... |
| Drainage..... | |

Note: If mining/quarrying has not commenced, the inspector/officer does not have to fill up the succeeding requirements. Go to signing (page No. 7)

3. Status of Mining Operation

- a. Gradient of abandoned benches.....
- b. Gradient of working benches
- c. Instruments use to measure the bench parameter if any.....
- d. Number of abandoned benches....., actual bench height.....and width.....
- e. Number of working benches, actual bench height.....and width.....
- f. Drainage provided;
 - i. Drains to the abandoned benches Yes or No , If no, specify the bench numbers which are not complying as per the approved mine plan
 - ii. Garland drain Yes or No
 - iii. Drains at Dumpsites Yes or No
 - iv. Haul & access road Yes or No
 - v. other locationsyes or No any other specific observations on the condition of drain
.....
.....
.....
.....
- g. Mining waste managed Yes or No , Specify the type.....
.....
- h. Mechanism of dumping and arresting spillages.....
- i. Number of check dams used/constructed.....
- j. Conditions of Dumpsite:
 - i. Stabilized Yes or No ;
 - ii. Check-dam Yes or No ;
 - iii. Compacted Yes or No
 - iv. Restored Yes/No
 - v. and any other
- k. Type and Number of machineries deployed.....
.....
.....
- l. Number of workers (casual/permanent).....
- m. Pillar to Pillar visibility Yes or No and accessibility Yes or No
- n. Buffer distance between the actual mine/quarry excavated area to the nearest boundary/DP.....
- o. Encroachment into surrounding environment Yes or No If yes specify
.....
- p. Infrastructures Yes or No ; If yes specify the type and number.....

-
.....
q. Progressive restoration Yes or No ; If yes, describe the status, areas, number of trees planted/survival growth, time of plantation (year/month/date), species in consultation with nearest DoFPS and others.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. Issue-based observations

4.1. Air Quality

- a. Any point and non-point source emission Yes or No If yes mention the source of emission.....
b. Mitigation measures implemented Yes or No If yes, specify the type.....
c. Ambient air quality test carried out Yes or No If yes, mention the result.....
d. Equipment and methodology used Yes or No ; If yes specify.....
e. Meteorological condition at the time of inspection
f. Location of the ambient air quality sampling (with geo-coordinates).....
.....

4.2. Water quality

- a. Any water bodies nearby Yes or No If yes, distance from the nearest boundary
b. Any blockage/diversion of water bodies Yes or No If yes, how
.....
c. Is it receiving water body of mine/quarry waste water Yes or No
d. Immediate downstream users Yes or No If yes, the purpose.....
.....
e. Any other source of water pollution other than mine waste water Yes or No If yes, mention the sources.....
.....
f. Mitigation measures implemented Yes or No If yes, Specify the type.....
.....
.....
g. Run off management/waste water management Yes or No If yes, specify the kind.....
.....

- h. Water quality test carried out Yes or No If yes result.....
.....
- i. Equipment and methodology used.....
.....
- j. Sampling locations (with geo-coordinates).....
- k. Waterflow discharge measured Yes or No If yes, mention the locations with
geo-coordinates
.....
.....

4.3. Immediate surrounding land

- a. Land use type:
 - i. Forest Land Yes or No
 - ii. Agriculture Land Yes or No
 - iii. Orchard Yes or No
 - iv. Private Land Yes or No
- b. Is it receiving body of mine waste water Yes or No
- c. Any landslide Yes or No If yes, specify the location with regard to the
DP
- d. Any sign of drying of trees/Plants Yes or No
- e. Mitigation measures implemented for the drying of trees/ plants Yes or No if
yes, specify.....
.....
- f. Any trace of deposit of silt/sediment/dust on the trees and surrounding land Yes or
No
- g. Soil Fertility test done Yes or No If yes, results
.....
.....
- h. Equipment and methodology used.....
.....
.....
- i. Sampling locations (with geo-coordinates).....
.....
.....

4.4. Noise and vibration

- a. Blasting required Yes or No
- b. Blasting technique followed (describe).....
.....
.....
- c. Blasting
time.....
- d. Provision for siren Yes or No
- e. Direction of fly rock observed and mitigation measures.....

- f. Noise generated Yes or No yes, Specify the source of noise pollution.....
.....
- g. Noise level test done Yes or No ; if Yes, Result with location and geo-coordinates.....
.....
- h. Equipment/methodology used
.....
- i. Receptor location (Distance).....
.....
- j. Vibration generated Yes or No If yes, specify the source.....
.....
- k. vibration test done Yes or No ; if Yes, Result with location and geo-coordinates.....
.....
- l. Equipment/methodology used.....
.....
- m. Receptor location (Distance).....
.....

4.5. Top soil management

- a. How it is managed.....
.....
- b. Reused/stored Yes or No

4.6. Waste Management

- a. Type of wastefrom different facilities.....
.....
- b. Waste ManagementFacility Yes or No ; if yes, specify the type
.....

4.7. Occupational Health and Safety

- a. Safety and Protective gear Yes or No If yes, specify.....
.....
- b. Clean drinking water and sanitation facilities Yes or No
- c. First aid kit available at the site Yes or No , If yes, Specify.....
.....

4.8. Contingency Plan

a. Fire, flood and other disaster management plan at the site Yes or No if yes, Specify

.....
.....

5. Observations by the previous inspectors (List down)

.....
.....
.....
.....

6. Issues resolved Yes or No ; If No, what are the issues that are not resolved...

.....
.....
.....

7. Follow up actions carried out (notification) Yes or No ; if No, what are the issues that are not mitigated or corrected.....

.....
.....
.....

8. Compliance to EC terms and conditions Yes or No Specify the terms and conditions that are not complied.....

.....
.....
.....

9. Deviation from Mine Plan Yes or No if yes, specify.....

.....
.....
.....

10. Documentation available at the site Yes or No

11. Visual impact Yes or No ; if yes, specify the sensitiveness of that area.....

12. Disturbance to public infrastructures/social/cultural sites Yes or No ; if yes, specify.....

.....
.....

13. Record of public complaint Yes or No Specify

.....
.....

14. Frequency of non-compliance recorded.....

.....
.....
.....
.....

15. Limitations of the inspection

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

16. Further Recommendations.....

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Inspected by:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Date:

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Page: 1
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 16-MAR-2020
 Account: SURECO

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



CERTIFICATE VA20046987

Project: ONU200218

This report is for 5 Rock Chip samples submitted to our lab in Vancouver, BC, Canada on 27-FEB-2020.

The following have access to data associated with this certificate:
 SATOSHI MACHIDA

SAMPLE PREPARATION	
ALS CODE	DESCRIPTION
WEI-21	Received Sample Weight
LOG-22	Sample login - Rcd w/o BarCode
CRU-31	Fine crushing - 70% <2mm
DISP-01	Disposal of all sample fractions
CRU-QC	Crushing QC Test
PUL-QC	Pulverizing QC Test
SPL-21	Split sample - riffle splitter
PUL-31	Pulverize up to 250g 85% <75 um

ANALYTICAL PROCEDURES		
ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT
ME-MS42	Up to 34 elements by ICP-MS	ICP-MS
OA-GRA05	Loss on Ignition at 1000C	WST-SEQ
TOT-ICP06	Total Calculation for ICP06	
ME-4ACD81	Base Metals by 4-acid dig.	ICP-AES
Au-ICP21	Au 30g FA ICP-AES Finish	ICP-AES
ME-ICP06	Whole Rock Package - ICP-AES	ICP-AES
C-IR07	Total Carbon (IR Spectroscopy)	LECO
S-IR08	Total Sulphur (IR Spectroscopy)	LECO
ME-MS81	Lithium Borate Fusion ICP-MS	ICP-MS

This is the Final Report and supersedes any preliminary report with this certificate number. Results apply to samples as submitted. All pages of this report have been checked and approved for release.
 ***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

Signature:

Saa Traxler, General Manager, North Vancouver

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Project: **ONU200218**

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



Page: 2 - A
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 16-MAR-2020
 Account: SURECO

CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20046987

Sample Description	Method Analyte Units LOD	WEI-21 Recvd Wt. kg	ME-ICP06 SiO2 %	ME-ICP06 Al2O3 %	ME-ICP06 Fe2O3 %	ME-ICP06 CaO %	ME-ICP06 MgO %	ME-ICP06 Na2O %	ME-ICP06 K2O %	ME-ICP06 Cr2O3 %	ME-ICP06 TiO2 %	ME-ICP06 MnO %	ME-ICP06 P2O5 %	ME-ICP06 SrO %	ME-ICP06 BaO %	OA-GRA05 LOI %
1 JICA-W01		0.90	59.3	11.90	8.51	8.34	3.60	1.64	3.55	0.009	0.56	0.39	0.08	0.04	0.07	1.14
2 JICA-W02		0.76	49.5	7.52	11.45	25.6	1.09	0.08	<0.01	0.005	0.23	1.38	0.04	0.01	<0.01	3.14
3 JICA-W03		0.68	46.3	5.24	11.85	18.95	11.65	0.59	0.10	0.005	0.32	0.31	0.22	0.01	<0.01	2.79
4 JICA-W04		0.52	72.0	8.92	7.03	3.90	1.34	2.12	1.93	0.007	0.37	0.42	0.08	0.04	0.02	1.86
5 JICA-W05		0.30	63.5	12.85	9.70	5.45	2.03	3.64	0.78	0.009	0.59	0.06	0.10	0.01	0.01	0.86

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Project: **ONU200218**

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



Page: 2 - B
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 16-MAR-2020
 Account: SURECO

CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20046987

Sample Description	Method Analyte Units LOD	TOT-ICP06	C-IR07	S-IR08	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81
		Total %	C %	S %	Ba ppm	Ce ppm	Cr ppm	Cs ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Ga ppm	Gd ppm	Ce ppm	Hf ppm	Ho ppm		
1 JICA-W01		99.13	0.21	0.12	575	51.4	60	18.15	4.63	2.68	0.96	16.8	4.36	<5	6.3	0.97		
2 JICA-W02		100.05	0.45	0.42	5.6	35.7	30	0.30	2.76	1.51	1.38	21.3	2.74	14	3.1	0.56		
3 JICA-W03		98.34	0.18	0.82	14.7	31.3	30	0.13	10.50	5.53	2.95	8.7	9.56	<5	7.2	1.80		
4 JICA-W04		100.04	0.04	1.50	195.0	36.9	50	4.84	2.97	1.77	0.69	13.9	3.20	<5	6.0	0.63		
5 JICA-W05		99.59	<0.01	0.52	70.3	81.5	70	0.70	7.54	5.04	1.84	21.4	7.30	<5	9.5	1.60		

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Project: **ONU200218**

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



Page: 2 - C
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 16-MAR-2020
 Account: SURECO

CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20046987

Sample Description	Method Analyte Units LOD	ME-MS81 La ppm 0.1	ME-MS81 Lu ppm 0.01	ME-MS81 Nb ppm 0.1	ME-MS81 Nd ppm 0.1	ME-MS81 Pr ppm 0.02	ME-MS81 Rb ppm 0.2	ME-MS81 Sm ppm 0.03	ME-MS81 Sn ppm 1	ME-MS81 Sr ppm 0.1	ME-MS81 Ta ppm 0.1	ME-MS81 Tb ppm 0.01	ME-MS81 Th ppm 0.05	ME-MS81 Tm ppm 0.01	ME-MS81 U ppm 0.05	ME-MS81 V ppm 5
1 JICA-W01		25.9	0.46	11.4	24.5	5.99	297	4.84	109	333	0.9	0.71	13.40	0.41	2.55	63
2 JICA-W02		18.8	0.23	3.7	14.3	4.02	0.9	2.84	417	59.8	0.4	0.43	4.39	0.22	3.45	29
3 JICA-W03		14.4	0.66	6.2	17.7	4.04	2.1	6.62	114	122.0	0.5	1.67	8.54	0.75	3.49	46
4 JICA-W04		18.3	0.31	8.0	17.0	4.47	140.0	3.53	27	356	0.7	0.46	10.50	0.30	2.73	35
5 JICA-W05		42.8	0.70	13.9	36.1	9.66	17.1	8.34	77	1290	2.6	1.16	15.70	0.70	3.97	67

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Project: **ONU200218**

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



Page: 2 - D
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 16-MAR-2020
 Account: SURECO

CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20046987

Sample Description	Method Analyte Units LOD	W	Y	Yb	ME-MS81	Yb	ME-MS81	Zr	ME-MS81	As	ME-MS42	Bi	ME-MS42	Hg	ME-MS42	In	ME-MS42	Re	ME-MS42	Sb	ME-MS42	Se	ME-MS42	Te	ME-MS42	Tl	ME-MS42	Ag	ME-4ACD81	Cd	ME-4ACD81
1 JICA-W01		12	24.4	2.90	233	233	3.6	7.54	<0.005	0.075	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.05	0.25	0.2	0.04	0.01	0.02	0.54	<0.5	<0.5	0.8		
2 JICA-W02		1580	15.9	1.46	113	132	24.6	226	0.091	3.86	0.091	226	226	0.091	0.016	3.86	0.016	0.016	0.016	1.32	0.7	0.34	0.04	0.04	0.14	0.14	4.5	4.5	1.7		
3 JICA-W03		13	50.2	5.23	275	275	8.4	1.88	<0.005	0.065	<0.005	1.88	1.88	<0.005	0.001	0.065	0.001	0.001	0.17	0.17	0.2	0.02	0.02	<0.02	<0.02	<0.5	<0.5	<0.5			
4 JICA-W04		247	16.8	1.95	220	220	31.0	20.4	0.027	0.077	0.027	20.4	20.4	0.027	0.003	0.077	0.003	0.003	0.11	0.11	0.9	0.04	0.04	0.15	0.15	<0.5	<0.5	<0.5			
5 JICA-W05		5	42.8	5.02	343	343	11.0	6.80	<0.005	0.090	<0.005	6.80	6.80	<0.005	0.001	0.090	0.001	0.001	0.10	0.10	0.4	0.02	0.02	0.05	0.05	<0.5	<0.5	<0.5			

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Project: **ONU200218**

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



Page: 2 - E
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 16-MAR-2020
 Account: SURECO

CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20046987

Sample Description	Method Analyte Units LOD	Co ppm	Cu ppm	Li ppm	Mo ppm	Ni ppm	Pb ppm	Sc ppm	Zn ppm	Au ppm
1 JICA-W01	ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 Au-ICP21	1	427	40	1	20	12	10	571	0.002
2 JICA-W02	ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 Au-ICP21	8	1545	10	4	13	3	4	658	0.006
3 JICA-W03	ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 Au-ICP21	4	14	20	<1	12	9	8	92	0.001
4 JICA-W04	ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 Au-ICP21	8	334	20	2	9	3	6	132	0.001
5 JICA-W05	ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 ME-4ACD81 Au-ICP21	5	34	10	1	19	3	12	58	0.001

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
 8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
 MINATO-KU TOKYO 1050001
 JAPAN

Project: ONU200218

Page: Appendix 1
 Total # Appendix Pages: 1
 Finalized Date: 16-MAR-2020
 Account: SURECO

CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20046987

CERTIFICATE COMMENTS					
<p>Applies to Method:</p>	<p>Processed at ALS Vancouver located at 2103 Dollarton Hwy, North Vancouver, BC, Canada.</p> <p>LABORATORY ADDRESSES</p> <table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>Au-ICP21 DISP-01 ME-MS42 PUL-QC WEI-21</p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>C-IR07 LOG-22 ME-MS81 S-IR08</p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>CRU-31 ME-4ACD81 OA-GRA05 SPL-21</p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>CRU-QC ME-ICP06 PUL-31 TOT-ICP06</p> </td> </tr> </table>	<p>Au-ICP21 DISP-01 ME-MS42 PUL-QC WEI-21</p>	<p>C-IR07 LOG-22 ME-MS81 S-IR08</p>	<p>CRU-31 ME-4ACD81 OA-GRA05 SPL-21</p>	<p>CRU-QC ME-ICP06 PUL-31 TOT-ICP06</p>
<p>Au-ICP21 DISP-01 ME-MS42 PUL-QC WEI-21</p>	<p>C-IR07 LOG-22 ME-MS81 S-IR08</p>	<p>CRU-31 ME-4ACD81 OA-GRA05 SPL-21</p>	<p>CRU-QC ME-ICP06 PUL-31 TOT-ICP06</p>		

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Page: 1
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 18-MAR-2020
 Account: SURECO

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



CERTIFICATE VA20038115

Project: ONU200205

This report is for 15 Rock Chip samples submitted to our lab in Vancouver, BC, Canada on 14-FEB-2020.

The following have access to data associated with this certificate:

SATOSHI MACHIDA

I. SUZUKI

SAMPLE PREPARATION

ALS CODE	DESCRIPTION
WEI-21	Received Sample Weight
LOG-22	Sample login - Rcd w/o BarCode
CRU-31	Fine crushing - 70% <2mm
CRU-QC	Crushing QC Test
PUL-QC	Pulverizing QC Test
SPL-21	Split sample - riffle splitter
PUL-31	Pulverize up to 250g 85% <75 um
DISP-01	Disposal of all sample fractions

ANALYTICAL PROCEDURES

ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT
ME-MS81	Lithium Borate Fusion	ICP-MS
ME-MS42	Up to 34 elements by ICP-MS	ICP-MS
OA-GRA05	Loss on Ignition at 1000C	WST-SEQ
TOT-ICP06	Total Calculation for ICP06	
ME-4ACD81	Base Metals by 4-acid dig.	ICP-AES
Au-ICP21	Au 30g FA ICP-AES Finish	ICP-AES
C-IR17	Organic carbon by IR Spectroscopy	LECO
ME-ICP06	Whole Rock Package - ICP-AES	ICP-AES
C-IR07	Total Carbon (IR Spectroscopy)	LECO
S-IR08	Total Sulphur (IR Spectroscopy)	LECO

This is the Final Report and supersedes any preliminary report with this certificate number. Results apply to samples as submitted. All pages of this report have been checked and approved for release.

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

Signature:

Saa Traxler, General Manager, North Vancouver

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Project: **ONU200205**

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



Page: 2 - A
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 18-MAR-2020
 Account: SURECO

		CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20038115														
Method Analyte Units LOD	Sample Description	WEI-21 Recvd Wt. kg	ME-ICP06 SiO2 %	ME-ICP06 Al2O3 %	ME-ICP06 Fe2O3 %	ME-ICP06 CaO %	ME-ICP06 MgO %	ME-ICP06 Na2O %	ME-ICP06 K2O %	ME-ICP06 Cr2O3 %	ME-ICP06 TiO2 %	ME-ICP06 MnO %	ME-ICP06 P2O5 %	ME-ICP06 SrO %	ME-ICP06 BaO %	OA-GRA05 LOI %
	20.01.29.01 JICA-R01	0.26	28.5	30.8	16.80	1.54	0.24	0.12	0.02	0.002	0.99	0.16	5.29	0.28	0.57	13.55
	20.01.29.02 JICA-R02	0.54	14.15	21.2	24.7	1.35	0.51	0.43	2.09	0.005	15.25	0.54	6.68	0.42	2.01	9.38
	20.01.29.03 JICA-R03	0.60	25.9	29.7	19.05	1.71	0.49	0.53	2.07	0.004	1.07	0.43	5.70	0.21	0.53	12.40
	20.01.29.04 JICA-R04	0.58	3.17	15.10	54.1	2.81	0.32	0.11	0.07	0.006	0.76	0.42	10.35	0.56	0.75	10.80
	20.01.29.05 JICA-R05	0.32	29.6	30.6	17.75	0.84	0.13	0.10	0.09	0.006	2.25	0.29	3.67	0.14	0.33	13.45
	20.01.29.06 JICA-R06	0.26	1.71	30.5	6.12	5.08	0.17	0.05	0.14	0.002	1.20	5.67	23.8	2.79	4.85	16.55
	20.01.29.07 JICA-R07	0.38	3.73	14.80	46.5	4.14	0.17	0.11	0.06	0.008	2.95	1.18	12.10	0.31	0.82	12.10
	20.01.29.08 JICA-R08	0.32	36.2	32.2	11.85	0.38	0.22	0.38	0.12	0.003	1.44	0.27	2.61	0.03	0.06	14.50
	20.01.29.09 JICA-R09	0.48	2.19	14.75	34.0	0.89	0.24	0.03	0.40	0.004	0.98	22.6	5.28	0.64	1.17	15.30
	20.01.29.10 JICA-R10	0.54	12.00	20.5	26.8	7.78	0.23	0.09	0.16	0.021	6.97	0.24	12.00	0.64	0.68	11.65
	20.01.31.01 JICA-C01	0.36	57.1	13.75	2.18	0.86	1.22	0.37	3.05	0.040	0.67	0.02	0.44	0.03	0.09	19.05
	20.01.31.02 JICA-C02	0.26	52.9	16.80	2.64	0.30	1.63	0.32	4.53	0.024	0.89	1.44	0.45	0.05	0.21	14.00
	20.01.31.03 JICA-C03	0.30	70.4	10.60	3.18	0.53	0.45	0.10	2.73	0.032	1.04	0.03	0.85	0.04	0.15	10.10
	20.01.31.04 JICA-C04	0.54	62.0	8.92	0.95	0.01	0.53	0.15	2.54	0.054	0.51	0.01	0.06	0.01	0.09	18.55
	20.01.31.05 JICA-C05	0.34	57.2	16.05	0.74	0.02	1.05	0.20	5.03	0.029	0.72	0.04	0.02	<0.01	0.12	15.45

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry

Project: ONU200205



Page: 2 - B
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 18-MAR-2020
 Account: SURECO

		CERTIFICATE OF ANALYSIS														VA20038115	
Sample Description	Method Analyte Units LOD	TOT-ICP06	C-IR07	S-IR08	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81	ME-MS81
		Total %	C %	S %	Ba ppm	Ce ppm	Cr ppm	Cs ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Ga ppm	Gd ppm	Ce ppm	Hf ppm	Ho ppm	
20.01.29.01	JICA-R01	98.86	0.03	0.04	5450	488	20	0.28	26.2	13.35	9.51	43.9	29.5	<5	16.8	4.74	
20.01.29.02	JICA-R02	98.72	0.05	0.02	>10000	2390	30	4.10	62.9	25.1	41.4	44.7	114.0	<5	54.7	9.89	
20.01.29.03	JICA-R03	99.79	0.02	0.02	5080	482	20	3.46	18.05	8.18	8.55	49.0	24.6	<5	12.7	3.08	
20.01.29.04	JICA-R04	99.33	0.05	0.03	7080	3880	40	0.18	151.0	67.4	75.9	64.2	221	<5	13.6	25.0	
20.01.29.05	JICA-R05	99.25	0.03	0.02	3000	393	40	0.45	24.9	10.85	13.80	45.2	43.1	<5	23.6	4.19	
20.01.29.06	JICA-R06	98.63	0.94	0.18	>10000	431	10	0.31	8.32	3.38	6.37	36.4	16.40	<5	13.9	1.27	
20.01.29.07	JICA-R07	98.98	0.06	0.02	7840	1320	50	0.56	43.9	18.55	23.2	43.1	67.2	<5	12.0	7.03	
20.01.29.08	JICA-R08	100.26	0.02	<0.01	512	178.0	20	1.40	7.64	5.00	2.83	58.3	8.76	<5	38.1	1.55	
20.01.29.09	JICA-R09	98.47	0.10	0.03	>10000	1215	20	0.62	41.0	14.80	26.4	25.6	72.3	<5	10.5	6.17	
20.01.29.10	JICA-R10	99.76	0.19	0.09	6600	1120	140	1.73	28.0	11.35	19.10	36.6	50.4	<5	16.4	4.27	
20.01.31.01	JICA-C01	98.87	14.60	0.07	862	79.0	280	4.79	6.58	3.96	1.13	19.2	6.48	<5	4.0	1.21	
20.01.31.02	JICA-C02	96.18	10.55	0.01	1960	153.0	170	5.79	6.56	3.17	2.60	26.2	9.39	<5	4.9	1.14	
20.01.31.03	JICA-C03	100.23	7.47	0.01	1385	154.0	220	3.34	8.86	5.51	2.06	18.9	11.30	<5	4.5	1.80	
20.01.31.04	JICA-C04	94.38	17.90	0.01	823	62.3	390	3.74	5.98	3.91	1.08	13.2	6.34	<5	3.5	1.18	
20.01.31.05	JICA-C05	96.67	12.95	<0.01	1080	68.2	210	7.24	3.24	1.81	0.55	25.3	4.37	<5	4.1	0.62	

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Project: **ONU200205**

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



Page: 2 - C
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 18-MAR-2020
 Account: SURECO

		CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20038115													
Sample Description	Method Analyte Units LOD	La	Lu	Nb	Nd	Pr	Rb	Sm	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
20.01.29.01	JICA-R01	214	1.28	586	188.5	52.9	0.9	31.7	2310	11.7	4.37	66.9	1.53	6.95	187
20.01.29.02	JICA-R02	1005	2.09	1310	1130	304	69.6	168.0	3550	87.9	12.65	114.0	2.58	29.8	335
20.01.29.03	JICA-R03	221	0.91	244	201	55.3	57.9	32.6	1720	9.7	3.16	41.0	0.95	14.85	170
20.01.29.04	JICA-R04	1790	6.39	667	1900	507	1.8	290	4690	134.0	26.9	47.2	8.02	57.3	467
20.01.29.05	JICA-R05	212	0.78	344	280	62.4	3.0	49.2	1135	22.8	4.79	16.15	1.09	28.9	192
20.01.29.06	JICA-R06	1850	0.54	252	193.5	51.3	4.5	28.4	>10000	17.6	1.71	16.95	0.40	26.9	94
20.01.29.07	JICA-R07	664	1.70	530	566	154.5	3.2	92.4	2600	29.8	8.06	40.4	2.17	37.6	688
20.01.29.08	JICA-R08	919	0.58	147.5	76.9	21.4	5.1	10.20	267	10.7	1.08	8.83	0.56	8.37	173
20.01.29.09	JICA-R09	539	1.23	1575	597	152.5	12.3	102.5	5230	33.7	8.03	100.0	1.63	25.8	180
20.01.29.10	JICA-R10	452	1.25	439	547	142.5	10.7	82.0	5230	52.8	5.37	92.4	1.42	18.85	363
20.01.31.01	JICA-C01	45.4	0.55	21.3	39.7	11.10	127.5	8.05	290	1.6	1.02	18.00	0.52	13.25	193
20.01.31.02	JICA-C02	74.6	0.37	116.0	73.9	19.85	187.0	13.15	473	3.7	1.20	28.0	0.38	5.41	237
20.01.31.03	JICA-C03	76.6	0.65	43.3	78.2	21.2	128.0	14.50	357	4.2	1.50	22.8	0.70	5.88	111
20.01.31.04	JICA-C04	36.2	0.53	15.1	35.7	9.22	101.5	7.05	94.0	0.8	0.88	16.45	0.51	7.81	154
20.01.31.05	JICA-C05	37.1	0.24	20.9	31.1	8.84	227	5.86	64.0	1.4	0.60	18.95	0.20	4.71	243

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Project: **ONU200205**

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



Page: 2 - D
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 18-MAR-2020
 Account: SURECO

		CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20038115														
Sample Description	Method Analyte Units LOD	W	Y	Yb	Zr	As	Bi	Hg	In	Re	Sb	Se	Te	Tl	Ag	Cd
20.01.29.01	JICA-R01	3	128.5	9.21	649	3.7	0.07	<0.005	0.345	0.001	0.11	<0.2	0.02	0.09	<0.5	1.2
20.01.29.02	JICA-R02	4	246	14.55	1830	2.0	0.18	0.675	0.390	0.002	0.13	<0.2	0.10	21.7	14.2	<0.5
20.01.29.03	JICA-R03	1	78.2	5.99	532	3.1	0.09	0.300	0.312	0.001	0.11	<0.2	0.03	14.55	25.6	0.5
20.01.29.04	JICA-R04	1	652	49.1	876	8.5	0.81	<0.005	0.713	0.002	1.02	<0.2	0.16	1.10	<0.5	<0.5
20.01.29.05	JICA-R05	1	126.5	5.78	1555	2.1	0.08	0.036	0.183	0.001	0.05	<0.2	0.10	1.04	<0.5	<0.5
20.01.29.06	JICA-R06	2	35.0	2.71	1135	3.6	0.07	0.026	0.069	0.001	0.15	<0.2	0.33	2.96	<0.5	0.8
20.01.29.07	JICA-R07	2	171.5	12.85	507	15.5	0.25	0.220	0.356	0.001	0.70	<0.2	0.21	0.26	5.5	1.1
20.01.29.08	JICA-R08	1	48.0	3.83	2750	5.2	0.01	0.008	0.133	<0.001	<0.05	<0.2	0.01	0.20	<0.5	<0.5
20.01.29.09	JICA-R09	1	147.0	8.86	517	18.6	0.09	0.074	0.356	0.001	0.31	<0.2	0.17	4.02	<0.5	7.4
20.01.29.10	JICA-R10	3	107.5	8.83	680	7.6	0.16	0.114	0.242	0.001	0.58	0.2	0.21	0.23	<0.5	<0.5
20.01.31.01	JICA-C01	4	36.6	3.87	153	4.1	0.10	<0.005	0.066	0.003	<0.05	7.5	<0.01	0.45	<0.5	0.8
20.01.31.02	JICA-C02	4	28.6	2.46	184	1.1	0.08	<0.005	0.031	<0.001	0.06	0.2	0.08	0.37	<0.5	0.7
20.01.31.03	JICA-C03	2	55.8	4.39	168	1.5	0.68	0.009	0.051	<0.001	0.18	5.1	0.04	0.13	<0.5	<0.5
20.01.31.04	JICA-C04	3	38.2	3.72	130	0.7	0.08	<0.005	0.007	0.001	<0.05	0.4	<0.01	0.21	<0.5	<0.5
20.01.31.05	JICA-C05	4	15.9	1.49	140	1.4	0.46	<0.005	0.019	<0.001	0.08	0.5	0.03	0.22	<0.5	<0.5

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
MINATO-KU TOKYO 1050001
JAPAN

Project: **ONU200205**

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry



Page: 2 - E
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 18-MAR-2020
 Account: SURECO

CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20038115														
Sample Description	Method Analyte Units LOD	Co ppm	Cu ppm	Li ppm	Mo ppm	Ni ppm	Pb ppm	Sc ppm	Zn ppm	Au ppm	Au-ICP21 ppm	ME-4ACD81 ppm	ME-4ACD81 ppm	C-IR17 C organic %
20.01.29.01 JICA-R01		5	121	<10	1	36	36	47	884	0.003	0.001	47	884	0.003
20.01.29.02 JICA-R02		55	450	<10	3	40	83	87	597	1.490	0.001	87	597	1.490
20.01.29.03 JICA-R03		22	165	40	1	38	50	49	525	0.006	0.001	49	525	0.006
20.01.29.04 JICA-R04		38	94	<10	4	68	546	62	1265	0.005	0.001	62	1265	0.005
20.01.29.05 JICA-R05		72	956	30	2	64	43	24	273	0.001	0.001	24	273	0.001
20.01.29.06 JICA-R06		47	746	<10	3	9	35	5	425	0.030	0.001	5	425	0.030
20.01.29.07 JICA-R07		98	1065	<10	3	48	146	69	746	0.007	0.001	69	746	0.007
20.01.29.08 JICA-R08		70	214	10	<1	13	3	17	135	0.001	0.001	17	135	0.001
20.01.29.09 JICA-R09		816	263	20	<1	204	76	40	865	<0.001	0.001	40	865	<0.001
20.01.29.10 JICA-R10		29	144	40	1	48	40	60	211	0.002	0.001	60	211	0.002
20.01.31.01 JICA-C01		5	36	20	5	71	20	15	96	0.001	0.001	15	96	13.80
20.01.31.02 JICA-C02		52	21	30	1	17	28	20	77	<0.001	<0.001	20	77	10.45
20.01.31.03 JICA-C03		3	56	20	2	9	10	18	28	<0.001	<0.001	18	28	7.33
20.01.31.04 JICA-C04		1	14	10	1	11	12	14	7	0.001	0.001	14	7	17.55
20.01.31.05 JICA-C05		2	2	20	2	4	22	17	7	0.002	0.002	17	7	12.85

***** See Appendix Page for comments regarding this certificate *****

ALS Canada Ltd.
 2103 Dollarton Hwy
 North Vancouver BC V7H 0A7
 Phone: +1 (604) 984 0221 Fax: +1 (604) 984 0218
 www.alsglobal.com/geochemistry

To: **SUMIKO RESOURCES EXPLORATION & DEVELOPMENT CO.**
 8-21, 3-CHOME, TORANOMON,
 MINATO-KU TOKYO 1050001
 JAPAN

Project: ONU200205
CERTIFICATE OF ANALYSIS VA20038115



Page: Appendix 1
 Total # Appendix Pages: 1
 Finalized Date: 18-MAR-2020
 Account: SURECO

CERTIFICATE COMMENTS																
<p>Applies to Method:</p>	<p>Processed at ALS Vancouver located at 2103 Dollarton Hwy, North Vancouver, BC, Canada.</p> <p>LABORATORY ADDRESSES</p> <table border="0"> <tr> <td>C-IR07</td> <td>C-IR17</td> <td>CRU-31</td> </tr> <tr> <td>DISP-01</td> <td>LOG-22</td> <td>ME-4ACD81</td> </tr> <tr> <td>ME-MS42</td> <td>ME-MS81</td> <td>OA-GRA05</td> </tr> <tr> <td>PUL-QC</td> <td>S-IR08</td> <td>SPL-21</td> </tr> <tr> <td>WEI-21</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	C-IR07	C-IR17	CRU-31	DISP-01	LOG-22	ME-4ACD81	ME-MS42	ME-MS81	OA-GRA05	PUL-QC	S-IR08	SPL-21	WEI-21		
C-IR07	C-IR17	CRU-31														
DISP-01	LOG-22	ME-4ACD81														
ME-MS42	ME-MS81	OA-GRA05														
PUL-QC	S-IR08	SPL-21														
WEI-21																