

第4章 アタプ地域における地質調査

4.1 はじめに

2006年6月のインセプション・レポートの協議において、「ラ」国側より120万の地質・鉱物資源図を作成するために現地地質調査を行う「重点地質調査地域」として、アタプ地域（東西180km、南北80km）が提案された。アタプ地域はこれまで詳細な調査が実施されておらず、しかしながら金などの鉱物資源のポテンシャルが高いところとして知られていることから、当地域が「重点地質調査地域」として選択された。

4.2 地質局（DGEO）の地質担当部の現状と課題

4.2.1 現状

地質局(DGEO)の地質担当部は Siphandone 地質部長を含む総勢8名の人員から構成される。地質部職員は部長1名、副部長2名、地質主任技術者1名、地質技師4名からなる。年代構成として40代が2名、30代が2名および20代が4名である。学歴としてはロシアの大学院を卒業した職員は3名、技術高等学校を卒業した職員が5名である。

「ラ」国全土の120万地質図は、本プロジェクト開始時点には14地域が完成していた。2007年には、ベトナムのDGMVの技術協力で実施されている「ラ」国の北部の120万地質図が完成し、2008年にそのデジタル化も完了した。また、「アタプ地域」を含む南部地域でもDGMVの技術協力による「ボーキサイト及び他の鉱物資源調査」と120万の地質図作成が並行して実施されており、2008年までに終了する予定である。玄武岩台地にボーキサイト鉱徴地があり、7つのレンズ状鉱体が確認されている。各種の資源開発評価調査報告書は鉱山関連セクターに保管されており、契約期限が過ぎたものは図書館で閲覧可能である。論文等は図書館で閲覧可能であるが、収蔵資料数は少ない。地質構造図は、1988年、ロシアのPhan Cu Tienが現地調査、衛星画像、空中写真解析に基づいて1:1,000,000縮尺のインドシナ地質図を統括、編纂し、主要地質構造のみを表示したものである。

地形図は1/100万、1/50万、1/20万、1/10万、1/5万がある。アタプ地域については1/5万の地形図までである。国土地理院は1/5万の空中写真を所有し、DGEOの手続きを経て入手可能である。

「ラ」国で実施された地化学探査報告書は、ベトナム国支援の調査で実施された地質調査報告書にまとめられたもの以外にはない。

4.2.2 課題

DGEOの職員の年代構成および学歴からみて、若い地質技師の教育が問題となっている。民間に就職した地質技師は会社でトレーニングを受けているが、政府に入った職員はその機会がないので、技術支援プロジェクトを通じて地質調査のトレーニングが必要である。

DGEOはソ連式あるいは中国式の地質調査手法を行っておらず、DGEO独自の調査マニュアルもないので、調査の度ごとに調査方法が異なる。岩石記載、凡例などの統一された基準が必要である。また調査に対する評価基準、環境基準などもない状況である。

地質調査用具に関連し、DGEOが所有する調査用品はハンマー、ブランドンコンパス、ルーペ（10～20倍）であるが、台数が2～3台しかなく、調査用品に乏しい。

4.3 地質調査実施計画の作成

4.3.1 予備調査の結果

「重点地質調査地域」として選定されたアタプ地域における現地調査の実施計画を作成するために、当地域の現況調査を実施した。日本側からは後藤および根岸の2名、「ラ」国側からはKhampha副局長がこの調査に参加した。

1/20 万の地質図（2 葉）を作成するアタプ地域内の主要道路は、Pakxe - Paksong - B.Thateng - B.Mo - アタプ - ベトナム国境までの舗装道路のみであり、主要道路以外の車両通行可能な道路は少なく、アタプ市の西部と南部に、また Paksong の周辺にわずかに未舗装道路が存在する。雨期には未舗装道路は泥濘となり、通行可能な道路も通行不能になることが多い。また、Xe Kong 川や Xe Kaman 川の対岸に走る未舗装道路に行くには、2 箇所の船着場のフェリーで渡らなければならない。アタプ市東部の Paam 村から先の未舗装道路は、山岳地域の入り口の Xe Kaman 川に沿って約 20km 通行可能であったが、その間にある橋はかなり崩壊している。

アタプ地域の地質図（2 葉）を作成する地域内では、地質を確認できる露頭の露出は、一般に少ない。その中でも、新規に建設されたアタプ市とベトナム国境を結ぶ山岳地域を走る舗装道路沿いには、他の地域に比較して、切り土となった露頭が比較的連続する。ここでは地域の地質断面図を作成し、地質構造を検討するのに重要である。また、Xe Namnoy 川に沿った道路沿いでは Bolaven 台地を構成する地質を観察することができる。

以上のような現地視察調査から、地質調査のためのアクセスが非常に厳しいということが分かった。特に調査地域東部は調査条件の悪い、また植生密度の高いジャングルや山岳地域であり、車が入れる道路はまったくなく、また人の住む村落も少ないことが分かった。

4.3.2 調査体制の確立と調査ルートを選定

1/20 万の地質図・鉱物資源図作成のために、各作業及び現場において、CP のキャパシティ・ディベロップメントを具現化するため、調査報告・検討・問題点の解決・調査ルートの検討などを議論する目的でチームミーティングを実施する。調査開始当初はチーム内の技術的な意思統一を図るため、チームミーティング開催の頻度を多くする。調査結果に基づいて、期待される鉱床のモデルを作成する。

地質調査対象地域であるアタプ地域は、低地も広く分布し、特に東部はアクセスの悪い開発されていない山地であることから、雨季には河川の水位上昇や氾濫の影響等で道路事情が非常に悪くなる。このため雨季の調査は非効率であり、雨季明け後もしばらくは調査地域が制限される。したがって季節と道路状況を考慮して調査ルートの選定を行う必要がある。つまり、12 月までは主要道路沿いのルートでの調査、1 月以降に山地部も含めたルートによる調査を行うことが適当である。また、東部の山地部は道路のみならず居住地の分布も限られていることから、テントなどを使用したキャンプによる地質調査が必要であり、十分な装備や食料運搬などのための人夫の調達も必要である。また、降雨による急な河川の増水も想定されることから、安全管理には充分注意を払う必要がある。

1/20 万の地質図・鉱物資源図作成のための第 2 次および第 3 次現地調査で採取した試料数と、鉱徴地調査（詳細地質調査）の第 5 次および第 6 次現地調査で採取した試料数を併せて表 4.3.1 に示す。

第 2 次～第 6 次現地調査において採取、観察、分析および測定を行った試料数を表 4.3.1 に示す。

表 4.3.1 「重点地質調査」と「鉱徴地調査」における分析項目および採取試料数

分析項目及び成分	数量 (個)	調査段階別数量内訳(個)			
		重点地質調査		鉱徴地調査	
		第二次 現地調査	第三次 現地調査	第五次 現地調査	第六次 現地調査
(1)岩石薄片作成	124	52	25	35	12
(2)鉱石研磨片	57	8	9	26	14
(3)X線回折試験	90	13	27	30	20
(4)岩石分析 SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, MnO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , LOI, Rb, Sr, Ba, Zr, V, Nb, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu: 32成分	45	10	10	20	5
(5)鉱石分析 Au, Ag, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Sn, TiO ₂ : 10成分	185	19	29	57	80
(6)沢砂分析 Au, Sb, Ag, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Ti, Sn, W: 12成分	978	250	229	319	180
(7)帯磁率測定	100	30	30	20	20
(8)流体包有物測定	15			10	5
(9)年代測定 K-Ar法 or Ar-Ar法	15			12	3

4.4 アタプ地域の衛星画像作成

使用した衛星データは、日本が開発・製作したセンサーである TERRA/ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (以下、ASTER)) および ALOS/PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Rader (以下、PALSAR)) のデータである。

両データの諸元と入手データを以下に説明する。

4.4.1 ASTER データ

作成した ASTER 画像を図 4.4.1 および図 4.4.2 に示し、ASTER データの諸元を表 4.4.1 に示す。なお、ASTER による地表観測は高度 705km 上空からであり、観測のための地表回帰日数は 16 日である。

1) 使用データ

本対象地域全域をカバーする 14 シーンの ASTER データのリストを表 4.4.2 に示す。使用したデータは、全て幾何補正済みデータである。

2) データ処理

ASTER データの画像化および画像モザイク処理は、米国 ERDAS 社の画像処理ソフトウェア「Imagine」等を使用して行なった。画像化されたデータのジオコード処理は、衛星軌道データから得られている座標を入力して行なった。使用したデータの投影法は UTM で、測地系は WGS84 (Zone48) である。

ジオコード化処理後の画像データに対して、視覚的に鮮明な画像にするために、エッジ強調処理およびコントラストストレッチ処理を施した。

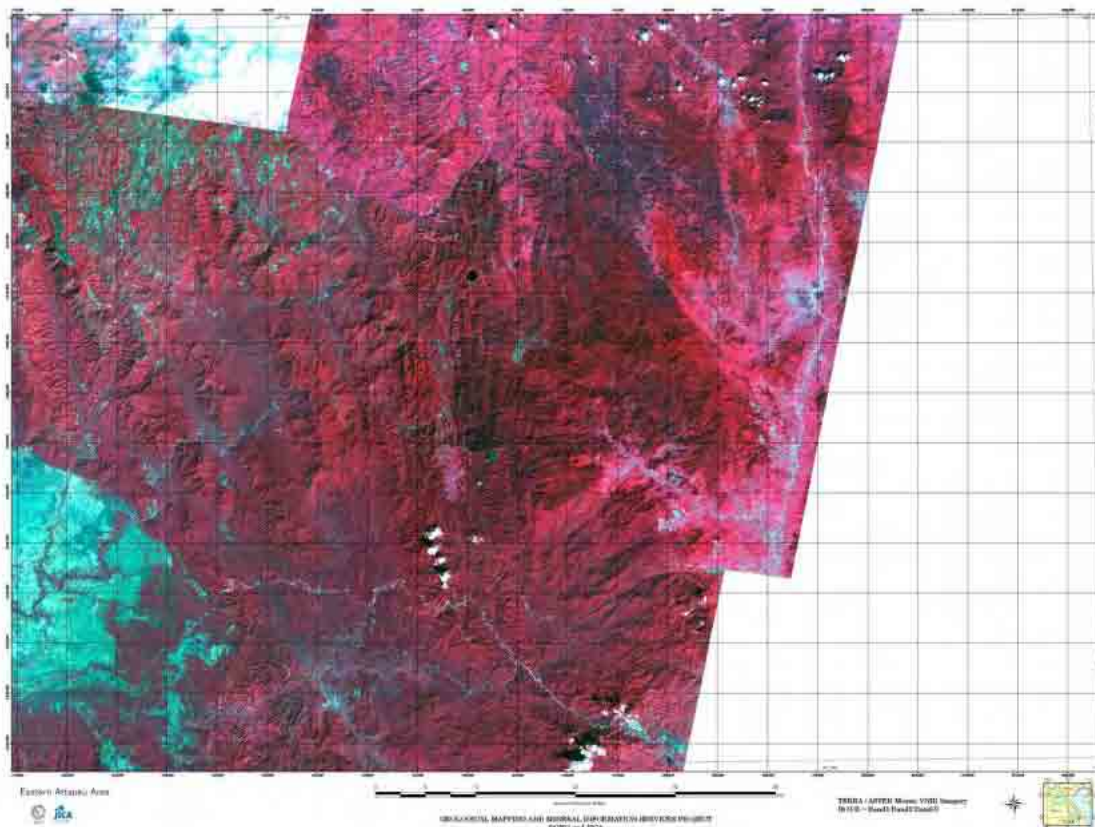


図 4.4.1 バン・ダクヨイ (B.Dakyoy) 図幅の ASTER VNIRモザイク画像

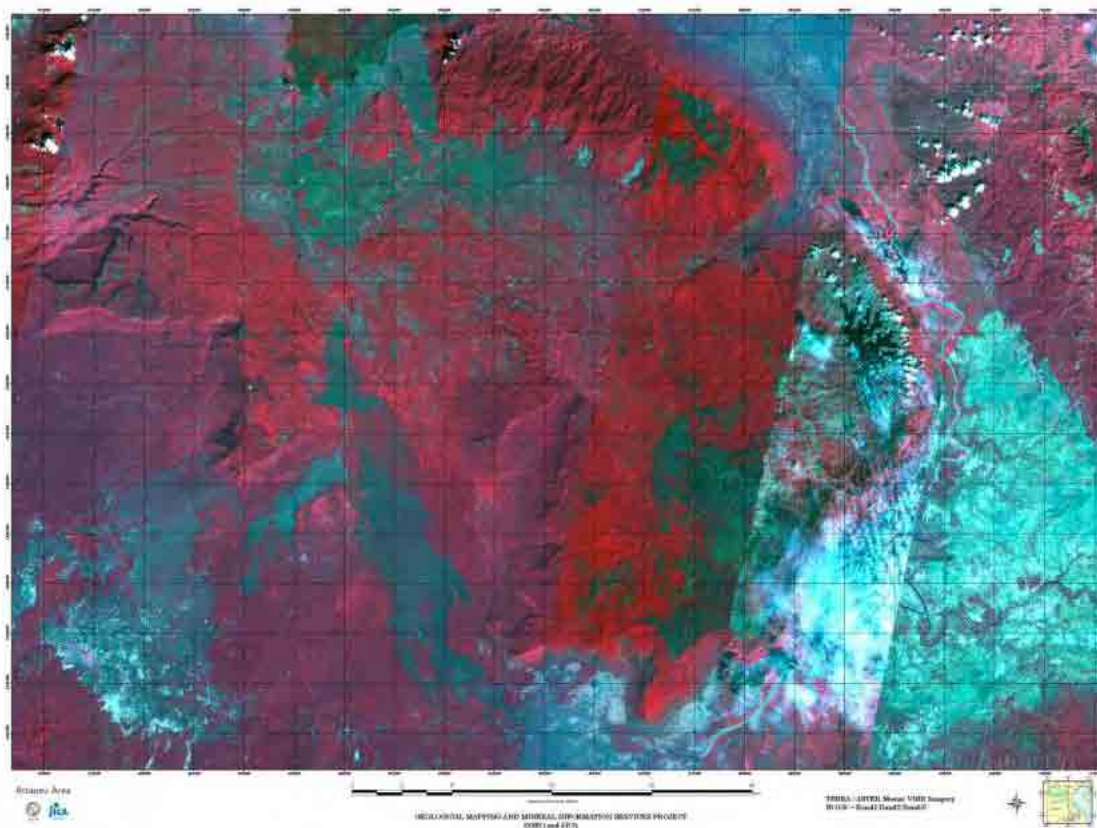


図 4.4.2 アタプ (Attapu) 図幅の ASTER VNIRモザイク画像

表 4.4.1 使用した ASTER データの諸元

VNIR (Visible and Near-Infrared Radiometer)				
Band	Wave Length (μm)	Spatial Resolution (m)	Scan Width (km)	Remarks
1	0.52~0.60	15	60	Nadir viewing
2	0.63~0.69	15	60	Nadir viewing
3	0.76~0.86	15	60	Nadir viewing
Stereoscopic	0.76~0.86	15	60	Backward viewing (27.6)
SWIR (Short Wave Infrared Radiometer)				
Band	Wave Length (μm)	Spatial Resolution (m)	Scan Width (km)	Remarks
4	1.600~1.700	30	60	Nadir viewing
5	2.145~2.185	30	60	Nadir viewing
6	2.185~2.225	30	60	Nadir viewing
7	2.235~2.285	30	60	Nadir viewing
8	2.295~2.365	30	60	Nadir viewing
9	2.360~2.430	30	60	Nadir viewing
TIR (Thermal Infrared Radiometer)				
Band	Wave Length (μm)	Spatial Resolution (m)	Scan Width (km)	Remarks
10	8.125~8.475	90	60	Nadir viewing
11	8.475~8.825	90	60	Nadir viewing
12	8.925~9.275	90	60	Nadir viewing
13	10.25~10.95	90	60	Nadir viewing
14	10.95~11.65	90	60	Nadir viewing

表 4.4.2 使用した ASTER データ

Path	Row	View	Date	Granule ID
125	141	2	2005-03-09	ASTL1A0503090329480503150765
125	140	2	2005-03-09	ASTL1A0503090329390503150764
125	139	2	2005-03-09	ASTL1A0503090329300503150763
125	141	5	2004-12-19	ASTL1A0412190329330501050148
125	140	5	2004-12-19	ASTL1A0412190329240501050147
125	141	2	2004-01-18	ASTL1A0401180331220403250019
125	140	2	2004-01-18	ASTL1A0401180331140403250018
125	141	4	2002-02-13	ASTL1A0202130331580202251022
125	140	4	2002-02-13	ASTL1A0202130331490202251021
125	140	1	2002-01-12	ASTL1A0201120332480202040776
124	140	1	2001-10-17	ASTL1A0110170329450110280623
125	141	4	2001-10-24	ASTL1A0110240335440111080434
125	140	4	2001-10-24	ASTL1A0110240335360111080433
125	139	4	2001-10-24	ASTL1A0110240335270111080432

4.4.2 PALSAR データ

作成した PALSAR 高分解能モード画像を図 4.4.3 および図 4.4.4 に示し、PALSAR データの諸元を表 4.4.3 に示す。尚、PALSAR による地表観測は高度 691km 上空からであり、観測のための地表回帰日数は 46 日である。

1) 使用データ

使用した PALSAR データのリストを表 4.4.4 に示す。対象地域全てをカバーするためのシーン数は合計 15 シーンである。なお、使用したデータは幾何補正済みデータであり、データの取得条件は、高精度モード、HH および HV 偏波、オフナディア角 34.3 度である。

2) データ処理

取得した PALSAR データの画像化および各種処理は、米国 ERDAS 社の画像処理ソフトウェア「Imagine」等を使用して行なった。画像化されたデータのジオコード処理は、衛星軌道データから得られている座標を入力して行なった。使用したデータの投影法は UTM で、測地系は WGS84 (Zone 48) である。また、一般に SAR データには地形起伏による歪（フォアショートニング）が生じている。そのため、この歪モデルを作成した後、オルソ補正処理を行なった。オルソ補正処理は、米国スペースシャトル SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) データによる地形データを参照して行なった。

ジオコードおよびオルソ補正処理後の画像データに対して、視覚的に鮮明な画像にするために、フィルター処理およびコントラストストレッチ処理を施した。

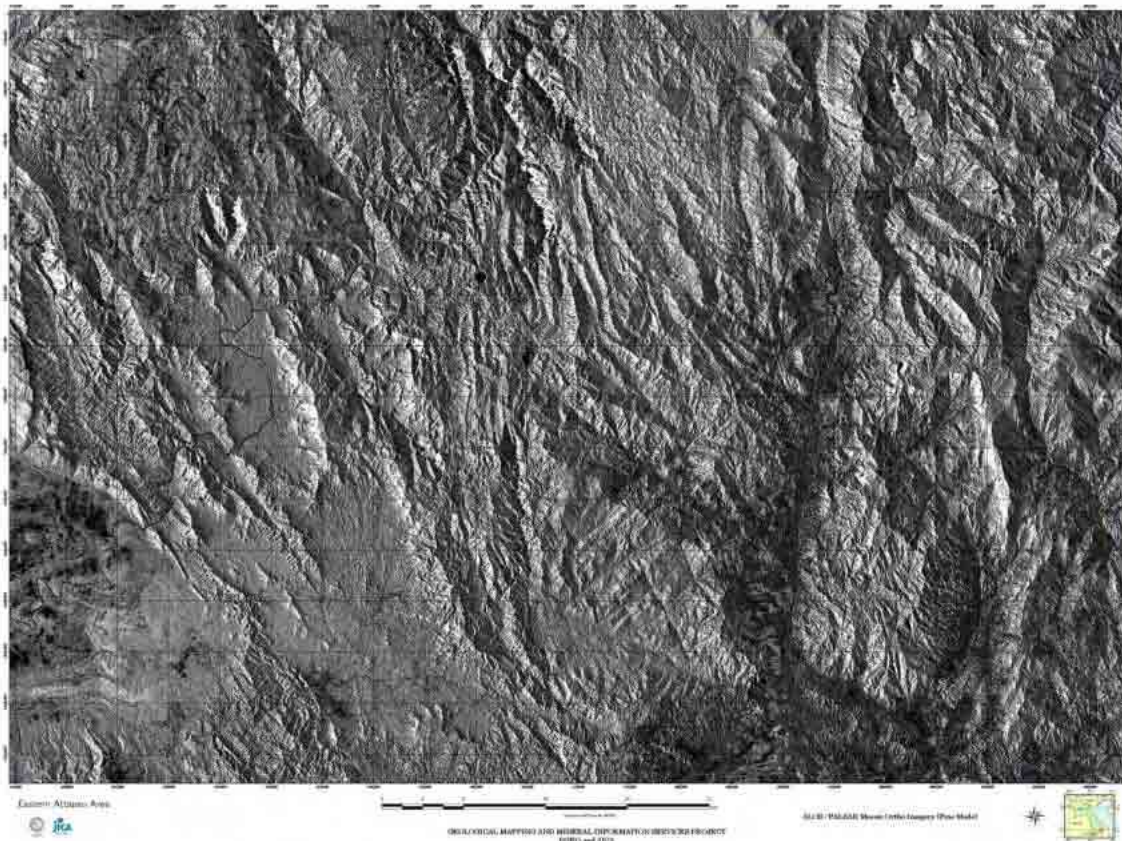


図 4.4.3 バン・ダクヨイ (B.Dakyoy) 図幅の PALSAR 高分解モードモザイク画像

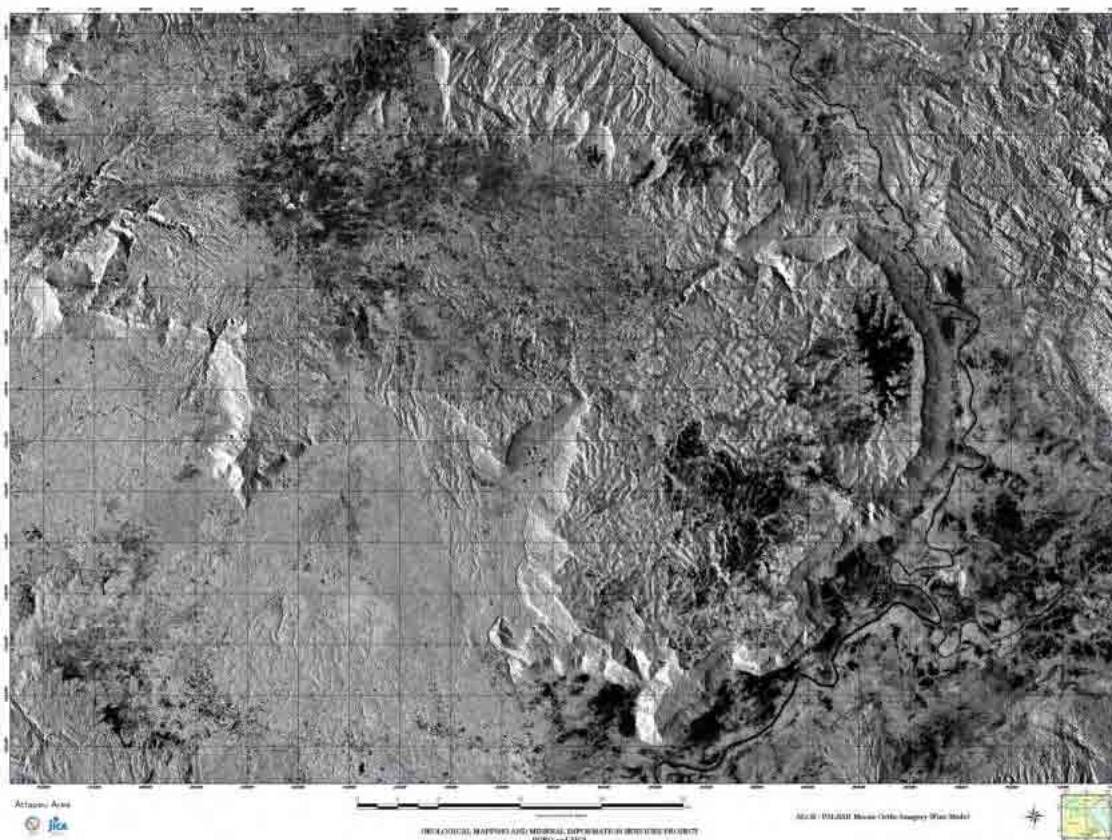


図 4.4.4 アタプ（Attapu）図幅の PALSAR 高分解モードモザイク画像

表 4.4.3 使用した PALSAR データの諸元

Mode	Polarization	Incident Angle (deg)	Spatial Resolution (m)	Scan Width (km)	NE sigma 0
High Resolution Mode	HH or VV / HH+HV or VV+VH	8 - 60 deg	10m (2 looks) 20m (4 looks)	70km	< -23dB
ScanSAR Mode	HH or VV	18 - 43 deg	100m (multilook)	250 - 350km	< -25dB
Polarimetric Mode	HH+HV+VH+VV	8 - 30 deg	30m	30km	< -29dB

表 4.4.4 使用した PALSAR データ

Path	Row	Polarization	OffNadir Angle (deg)	Date	Granule ID
473	28	HH	34.3	2007/2/14	PASL1500702141527420707250006
473	29	HH	34.3	2007/2/14	PASL1500702141527500707250007
473	30	HH	34.3	2007/2/14	PASL1500702141527580707250008
474	28	HH	34.3	2007/3/3	PASL1500703031529540707250012
474	29	HH	34.3	2007/3/3	PASL1500703031530020707250013
474	30	HH	34.3	2007/3/3	PASL1500703031530110707250014
475	28	HH	34.3	2007/2/2	PASL1500702021531560707250003
475	29	HH	34.3	2007/2/2	PASL1500702021532040707250004
475	30	HH	34.3	2007/2/2	PASL1500702021532120707250005
476	28	HH	34.3	2007/1/4	PASL1500701041533590709040001
476	29	HH	34.3	2007/1/4	PASL1500701041534070709040002
476	30	HH	34.3	2007/1/4	PASL1500701041534160709040003
477	28	HH	34.3	2007/1/21	PASL1500701211536130707250000
477	29	HH	34.3	2007/1/21	PASL1500701211536220707250001
477	30	HH	34.3	2007/1/21	PASL1500701211536300707250002

4.5 アタプ地域の地質および地質構造

地質調査の主な内容は、地表踏査、地質ルートマップの作成、地表露頭の各種記載、記載データの入力等である。地表から得られたデータに基づき、地質柱状図、地質断面図の作成を実施した。120万地質図作成の基礎となる地表地質記載データを付属資料4に示す。

以下、第2次～第6次現地地質調査から得られたデータに基づき、アタプ地域の地質を説明する。図4.5.1に調査ルート図を示す。また、図4.5.2および図4.5.3に調査から得られた地質岩相分布図を、図4.5.4に調査結果に基づく地質構造解釈図を示す。

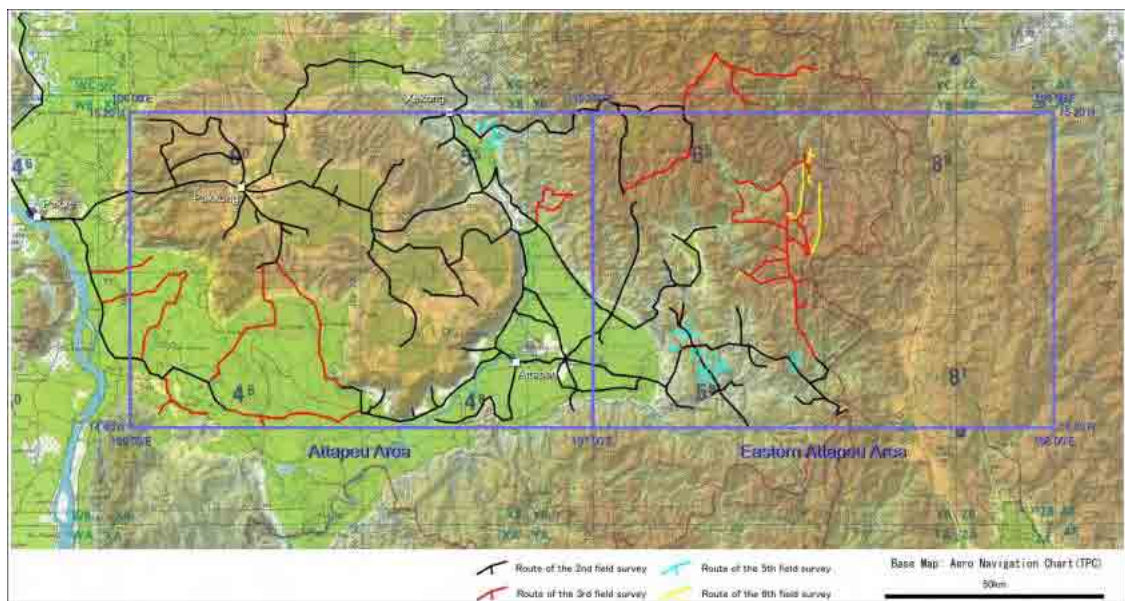


図 4.5.1 第2次～第6次現地地質調査における調査ルート

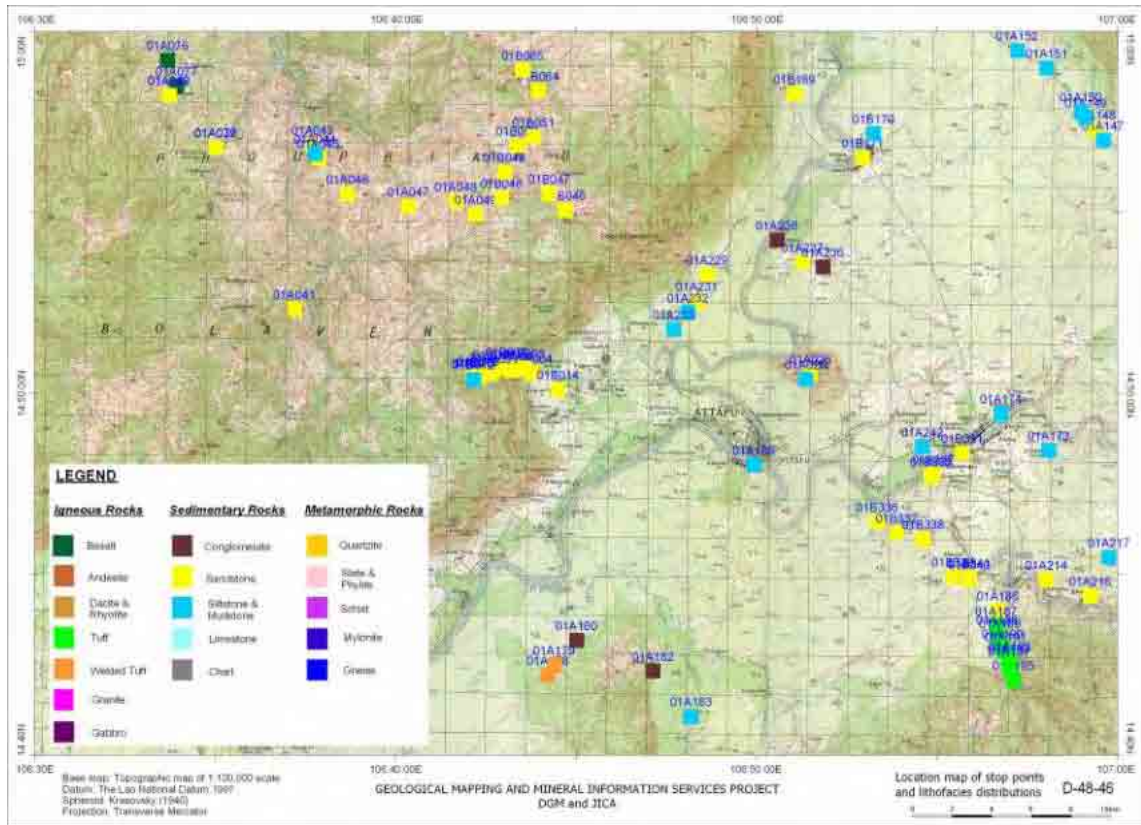


図 4.5.2 地質岩相分布図 (D-48-46)

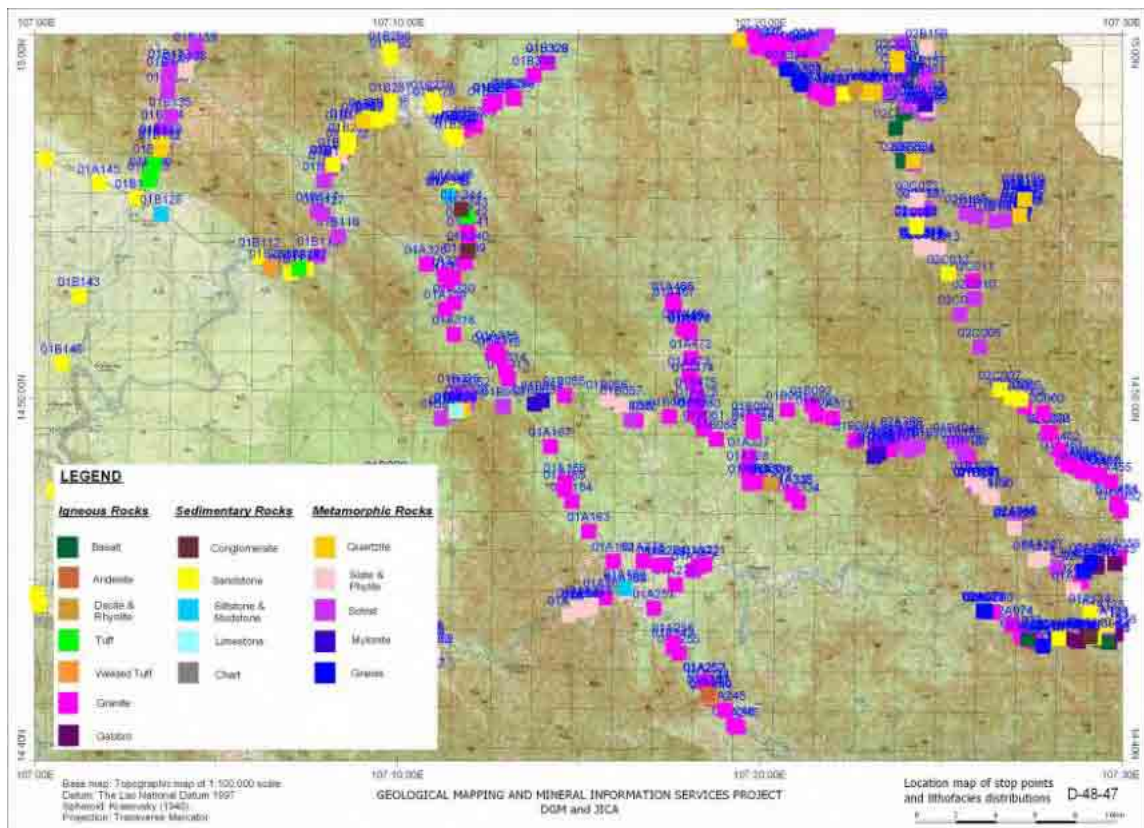


図 4.5.3 地質岩相分布図 (D-48-47)

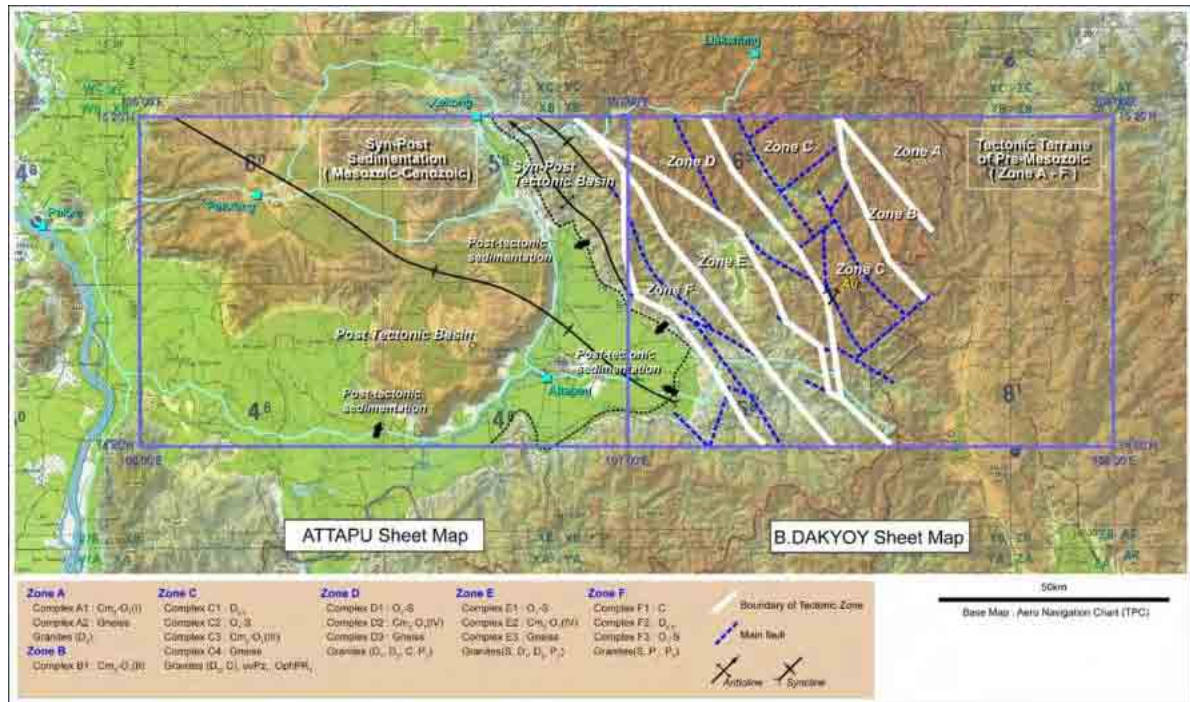


図 4.5.4 調査地域の構造解釈図

第2次～第6次現地地質調査における室内解析作業の結果を反映させ、当該地域の縮尺1/20万の地質図および鉱物資源図を作成した。

第1版の作成後、アタプ地域の周辺において地質図幅を作成中のベトナム地質鉱産局（Intergeo Division, Department of Geology and Minerals of Vietnam）の地質技師らとの地質・鉱床に関する意見交換を実施した。意見交換は第5次現地調査中の11月5日および6日にわたりアタプ県のDEM内で行なった。

意見交換内容は以下のとおりである。

- 当該地域に隣接するベトナム地質鉱産局側作成の地質図と地質境界の整合
- 地層名および地質時代の対比
- ボラーベン台地に分布するボーキサイト鉱床の層準および成因

1/20万地質図および鉱物資源図の最終版の作成は、第6次現地地質調査後に行った。

以下にこれまでの現地地質調査から得られたアタプ地域の地質、地質構造および鉱物資源の概略を記載する。

4.5.1 バン・ダクヨイ図幅

1) 地質

バン・ダクヨイ (B.Dakyoy) 図幅内の地質は、大陸地殻の付加に関連すると考えられる片麻岩類をはじめ、斑レイ岩類、花崗岩類、泥質片岩優勢の変成岩類、粘板岩・変砂岩・礫岩主体の弱変成岩類、チャート・石灰岩、海成～陸成堆積岩類、流紋岩質～安山岩質火山岩類、玄武岩溶岩等から構成される。これら岩石の分布は各々まとまっており、構造的なテレーンを形成している。第2次および第3次現地調査結果に基づき作成した地質図を図4.5.5に示す。

上述の地質のうち、片麻岩類および斑レイ岩類は地域東部の山岳地東縁に分布する(写真4.5.1)。分布の伸長方向は北西-南東である。花崗岩類は地域中央部の山岳地に断続的に分布する。全体の分布の方向は北西-南東である。分布域を横断する東西方向の幅は約30kmに達する。岩体は単一ではなく、花崗岩(黒雲母花崗岩、両雲母花崗岩)、花崗閃緑岩(斑状花崗閃緑岩、片状花崗閃緑岩、花崗閃緑岩マイロナイト)(写真4.5.2)、石英閃緑岩および閃緑岩が各々単一の岩体として存在する。花崗閃緑岩や閃緑岩の一部には、石英および有色鉱物の定方向配列や雲母フィッシュ(mica-fish)に特徴付けられるマイロナイト組織や片状組織が認められる。これら組織は泥質片岩との地質境界や他の花崗岩体との境界部付近に発達する。また、花崗閃緑岩や両雲母花崗岩と泥質片岩との境界部には、砂岩・泥岩との混成相も認められる。

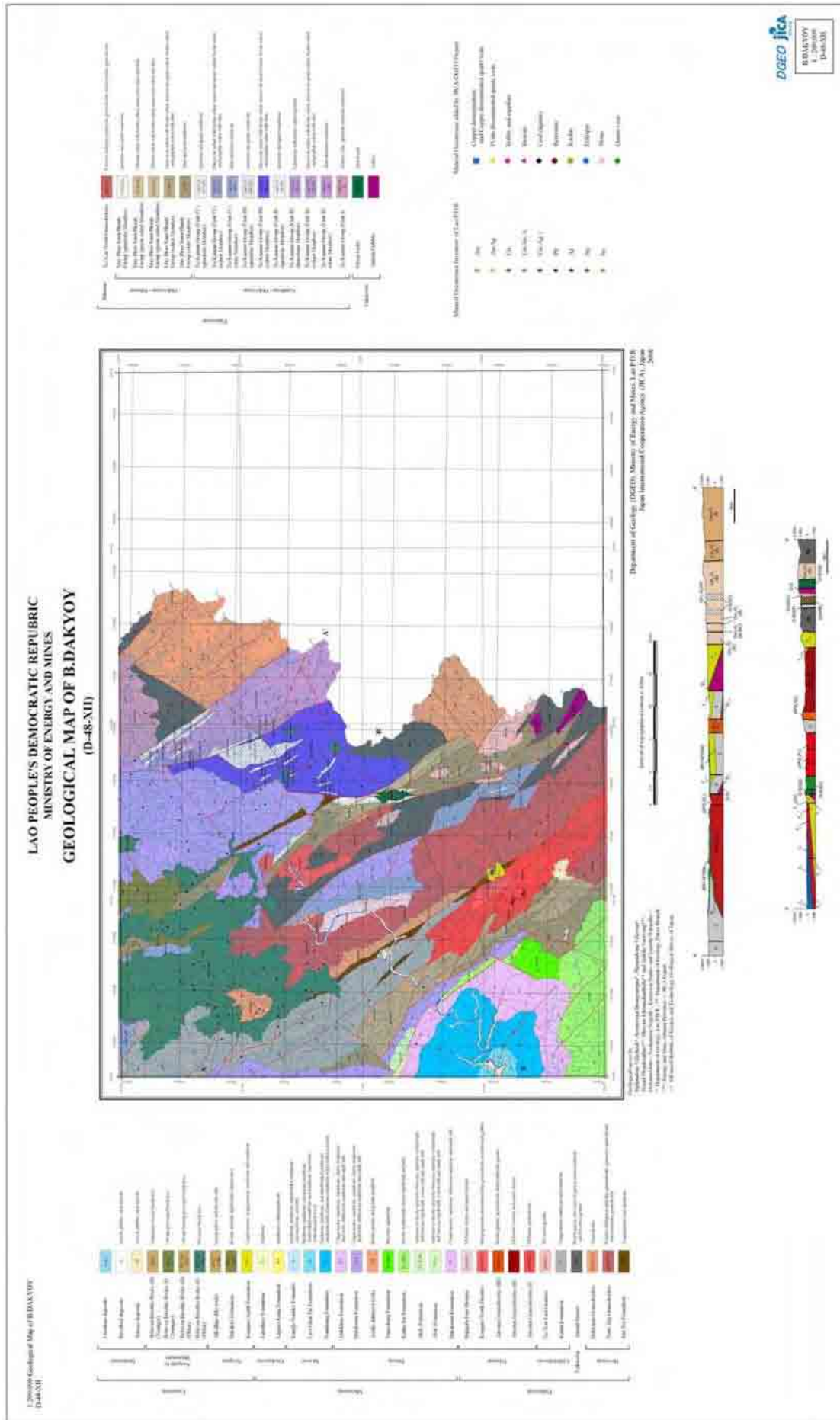


図 4.5.5 バン・ダクヨイ図幅の地質図



写真 4.5.1 地域東縁部国道 18B 沿いに分布する片麻岩



写真 4.5.2 地域中央部国道 18B 沿いに分布するカリ長石斑状花崗閃緑岩

粘板岩・変砂岩・礫岩主体の弱変成岩類は、山岳地域において広範囲に分布し、白雲母片岩や緑色片岩を主体にする泥質片岩や珪岩を伴う（写真 4.5.3）。このうち泥質片岩は弱変成岩類中に局所的に認められるケースが多く（写真 4.5.4）、剪断帯に相当する。珪岩は地域東部 Nong Fa 湖北方においては礫岩層の分布と密接となり、地域南東部の国道 18B 沿いでは片麻岩類の分布と密接である。片岩類および珪岩共に分布の伸長方向は北西－南東方向あるいは南北方向である。これら変成岩類は、基盤となる片麻岩類、斑レイ岩類、花崗岩類を挟むように北西－南東もしくは南北方向に伸長する。チャート・石灰岩は、粘板岩・変砂岩・礫岩主体の弱変成岩類や泥質片岩に挟まれて東部山岳地の北東縁に分布するが、その分布域は限られている。このうち石灰岩は泥質岩相を含まず、肉眼において均質である。Xe Kaman 川において、稀に礁成と考えられる白色石灰岩が認められる。



写真 4.5.3 地域中央部 Xe Kaman 川流域に分布する泥質片岩



写真 4.5.4 地域北部に認められる劈開を伴う粘板岩

海成～陸成堆積岩類は以上の地質体を被覆するかもしれない、対象地域中央部～西部の丘陵地から平野部にかけて分布する。海成～陸成堆積岩類は砂岩層や砂泥互層を主体にし、一部で薄い泥質石灰岩相を挟む。流紋岩質～安山岩質火山岩類は海成～陸成堆積岩類中に挟まれるか、一部で弱変成岩中に貫入し、地域西部～南部の丘陵地から平野部、山岳地にかけて分布する。岩相は流紋岩質～安山岩質イグニブライトを主体とし、一部に溶脱-付加型白色変質が認められる。貫入相は流紋岩を主体にし、セリサイト～カオリナイト変質が認められる。玄武岩溶岩は地域北部や北東部に分布する。同岩は全ての地層を被覆しており、溶岩組織が顕著に発達する。地域北東部の Nong Fa 湖周辺には玄武岩質スコリアが認められる。

酸性火山岩類は、調査地域の北縁に分布する。本岩は淡褐色から褐色を呈し、多量の黒雲母と少量の角閃石を含む細粒から粗粒のデイサイト質凝灰岩および火山礫凝灰岩（写真 4.5.5）からなる。地質時代は新第三紀と考えられている。

塩基性火山岩類は、調査地域の北縁に広く分布する。本火山岩類は輝石玄武岩溶岩（写真 4.5.6）からなる。地質時代は、輝石玄武岩が新第三紀から第四紀前期の噴出物として考えられている。



写真 4.5.5 調査地域の北縁に分布するデイサイト質火山礫凝灰岩



写真 4.5.6 調査地域の北縁に広く分布する玄武岩溶岩

各地層の地質時代は地域東部から西部に向かって若くなる傾向がある。しかしこれまでに本格的な調査が行われてこなかったため、同時代区分には不明な点が多い。DGM (1991) や DGMV (ベトナム地質調査所, 1991) による時代区分解釈によると、片麻岩類および斑レイ岩は先カンブリア紀、花崗岩類は二畳紀～三畳紀（但し、最近の JMEC (2006) による報告ではシルル紀の鉱物 Ar-Ar 年代が得られている）、オルドビス紀～石炭紀、シルル紀、変成岩類はオルドビス紀～石炭紀、流紋岩質～安山岩質火山岩類は三畳紀、チャート・石灰岩は三畳紀、海成堆積岩類は石炭紀～ジュラ紀、陸成堆積岩類はジュラ紀～白亜紀、玄武岩質火山岩類は第三紀～第四紀に対応する。

2) 地質構造

バン・ダクヨイ図幅内の地質分布と各地層・岩体中の構造に基づくと、山岳地内に分布する石炭系以前の地質体中には大局的に 5つの構造帯が確認される。構造帯は地域東側から片麻岩類および斑レイ岩卓越帯、変成岩中の珪岩卓越帯、変成岩中の花崗岩類卓越帯、泥質片岩卓越帯、粘板岩卓越帯に区分される。構造帯の伸長方向は北西－南東～南北である。構造帯内の各地層中に発達する片状構造の傾斜は急で、 70° ～ 80° を示す。同構造の伸長方向は、構造帯の伸長方向と調和して北西－南東～南北である。各構造帯の境界部分には、花崗岩類や片岩類中に深部～中・浅部で形成されたと考えられる延性～脆性剪断帯が存在し、剪断帯内にはマイロナイト、片岩、カタクラサイトなどが各々観察される（写真 4.5.7、写真 4.5.8）。構造帯のうち泥質片岩卓越帯中に認められる asymmetric fold等によると構造帯の全体的な形態は西フェルゲンツの可能性が考えられる。



写真 4.5.7 地域中央部国道 18B 沿いに分布する花崗岩マイロナイト



写真 4.5.8 地域北東部 Xe Kaman 川沿いの粘板岩中に認められるフィッシュ状石英を伴う剪断

各構造帯の肉眼スケールでの剪断ずれセンスは、中央部の花崗岩質マイロナイト帯では垂直方向のずれが卓越し、片岩中のずれは西部で垂直方向のずれが卓越し、東部では横ずれ方向のセンスが卓越する。

地域西部の丘陵地～平野部に分布する海成～陸成堆積岩類中の層理構造やイグニブライト中の溶結構造は、西方向に 10° 前後で緩く傾斜する。したがって、地域西部に広がる海成～陸成堆積岩類やイグニブライトの形成は、上記構造帯の形成後に行われたと考えられる。

4.5.2 アタプ図幅

1) 地質

アタプ (Attapu) 図幅内の地質は、主に東部から西部にかけて古い地層から新しい地層が分布する。岩相は東部から塊状で緻密堅硬な砂岩、中性～酸性火山岩類、3 部層に分けられる陸成砂泥互層、陸成砂岩層、塩基性～中性の火山岩類および段丘堆積物からなる。地質構造は、地域の東部から西部にかけて順次、背斜構造、単斜構造及び Bolaven 台地を形成する水平な構造からなる。南東部では緩い向斜構造と、その西方に単斜構造が認められる。第 2 次および第 3 次現地調査結果に基づき作成した地質図を図 4.5.6 に示す。

上述の地質のうち、塊状緻密堅硬な砂岩は、アタプ北方に位置する Sapeuan 村の東方の Houay Po 川中から上流に分布する。本砂岩は、主に細粒から中粒の岩石質砂岩や石英質砂岩からなり (写真 4.5.9)、ほかに礫岩の薄層や流紋岩質凝灰岩や凝灰質砂岩などの薄層を挟在する。地質時代は石炭紀と考えられている。



写真 4.5.9 Sapeuan 村東方の Houay Po 川中～上流に分布する塊状緻密堅硬な砂岩



写真 4.5.10 Sapeuan 村東方の Houay Po 川中流に分布する流紋岩

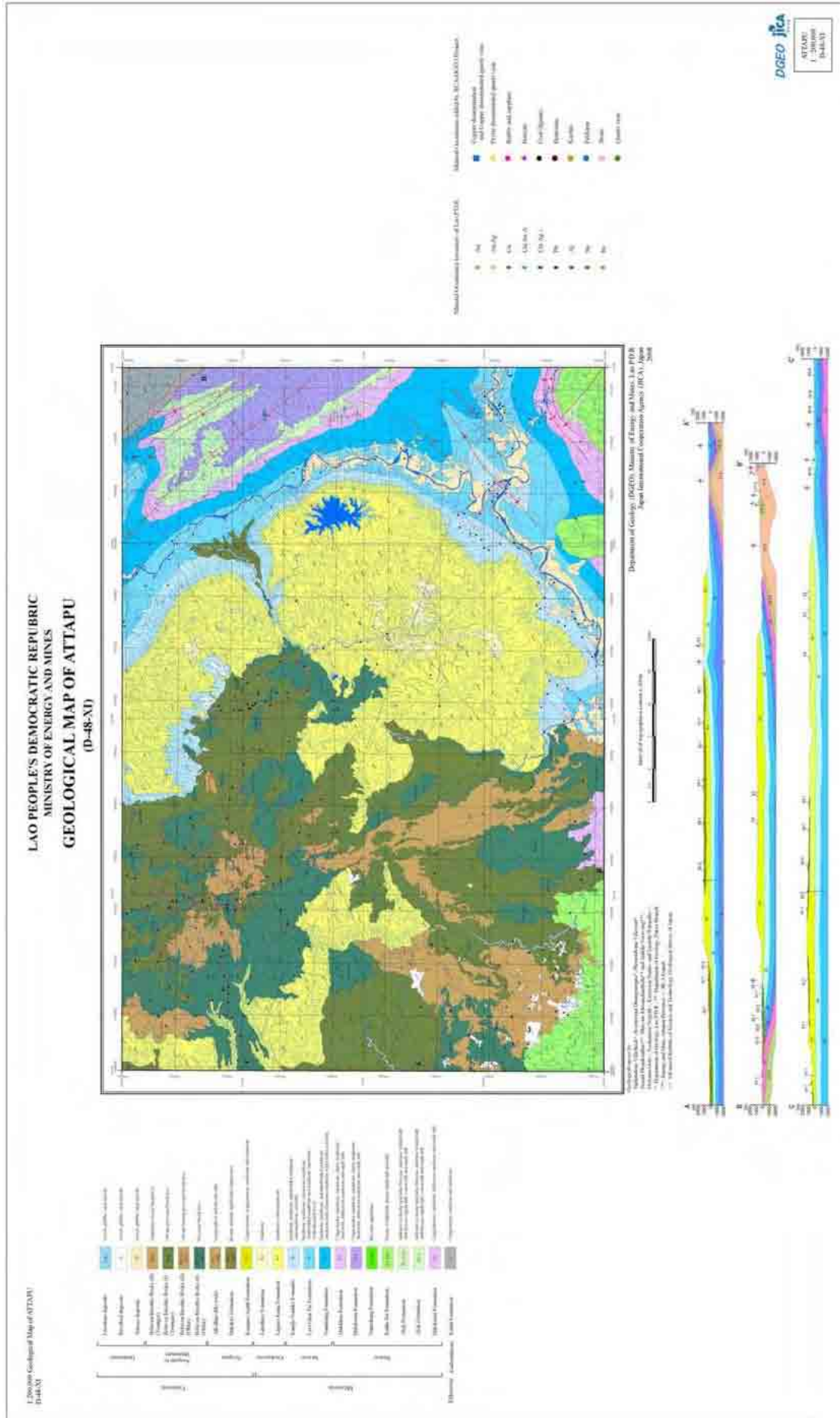


図 4.5.6 アタプ図幅の地質図

中性～酸性火山岩類は、Sapeuan 村の東方とその南北に、また調査地域の北東縁に、および調査地域南部で東西に分布する。本岩は淡灰色から白色を呈し、主に細粒から粗粒の凝灰岩、火山礫凝灰岩、火山角礫岩、火山円礫岩（写真 4.5.10）および溶結凝灰岩からなる。火山角礫岩、火山円礫岩の礫はほとんどが流紋岩質凝灰岩や溶結凝灰岩からなる。地質時代は三畳紀と考えられているが、上位層の化石から二畳紀の可能性も考えられる。

陸成砂泥互層は Bolaven 台地の東側周辺からその南部に広く分布する。本層は下位部層、中位部層および上位部層の 3 部層に区分される。下位層は下位から含化石石灰質中粒砂岩層、礫岩質砂岩薄層、暗灰色シルト岩泥岩互層、暗灰色石灰岩層、淡緑色珪質泥岩ないしチャート薄層からなる。石灰質中粒砂岩層は貝化石（写真 4.5.11）や生痕化石を、赤褐色泥岩は珪化木を含む（写真 4.5.12）。中位層は、厚層の淡灰色から淡紫色石英質中粒から細粒砂岩と厚層の青灰色から紫灰色のシルト岩から泥岩の互層からなる。上位層は、主に赤褐色の泥岩からシルト岩からなり、赤褐色の細粒砂岩を挟在する。これらは凝灰岩の小礫をわずかに含む。最上位には緑色凝灰質粗粒砂岩を挟在する。



写真 4.5.11 Sapeuan 村東方の Houay Po 川中流に分布する石灰質中粒砂岩層中の貝化石



写真 4.5.12 アタプ東方に分布する赤褐色泥岩層中の珪化木



写真 4.5.13 アタプ西方 Choomphoy 村近傍に分布する陸成砂岩中に発達する平行ラミナと斜交ラミナ



写真 4.5.14 Bolaven 台地南部に分布する最上部砂岩中に発達する斜交ラミナ

陸成砂岩は Bolaven 台地を形成し西側に広く分布する。本砂岩は中粒から粗粒の石英質及び岩石質であり（写真 4.5.13）、炭化木片を含む。本岩中にはラミナが発達し、1 単元が数十 cm から 1m である。礫岩の上位には赤色から青灰色のシルト岩から泥岩の薄層が存在し、少なくとも 3 ユニットが存在する。最上部に分布する砂岩（写真 4.5.14）は、白色から淡灰色を呈し、透水性が良い。十数 cm から数十 cm の平行ラミナや斜交ラミナが発達し、塊状部では石英を主とする角礫状礫が含まれる。下位の砂泥互層との境界には、カオリン変質した粘土が発達することから、不整合の可能性はある。

塩基性～中性の火山岩類は、Bolaven 台地の西側に広く分布する。本火山岩類は下位から輝石玄武岩、安山岩、カンラン石玄武岩、ネフェリン - カンラン石玄武岩の 4 つに分類される。カンラン石玄武岩およびネフェリン - カンラン石玄武岩は多孔質である。カンラン石玄武岩は、マントルノジュール（写真 4.5.15）としてレルゾライト、パイロキシナイトなどを包有する。またネフェリン - カンラン石玄武岩は侵食の程度が低く、パホイホイ縄状溶岩の構造（写真 4.5.16）を残している。地質時代は、輝石玄武岩と安山岩が鮮新世から第四紀前期の、またカンラン石玄武岩は第四紀後期の、ネフェリン - カンラン石玄武岩が第四紀の最新の噴出物として考えられている。



写真 4.5.15 Pakxong の北方に分布するカンラン石玄武岩中に包有されるマントルノジュール（レルゾライト、パイロキシナイトなど）



写真 4.5.16 Pakxong の南方に分布するネフェリン - カンラン石玄武岩に残存するパホイホイ縄状溶岩構造

段丘堆積物は、主に Xe Kong 川および Xe Kaman 川に沿って分布する。地質時代は鮮新世から第四紀と考えられている。

2) 地質構造

アタプ図幅内の地質構造は、主に褶曲構造と西部の火山帯からなる。地域の東部から西部にかけて北北西 - 南南東の褶曲軸を持つ背斜構造、その西側に西に緩く傾斜する単斜構造、そしてほぼ水平な構造を示す Bolaven 台地から形成される。南東部では緩い向斜構造と、その西側で緩く北に傾斜する単斜構造が形成されている。火山帯は、古期火成活動である輝石玄武岩と安山岩と、新期火成活動のカンラン石玄武岩とネフェリン - カンラン石玄武岩に分けられる。特に新期火成活動の火山岩はアルカリ玄武岩からなり、マントル深部からもたらされたものである。

4.6 アタプ地域の鉱物資源

アタプ地域は DGM (1991) 発行 1/100 万 鉱物資源図において、金、銅、鉛、亜鉛・鋳鉛地帯の密集する地域として知られている (図 4.6.1、図 4.6.2)。この項では、第 2 次～第 3 次現地地質調査によって実際に確認した鉱物資源について説明する。

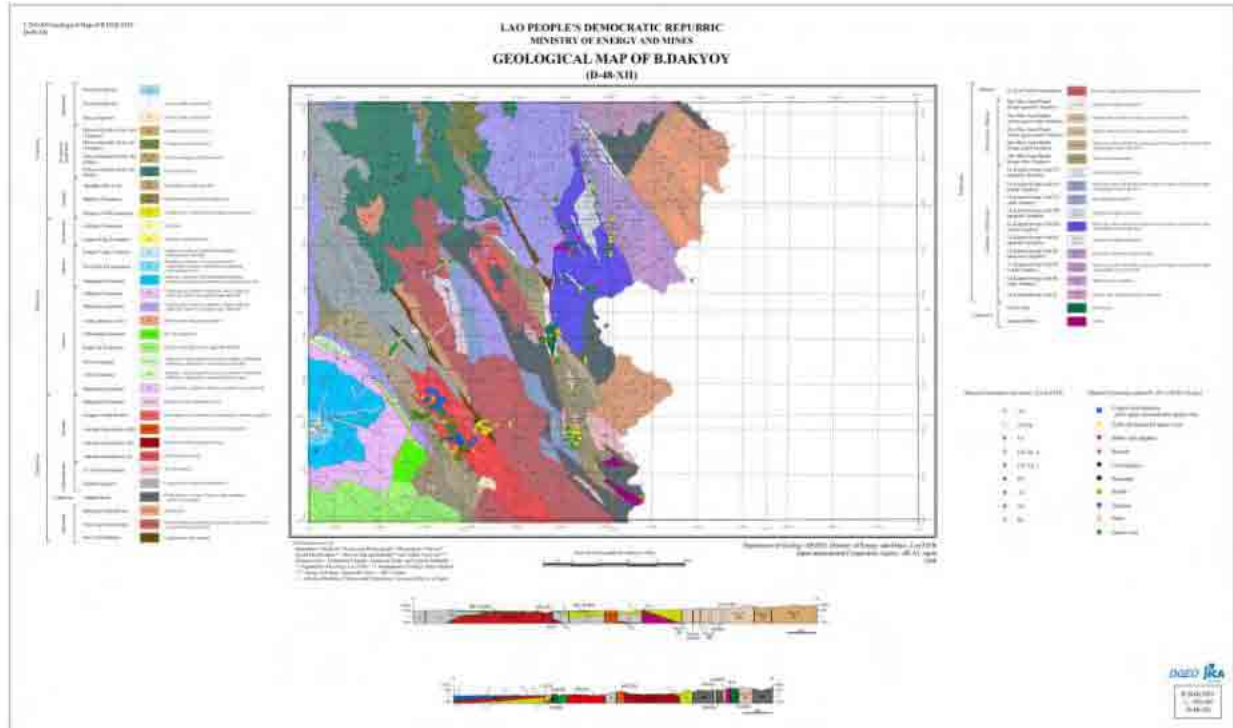


図 4.6.1 バン・ダクヨイ図幅の地質・鉱物資源図

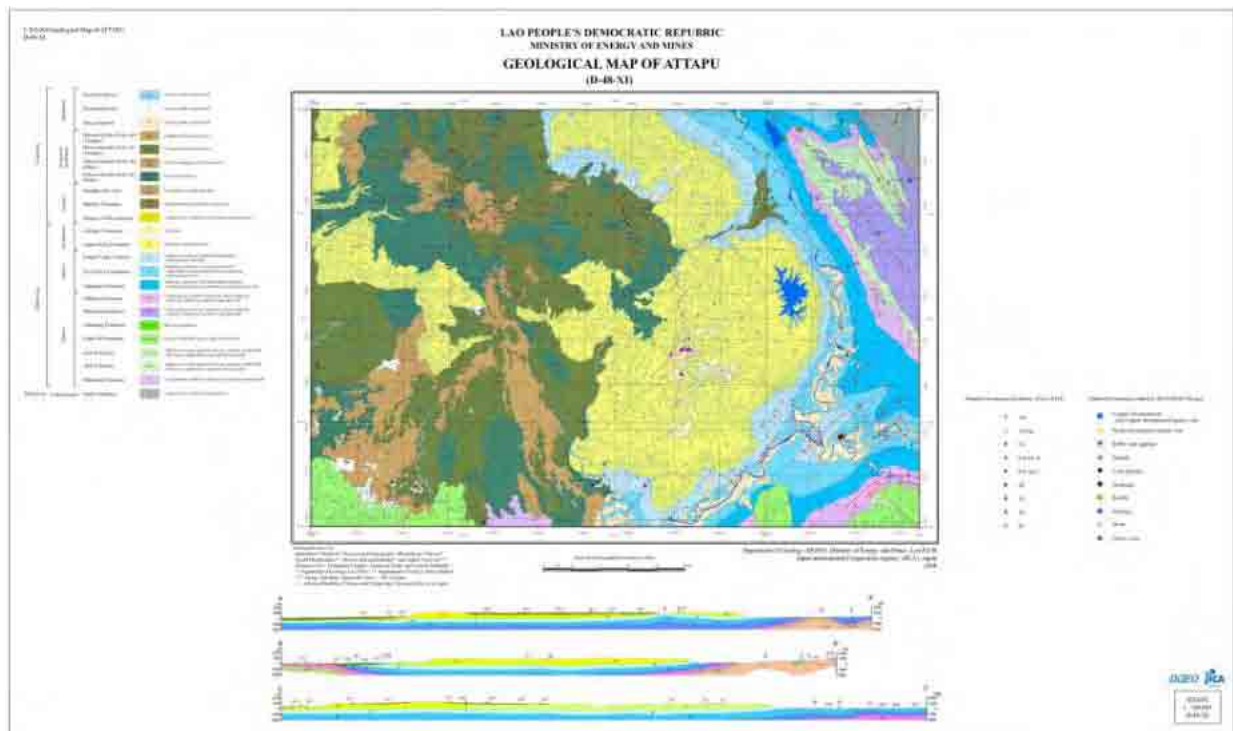


図 4.6.2 アタプ図幅の地質図・鉱物資源図

4.6.1 金属資源

1) 金

バン・ダクヨイ図幅北東部のBan Dakyoy 集落周辺には、金鉱徴が認められる。現在同地域内では現在「ラ」国軍による金探鉱が実施されている。2007年には小規模ながら金の生産が開始された。付近一帯では周辺住民による砂金採取が活発に行われている（写真4.6.1）。

鉱化は泥質片岩と変玄武岩との境界部付近の延性的な剪断帯内に発達し、金は剪断された泥質片岩中の含金石英脈中に産出する。周辺の泥質片岩や変玄武岩の一部は熱水変質し、片岩はセリサイト化し、変玄武岩はタルク化している。石英脈中には黄鉄鉱鉱染も認められる。鉱床タイプは造山性金鉱床である可能性が示唆される。

2) 銅

アタプ図幅の北東部～東部にかけてのXe Kong川流域には、銅鉱徴が認められる。1950年代に仏国による探鉱や、1990年代に米国Juniorによる探鉱が行われたが、小規模であることが確認されたため、その後の探鉱は行われていない。

鉱化は二畳系～ジュラ系海成砂岩や砂泥互層中の小規模な不規則フラクチャー沿いに鉱染状に発達し、鉱石鉱物として孔雀石や藍銅鉱が認められる（写真4.6.2）。母岩に変質は認められない。鉱床タイプとしては層準規制型鉱床の可能性が高いが、鉱化がフラクチャーに規制されていることからみて、熱水の関与も考えられる。二畳系～ジュラ系以降の熱水起源としては、付近に存在する三畳系流紋岩類が考えられる。



写真4.6.1 Ban Dakyoy村北方の金鉱床（含金石英脈）



写真4.6.2 銅鉱徴（孔雀石）と貝化石

3) ボーキサイト

アタプ図幅内のBolaven台地やバン・ダクヨイ図幅北部のXe Kong川東部上流域の台地上には、ラテライト土壌が発達しボーキサイトを賦存する。現在もBolaven台地上のPakxong市南部やXe Kong東部台地上では「ラ」国・中国合弁企業による探鉱・採掘が行われている。Xe Kong川東部では、ベトナム国の援助による探鉱も行われており、アタプDEM職員も同探鉱に協力している。

鉱床は第四紀玄武岩溶岩のラテライト土壌内に存在する風化鉱床である。

Bolaven台地南東部において詳細な調査を実施した結果、この地区のボーキサイト鉱床の層準は、上部白亜系の最下部に相当することが確認された。ボーキサイト鉱床は鉱床分布域の東部で薄く、中央部付近で厚くなる傾向にある。ボーキサイト鉱床の下底には白色粘土層が発達し、さらにその下部の砂岩層はカオリン粘土化が進んでいる。一方、ボーキサイト鉱床の上位は砂岩層に急激に漸移する。ボーキサイト鉱床はピソライト状ボーキサイトを形成し、一部ではラテライト化の進行が顕著である。

4) レアアース

Bolaven台地のボーキサイト鉱床を賦存するラテライト土壤はレアアース元素を多量に含有しており、ラテライト土壤と母岩との境界部に発達するカオリン質粘土層において顕著である。このレアアース元素の濃集はこれまで報告されておらず、採掘も行なわれていない。

レアアース元素のラテライト土壤への濃集が認められる地域は、ボーキサイト鉱床と同様にアタプ図幅内のBolaven台地である。レアアース元素の起源はボーキサイトの起源と同様にアルカリ質玄武岩と考えられる。

Bolaven台地におけるラテライト土壤の発達是非常に広範囲であり、ラテライト土壤の採掘は非常に容易である。そのため、ラテライト土壤からのレアアース元素の抽出を低コストで行うことが可能であれば、将来開発できる可能性が高い。

5) 砂金

アタプの砂金は古くから知られており、開発はXe Kong川、Xe Kaman川など、アタプの主要河川沿いで行われていた。しかし現在は開発基準の見直しが行われており、企業による開発は行われていない。地域住民のパンニングによる小規模な砂金採取は未だに行われている。特に河川流量が減る乾季は農閑期と重なり活発である。

4.6.2 非金属資源

1) 長石

バン・ダクヨイ図幅内の山岳地中央部に広く分布する花崗閃緑岩類は、カリ長石斑晶が大きく（最大3cm程度）岩相の均質なものが多い。同岩類中の一部は風化によりマサ化した露出が様々な箇所で見られる（写真4.6.3）。同岩がマサ化して脆いことや長石斑晶が大きいことから、長石のピッキングは篩がけや振動により簡単に行えると考えられる。「ラ」国におけるタイルを始めとするセラミック製品への利用が可能である。

2) カオリナイト

バン・ダクヨイ図幅内に小規模に分布する流紋岩質貫入岩は、カオリナイト変質を受けている場合が多く、その一部には極めて純度が高いと考えられる貫入岩が「ラ」国とベトナム国境付近に認められる。

純度が高い場合、採掘後にそのまま化粧品やセメント配合剤として利用出来ることや、アタプ地域が需要の多いベトナム国に近いことから、比較的容易に製品として利用できる。



写真4.6.3 マサ化した花崗閃緑岩



写真4.6.4 レンガの生産

3) ベントナイト

アタプ地域中央部の平野部の表層にはベントナイト層が含まれている。アタプ市街地近郊では、このベントナイト層を採掘してレンガを生産している。レンガの生産は耕運機の動力部を改良したレンガ整形機を用いてベントナイトを整形した後に天日干しし、最後にかまど

で焼結して行っている。生産は非常に簡単である（写真4.6.4）。同層はアタブ市街地を含む平野部において、広範囲に広がっていることが推定される。

4) タルク

上述した「ラ」国軍が採鉱を行っている金鉱地帯の変玄武岩の一部は、タルクと考えられる石鹸状の濁白色鉱物が認められる。同鉱物を含む変玄武岩は幅10m以上露出しており、純度の高いタルクである場合、資源として期待できる。

5) 石灰岩

比較的規模が大きく純度の高い石灰岩体がNong Fa湖北東部のXe Kaman川に沿って分布する。規模は幅1km×2km以上に達すると考えられる。露出地へのアクセスは非常に悪く、乾季でも徒歩で2日かかる。そのため現在の採掘対象にはならないが、今後Xe Kaman川の水力発電を目的としたダム開発が同河川奥地に進み、道路が建設された場合、同石灰岩が採掘対象になる可能性がある。

6) 宝石

バン・ダクヨイ図幅東部の山岳地域に位置するNong Fa湖周辺では、村人が河川堆積物の椀かけにより宝石類を採掘している（写真4.6.5、写真4.6.6）。主な宝石はサファイア、ルビーおよびスピネルである。Nong Fa湖は第四紀後期の玄武岩火山活動によって形成され、かなり深部からの噴出物と考えられる。Nong Fa湖岸で見られるスピネルは溶融しており、同様に宝石も火山噴火活動によって深部からもたらされたものと考えられる。本調査の結果、玄武岩質火山岩の分布はNong Fa湖の極近傍に限られていることが判明したことから、鉱床は極小規模であると考えられる。



写真4.6.5 Nong Fa湖周辺では椀を使用した椀かけにより宝石を回収している



写真4.6.6 採取されたルビー（左）とサファイア（右）

7) 採石

国道18B号線をベトナムの援助によって建設する際に、敷石として流紋岩質溶結凝灰岩、花崗岩類および片麻岩を使用している。これは道路上に露出するこれら岩石を使用したものであり、これら岩石が分布する道路脇に粉碎現場が存在する。

4.6.3 その他の鉱徴

1) 浅熱水性変質帯

国道18Bのベトナム国境西部のXe Xou川沿いには、古生界粘板岩および変砂岩中に比較的脆性な剪断帯が東西100m程度連続して発達し、同剪断帯中に黄鉄鉱の強鉱染やオパール質石英ストックワーク脈が認められる（写真4.6.7）。同露頭上部には地下水面が存在し、同面から流水が認められる。この流水面の下部には流水箇所に沿ってAsを含むと考えられる黄色鉱物や白色硫酸塩鉱物が晶出する。鉱染はこの地下水面に規制されている。そのため、鉱染

をもたらした硫化熱水の起源がこの地域の近傍に存在する可能性が考えられる。今後同鉱徴地周辺域の探査が必要と考えられる。

2) 酸性変質帯

バン・ダクヨイ図幅内の国道18B沿いのアタプ東部域には、白色を呈する三畳系と解釈されている流紋岩質イグニブレイトが分布する。同イグニブレイトの分布うち、国道18B建設時の骨材として採掘された採石場付近には、クリストバライトやカオリナイトを特徴とする変質が認められる（写真4.6.8）。また一部には石英細脈の発達も認められる。このことからイグニブレイト形成時に溶脱-付加型の酸性変質帯を形成していることが推定される。酸性変質帯には浅熱水性金鉱化を伴うことが多いため、今後この地域周辺域における探査が必要と考えられる。



写真4.6.7 剪断帯中の黄鉄鉱染と石英脈



写真4.6.8 イグニブレイト中の溶脱型変質

4.7 沢砂地化学探査

4.7.1 調査概要

沢砂地化学探査は、対象地域内の鉱床賦存状況を捉えることを目的として地質調査と並行して行った。

4.7.2 調査方法

沢砂試料の採取方法、採取された試料の処理および化学分析について、以下に述べる。

1) 試料採取

試料の採取は、80mesh の篩を用いて行い、主要道路や主要河川およびその枝沢に沿って実施した。試料採取を行う際には、採取リストを作成し、試料番号、GPSによる UTM 座標、河川名、露頭および転石、川幅、流速および砂のサイズの記載を行った。沢砂の量は 1 試料につき 100g 以上を採取した。

本調査で採取した試料数は 479 試料である。試料位置を図 4.7.1 及び図 4.7.2 に示す。

2) 試料処理

沢砂試料の前処理は、ビエンチャンにある ALS Chemex 社 Vientiane 事務所で行い、化学分析は ALS Chemex 社のオーストラリア本社で実施した。

3) 化学分析

化学分析を行った成分は、Au、Ag、Al、As、B、Ba、Be、Bi、Ca、Cd、Ce、Co、Cr、Cs、Cu、Fe、Ga、Ge、Hf、Hg、In、K、La、Li、Mg、Mn、Mo、Na、Nb、Ni、P、Pb、Rb、Re、S、Sb、Sc、Se、Sn、Sr、Ta、Te、Th、Ti、Tl、U、V、W、Y、Zn、Zr の 51 元素である。

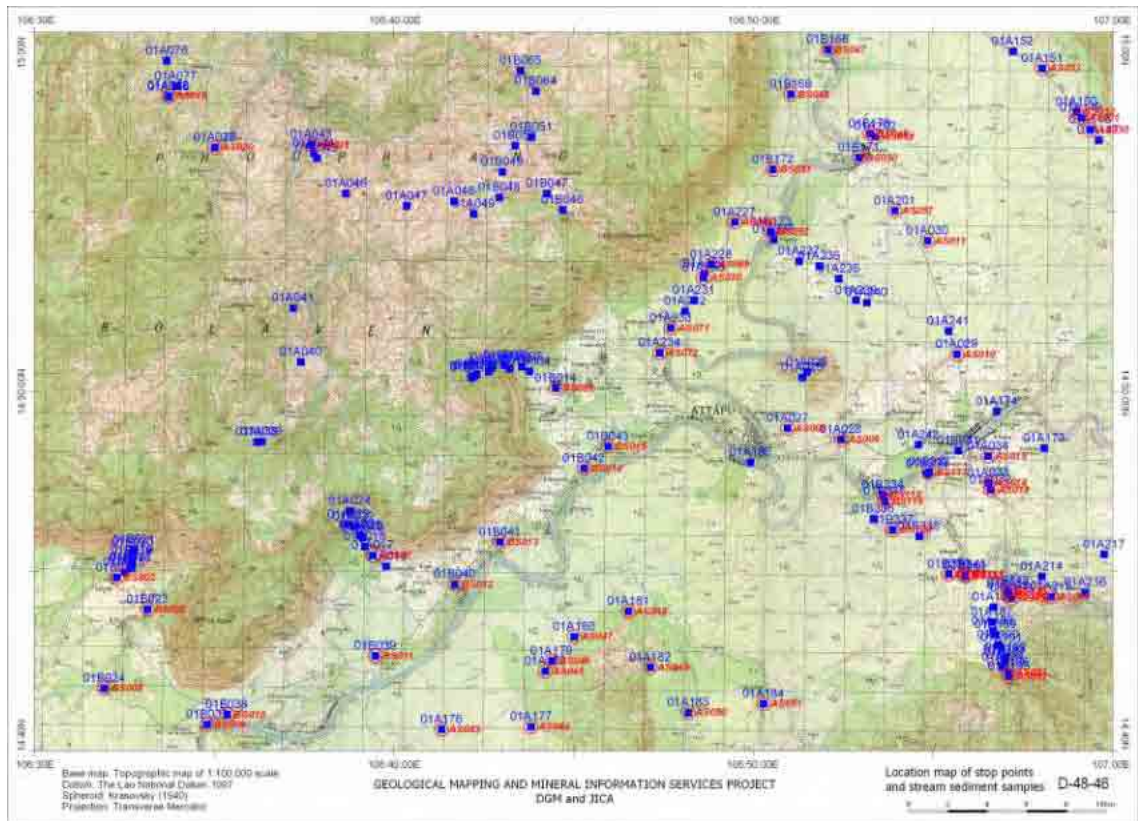


図 4.7.1 沢砂試料採取位置図 (D-48-46)

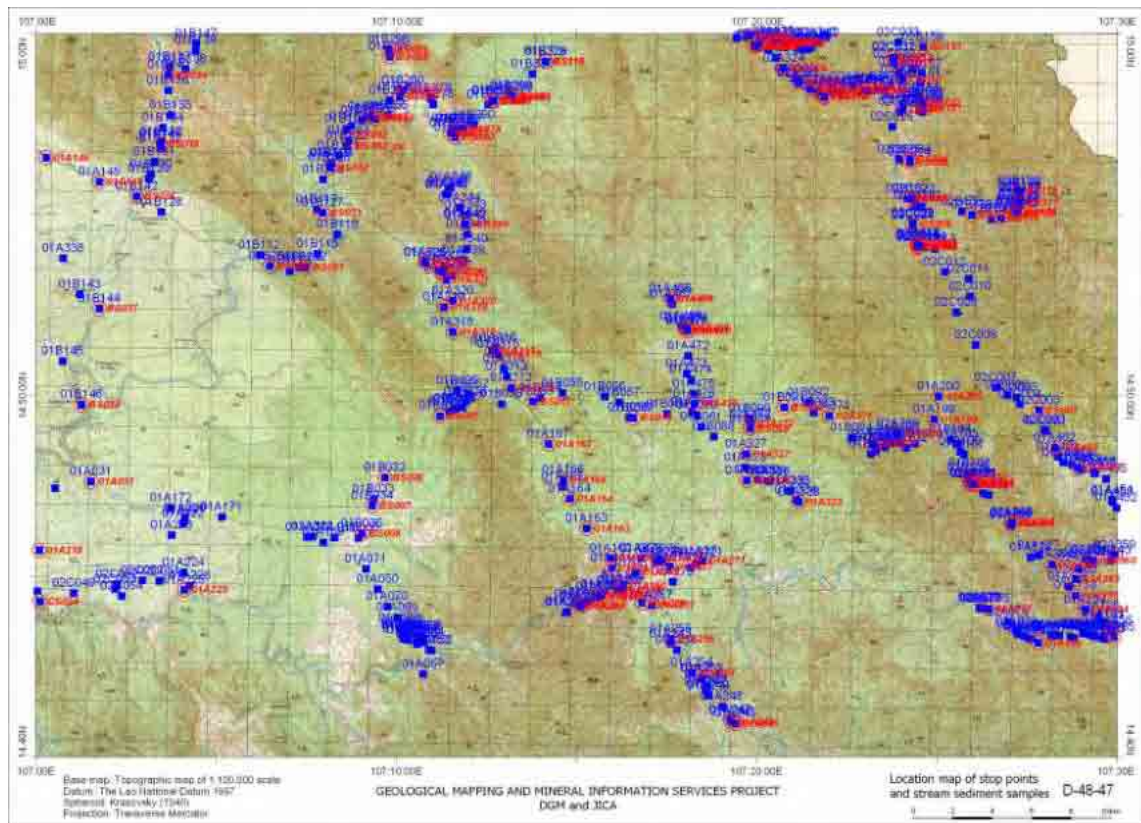


図 4.7.2 沢砂試料採取位置図 (D-48-47)

4.7.3 解析方法

鉱化作用に関連する元素や因子を抽出するため、全試料を対象に統計処理を実施した。化学分析結果は、データの統計処理のためコンピュータに入力し、基本統計量を求め、単成分解析及び多変量解析を行った。

1) 単成分解析

単成分解析では、各元素のヒストグラム、累積頻度分布図を作成するとともに各元素の統計値を計算した。なお、分析結果が検出限界以下の値を示す試料については、検出限界値の半分の値を用いて計算した。算出した平均値は幾何平均値である。

各元素の関係は相関係数を計算し、検討した。各元素の異常値の抽出には、主に累積頻度分布図や EDA (Exploratory Data Analysis) 法 (Kurzl H.; 1988) を用いて検討し、最終的に累積頻度分布図を用いてしきい値を決定した。

以下に、金の化学分析結果を使用した単変量解析結果について述べる。

Auの分析値の範囲は、検出限界値 (0.1ppb) 以下から 4,830 ppbである。

図 4.7.3 に示したように、累積頻度分布図には屈曲点が認められ、いくつかの母集団の存在が読み取れる。これまでの鉱床探査の経験から得られた異常値とすべきしきい値を考慮すると、地化学異常値は 200ppb と決定でき、1,000ppb は更に大きな値であることがわかる。

しきい値以上の異常値のほかに、その異常の分布範囲を推定することを目的として、しきい値以下の分析値について便宜的にランク分けを行い、これらを併せて表示した金の地化学異常分布図を作成した。

以上のような手法を用いて、各元素の地化学異常図を作成した。

2) 多変量解析

全試料の全化学成分値を使用した多変量解析では、各成分間の相関関係から関係する因子を抽出する手法である因子分析法を採用した。分析成分が 51 元素と多いことから、最初に 51 元素を用いた因子分析解析を行い、岩石組成や鉱化作用などの種々の要素に関連する元素を選び分けた。次に、その解析結果から鉱化作用に関連する 21 元素 (Au, Ag, As, Bi, Ce, Cr, Cu, Fe, La, Mo, Ni, Pb, S, Sb, Sn, Th, U, W, Y, Zn) を抽出し、その後、その 21 元素から結び付きの高い元素を選出するために、再び因子分析解析を行った。

因子分析の結果から、岩石組成や鉱化作用に強く結びつく因子 (Factors) を抽出し、それぞれの因子得点分布図を作成した。

得られた因子 (Factors) は、以下の 5 つである。

因子	関連性
Factor 1 : Ag, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Sn, Y, Zn	(塩基性岩)
Factor 2 : Ce, La, Th, U, Y	(酸性岩 : 花崗岩類等)
Factor 3 : As, Bi, Pb, Sb	(酸性熱水鉱化作用)
Factor 4 : W, (Bi)	(酸性熱水鉱化作用)
Factor 5 : Au, ((Bi))	(金の鉱化作用)

Factor 1 は、元素組合せと因子得点分布から玄武岩やガブロなどの塩基性岩に関連付けられる。Factor 2 では、花崗岩質マグマ中に比較的多く含まれる元素が抽出され、高い因子得点は花崗岩地域に分布する。本因子は花崗岩類などの酸性岩に関連付けられる。Factor 3 では、一般に金や銅などの鉱化作用、特に酸性熱水鉱化作用に伴う元素が抽出された。Factor 4 は、経験的に花崗岩類に関連した鉱化作用に関連付けられる。Factor 5 は、金の鉱化作用に直接関連付けられる。

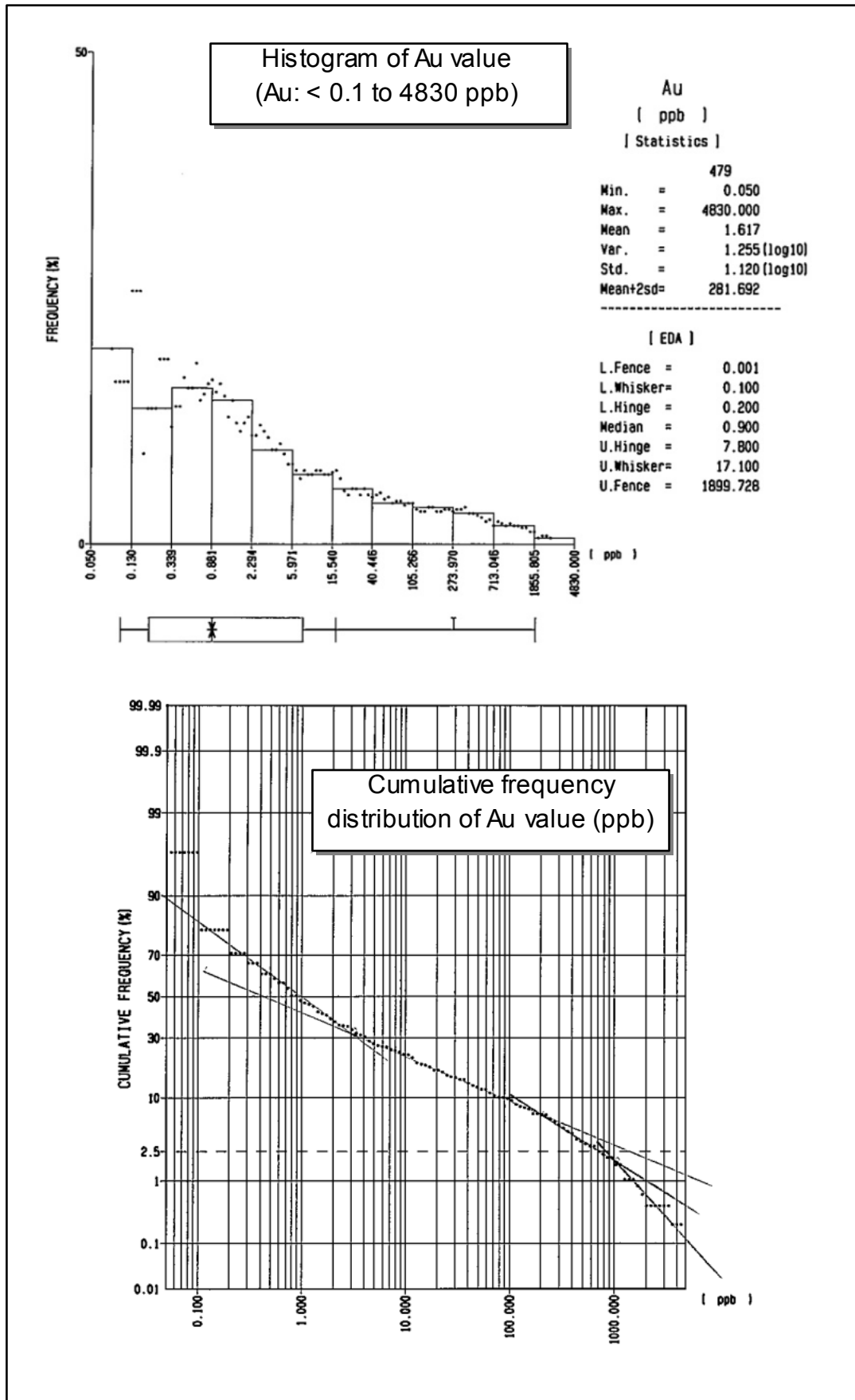


図 4.7.3 金分析値のヒストグラムと金分析値の累積頻度分布図

4.7.4 沢砂地化学探査の結果

単成分解析および多変量解析の結果得られた各成分の地化学異常図とランク別された因子得点分布図を用いて、地化学異常域を抽出した。その結果の主なものについて以下に述べる。

1) Au の地化学異常

Au の地球化学図を図 4.7.4 に示した。しきい値（200ppb）以上の地化学異常は以下の通りである。

- ①Nong Fa 湖南部の周辺
- ②Nong Fa 湖周辺
- ③Nong Fa 湖の北東地域
- ④Nong Fa 湖の北西地域
- ⑤南部ホーチミン・トレイル周辺
- ⑥その他

1,000ppb を超える非常に高い Au の地化学異常は以下の通りである。

- ①Nong Fa 湖南部の軍管轄金鉱山周辺
- ②南部ホーチミン・トレイル周辺

2) Ag の地化学異常

Ag の地球化学図を図 4.7.5 に示した。Ag 分析値の最大値は 16.4 ppm である。しきい値（0.13 ppm）以上の地化学異常は以下の通りである。

- ①Bolaven 台地などの新第三紀から第四紀に噴出した玄武岩類が分布する地域
- ②軍管轄金鉱山の南東部
- ③Nong Fa 湖の北東地域

3) As の地化学異常

As の地球化学図を図 4.7.6 に示した。As 分析値の最大値は 83.3 ppm である。しきい値（20 ppm）以上の地化学異常は以下の通りである。

- ①軍管轄金鉱山周辺
- ②Nong Fa 湖北西地域
- ③国道 18B の東方ベトナム国境付近
- ④Nong Fa 湖北東地域
- ⑤Ban Paam 村南西の国道 18B 付近

4) Sb の地化学異常

Sb の地球化学図を図 4.7.7 に示した。Sb 分析値の最大値 2.97 ppm である。しきい値（2.0 ppm）以上の地化学異常は以下の通りである。

- ①軍管轄金鉱山周辺
- ②Nong Fa 湖北西地域
- ③国道 18B の東方ベトナム国境付近
- ④Nong Fa 湖北東地域
- ⑤軍管轄金鉱山南東部
- ⑥ Ban Paam 村南西の国道 18B 付近

⑦ Bolaven 台地に噴出した玄武岩類が分布する地域

5) Bi の地化学異常

Bi の地球化学図を図 4.7.8 に示した。Bi 分析値の最大値は 57.9 ppm である。しきい値 (1.1 ppm) 以上の地化学異常は、以下の通りである。

- ①軍管轄金鉱山の南東部
- ②Nong Fa 湖周辺
- ③Nong Fa 湖の北東地域

6) Cu の地化学異常

Cu の地球化学図を図 4.7.9 に示した。Cu 分析値の範囲は、0.7ppm から 79.6ppm である。累積頻度分布図から算出したしきい値 (50ppm) 以上の地化学異常は以下の通りである。

- ① Bolaven 台地などの新第三紀から第四紀に噴出した玄武岩類が分布する地域
- ② Nong Fa 湖南部の軍管轄金鉱山
- ③ 国道 18B 東方ベトナム国境のガプロの分布する地域
- ④ Ban Paam 村南西の国道 18B 付近、等

7) Pb の地化学異常

Pb の地球化学図を図 4.7.10 に示した。Pb 分析値の最大値は 884 ppm である。50 ppm 以上の地化学異常は以下の通りである。

- ① Bolaven 台地に噴出した玄武岩類が分布する地域
- ② 軍管轄金鉱山周辺

8) Zn の地化学異常

Zn の地球化学図を図 4.7.11 に示した。Zn 分析値の範囲は、最大 193 ppm である。しきい値 82 ppm 以上の地化学異常は、以下の通りである。

- ① Bolaven 台地などの新第三紀から第四紀に噴出した玄武岩類が分布する地域
- ② 軍管轄金鉱山の南東部

9) Factor 1 の地化学異常

Factor 1 は、主に Ag、Cr、Cu、Fe、Mo、Ni、Sn、Y、Zn の元素組合せに関連したものであり、これは塩基性岩に関連している。Factor 1 の地化学異常図を図 4.7.12 に示した。因子得点が 1.0 以上の異常値は以下に分布する。

- ① Bolaven 台地などの玄武岩類が分布する地域
- ② 軍管轄金鉱山周辺の輝緑岩などの塩基性岩が分布する地域
- ③ 国道 18B 東方ベトナム国境の斑れい岩の分布する地域

10) Factor 2 の地化学異常

Factor 2 は、主に Ce、La、Th、U、Y の元素組合せに関連したものであり、これは花崗岩類に関連している。Factor 2 の地球化学図を図 4.7.13 に示した。因子得点が 1.0 以上の異常値は以下に分布する。

- ① シルル紀花崗岩が分布する地域
- ② 時代未詳の両雲母花崗岩が分布する地域
- ③ 他に Xe Kaman 川上流地域

11) Factor 3 の地化学異常

Factor 3 は、主に As、Bi、Pb、Sb の元素組合せに関連したものであり、これは酸性熱水鉱化作用に関連している。Factor 3 の地球化学図を図 4.7.14 に示した。因子得点が 1.0 以上の異常値は以下に分布する。

- ① 軍管轄金鉱山周辺地域
- ② Nong Fa 湖北東地域
- ③ Nong Fa 湖北西地域
- ④ Nong Fa 湖周辺地域
- ⑤ 国道 18B の東方ベトナム国境付近
- ⑥ Ban Paam 村南東の国道 18B 付近
- ⑦ Ban Paam 村北西のホーチミン・トレイル付近

12) Factor 4 の地化学異常

Factor 4 は、主に W に関連したものであり、これは酸性熱水鉱化作用に関連している。Factor 4 の地球化学図を図 4.7.15 に示した。因子得点が -1.0 以下の異常値は以下に分布する。

- ① 軍管轄金鉱山周辺地域
- ② 軍管轄金鉱山南東地域
- ③ Nong Fa 湖北東地域
- ④ Nong Fa 湖周辺地域
- ⑤ 国道 18B 北のホーチミン・トレイル付近

13) Factor 5 の地化学異常

Factor 5 は、主に Au に関連したものであり、これは金の鉱化作用に関連している。Factor 6 の地球化学図を図 4.7.16 に示した。因子得点が 1.0 以上の異常値は以下に分布する。

- ① 軍管轄金鉱山周辺地域
- ② 軍管轄金鉱山北東地域
- ③ Nong Fa 湖北東地域
- ④ Nong Fa 湖周辺地域
- ⑤ 国道 18B 東方ベトナム国境の斑れい岩の分布する地域
- ⑥ 国道 18B 北のホーチミン・トレイル付近
- ⑦ 国道 18B 南のホーチミン・トレイル付近

4.7.5 考察

沢砂試料の化学分析値について行った単成分解析および多変量解析の結果は、以下のよう
にまとめられる。

- ① アタブ地域において鉱化作用が期待される鉱種は、Au および Cu である。Au の分析値は最大 4,830 ppb と非常に高い値を示し、軍管轄金鉱山周辺に分布する。Cu は Au の分析値の高い地域で比較的高い値を示す。
- ② Cu の分析値は最大 79.6 ppm であり、主に玄武岩や斑れい岩などの塩基性岩が分布する地域に高い Cu の分析値が分布する。国道 18B 東方のベトナム国境付近に認められる高い Cu 分析値は、この地域に分布するオフィオライト起源の斑れい岩に起因するものと考えられる。塩基性岩の分布しない地域で Cu の分析値が高いところは、以下の通りである。

1. 軍管轄金鉱山の周辺地域
 2. 国道 18B と交わるホーチミン・トレイル周辺
- ③ 金鉱化作用が存在する可能性の高い地域は、単成分解析により Au の分析値がしきい値 (200 ppb) 以上の試料採取地点を含む以下のような地域である。
1. Nong Fa 湖南部の軍管轄金鉱山周辺
 2. Nong Fa 湖周辺
 3. Nong Fa 湖の北東地域
 4. Nong Fa 湖の北西地域
 5. 南部ホーチミン・トレイル周辺
- ④ 多変量解析の結果から 5 つの因子が抽出されたが、鉱化作用に関連するものとして、以下の 3 つを取り上げることができる。
- Factor 3 : As, Bi, Pb, Sb (酸性熱水鉱化作用)
- Factor 4 : W, (Bi) (酸性熱水鉱化作用)
- Factor 5 : Au, ((Bi)) (金の鉱化作用)

軍管轄金鉱山が位置する鉱化帯は、Au、Ag、As、Bi、S などの分析値が高く、Factor 3 と 6 も高い。これらは金の鉱化作用に伴った地化学異常であり、この鉱化作用は浅～中熱水活動に伴って形成されたものと考えられる。

このほかにも、国道 18B と交わるホーチミン・トレイル付近に Factor 5 の因子得点が 1.0 以上の値を示す地域が抽出された。ここでは Au 分析値 2,000 ppb を超える高い沢砂試料が採取されている。しかしこの地域では Factor 3 の因子得点が 1.0 以上の値を示さず、先の軍管轄金鉱山の位置する鉱化帯とは異なる鉱化作用である可能性がある。

4.7.6 地化学探査結果に基づく鉱化ポテンシャルの高い地域の抽出

考察で述べたように本調査地域で鉱床賦存が期待される鉱種は Au および Cu であり、単成分解析による Au の地球化学図および Factor 3 と 5 の因子得点図に基づいて抽出した Au と Cu の鉱化ポテンシャルが高い地域は以下の通りである。

- 1) Nong Fa 湖南部の軍管轄金鉱山周辺
- 2) Nong Fa 湖周辺
- 3) Nong Fa 湖の北東地域
- 4) Nong Fa 湖の北西地域
- 5) 国道 18B と交わるホーチミン・トレイル周辺

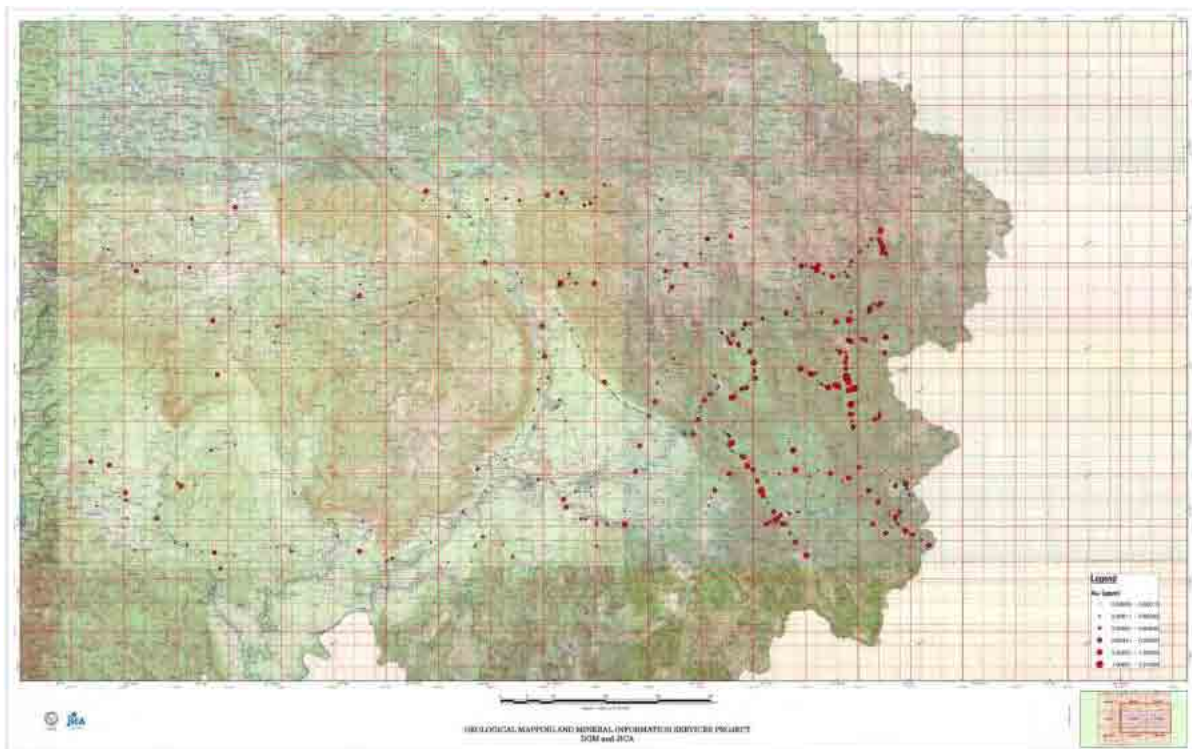


図 4.7.4 Auの地球化学図

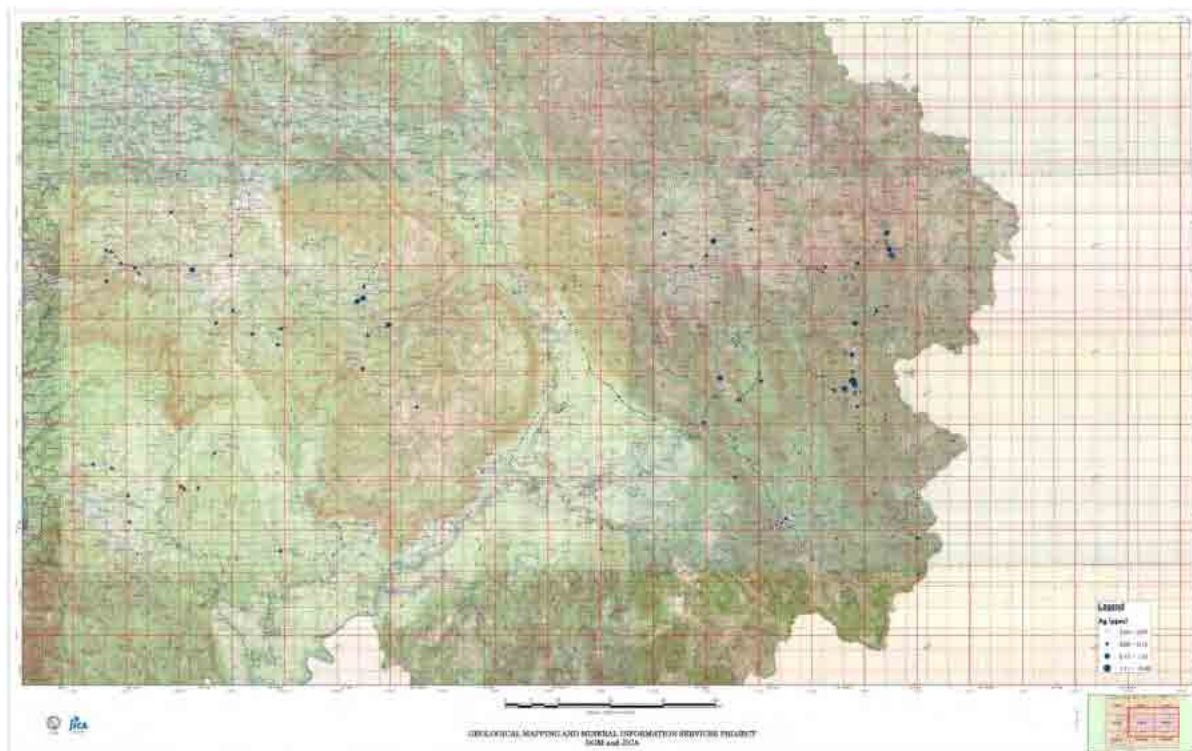


図 4.7.5 Agの地球化学図

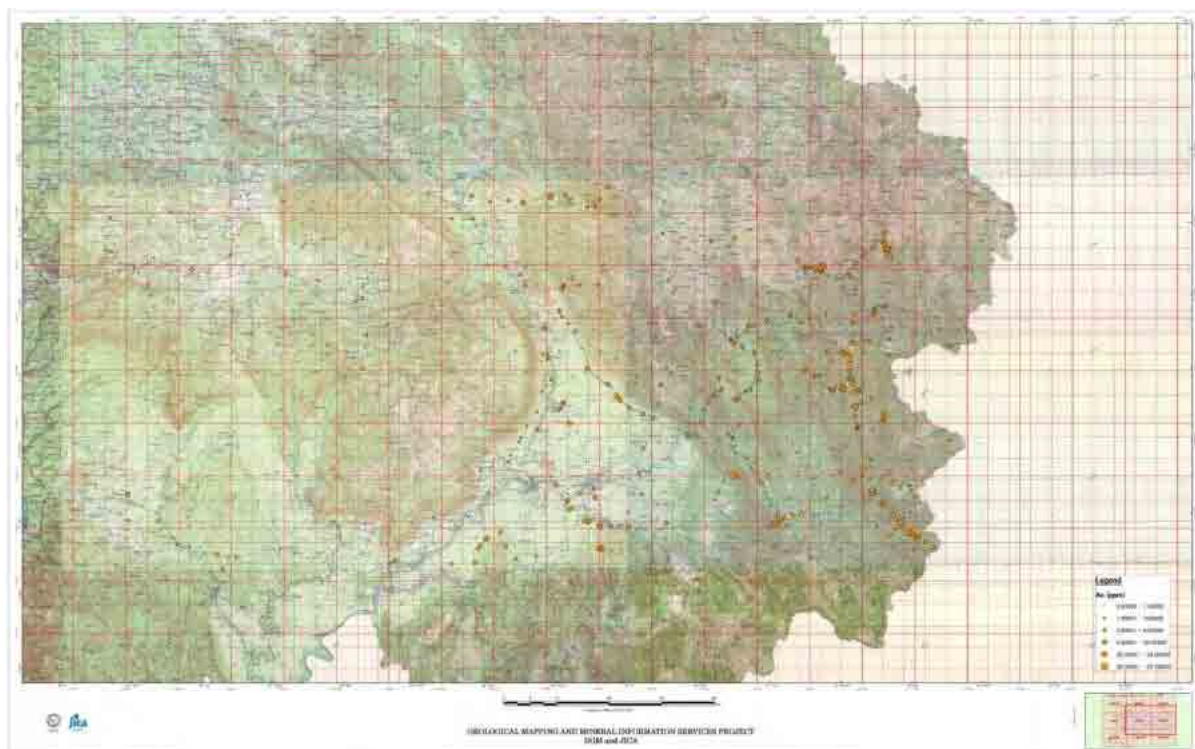


図 4.7.6 Asの地球化学図

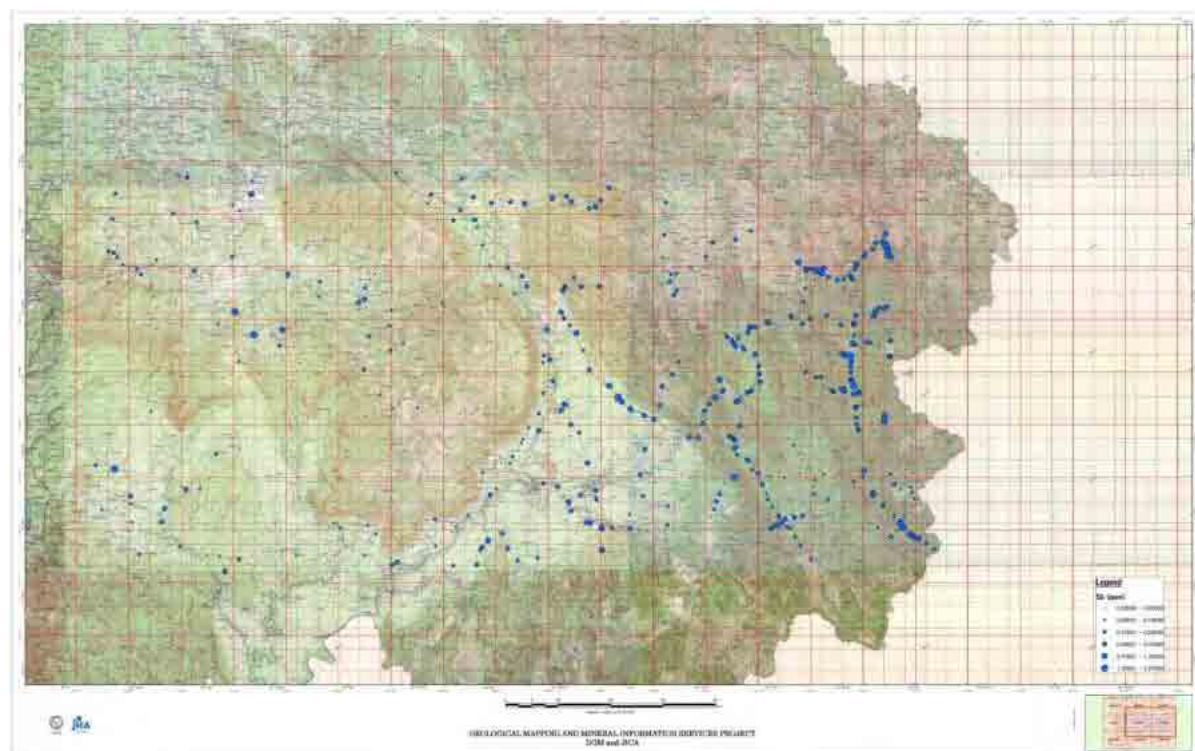


図 4.7.7 Sbの地球化学図

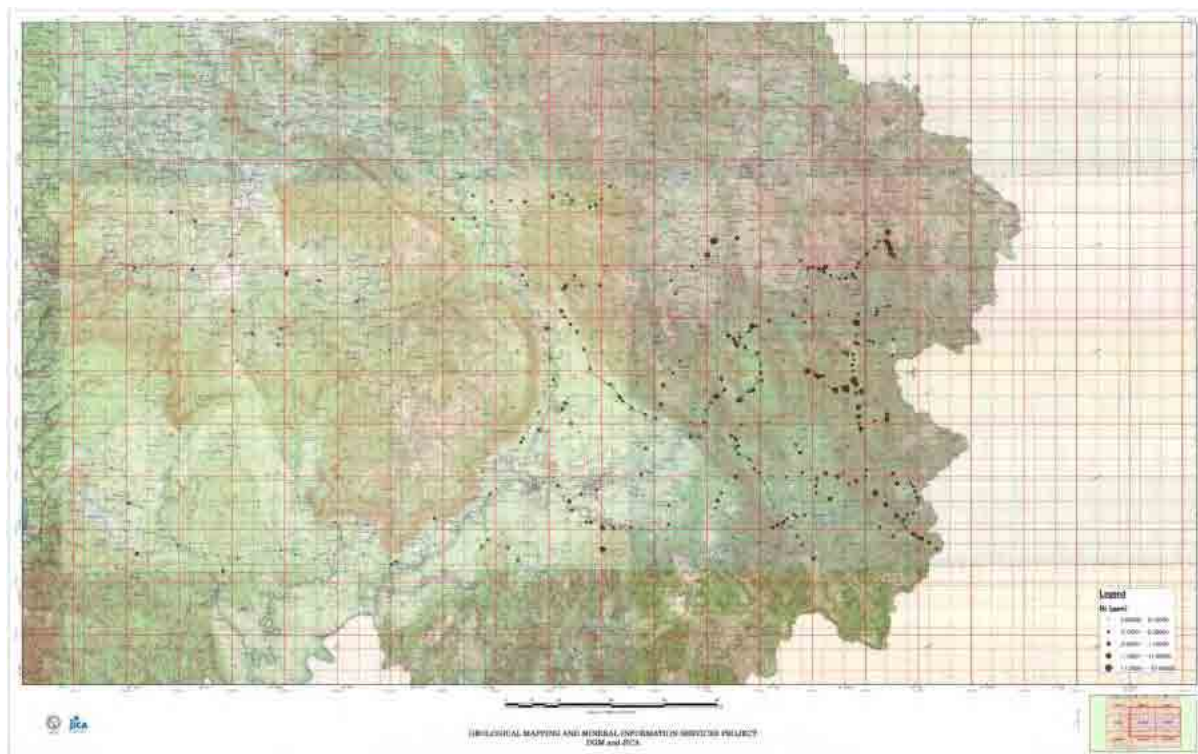


図 4.7.8 Biの地球化学図

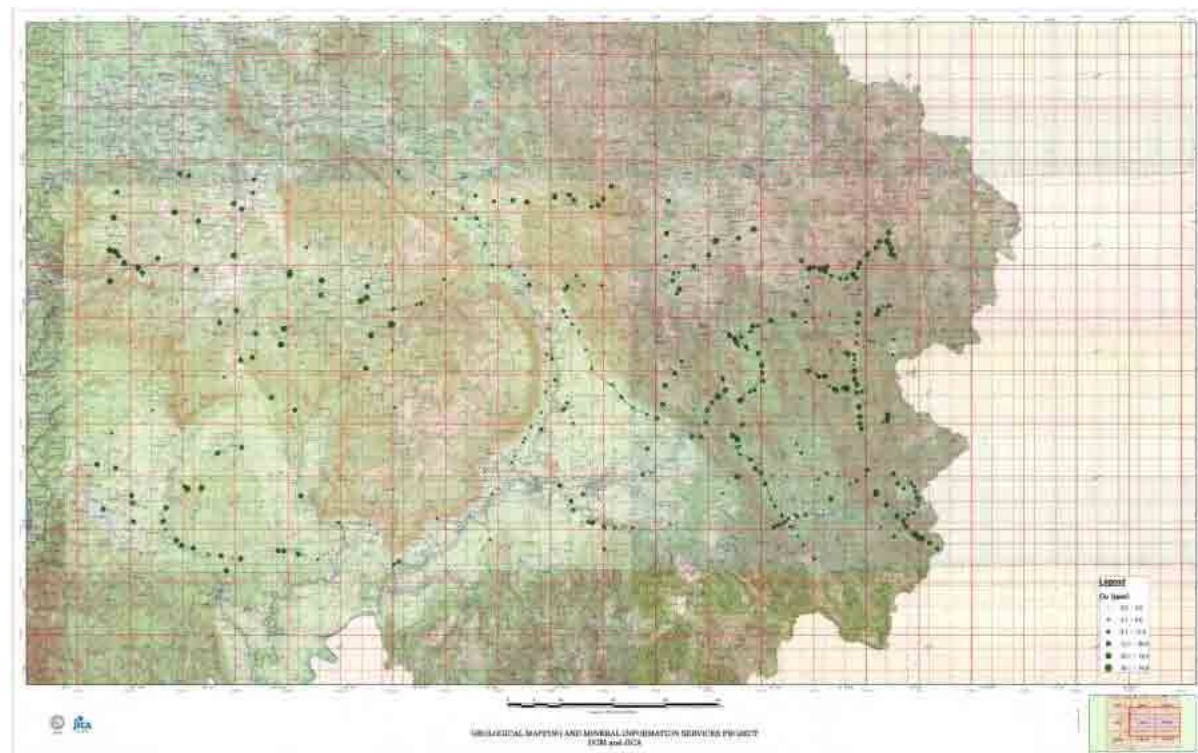


図 4.7.9 Cuの地球化学図

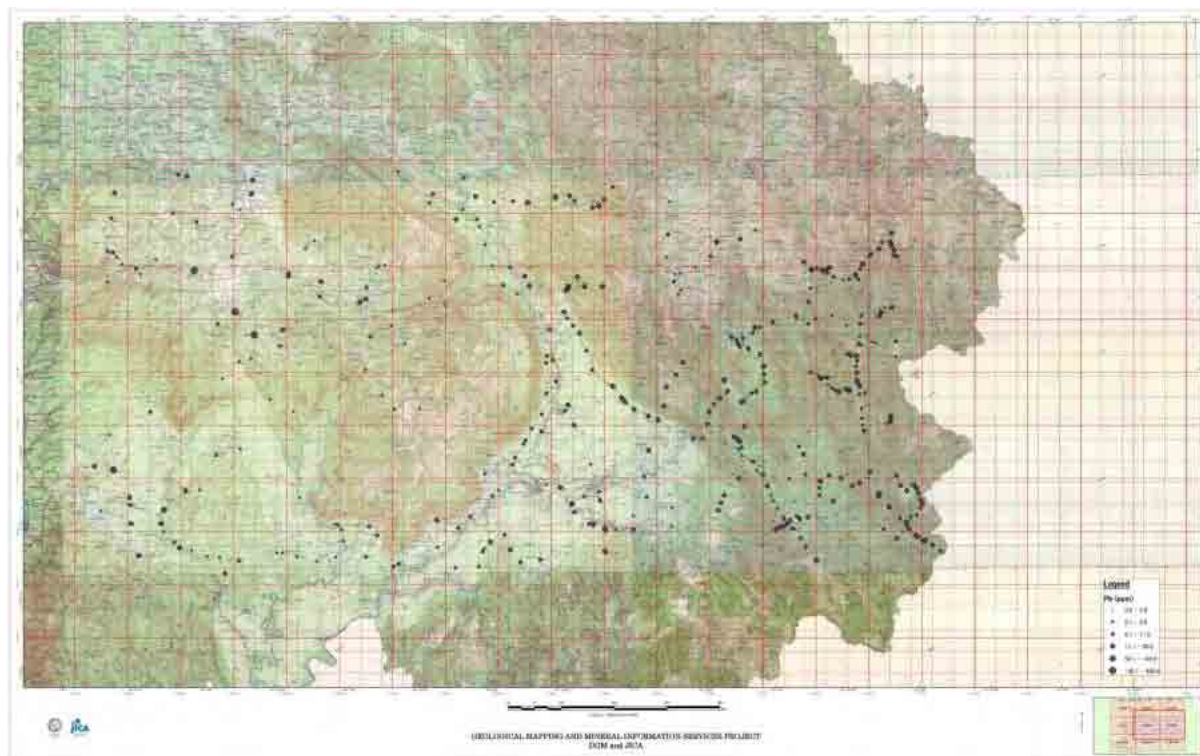


図 4.7.10 Pbの地球化学図

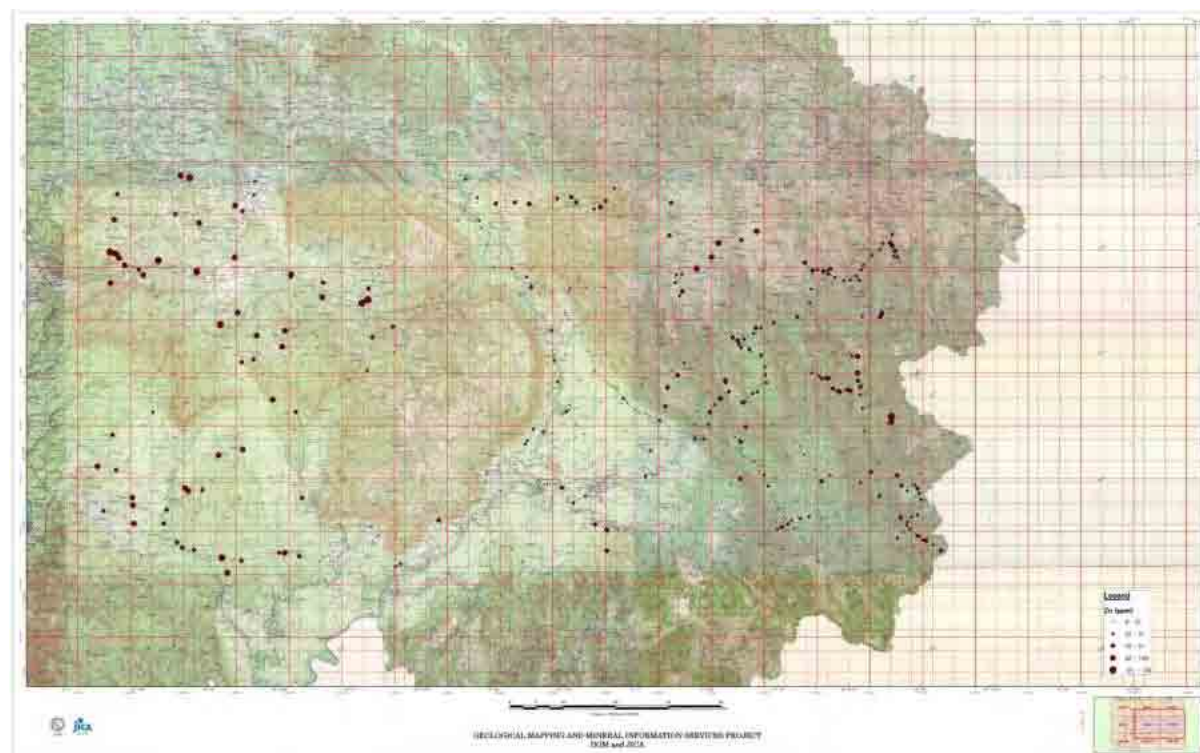


図 4.7.11 Znの地球化学図

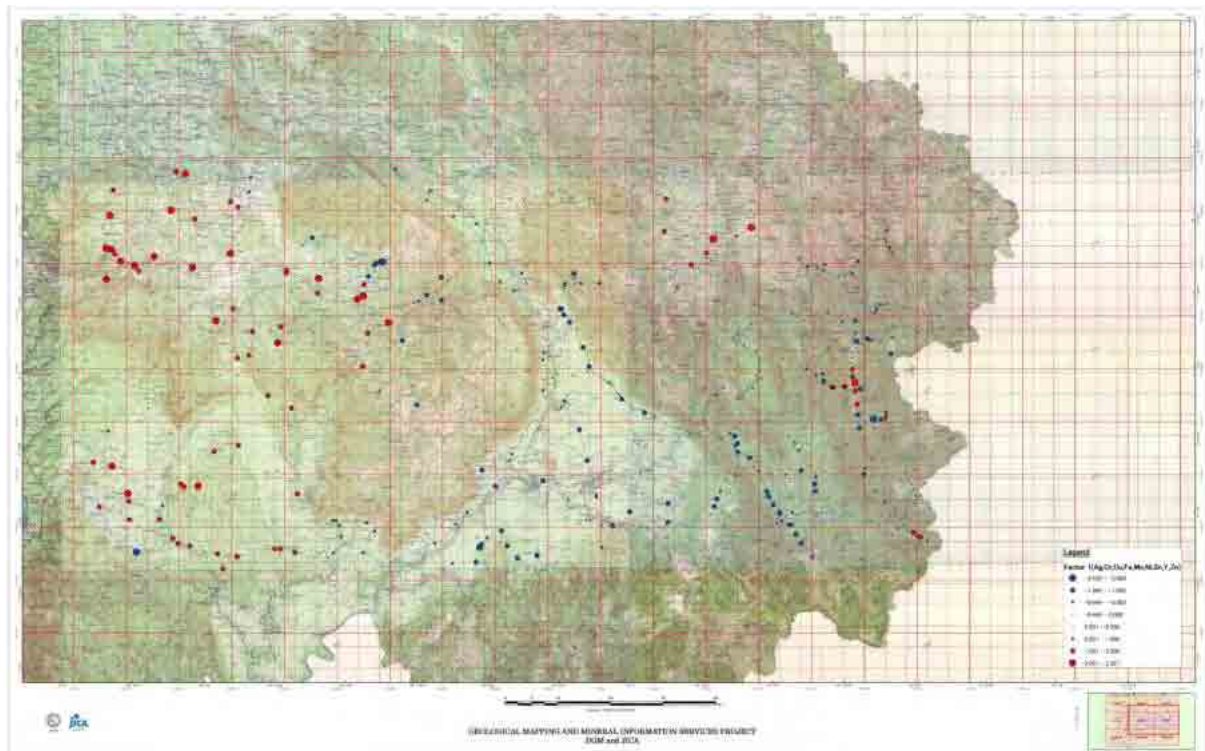


図 4.7.12 Factor 1 の地球化学図

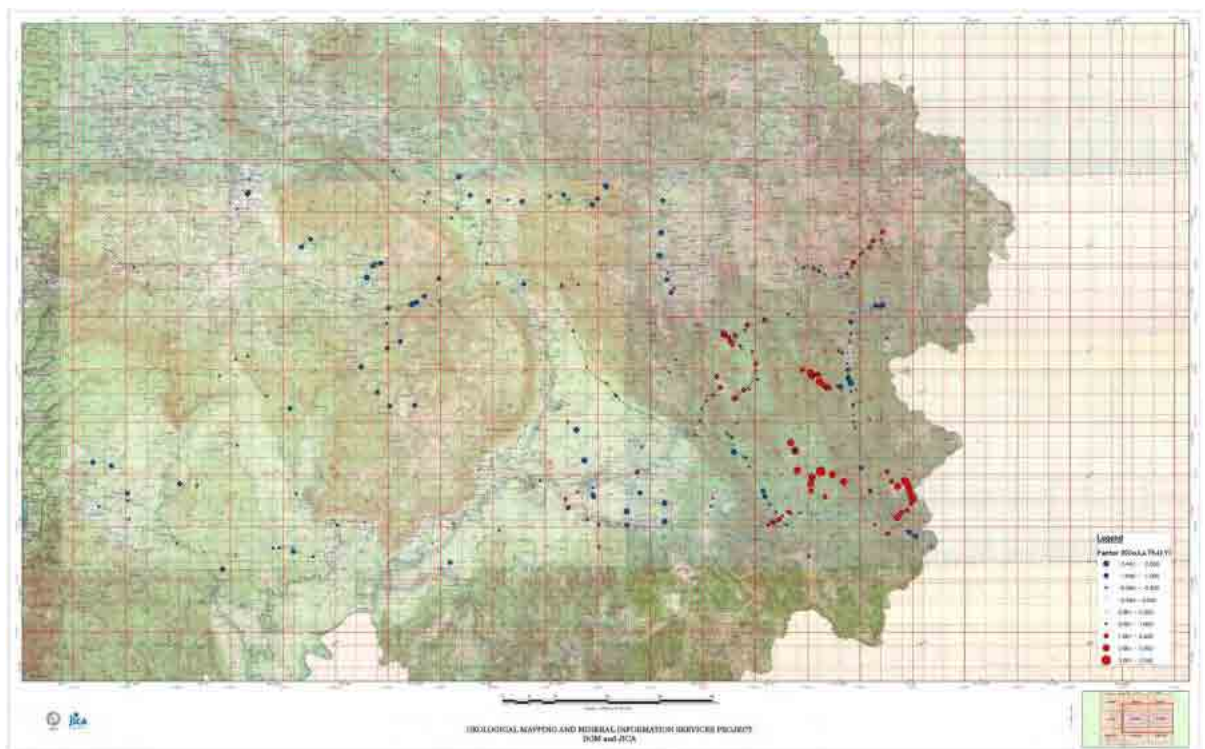


図 4.7.13 Factor 2 の地球化学図

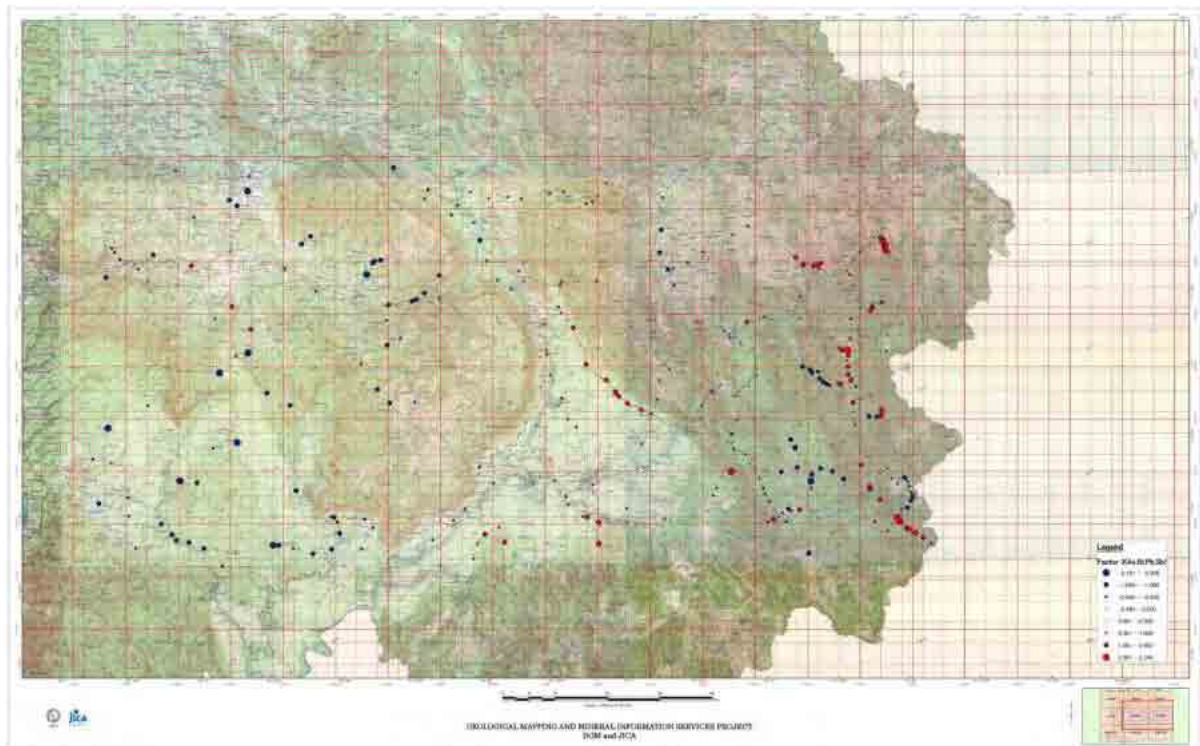


図 4.7.14 Factor 3 の地球化学図

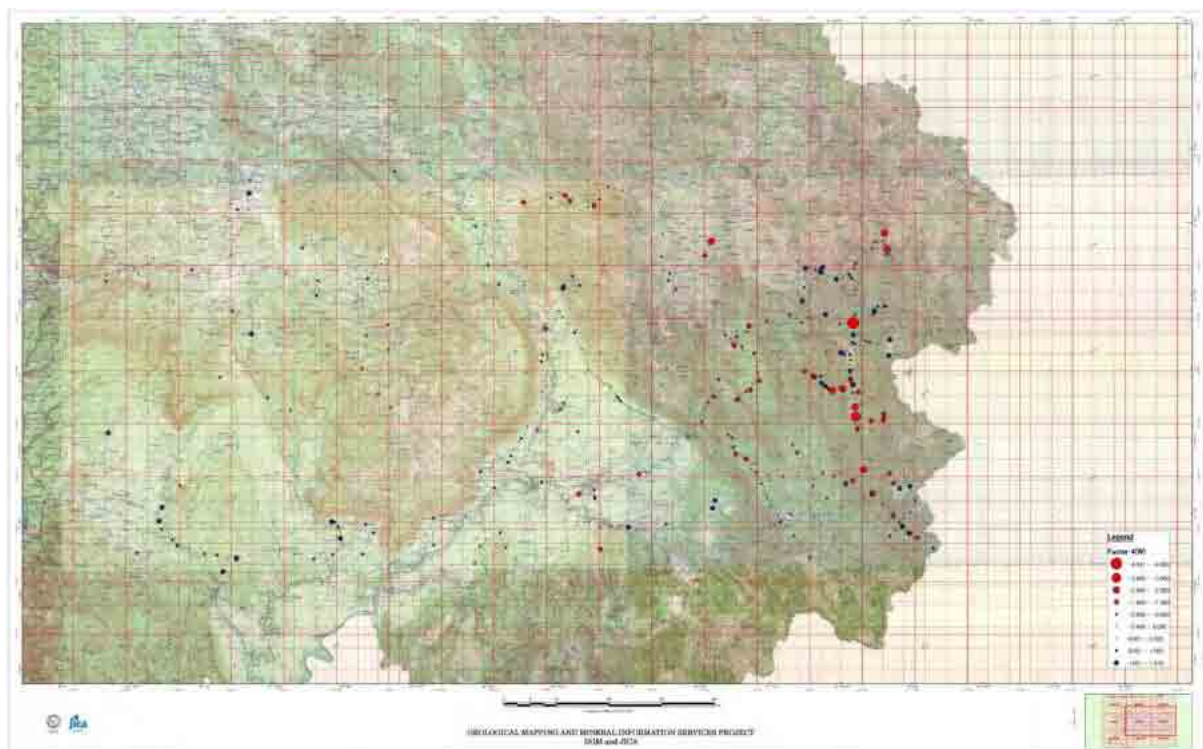


図 4.7.15 Factor 4 の地球化学図

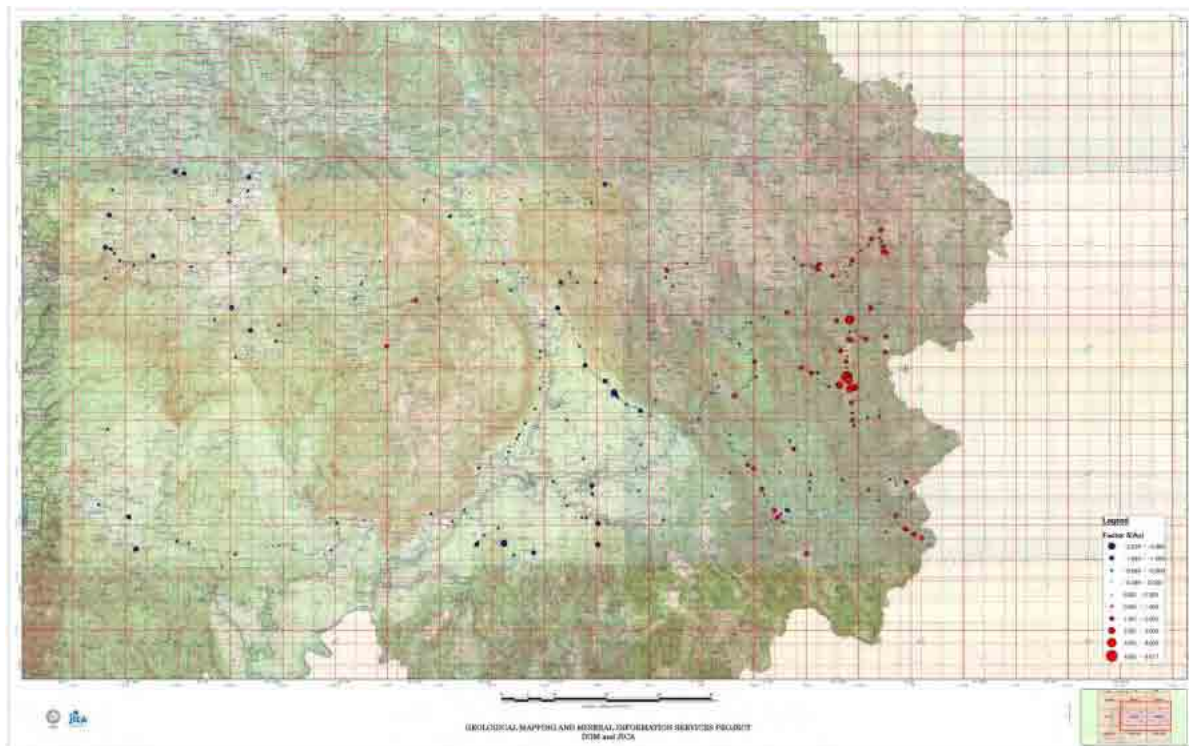


図 4.7.16 Factor 5 の地球化学図