

## 5.3 衛星画像解析

### 5.3.1 使用データの処理

カ国は 66%を森林に覆われており、露岩域は限られている。また、気象条件も雨季と乾期があり雲量の少ない衛星画像を全土にわたって取得することは難しい。まず、既存の衛星画像を調べ、鉱物分類、地質判読に必要な衛星画像を配布機関(ERSDAC、JAXA 等)において検索し、現在利用可能なカ国の衛星画像のリストを作成した。

既存データには JICA 所有の ALOS、LANDSAT、SOPT 画像があり、表 5.3.1 にまとめた。しかし、これらのデータはカ国全土をカバーしておらず、バンド数も単バンドか 4 バンドで鉱物分類のためには十分ではない。そこで、本解析ではカ国の殆どをカバーする雲量 20%以下の ASTER データの取得に努めた。地質判読のために予定していた ALOS PALSAR 衛星データはカ国の撮像が進んでいないことから、主に広域の HH 偏波のレーダー画像について全土のデータを取得した。

鉱物資源探査に係る衛星画像解析ではスペクトル解析による鉱物分類が一般的であるが、カ国のような植生の多い地域ではスペクトル解析は困難なことが予測される。そこで熱帯雨林地帯でも鉱物探査に利用できる解析方法を検討し、カ国で実証していくことが重要である。カ国の特徴的な鉱床タイプや地質環境を十分理解したうえで、有望地域抽出方法を考案し、適用した。

衛星画像解析には専用のソフトウェアを利用することが必要である。DoG の C/P に衛星画像解析の技術移転を図るために専用ソフトウェアのトレーニングセミナーを開催し、C/P が衛星画像データを取り扱うことができるように訓練した。実際に ASTER および ALOS PALSAR データについて C/P がコンパイルしたデータを解析に使用している。

表 5.3.1 既存の衛星画像一覧

センサー名	シーン数	プロダクト	バンド数	処理レベル	解像度(m)	備考
ALOS AVNIR	31	VNIR	4	1B2	10	GeoTIFF
ALOS AVNIR	13	VNIR	4	1B2	20	GeoTIFF
ALOS PRISM	15	DEM	-	1B2	2.5	GeoTIFF
SPOT5	15	SPOT	-	-	2.5	GeoTIFF

新規に購入した衛星画像(使用データ)一覧を表 5.3.2 にまとめる。またインデックスマップを図 5.3.1 に示す。ASTER109 シーン、PALSAR28 シーンを購入し、モザイク処理を実施した。ただし 2008 年 4 月以降に取得されたデータには SWIR 画像が含まれていない。

これらの使用データ詳細を Appendix V-2 および Appendix V-3 に示す。カ国全体の ASTER のフォールスカラー画像、DEM 陰影図および PALSAR レーダー画像をそれぞれ図 5.3.2、図 5.3.3 および図 5.3.4 に示す。

表 5.3.2 購入した衛星画像一覧

センサー名	シーン数	プロダクト	バンド数	処理レベル	解像度(m)	備考
ASTER	109	VNIR,SWIR,TIR	14	3A01	15,30,90	EOS Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer format
ASTER	109	DEM	-	3A01	15	EOS Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer format
ALOS PALSAR	8	HH	1	1.5	5~50	Radarsat CEOS radar format
ALOS PALSAR	20	HH & HV	2	1.5	5~50	Radarsat CEOS radar format

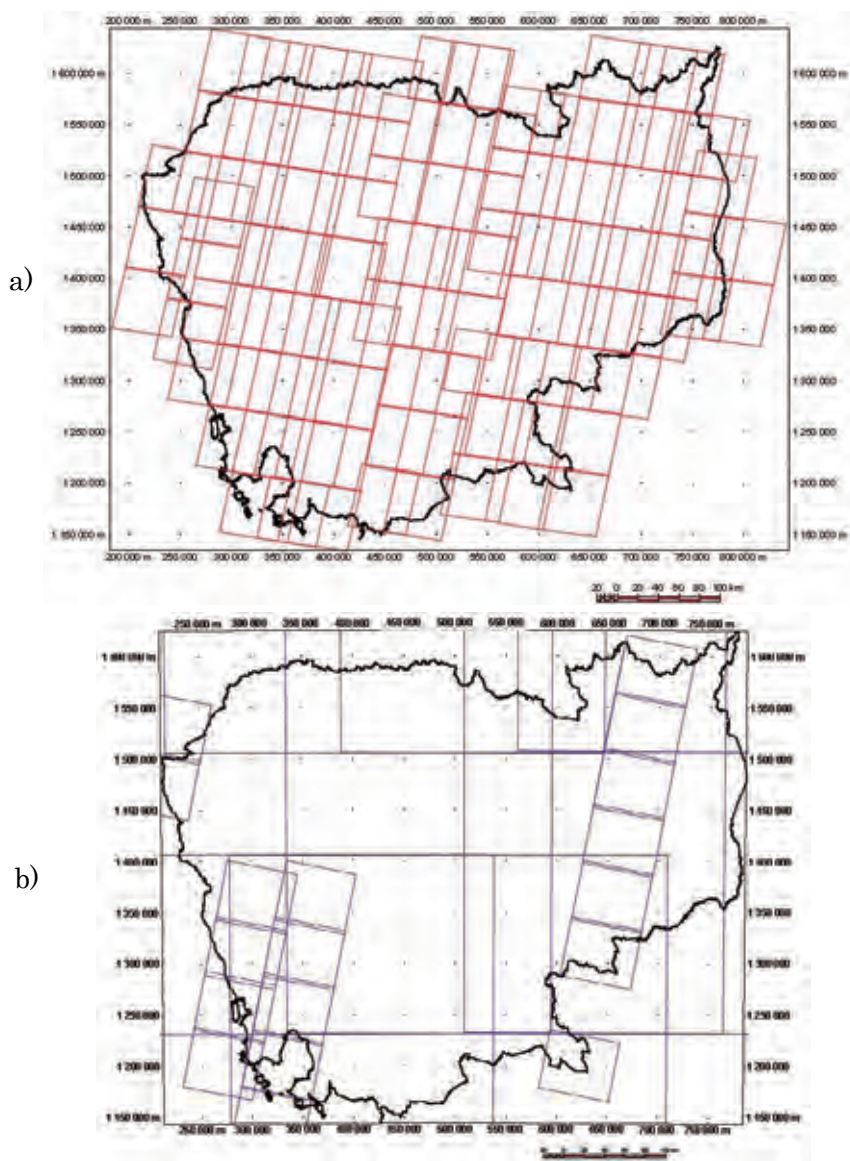


図 5.3.1 衛星画像のインデックスマップ  
a) ASTER 画像, b) PALSAR 画像

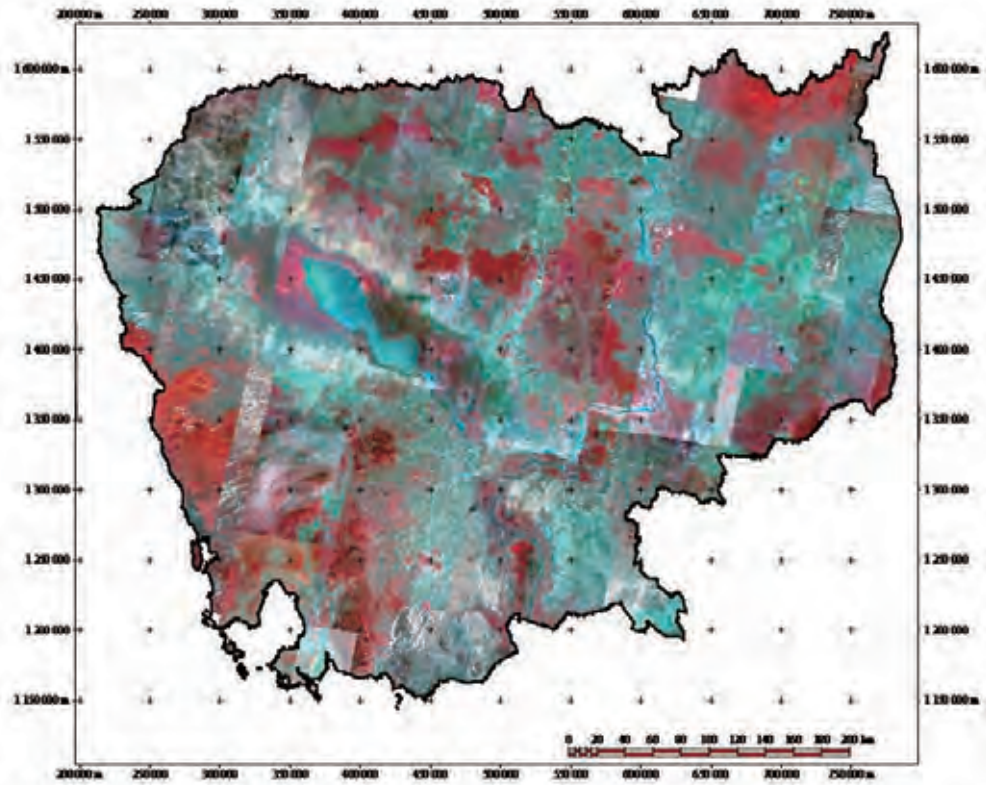


図 5.3.2 ASTER フォールスカラー画像(RGB=VNIR3,2,1)

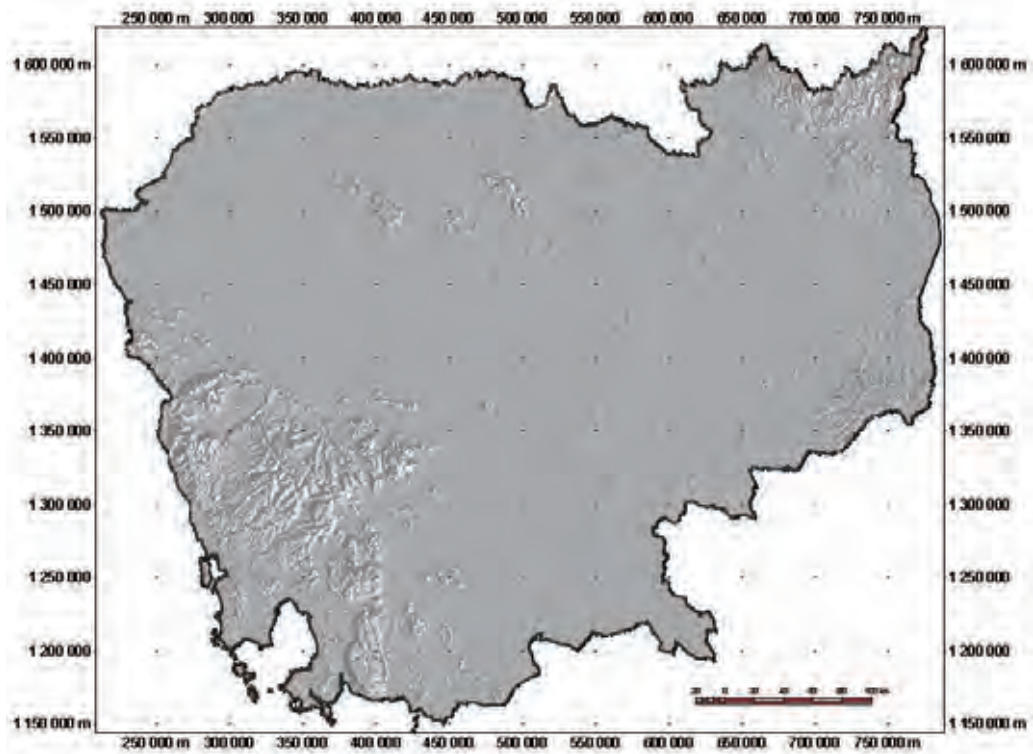


図 5.3.3 ASTER による DEM 画像(グリッドサイズ 30m)

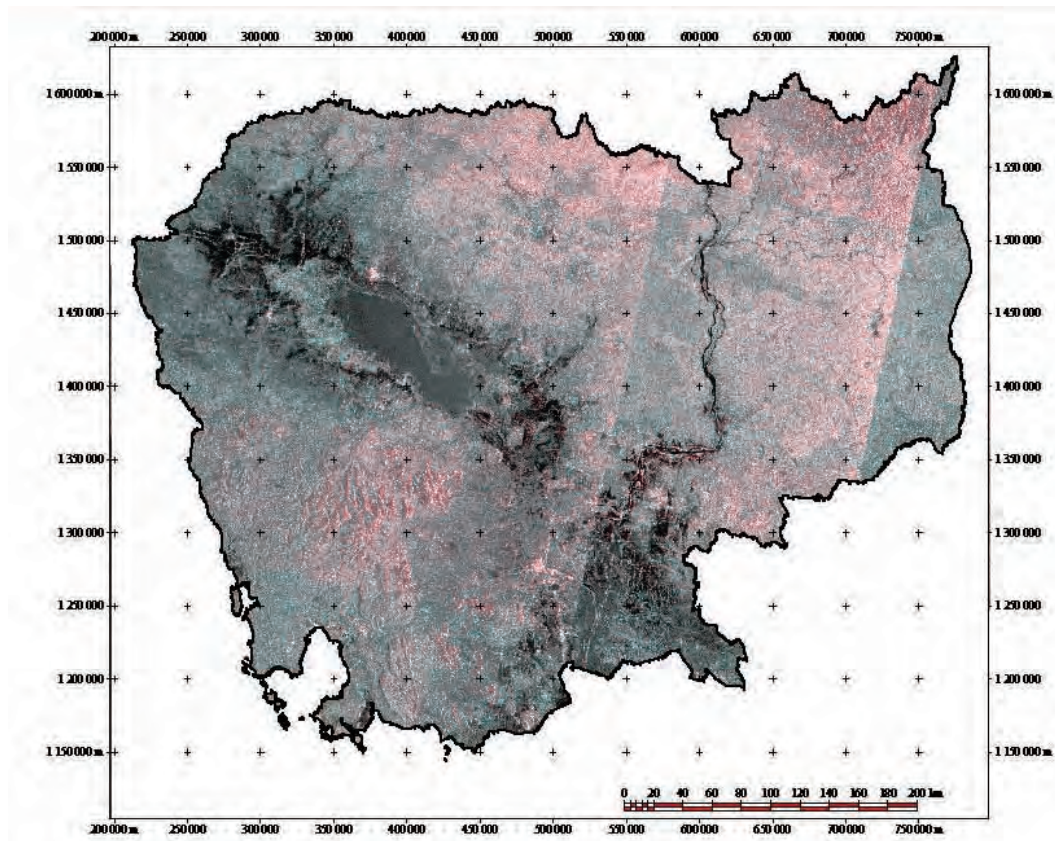


図 5.3.4 PALSAR レーダー画像(HH 偏波)

### 5.3.2 画像解析

熱帯雨林地帯の解析を行う場合植生や雲が問題となる。また、地質情報からは、カ国の鉱床は貫入岩に伴う変質作用によるものが多く、画像より火成岩や貫入岩の分布を解析することで有望地域抽出を試みることにした。

まず衛星画像から熱帯雨林地帯の植生と鉱床について検討するために、隣国のラオス国セポン鉱山を教師地として選定し、セポン鉱山周辺の画像解析を実施した。そこで得られた知見をカ国の衛星画像解析に応用した。

#### (1) 有望地域抽出方法

有望地域抽出方法を図 5.3.4 にまとめる。使用する衛星画像データは ASTER L3A プロダクトの全 14 バンドおよび DEM データである。そして ALOS PALSAR 広域レーダ画像および HH, HV 偏波レーダ画像である。以下に解析手順を示す。

- ① 植生状況の確認。
- ② 鉱床周囲の植生が少ない場合は、ASTER の全バンドを利用したスペクトル解析から有望地域抽出を行う。
- ③ 鉱床周囲の植生が多い場合には、ASTER TIR バンドの解析、地形特徴解析、レーダー画像の地質判読を組み合わせることで有望地域を絞り込む。
- ④&⑤ TIR バンドデータを使った合成画像、自動クラス分け、二宮ら(2002)の QI(石英

指標)、CI(炭酸塩鉱物指標)、SI(SiO<sub>2</sub>含有量指標)による合成画像から火成岩の分布を抽出する。

- ⑥&⑦ DEM データから地形特徴量を解析し、貫入岩の位置を判読する。
- ⑧&⑨ レーダー画像のテクスチャー変化を地質判読の資料とする。
- ⑩ ④～⑨の解析結果から有望地域を抽出する。

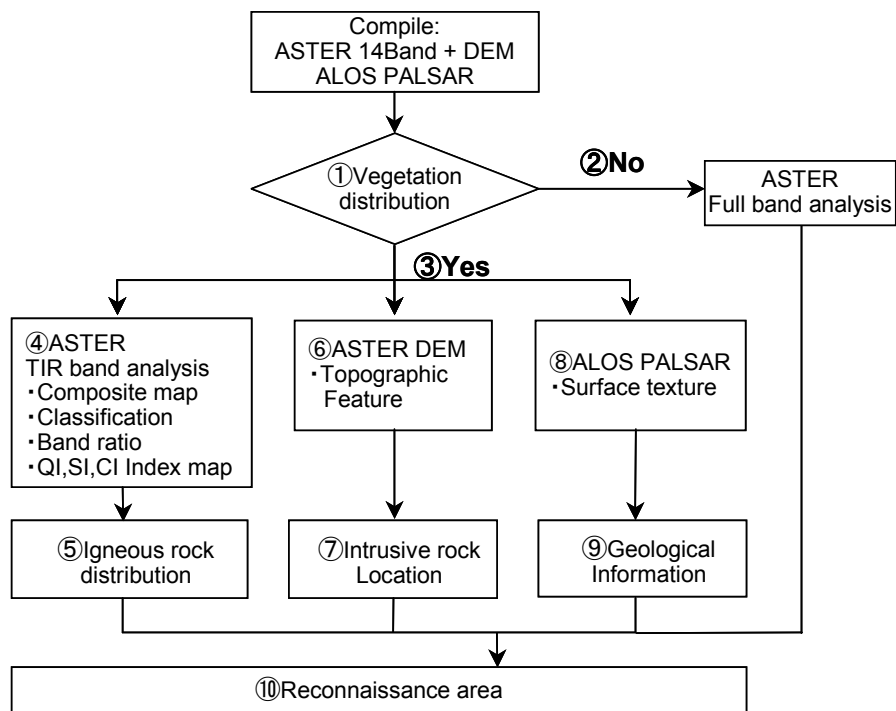


図 5.3.5 熱帯雨林地帯における有望地域抽出方法のフロー

## (2) ラオス国セポン鉱山周辺域での検証

セポン鉱山の位置を図 5.3.6 に示す。セポン鉱山は貫入岩によって形成された金、銅鉱床(銅埋蔵鉱量 14.8 百万 t, Cu 品位 4.9% ; 金埋蔵鉱量 3.9 百万 t, Au 品位 1.6g/t)である。

図 5.3.7 に示す ASTER カラー合成画像(RGB =3,4,5)では、植生分布を表す赤色が鉱山周辺で卓越していることが分かる。従って、(1)に示した③以降の解析手順に沿ってセポン鉱山での解析を行った。

手順④&⑤ : 図 5.3.8 に TIR バンド 10, 11, 12 による無相関ストレッチ画像を示す。フォーカスカラー画像では単一の赤色で表わされていた部分が複数の色で表示されることから、TIR バンドを利用して解析を進めることとした。

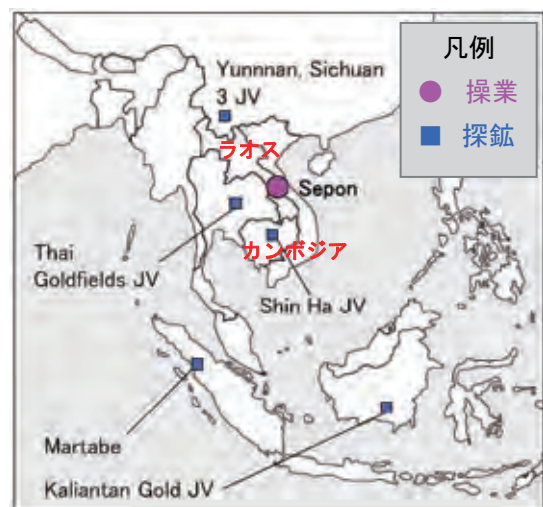


図 5.3.6 ラオス国セポン鉱山の位置 (Oxiana 社ホームページに加筆)

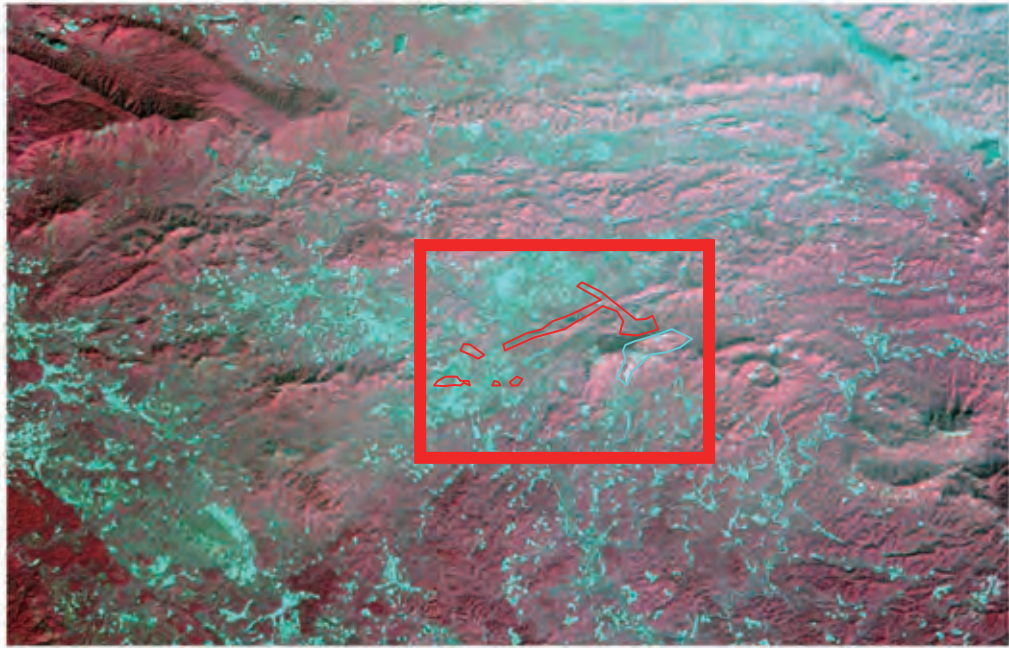


図 5.3.7 セポン鉱山(赤枠)周辺の ASTER カラー合成画像(RGB=VNIR3,4,5)

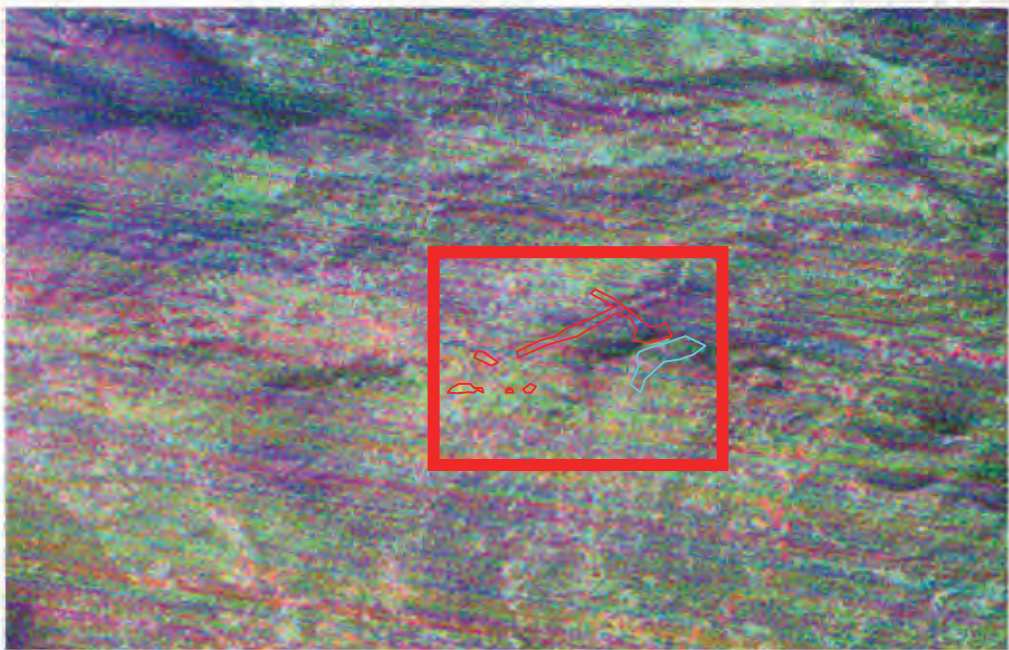


図 5.3.8 ASTER TIR バンド 10,11,12 を用いた無相関ストレッチ画像 (RGB=TIR10,11,12) 赤枠: セポン鉱山

ASTER 全 14 バンドを利用した 20 クラスの自動分類結果(図 5.3.9)ではセポン鉱山(図中赤枠)周辺において塊として数種類に分類されている。青色 1 で表示された部分は貫入岩に対応し、その周囲は黄土色 17 に分類され、金鉱床(細い赤線)周辺は紫 14、水色 3 濃紺 20 となっている。銅鉱床(細い水色線)周辺は青 1 と黄土色 17 に分類されている。

火成岩分布を抽出するため二宮ら(2002)の  $QI, CI, SI$  各指標を用いた合成図( $RGB=QI, CI, SI^{-0.3}$ )を図 5.3.10 に示す。珪酸塩鉱物の岩域(火成岩)を表す  $SI$  指標は指標値が高いほど青色、石英の岩域(珪化岩)を示す  $QI$  指標は指標値が高いほど赤色であり、貫入岩付近はこの 2 色を合わせた青～紫色となっていることが分かる。

手順⑥&⑦: ASTER DEM(標高データ)を用いたセポン鉱山周辺の陰影図(光源は北東方向)を図 5.3.11 に示す。セポン鉱山中心付近に貫入岩がありその北部に東北東—西南西方向にリニアメントが確認できる。金鉱床はリニアメント沿いに分布し銅鉱床は貫入岩体の南側斜面に分布している。

地形特徴量の中で傾斜角度を色分けして(青  $0^{\circ}$ ～赤  $90^{\circ}$ )図 5.3.12 に表示した。貫入岩やリニアメント構造など地形の変換点付近では傾斜が急になり暖色系の色がその地形的な形状を表している。金鉱床はリニアメントの延長上に分布している様子がわかる。

手順⑧: ALOS PALSAR のレーダ画像は入手していないため、省略する。⑨については既存地質図や Oxiana 社の企業レポートの記載を参考にした。

手順⑩: ASTER TIR バンドデータおよび DEM データを用いて数種類の解析を行った結果、

- a)  $QI, CI, SI$  各指標を用いた合成図で火成岩分布を把握する。
  - b) DEM の地形特徴量より、貫入岩を判読する。
- a)、b)の解析を行い、貫入岩と判読され、 $SI$  指標が大きいエリアを有望地域の候補地として抽出した。

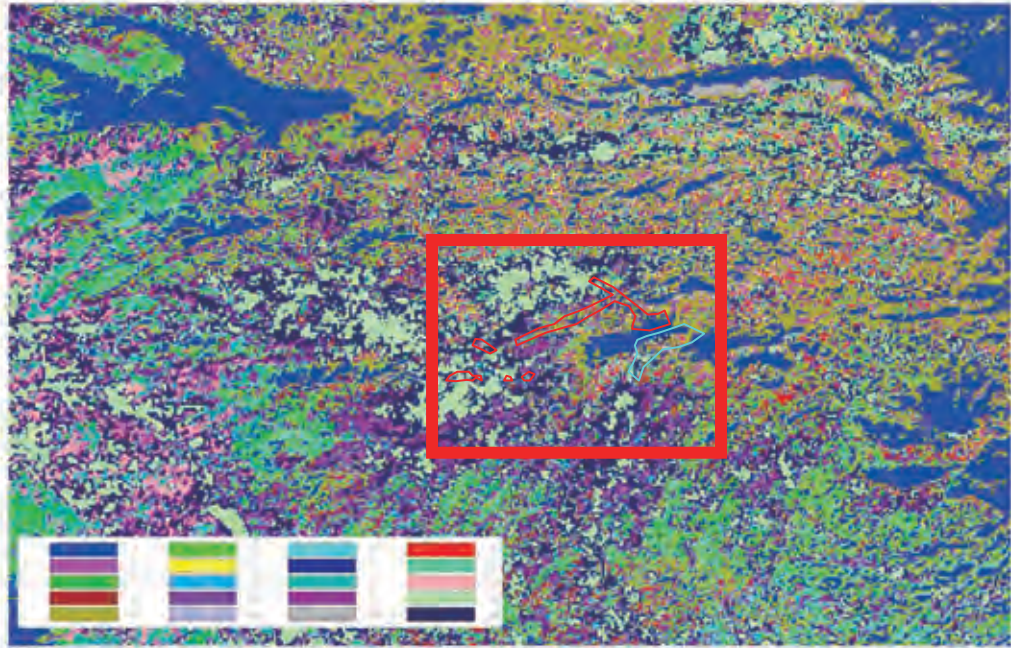


図 5.3.9 ASTER14 バンドデータを使った自動分類解析結果  
赤枠はセボン鉱山を示す

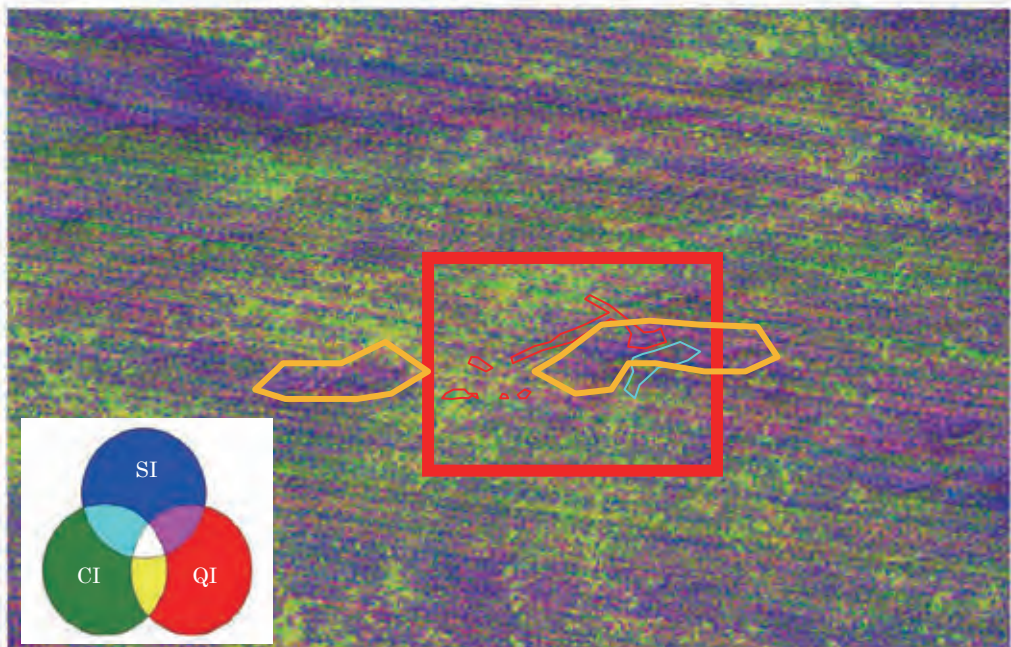


図 5.3.10 QI,CI,SI 指標の合成画像(R:QI, G:CI, B:SI<sup>-0.3</sup>)  
赤枠はセボン鉱山、オレンジ枠は火成岩の可能性の高いエリアを示す



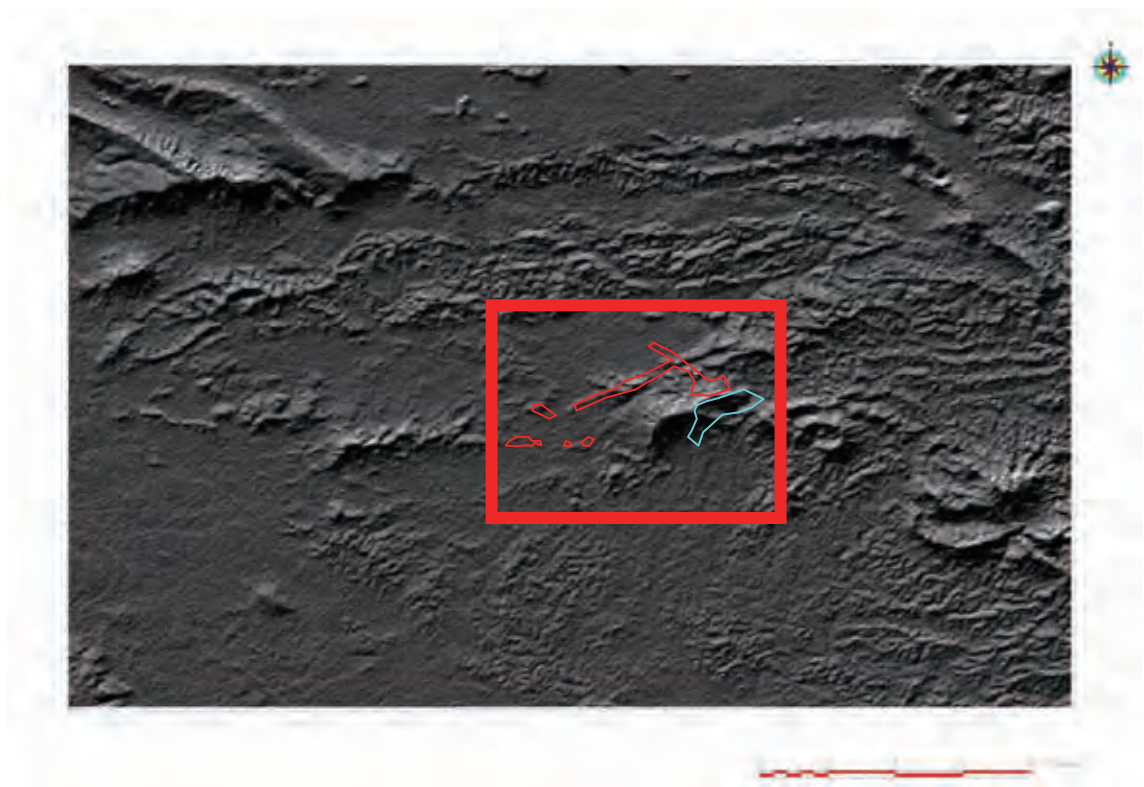


図 5.3.11 ASTER DEM データによるセポン鉱山(赤枠)周辺の陰影図

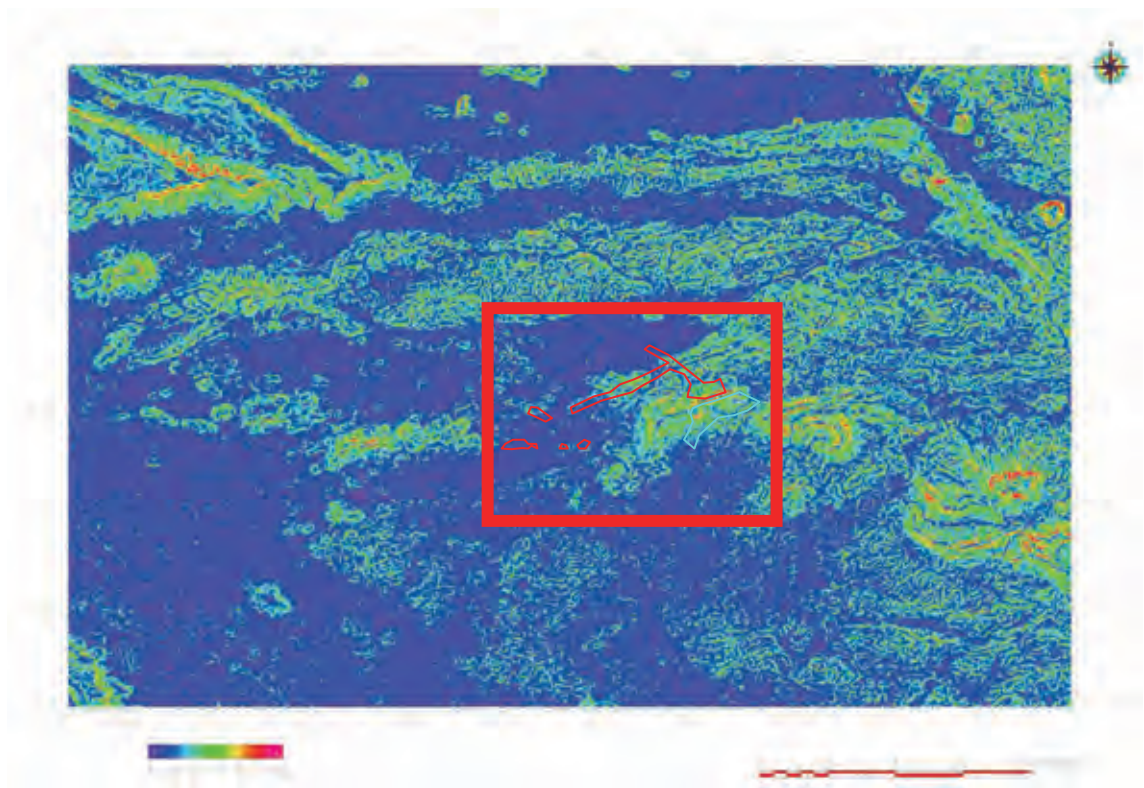


図 5.3.12 地形特徴量(斜面の角度)解析結果  
暖色系が急傾斜を示す

### (3) 衛星画像解析方針

画像解析対象となる鉱床タイプ：火成岩とその周囲の変質帯。セポン鉱山のような貫入岩に伴ない変質を受けている範囲が解析対象である。このタイプの鉱床は火成岩(貫入岩)を中心に鉱化帯が同心円状に広がっているのが特徴である。

解析方針：雲量が多い、植生が卓越しているなどの条件があり、乾燥地域や露岩地域のように VNIR バンド、SWIR バンドでの粘土鉱物分類は難しい。そこで TIR バンドによる岩相指標(QI,CI,SI 指標)およびDEMによる地形特徴量解析などいくつかの解析手法を組み合わせ、貫入岩を判読した結果を統合して有望地域として抽出する。

(1)の手順に従い ASTER 画像 109 シーン、ALOS PALSAR 画像 28 シーンを使用した。

カ国の植生は地域によって偏りがあるものの、図 5.3.2 の VNIR 画像では植生情報を含むバンド3が赤色で表示されているおり、山岳地域周囲に集中していることが判読できる。また、既存資料に示される鉱徴地は山岳地域に多いことから、セポン鉱山で適用した TIR バンドデータを利用した解析手順で有望地域抽出を行うこととした。ASTER 画像では VNIR,SWIR,TIR の各バンドの合成画像、比演算、SI 指標等の演算、DEM データでは地形特徴解析を実施した。PALSAR のレーダー画像は地表面のテクスチャー変化を地質判読に利用することとした。

植生に関しては、衛星画像で植生と判断した地域の状況を確認するために、Pousat 州の山岳部で地表面の状況を視察した。視察地の ASTER フォールスカラー画像(RGB=321)を図 5.3.13 に示す。写真は図中の丸印地点より北側を撮影したもので、遠方の山頂が画像で矢印の山である。ASTER 画像では山頂付近は植生が少なく(緑色系)、山腹に植生域(赤色系)が広がっている様子がわかる。

従って、視察の状況から山岳地域の植生は 10m 以上の樹木が多く、このようなエリアでの可視光バンドによる鉱物分類は困難であると判断した。

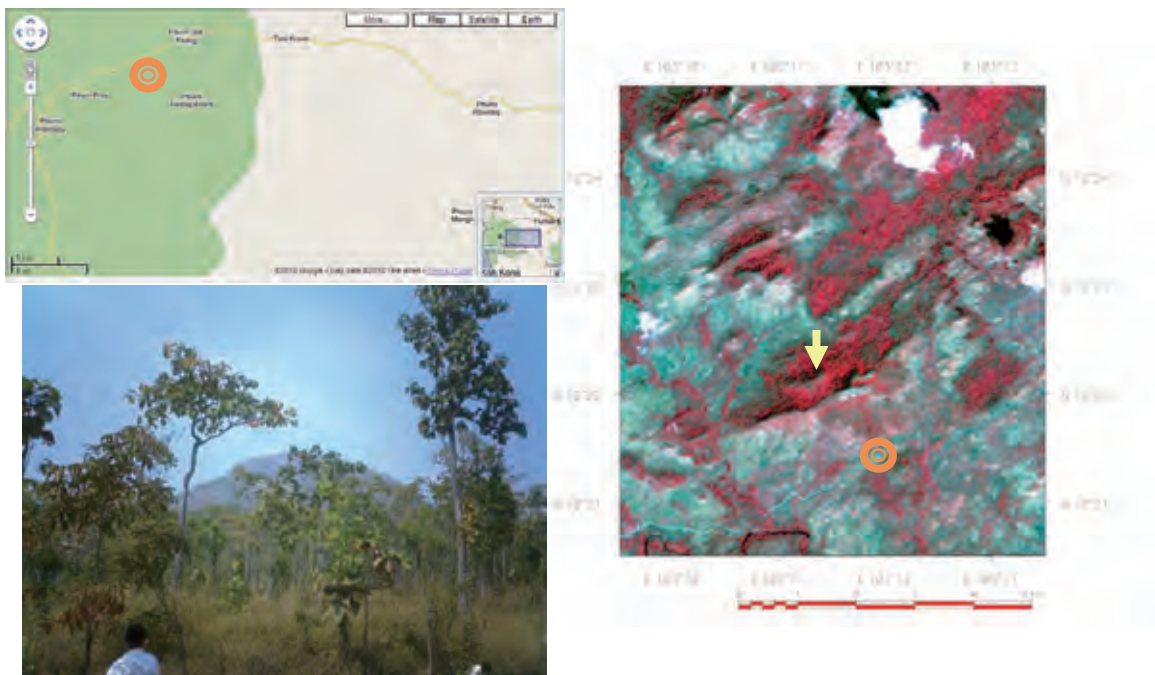


図 5.3.13 視察地点(左上)周辺の写真(左下)と ASTER 合成画像(RGB=3,2,1)

既存の地質図、ASTER 画像を統合し、火成岩の分布図を作成した(図 5.3.14)。図中では着色して火成岩類を表示している。

この画像から、DEM 画像で凸地形で表されるエリアに火成岩が多く分布しており、それ以外では砂岩が大部分を占めていることが分かる。DEM 画像では第四紀層に覆われているところでも貫入岩を表わす地形が読み取れることから、貫入岩が地表で確認できていない場所においても、火成岩類が分布している可能性がある。

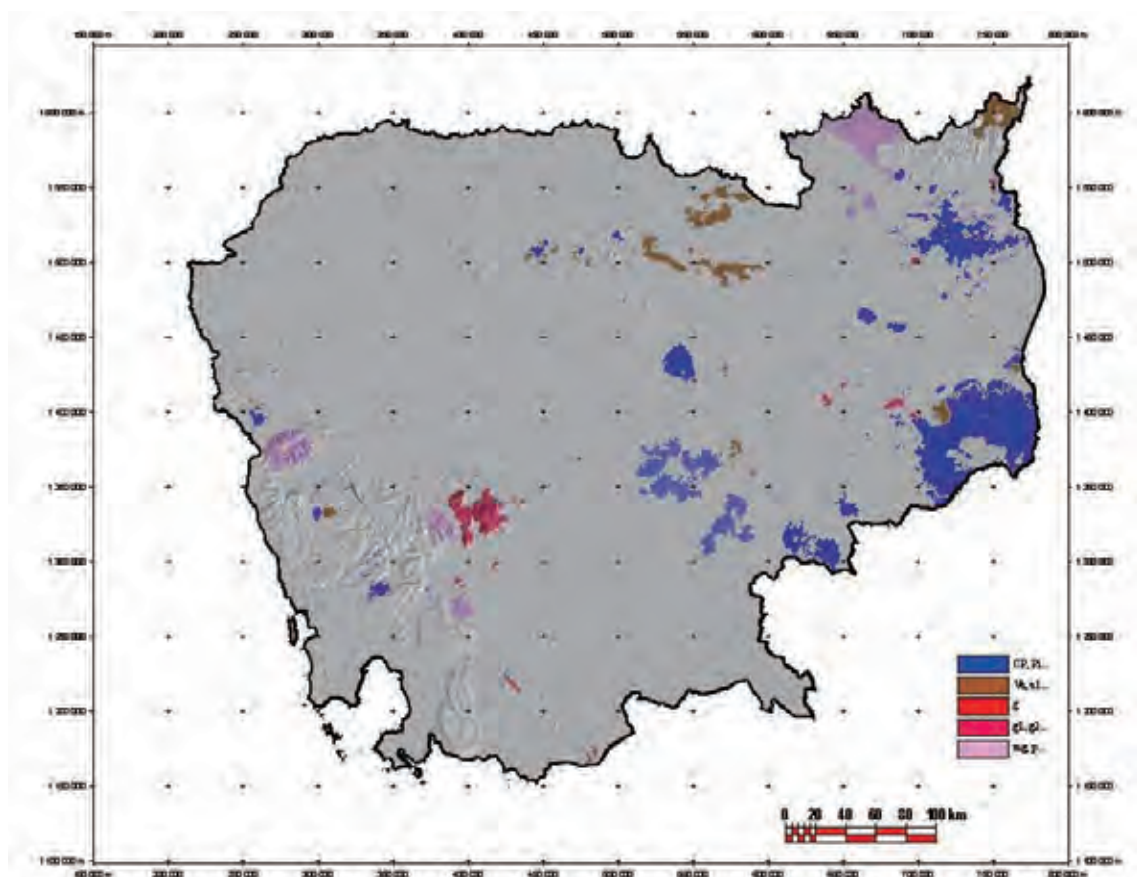


図 5.3.14 火成岩類の分布図  
(DEM 画像に火成岩分布を重ね合わせた画像)

貫入岩に関しては DEM データによる地形特徴量解析からは図 5.3.15 に示すように貫入岩の判読が可能であり、既存地質図では判読できない地質境界についても情報を得ることができた。特に第四紀の堆積層の区分に活用できた。

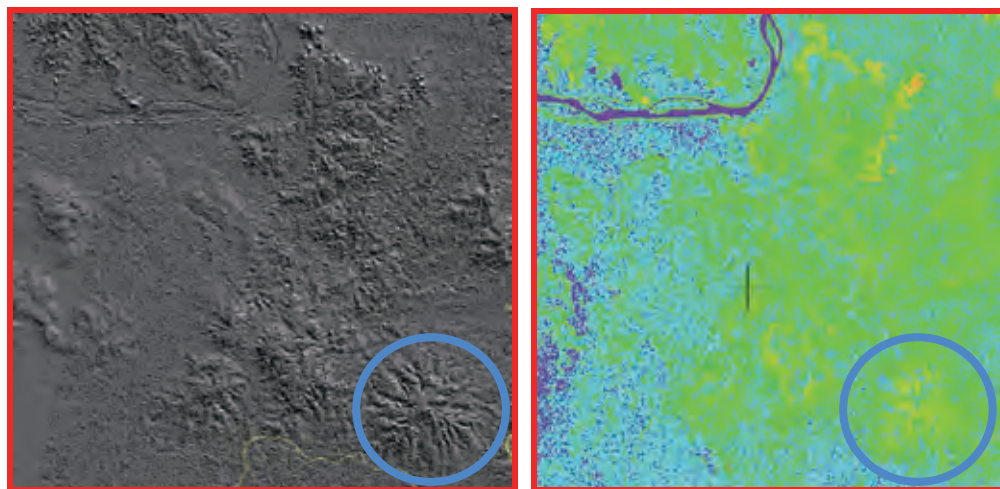
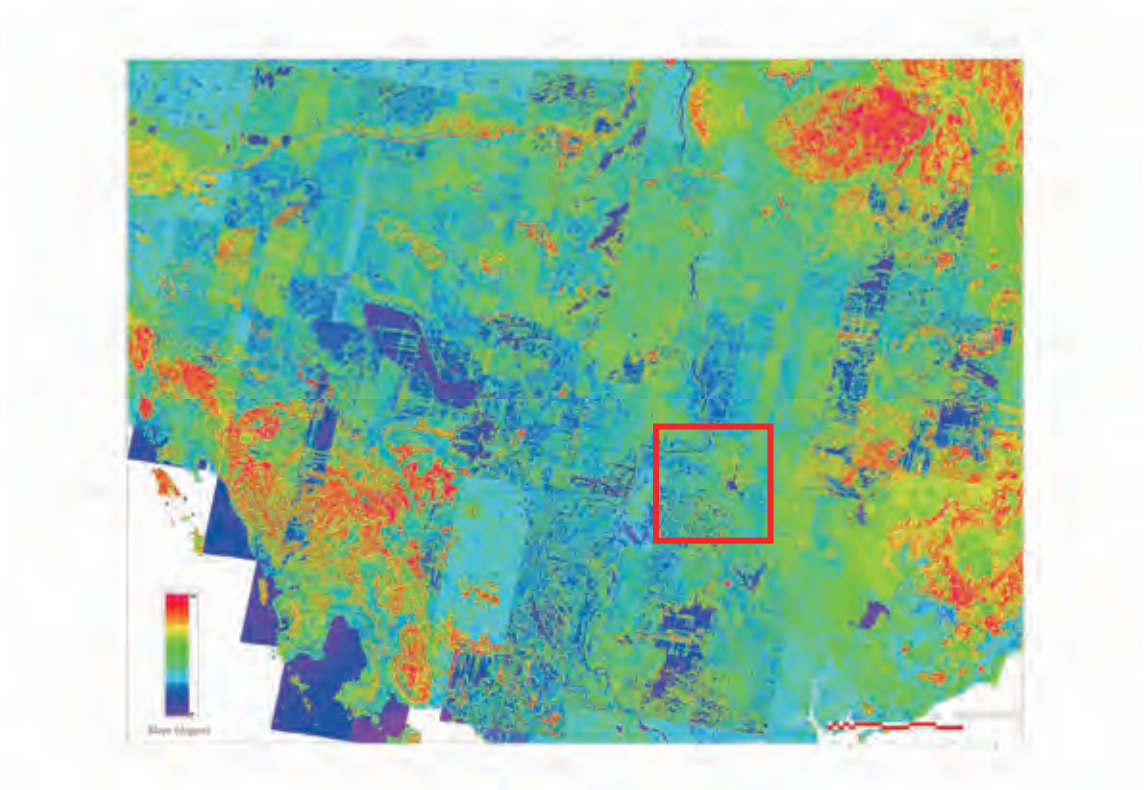


図 5.3.15 地形特徴量(斜面の角度)解析結果(上)、  
上図内赤枠 Area 1 の DEM データ(下左)と地形特徴量(下右)

### 5.3.3 カ国での衛星画像解析結果

本項ではカ国の衛星画像解析結果を地表踏査結果を交えてまとめる。

衛星画像解析結果を検証するための地表踏査は、地質調査と同時に実施した。調査期間の詳細は第5章5節に示すとおりである。踏査地域は車の進入できない地域や鉱区の設定されている地域は対象外とし、鉱微地の周辺かつ火成岩類が分布している場所を基準にして10地域を選定した。選定した10地域を図5.3.16に緑枠で示す。

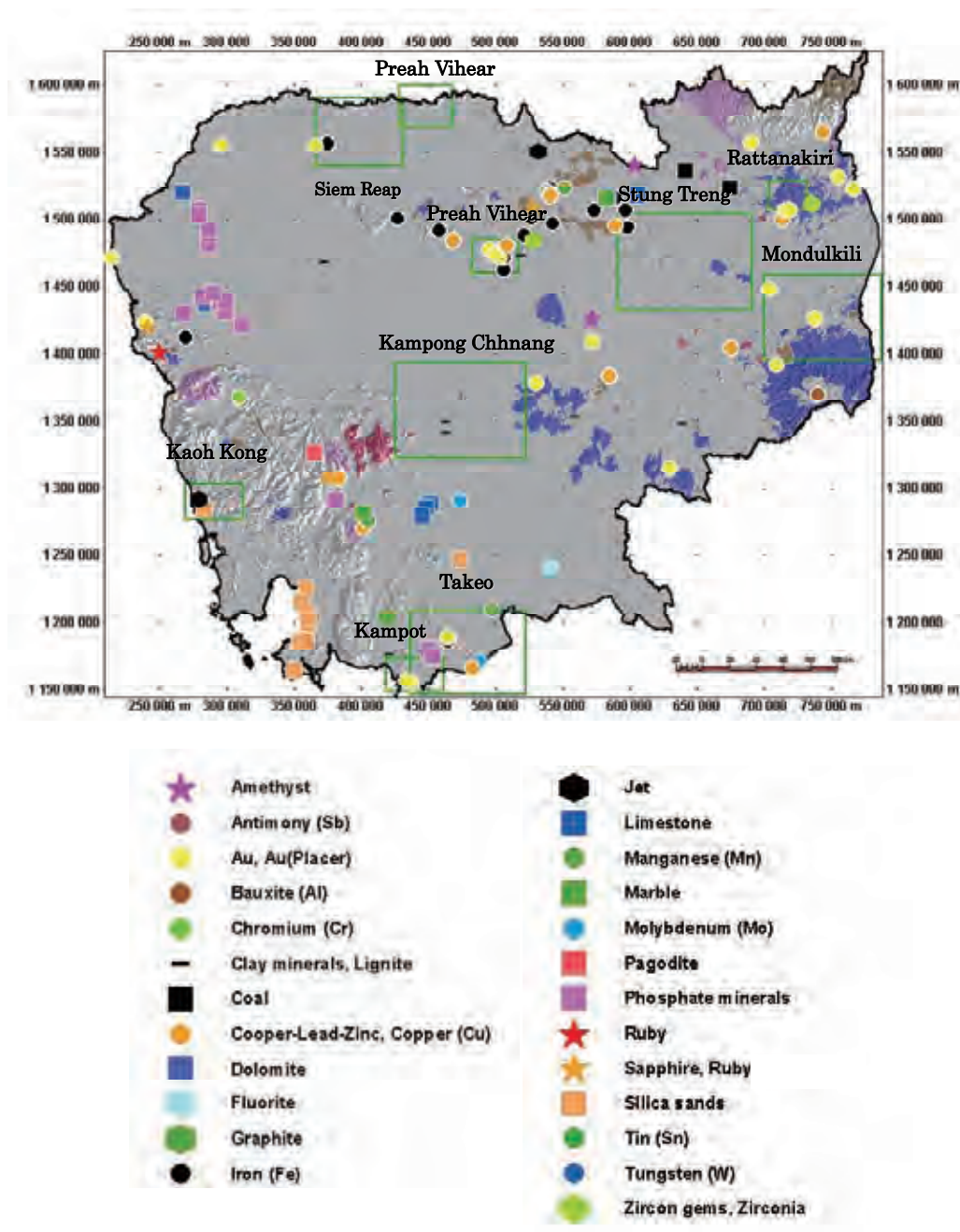


図 5.3.16 踏査地域（緑枠）

(地形特徴量解析と火成岩分布を基準に、インフラや鉱区などの条件を加味して選定した)



面(図 5.3.21)では、火成岩分布範囲と同じ分類結果が北西方向に延長している結果が得られた。検証するために貫入岩指標画像(図 5.3.22)を作成した。

ASTER TIR バンドでは比演算による指標として石英指標(QI)、炭酸塩鉱物指標(CI)、SiO<sub>2</sub>含有量指標(SI)が、以下のように一般的に示されている。図 5.3.22 はこれらの指標を合成したものである。

$$QI = (B11 \times B11) / (B10 \times B12)$$

$$CI = B13 / B14$$

$$SI = B12 / B13$$

既存の火成岩分布位置での画像と比較したところ、北西方向の延長上に貫入岩と見られる解析結果が得られていることが分かった(画像中の黄色い破線枠)。今回の踏査ではこのエリアに立ち入ることはできていないが、地質調査の結果とも合わせて検討することで、新しい知見が得られる可能性がある。

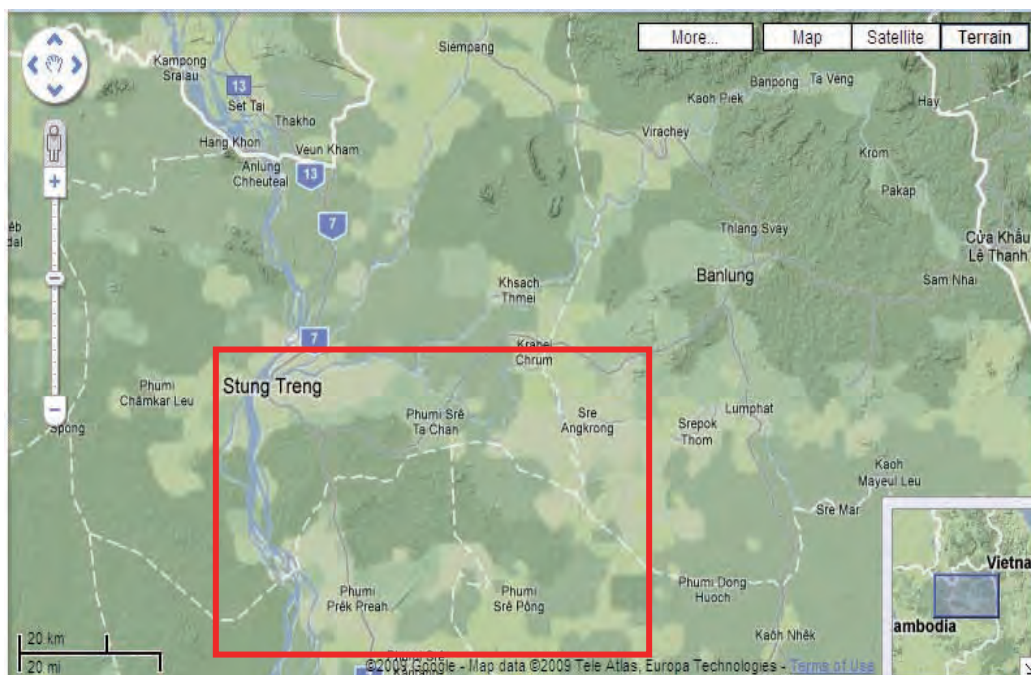


図 5.3.18 Stung Treng 地域 (赤枠) の位置図

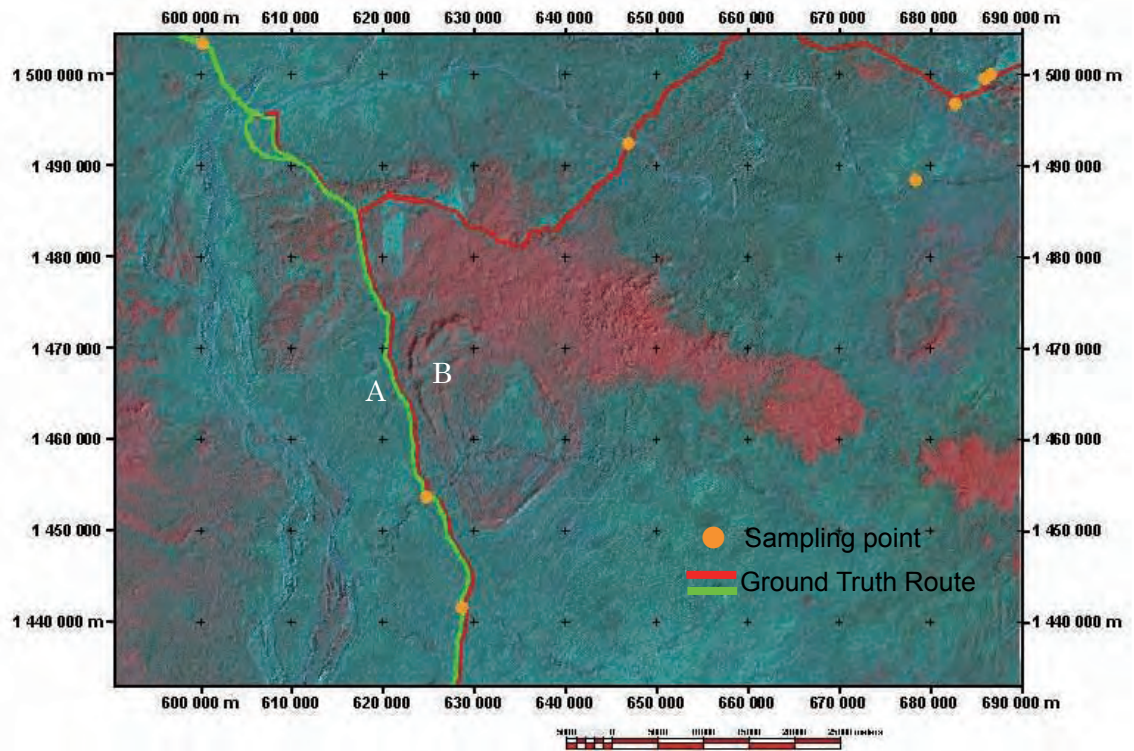


図 5.3.19 植生指標画像 (RGB= Band NDVI 4,6)  
 (植生指標 NDVI は  $(B3-B2)/(B3+B2)$  を示す。A,B は写真撮影地点)



図 5.3.20 Stung Treng 地域の写真  
 (図 5.3.19 の A 地点 (左) B 地点(右))  
 (植生は低地では下草程度であるが丘陵や台地ではジャングルとなっている)



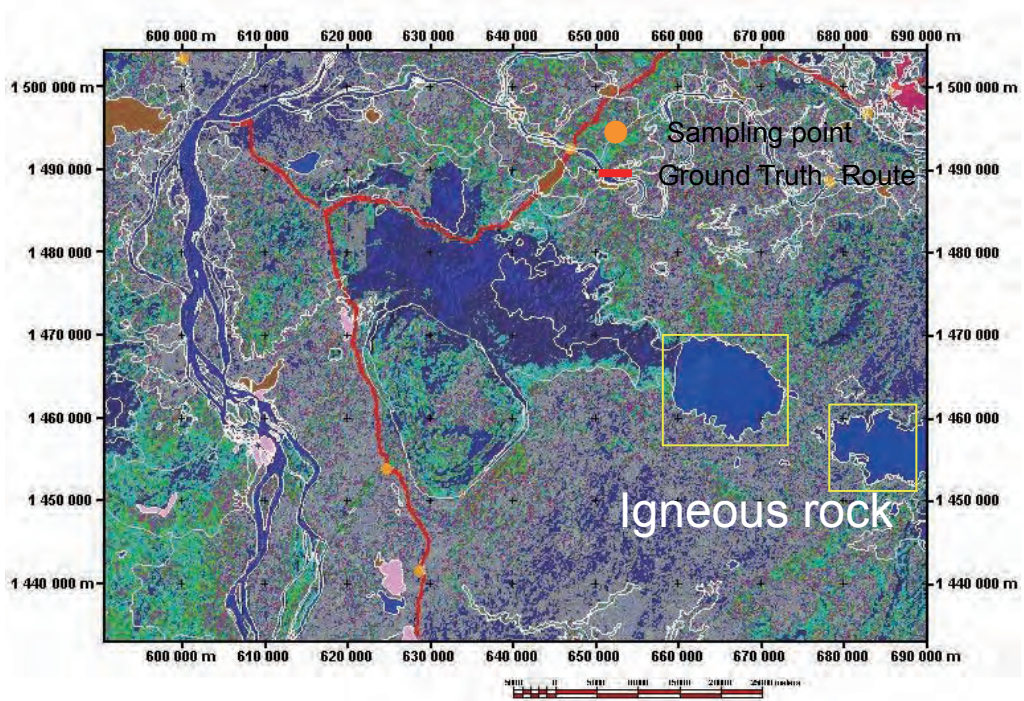


図 5.3.21 ASTER TIRバンドによる自動分類図  
(自動で 20 レベルに分類した結果を示している)

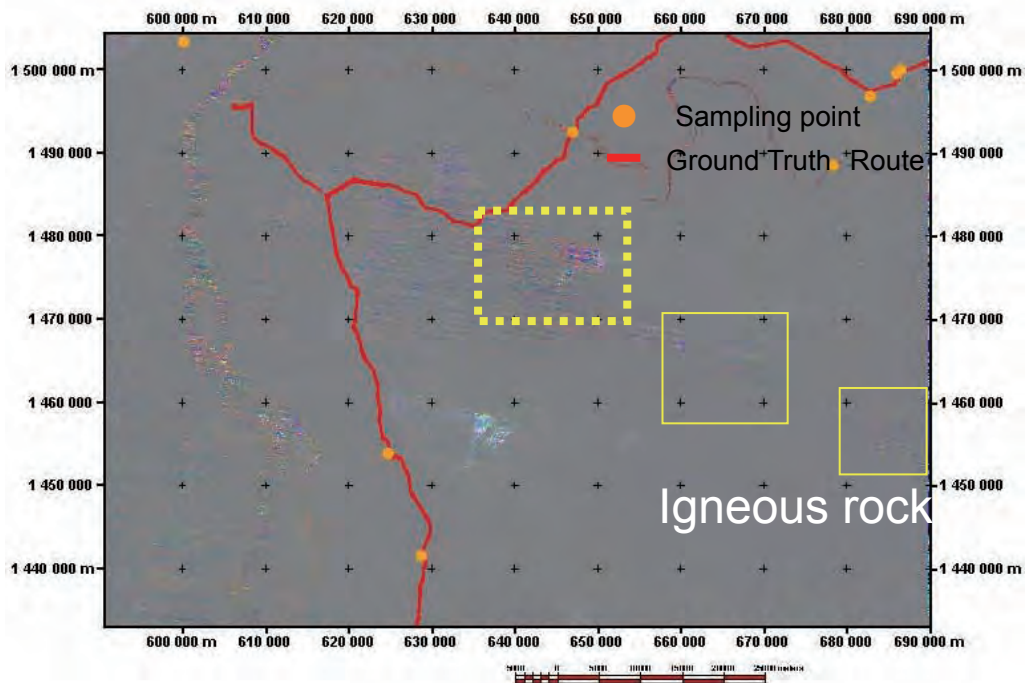


図 5.3.22 火成岩指標図 (RGB = QI, CI, SI)  
QI: 石英指標, CI: 炭酸塩鉱物指標, SI: SiO<sub>2</sub> 含有量指標

## (2) Takeo 地域

Takeo 地域の位置図と踏査範囲(赤枠)を図 5.3.23 に示す。本地域はカ国の南部、カンボジアとの国境付近にあり、画像の中心付近に北西-南東方向に並ぶ貫入岩体が分布している。踏査範囲は主に低地の田園地帯が広がり、住居や道路はこれらの岩体付近に集中している。岩体の中には採石場となっている場所も点在している。

当地域の植生を確認する画像を図 5.3.24 に示す。前節と同様に RGB 画像では植生指標 NDVI は R に割り当てたので、赤色に見える部分に植生が多いことを示している。貫入岩体周囲の低地は田園であり植生は少ない結果となっている。また、貫入岩体においても図 5.3.25 に示す現地の写真のように、花崗岩の露頭が見られる程度に植生が少なく、植生指標画像でも赤色分布が少ない。

当地域中央に分布する火成岩は画像からも植生が少ないことが分かった。そこでこの地域では SWIR バンドデータも使用して画像解析を行うこととした。現地では鉄分の多い岩石が見られたので酸化鉄指標による画像を作成した。画像では酸化鉄指標 B4/B3 を緑色に割り当てた。

図 5.3.26 には酸化鉄指標と既存の火成岩分布の合成画像を示す。表示範囲は図 5.3.24 の黄色の枠で囲った部分である。赤紫のポリゴンで示した部分が図 5.3.25 の写真中の花崗岩である。

図 5.3.27 には酸化鉄指標と DEM の合成画像を示す。図面北西部の岩体と赤丸で囲われた岩体は同じ貫入岩と考えられるが地表地質が異なるため、発色は北西側が赤系統が強く、赤丸内は緑系統(酸化鉄)が強くなっている。現地での岩石サンプルでは鉄分が多く含まれていたことから画像解析の結果とも整合的な結果であるといえる。



図 5.3.23 Takeo 地域(赤枠)の位置図

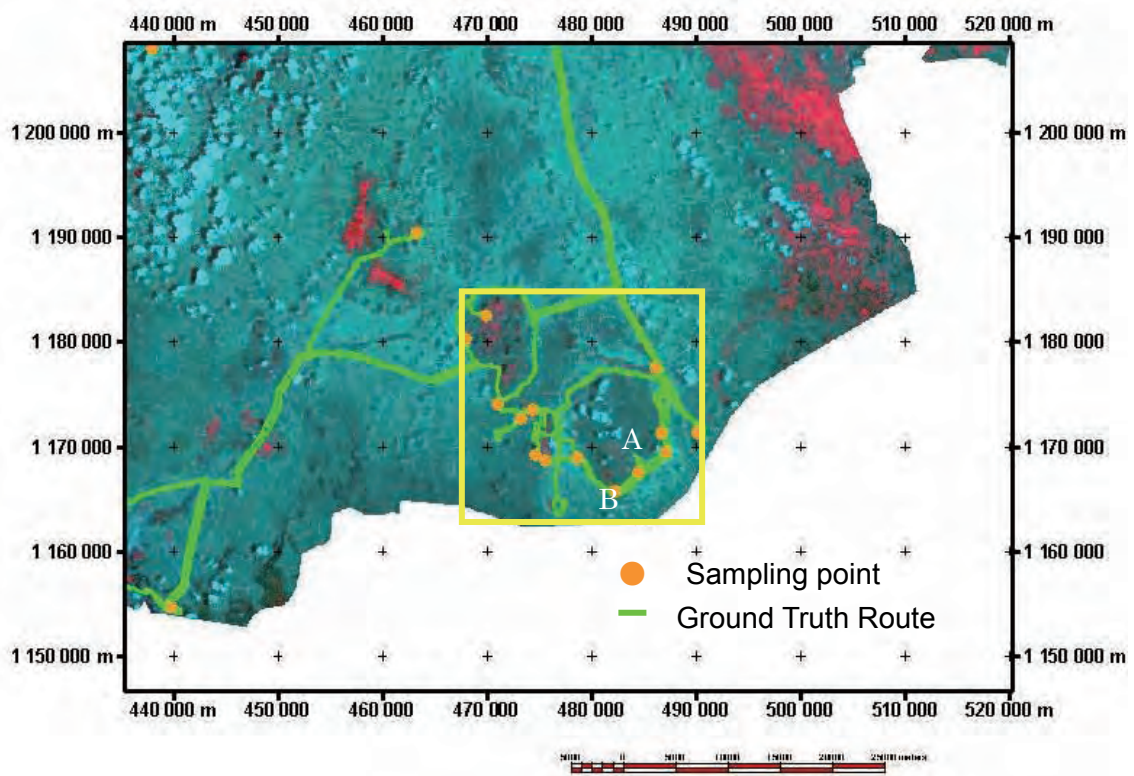


図 5.3.24 Takeo 地域の植生指標画像 (RGB= Band NDVI 4,6)  
 植生指標 NDVI は  $(B3-B2)/(B3+B2)$  を示す。A,B は写真撮影地点  
 黄色枠は詳細解析範囲を示す



図 5.3.25 Takeo 地域の写真  
 図 5.3.24 の A 地点 (左) B 地点(右)

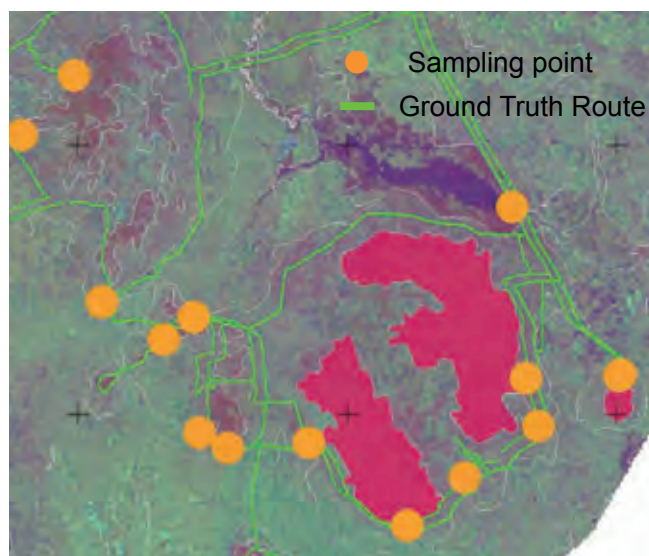


図 5.3.26 酸化鉄指標 (RGB = 4/7 4/3 2/1) と火成岩分布(赤紫ポリゴン)の合成画像 (図 5.3.24 の黄枠内の範囲)

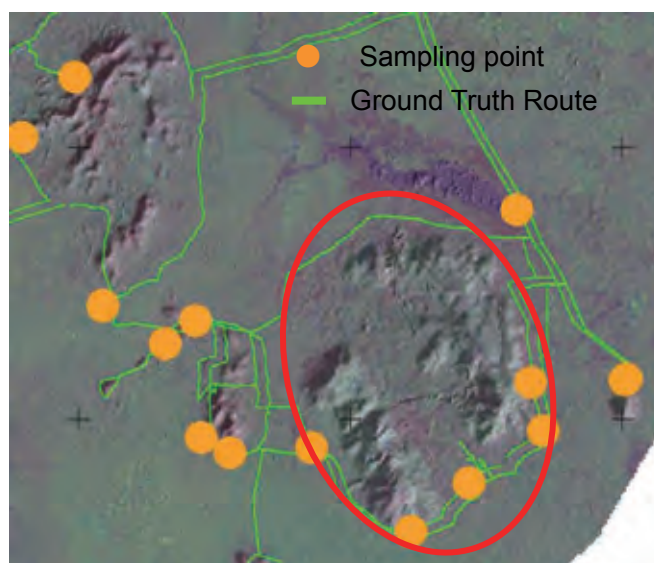


図 5.3.27 酸化鉄指標 (RGB = 4/7 4/3 2/1) と DEM の合成画像 (図 5.3.24 の黄枠内の範囲)

### (3) Kampong Chhnang 地域

Kampong Chhnang 地域の地図と踏査範囲(赤枠)を図 5.3.28 に示した。本地域はカ国の中部、トンレサップ湖の南東付近にあり、画像の中心に火成岩体が分布している。踏査範囲は主にトンレサップ川が北西－南東方向に広がっている。

当地域の植生を確認する画像を図 5.3.29 に示す。この RGB 画像では植生指標 NDVI は R に割り当てたので、赤色に見える部分に植生が多いことを示している。貫入岩体は赤く発色しており、植生としては高さ 2m 程度の樹木を示している。またこの岩体周囲の低地は植生が少ないようにみえる。

図 5.3.31 には火成岩分布と DEM の合成画像を示す。表示範囲は図 5.3.29 の黄色の枠で囲った部分である。本地域では DEM の凸部が火成岩であることがわかる。

図 5.3.32 には TIR バンド 13、12、10 のデコリレーションストレッチ画像をと地質境界を合成した画像を示す。赤色系に発色しているデコリレーションストレッチ画像と地質境界とがよく一致している。

本地域はアクセス状況が悪いため、地質図の更新時には衛星画像による判読作業が期待できる。

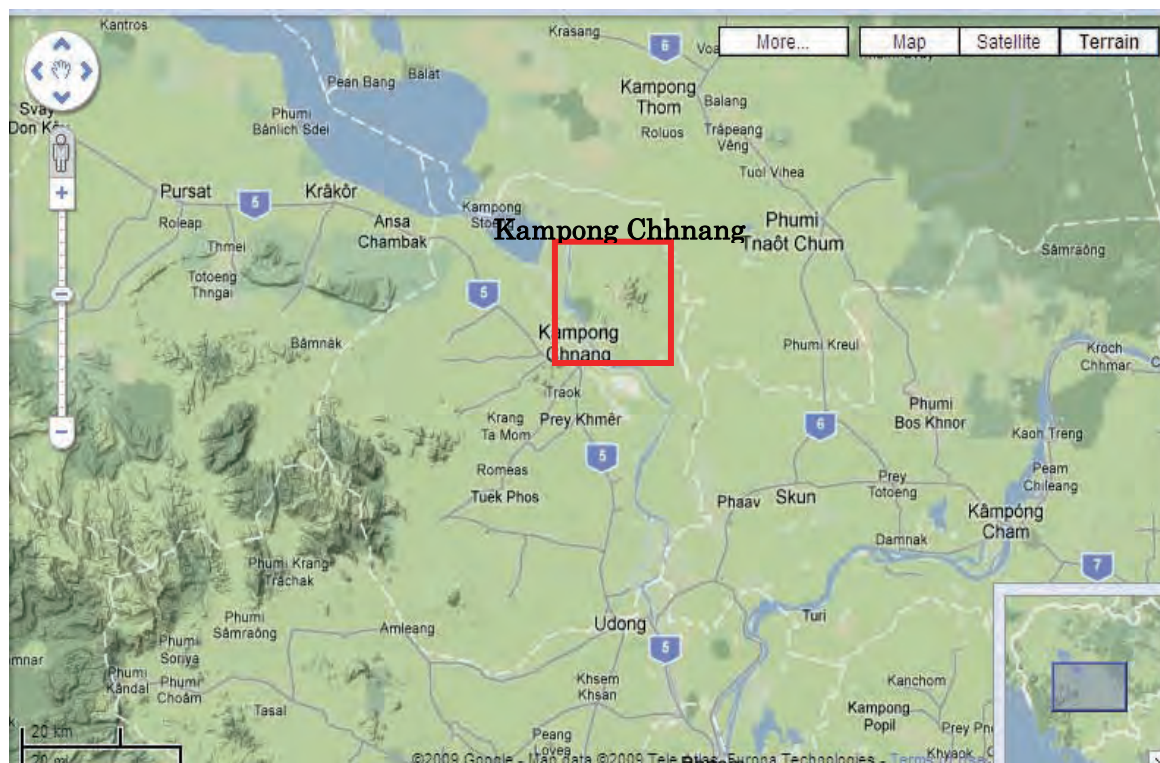


図 5.3.28 Kampong Chhnang 地域 (赤枠) の位置図

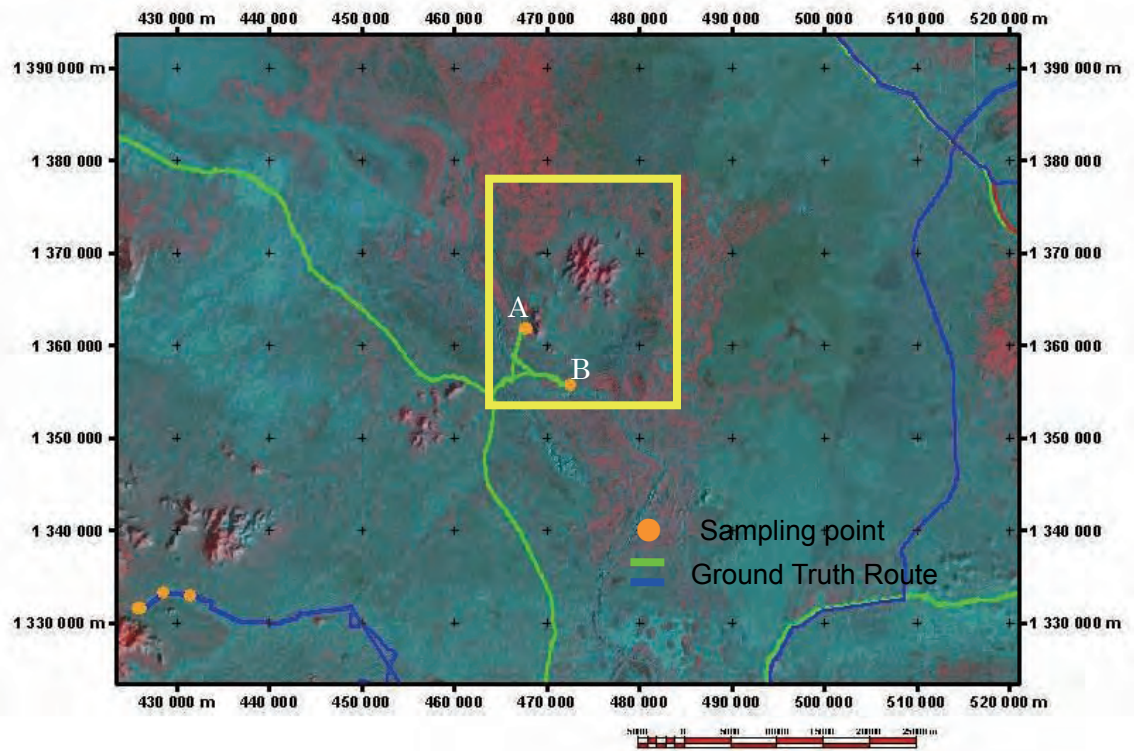


図 5.3.29 Kampong Chhnang 地域の植生指標画像 (RGB= Band NDVI 4,6)  
 植生指標 NDVI は  $(B3-B2)/(B3+B2)$  を示す。A,B は写真撮影地点  
 黄色枠は詳細解析範囲



図 5.3.30 Kampong Chhnang 地域の写真  
 図 5.3.29 の A 地点 (左) B 地点(右)

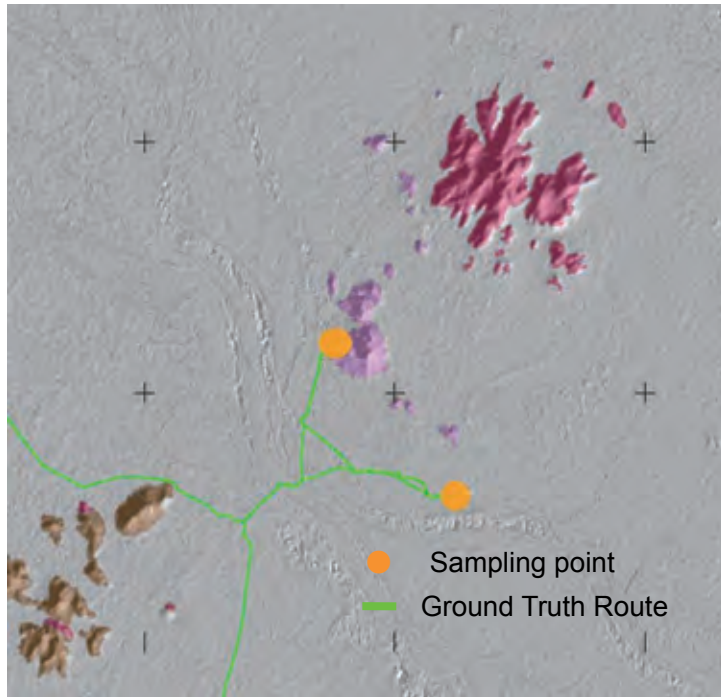


図 5.3.31 DEM 画像と火成岩分布の合成画像

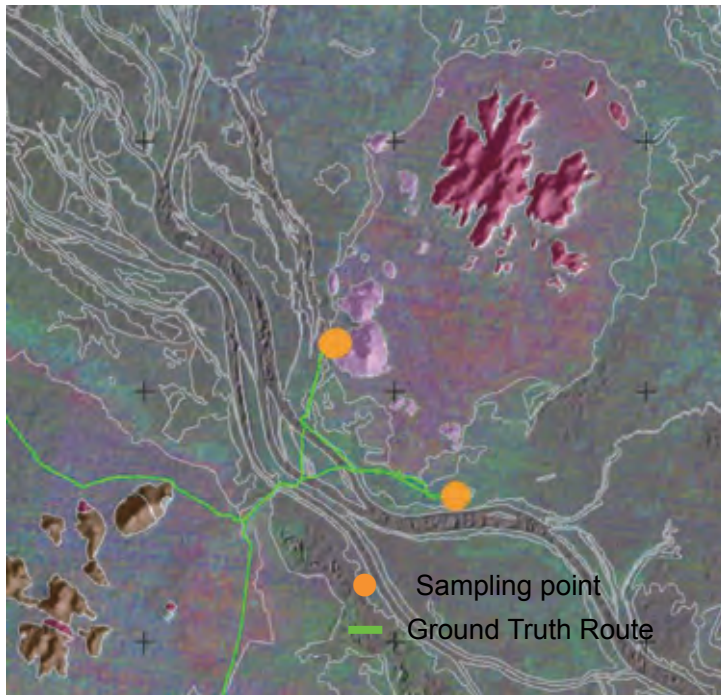


図 5.3.32 TIR バンド 13、12、10 のデコリレーションストレッチ画像

### 5.3.4 技術移転

地質局長に DoG の現況についてインタビューし、画像解析に使用できる機材および担当できる人材について確認した。本調査業務期間中は 2 名の C/P が付き、衛星画像処理、解析、判読やグラウンドトゥルス、その後のチューニングなどの一連の衛星画像処理に参加した。

人材に関しては衛星画像処理についての知識はないものの、業務として地質図作成などを行っているため、画像解析ソフトウェアの講習から始めることができた。PC などの機材は古いものの、現時点では解析に支障が出ることはない。問題点はデータの保存先の HDD 容量が少ないことである。

円滑に衛星画像解析を進めるために、技術移転セミナーを DoG 局長室において 2 回開催した。1 回目は 2008 年 10 月 13 日～15 日の 3 日間で、講義では ASTER 画像、ALOS 画像の基本的な処理について説明し、画像解析ソフトを用いたトレーニングを行った (Appendix I-6)。実習としてカ国全土をカバーする(一部未取得地域あり)ASTER 画像と ALOS\_PALSAR 画像のコンパイルは C/P が実施した。ASTER の VNIR, SWIR、TIR および DEM 画像、PALSAR の 2 偏波画像については、C/P が任意の地域で利用できるようになった。2 回目は 2008 年 10 月 27 日に衛星画像解析と判読について講義を行い、実習では C/P がコンパイルした ASTER 画像を用いて解析処理を行った。

## 5.4 鉱物資源ポテンシャル

カ国の鉱物資源としては、金、銀、アルミニウム、鉄およびベースメタルを中心とした金属鉱物、石灰岩、砂岩、珪砂、隣などの工業原料および建築材料、ルビーなどの宝石類が知られている。地質調査が十分でない範囲が多いにもかかわらず、これまでに多数の鉱徴地が確認されており、金属鉱物としては鉄および鉄合金金属が 26 箇所、ベースメタルが 15 箇所、金が 21 箇所である。これらは、地表に鉱徴が明らかであるため、従来から地元民に知られていた場所が多く、金などでは地表での人力の採掘が昔から行われていた。現在これらの鉱徴地のほとんどには民間企業により鉱区が掛けられ、地化学調査やトレンチ調査などの地表調査からボーリング調査段階の探査が行われている。金属鉱床の全容を把握するまで探査の進んだ鉱徴地は、まだ無いと思われるが、以前から地表で知られていた鉱徴が、企業探鉱の進展により鉱床として確認されてきている。

例えば、Southern Gold 社の Phnom Khtong 鉱区(Kratie 州)では、トレンチで 32m×2.4g/t の金鉱脈を確認した([http://www.southerngold.com.au/cambodia\\_projects.php](http://www.southerngold.com.au/cambodia_projects.php))。また、OZ Minerals 社の Okvau 鉱区 (Mondulkiri 州) では、トレンチで 14m×6.5g/t の金鉱脈を確認した(<http://www.ozminerals.com/Operations/Exploration.html>)。

カ国の金属鉱床は、花崗岩や閃緑岩の貫入に伴い生成されたものであるため、今後探査の進展に伴い、地表の鉱徴が貫入岩体やそこから派生した脈や変質帯に沿って地下深部で大きな鉱床となっている可能性を持っている。

### 5.4.1 ポテンシャル地域抽出

新第三紀～第四紀の被覆層に覆われ、地表に岩石露頭がない地域では、まだ発見されていない貫入岩体が多くあると考えられる。カ国中部地域(トンレサップ-メコン低地)と北東

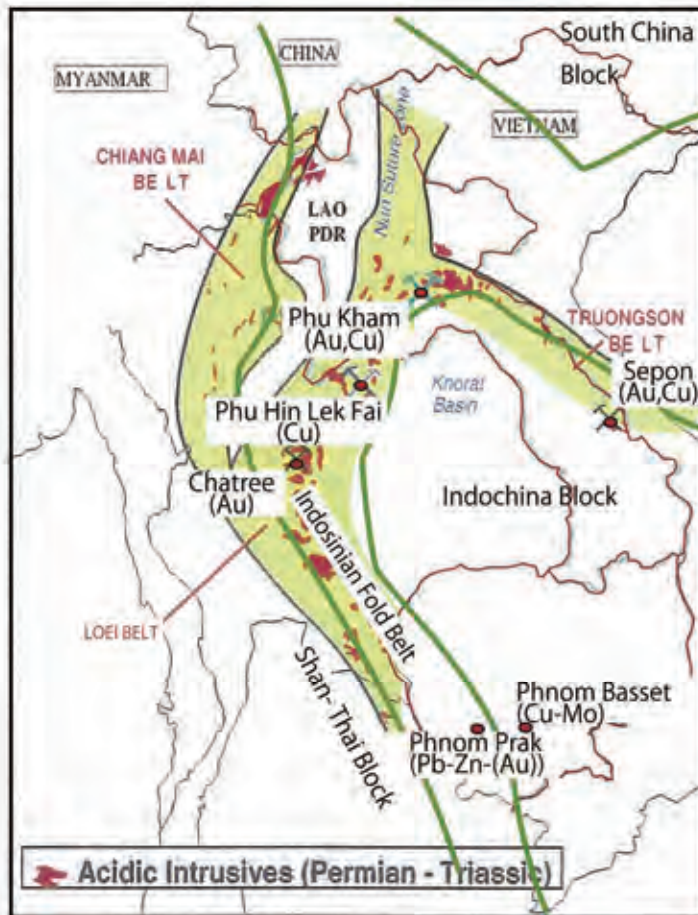


地域 Ratanakiri Province の Tonle San 川沿いや、Ratanakiri Province と Mondolkiri Province にまたがる広大な地域では、浸食から取り残された貫入岩の孤立丘が所どころ分布することから、これらの地域の被覆層の下にはまだ発見されていない貫入岩体とそれに伴われる鉱床発見される可能性が高い。貫入岩体が新たに発見される可能性の高い地区を前出の図 5.2.1 地質概略図に赤枠で示す。

カ国南西地域のカルダモン山地～中部地域の一带は、インドシナ期の褶曲帯に位置する。ラオスとタイでは、インドシナ期の褶曲帯に沿って、火成活動に伴う金-銅の鉱床帯が分布する(ラオスの Sepon 金-銅鉱山と Phu Kham 金-銅鉱山、タイの Phu Hin Lek Fai 銅鉱山と Chatree 金鉱山)。カ国では、この褶曲帯の南方延長部に、花崗閃緑斑岩内に胚胎した中部地域の Phnom Basset 銅-モリブデン鉱床や、基盤岩の割れ目に胚胎した熱水性と思われる南西地域の Phnom Prak 含金・鉛-亜鉛鉱床が位置する。カ国南西地域のカルダモン山地は、地質調査が不十分な地域であるため、今後新たに Phnom Basset や Oyado のような鉱床が発見される可能性が高い。インドシナ期褶曲帯に伴う鉱床帯位置を図 5.4.1 に示す。

カ国の地質から期待される鉱床のタイプを地域別に示す。

- 北東地域：中生代の陸成砂岩、泥岩、石灰岩を主としジュラ紀の花崗閃緑岩が貫入、新生代の玄武岩が分布。  
→火成岩による含金-多金属の鉱脈型、交代型、斑岩型鉱床並びにミシシッピーバレー型鉱床、陸成砂岩中のウラン鉱床。
- 中部地域：新生代の堆積層に広く覆われる。  
→潜頭鉱床(火成岩による含金-多金属の鉱脈型、交代型、斑岩型鉱床)。粘土など堆積性鉱床。
- 南西地域：中生代の砂岩、泥岩を主とする。三疊紀以降の花崗閃緑岩が貫入。  
→火成岩による鉱脈型鉱床、陸成砂岩中のウラン鉱床、海岸沿いに砂岩起源の堆積性鉱床(シリカサンド)。



(modified from presentation of the Lao PDR Mining Master Plan, JICA 2008)

図 5.4.1 インドシナ褶曲帯と銅床分布

#### 5.4.2 地質調査計画

今後、貫入岩に伴われる金属鉱床が発見される可能性の高い地区を図 5.2.1 に示した。これらの地区は、新第三紀以降の被覆層に覆われているため、従来の調査では貫入岩体が確認されておらず、基盤岩の分布も詳細が不明である場所が多い。そのような場所でも、今回作成された衛星画像(DEM)には、被覆層下の基盤岩類の構造が微地形として現れている。衛星画像を判読することにより、貫入岩体の分布する可能性のある場所を絞り込み、第 2 年次の現地踏査地区とした。

衛星画像で判読出来るのは貫入岩を含む基盤岩類の構造のみであるため、それが貫入岩であるのか堆積岩であるのかは、現地踏査で確認する必要がある。また、現地では被覆層に覆われて露岩が直接確認出来ないことも想定されるので、その場合は、貫入岩の有無は判定出来ないが、基盤の風化物と思われる表層の土壌や川砂を採取分析することにより、鉱化作用の有無を判断することとする。

鉱床有望地区の抽出には、貫入岩や火山岩の存在が疑われる地点をできるだけ多く現地検証し、“当たり”の地点を増やすことが必要である。従って、地質調査は広い範囲を対象として、貫入岩やこれに伴う鉱徴の発見を目的とする概査と、概査により抽出された有望地区の精査の 2 段階に実施することが効率的である。

## 5.5 地質調査結果

### 5.5.1 地質調査の実施数量

実施した地質調査期間、採取試料数を表 5.5.1 に、調査ルートおよび試料採取地点を図 5.5.1 に、採取試料の室内試験項目を表 5.5.2 にそれぞれ示す。室内試験の結果は Appendix V-5～V-10 に示す。室内試験で作成した岩石薄片類および岩石標本は整理して、鑑定結果と共にカ国地質局に納めた。

表 5.5.1 地質調査実績数量

	2009 年	採取試料
概査1	6月4-17日(14日間)	川砂: 54 岩石: 32
概査2	8月6-23日(18日間)	川砂: 41 岩石: 18
精査	11月10-20日(11日間)	川砂: 4 岩石: 24
	計 43 日間	川砂計: 99 岩石計: 74

表 5.5.2 室内試験の項目と数量

試験項目	数量
岩石試料(合計 74 試料)	
岩石薄片作成・鑑定	36
鉍化岩石研磨薄片作成・鑑定	9
全岩化学分析	20
ICP 多成分分析(36 成分)	51
川砂試料(99 地点 102 試料)	
ICP 多成分分析(36 成分)	102

### 5.5.2 地質調査結果

今回の地質調査により把握された、新たな有望地区を表 5.5.3 にまとめた。それら有望地区の位置を図 5.5.1 に、写真を Appendix V-4 に示す。表 5.5.3 に示された有望地区は、現在は金属資源として探査鉍区が掛けられておらず、今後の新たな探査対象である。

本調査の成果は、下記の通りである。

- (1) 既存資料および衛星画像解析により抽出された火成岩に伴う鉍床のポテンシャル地域での調査により、これまで記載の無かった 6 箇所(番号 1, 2, 3, 7, 9, 12)で鉍徴を確認した(表 5.5.3 の番号 1, 2, 3, 7, 9, 12)。これらの鉍徴では、トレンチ調査やボーリング調査および物理探査などの更なる調査により、鉍化状況を確認することが望まれる。
- (2) 第四紀の砂泥に覆われたトンレサップ-メコン低地に基盤岩や貫入岩が孤立した丘として分布するが、低地北部に位置する Siem Reap 南方の Phnom Kraom(図 5.5.1)では、丘を構成する砂岩に褐鉄鉍の脈状のヤケが本調査で確認された。また低地南部に位置する Takeo 州の Angkor Borei(図 5.5.1 の番号 8)では花崗岩に錫の鉍徴が知られている。これらの事象は、トンレサップ-メコン低地においても未確認の潜頭鉍床の存在するポテンシャルが高いことを示している。

- (3) 既存の鉱徴地では、企業探鉱の進展により鉱床存在の確認がされてきているが、これまで鉱徴の知られていない地域でも、上記(1)と(2)に示したように金属鉱床が存在するポテンシャルの高いことが確認された。
- (4) カ国の金属鉱物資源は、火成岩に伴うものが全てではないが、今後の新鉱床探査としては、火成岩の分布地域や分布の可能性のある地域での地表踏査および地化学調査が、最も実行しやすい方法であると言える。
- (5) 現在、カ国では道路建設・改修や砕石・採土などの土木工事が盛んなため、これまで植生や表土に覆われていた場所に新しい露頭が増えており、地質調査の好機となっている。Cardamom 山地においても発電所建設工事が着手され、工事用の道路建設が進行中である。

鉱物資源ポテンシャルが高いとして抽出された地域(5.4.1)の中で、道路状況が悪く本調査で行けなかった主な場所は、(1) Cardamom 山地とカ国北東部の(2) Virachey National Park 地域、(3) Rattanakiri 州と Mondulkiri 州の境界一帯、(4) Kratie 州と Kompong Thom 州の境界一帯および(5) Cardamom 山地東麓の Pursat 州から Kompong Speu 州にかけての一帯である。これらの内、(1)と(2)は、カ国独立以降に本格的な地質調査が行われておらず資源探査の観点からは処女地と言えるが、現在でも自動車道が無い。但し、(2)の Virachey National Park のかなりの範囲には、既に鉱区が掛けられている。(3)、(4)および(5)の地域は、火成岩体が分布し周辺に既知の鉱徴があることから鉱物資源のポテンシャルが高いと考えられる。これらの地域も今後の探査対象である。



表 5.5.3 有望探査地区一覧

番号	概査結果	精査結果	写真 (巻末)	アクセス状況
①	既存資料の安山岩周囲を調査。安山岩または珪化変質した堆積岩中に僅かに金属鉱物が含まれる。鉱化作用を示唆。これまで記載無し。今後、ボーリング調査の対象地。	東西5km、南北2kmの範囲に、沖積平地に孤立する丘が3つあり、どの丘の岩石(ラピリク)にも微小な黄鉄鉱が認められる。地表試料の分析結果では特に異常値は示さなかった。	1	国道6号線Serei Saophaon-Siem Reap間のPrey Moanから平坦な未舗装道路を北へ30km、有名な溜め池が近くにある。比較的良好。
②	安山岩や玄武岩が分布し、金、銅、鉄などの既存鉱微地が多く分布する地区の西周縁部。採石場の露頭で珪化-セリサイト化変質した火山岩を確認、鉱化作用を示唆。今後のボーリング調査対象地。	珪化凝灰岩中に微小な閃亜鉛鉱と黄鉄鉱が認められる。分析結果は、Au:0.038ppm、S: 0.36%でやや高い値を示す。	2 3	国道6号線のSiem Riap東方Dam Daekの北東50km、道路は一部舗装(民間有料道路)で、比較的良好。
③	堆積岩地帯であるが、平地に突出した丘があり、また火成岩の分布も疑われる地区。丘の麓で、褐鉄鉱を伴う珪化した岩石を確認、これまで記載無し。今後、周辺部の更なる地表詳細調査の対象地。	(付近の道路沿いで試料の採取できる地点がないため詳細調査は実施せず、概査時採取試料の分析結果では、特に異常値は示さなかった。)		Kampong Thom南の舗装道71号線Yeay Tleng北東40km、道路はしっかりしており、比較的良好。
4	流紋岩の大岩体とそれに伴うアンチモンの既存鉱微地の周縁部。企業探鉱のトレンチにこれまで記載のない蛇紋岩が認められた。複数の火成活動が重複している可能性あり。今後の調査対象地。			国道5号線Pursatからは未舗装だがしっかりした道路ある。それ以外に道路なく、付近は地雷原。
5	調査対象の花崗岩の大岩体は均質で新鮮、今回調査では鉱化作用を認められなかったが、一帯に分布する未調査の花崗岩体と周縁部は今後の調査対象地。			国道5号線Ou Ruesseiから西に荒れた未舗装道路を45km、困難。
6	花崗岩と流紋岩の小岩体が多数あり、既存の銅-鉛-亜鉛と錫の鉱微地が分布。鉱微地は民間鉱区。今回は鉱区外の川砂のみ採取。既存鉱区周辺でも探鉱余地あり。今後の調査対象地			Kampong Speuから北西に延る44号線は最初50kmは比較的状态良好、131号線の状況は不明。
⑦	火成岩露出地周辺の道路沿いピット(5m×45m、採石用?)に粘土化変質とヤケを確認、これまで記載無し。今後、トレンチ調査の対象地。	周辺はラテライト層に覆われ、他に露頭無し。粘土化した砂岩でCu: 383 ppmのやや高い値。露頭西2kmに火成岩の丘、露頭の西800m付近から花崗岩のレキが地表に分布。	4	国道4号線Traengから平坦な未舗装道路を南に20km、比較的良好。
8	タケオ市の東20kmに堆積岩とこれに貫入した花崗岩脈からなるPhnum Angkor Boreiという丘があり、錫の鉱微地となっている。今回は、丘周囲の低湿地が水没し到達できなかったが、Phnom Boreiの北東3kmにもPhnom Darという花崗岩の小丘が2つ有り、網状の石英脈が多数観察され、鉱化作用が示唆される。付近の川砂でAu: 0.064 ppm。今後の調査対象地。			Phnom Darまでは、国道2号線から年間を通じ通行できる未舗装路がある、良い。その先Phnom Angkor Boreiまでは乾期のみ通行可。
⑨	火成岩露出地周辺の礫岩中に鉄鉱物(褐鉄鉱)を含む多数の石英細脈を確認、これまで記載無し。今後、周辺部の更なる地表詳細調査の対象地。	(付近の道路沿いで試料の採取できる地点がないため詳細調査は実施せず)	5	国道3号線Prey Thnang南から未舗装道路を南に5.5km、良好。
10	カンボジア南部メコン平低地に孤立する堆積岩の丘で既存の鉄の鉱微地。民間鉱区無し。露頭での見かけから鉄以外にマンガンも含有すると思われる。産状は2タイプ、頁岩の割れ目に石英脈を伴う低品位鉄脈、または堆積層と整合したノジュール濃集層。今後の調査対象地。今後、ボーリング調査の対象地。	地表での鉄鉱は北北西-南南東に15kmの範囲に分布。詳細調査にてノジュール濃集層を確認。7試料の最高値はFe: 28.4%、Mn: >5%、Ag: 5.4 ppm、Co: 364ppm、Cu: 350 ppm、P: 4660 ppm、Zn: 406 ppmなど。	6 7	国道2号線から西に15~20km以内に位置し、良好。
11	カンボジア南部メコン平低地に孤立する花崗岩の丘で既存のモリブデン鉱微地。民間鉱区無し。採石場跡。幅70mの露頭のうち、幅40m間に鉱化が認められる。肉眼では、モリブデナイトと黄鉄鉱、黄銅鉱が花崗岩中に鉱染状にまばらに含まれる。地表での鉱化作用は弱い、今後のボーリング調査対象地。			8 国道2号線のベトナム国境手前西側、良好。
⑫	花崗岩と頁岩の接触部に硫砒鉄鉱を伴うスカルン化変質を確認、これまで記載無し。今後、ボーリング調査の対象地。	磁硫鉄鉱を伴うスカルン化変質の範囲は、花崗岩体南東部の接触部母岩頁岩中に長さ7kmの範囲。試料の分析結果は、Cu: 412 ppm、As: 2780 ppm、S: 1.35%、W: 130 ppmなどであった。	9 10	主要道2号線から西に数キロ~15km以内に位置し、良好。

## 第6章 情報整備

### 6.1 GIS データベースの現況と評価

#### (1) 地質・鉱物資源 GIS データ

GDMR における GIS データは、地質局における地質・鉱床資源データや鉱物資源局における鉱区情報が利用されている。

地質・鉱床資源データは、1993 年に実施された ESCAP 及び地質局の調査結果によりまとめられたカンボジア全土の地質分布と鉱床・鉱徴地の関連データを基に、その後、GDMR の報告書(1999)や企業からの年次報告書の結果がごく一部追加されている。また、関連する行政界、道路ネットワークなどの関連する基本的な GIS データなども追加されている。

カ国全域を網羅する地質図の作成は、1960 年代に始まった BRGM のものが最初で、1/20 万のスケールのものが 14 枚ある(1972、1973 年発行)。ただし、北東地域の情報量は非常に欠如している。その後、1/100 万の地質図作成をベトナム (Department of Geology and Mineral Resources of Vietnam)、ラオス(Department of Geology and Mine of Laos)、カンボジア(Department of Geology and Mines of Cambodia)共同で行っている(1988 年第 1 版、1991 年第 2 版発行、2010 年 8 月現在第 3 版更新中)。この地質図編集作業はベトナムで行われたが、GIS データ化は行われなかった。地質局では、1996 年～1997 年にかけて ESRI 社 GIS ソフト ArcInfo ベースで 1/20 万地質図のデジタル化を行った。さらに、2003 年には、MPWT において JICA による「GIS 基盤データ整備事業」が実施され、基盤 GIS データの整備が実施され、地質図についても GDMR 地質局員 5 名が参加し、BRGM 作成の 1/20 万地質 GIS データと地形関連情報がコンパイルされた。

#### (2) 鉱区管理 GIS データ

鉱区データは、鉱物資源関係の鉱区、建材用岩石、砂の鉱区に分割されて、ベクトルデータ (ポリゴン・ライン)として GIS 内に格納され、鉱物資源局で管理されている。鉱区データはスキャンされた 10 万分の 1 地形図や周辺空間情報と管理され、鉱区設定時などに地形図等で確認可能なように利用されている。一般に鉱区データには、属性データとして鉱業権所有者名、ライセンス番号、鉱物タイプ、合意日付、失効日付、鉱区場所、面積、その他担当者名などが必要となるが、現在の鉱物資源関連の鉱区 GIS データには、属性が不統一で属性データを入力していない等の管理上の問題 (後述)を有している。

#### (3) GDMR 各局による GIS データの利用

カ国の政府間での GIS データの共有化は著しく遅れており、GDMR でも同様である。地質データや鉱床・鉱徴地データは地質局に、鉱区データは鉱物資源局で管理されているが、情報の共有化はまったく実施しておらず、また、地質、鉱物資源ポテンシャルのデータと鉱区設定状況を総合的に確認する事は実施していない。以下では、GDMR の各局における GIS 地質・鉱物資源情報の利用状況について概観する(表 6.1.1)。

##### 地質局(DoG)

地質局の地質・鉱物資源情報は、現在 ESRI 社の GIS ソフト ArcView、ArcMap で管理されており、局長を始め数名の職員によって若干の更新が行われている。所内にはネットワークが整備されておらず、インターネット接続はされていない。入出力装置としては、デジタイザー、レーザージェット・プリンター7 台があるのみで、地質図などの大型の印刷は不可能である。

### 鉱物資源開発局(DMRD)

鉱物資源開発局では、鉱床位置などの点を GIS 上で管理している。鉱床位置については、ESCAP (1993)のデータと、それを更新した鉱物資源報告書 (1999)、企業から提出された報告書をベースにリストを作成したものを利用している。しかし、1999 年以降に発見された鉱床 (特に、カ国南部、南東部)はデータ入力されていない。なお、ESCAP データは地質局で管理しているデータとは別に作成したものである。入出力装置としては、A0 サイズのプロッター、A-4 サイズのプリンター7 台がある。

### 鉱物資源局(DMR)

鉱物資源局鉱区管理室では、鉱物資源鉱区データ及び建材用岩石・砂の鉱区データをスキミングされた地形図、周辺情報とともに、GIS によって管理している。鉱区範囲データは、ポリゴン、ライン (河川での砂採取)、点として扱われている。ここでも、ネットワークが整備されておらず、インターネット接続もされていない。鉱区情報は、スタンドアロンのコンピュータによって管理されている。入出力装置としては、A4 サイズのスキナー、A-3、A-4 サイズのプリンター3 台があるのみである。

### 建設資材資源局 (DCMR)

建設資材資源局では、碎石鉱山の情報管理のために GIS データベースを構築し、利用している。しかしながら、現在、最低でも 5 名のオペレータを必要としているが、2009 年に創設された新組織でもあり GIS(ArcView3.3)とデータベースのオペレータは 1 名しかいないのが現状である。また、入出力装置は、A4 サイズのカラープリンター 1 台、白黒プリンター 4 台があるのみで、大きなサイズの地図出力は出来ない。碎石鉱山の概況測量のため GPS と現場作業用 PC(GIS 格納)を必要としている。

表 6.1.1 DGMR の GIS 関連施設の整備概要

局	担当部署	所員数*	PC	OS	CPU	GIS ソフト	
						ArcView	ArcMap 9.0
DoG	マッピング室	6(5)	Clone 1	Windows-XP, 2002	Pentium4 1.5GHz	有	—
			Dell 1		N/A	有	有
	調査室	6(2)	Clone 1		Pentium 3 930MHz	有	有
	環境(水)室	5(1)	HP 1		Pentium Dual 1.8GHz	有	—
	分析室	6(0)	Clone 1		Pentium 4 2.2GHz	有	—
DMRD	マッピング室	27 (2:初心者)	9	Windows-XP	Pentium4 1.5GHz	—	有
DMR	鉱区管理室	6(1)	4	Windows-XP	Pentium4 3GHz	有	—
DCMR	碎石建設室	5(1)	5	Windows-XP	Pentium	有	—
	砂建設室	5(0)				—	—
	粘土建設室	5(0)	3			—	—
	管理室	5(0)				有	—

\*カッコ内は GIS を扱える職員数

### (4) GIS データの評価

GDMR で保有している GIS データの評価を、表 6.1.2 にまとめる。



表 6.1.2 GIS に関する評価

項目	評価
データベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 鉱区情報については税金徴収用のテキストデータベースは存在するが、空間情報管理用 GIS データとの連携はなく、GIS データベースは存在しない</li> </ul>
データ内容	
・共有性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3 局内での地質、鉱物資源、鉱区などの情報共有はない</li> </ul>
・フォーマット	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 統一されたデータフォーマットは存在しない</li> </ul>
・鉱区情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 鉱区権者ごとにディレクトリで GIS(shape)ファイルを管理               <ul style="list-style-type: none"> <li>－ ファイルがバラバラに多数存在するため、データ管理、データ入力などに人的ミスが発生する可能性が高くなる</li> <li>－ 入力データが不統一(会社名)</li> <li>－ 必要な属性が欠落</li> <li>－ 条件付の鉱区分布図(例えば MOU のみを抽出)の作成に多くの手順必要</li> <li>－ 属性構造が不統一で鉱区権者リストと関連付けるデータを含んでいない</li> <li>－ 統一的な管理が出来ず、担当者しかデータ内容を把握できない</li> </ul> </li> </ul>
・地質情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>● DoG 作成の地質 GIS データの属性には、空白が残されている(未完成)</li> <li>● 地域(province)ごとに地質 GIS データが分割、編集されており、分割された GIS データの属性構造が不統一               <ul style="list-style-type: none"> <li>－ オリジナル地質情報が複数存在することになる</li> <li>－ 地質情報の統一的な管理が出来ず、コンパイルが出来ない状態</li> </ul> </li> </ul>
技術レベル	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 基本的なデータ管理の知識が欠落しており、地図作成の段階</li> <li>● GIS 及びデータベースの理解は、1~2 名の中級者を除き、初級者レベル</li> <li>● GIS、データベースの必要性は、非常に高く感じている</li> </ul>

鉱区データと地質情報については緊急性が求められるのと、本調査でのデータベース構築に関連するため、現況のデータに対して以下の手順で対策を講じ、適切なデータ構造を有するデータセットに修正するための編集、統合などの作業を行った。鉱区情報については、提供された鉱物資源データのみをその対象とした。

#### 鉱区情報

- 属性情報を統一、鉱区番号を属性に入力
- 全 GIS データを統合
- 鉱区権者テーブルとリンクさせ、GIS 上で関連情報にアクセスできるようになった

#### 地質情報

- 地質単元の属性情報の統一
- 全地質単元を統合(地質局へフィードバック)

### (5) IT 利用の評価

GDMR におけるデータベース関連の IT の利用現況で問題箇所は、以下の通りである。

- 所内にインターネット接続が可能な 4 箇所しかなく、所内 LAN は存在しない。
- 前項に関連し、メールでの連絡、データ送付、ソフト更新などは、行われていない。
- GIS データの共有化は、ほとんど行われていない。
- 使用ソフトの多くは正規版でないため、バージョンの更新が出来ない。
- コンピュータ・ウィルスの対応は充分に行われていない。
- 若手の一部には、データベース構築の基本的知識を有するものがあるが、さらに向上させるための適切なトレーニングが欠如している。

ただし、GDMR では GIS やデータベース利用の重要性は認識されている。

## (6) 企業年次報告書のデータ

企業からの年次報告書は、DMR に全てが格納されており、一部が地質局に存在する。これらの報告書は、企業探鉱の結果が含まれており、カ国の鉱物資源ポテンシャルをより正確に把握するためには、重要な情報源である。しかし、まったく利用されていない。一方、内容については一部情報の信頼性に対して問題があるとの指摘もあり、これを今後の鉱物資源情報源とするためには、例えば地質部が中心となって、地球科学的な観点からひとつひとつチェックする必要がある。こうした、利用されていない情報を活性化させることは、資源情報の極めて乏しいカ国にとって重要な課題である。

### 6.2 GIS データベースの構築

本項でいう GIS データベースとは、GDMR 内部で利用する空間情報やテキストや表を主体とするものであり、ウェブ公開用としては一部を利用するが、内容、構造などはウェブ公開用のものとは異なる。

GIS データベースを構築するために、収集し、入力した GIS データ、テキスト、数値情報などを表 6.3 にまとめた。GIS データベースは、これらの収集データをもとに、空間情報を取扱う GIS で管理をおこなう GIS データベースを中心とする部分と、テキストを中心とするデータベースの統合型にすることとした。なお、カ国で利用されている GIS データの標準的座標系は Indian\_1960\_UTM\_Zone\_48N であるため、本調査でもこの座標系を利用している。

#### 6.2.1 データベースの構造

データベースの基本的な構造としては、図 6.2.1 に示した様に、格納してある情報の保護のため、管理者と一般ユーザーという 2 通りの利用形態を想定した。管理者はパスワードによって識別され、データの修正、追加などの編集作業権を与えられている。一般ユーザーは、検索、表示、出力が可能である。このデータベースでは、GIS は ESRI 社の ArcMap9.2 または ArcView3.3、テキストデータは Microsoft 社のデータベース管理ソフト Access を利用

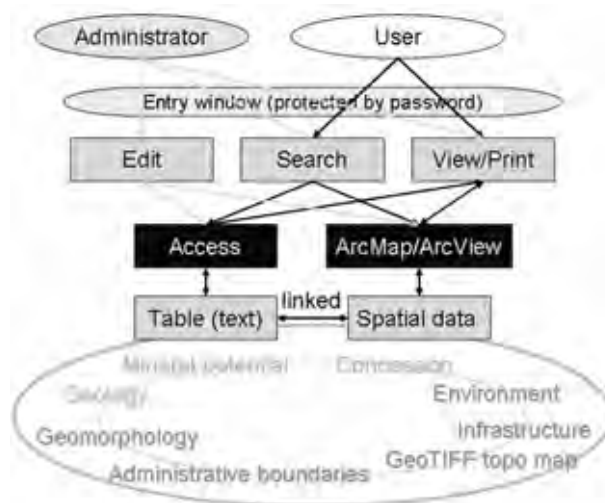


図 6.2.1 GDMR 内部利用データベースの概要構造

データベースは、鉱物資源データベースと鉱区データベースの 2 種類とし、それぞれ独自に利用するものとした。これは、鉱物資源データベースは ESCAP の成果や今後の本調査結果の統合型で利用対象者が多いのに対し、鉱区データについては GDMR 内部でも利用が制限されている現状を反映させたためである。しかし、鉱業法などの改訂により将来的に鉱区データの公開が進めば両者を統合すべきであり、また、その作業は比較的容易である。

表 6.2.1 収集データ一覧表

内容	資料入手先	詳細説明
GIS ベースデータ	JICA	行政境界境界、地域・市の名前、標高線、標高点、河川網、インデックス図、水塊図、土地利用、人口密集地、道路網、鉄道路線、地質、歴史的遺産サイトなど：JICA 報告書(2003)*
GIS データベース(更新)		上記 GIS データの更新版：JICA 報告書(2005)**
地形図		JICA 報告書(1999)***
ALOS 衛星データ		SUM of EDC, AVNIR-2, PRISM, PanShapen データ：(DVD 提供 13 枚されるも、オリジナル DVD 破損し、コピー不可)
SPOT5 衛星データ		15 シーン(一部オリジナル DVD 破損),2003-06 年,GIS データ
地質、断層	MIME-GDMR DoG	1/20 万地質図に基づき、カ国北東部は 1/100 万地質図を参考に更新：現在新規データの入力調整中(地質団員)
鉱床・鉱徴地		ESCAP 報告書(1993)及び追加データより(MIME 報告書(1999)、KIGAM 報告書(2001)入手)
鉱区	MIME-GDMR DMR	2008 年 11 月 26 日現在：属性情報(ライセンス番号、鉱区保有者、発行年月日等)なく、編集し統合
既存・建設中ダム	MIME	既設 2 箇所、建設中・建設開始予定 5 箇所
既存・計画送電線網	水力発電局	(社)海外電力調査会報告書に基づき GIS データ作成
DEM(30m 間隔)		カ国全土(ASTER30m 間隔 DEM)
地形図	MPWT	カ国全土の 10 万分の 1 地形図：GeoTIFF ファイル
道路計画図		紙地図にて
環境・森林保護地区	MOE	国立公園、森林・景観保護区(2008 年 11 月版)
月毎の降水量	MWRM 気象局	全国 21 箇所の観測所の過去 10 年間の月別平均データ
地雷・UXO	CMAC	デジタル地図、紙地図、GIS データ(レベル・ワン調査、地雷汚染地域、UXO 分布)
経済特区(SEZ)	CDC	経済特区位置、資本金など www.cambodiainvestment.gov.kh
石油探鉱区	JOGMEC(海) JICA(陸)	コンサルタント資料「カンボジア：高まる産油国への期待、領海未解決地域の資源開発への課題」(日本語)：2007 年 4 月 JICA 専門家報告書「カンボジアのエネルギー事情」：2008 年 6 月
Landsat 衛星データ	Geocom	ランドサット衛星画像：全国網羅 www.gisdatadepot.com

\* : The Study on the Establishment of GIS Base Data for The Kingdom of Cambodia, March, 2003

\*\* : The Reconnaissance Study Project for the Establishment of An Emergency Rehabilitation and Construction of the Kingdom of Cambodia, September, 2005

\*\*\* : The Reconnaissance Study Project for the Establishment of An Emergency Rehabilitation and Reconstruction of the Kingdom of Cambodia, March, 1999

### (1) 鉱物資源データベース

鉱物資源データベースの構造は、鉱物資源主テーブルに固定の関連テーブル(会社名、マップコード、地域名リストなど)を関連付けしてある非常にシンプルなものになっている(図 6.2.2)。その特徴を以下にまとめる。

- 管理者と一般ユーザーのパスワード管理
- メインメニューからの各種作業への分離
- 個別詳細リスト表示、検索リスト表示、並べ替え表示、GIS への切り替えなどの機能
- 管理者特権で主テーブルと固定関連テーブルのデータの追加、削除、修正が可能に
- 元データは ESCAP(1993)、JICA 調査(2009)

- 空間データの編集は、ポイントデータが対象となり、GISソフトで行う実際の表示テーブルや操作手順を図 6.2.3 に示す。

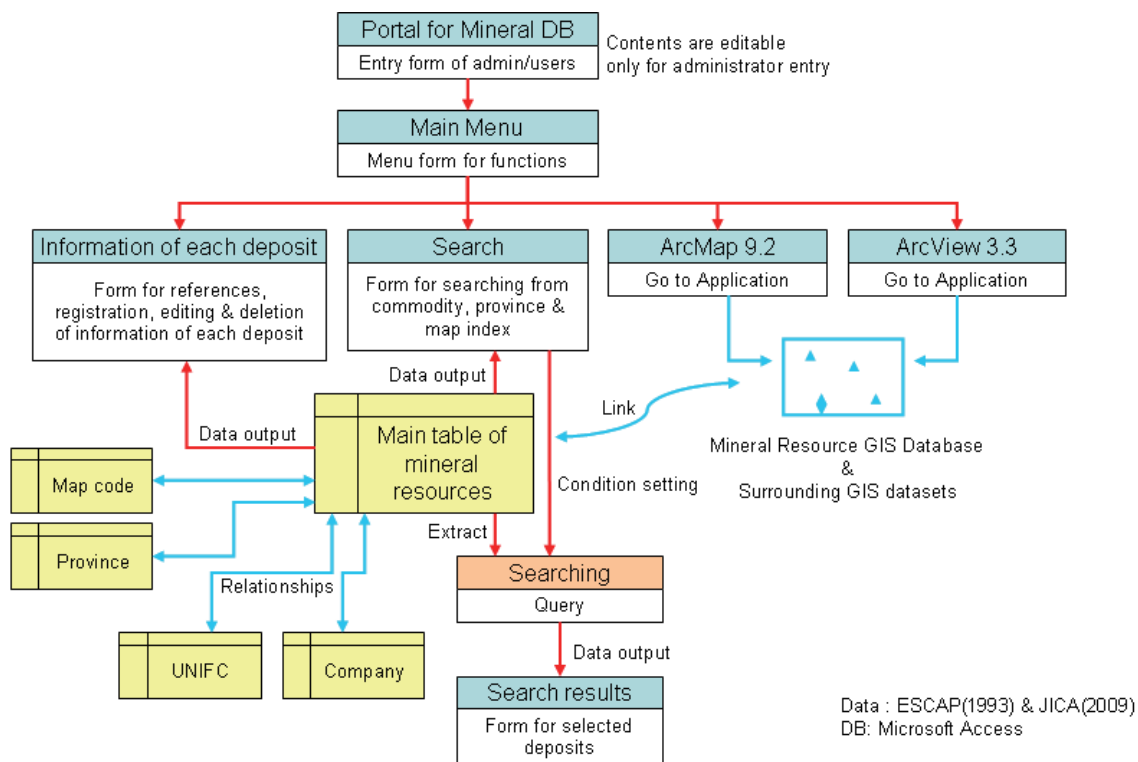


図 6.2.2 鉱物資源データベースの構造

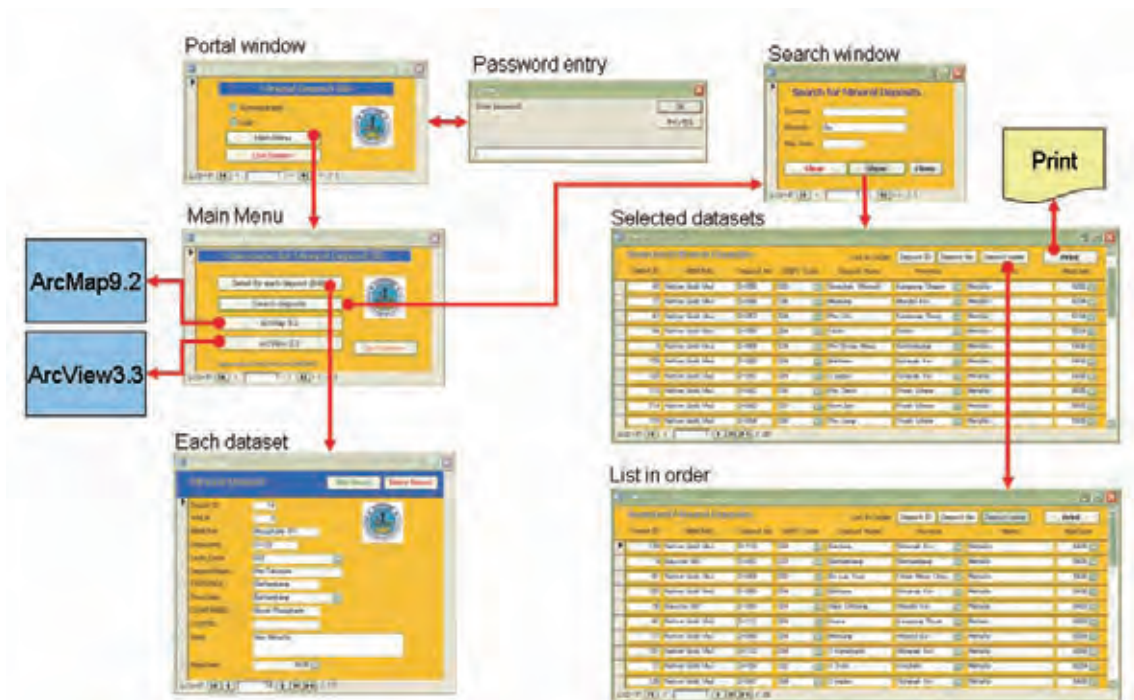


図 6.2.3 鉱物資源データベースの操作フロー

## (2) 鉱区データベース

鉱区データベースの構造は、鉱区主テーブルに固定の関連テーブル（会社名、マップコード、地域名、ライセンスカテゴリー、活動リストなど）を関連付けしてある（図 6.2.4）。その特徴を以下にまとめる。

- 管理者と一般ユーザーのパスワード管理
- メインメニューからの各種作業への分離
- 個別詳細リスト表示、検索リスト表示、並べ替え表示、GIS への切り替えなどの機能
- 個別詳細リストには、個別企業で鉱区情報を公開されたウェブへの URL が格納され、相当サイトにリンクしている（しかし、この利用にはインターネット接続環境が必要）
- 管理者特権として、主テーブルと固定関連テーブルのデータの追加、削除、修正が可能に
- 元データは GDMR から提供された鉱区データ(2008年11月)
- 空間データの編集は、ポリゴン、ラインデータが対象となり、GIS ソフトで行う  
実際の表示テーブルや操作手順を図 6.2.5 に示す。

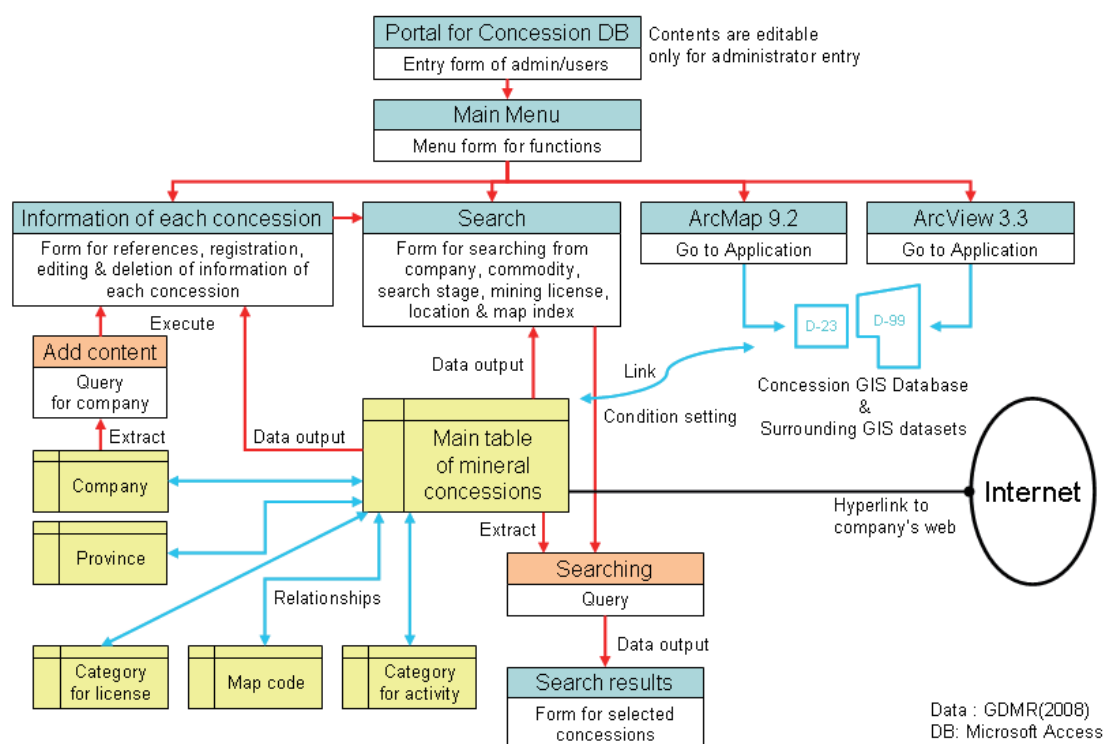


図 6.2.4 鉱区データベースの構造

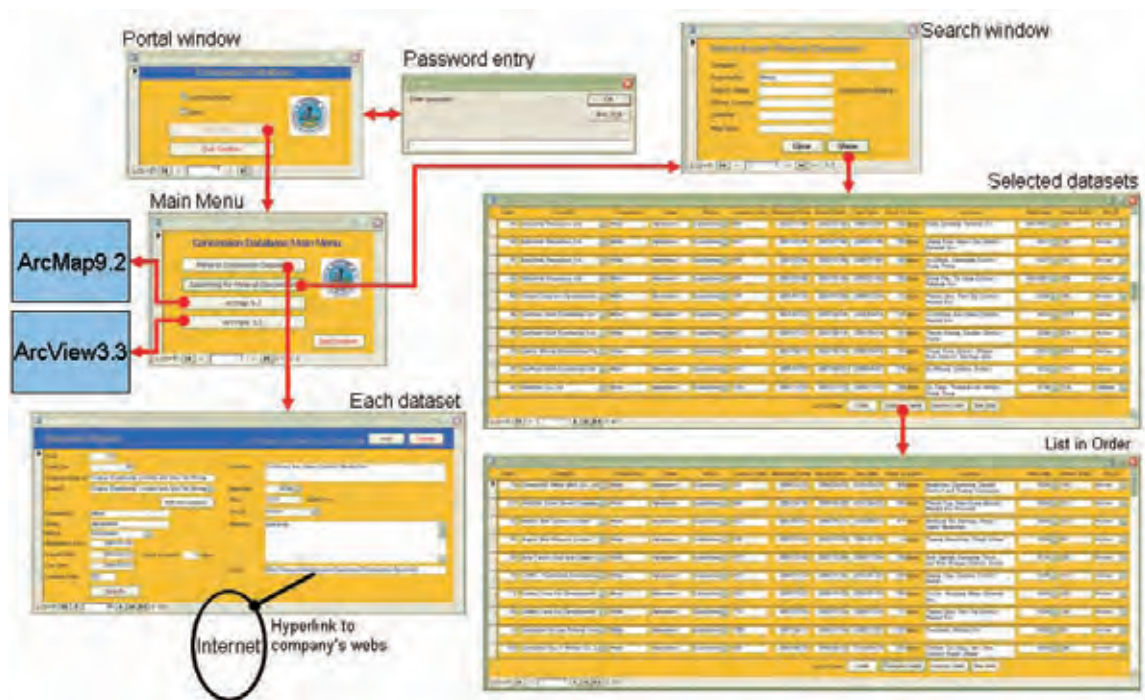


図 6.2.5 鉱区データベースの操作フロー

## 6.2.2 GIS データベースを用いた情報表示例

本調査で収集した GIS データ、数値情報を用いて、GDMR、投資家に有益となる情報提供を可能にした GIS 表示例を以下に示す。

- (1) 地雷・UXO の関連 GIS データは CAMC より提供された。このデータに ESCAP(1993) の鉱物資源情報、GDMR の鉱区情報を重ね合わせた(図 6.2.6)。中抜き範囲は MOU などの段階のものを示す。実際の探鉱、開発の段階では、例えば CMAC などの関係機関の協力を得て、地雷、UXO 除去作業が発生するであろうが、鉱区設定の場合にこうしたリスクの程度を把握しておく事は、投資家にとっても有益であろう。
- (2) 鉱区の空間情報は関連テーブルとリンクしており、鉱区保有者、範囲、ライセンスの番号・種類、発行日、失効日、関連地形図のインデックス番号、等が鉱区を 1 回クリックするだけで表示されるようになった(図 6.2.7)。これらは、鉱区検索も容易であるので、様々な検索条件で表示をすることが出来、GDMR の業務効率の向上に大いに貢献が期待されるデータベースとなっている。
- (3) カ国ではインフラ整備が充分でなく、特に地方の道路は雨季には冠水箇所が多く、移動が困難になる。一方、乾季は非常に降雨量が少なくなる。雨季と乾季の降雨量に大きな差があるのがカ国の特徴である。しかし、これは地域差もあるため、月別の降雨情報は探鉱、開発業者にとっては重要である。本調査では、カ国内の 20 箇所の気象観測所の過去 10 年間の月別平均降雨量を MWRM より入手し、気象観測所のポイントデータから月別平均降雨量グラフにリンクするようにした(図 6.2.8)。

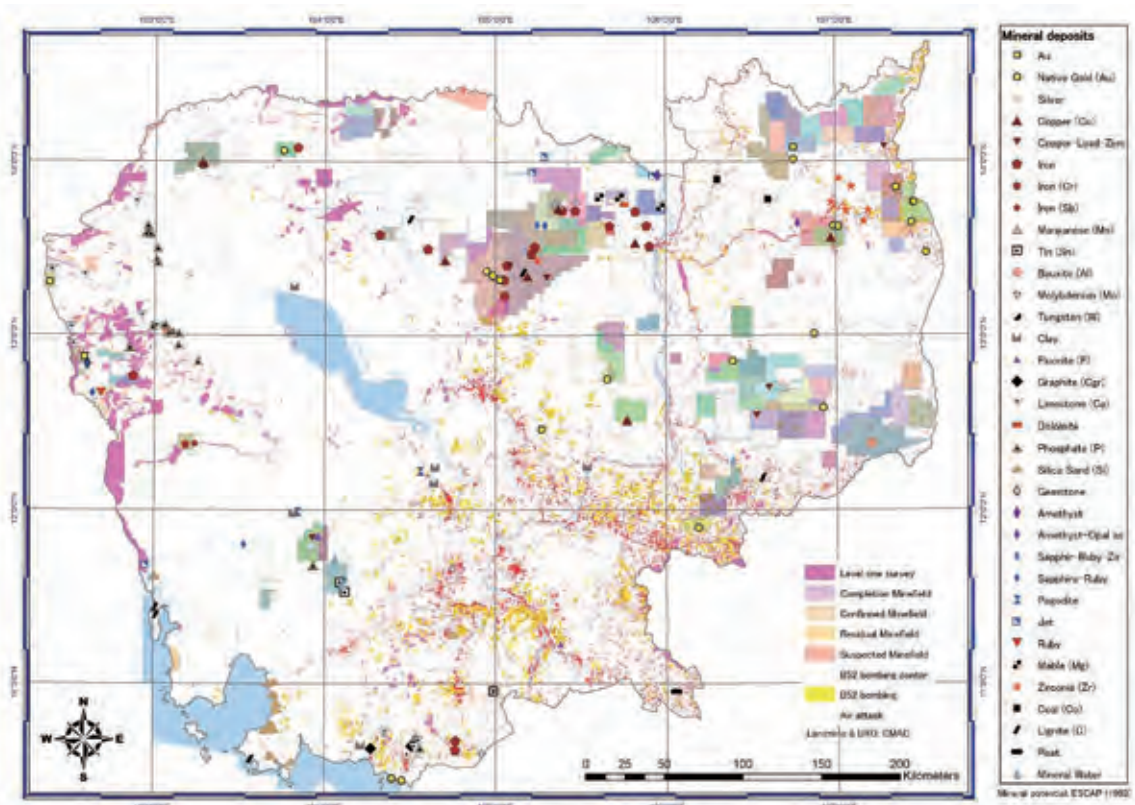


図 6.2.6 2008 年 11 月現在の鉱物資源関連鉱区・鉱物資源ポテンシャル地と地雷・UXO 分布

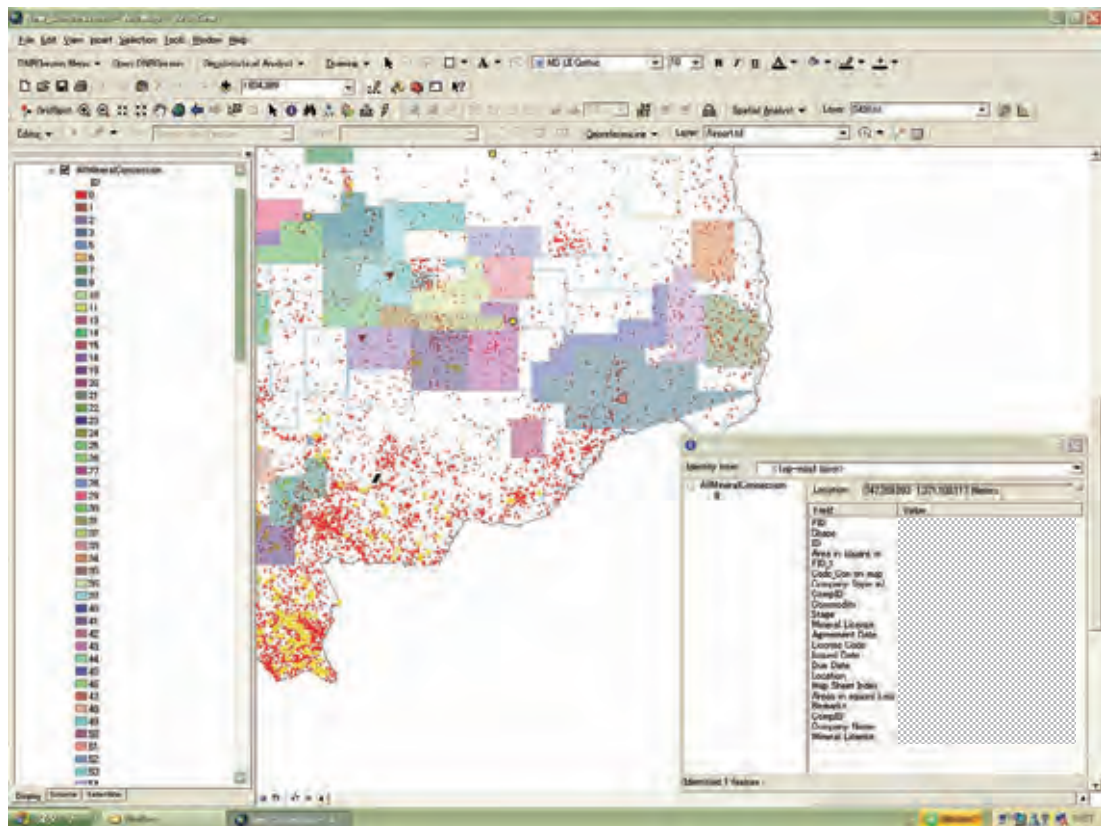


図 6.2.7 鉱区の空間情報と関連情報の表示

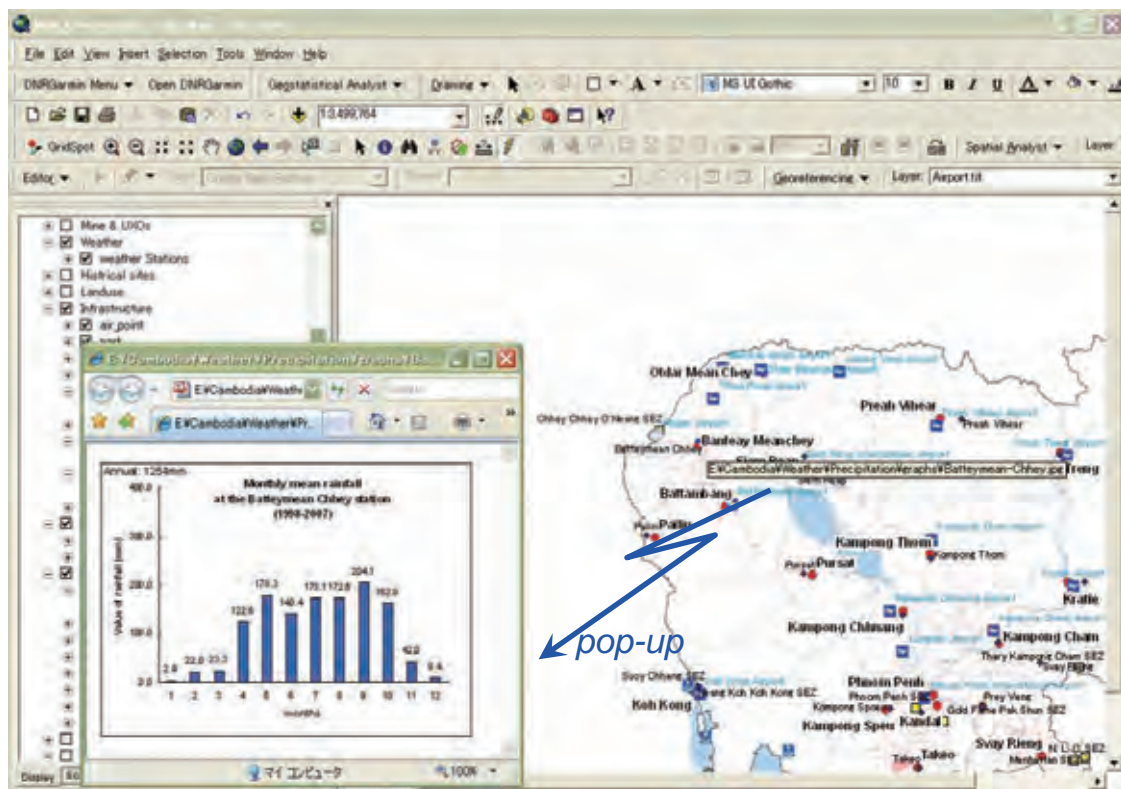


図 6.2.8 気象観測点と月別平均降雨量グラフのリンク

### 6.3 ウェブサイト構築

カ国のウェブ利用は、Internet 接続環境が未だ充分でないため、初期の段階にあると云ってよい(Digital Review of Asia Pacific 2009-2010)。しかし、政府機関や民間企業においてはその重要性は認識され、カ国政府機関や主要な民間企業の多くがウェブサイトを有している(Appendix VI-1)。MIME でもウェブが公開され、クメール語と英語で、MIME の組織、各種統計、関連報規則、商工名鑑などが若干示されているものの、最重要項目のひとつである各分野のビジョン、政策、戦略などについては、未格納のままである。GDMR では、MIME のサイトからリンクする形でのウェブ開設を MIME から承認され、本調査の中で構築を行うようになった。

構築協力担当者としては、MIME 側から



図 6.3.1 ASEAN 仕様の当初ウェブ案



データベース開発担当 C/P でもある2名が選出された。実際のウェブ開発は、後述する MANICH Enterprise 社と現地委託契約を締結し、サーバー設置、保守、デザイン、プログラミングを担当した。

### 6.3.1 ウェブサイトの概要

ウェブサイトの標準的内容は、ASEAN の鉱物資源政府関係機関の会合において議論され、GDMR でもこの基準に沿った形で、ウェブサイトの基本的な枠組みが内部資料として作られていた (図 6.3.1)。本調査においては、この枠組みを出発点として、これにカンボジアの特殊性、追加的に必要な内容、機能などを含めたウェブサイトの概要構造を作成した (Appendix VI-2)。

ウェブサイト開発に関して様々な項目が検討されたが、最終的なウェブサイト開発の主要仕様を表 6.3.1 にまとめた。

表 6.3.1 ウェブ開発の主要仕様

項目	主な仕様
ウェブデザイン・構築	ASEAN 標準仕様を基本、英語及びクメール語
鉱物資源データベースの構築と検索ツール開発	ESCAP データを基本とし、本調査結果を追加したデータベースとする (GDMR 内部利用のデータベースとは別)
空間情報の公開サイトの開発	ウェブ GIS 技術を用いた、空間情報公開用ダイナミックサイトの開発
登録ツールの開発	登録したウェブ訪問者への情報交換スペースの提供
管理用ツールのデザインと開発	GDMR 職員自己管理用ツールの開発
検索ツールの開発	本ウェブ全体における検索ツールの開発
トレーニング	GDMR 職員のウェブ管理ツール習得のための数日間のトレーニング
ウェブサーバーのホスティング	機関 2009 年 2 月 1 日～2011 年 3 月
ウェブサーバーのメンテナンス	セキュリティの確保
検収	最終検収:2010 年 2 月末
ウェブの公開	2009 年 11 月中旬に内部公開、2010 年 9 月中に公開予定

### 6.3.2 ウェブサイトの基本構造

本ウェブサイトは、図 6.3.2 に基本構造を示すようにメインサイトとウェブ GIS サイトからなる。また、GDMR 管理者用のツールを開発し、公開後の自主管理が可能ないように設計されている。公式ドメイン名としては <http://www.gdmr.gov.kh/> を取得している。

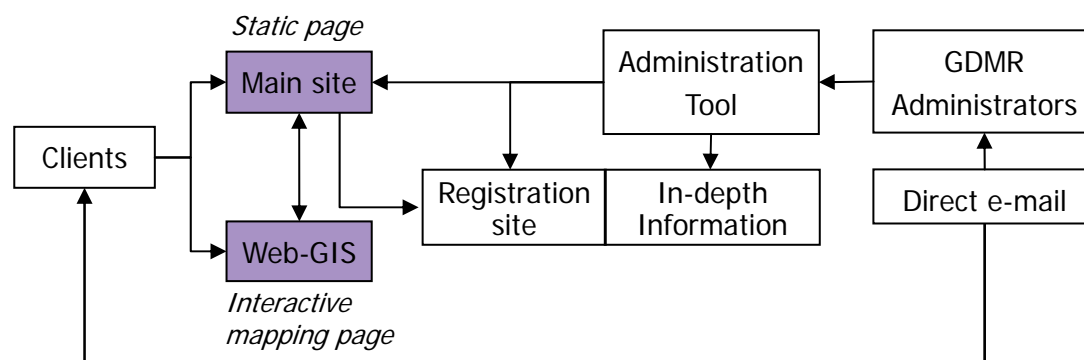


図 6.3.2 GDMR ウェブサイトの基本構造

GDMR ウェブサイトは、米国カリフォルニア州に設置された3つのサーバー、すなわちメインサイト用サーバー、ウェブ GIS サーバー、Map サーバーによってデータの管理・処理が行われている（図 6.3.3）。メイン用サーバーでは、クライアント（ここでは、「ウェブサイト利用者」）の要求に応じてデータベースから文書、表、図、写真などが検索され、クライアントへ提供される。また、ウェブ管理者用ツール（Admin cms）によって、GDMR で選抜された管理者がデータの更新作業を行う環境が提供されている。ウェブ GIS サーバーは、地図作成用の処理を行うもので、クライアントの要求を Map サーバー側に伝達する。Map サーバーは非常に高性能のサーバーで、クライアントの要求にしたがって、各種空間情報が格納されているデータベースから必要な地図情報を検索、統合してウェブ GIS サーバー側にイメージ形式のデータを渡す。クライアントは地図参照用のウェブ GIS ウィンドウを介して統合、視覚化された地図情報を見ることになる。ウェブ GIS ウィンドウの空間情報は高速化のために8枚のタイルからなり、それぞれがベースマップの上にクライアントの要求に応じて検索された主題図を重ね合わせて視覚化する。また、ウェブ GIS ウィンドウ上に表示した地図をファイル出力するために、PDF エンジンを利用して PDF ファイルを作成してクライアント側に提供するツールを開発した。

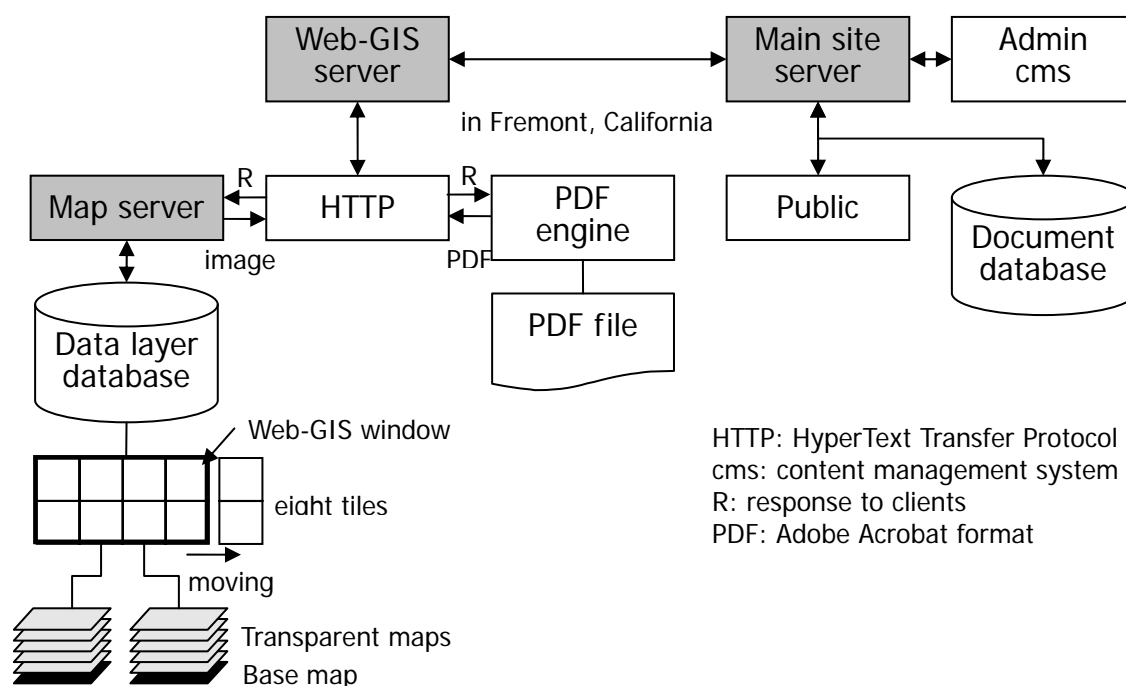


図 6.3.3 GDMR ウェブサイトのデータフロー

### 6.3.3 メインサイトとウェブ GIS サイトの内容

#### (1) メインサイト

GDMR のメインサイトは、鉱業分野の政府サイトとして、鉱業政策、法的規制、財政制度、鉱区申請、新規プロジェクト、統計値、ニュースなどを文書、表、写真を使って情報提供する静的なサイトである（図 6.3.4）。トップページには、新規にニュース、政府アナウンスなどの最新情報の提供を行う部分を追加した。鉱業政策については、現在まだ正式には制定されていないため、現在基本的な記載のみを行っている。本マスタープランに沿っ

て今後1年程度をめどに鉱業政策が整備された後、本サイトでの公開が必要である。



図 6.3.4 GDMR ウェブサイト  
(左英語版；右クメール語版)

また、将来の投資家を対象に、より詳細な情報提供を可能にし、投資促進が図られるよう利用者登録サイトを提案し、GDMRにて承認されたので、次項に概要を記載する。

(2) 登録者ページ

今後の投資促進のために、カンボジアの資源ポテンシャルに関心を持つ将来の投資家に対し、一般的な鉱業情報だけでなくより詳細な関連情報を提供し、情報交換を活発化させるためのページを開発することは、GDMRのC/Pとの議論の中で発生してきた。しかしながら、現在まで具体的な要望などはなかった。一方、現在まだGDMR内部においても鉱区情報は必ずしも内部全局にて共有化が行われていない事情がある。そこでここでは、3通

りの情報提供・共有化の提案を行った。その提案内容を表 6.3.2 にまとめる。提案 I、II は、主に将来の投資家に対するサービスである。提案 III は GDMR 内部においても鉱区情報などの共有化がされていない空間情報とともに、GDMR 職員がシステムへアクセス可能にして情報の共有化を図るシステムである。

現在、鉱業活動の活性度を示し、具体的投資地域を検討する上で投資家にとって重要な鉱区の情報開示については、様々な国々において実施されている。しかし、カンボジアでは法的規制などからその実施は、本調査の中でも見送られてきた。今回の提案は、現在の法規制の枠組みの中でも、開示方法に工夫を加え、一步情報開示に踏み込んだ提案であり、既存鉱区設定を確認するために投資家が GDMR を訪問する手間をなくし、投資検討の関連資料も提供可能にするもので検討に値するものとする。

表 6.3.2 登録者ページの提案

提案	主な利用者	登録方法	提供情報内容	費用
I	登録クライアント (今後の投資家)	クライアント: 登録手続きを行い、申請書をGDMRへ提出 GDMR: 申請書審査をおこない、承認されたクライアントにパスワード送付	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 鉱区分布等を含めた情報へのアクセス権</li> <li>• 関心地区に対する具体的情報の提供</li> </ul>	課金(例えば、月額 10 ドル程度)
II	登録クライアント	上に同じ	鉱区情報へのアクセス権はないが、関心地区に対する具体的情報の提供	無料
III	GDMR登録職員	GDMR4局に対し、パスワードを発行し、システムへのアクセス権を与える	鉱区情報を始めウェブ GIS の全面的アクセス権	無料

本提案について GDMR での検討の結果、提案 II が採択された。この登録サイトの手続きは以下ようになっており(図 6.3.5)、本調査最終報告書、関連地図のダウンロードなどが可能になるほか、GDMR への問い合わせについては最優先で対応するなどのサービスを予定している。登録サイトでの登録用入力項目と登録者用ページを図 6.3.6 に示す。

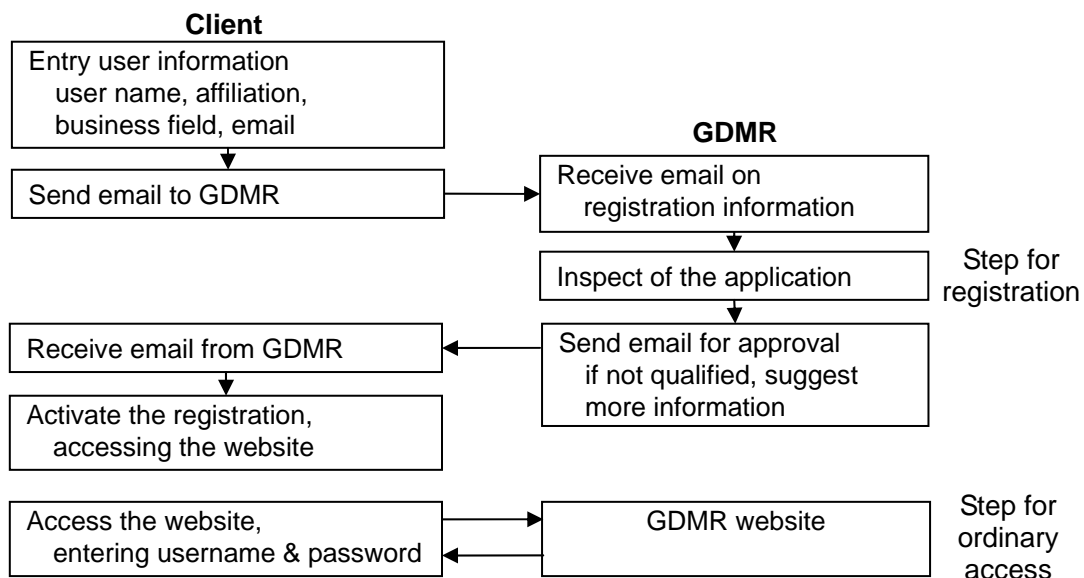


図 6.3.5 登録ページの手続き手順

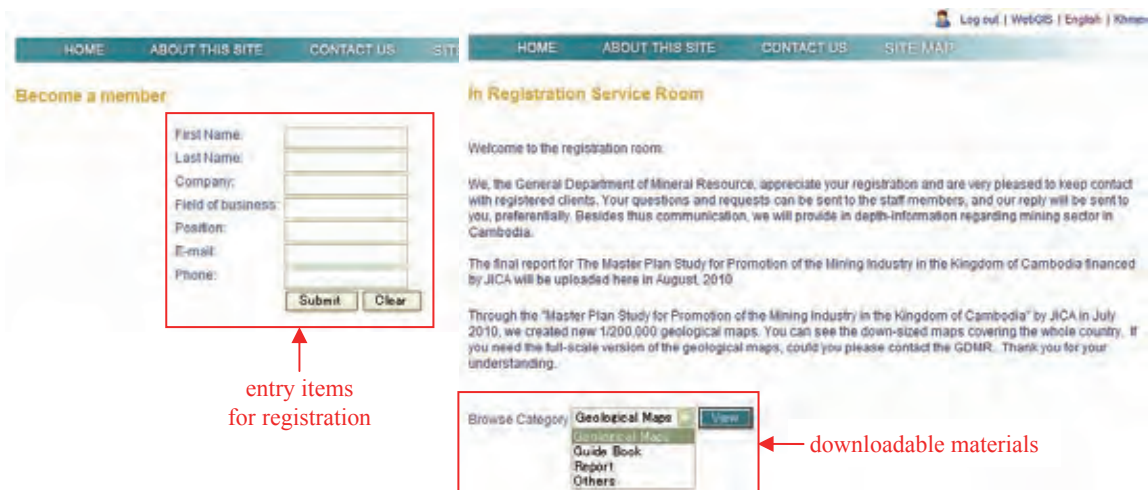


図 6.3.6 登録サイトでの登録用入力項目(左)と登録者用ページ(右)

### (3) ウェブ GIS サイト

ウェブ GIS サイトは、行政界、地理情報、インフラ（道路、港湾、ダム発電所、送電線）などの鉱業開発の基礎情報とともに地質、鉱物資源などの空間情報をクライアントが自由に選択して目的別の地図作成を支援する動的対話的なサイトとなっている（図 6.3.7）。クライアントは画面左側のコントロールメニューから必要とする主題図を選択し、右側の表示ウィンドウに統合された地図を表示する。地図上を左クリックすることで、関連する属性情報をポップアップテーブルに表示し、詳細な内容を閲覧することが出来る。また、凡例表示ボタンを押すと、コントロールポップアップウィンドウが立ち上がり、凡例が表示され、シンボル表示選択ボタンによりシンボルの表示/非表示が選択できる。ただし、GDMR側の要望により現在、鉱区情報は格納されていない。また、ウェブ GIS ウィンドウ上に表示した地図を、PDF ファイルとしてクライアント側に提供するツール（PDF エンジン）を

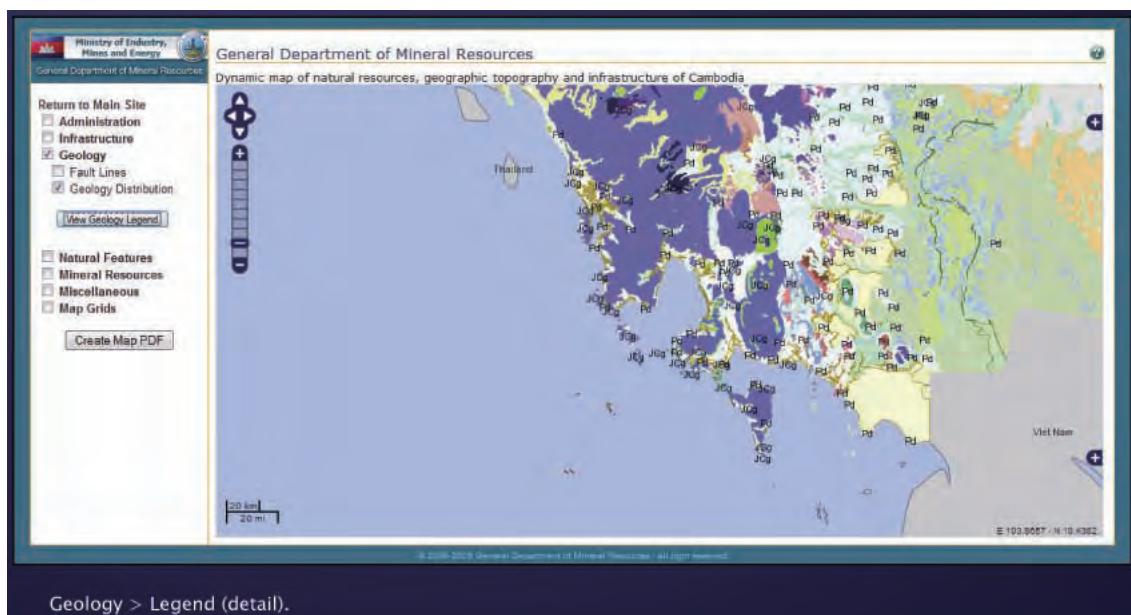


図 6.3.7 ウェブ GIS サイト（地質データの表示例）

開発した(図 6.3.8)。このファイルには、ウェブ GIS で作成した地図だけでなく、縮尺、凡例などが自動的に追加されるようになっている。さらに、情報の提供元も明示され、提供元のウェブサイトまでのリンクが設定されている。

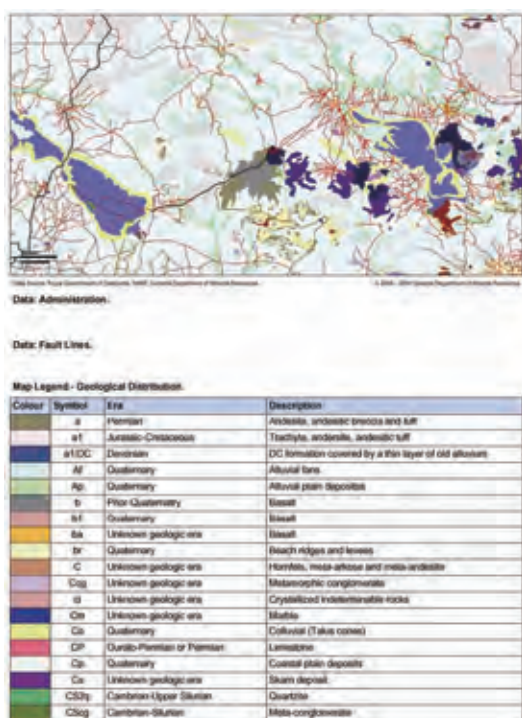


図 6.3.8 ウェブ GIS サイトからの PDF ファイル出力例

こうしたウェブ GIS 開発には、従来市販のシステムを導入してカスタマイズしていく方針で行われてきたが、今回オープンソース・コードを大幅に利用し、独自にプログラミング開発を行うことで、開発システムの導入費や管理費などが大幅に節約され、経済的で、柔軟性に富んだ、独自システムを構築することが出来た。また、このウェブ GIS には JavaScript が使われているため、利用者はそのインストールが必要になる場合がある。インターフェイスは Windows、Linux、Macintosh のオペレーティングシステムで正常に作動することが確認されている。なお、ウェブ GIS 上の地図情報は WGS84 座標系で表示されている。

このサイトには、今後、距離計測ツールや Google Earth との重ね合わせを可能にするツールの開発を実施していく予定である。

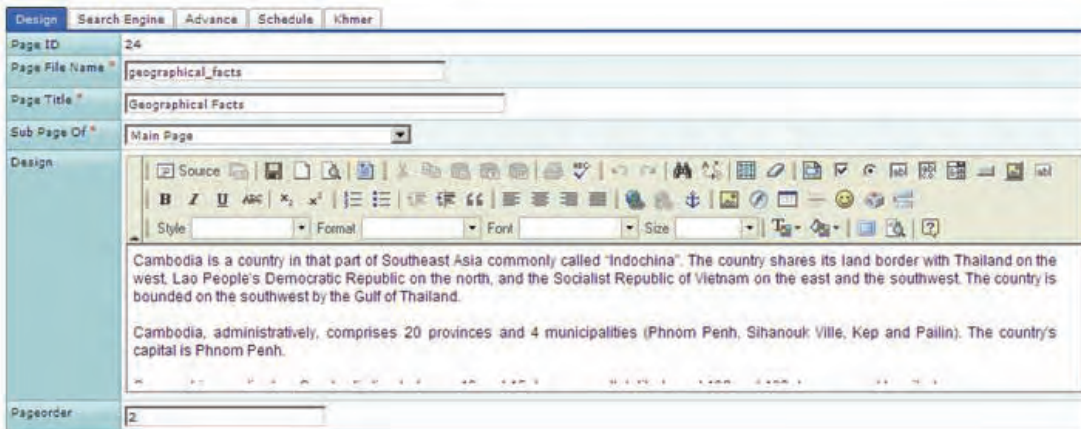
### 6.3.4 ウェブ管理者用ツール

GDMR のウェブサイトの開発に併行して GDMR の管理者が内容の更新を行うためのウェブ管理者用ツールも開発した(図 6.3.9)。このツールはあらかじめ登録したウェブ管理責任者にユーザ名とパスワードを与え、これによってウェブ管理者用ツールの利用制限がかけられている。ログオンスクリーンに登録された情報を入力すると管理フロントページに移動する。そこで更新の必要な文章を検索し、そのページ・マネージャーボタンをクリックすると、ページ・マネージャーが起動し、市販のビジネスソフトを同様の文章編集作業環境を提供する(図 6.3.10)。ここでは、文章だけでなく、表、写真なども画像中にペーストすることが可能である。英語もクメール語も同様の作業環境になっている。



図 6.3.9 管理者用ツール

### Page manager for English



### Page manager for Khmer

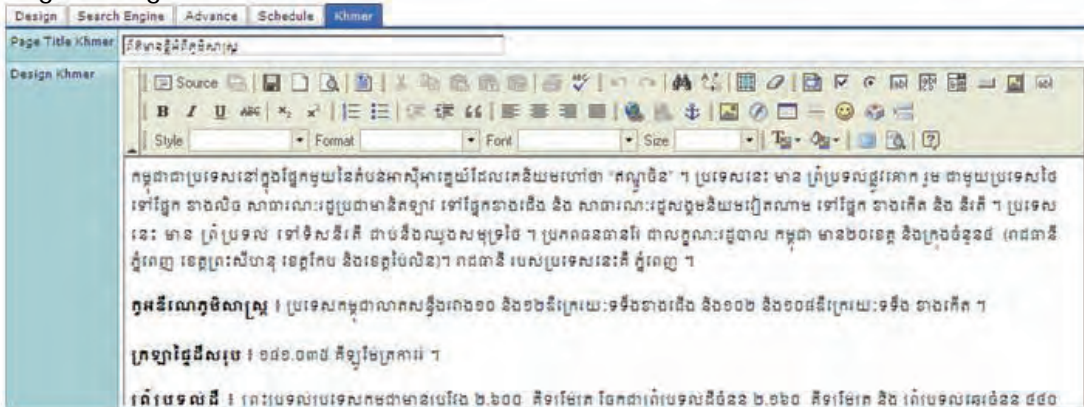


図 6.3.10 文書編集用 Page Manager

## 6.4 技術移転

### ウェブ管理講習会

ウェブ管理用ツールである Admin cms の利用方法やウェブ管理の基本的教育、ウェブ GIS の操作方法等について新規に作成したガイドブックを利用して、GDMR の 4 局から選抜された 6 名の職員に対して、2009 年 10 月 27、28 日にウェブ管理講習会を行った (Appendix VI-3, 4)。講習会終了者には修了証書を授与した (Appendix VI-5)。