

4.8 各種観察・分析用試料採取

地質調査に係わる各種詳細観察および化学分析は、地質マッピングに係わる岩石の詳細観察、岩石化学特性の把握、変質鉱物の同定、鉱化鉱物および品位の確認を目的に実施した。観察および分析に供した試料は、地表踏査により確認された露頭から採取した。

4.8.1 岩石薄片および鉱石研磨片観察

アタプ地域の現地調査において、1/20 万の地質図作成調査の解析に供するため、地質調査中に岩石および鉱石試料を地質露頭から採取し、岩石薄片および鉱石研磨片を作成した。岩石薄片および鉱石研磨片の作成は、DGEO においてカウンターパートを指導しながら行った。

1) 岩石薄片観察

アタプ地域の地質露頭から採取した岩石の中から代表的な岩種、岩相および変質岩を対象に 52 件の岩石薄片を作成した。その顕微鏡観察の結果を付属資料 5 に示す。

2) 鉱石研磨片観察

アタプ地域で確認された鉱徴地から採取した鉱石について 8 件の鉱石研磨片を作成した。その顕微鏡観察の結果を付属資料 6 に示す。顕微鏡観察の結果、鉱石鉱物として黄鉄鉱および赤鉄鉱が確認された。

4.8.2 X線回折試験

X線回折試験は、第 2 次～第 6 次現地調査における地質調査（縮尺 1/20 万および 1/1 万）時に採取した岩石試料について行なった。試料は、火成岩類および堆積岩類から選定された。

X線回折試験の目的は、地域に分布する火成岩類および堆積岩類の熱水・風化・続成変質作用により生成された変質鉱物の同定を行うことにより、対象地域においてどのような変質作用が生じたかを考察するためである。

1) 分析試料

分析試料は、第 2 次および第 3 次現地調査により採取された岩石 58 試料である。

2) 分析方法

分析は、DOWA テクノリサーチ社において実施し、同社が保有する理学電機社製ガイガーフレックス RAD-2C 型により行なった。

3) 分析結果

分析結果を付属資料 7 に示す。

多くの試料において、石英、絹雲母、緑泥石で特徴付けられる熱水変質作用の鉱物組合せが認められ、一部では黄鉄鉱を伴っている。これはセリサイト（絹雲母）変質作用であり、最も普遍的な変質作用として、主に金銀鉱床等で認められる。この変質作用に起因する鉱液は、中性～アルカリ性と考えられている。一部の試料では、赤鉄鉱、針鉄鉱が同定されているが、これは風化変質による酸化が示唆される。また試料 C011、C028a、C028b、C028c、C028d および C028e では、滑石が同定されている。これは玄武岩（一部蛇紋岩を伴う）が熱水変質作用を受けて生じた鉱物であり、近傍には軍管轄の金鉱山が存在する。したがって、本地域において顕著な熱水活動があったものと考えられる。

4.8.3 岩石分析

岩石分析は、第2次～第6次現地調査における地質調査（縮尺 1/20 万および 1/1 万）時に採取した岩石試料について行なった。試料は、花崗岩類および玄武岩類から選定された。

アタプ地域には各種火成岩類が分布し、その大半は花崗岩類および玄武岩類である。これら岩石は肉眼で数種の岩体に識別できる。岩石分析の目的は、本地域に分布する火成岩類の化学的特徴を明らかにし、各火成岩類がどのような地質環境のもとで形成されたのかを考察するためである。

1) 分析試料

分析に使用した試料は、付属資料 9 に示す 20 試料である。

2) 分析内容

分析成分は次の主要成分、微量元素、希土類元素からなる下記の 32 成分である。

SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、MnO、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅、LOI、Rb、Sr、Ba、Zr、V、Nb、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu

3) 分析方法

分析は、全成分共にオーストラリアの ALS Chemex 社で行った。各成分の定量分析は、誘導結合プラズマ質量分析機器により行なった。LOI の測定は、電気炉で灼熱後に重量法で測定した。

4) 分析結果

分析結果を付属資料 9 に示す。本地域に分布する花崗岩類および玄武岩類の岩石化学的特徴を明らかにするため、分析結果を各種岩石区分図にプロットした（図 4.8.1～図 4.8.15）。

分析結果にもと基づく花崗岩類の岩石化学的特徴は、以下のとおりである。

- ① alkali-silica および FeO-alkali-MgO の岩系区分図において（図 4.8.1、図 4.8.2）、いずれの岩体も sub-alkali、calc-alkali 質な領域にプロットされる。
- ② 指標元素の MORB 規格化地化学パターン図においては（図 4.8.3）、Ba、P、Ti 含有量に差が認められ、国道 18B 沿いおよび Xe Kaman 川流域に分布する角閃石-黒雲母花崗閃緑岩、Xe Kaman 川流域に分布する黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩、Xe Kaman 川流域に分布する黒雲母-角閃石石英閃緑岩、Xe Xou 川流域に分布する黒雲母-角閃石花崗閃緑岩、Xe Xou 川流域に分布する両雲母花崗岩の 5 種類に分類できる。
- ③ 希土類元素の Condrite 規格化スパイダー図では（図 4.8.4）、Eu と軽・重希土類元素の濃集程度に差が認められ、国道 18B 沿いおよび Xe Kaman 川流域に分布する角閃石-黒雲母花崗閃緑岩および黒雲母-角閃石石英閃緑岩、Xe Kaman 川流域に分布する黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩、Xe Xou 川流域に分布する黒雲母-角閃石花崗閃緑岩、Xe Xou 川流域に分布する両雲母花崗岩の 4 種類に分類できる。特に Xe Kaman 川流域に分布する黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩は、他の花崗岩体に比べて重希土類元素が濃集する傾向や急激な Eu スパイクが認められる。
- ④ Nb-Y、Rb-(Y+Nb) の花崗岩テクトニクス区分図では（図 4.8.5）、大半の花崗岩類は VAG (volcanic arc granite) の領域にプロットされる。しかし Xe Kaman 川に分布する黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩は、他の花崗岩類よりも Nb および Y 含有量がやや多く、WPG (within plate granite) の領域にプロットされる。
- ⑤ Al₂O₃-CaO-alkali の花崗岩系区分図においては（図 4.8.6）、国道 18B 沿いおよび Xe Kaman 川流域に分布する角閃石-黒雲母花崗閃緑岩および黒雲母-角閃石石英閃緑岩、Xe Xou 川流域に分布する黒雲母-角閃石花崗閃緑岩は meta-aluminous な I タイプ花崗岩の領域にプロットされ、Xe Xou 川流域に分布する両雲母花崗岩は per-aluminous な S タイプ

花崗岩の領域にプロットされる。一方、Xe Kaman 川流域に分布する黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩は、meta-aluminous～peralkaline な I-A タイプ花崗岩の領域にプロットされる。

⑥ (Sr/Y)-Y の calc-alkali テクトニクス区分では (図 4.8.7)、Y 含有量に差が認められ、Xe Xou 川流域に分布する黒雲母-角閃石花崗閃緑岩および両雲母花崗岩はアダカイト質な領域にプロットされる。

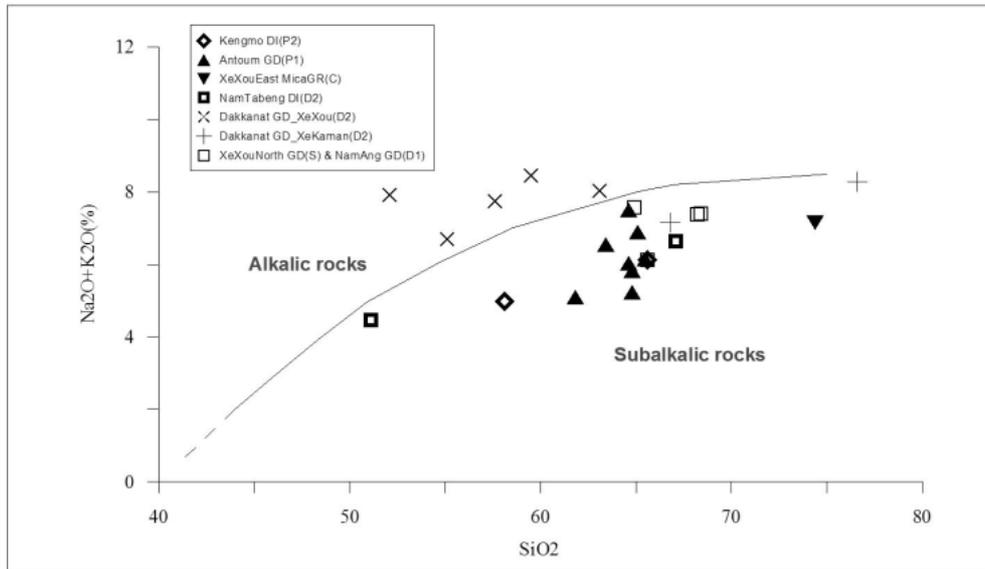


図 4.8.1 深成岩類のアルカリ-シリカ図

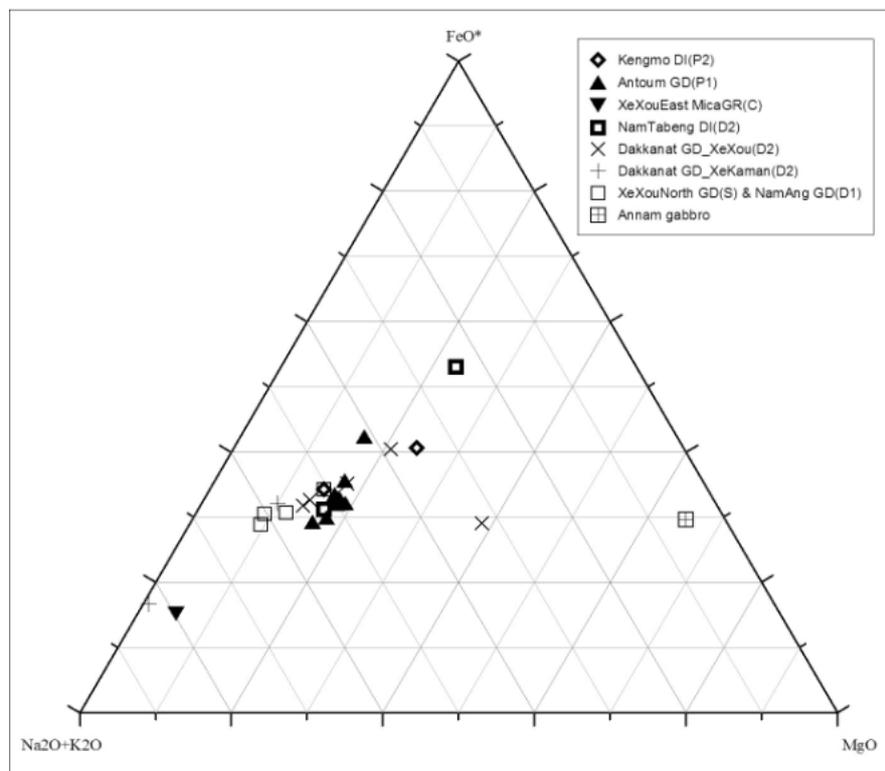


図 4.8.2 深成岩類の AFM 図

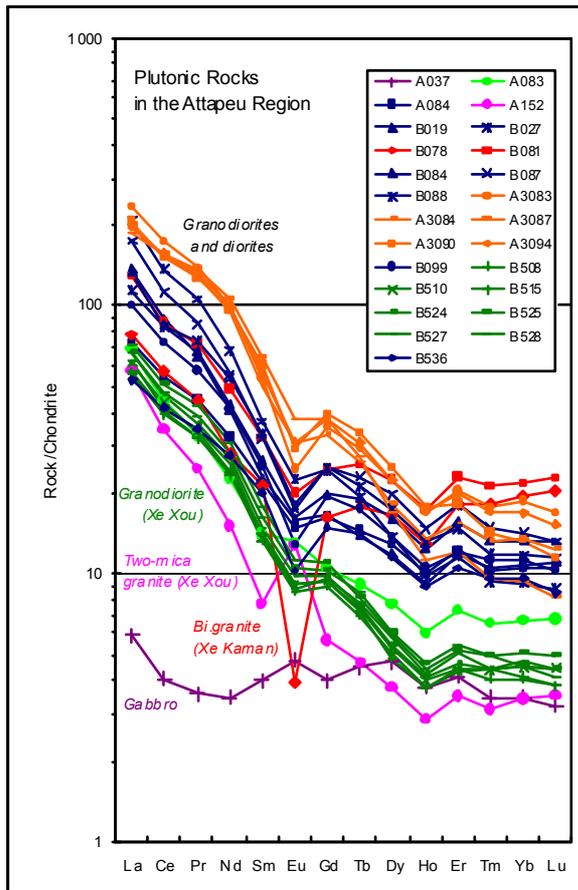


図 4.8.3 深成岩類の MORB 規格化スパイダー図

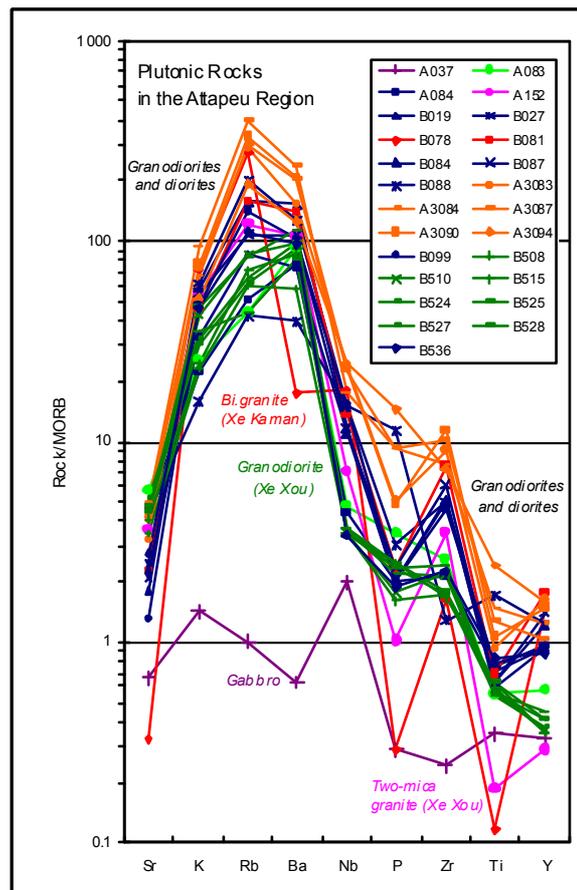


図 4.8.4 深成岩類のコンドライト規格化地化学パターン図

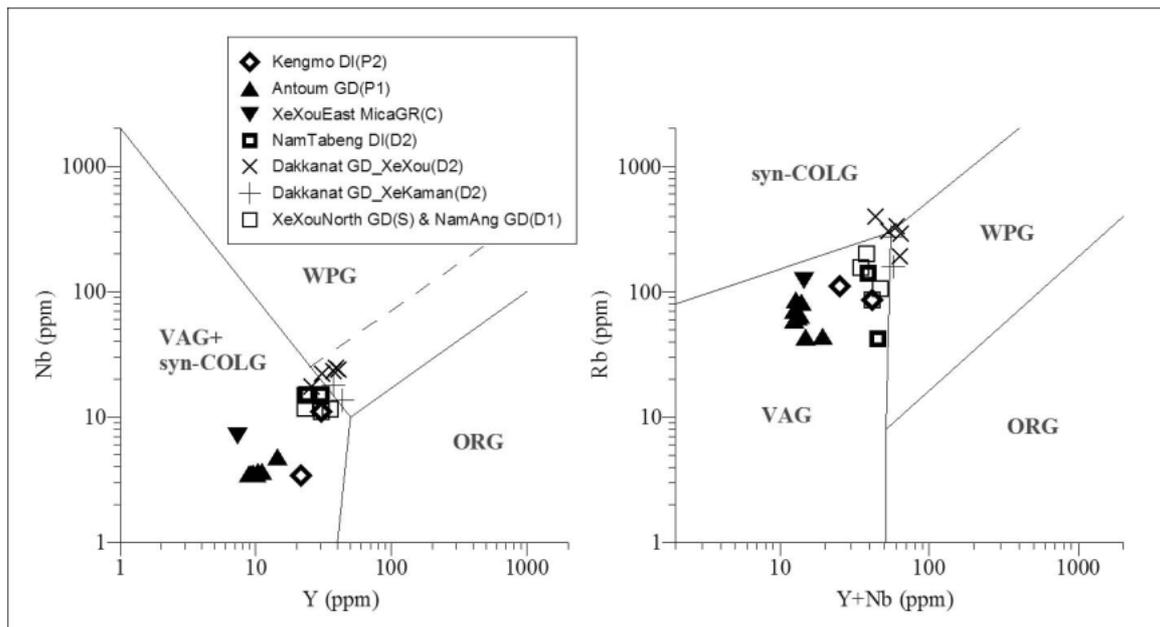


図 4.8.5 微量元素による花崗岩類分類図

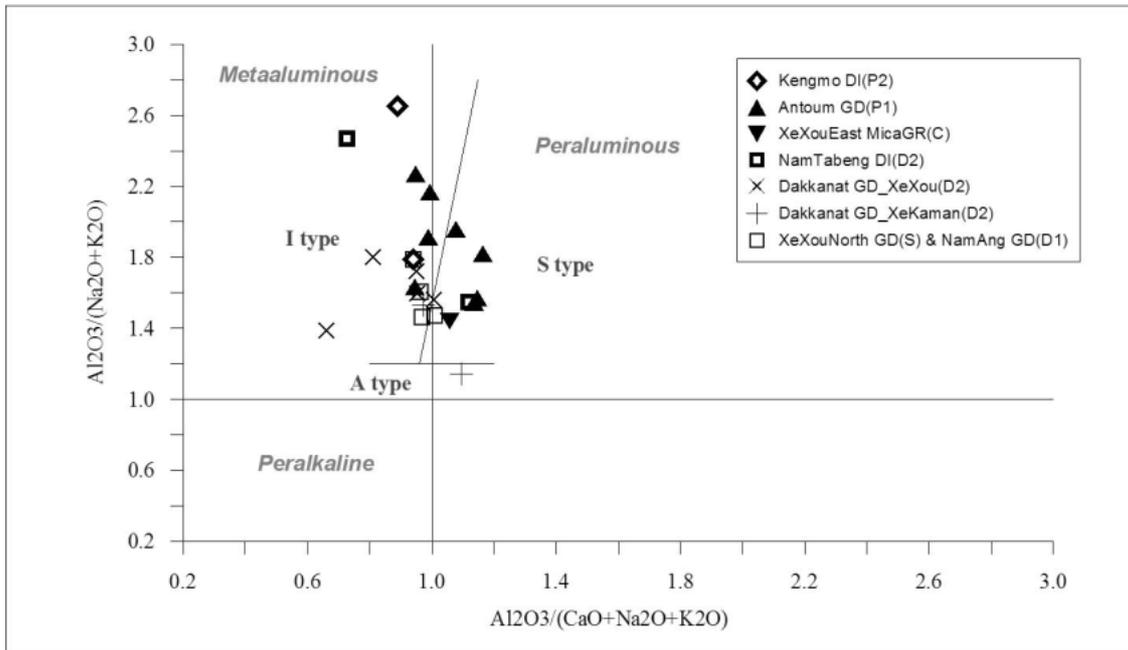


図 4.8.6 Al₂O₃指標による花崗岩類分類図

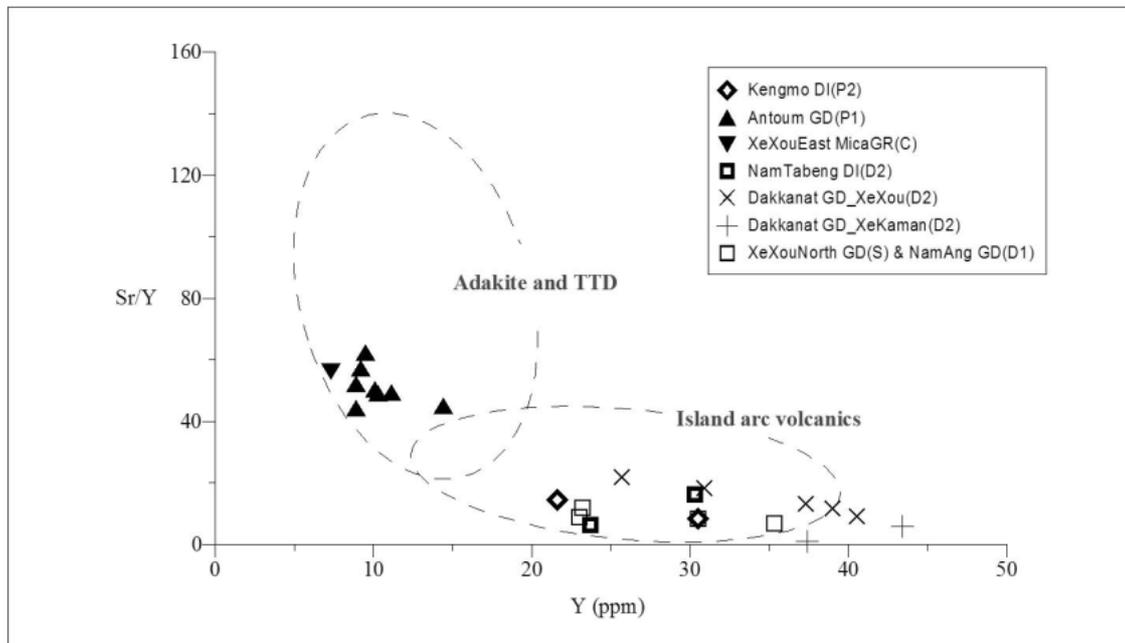


図 4.8.7 (Sr/Y) - (Y)による花崗岩類分類図

次に、玄武岩類の岩石化学的特徴は、以下のとおりである。

- ① alkali-silica の岩質区分図においては (図 4.8.8、図 4.8.9)、岩質は大半が subalkalic な basalt ~ basaltic andesite であり、Bolavene 台地上に分布する一部の玄武岩 (A005) は alkalic な trachy-basalt である。
- ② FeO-alkali-MgO の岩系区分図では (図 4.8.10)、各岩体はほぼ同じ場所にプロットされ、分化トレンドが認められない。
- ③ 指標元素の MORB 規格化地化学パターン図では (図 4.8.11)、各岩体はほぼ同じ地化学パターンを示すが、Bolavene 台地上に分布する一部の玄武岩 (A005) は指標元素が濃集する傾向にある。
- ④ 希土類元素の Condrite 規格化スパイダー図では (図 4.8.12)、各岩体のパターンの傾向はほぼ同じであるが、軽希土類元素の含有程度が異なる。Bolavene 台地上に分布する一部の玄武岩 (A005) は軽希土類元素が比較的濃集しているが、Xe Kong 川流域に分布する玄武岩 (B024) では軽希土類元素の濃集は僅かである。
- ⑤ (Ti/100)-Zr-3Y の玄武岩類テクトニクス区分図において (図 4.8.13)、全ての玄武岩類は WPB (within plate basalt) にプロットされる。
- ⑥ 2Nb-(Zr/4)-Y の玄武岩類テクトニクス区分図では (図 4.8.14)、玄武岩類は within plate のうち WPA (within plate alkali) もしくは WPI (within plate tholeiite) の領域にプロットされる。
- ⑦ $TiO_2-10MnO-10P_2O_5$ の玄武岩類テクトニクス区分図では (図 4.8.15)、大半の玄武岩類は OIA (ocean-island alkali basalt or seamount alkali basalt) の領域にプロットされるが、Xe Kong 川流域に分布する玄武岩 (B024) は OIT (ocean-island tholeiite or seamount tholeiite) の領域にプロットされる。

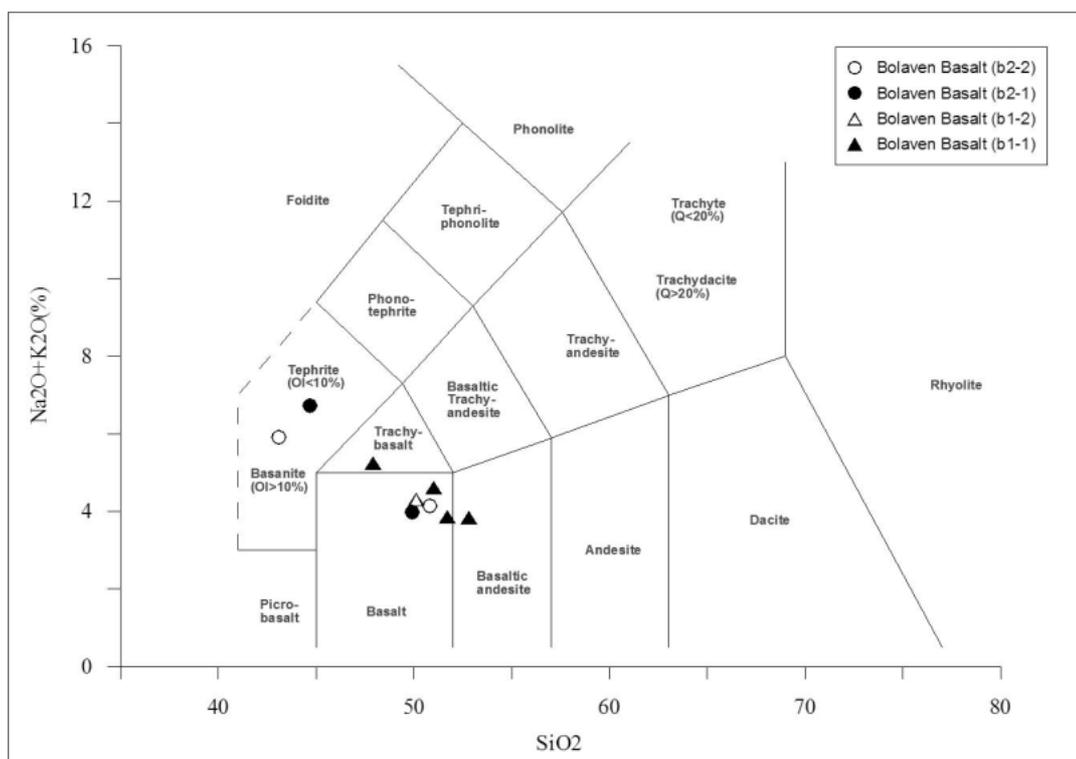


図 4.8.8 玄武岩類の TAS 分類図

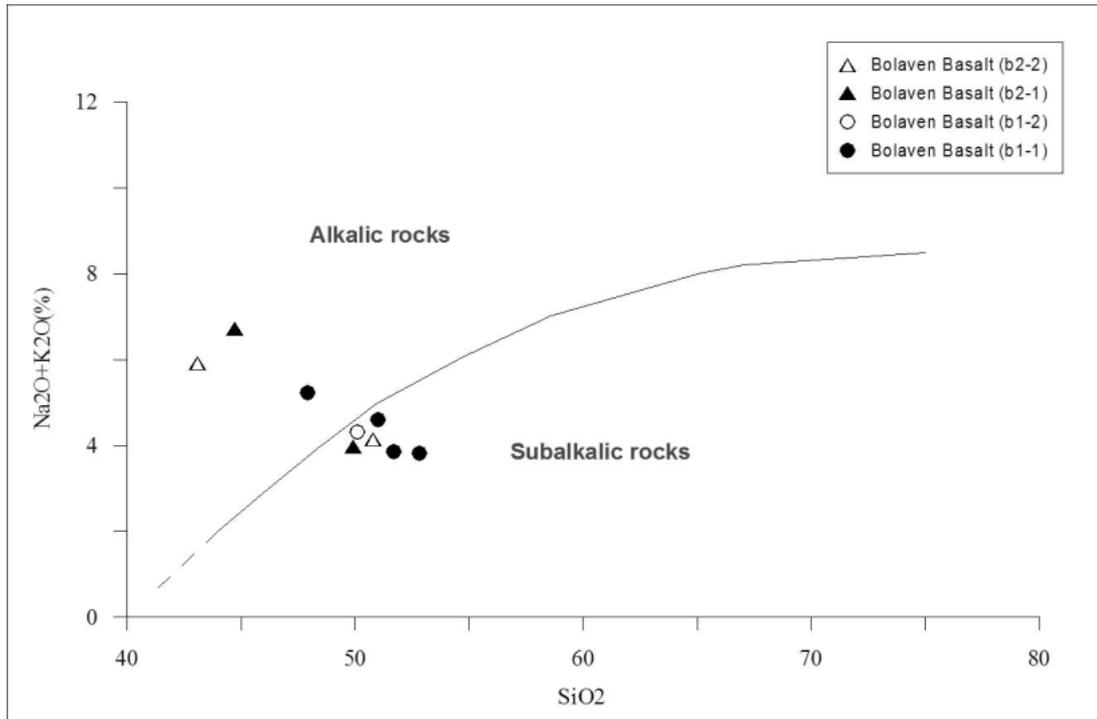


図 4.8.9 玄武岩類のアルカリ-シリカ図

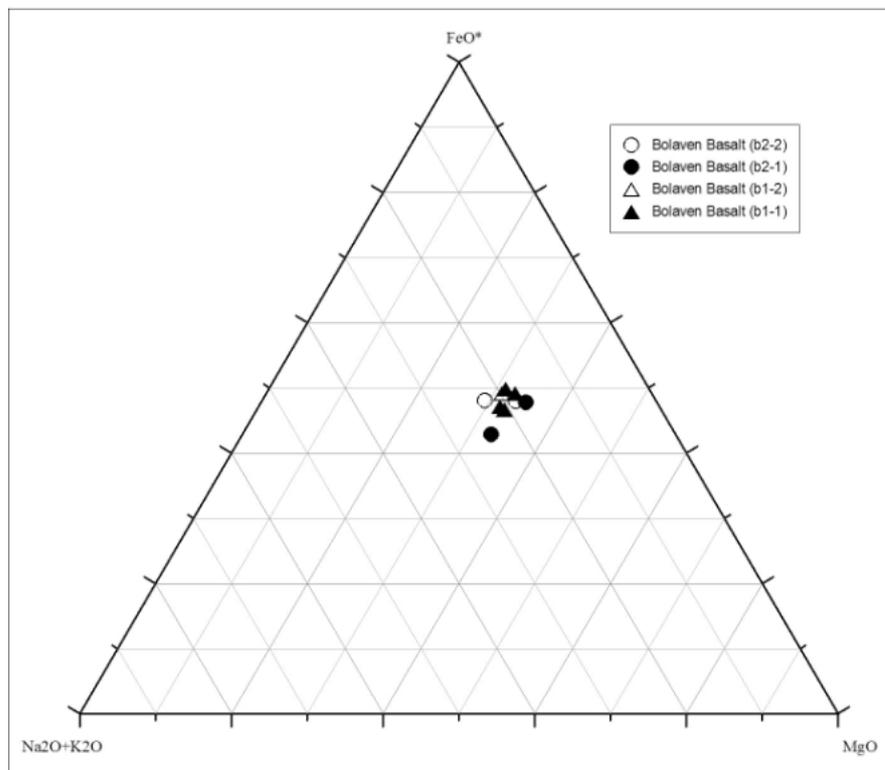


図 4.8.10 玄武岩類の AFM 図

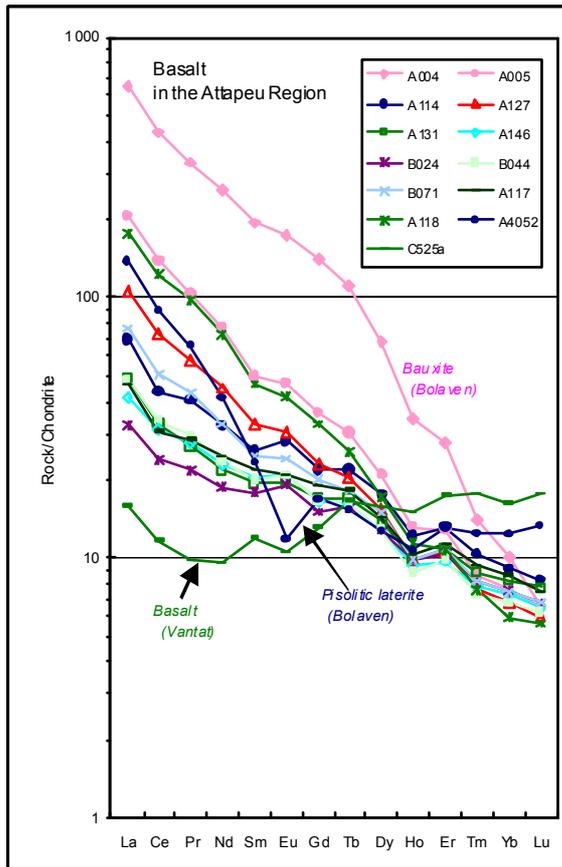


図 4.8.11 玄武岩類の MORB 規格化スパイダー図

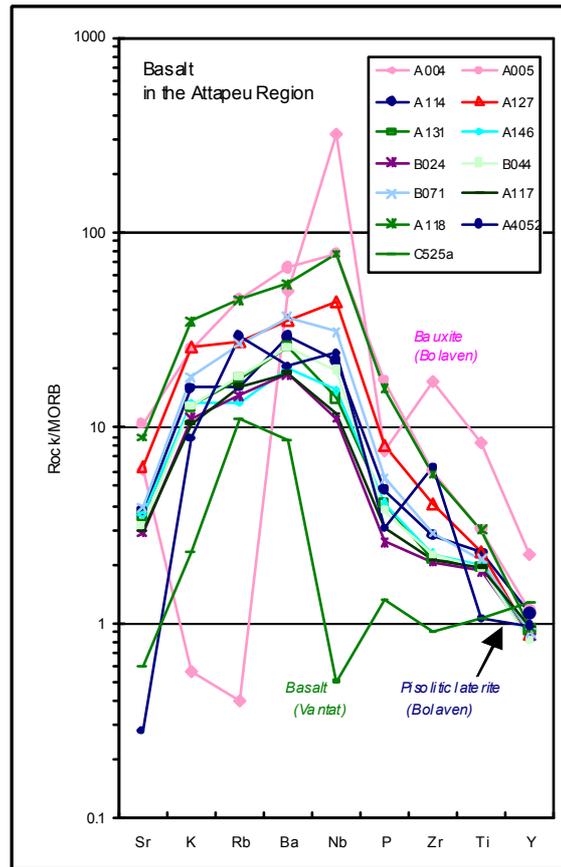
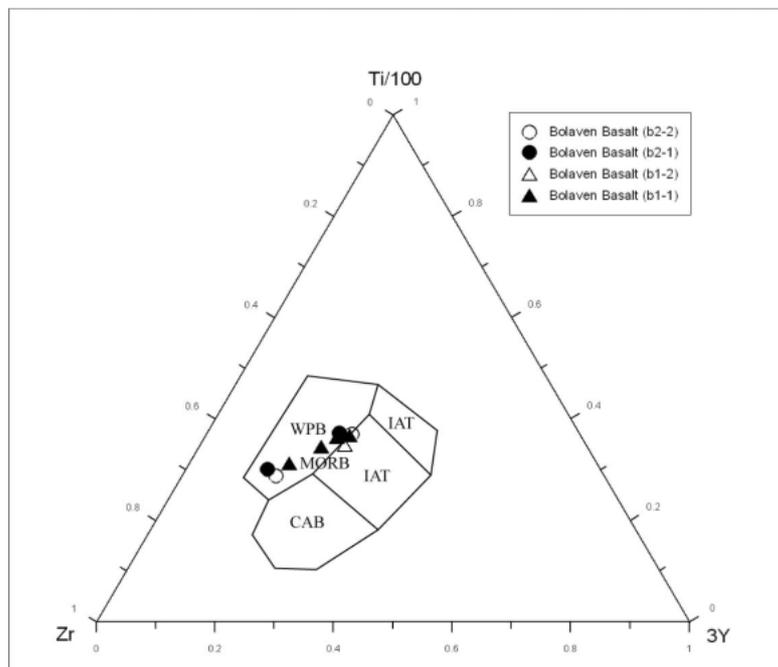
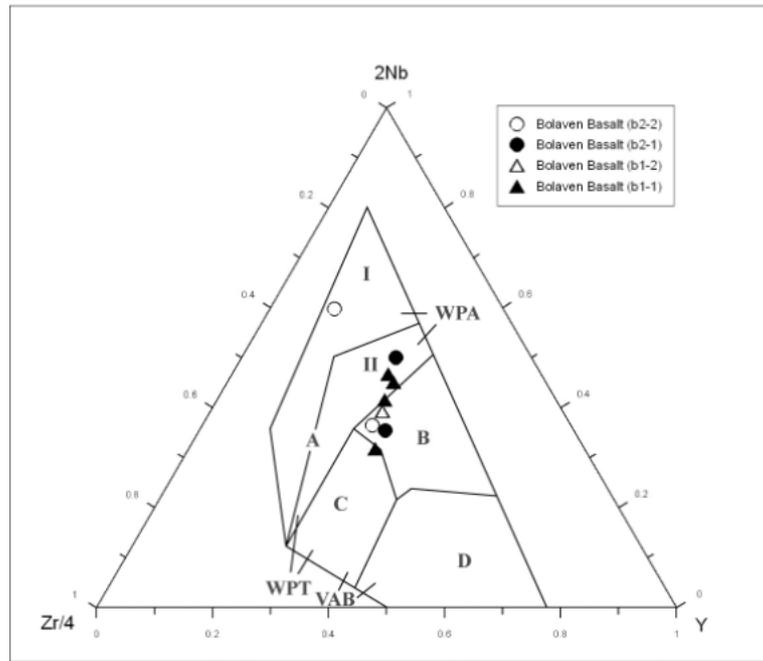


図 4.8.12 玄武岩類のコンドライト規格化地化学パターン図



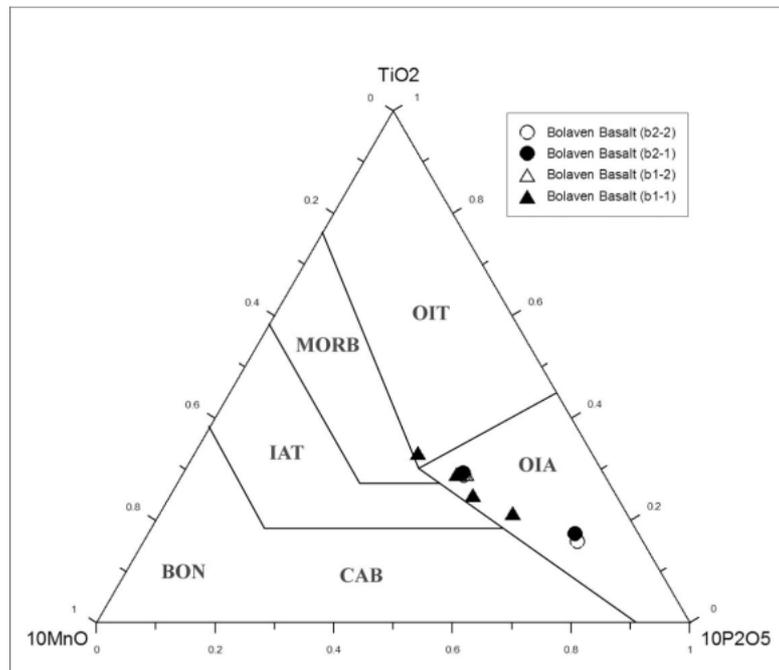
WPB, within-plate basalt;
CAB, island-arc calc-alkaline basalt;
IAT, island-arc tholeiite

図 4.8.13 Y-Ti-Zrによる玄武岩類分類図



AI, within-plate alkali basalts; AII, within-plate alkali basalts and within-plate tholeiites;
 B, E-type MORB; C, within-plate tholeiites and volcanic-arc basalts;
 D, N-type MORB and volcanic-arc basalts
 WPA, within-plate alkali basalt; WPT, within-plate tholeiite, VAB, volcanic-arc basalt

図 4.8.14 Y-Nb-Zrによる玄武岩類分類図



OIT, ocean-island tholeiite or seamount tholeiite;
 OIA, ocean-island alkali basalt or seamount alkali basalt;
 CAB, island-arc calc-alkaline basalt;
 IAT, island-arc tholeiite; BON, boninite

図 4.8.15 P-Ti-Mnによる玄武岩類分類図

4.8.4 鉱石分析

鉱石分析は、第2次～第6次現地調査における地質調査（縮尺 1/20 万および 1/1 万）時に採取した鉱石試料について行なった。分析は DGEO の化学分析センターにおいて、技術移転を兼ねて実施した。

1) 分析試料

分析に使用した試料は、付属資料 10 に示す 48 試料である。

2) 分析内容および方法

分析成分は、Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Ni、Mn、Fe、Sn、TiO₂ の 10 成分である。測定には、DGEO が保有する島津製作所製原子吸光光度計（AA-6300）を使用した。

3) 分析結果

分析結果を付属資料 10 に示す。

分析結果で比較的高濃度な値が得られたのは、Au、Cu、Pb および Ag である。Au は、軍管轄金鉱山内の泥質片岩中に胚胎する石英脈や Xe Xou 川流域の粘板岩中に胚胎する石英脈で高く、0.68～2.56 ppm を示す。なお、軍管轄金鉱山周辺から採取された石英脈のうち一部の試料については、さらに高い値が得られているが、現在確認のため再分析中である。Cu は Xe Kong 市東部の三疊系-ジュラ系砂岩中の孔雀石-藍銅鉱染砂岩で高く、7350 ppm を示した。また、軍管轄金鉱山内の石英脈中には Cu: 3161 ppm を含む試料が確認された。Pb は、軍管轄金鉱山の北方に位置する Ban Tat Noi 集落東部の粘板岩中に胚胎する石英脈で高く、2281 ppm を示す試料が確認された。同試料は Ag 値も比較的に高く、157 ppm を示した。

4.8.5 帯磁率測定

帯磁率測定は、第2次～第6次現地調査における地質調査（縮尺 1/20 万および 1/1 万）時に採取した全試料について実施した。測定を行なった試料数は 152 試料である。

帯磁率を測定することにより、岩石・鉱石中に含まれる磁性鉱物の割合を大まかに知ることができる。花崗岩類の磁鉄鉱系列およびイルメナイト系列の区分では、代表的な磁性鉱物である磁鉄鉱含有の有無が利用される。また、帯磁率は母岩の変質や鉱化の影響を受けて変化するため、母岩の帯磁率を測定することで、変質・鉱化の範囲を特定することも可能である。なお、測定は地質調査時に技術移転をかねて実施した。

1) 測定方法

測定はカナダ Exploranium G.S.社製帯磁率計（KT-9 Kappameter）を用いて行なった。測定対象である岩石・鉱石試料は、試料のサイズが各々異なっており、表面に凸凹が生じている。そのため同機器による測定は、測定面を整形する必要のない Pin モードで測定した。なお、花崗岩類の磁鉄鉱系列とイルメナイト系列の境界は、 100×10^{-6} emu/g である。この値は KT-9 Kappameter による SI ユニット値で約 $3.0 (\times 10^{-3})$ に相当する。

2) 測定結果

測定結果を表 4.8.1 に示す。

花崗岩類には 3.0 以上の高い値を示す試料と 1.0 前後の低い値を示す試料の 2 つのタイプが認められる。このうち 3.0 以上の値を示し、磁鉄鉱系列の特徴を持つと考えられる花崗岩類は、国道 18B 沿いおよび Xe Kaman 川流域に分布する角閃石-黒雲母花崗閃緑岩、Xe Kaman 川流域および Xe Xou 川流域に分布する黒雲母-角閃石石英閃緑岩である。一方、1.0 前後の低い値を示し、イルメナイト系列の特徴を持つと考えられる花崗岩類は、Xe Kaman 川流域に分布する黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩、Xe Xou 川流域に分布する黒雲母-角閃石花崗閃緑岩および両雲母花崗岩である。

変成岩類、堆積岩類、変質岩および鉱化母岩の測定値は 1.0 以下の低い値を示すものが大半である。玄武岩類は全体に高く、2.0 前後～最大 8.0 程度の値を示す。

表 4.8.1 帯磁率測定結果

Ser. No.	Sample No.	Rock & Ore Name	Magnetic Susceptibility (*10 ⁻³ SI)	Ser. No.	Sample No.	Rock & Ore Name	Magnetic Susceptibility (*10 ⁻³ SI)	Ser. No.	Sample No.	Rock & Ore Name	Magnetic Susceptibility (*10 ⁻³ SI)	Ser. No.	Sample No.	Rock & Ore Name	Magnetic Susceptibility (*10 ⁻³ SI)
1	B001	Conglomerate	0.01	41	B041	Schist	0.15	81	B081	Granodiorite	5.46	121	B121	Basalt	2.03
2	B002	Sandstone	0.02	42	B042	Basalt	0.75	82	B082	Sandstone	0.01	122	B122	Basalt	2.54
3	B003	Sandstone	0.06	43	B043	Granodiorite	1.95	83	B083	Diorite	0.09	123	B123	Basaltic andesite	2.33
4	B004	Siltstone	0.09	44	B044	Basalt	1.21	84	B084	Diorite	2.30	124	B124	Basalt	1.34
5	B005	Sandstone	0.17	45	B045	Sandstone	0.00	85	B085	Quartz diorite	11.70	125	B125	Basalt	1.53
6	B006	Sandstone	0.26	46	B046	Sandstone	0.20	86	B086	Granodiorite	3.95	126	B126	Basalt	1.25
7	B007	Sandstone	0.18	47	B047	Siltstone	0.12	87	B087	Granodiorite	6.23	127	B127	Basalt	1.56
8	B008	Mudstone	0.10	48	B048	Shale	0.14	88	B088	Granodiorite	52.30	128	B128	Ignimbrite	0.09
9	B009	Schist	0.01	49	B049	Shale	0.23	89	B089	Diorite	5.82	129	B129	Ignimbrite	0.16
10	B010	Meta sandstone	9.51	50	B050	Sandstone	0.06	90	B090	Quartz vein	0.05	130	B130	Basalt	1.59
11	B011	Rhyolite	0.03	51	B051	Sandstone	0.01	91	B091	Gneiss	0.14	131	B131	Basalt	4.38
12	B012	Ignimbrite	0.05	52	B052	Siltstone	0.13	92	B092	Gneiss	0.12	132	B132	Granodiorite	1.84
13	B013	Ignimbrite	0.03	53	B053	Basalt	1.57	93	B093	Quartz diorite	0.32	133	B133	Granodiorite	1.65
14	B014	Sandstone	0.08	54	B054	Ignimbrite	0.07	94	B094	Granodiorite	4.79	134	B134	Mylonite	0.40
15	B015a	Sandstone	0.07	55	B055	Siltstone	0.00	95	B095	Granodiorite	0.21	135	B135	Schist	-0.06
16	B016	Mylonite	0.12	56	B056	Akose sandstone	0.25	96	B096	Gneiss	-0.08	136	B136	Meta sandstone	0.07
17	B017	Granodiorite	0.06	57	B057	Sandstone	0.11	97	B097	Basalt	1.15	137	B137	Sulfide ore	0.64
18	B018a	Marble	0.04	58	B058	Sandstone	0.13	98	B098	Dacite	2.25	138	B138	Meta sandstone	0.03
19	B019	Granodiorite	4.95	59	B059	Sandstone	0.08	99	B099	Granodiorite	0.04	139	B139	Quartz vein	-0.06
20	B020a	Sandstone	0.01	60	B060	Sandstone	0.16	100	B100	Slate	0.03	140	B140	Gneiss	-0.01
21	B021	Mudstone	0.04	61	B061	Slate	0.05	101	B101	Conglomerate	-0.17	141	B141a	Quartz vein	-0.12
22	B022	Conglomerate	0.01	62	B062	Slate	0.02	102	B102	Granodiorite	30.30	142	B142a	Schist	0.20
23	B023a	Mudstone	0.01	63	B063	Sandstone	0.01	103	B103	Syenite	0.05	143	B143	Quartz vein	-0.12
24	B024	Basalt	0.55	64	B064	Slate	0.03	104	B104	Granite	1.06	144	B144	Quartz vein	-0.10
25	B025	Sandstone	0.06	65	B065	Basalt	2.51	105	B105	Quartz vein	-0.15	145	B145	Quartz vein	-0.13
26	B026	Granodiorite	0.01	66	B066	Basalt	2.17	106	B106	Conglomerate	0.06	146	B146	Slate	0.02
27	B027	Granodiorite	6.85	67	B067	Quartz arenite	0.01	107	B107	Chert	-0.19	147	B147	Mylonite	0.28
28	B028	Granodiorite	1.62	68	B068	Dacite	0.01	108	B108a	Schist	0.02	148	B148	Basalt	2.07
29	B029	Gneiss	0.15	69	B069	Basalt	0.92	109	B109a	Chert	-0.08	149	B149	Basalt	1.98
30	B030	Andesite	0.05	70	B070	Dacite	0.03	110	B110	Limestone	-0.04	150	B150	Basalt	4.46
31	B031	Quartz vein	0.00	71	B071	Basalt	5.09	111	B111	Ignimbrite	-0.03	151	B151	Basalt	2.90
32	B032	Quartz vein	0.07	72	B072	Quartz arenite	0.02	112	B112	Quartz arenite	0.26	152	B152	Basalt	8.09
33	B033a	Quartz vein	0.02	73	B073	Quartz arenite	0.03	113	B113	Schist	0.03				
34	B034a	Quartz vein	0.15	74	B074	Quartz arenite	0.01	114	B114	Quartzite	-0.07				
35	B035	Sandstone	0.11	75	B075	Adamellite	0.02	115	B115	Basalt	0.72				
36	B036	Andesite	0.02	76	B076	Conglomerate	0.04	116	B116	Basalt	1.02				
37	B037	Schist	0.04	77	B077	Sandstone	0.01	117	B117	Basalt	1.96				
38	B038	Quartz arenite	0.04	78	B078	Granite	0.01	118	B118	Basalt	6.95				
39	B039	Meta sandstone	0.09	79	B079	Ignimbrite	0.03	119	B119	Conglomerate	0.00				
40	B040	Dacitic tuff	0.05	80	B080	Granodiorite	0.27	120	B120	Goethite	0.54				

4.8.6 流体包有物測定

流体包有物測定は、第2次～第6次現地調査における地質調査（縮尺 1/20 万および 1/1 万）時に採取した鉱石鉱物を伴う石英試料について行なった。

本地域には各地に鉱徴地が分布する。鉱石や鉱脈を形成する石英の均質化温度および塩濃度を測定することにより、鉱化温度や鉱液の性質等の生成環境の推定が明らかとなる。

1) 分析方法

測定は、DOWA テクノリサーチ社において実施し、同社が保有する LINKAM 社製顕微鏡加熱冷却装置 LK-600PS により行なった。

2) 分析結果

分析結果を表 4.8.2 に示す。

比較的明瞭な鉱化作用を伴う軍管轄金鉱山内の片岩中に胚胎する石英脈 (B139、B141a、B141b、B143、B144 および B145) や Xe Xou 川流域の粘板岩中に胚胎する石英脈 (B034a) 中に含有された流体包有物の測定結果では、均質化温度が 119～297℃、塩濃度が 2.57～6.74wt.% の範囲となる。また、これらの試料の平均値 (Average) の示す範囲はそれぞれ、均質化温度が 156.3～220.0℃、塩濃度が 3.71～5.98wt.% である。

これは一般的な浅熱水鉱床の脈石英の沈殿温度 (170～230℃) に調和的な結果を示す。また塩濃度では、日本の浅熱水金鉱床 (菱刈や串木野鉱床) では約 1wt.% 程度であるが、フィリピンの浅熱水鉱床であるピクトリア鉱床では、0～4.2wt.% (均質化温度は 200～260℃) を示し (Sajona et al., 2002)、本結果に調和的である。

表 4.8.2 石英脈試料の流体包有物測定結果

Ser. No.	Sample No.	Coordinate (UTM)		Description	Temperature (°C)			Salinity (wt.% NaCl)		
		EW	NS		Number	Range	Average	Number	Range	Average
1	B031	761128	1638824	Quartz vein (w:5m) with green Cu in muscovite schist	1	110	110	1	0.53	0.53
2	B034a	762011	1636821	Pyrite bearing quartz vein (intense pyritization) in shear zone of phyllite.	12	186-222	204.5	12	4.34-5.41	4.88
3	B078	736022	1654653	Quartz vein in massive biotite granite.	12	142-207	167.8	12	3.87-6.01	4.63
4	B090	740863	1668883	Quartz vein in migmatite zone.	11	156-214	184.3	11	4.03-6.30	4.85
5	B139	764079	1651645	Pyrite bearing quartz vein in biotite gneiss.	11	119-297	220.0	11	4.49-6.74	5.98
6	B141a	759036	1656418	Quartz vein (w:80cm) in muscovite schist at Au mine of military concession.	13	142-205	173.0	13	5.26-6.16	5.73
7	B141b	759036	1656418	Quartz vein (w:80cm) in muscovite schist at Au mine of military concession.	8	131-203	165.0	8	4.65-6.45	5.72
8	B143	759036	1656418	Quartz vein (w:80cm) in muscovite schist at Au mine of military concession.	7	144-189	163.7	7	4.34-5.56	4.95
9	B144	759014	1656444	Quartz vein (w:140cm) in muscovite schist at Au mine of military concession.	4	131-178	156.3	4	4.18-4.65	4.42
10	B145	759150	1656100	Quartz vein with barite (w:15cm) in biotite schist	9	126-248	188.7	9	2.57-4.96	3.71
11	B539a	738892	1641559	Quartz vein in trench	3	132-146	140.3	3	2.74-7.86	5.08
12	B554	741742	1636814	Quartz network, sericite alteration, Azurite, Malchite, Chalcopyrite, bonite and tenolite	6	136-214	184.7	6	3.23-9.86	12.71
13	B561	741289	1637442	Quartz vein (10cm) with Malc.	3	158-165	161.3	3	6.01-6.45	6.25
14	B562a	741307	1537444	Quartz stockwork with Malc. diss. (w:5m⁻²), sericite and silicification (strong)	2	198-204	201.0	2	6.3-7.31	6.80
15	C538	765302	1681353	Quartz vein with disseminated pyrite	9	151-176	163.9	9	5.86-7.73	6.64

4.8.7 年代測定

年代測定は、第2次～第6次現地調査における地質調査（縮尺 1/20 万および 1/1 万）時に採取した花崗岩類および玄武岩類について行なった。

年代測定により、火成岩類の噴出・定置時期、鉱床関連岩類の変質時期などが明らかになる。

1) 分析方法

年代測定のうち K-Ar 年代測定はカナダの ActLabs 社で実施し、Ar-Ar 年代測定は蒜山地質年代学研究所で行った。

2) 分析結果

K-Ar 年代測定結果を表 4.8.3 に示し、Ar-Ar 年代測定結果を表 4.8.4 に示す。

表 4.8.3 花崗岩類および玄武岩類の K-Ar 年代測定結果

Ser. No.	Sample No.	Coordinate (UTM)		Rock Name	K-Ar dating	Estimate Age	%K	⁴⁰ Ar _{nd} , nl/g	% ⁴⁰ Ar _{air}	Age (Ma)	Age	Remarks
		EW	NS									
1	A153	769685	1636008	Two-mica GR	biotite	Permian to Triassic	5.44	68.077	1.5	301.5±7.7	Carboniferous	Loc.01A464 Xe Kaman (upstream)
2	B081	737580	1655897	Hbl.Bio.GD	biotite	Carboniferous	2.71	45.84	24	396.6±10.4	Devonian	Loc.01B293 Xe Kaman (middle)
3	B088	738498	1668467	Bio.Px.HblDI	hornblende	Permian to Triassic	0.54	8.389	92	367.3±9.6	Devonian	Loc.01B316 Xe Kaman (middle)
4	B531	745065	1636793	Bio.HblGD	whole rock (× hornblende)	Permian to Triassic	1.83	18.871	54	252.0±6.5	Permian	Loc.03B196 Area A
5	B546	760488	1638836	Bio.HblGD	amphibole (× hornblende)	Permian to Triassic	nd.***	6.429	15.1	n.d.	n.d.	Loc.03B302 Area B
6	B134	740337	1640961	Mylonite	sericite (muscovite)	Permian to Triassic	4.07	46.46	35	277.0±7.1	Permian	Loc.01B054 Area A&D (Route 18B)
7	B147	759162	1656212	Mylonite	whole rock (× muscovite)	Permian to Triassic	0.58	4.325	213	185.7±5.0	Jurassic	Loc.02B159 Army Mine
8	A117	628448	1690054	OLBA lava	whole rock	Neogene	0.64	0.212	898	8.7±0.4	Tertiary	Loc.01A373 Bolavene
9	A127	618089	1683025	Px.BA lava	whole rock	Neogene	1.59	7.611	122	121.4±3.1	Cretaceous	Loc.01A393 Bolavene
10	B044	728088	1665289	Px.BA lava	whole rock	Neogene	0.72	1.111	719	40.0±1.3	Tertiary	Loc.01B155 northern Xe Kaman (north of Paam)
11	C520	740800	1637132	Two-mica GR	whole rock (× muscovite)	Carboniferous	0.05	0.708	84	364.2±13.4	Devonian	Loc.04C041 Army Mine
12	C525a	758430	1656200	Meta BA	whole rock	before Carboniferous	0.15	1.624	579	272.1±8.1	Permian	Loc.04C046 Army Mine
13	B515	757929	1655788	Hbl.Bio.GD	biotite	Permian	1.82	18.77	189	251.6±6.5	Permian	Loc.03B095 Area A

The K concentration was performed by ICP.
The argon analysis was performed using the isotope dilution procedure on noble gas mass spectrometer.

表 4.8.4 花崗岩類の Ar-Ar 年代測定結果

Ser. No.	Sample No.	Coordinate (UTM)		Rock Name	Ar-Ar dating	Estimate Age	Age (Ma)	Age	Remarks
		EW	NS						
1	A083	747911	1632403	Hbl.Bio.GD	biotite	Permian to Triassic	248.61±25.16	Permian	82.3% of ³⁹ Ar released Loc.01A270 south of Area A
2	A083	747911	1632403	Hbl.Bio.GD	hornblende	Permian to Triassic	269.35±29.75	Permian	57.7% of ³⁹ Ar released Loc.01A270 south of Area A
3	B099	748590	1669280	Heterogeneous Hbl.Bio.GD	biotite	Permian to Triassic	-33.25±11.65	-	Loc.02B015 west of Ban Tat Noi
4	B099	748590	1669280	Heterogeneous Hbl.Bio.GD	hornblende	Permian to Triassic	-6.96±9.35	-	Loc.02B015 west of Ban Tat Noi

The step heating was performed by argon ion laser.
The temperatures on heating was measured using infrared temperature indicator.
The argon analysis was performed using the isotope dilution procedure on noble gas mass spectrometer.

4.9 詳細調査地域 (縮尺 1/10,000) における地質マッピング

詳細調査地域は、縮尺 1/200,000 地質マッピング実施時に確認された鉱徴地や、沢砂地化学探査により検出された異常域を考慮し、鉱物資源ポテンシャルの高い地域から選定した (図 4.9.1)。選定した地域はバン・ダクヨイ図幅から 3 地域 (Area A、Area B、Area D) (図 4.9.2)、アタプ図幅から 1 地域 (Area C) (図 4.9.3) の計 84km²である。

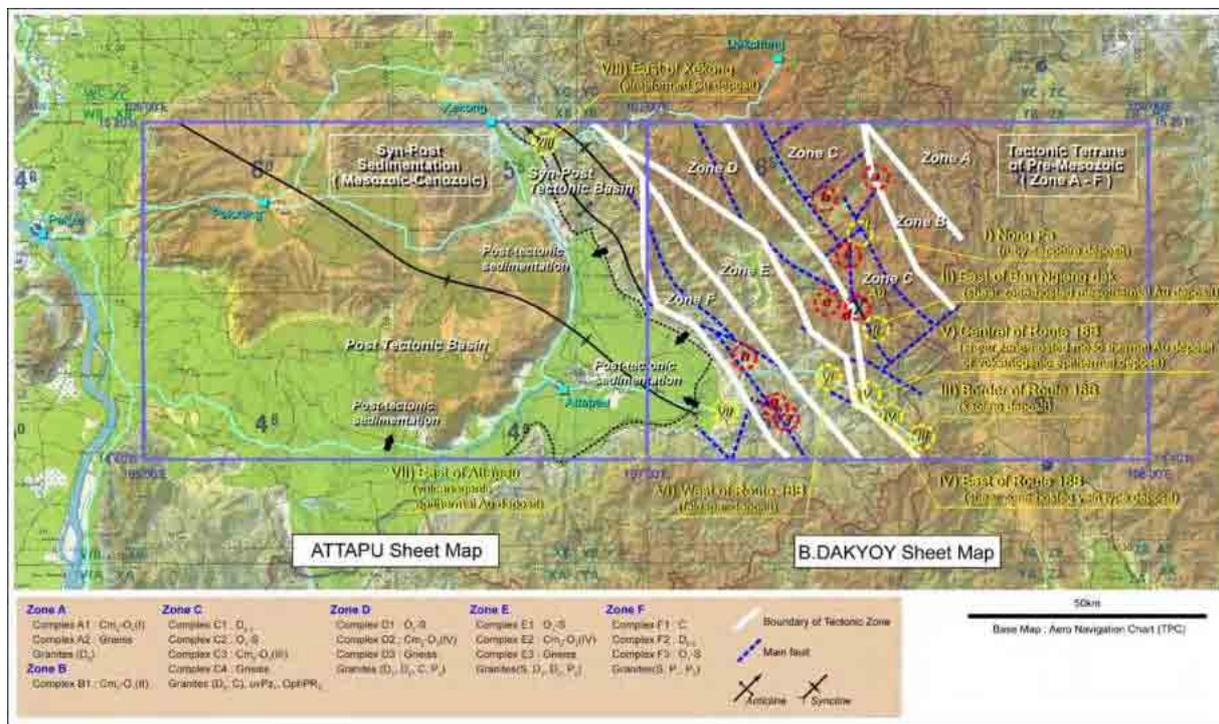


図 4.9.1 鉱床賦存有望地域位置図

A 地域はアタプ東部の山岳地域の西部に位置し、調査範囲は南北 8km×東西 8km である。本地域内には金の沢砂地化学異常が確認されており、金の鉱化作用が期待される。

B 地域はアタプ東部の山岳地域の国道 18B 号線の標識 90km 地点に位置し、南北 4km×東西 4km の調査範囲である。本地域内の国道 18B 号線の標識 90km 地点には、石英脈、黄鉄鉱鉱染、細脈、硫黄溶脱が確認されている。そのため金の鉱化作用が期待される。

C 地域はアタプ図幅北縁を流れるセコン川 (Xe Kong) の東部に位置し、セコン市の南東にあたる。調査範囲は南北 4km×東西 4km である。本地域内の道路上の砂岩中には、孔雀石や藍銅鉱などの銅鉱物が確認されており、銅の鉱化作用が期待される。

D 地域は A 地域と同様、アタプ東部の山岳地域の西部に位置する。本地域は A 地域に隣接しており、調査範囲は南北 8km×東西 8km である。本地域内には金の沢砂地化学異常が確認され、金の鉱化作用が期待される。

以上の地域の詳細地質調査では、鉱徴地の鉱化特性・鉱床規模を把握し、鉱床モデルを策定することを目的とした。実際の野外地質調査では、詳細な地質・鉱床記載に加え、高密度の地化学分析試料・鉱石化学分析試料採取および分析を実施した。鉱徴地の一部では、簡易測量およびトレンチによる地質・鉱床調査も実施した。A~D の 4 地域における地質・鉱徴図の作成縮尺は 1/1 万である。

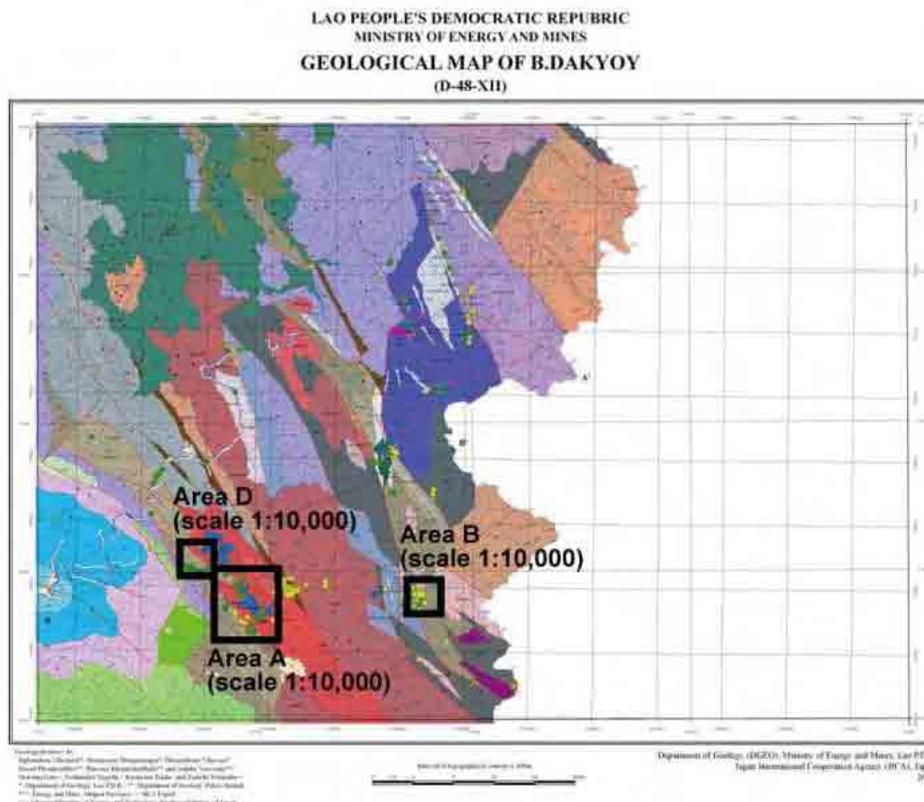


図 4.9.2 バン・ダクヨイ図幅の詳細地質調査地域位置図

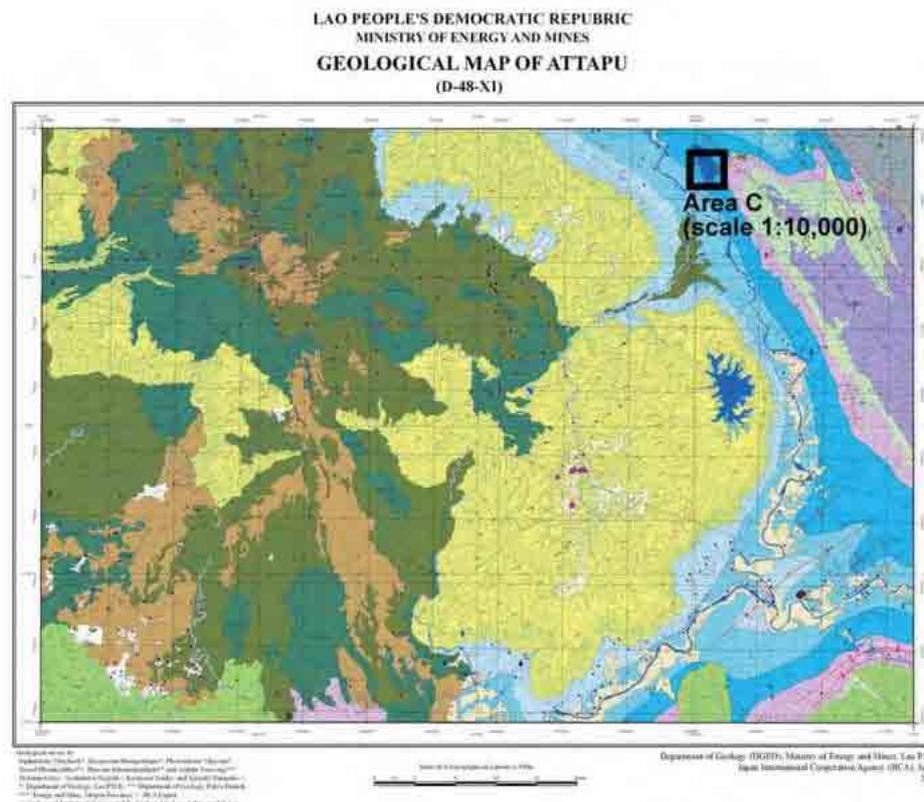


図 4.9.3 アタプ図幅の詳細地質調査地域位置図

4.9.1 A 地域

A 地域はアタプ市の東部約 50km の Ban May Phao Sauu Phanh 部落の南に位置する（東側：図 4.9.4～図 4.9.6、西側：図 4.9.7～図 4.9.9）。本地域はかつてのホーチミン・トレイル沿いに位置しており、地域北部を国道 18B が東西に通過する。A 地域の選定理由は、第 2 次および第 3 次における沢砂地化学探査により Au・Cu 異常が確認されたためである。

地域の大半は中生代～古生代と考えられる花崗岩類が占めるが、地域西部には泥質・砂質変成岩類および粘板岩が分布する。

花崗岩類は全体として北西—南東方向に伸長した形状を示し、中粒～粗粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩体、粗粒黒雲母-角閃石石英閃緑岩～閃緑岩岩体、細粒～中粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩～石英閃緑岩体の 3 つの岩体に分割される。このうち最も広範囲に分布する岩体は中粒～粗粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩であり、A 地域中央部の大半を占める。粗粒黒雲母-角閃石石英閃緑岩～閃緑岩岩体は地域の北東部に分布する。細粒～中粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩～石英閃緑岩体は、中粒～粗粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩体中に小規模に分布する。以上の花崗岩類のうち、中粒～粗粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩体と細粒～中粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩～石英閃緑岩体の一部にはマイロナイト化作用が認められる。

中粒～粗粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩体は全体に均質であるが、マイロナイト帯近傍で不均質・優黒質になる。岩相の肉眼的な特徴は、長柱状～くさび状を示す角閃石（ ϕ 2mm～5mm）を含有することである。角閃石はしばしば顕著な流理構造を示し、同構造は局所的にドーム状構造やベーズン状構造を示す。

粗粒黒雲母-角閃石石英閃緑岩～閃緑岩岩体は全体に不均質である。岩相の肉眼的な特徴は、長柱状～くさび状を示す角閃石（ ϕ 約 5mm）を含有すること、集斑状を示す黒雲母（ ϕ 約 8mm）を含有することである。一部の岩相は再結晶黒雲母が多量に形成されて片麻状・優黒質な岩相を示し、片麻岩・斑レイ岩様になる。このうち不均質な片麻状岩相はデイサイト質～花崗閃緑岩質岩を捕獲する場合があります、マグマ側に急冷周縁相が認められる。

細粒～中粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩～石英閃緑岩体は均質・ガラス質である。岩相の肉眼的な特徴は、密接に分布する中粒～粗粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩体に比べて細粒になること、粗粒な角閃石結晶を含まないこと、石英の量が少なくなることの 3 点である。

マイロナイト化した花崗岩類は細粒化し、石英や有色鉱物の定方向配列、shear-band や S-C structure の発達が認められる。マイロナイト化の幅は 10～20m 程度であり、マイロナイトの面構造に対して平行な片状構造が発達する。マイロナイト中の YZ 面は北西—南東～北北西—南南東方向に伸長し、この方向は付近の変成岩類中の片状構造の走向に対して同方向～斜交する。YZ 面の傾斜は 80° 前後を示し、傾斜方向は南西方向もしくは北東方向である。花崗岩マイロナイトの一部は石英片岩～白雲母石英片岩に漸移的に変化する。

変成岩類の伸長方向は花崗岩類と同様に北西—南東方向を示す。変成岩類は石英片岩、白雲母石英片岩、黒雲母片岩、白雲母片岩、粘板岩から構成される。変成岩類の東側は、花崗岩類のうちの中粒～粗粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩体中のマイロナイト化岩相と接する。このとき変成岩類側の岩相は、石英片岩相もしくは白雲母石英片岩相である。

変成岩類は、東側から西側へと石英片岩～白雲母石英片岩、黒雲母片岩、白雲母片岩、粘板岩へと漸移的に変化する、大局的には変成度が低くなる傾向が認められる。片状構造の走向は北西—南東方向を示し、傾斜は 80° 前後で南西もしくは北東方向を示す。黒雲母片岩と白雲母片岩は一部で互層状を示し、数 m オーダーの小褶曲を形成する場合がある。褶曲のプランジ方向は北西方向に 40° 前後である。

地域内に認められる主要な鉱徴は、花崗閃緑岩体内のマイロナイト帯中および片状花崗岩中の孔雀石鉱染、含孔雀石-黄銅鉱-黄鉄鉱石英脈、泥質片岩中の含黄鉄鉱石英脈である。いずれの分布も露頭で確認できたのは小規模であるが、鉱化は母岩中に発達する延性剪断・片状組織に調和しており、同剪断帯に関連する鉱化の連続性が期待される。母岩中の延性剪断・片状組織は北西—南東方向～北東—南西方向に伸長する。

本地域中央部には斑岩型銅鉱床に類似する鉱化作用 (W:5m~10m) が認められる。この鉱化は花崗閃緑岩類中に孔雀石および藍銅鉱の酸化銅鉱物の産出、黄銅鉱および斑銅鉱鉱染、セリサイト変質を伴う石英ストックワーク、黄鉄鉱・黄銅鉱鉱染石英脈 (W:1.5m) などが捕捉された。また、鉱化作用に伴う花崗閃緑岩類中の変質鉱物として、緑泥石、絹雲母、緑レン石などが認められ、変質帯としての広がり確認された。

鉱化の形成は、花崗閃緑岩体定置時の *insitu* な斑岩型銅鉱化作用の後、マイロナイト化〜カタクラサイト化を伴うレンチテクトニクスのもとで形成された可能性がある。

上記鉱徴のうち、花崗閃緑岩中のセリサイト変質および石英ストックワーク脈を伴う銅鉱化帯 2 地点については、鉱化帯の延長を捕捉するためのトレンチ調査を実施した。トレンチ調査では、スケッチを行なうとともに、鉱石試料および変質鉱物同定用試料の採取を行なった。

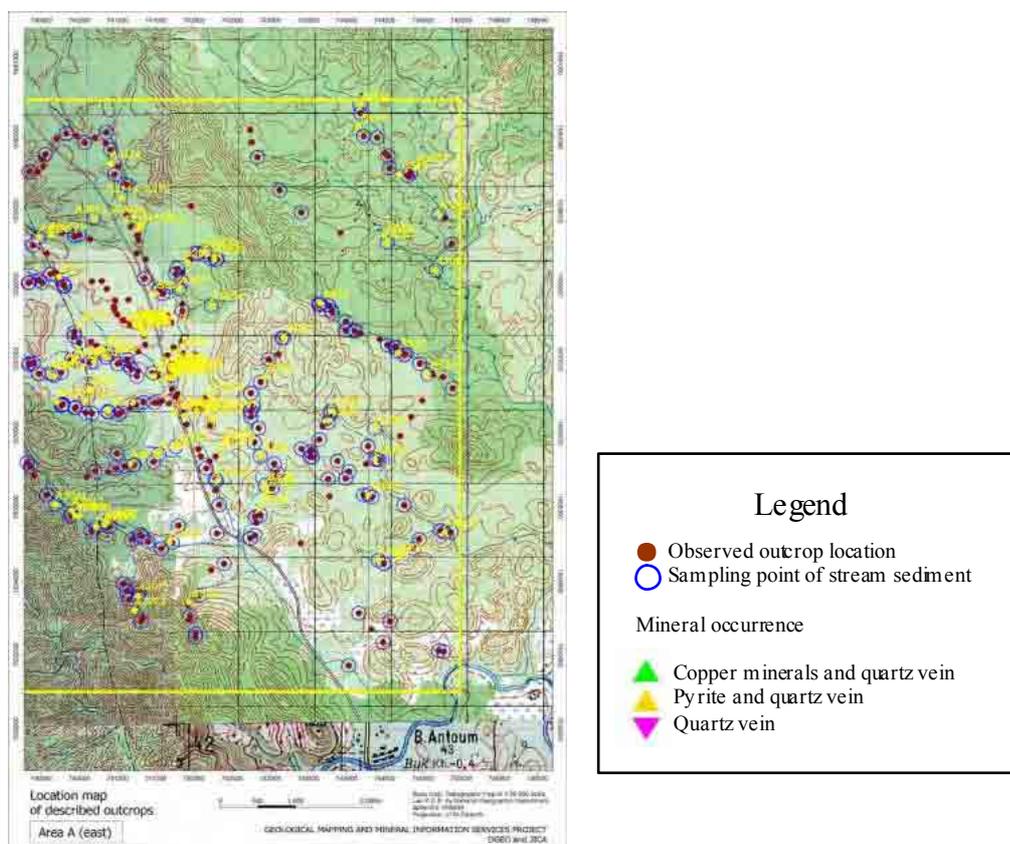


図 4.9.4 A 地域 (東) の観察露頭地点および沢砂採取地点

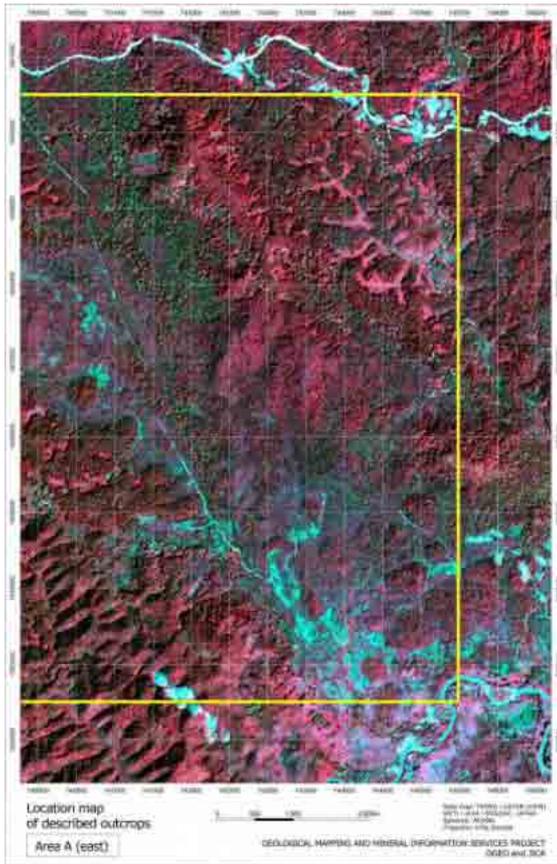


図 4.9.5 A地域（東）の ASTER画像

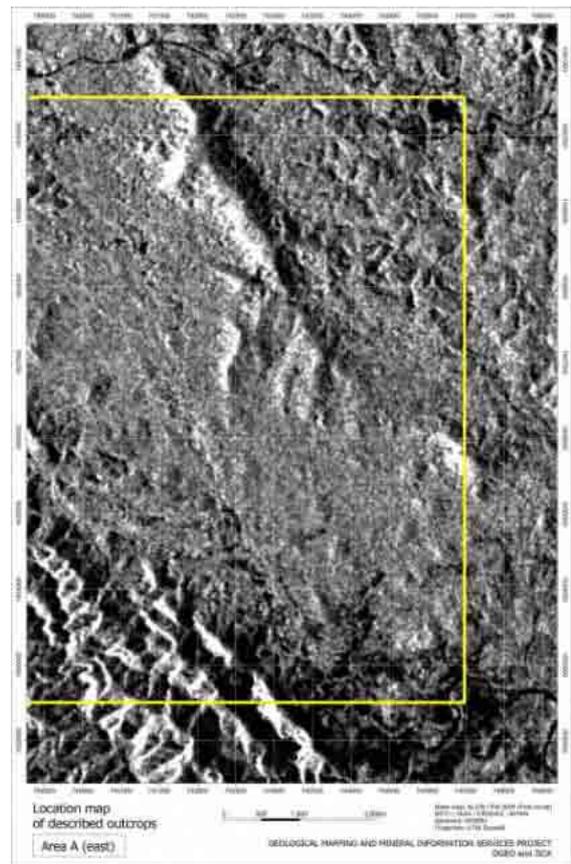


図 4.9.6 A地域（東）の PALSAR画像

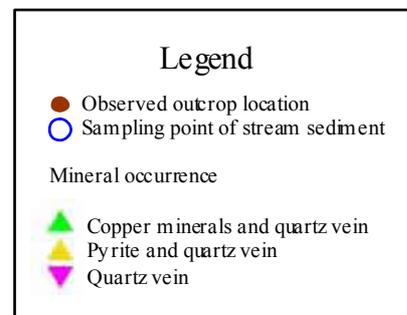
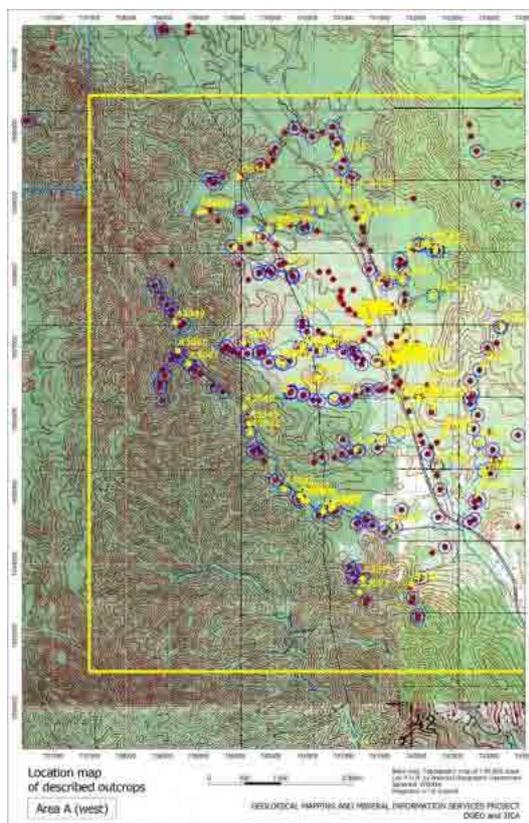


図 4.9.7 A地域（西）の観察露頭地点および沢砂採取地点

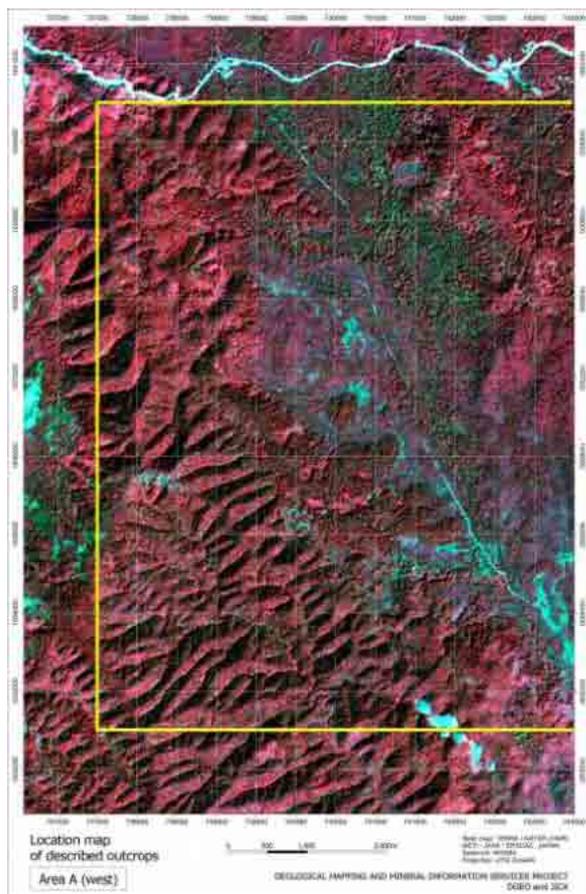


図 4.9.8 A地域（西）の ASTER 画像

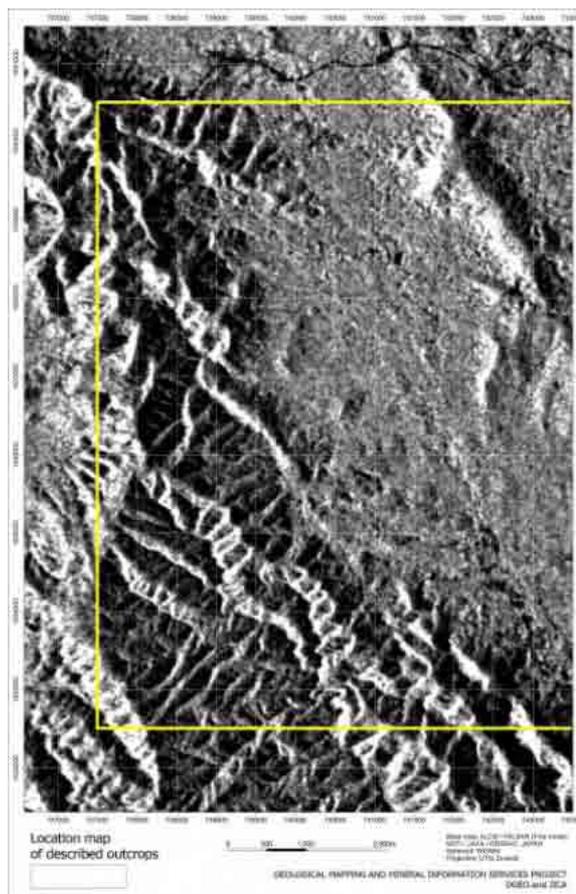


図 4.9.9 A地域（西）の PALSAR 画像

4.9.2 B 地域

B 地域は A 地域の東方約 25km に位置する（図 4.9.10、図 4.9.11、図 4.9.12）。地域の中央を国道 18B が北西～南東にかけて通過する。B 地域の選定理由は、第 2 次および第 3 次の地質調査により、脆性剪断およびオパール質石英細脈を伴う黄鉄鉱染浅熱水性変質帯が数箇所確認されたことから、付近に熱水性鉱化の存在が期待されることによる。

本地域の大半は古生界と考えられる粘板岩を主体とする弱変成岩類が分布し、地域西部には白雲母片岩を主体とする泥質片岩が分布する。

弱変成岩類のうち粘板岩は、地域中央において北北西～南南東方向に帯状に分布する。灰色～暗灰色を呈し、原岩である砂泥互層の層理構造が顕著に残存する。層理構造は粘板岩中に発達する劈開に対してほぼ平行である。走向は北西～南東方向を示し、高角傾斜である。粘板岩は、北西側に分布する泥質変成岩との境界付近において黒雲母片岩と互層する。

粘板岩中には微褶曲構造や小断層が顕著に認められる。小断層は北西～南東方向の走向を示し、北東方向に高角で傾斜する。小断層のスリップ・オフセット長は、数 cm である。

泥質片岩の主体は白雲母片岩および黒雲母片岩である。北北西～南南東方向に帯状に分布し、東側に分布する粘板岩の伸長方向に調和する。泥質片岩は粘板岩に対して漸移的に変化し、このうち黒雲母片岩は粘板岩との境界付近において粘板岩と互層する。

地域内の中央部には粘板岩内に脆性剪断帯が存在する。剪断帯は北西～南東方向～北～南方向に伸長し、剪断帯内に強黄鉄鉱染や石英ストックワーク脈が随所で認められる。国道 18B 沿いの剪断を伴う鉱化露頭の剪断帯の幅は 100m に達する。

地域内に認められる鉱徴は、上記の剪断帯内の含黄鉄鉱石英ストックワーク脈である。同種の鉱徴は、国道 18B 沿いや河床など数箇所確認されている。鉱化幅は 5m～50m 程度で

ある。鉱徴はいずれも脆性剪断に伴って産出しており、鉱化の形成は脆性剪断帯の形成との関連性が示唆される。

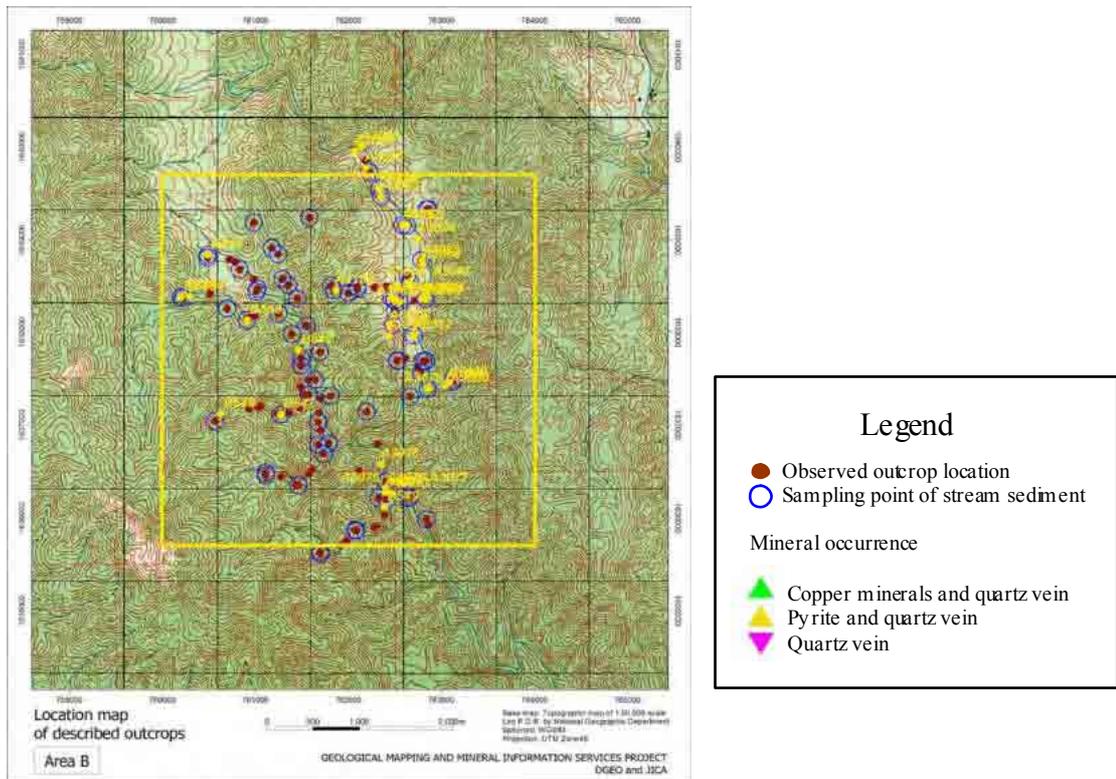


図 4.9.10 B地域の観察露頭地点および沢砂採取地点

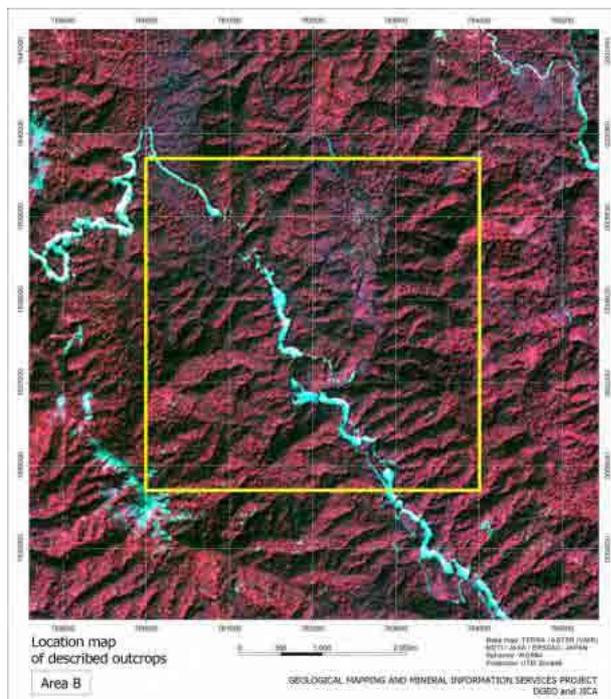


図 4.9.11 B地域の ASTER 画像

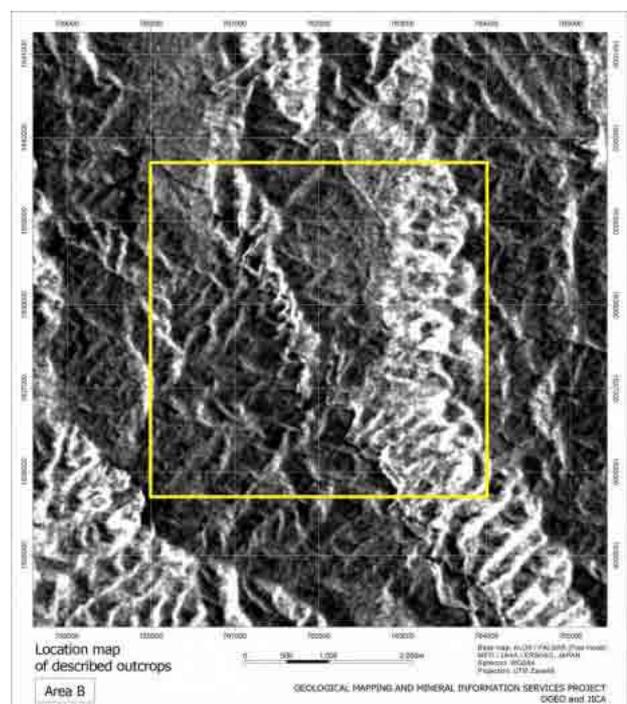


図 4.9.12 B地域の PALSAR 画像

4.9.3 C地域

C地域は Xe Kong 市の東部約 10km の Xe Kong 川左岸に位置する (図 4.9.13、図 4.9.14、図 4.9.15)。地域中央部を Xe Kong-Dakchung 線が東西に通過する。C地域の選定理由は、本地域に分布する二畳系-ジュラ系海性堆積岩中に胚胎する銅鉱徴を再評価するためである。

本地域には三畳系-ジュラ系砂岩が分布する。主岩相は極細粒砂岩および細粒砂岩であり、局所的に石灰質砂岩・頁岩互層および泥質石灰岩が存在する。極細粒砂岩は淡赤色～灰色を呈し、細粒砂岩は淡緑灰色～灰色を呈する。両者は数 m オーダーで互層し、両者の境界には層理面が発達する。地域内における層理面の走向は北西-南東方向、傾斜は 10° 前後で西傾斜である。砂岩中には時代未詳の貝化石を多量に含む層準が存在し、数 km にわたり追跡可能である。

石灰質砂岩・頁岩互層および泥質石灰岩は、含貝化石砂岩層の下位層準にあたる。灰色～暗灰色を呈し、堅固である。泥質石灰岩中には軟体動物の一部と思われる棘状の破片を含む。石灰質砂岩・頁岩互層中には層理が発達し、走向および傾斜ともに上記砂岩相と調和する。

地域は Xe Kong 川左岸の二畳系-三畳系をコアに持つ褶曲帯内に位置し、背斜構造の北西翼部にあたる。背斜軸は北西-南東方向に伸長し、北西方向にプランジする。翼部の傾斜は全体に緩やかであり、西翼で 10° 前後、東翼で 20° 前後である。本地域に分布する地層は、南北走向で、西に緩く傾斜する単斜構造を示す。

地域内に認められる鉱徴は、上記砂岩中に胚胎する藍銅鉱および孔雀石の産出である。これらは砂岩中に発達する小規模な不規則フラクチャー沿いに鉱染状に発達する。母岩に変質が認められないことから、鉱化タイプとして層準規制型および浅熱水型が考えられる。

確認された層準規制型銅鉱化作用は、貝類の化石を伴う石灰質砂岩を鉱化母岩とする。本砂岩は本地域の南縁から北縁まで約 4km 以上連続する。層厚は南部で 10cm、中部で約 2m、北部で 1.5m を示し、非常に連続性がよい。同層準中には主として孔雀石からなる酸化銅鉱物が伴われ、北部ではそのほかに藍銅鉱や黄銅鉱を伴う。また、赤色泥岩層中の淡灰色泥岩薄層中にはスポット的に孔雀石や藍銅鉱を含有する。

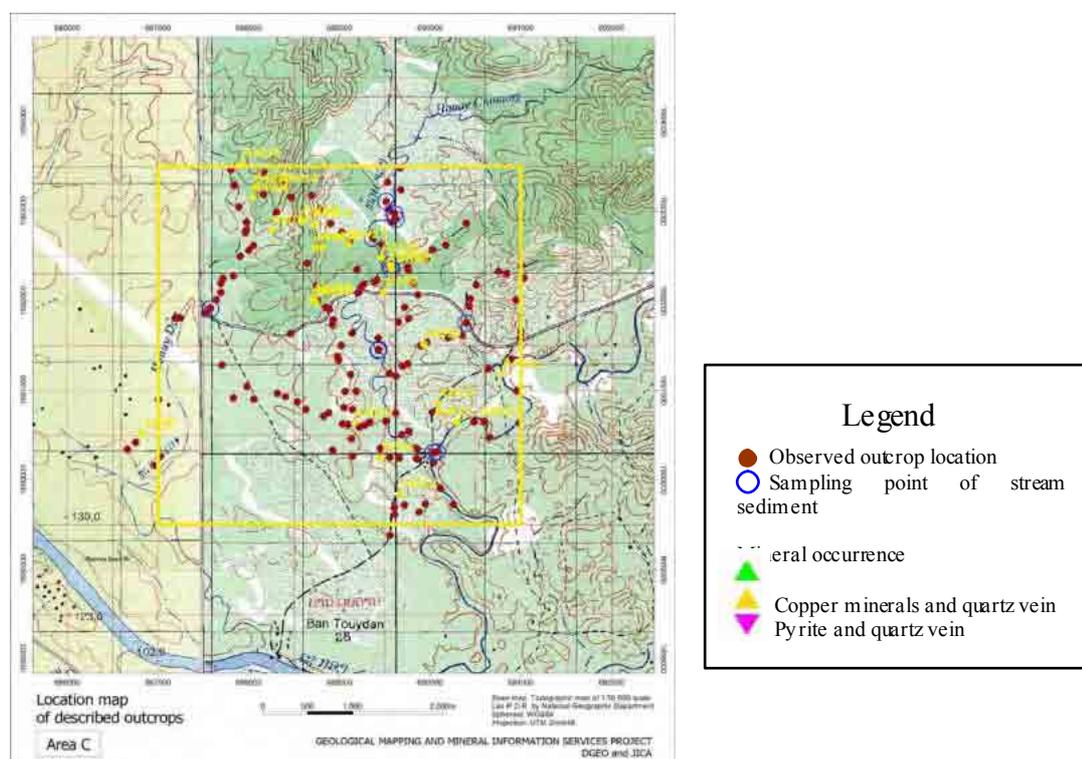


図 4.9.13 C地域の観察露頭地点および沢砂採取地点

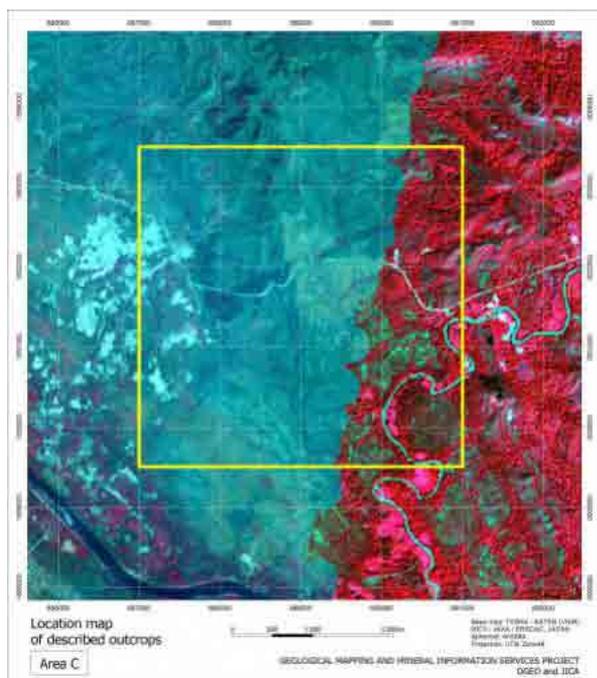


図 4.9.14 C地域の ASTER 画像

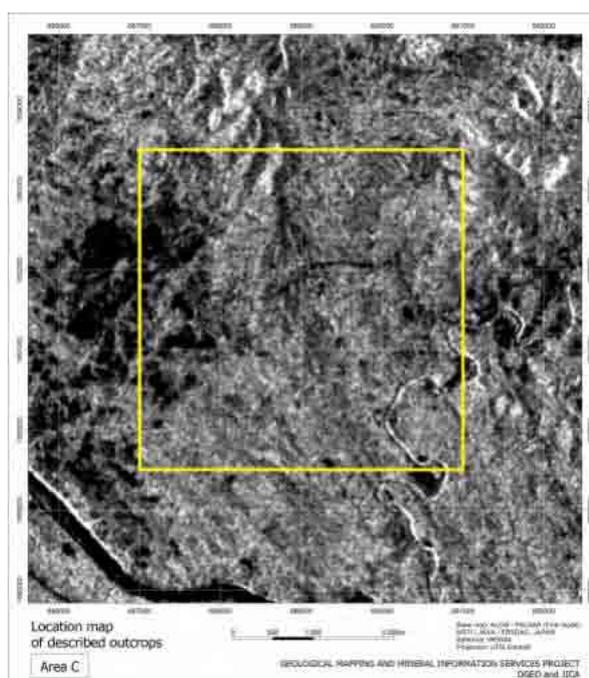


図 4.9.15 C地域の PALSAR 画像

4.9.4 D 地域

D 地域は A 地域の北西にあたり、アタプ市の東部約 50km の Ban May Phao Sauu Phanh 部落の北西に位置する（図 4.9.16、図 4.9.17、図 4.9.18）。地域中央部を国道 18B が東西に通過する。A 地域の選定理由は、第 2 次および第 3 次における沢砂地化学探査により Au・Cu 異常が確認されたためである。

地域北西部は中生代～古生代と考えられる花崗岩類が分布する。地域中央部～西部にかけては泥質・砂質変成岩類および粘板岩が分布する。南西部には礫岩および砂岩が分布し、変成岩類を不整合で被覆する。

花崗岩類は北西—南東方向に伸長した形態を示し、中粒～粗粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩体を主体にする。この岩体は、A 地域の花崗岩類の主要相である中粒～粗粒黒雲母-角閃石花崗閃緑岩体と同様であり、A 地域から D 地域へと連続している。本岩体は、A 地域の岩体と同様に長柱状～くさび状を示す角閃石（ ϕ 2mm～5mm）を含有する。角閃石はしばしば顕著な流理構造を示し、局所的にドーム状構造やバズン状構造を示す。また、A 地域と同様に岩体内の一部にはマイロナイト化作用が認められる。

マイロナイト化した花崗岩類は細粒化し、石英や有色鉱物の定方向配列、shear-band や S-C structure の発達が認められる。マイロナイト化の幅は 10～20m 程度であり、マイロナイトの面構造に対して平行な片状構造が発達する。マイロナイト中の YZ 面は北西—南東～北北西—南南東方向に伸長し、この方向は付近の変成岩類中の片状構造の走向に対して同方向～斜交する。YZ 面の傾斜は 80° 前後を示し、傾斜方向は南西方向もしくは北東方向である。

変成岩類の伸長方向は花崗岩類と同様に北西—南東方向を示す。変成岩類は石英片岩、白雲母石英片岩、黒雲母片岩、白雲母片岩、粘板岩から構成される。

変成岩類は、東側から西側へと石英片岩～白雲母石英片岩、黒雲母片岩、白雲母片岩、粘板岩へと漸移的に変化し、大局的には変成度が低くなる傾向が認められる。片状構造の走向は北西—南東方向を示し、傾斜は 80° 前後で南西もしくは北東方向を示す。黒雲母片岩と白雲母片岩は一部で互層状を示し、数 m オーダーの小褶曲を形成する場合がある。小褶曲を形成する場合、泥質石灰岩ブロック（1m～5m）を挟む。褶曲のプランジ方向は、A 地域の場合と同様に北西方向であり、プランジ角 45° 前後である。

礫岩および砂岩は変成岩類を不整合で被覆する。両岩相の走向は花崗岩類および変成岩類と同様に北西-南東方向を示し、傾斜は南西方向に $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ である。両岩相は、地域西側に広く広がる三畳系以降の堆積岩類の基底部にあたると考えられる。

本地域内に認められる主要な鉱徴は、花崗閃緑岩体内のマイロナイト帯中および片状花崗岩中の孔雀石鉱染、含孔雀石-藍銅鉱-黄銅鉱-黄鉄鉱石英脈である。鉱化は母岩中に発達する剪断組織に沿っているが、一部では塊状岩体内に鉱染しているものもある。そのため、花崗閃緑岩体内における鉱化の広がりが期待される。母岩中の剪断組織は北西-南東方向～北-南方向に伸長する。

新たに確認された鉱化作用として、地域北東部の花崗閃緑岩類中に孔雀石および藍銅鉱の酸化銅鉱物の産出および黄銅鉱鉱染が捕捉された。同鉱染帯の伸長方向は南北～北北西-南南東であり、基本的にはマイロナイト化花崗閃緑岩類のシェア（せん断）方向に調和的である。

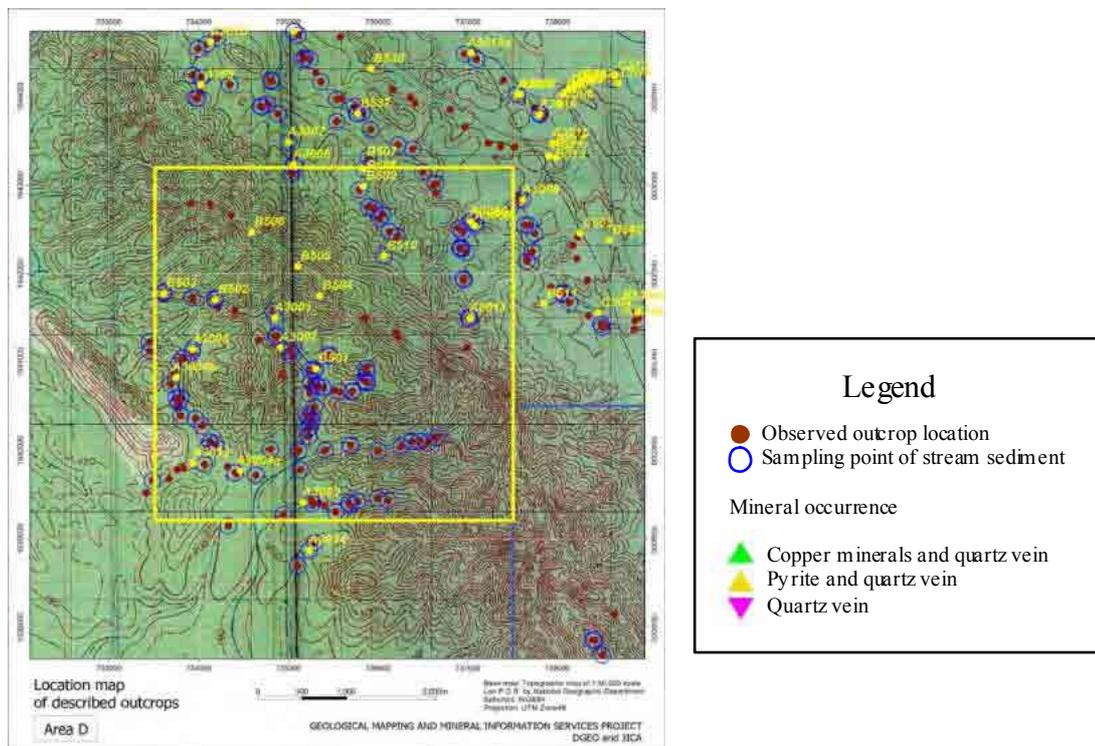


図 4.9.16 D 地域の観察露頭地点および沢砂採取地点

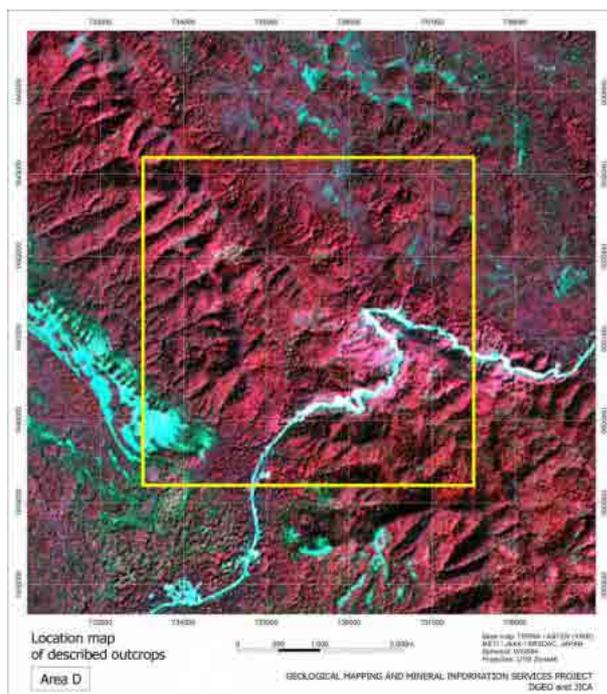


図 4.9.17 D地域の ASTER 画像

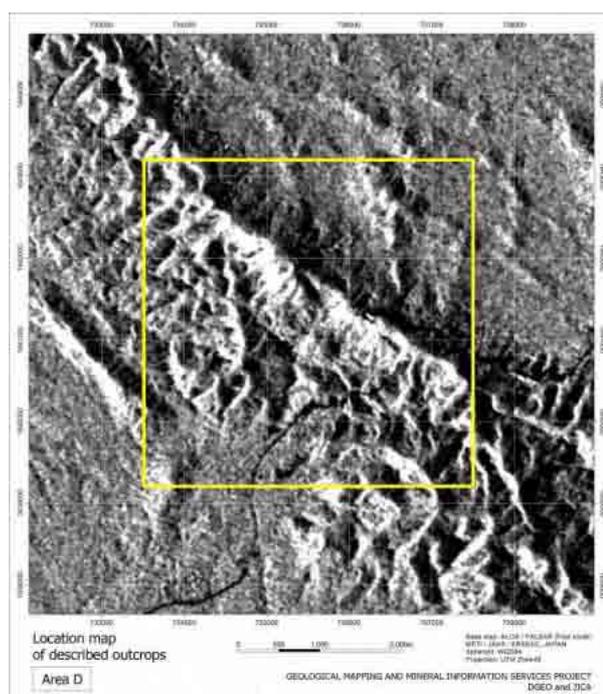


図 4.9.18 D地域の PALSAR 画像

4.10 総合検討

アタプ地域における地質調査では、2地域の1/20万地質図幅の作成、4地域の1/1万地質図の作成を行なった。アタプ地域の地質・鉱床情報は、本調査の開始前までは非常に限られたものであった。このうち比較的包括的なデータとしてあげられるのは、DGM (1990) による「GEOLOGICAL AND MINERAL OCCURRENCE MAP OF LAOS P.D.R, Scale 1:1,000,000」および Geological Survey of Vietnam (1991) による「GEOLOGICAL MAP OF CAMBODIA, LAOS AND VIETNAM, Scale 1:1,000,000」の2つであった。しかしこれらデータは小縮尺であり、アタプ地域における地質・鉱床形成の時空間的な考察や鉱物資源ポテンシャルの考察を行なうために十分なデータではなかった。加えて、地層の分布、鉱床の分布およびこれらの形成年代については不明な点が多かった。地層の形成年代は古生界～中生界堆積岩類から産出する海成～陸成示準化石により、一部の地層で推定されていたのみであった。火成岩類および鉱徴に関連する岩石類の年代値データは皆無であり、これら岩石類の形成時代は岩体と母岩との貫入関係や岩相の類似性によって判断されていた。

アタプ地域における地質調査は以上のような状況の中で行なわれ、1/20万地質・鉱物資源図および1/1万地質・鉱物資源図を作成する過程において、地域内の地質・地質構造、鉱物資源の分布・特徴・ポテンシャル、地質時代などが明らかになった。

本調査に基づくアタプ地域の地質および鉱床の総合検討結果を以下に記述する。

4.10.1 アタプ地域の地質

今回の調査により得られた地質層序関係、貫入関係、鉱徴データ、年代測定値に基づき作成された模式柱状図を図 4.10.1 に示す。

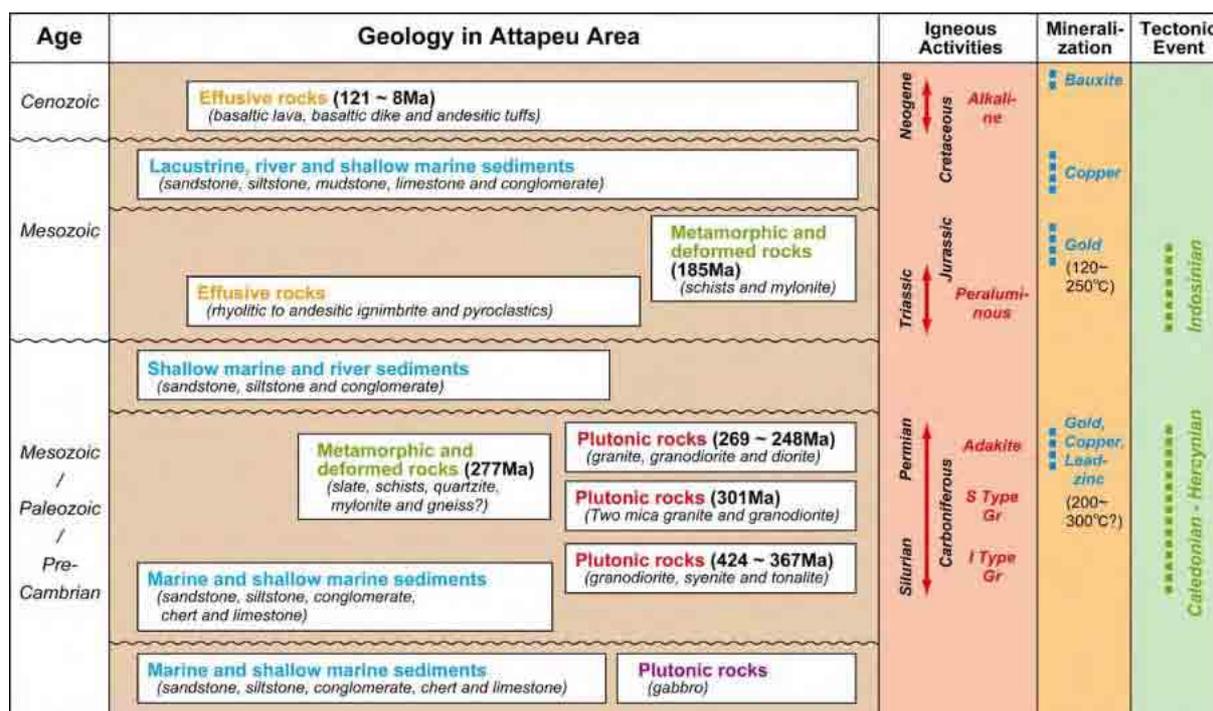


図 4.10.1 アタプ地域の模式柱状図 (後に修正: Ma表示にする、層序を変更する)

アタプ地域の地層形成、火成活動、構造運動の変遷は以下のとおりまとめられる。

- i) 先カンブリア紀：苦鉄質火成岩類の形成 (海洋性地殻の形成?)
- ii) カンブリア紀ーオルドビス紀：遠洋性～浅海性堆積物の形成
- iii) オルドビス紀ーシルル紀：遠洋性～浅海性堆積物の形成
- iv) シルル紀～デボン紀：Iタイプ～Aタイプ花崗岩類の貫入
- v) シルル紀～デボン紀：広域変成作用による変成岩類の形成 (カレドニア期)
- vi) デボン紀～石炭紀：遠洋性～浅海性、陸成堆積物の形成
- vii) デボン紀～石炭紀：構造運動 (バリスカン期)
- viii) 石炭紀：Sタイプ花崗岩類の貫入
- ix) 二畳紀：アダカイト質花崗岩類の貫入
- x) 二畳紀～三畳紀：浅海性～陸成堆積物の形成
- xi) 三畳紀：中性～酸性火山活動 (安山岩質～流紋岩質火山岩類の貫入・噴出)
- xii) 二畳紀～三畳紀：構造運動 (インドシナ期)
- xiii) ジュラ紀～白亜紀：浅海性～陸成堆積物の形成
- xiv) 白亜紀～第三紀：アルカリ質火山活動 (ランプロアイトの貫入・噴出)
- xv) 白亜紀～第四紀：アルカリ質火山活動 (玄武岩溶岩の噴出)

以上のうち堆積岩類の形成はカンブリア紀から継続している。形成環境は遠洋性～浅海性に始まり、デボン紀以降は一部陸成の環境に変化した。二畳紀以降の形成環境は浅海性～陸成に変化し、白亜紀以降は陸成環境に変化した。

火成岩類の活動は先カンブリア紀における苦鉄質岩類の形成、シルル紀～二畳紀における花崗岩類の貫入、三畳紀における中性～酸性火山岩類の貫入・噴出、白亜紀～第三紀にお

るアルカリ質岩類の貫入・噴出である。このうち、花崗岩類形成に伴う花崗岩質マグマの化学的性質は活動時期によって変化する。その化学的特徴の変化は次のとおりである。

- i) シルル紀 : Iタイプ花崗岩 (島弧)
- ii) デボン紀 : Iタイプ花崗岩 (島弧) ~ Aタイプ花崗岩 (島弧~プレート内)
- iii) 石炭紀 : Sタイプ・アダカイト質花崗岩 (島弧)
- iv) 二畳紀 : Iタイプ・アダカイト質花崗岩 (島弧)

変成岩類はシルル紀~デボン紀における広域変成作用により形成された。変成岩類の原岩はカンブリア紀~シルル紀海成堆積岩類と先カンブリア紀苦鉄質岩類であり、変成相の主体は緑色片岩相~パンペリー石アクチノ閃石片岩相である。デボン紀以降、堆積岩類中の変成鉱物や変成組織の形成は僅かである。そのため、広域変成作用の活動時期はシルル紀海成堆積岩類形成後で、デボン紀海成堆積岩類の形成前であると考えられる。

構造運動の時期はシルル紀~デボン紀、デボン紀~石炭紀および二畳紀~三畳紀の3時期に分かれており、これらの時期はカレドニア、バリスカンおよびインドシナ期にそれぞれ対応する。アタプ地域の現在の地表上に認められる各時期の構造運動の特徴は、次のようにまとめられる。

- i) シルル紀~デボン紀 (カレドニア)
 - : 緑色片岩相~パンペリー石アクチノ閃石片岩相変成岩類の出現
- ii) デボン紀~石炭紀 (バリスカン)
 - : パンペリー石アクチノ閃石片岩相変成岩類の出現
- iii) 二畳紀~三畳紀 (インドシナ)
 - : マイロナイト~カタクラサイト相の剪断帯の卓越

4.10.2 アタプ地域の鉱床

アタプ地域において認められる鉱物資源は、金属資源、非金属資源およびエネルギー資源の多岐にわたる。主要な鉱物資源は以下のとおりまとめられる。

- i) 金属資源
 - ー 金 (中熱水性、漂砂) : Vantat 地区
 - ー 銅 (ポーフィリーCu、堆積性層状) : Attapeu 東部および Xekong 東部
 - ー ボーキサイトおよびレアアース (風化残留) : Bolaven 台地
- ii) 非金属資源
 - ー 建材 (イグニンプライト) : Attapeu 東部
 - ー 長石 (斑状花崗岩) : Attapeu 東部
 - ー カオリン (流紋岩) : Attapeu 東部
 - ー ベントナイト (風化土壌) : Attapeu 市街周辺
 - ー 宝石 (ルビー、サファイア) : Nong Fa 湖地区
- iii) エネルギー資源
 - ー 石炭 (≒褐炭) : Dakchung 地区

これらの鉱物資源の分布位置を図 4.10.2 に示す。

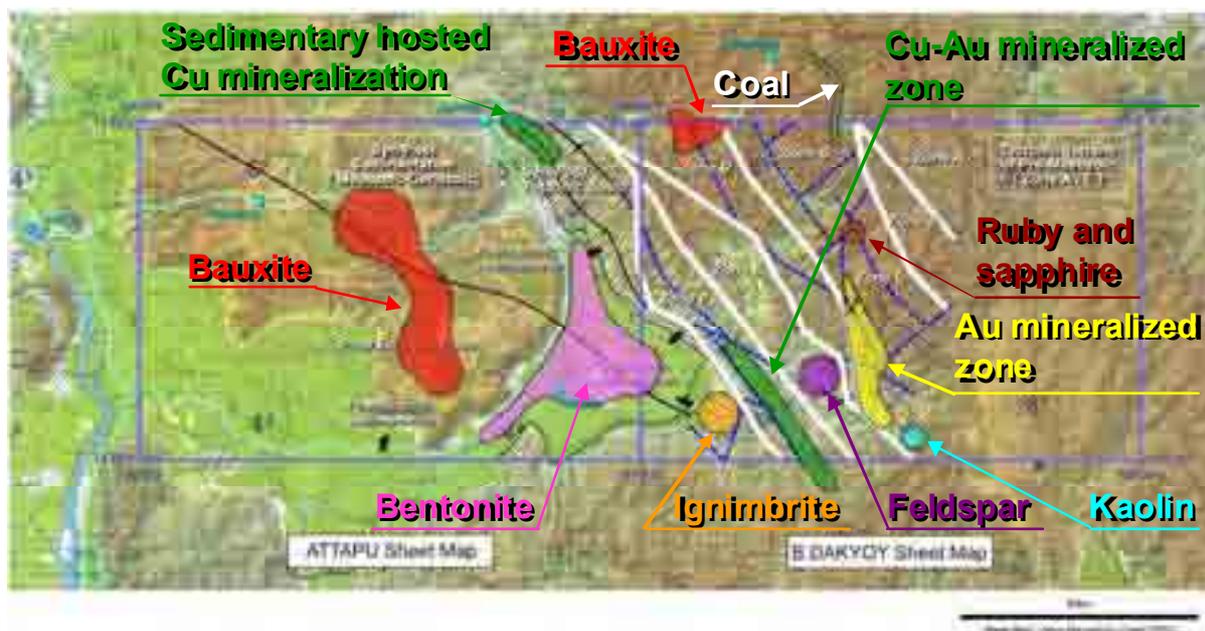


図 4.10.2 アタプ地域の主要鉱物資源分布位置

本調査により確認されたアタプ地域の主要鉱物資源のうち、鉱化の規模や連続性を考慮して経済的に有用と考えられる鉱床は次のとおりである。

- a) 金-銅鉱床（Vantat 地区）
- b) 銅-金鉱床（Attapeu 東部地区）
- c) ボーキサイト-REE 鉱床（Bolaven 台地）

上記の鉱床の分布位置を図 4.10.3 に示す。

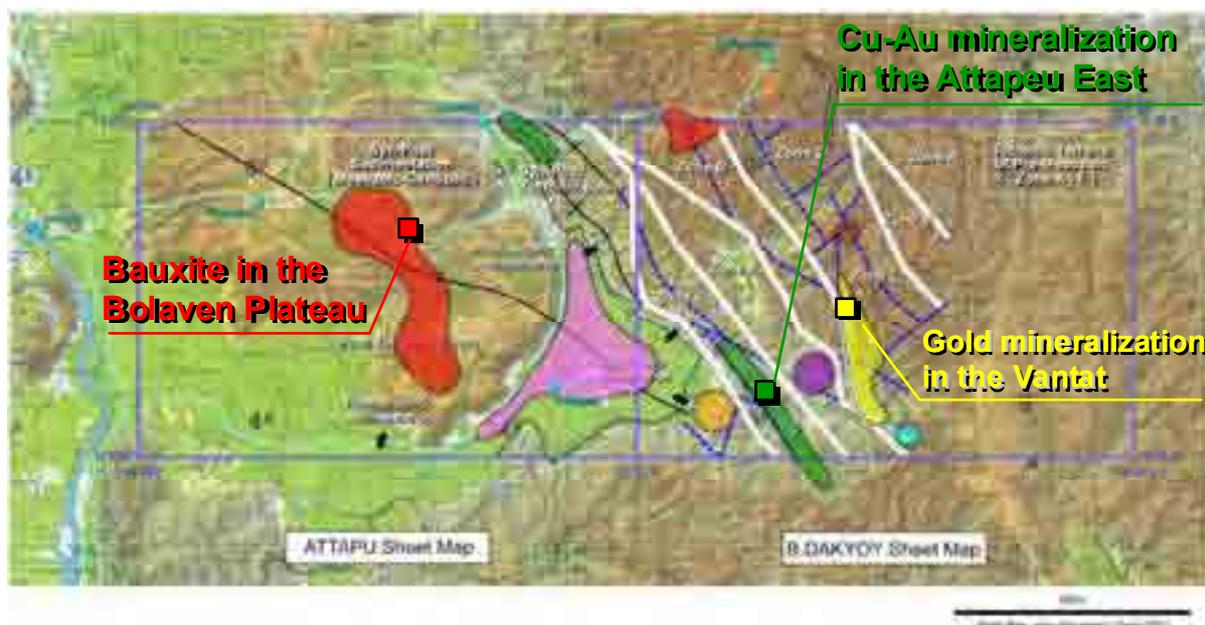


図 4.10.3 アタプ地域の主要鉱床分布位置

以上 3つの鉱床の鉱化の特徴について、以下に説明する。

1) Vantat 地区の金-銅鉱床

本鉱床はラオス国軍の保護区内に位置する。鉱床は現在ラオス国軍による金鉱山として開発され、2007年から金を出鉱している。

鉱床周辺の地質・鉱物資源図および鉱化モデル断面図を図 4.10.4 に示す。

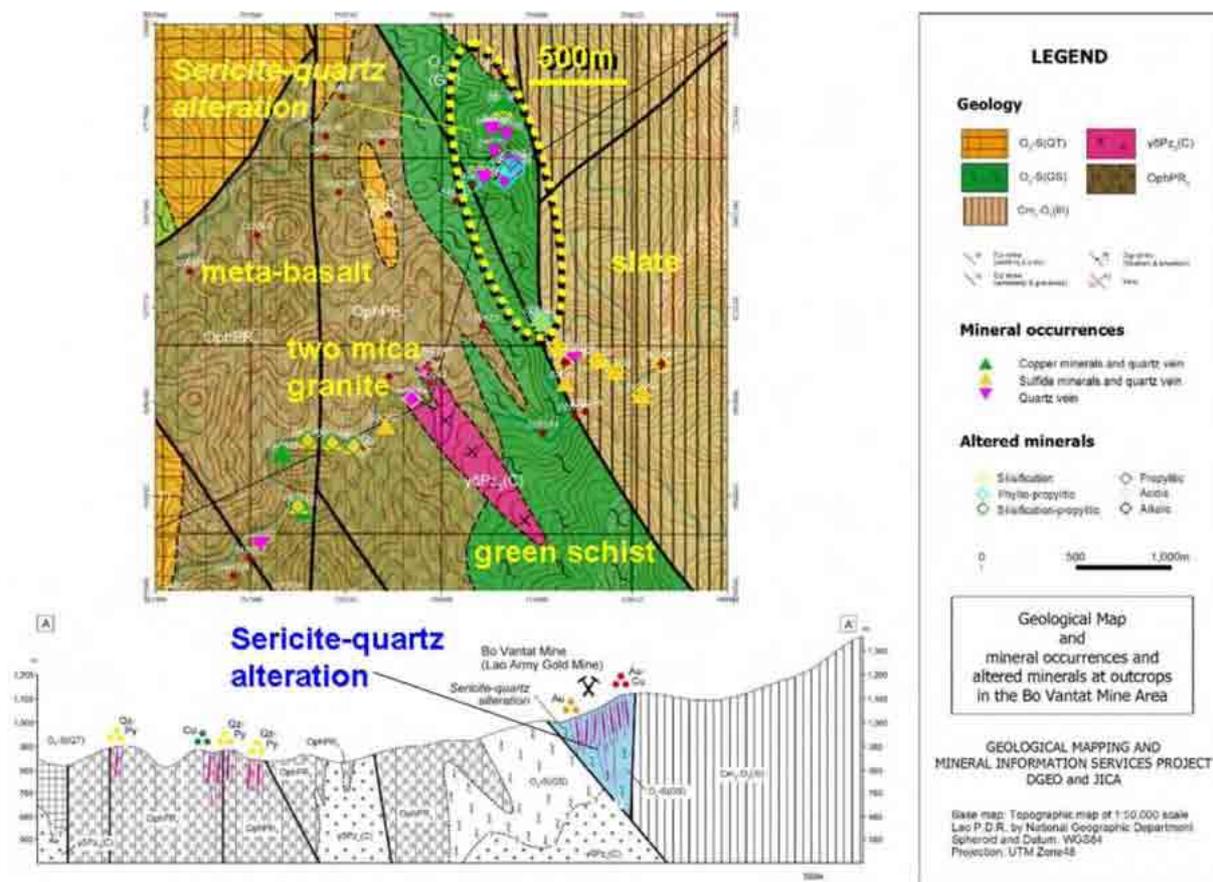


図 4.10.4 地質・鉱物資源図および鉱化モデル断面図（Vantat 地区）

鉱化タイプは、鉱化帯中の変質としてセリサイト-石英変質が卓越すること、石英脈中の流体含有物の均質化温度が 200C 前後であること、塩濃度が一般的な鉱脈タイプと類似すること、鉱化帯が剪断帯と密接であることから、低硫化系・造山タイプの中熱水性鉱床と考えられる。鉱床の特徴は表 4.10.1 のとおりまとめられる。

表 4.10.1 Vantat 地区の金-銅鉱床の特徴

		Vantat Area
Mineral	Ore	native gold and pyrite
	Gangue	quartz
Occurrences		vein, argillation and fracture filling
Alteration		sericite, chlorite and rutile
Host rock		chlorite schist, basalt and pelitic schist
Related rock		two-mica granite?
Ore grade		237ppm Au, 22.2ppm Ag, 1.64% Cu for an altered rock with quartz veinlets
Mineralization type		orogenic mesothermal

現在本鉱床は小規模な鉱山として操業中であるが、ボーリング調査などの精密探鉱が行なわれておらず、鉱床の形態などは把握されていない。また、鉱床周辺における探鉱も十分に行なわれていない。そのため今後は、開発中の鉱床内や鉱床周辺域における詳細地質・鉱床調査、地化学探査（沢砂、土壌）、物理探査（電気、磁気）、ボーリング調査などが必要である。これにより、既知鉱床の鉱量や鉱床周辺のポテンシャルが把握される。

2) Attapeu 東部地区の銅-金鉱床

本鉱床は今回の調査により発見された新鉱床である。鉱床はアタプ東部の国道 18B 沿いに位置し、現在建設中の Xe Kaman 第一ダム南部にあたる。

鉱床周辺の地質・鉱物資源図および鉱化モデル断面図を図 4.10.5 に示す。

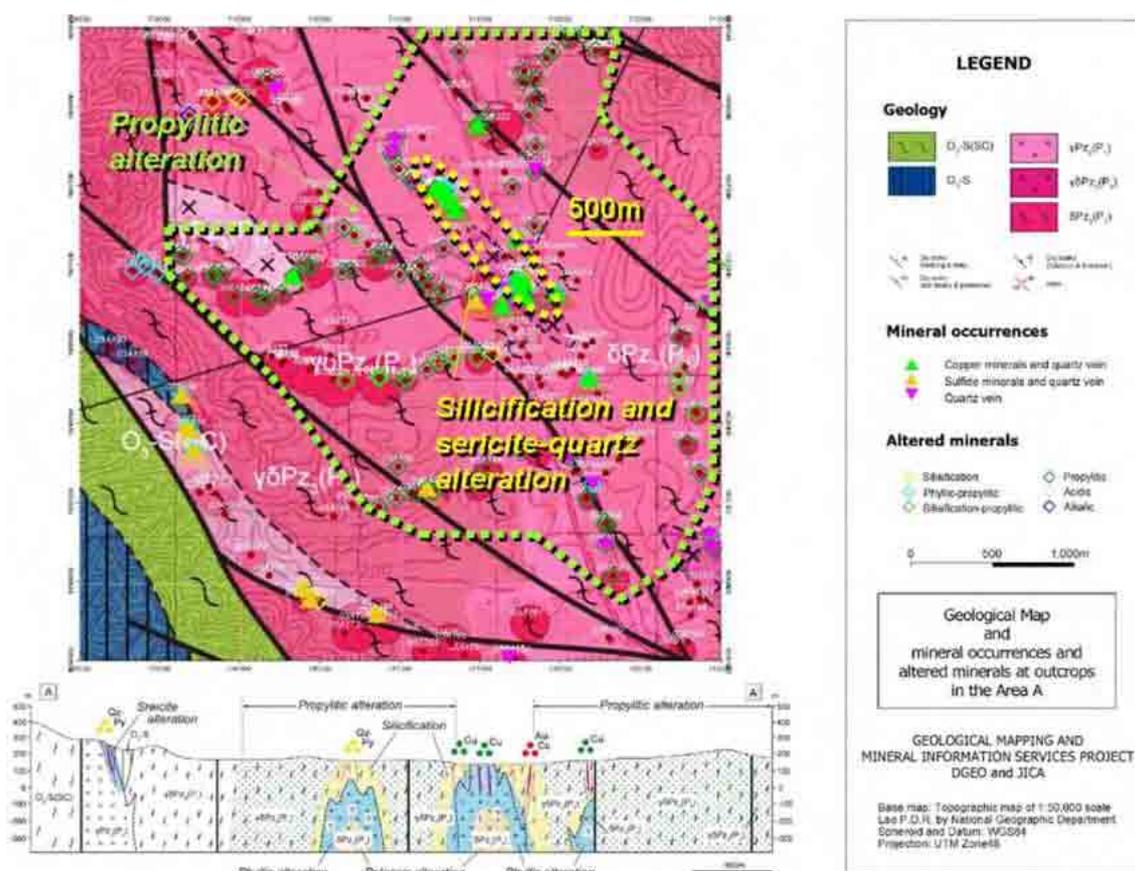


図 4.10.5 地質・鉱物資源図および鉱化モデル断面図（Attapeu 東部地区）

鉱化タイプは、Cu-Au 鉱化を取巻く母岩が緑泥石変質していること、Cu-Au 鉱化の顕著な地点がセリサイト-石英変質していること、セリサイト-石英変質内に珪化変質を伴うストックワーク石英が存在することなどから、ポーフイリーCuタイプである可能性が高い。

鉱床の特徴は表 4.10.2 のとおりまとめられる。

表 4.10.2 Attapeu 東部地区の銅一金鉱床の特徴

		Eastern part of Attapeu Area
Mineral	Ore	chalcopyrite, bornite, tenolite and pyrite
	Gangue	quartz
Occurrences		dissemination, vein and fracture filling
Alteration		sericite, chlorite, biotite and silicification
Host rock		granodiorite and tonalite
Related rock		mylonitic granodiorite and tonalite (adakite)
Ore grade		~ 6.55% Cu and ~ 6.9ppm Au for quartz veins, ~ 5.93% Cu for disseminated granodiorite
Mineralization type		porphyry Cu

本鉱床の経済的なポテンシャルは、Cu 鉱徴が地表上に広く認められることや、鉱徴中の Cu 品位や Au 品位が高いこと、鉱床タイプがポーフリーCu である可能性を考えると、非常に高いと考えられる。さらに、本調査と同時に行なわれた沢砂地化学探査により、Au や Cu の高濃度地点が鉱床周辺で抽出されたことや、衛星画像解析により複数の鉱床関連花崗岩体が抽出されたことから、鉱床の広がりも期待される。

鉱床に関する現在の情報は地表の鉱徴関連情報のみである。そのため本鉱床の開発可能性を検討するには、鉱床の地表および地下への広がりを確認するための詳細調査が今後必要である。実施する調査は、確認された鉱徴周辺の詳細地質・鉱床調査（踏査、トレンチ調査）、地化学探査（沢砂、グリッド土壌）、物理探査（IP、磁気）、ポーリング調査などである。これにより、本鉱床の規模や経済性が把握される。

3) Bolaven 台地のボーキサイトおよびレアアース鉱床

本鉱床は Bolaven 台地および Xe Kong 東部の台地上に賦存する。同地域においては、近年外国系企業によるボーキサイト鉱床の探鉱が活発化している。

鉱床のタイプは、アルカリ質玄武岩溶岩および砂岩の表層付近に生じた風化残留鉱床である。アルミおよびレアアース元素の起源はアルカリ質玄武岩であり、鉱床の形成は玄武岩の風化と侵食によるアルミおよびレアアース元素の濃集によると考えられる。

鉱床の形成モデル断面図を図 4.10.6 に、鉱床の特徴をとりまとめたものを表 4.10.3 に示す。

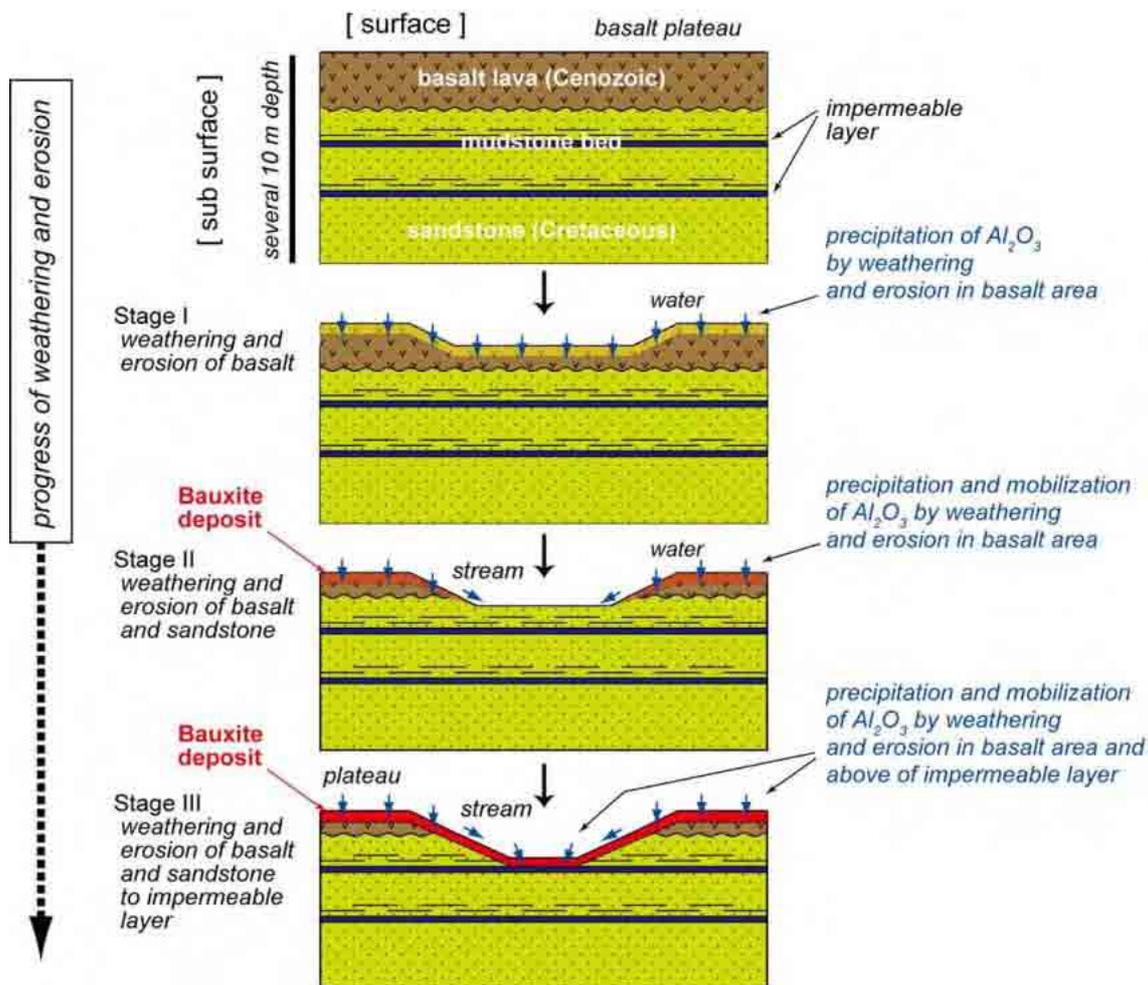


図 4.10.6 鋁床形成モデル断面図 (Bolaven 地区)

表 4.10.3 Bolaven 地区のボーキサイトおよびレアアース鋁床の特徴

		Bolaven Area
Mineral	Ore	gibbsite, goethite
	Gangue	opal
Occurrences		weathered soil near surface
Alteration		kaolin (weathering)
Host rock		basalt, sandstone
Related rock		alkali basalt
Ore grade		33.10% Al ₂ O ₃ , 37.90% Fe ₂ O ₃ , 939ppm REE for a bauxite.
Mineralization type		weathering residual near surface

地域内のラテライト土壌は広範囲に広がっている。そのため、ボーキサイト鋁床賦存ポテンシャルは高い。しかし、確認された地点におけるラテライト土壌中の Al₂O₃ 量は 30% 台である。そのため、一般に操業されているボーキサイト鋁床の Al₂O₃ 量が 40% を越えているのに比較すると、本地域の品位はやや低い。従って、本地域におけるボーキサイト探鋁では、

ラテライト土壌中の Al_2O_3 高濃集域を抽出することが重要である。そのためには、地域周辺の詳細地質調査に基づく Al_2O_3 濃集メカニズムの解明が必要である。

ラテライト土壌中に含まれる REE 含有量は 1000ppm 前後と高濃度である。特にラテライト土壌と母岩との境界部に発達する粘土化層の REE 含有量は 2500ppm を越える。最も高い濃度を示す REE は Ce、Nd、La であり、いずれも LREE である。そのため、賦存ポテンシャルに加え経済的なポテンシャルも高い。今後、詳細な地質・鉱床調査（踏査、トレンチ）やボーリング調査を行って、鉱量を把握する必要がある。課題はラテライト土壌からのレアアース元素の抽出方法である。抽出方法が容易であれば開発の可能性があると考えられる。