

ある。その他の地域の鉱床・鉱徴については、カラモアン半島について Miranda (1976) がある以外は、包括的記載はない。このうち、Frost (1959) は、Paracale の金鉱床区の南西部に位置する、ベースメタル鉱床・鉱徴地を、“Iron Belt”と“Base Metal Belt”に分け、これらの特徴を記述している。United Nations (1987) は、カマリネスノルテにおける BMG との協力調査の結果をまとめている。Mitchell and Leach (1991) は、フィリピンの浅熱水金鉱床の包括的記述をしており、カマリネスノルテ地域の金鉱床についても、United Nations (1987) をもとに詳しい記述を行っている。

以下に、カマリネスノルテ地域の金および銅鉱床・鉱徴地について略述する。なお、その他の地域およびその他の鉱種については、Phase I 報告書を参照されたい。

3.2.1 金

ビコール地域には、フィリピンでも主要な金鉱床区として知られる Paracale 金鉱床区が存在する。既存データの金鉱床・鉱徴地は、そのほとんどがカマリネスノルテの Paracale 地区に分布する。

カマリネスノルテの金鉱床・鉱徴区は、その分布域から次の3地区に分けることができる。

1. Jose Panganiban-Paracale 地区
2. Sta. Elena - Tabas 地区
3. Nalesbitan-Tuba 地区

このうち、1と2は、フィリピンにおいて歴史的に2番目の金生産地であり、過去に160t以上の金を生産している (Mitchell and Leach, 1991)。

Jose Panganiban -Paracale 地区

本地区は Paracale から Jose Panganiban を東西に結ぶ線のほぼ北側に位置し、白亜紀のオフィオライトシーケンスと考えられる超塩基性岩とそれを貫いて分布する Paracale 花崗閃緑岩が分布する地域である (Fig. I-3-1)。

本地区に分布する金鉱床の多くは、戦前に開発され、1950年代までに閉山したものが多く。その中で現在も操業しているのは、United Paragon 社の Longos 鉱山('94年生産実績: Au:2.37t; 金属鉱業事業団資源情報センター, 1977) のわずか一鉱山のみである。

本地区に分布する主な鉱山には、Longos 鉱山 (cn37), La Suerte 鉱山 (cn225), San Mauricio (Olegram) 鉱山 (cn230), Magna 鉱山および Paracale Gumaos 鉱山 (cn30) などがある。これらは、すべて鉱脈タイプであり、以下のような特徴をもつ。Mitchell and Leach (1991) は、これら全てを浅熱水性金鉱床としている。一方、Sillitoe et al. (1990) は、これらは、ポーフィリー型銅・金システムの周辺にしばしば観察される鉱脈型の金・ベースメタル鉱化作用と考えている。

母岩：Paracale 花崗閃緑岩 (Mitchell and Leach (1991)は、これを Paracale trondjemite と呼んでいる)

方向：脈は、N10° E 走向で急傾斜である。

分布：大部分は Paracale 花崗閃緑岩体の北側コンタクト (超塩基性岩との) に分布する。南側コンタクトにはほとんど分布しない。

形態特性：脈は花崗閃緑岩体の縁で厚く、鉱化も強くなる。

超塩基性岩に入ると数 m~数十 m で消滅する。

花崗閃緑岩体の内側に向かって脈幅は狭くなり、品位も下がり、“barren core”になる。

高品位部：脈の交差部と、主脈から枝分かれたした支脈

脈の特徴：2 種類の脈がある。

1. 緑色の石英脈：超塩基性岩とのコンタクト近くに分布

2. 白色の石英脈：こちらの方が多い。石英、石英-方解石脈。

微細結晶の石英細脈 (stringer), vug, 粗粒な閃亜鉛鉱・方鉛鉱のバンドなどが観察される。ベースメタルの含有量が高いことも特徴である。

鉱石鉱物：黄鉄鉱、磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱、黄銅鉱、斑銅鉱、コペリン、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、四面銅鉱

ベースメタル硫化鉱物が多いのが特徴で、Pb, Ag, Zn, Cu が回収された鉱山も多い。

微量の Mo, W もある。Pb, Zn のあわせた含有量は、0.5 - 1.0% である。

流体包有物均質化温度：San Mauricio (Olegram) 鉱山 (cn230) の脈のデータがあり、大部分は、220~300°C の温度範囲に入る。

他の特徴：脈は深部から浅部へ次のように変化する

深部：輪郭が明瞭な石英脈で母岩の変質帯は発達しない

浅部：細脈になり、母岩は珪化とセリサイト変質が発達する

金含有量も小さくなる

採掘は、深度約 300m 間で行われていた (深部では、水の流入があるため)

Sta. Elena - Tabas 地区

本地区は Larap 半島から Batobalani 付近をとおって Mt. Bagacay の北部に広がる地域で、前記の Paracale 地区に南に位置し、ほぼ Frost (1959) の "Base Metal Belt" および "Iron Belt" に一致する地域である。暁新世後期から始新世とされる Universal 層が分布し、これに Tamisan 閃緑岩 (中新世中期) とされる多くのストックが貫入する。また、鮮新世とされるデイサイト質ポーフイリーの 20 ほどの小岩体が、Universal 層に貫入している (United

Nations, 1987)。

本地区の金鉱床・鉱徴地は、Mitchell and Leach (1991)によって次の2種類に分けられている。

- 1) ベースメタルや鉄鉱床にともなう金鉱徴
- 2) 浅熱水性鉱脈鉱床

1) に属するものとして、以下の鉱床・鉱徴地を挙げている。

Matanlang ポーフイリー銅・モリブデン鉱床

本鉱床は、Au:0.4 g/tの金品位を持つことを Sillitoe and Gappe (1984)が記載している。後節(銅)にも記述する。

Submakin ベースメタル鉱徴地

硫化物鉱石は、Au:0.26 g/tの金品位をもつ

Penarco 磁鉄鉱・ベースメタル鉱床

スカルンを切る方解石脈に由来すると考えられる土壤に金異常が認められる。

Pinagbirayan Munti 磁鉄鉱鉱床

土壤地化探では、Au: 3.9ppm, Ag: 3ppmの異常値がある。岩石サンプルでは、Au: 0.3ppm, Ag: 0.2ppmである。Cuは350ppmを示した。

Tabas 鉱徴地

土壤や重砂中に金粒が認められる。これらの土壤は、磁鉄鉱鉱床の母岩となっているホルンフェルス化した泥岩や安山岩-閃緑岩角礫岩に由来する。

これらのポーフイリー銅およびベースメタル-鉄スカルン鉱床に伴う金は広くこの地区に産するが、経済的価値は低いとしている。

2) に属するものとして以下の鉱床・鉱徴地を挙げている。

すなわち、Paracale National, Paracale d'Oro Mine, Nico Mine, Exciban Mine および Santa Rosa Sur (Tidi)などである。

共通する特徴は、鉱脈型鉱床であり、黄鉄鉱の他、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、斑銅鉱、コベリンなどのベースメタル硫化物も多く伴うことである。また、流体包有物均質化温度もおおよそ250~270℃と比較的高い温度を示すものが多い。地質的には、始新世のUniversal層中に分布し、周辺には、中新世中期の閃緑岩あるいは鮮新世とされるデイサイトポーフイリーの小岩体が分布する。以下に主な鉱床について概説する。

Paracale National 鉱床は、北~北東走向をもつ二条の脈が主な鉱体であり、品位は6~9 g/t Auであった。鉱石鉱物は、黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、斑銅鉱、輝銅鉱、コベリンである。石英脈の流体包有物均質化温度255-270℃を示す。

二つの脈の間は、イライト-石英-黄鉄鉱変質帯が発達し、東に向かって緑れん石-緑泥石変質帯となる。スカルン鉱化作用を伴う

Exciban 鉱床の位置は、Sta. Elena-Tabas 地区の南西端にあり、母岩は中新世前期の

Bosigon 層の安山岩、シルト岩、凝灰岩である。これらが閃緑岩、デイサイト岩脈に貫かれる。最近、James and Fucks (1990)がボーリングデータをも記載している。鉍化作用は、北～北東方向の脈および剪断帯に認められる。脈は、塊状～cockscomb 石英脈で、方解石・ドロマイトを伴う。金は、黄鉄鉍に伴われる。3%までの黄銅鉍, bisumuth tellurides を伴う。深部では、輝水鉛鉍も観察される。硫化物中のコバルト含有量は 1000ppm である。James and Fucks (1990)は、鉍物組み合わせ、流体包有物均質化温度から、この鉍化作用は、マグマ成分の寄与が大きかったと考えた。さらに、コバルトを含むことから深部に塩基性岩があると推定している。

Santa Rosa Sur (Tidi) 鉍床は、Paracale National 鉍山の東 1km に位置する。1980年代には小規模採掘者によって採掘されていた。その後高品位部が発見され、Benget 社によって 1988 年に露天掘りが行われるようになった。

鉍化作用は、剪断帯および石英細脈に認められた。旧坑の方向から脈の方向は、東方向の走向を持つ。約 7m 幅の石英-イライト-黄鉄鉍変質帯中に、幅 2m の珪化帯が発達する。重晶石脈も観察される。重晶石の流体包有物均質化温度は、210～260°Cを示した。

Nalesbitan-Tuba 地区

本地区はカマリネスノルテとケソンとの州境付近に位置する。鮮新世の Macogon 層が分布し、その南西側には白亜紀後期とされる Tigbinan 層が分布する。United Nations (1987)は Mt. Tuba 付近に分布する Tuba 鉍山は、Tigbinan 層中に存在し、戦前のに金・銀の採掘が行われていたとしているが、既存文献に記載がなく、詳細は不明である。

Nalesbitan 鉍山については、Sillitoe et al. (1990)が詳しい記載を行っている。また、Mining Philippines '97 には最近実施された探査の概要が紹介されている。これらに基づき、以下に本鉍床の特徴を概説する。

位置：Bosigon 川の支流 Palali 川の上流にあり、標高 100～300m の北西方向に延びるリッジに存在する。

母岩：鉍床は、鮮新世の Macogon 層とされている角閃石安山岩および同質火山礫凝灰岩中に胚胎する。

鉍化作用：鉍化作用は北西方向の断層（これは左横ずれ断層）に規制される。鉍化作用は、地表に露出するリッジ頂部の標高 300m から標高 150m までの約 150m 間に分布する。鉍化帯は走向方向には 1.3km 連続し、幅は 145m～12m と変化する。鉍化作用は、北西-南東方向に雁行する二列の熱水角礫帯に存在する。これらは、玉髄質な珪化作用を受ける。この珪化した角礫帯は、浅部に向かって幅が広がり、深部に向かってはそれぞれ脈状に収束するように見える。珪化角礫帯には、また、カルセドニックな石英細脈も多数認められ、角礫化および脈活動も何回にも渡って起こったことが観察される。鉍化帯は深度 130m まで supergene による酸化を受けている。硫化鉍物が残っているとこ

ろでは、金は角礫帯のマトリックスや、脈中の銅を含む硫化物に伴って産する。ただし、初期ステージのカルセドニック石英-黄鉄鉱帯には銅および金鉱化はないようである。最も多く観察される硫化鉱物の組み合わせは、黄鉄鉱-輝銅鉱で、つぎに黄鉄鉱-斑銅鉱、黄鉄鉱-コベリンである。部分的に硫砒銅鉱が輝銅鉱や斑銅鉱に伴って産する。金・銀のテルル化物が硫砒銅鉱の離溶ラメラとして観察される。方鉛鉱や閃亜鉛鉱は見つからない。

均質化温度：United Nations (1987)によれば、石英の均質化温度は210-240°Cである。Sillitoe et al. (1990)は、223-225°Cを報告し、流体がトラップされた深度は、古地下水面下300-500mと推定した。

変質作用：珪化帯が、北西トレンドをもつレンズ状に産する。これは、熱水角礫化帯のほぼ中央に位置し、玉髄質シリカからなり、黄鉄鉱鉱染が認められる。珪化帯をとりまいて高度粘土化変質帯がある。石英-カオリナイト-明礬石の組み合わせが卓越する。微量のセリサイト、ダイアスポアを伴う。イライト帯が、上記の珪化帯と高度粘土化変質帯の周辺に分布する。イライト、スメクタイト、混合層粘土があり、さらに外側では緑泥石、方解石の組み合わせになる。

Sillitoe et al. (1990)は、本鉱化作用は、横ずれ断層系の中で生じた"dilational jog"に形成されたとし、金の沈澱のメカニズムとして沸騰を考えた。また、他の酸性硫酸塩型の金鉱床と比較して、銅硫化物が多いことおよびMo含有量が高いことから、本地域の深部にポーフィリー型銅・金鉱床が存在する可能性を示唆した。

なお、最近実施されたEl Dore Mining Corporationの探査プログラムの結果は概略次のとおりである。

- ・露天掘りの北東300m地点(Millsite/Singko Zone)に81 g/t Auという高品位の鉱床が見つかった。同鉱化帯は、走向方向に250m追うことができ、最大25mの幅がある。open pitの最初の鉱床とほぼ同方向である。
- ・この他にも、Bagong Trese, Tres, やBagong Doseに高品位鉱が見つかった。
- ・IPアノマリー(700m×400m)がBagong Dose(open pitの約800m南)の深部に見つかり、鉱染型硫化鉱が推定され、ポーフィリー型鉱床の可能性が期待されている。Bagong Doseの地表の小さな石英脈は、30 g/t Auの品位を持つ。

3.2.2 銅

銅の鉱床・鉱徴地は、カマリネスノルテのFrost (1959)の"Base Metal Belt"(前述)およびParacale地区に多く分布する。また、同州の西のSta. Elenaの東部にも幾つかの銅鉱徴地がまとまって分布する。

銅鉱床として有名なものに、カマリネスノルテのLarap 鉱床がある。本鉱床は、かつて

Larap 鉄鉱山として採掘された鉱床である。中部中新世閃緑岩～閃長岩斑岩質斑岩の貫入に伴って暁新世～始新世の Universal 層中の石灰岩を交代して形成されたスカルン中に胚胎する。鉱床は、磁鉄鉱-黄鉄鉱帯、黄銅鉱-輝水鉛鉱帯とこれらの帯に重なって金-石英-方解石脈がある。埋蔵鉱量約 1,700 万トン (Cu:0.42%, Mo:0.09%, Au:3g/t, Fe:22%) と報告されている (BMG, 1986)。

この他、ポーフイリー型鉱化作用と考えられている銅およびモリブデンの鉱徴については、Matanlanga, Meycauyan および Igang 鉱徴地がある。Matanlanga 鉱徴地は、Larap 鉱床の南東約 1.5km に位置する。Larap 火山岩類中に中新世中期の石英閃緑岩が貫入している。また、デイサイト質ポーフイリー岩脈が貫入している。Sillitoe and Gappe (1984) は、金に富むポーフイリー型銅・モリブデン鉱化作用であるとしている。鉱量：6500 万トン、品位 0.35%Cu, 0.05%Mo, 0.4g/t Au と報告されている。白色の石英脈はモリブデナイトを伴い、均質化温度は、300～360℃を示す (United Nations, 1987)。Meycauyan 鉱徴地は、Batobalani の西南西約 4.5km に位置する。United Nations (1987) の地表調査では、鉱化した閃緑岩が安山岩中に貫入しており、土壌の地化学異常は、Cu:250ppm, As:28ppm, Te:0.5ppm, Mo:63-208ppm を示した。石英細脈ストックワークが石英-セリサイト変質帯に発達する。鉱化作用は、低金品位のポーフイリー型銅・モリブデンシステムと考えられた。パイロフィライト-ダイアスポア-石英-明礬石からなる酸性変質帯も分布する。Igang 鉱徴地は、Batobalani の西約 7.5km に位置する。Philippine Iron Mine が、1974 年にボーリングを実施し、大理石化した石灰岩とスカルン帯に Cu:1.2%, Mo:0.05% という鉱化作用が確認された (United Nations, 1987)。

カマリネスノルテの Paracale 地区の南側には、鉄鉱床・鉱徴地が多く分布しており、これらの鉄鉱化に伴って銅が産出するものが多い。これらの鉄鉱床は、スカルン型の鉱床と考えられ、したがって銅も伴うものと思われる。この中で主なものは、前述した Larap 鉱床であり、この他、Dawahan-Penarco 鉱徴地、Capacuan 鉱床、Batobalaini 鉱徴地、Submakin 鉱徴地、Dagang 鉱徴地、Agusan 鉱床、Pinagbirayan 鉱床および Tagas 鉱徴地などがある。

第4章 総合解析

4-1 空中物理探査結果と現地調査結果の対比

空中物理探査結果と現地状況との対比から次のようになことが明らかとなった。

磁気異常

低磁気異常は、一般に、磁鉄鉱の含有率の少ない岩石（堆積岩など）、二次的に消磁化された場合と、火山岩が逆帯磁している場合に起る。また、磁気コンターが疎な“flat region”は、磁性の変化が弱い地域を示し、高磁気異常分布域および低磁気異常分布域の両方に存在する。これは、地形的にフラットな地域、あるいは二次的に消磁化された地域を示す。二次的消磁化は風化、熱水変質によっておこる。

空中物理探査を実施した Legazpi, Irosin, および Tiwi の 3 地域では、低磁気異常および“flat region”は、沢と平坦な地形に分布することが多い。沢部に分布する低磁気異常および“flat region”は、熱水変質および地すべりなどの崩壊堆積物を示すと考えられる。ただし、Gate Mountains 地域を含む Irosin 地域では、逆帯磁期の火山岩が分布することから、相対的に高い磁気レスポンス分布域にも変質帯が存在する。

消磁化された地域、すなわち変質帯の存在が予想される地域は、3 地域ともに、WNW 系および ENE 系の断層にそって分布することが多い。これらの断層が熱水の通路となったことを示唆する。また、これらの断層運動は、より広域的な応力場に対応したテクトニックモデルの中で、性格付けできる可能性がある。また、小さな独立した、円形に近い磁気異常域は、貫入岩プラグやストックを示唆し、これらも鉱化ポテンシャルをもつ地域として考えることができる。

放射能異常

一般に、放射能データのうち、カリウム高異常は、カリウムをより多く含む地質体を示す。したがって、低硫化系浅熱水鉱床のなかのアデュラリアが生じている熱水変質帯やボーフィリー型鉱床のカリウム変質帯などは、カリウム高異常域として抽出される可能性がある。

しかし、今回空中物理探査を実施した 3 地域は、厚い植生と土壌に覆われる地域が多く、得られたカリウムレスポンスは、必ずしも上記のようなカリウムをより多く含む地質体を示してはいない。

3 地域では、カリウム異常は、岩石が露出する（露頭あるいは転石として）沢の分布と良く一致する。また、同地域に分布する熱水変質岩のカリウム含有量は、未変質の火山岩母岩よりもむしろ低い。このことから、カリウム異常は、厚い植生と土壌に覆われる地域のなかで、より岩石が露出している場所を示すと考えられる。前述の磁気異常の項で述べたように、浅熱水変質帯は断層にそって分布することが多く、谷地形に露出することが多い。したがって、結果的にカリウム高異常域に、熱水変質帯が分布することが多くなると

考えられる。逆に、カリウム低異常は、植生や土壤に覆われた場所に対応し、結果的に、比較的勾配が緩やかな山岳や丘陵地を示す。

一方、トリウムはカリウムよりも地質を反映する。これは、トリウムが土壤と岩石でその存在量にあまり差がないことが予想される。

以上は、今回空中物理探査を実施した地域において解釈されたものであり、地質や地表条件が異なる場所では、当然異なる解釈が成り立ちうる。しかし、今回の地域と同じように若い火山岩が分布し、厚い植生と急峻な地形等により、アクセスが困難な地域では、空中物理探査は、その地質構造を明らかにするうえで、極めて有効な手段である。また、そこに分布する変質帯および鉱化作用の性質が把握される場合には、空中物理探査データから鉱化帯が存在するであろう有望な地域を抽出することが可能となる。

4-2 Bicol 地域の地質構造、鉱化作用の特性と鉱化規制

Bicol 地域は、地質分布から、北東帯、中央帯および南西帯の 3 帯に分けることができる。これらの 3 帯は、鉱床生成帯としても認識できる (Fig. II-3-5)。

中央帯とは、鮮新世から現世までの火山岩類が分布する地帯である。北東帯および南西帯は、中央帯を除いた地域で、オフィオライトシーケンスを含む白亜紀基盤岩類が分布し、これに第三紀の貫入岩が貫入する地域である。このうち、Bicol 地域の北東側分布域を北東帯と呼び、南西海岸沿いに分布する地帯を南西帯と呼ぶ。このうち、南西帯は、第三紀堆積岩類で覆われるため、その分布域は、断続的であり、狭い。

北東帯には、多くの鉱床・鉱徴地が分布する。これらは、その地質を反映し、本帯の鉱化作用は、大きくは超塩基性岩に由来するもの、緑色片岩・雲母片岩などの海洋地殻上層を構成した岩石に由来するもの、中新世のマグマ活動に起因するものに分類することができる。このうち、重要なものは、中新世のマグマ活動に関係する熱水性鉱床である。この熱水性鉱床には、ポーフィリー型鉱床、スカルン型鉱床、鉱脈型鉱床がある。鉱脈型鉱床の多くは、従来、浅熱水性鉱床とされてきた (Mitchell and Leach, 1991)。しかし、これらは、その産状、変質鉱物組み合わせ、鉱石鉱物組み合わせ、および流体包有物から推定される生成温度および深度は、典型的な浅熱水性鉱床よりも高く、深い。また、それらは、中新世貫入岩に密接に分布し、いわゆる中熱水性鉱脈型鉱床、あるいは低硫化系浅熱水性深部鉱床 (Sub-epithermal low sulfidation type deposits) である。

南西帯には、本帯には、幾つかの銅鉱徴地が知られる。銅に伴い金の鉱徴地も分布する。これらは、閃緑岩および安山岩中の石英脈に黄銅鉱および斑銅鉱が伴われるもの、あるいは安山岩中の剪断帯あるいは断層沿いに鉱化作用が認められるものである。鉱徴の規模が小さいこと、十分な調査がなく、データが乏しいことから、鉱化作用のタイプを特定することは難しい。しかし、これらの銅、金の鉱徴地付近には閃緑岩が分布することから、貫入岩関連のいわゆる中熱水性鉱脈型鉱床である可能性がある。

中央帯の北西端には、高硫化系浅熱水鉱床であるNalesbitan鉱床が分布する。また、Phase II調査によって、同じく北西端のKilbay地域に低硫化系の浅熱水性金鉱微地が分布することが明らかとなった。この他の中央帯に分布するWestern part of Bacon-Manito, Gate Mountains, および Northwestern part of Tiwi - Mt. Malinao地域には、浅熱水系の浅部現象が観察されるが、地化学異常レベルの金、銅の示徴が存在する程度である。

鉱化作用と地質構造との関係を見ると、北東帯の鉱脈型鉱床の多くは、NE系の断裂にコントロールされている。中央帯では、主にWNW-ESE系の左横ずれ断層が鉱化作用をコントロールしている。これらは、それぞれ中新世および鮮新世～更新世のテクトニックな枠組みの中で、形成されたものと考えられる。

4-3 3帯および各地域の地化学的特徴

Bicol地域に識別される3帯（前節）および各地域に分布する変質岩（石英脈も含む）の地化学的特徴を明らかにするために、Phase IおよびPhase II調査で採取した変質岩の分析データを各採取位置にプロットした図（Fig. II-3-7）およびヒストグラム（Appendix 23）を作成し検討した。その結果、つぎのようなことが明らかとなった。

北東帯には、上記で検討した多くの元素（Au, Ag, Bi, Cu, Co, Cr, Ni, Pb, およびZn）について最も高い濃度分布を示す。中央帯の各地域では、試料採取密度がほぼ等しいため、各地域の比較が可能である。Kilbay地域は、中央帯の中でAu, Ag, As, Cu, Ni, Pb, およびSbの濃集が最も高い。南西帯には、As, Bi, Cr, Cu, およびNiでやや高い傾向にあり、北東帯に似る。

上記に述べた各帯および各地域の地化学的特徴は、そこに分布する地質および鉱化作用の性質を反映している。また、言い換えれば、削剥レベルの違いを示しているとも考えられる。なお、8地域の地化学的特徴を、Table II-3-1に示す。

4-4 有望地域の選定

2年間の調査における有望地区選定のプロセスを簡略化したものを巻頭の有望地域選定フローに示す。有望地の選定には、鉱床賦存ポテンシャルおよび鉱区設定状況の二つを重視した。

鉱床賦存ポテンシャルの評価については、地質状況、鉱床・鉱微分布状況、分析値に基づいて行った。その際、鉱床そのものが発見されていない場合や、地表に露出してない場合でも、マグマ-熱水系概念モデルに照らし合わせ（Fig. II-2-18 および Fig. II-2-19）、周辺深部に、その存在が期待される場合には、高い評価を与えた。

鉱区設定状況については、鉱区設定がなされていないか、あるいは鉱区が設定されている場合でも、MPSAであれば、優先順位を高くした。FTAAの場合は、鉱床賦存ポテンシャルが高い場合でも、優先順位は低くした。

この結果、鉱床賦存ポテンシャルが高い地域として、Kilbay, Mt. Bagacay, および Larap-Exiban の 3 地域が選定された。このうち、Kilbay 地域およびその周辺地域が最も浅熱水金鉱床の賦存ポテンシャルが高く、また、鉱区設定および探査活動も希薄であることから、新規探査プロジェクト地域として最も有望とされた。Mt. Bagacay および Larap-Exiban 地域は、多数の MPSA 鉱区が設定あるいは申請されていること、探査が長年にわたって活発に行なわれていることから、優先順位は Kilbay 地域に比べやや下がる。

第5章 結論および提言

5-1 結 論

Bicol 地域は、その地質・鉱床の年代、分布および産状によって、次の3帯に区分することができ、これらは鉱床生成区として認識できる。

北東帯

中央帯

南西帯

Bicol 地域における2年間の広域調査の結果、鉱化ポテンシャルの高い地域として、次の3地域を抽出した。

Kilbay 地域

Mt. Bagacay 地域

Larap-Exiban 地域

Kilbay 地域は、鉱床生成帯の、中央帯に位置し、浅熱水性金鉱床賦存のポテンシャルが高い。また、鉱区設定および探査活動も希薄であることから、新規探査プロジェクト地域として最も有望と考えられる。Mt. Bagacay 地域および Larap-Exiban 地域は、鉱床生成帯のうち北東帯に位置し、ポーフィリー型金・銅鉱床、スカルン型鉱床および Sub-epithermal 鉱脈型鉱床の賦存ポテンシャルが高い地域として選定した。Mt. Bagacay 地域および Larap-Exiban 地域は、数多くの鉱区 (MPSA) の申請があり、長年探査されてきたことを考慮すると優先順位は、Kilbay 地域よりも下がる。しかし、地表は植生に覆われるため、岩石の露出が少ないこと、ポーフィリー型鉱床をターゲットとした深部の探査は、あまり実施されていないことから、まだ探査余地があると考えられる。

5-2 将来への提言

第II部第3章の有望地域選定の項で述べたように、有望地域として、Kilbay 地域を選定した。ただし、新規探査プロジェクトを考える場合、Phase II で調査した範囲のみではなく、Fig. III-2-1 に示す、Nalesbitan および Tuba 地域を含む北西側に拡大した地域での探査が望まれる (Kilbay - Nalesbitan - Tuba 地域と呼ぶ)。それは次のような理由による。

第1に、Phase II 地域で調査した Kilbay 地域の熱水活動中心の位置が特定できておらず、Susungdalaga 山地の北側にも金鉱化を伴う熱水変質帯が分布することが明らかとなり、その広がりを把握することによって、熱水活動の中心を明らかにすることが可能となる。

第2に、Kilbay 地域の北約10kmには、Nalesbitan 鉱床が分布する。これは、中央帯で、現在発見されている唯一の金鉱床である。本金鉱床は、高硫化系の浅熱水性鉱床であり、

WNW-ESE 方向の"dilational jog"に鉱化作用が生じている (Sillitoe et al., 1990)。したがって、この NW-SE 方向の断層沿いには、熱水性鉱床が存在する可能性がある。この Nalesbitan トレンドの SE 側延長は、Susungdalaga 山地の北側あるいは、Laho 川の水源地付近に伸びている可能性がある。

最近、Lepanto 金鉱床と Far South East (FSE) ポーフイリー型金・銅鉱床が同一のマグマ-熱水系の中で同時に形成されたことが明らかにされた (Arribas, 1995, Hedenquist et al., 1998)。これらは、NE-SW 系の Lepanto 断層にコントロールされている。Sillitoe et al. (1990) も指摘しているように、Lepanto-FSE 鉱床の類推から、Nalesbitan トレンドの延長上の深部にポーフイリー型鉱床が存在する可能性がある。また、最近になって、Lepanto-FSE 鉱床の近傍に、低硫化系浅熱水性金鉱床である Victoria 鉱床が発見された。Kilbay 地域から Nalesbitan に至る地域には、Victoria 鉱床に類似した低硫化系の金鉱床が存在する可能性もある。

第 3 には、Phase II で調査した Kilbay 地域のうち、Kilbay-Alawihaw 沢には、現在も 80℃ 近い温泉が湧出する。これらの温泉は、比較的高いシリカ濃度および塩濃度をもち、深部熱水が湧出していることが推定され、深部には 150℃ 程度の高温の熱水の存在が示唆される。したがって、この地区は、依然高温のため、金鉱床探査にあたっては不都合であることから、地下温度がより低い場所、すなわち、より北西側に拡大した地域を探査することが望ましい。

第 4 には、Tuba 地域には、鉱脈型の金鉱床が分布する。本金鉱床は、その地質セッティングから Paracale 地域に分布する鉱脈型の金鉱床と類似の成因および生成年代をもつと予想される。

調査方法としては、詳細な地表踏査が最も重要と考えられるが、同地域の広さおよびアクセスを考慮すると、同地域をまず、空中物理探査でカバーすることを提言する。本調査では、Kilbay 地域の現地調査を第 2 年次 (Phase II) に実施したために、空中物理探査対象地域として選定することができなかったが、第 II 部第 3 章で述べたとおり、磁気および放射能レスポンスは、それを詳細に解析することにより、地質分布、地質構造、変質帯分布を把握する上で極めて有効と考えられる。特に、ビコール地域のように厚い植生で覆われ、アクセスおよび治安の問題から、現地踏査が思うように実施できない地域では、空中物理探査は極めて有効な手段であると考えられる。

今回の調査では、中央帯では、WNW 系の左横ずれ断層、これに斜交する ENE~NE 系の断層により生み出される"dilational zone"が、熱水の通路として有望視されることが明らかとなった。したがって、空中物理探査の結果、このような"dilational zone"の発達が予想される箇所を抽出し、そこを中心に地表踏査を行う。Susungdalaga 火山岩類は、その K/Ar 年代から Gilbert chron (ギルバート・クロン) の活動と考えられるので、この時期の逆帯磁期に対応する火山岩が存在する可能性があり、磁気データの解析にあたっては、注意

を要する。

上記地域に比べ、優先度は下がるが、以下の地域も将来の探査プロジェクト地域候補として挙げるができる。以下の地域も Fig. III-2-1 に示す。

Larap - Mt. Bagacay 地域

Gate Mountains 地域

Northwestern part of Tiwi - Mt. Malinao 地域

Caramoan Peninsula 地域

Larap - Mt. Bagacay 地域は、Phase II 調査を実施した Larap-Exiban 地域および Mt. Bagacay 地域を含む地域である。これらの地域は、本調査によって、鉱床賦存ポテンシャルが高い地域として選定された。これらの地域は、多数の MPSA の鉱区設定および申請が行われていること、過去から探査が活発に行なわれており、地表浅部に新規鉱床を発見するチャンスは少ないと予想されるが、ポーフイリー型銅-金鉱床、鉱脈型金鉱床、およびこれらの二次的な産物としての漂砂型金鉱床などを、システムティックに探査する余地はあると考えられる。

本調査は、Gate Mountains 地域および Northwestern part of Tiwi-Mt. Malinao 地域において、熱水変質帯が広く分布することを初めて明らかにした。ただし、両地域の変質帯分布状況を全て明らかにできたわけではない。その意味で、これらの地域には、探査余地があると考えられる。

特に、Gate Mountains 地域には、近傍地域にボーリングデータは無く、変質帯深部状況を推定する根拠に乏しい。WNW-ESE 系の断層沿いにさらに変質帯が広がることが予想され、深部状況を推定するために、地質構造ボーリングが望まれる。

Northwestern part of Tiwi-Mt. Malinao 地域は、その中央から南西側にセリサイト/スメクタイト混合層粘土帯中に石英脈が分布する。同石英脈に金鉱化作用が認められないことから、その深部の金鉱床賦存ポテンシャルは低いとした。しかし、同地域の北東側には、広く蒸気加熱型酸性変質帯が存在することが明らかとなり、これらの深部のポテンシャルの評価は十分ではない。したがって、探査余地がある。

Caramoan Peninsula 地域では、Phase I 調査で、その西側の Siruma 半島および Tamban-Olas 地域を調査し、Phase II 調査で、Eastern part of Caramoan Peninsula 地域を調査した。Caramoan Peninsula 全体の鉱床賦存ポテンシャル評価を行うには、現時点では、データが不十分であるが、次のような観点から、本地域の鉱床賦存ポテンシャルは高いと思われる。Caramoan Peninsula の西側では、オフィオライト中に第三紀貫入岩が分布する。オフィオライトシーケンスに伴い、塊状硫化鉱床が賦存する可能性があり、これらが、さらに、第三紀貫入岩によって、再移動・濃集している可能性がある。特に Tamban-Olas 地域の地質セッティングは、Paracale 地域のそれと同じであり、Tamban-Olas 地域には、Paracale と同様の高品位の鉱脈型金鉱床が分布している可能性がある。Caramoan

Peninsula 全域には、緑色片岩および白雲母片岩に伴って、金-銅鉱微地が分布する。一部には、それらの岩石中の剪断帯に鉱微地が産する。したがって、剪断帯にともなういわゆる mesothermal lode type の鉱化作用が期待できる。ただし、Caramoan Peninsula は、ほぼ全域が、FTAA の申請がなされている。

第II部 各 論

第1章 空中物理探査

1-1 目的

空中磁気法および空中放射能法により、調査地域の磁性岩体および放射性岩体の分布を把握し、表層堆積物の下部の地質構造を解明するとともに、地質構造から鉱床の胚胎が期待される箇所を抽出する。

1-2 測定地域

既存資料解析、衛星画像解析、グランドトランスの結果を基に、以下の地域を空中物理探査（空中磁気探査・空中放射能探査）の対象地域として選定した。（Fig. I-1-2）

①Legaspi 地域（Bacon—Manito 西部地域）*

②Irosin 地域（Gate Mountains 地域）

③Tiwi 地域（Tiwi-Mt. Malinao 北西部地域）

*（ ）は、現地踏査地域名

各地域の緯度・経度は次のとおり。

①N13° 33':E123° 40'-N13° 26':E123° 40'-N13° 26':E123° 30'-N13° 33':E123° 30'

②N13° 10':E123° 56'-N13° 00':E123° 56'-N13° 00':E123° 49'-N13° 10':E123° 49'

③N12° 45':E124° 10'-N12° 30':E124° 10'-N12° 30':E123° 56'-N12° 45':E123° 56'

このうち、海の範囲は除く。

[選定理由]

Phase I の現地地表調査から有望地として抽出された地区のうち、次の選定基準から 3 地域を選んだ。

- 浅熱水性金鉱床が存在する可能性の高い地域を優先する。
- 鉱区設定状況から、FTAA が設定されていない地域を優先する。

鉱床賦存ポテンシャルという観点からは、カマリネスノルテ地域の既存鉱床地帯周辺も有望であるが、この地域は、上記の選定基準からは外れる。

各地区の範囲設定は、次のような観点に基づき行った。

①Legaspi 地域

- Phase I 現地踏査では、浅熱水系の浅部を示す変質帯が広く分布する事が明らかとなり、これらの深部に浅熱水性金鉱床が存在する可能性がある。
- 調査範囲の東端には、活地熱系が存在し、上記変質帯は、その西側のやや古い火山岩地帯に分布する。熱水は、西側の変質帯においても、現在と同系列の断裂を通路としてい

た可能性があり、空中磁気探査により、これらの断裂の解析が可能になれば、有望地をより絞り込む事が出来る。

- ・ ただし、Bacon-Manito 地域東側の新しい火山分布域は調査範囲から除いた。
- ・ 衛星画像解析では、NS 系、EW 系のリニアメントが交差密集する。

②Irosin 地域

- ・ 本地域には、鮮新世から更新世の比較的開析が進んだ火山体が分布し、グランドトルースにおいて、浅熱水系の浅い部分の変質帯が分布する事が明らかとなった。
- ・ 衛星画像解析では、NE 系と NW 系および NS 系のリニアメントが交差密集する。グランドトルースでは、比較的広い変質帯が、NW 系のリニアメントに沿って分布する事が明らかとなり、空中磁気探査により、断裂系と変質帯の関係がより明らかに出来ると考えられる。
- ・ 本地域は他に比べ比較的広いが、アクセスが悪く、既存データも少ない。従って、空中磁気探査によって情報量を増やすことにより、次年度より効率的な調査が可能になると考える。

③Tiwi 地域

- ・ Mt. Malinao の北西側は、地形的に開析が進む。これは、当該地域の地質体が Mt. Malinao よりも古いことを示唆し、熱水鉱床レベルまで削剥が進んでいる可能性がある。
- ・ Phase I では、Lake Buhi 東岸で、多くの珪化岩および石英脈の転石が認めらる。本地区に浅熱水性変質帯が広く分布することが推定でき、同タイプの鉱床が存在する可能性がある。
- ・ 衛星画像解析では、この範囲に、NE 系と NW 系のリニアメントが交差密集する。
- ・ Tiwi の活地熱系では、低硫化系の鉱化作用が地熱ボーリングで確認されていることから、本地区にも同様の鉱床が存在する可能性がある。
- ・ Phase I 現地踏査では、アクセスが悪く、変質帯の分布を十分把握することが出来なかった事と、既存データも少ない事から、空中磁気探査からこれらを明らかに出来る可能性がある。
- ・ 世銀がおこなった空中磁気（測線間隔約 2km、極磁気変換を行ってないデータ）でも、この地区に、小さな磁気異常があり、これを詳細に明らかにすることで、変質帯あるいは地熱系の広がり解析が可能である。

1-3 測定仕様

測定は、精度良いデータを取得するため、出来るだけ地上に近く、対地高度を一定にする必要がある。火山の多い半島部である当該地域の地形の起伏が激しい点を考慮し、ヘリコプターによる測定とすることとした。測定は空中磁気その他、3成分の空中放射能も測定する事とし、測線間隔 200m、対地高度 80m とした。測定仕様は以下の通りである。

測定仕様

飛行測線間隔：200m 飛行測線方向：南北
補助測線間隔：1000m 補助測線方向：東西
センサー高度：80m 磁力計サンプリング間隔：～5m
磁力計サイクル間隔：0.1秒 磁力計分解能：0.001nT
放射能サンプリング間隔：～50m 放射能サイクル間隔：1秒
GPS サイクル間隔：1秒

測定者

オーストラリア国の World Geoscience Co. Ltd. (WGC 社)に依頼した。ヘリコプターは、フィリピン国の Airspan 社を選定した。

測定機器および取得された一次データについては、Phase I 報告書参照。

1-4 解析データセット

取得した一次データから、以下に記すデータセットを作成し、解析を行った。

- 1) 全磁力図 (Total Magnetic Intensity: TMI) および極磁気変換図 (Total Magnetic Intensity Reduced to Pole: RTP) : カラー/グレースケール (Appendix 1)

全磁力図は、地球磁場の値を示し、地表付近から地下数 100m の磁力を感知する。

極磁気変換図は、磁気異常の中心を実際の磁気異常源の位置に補正したものである。

- 2) 全磁力図および極磁気変換図の鉛直方向一次微分イメージ (First Vertical Derivative of Total Magnetic Intensity Reduced to Pole: IVD) : カラー/グレースケール (Appendix 2) :

磁気異常変化の最も大きな部分を強調したもので、地質構造の解釈に役立つ。とくに、断層や岩相・磁性境界と一致したりニアメントの抽出に威力を発揮する。

- 3) 極磁気変換図の擬似深度スライスイメージ (Pseudo Depth Slicing: PDS) : (Appendix 3)

これは、磁気強度を周波数領域でフィルターをかけたものであり、各周波数領域が定性的に各深度に対応していると仮定して、深度別の磁気異常イメージを作成したものである。ただし、この処理には、幾つかの仮定があること、また、地表付近に高磁性の火山岩が分布する場合には、より深部からもたらされる低エネルギーの磁場をマスクするため、解釈に当たっては注意が必要である。

- 4) デジタル地形イメージ (Digital Terrain Model: DTM) : カラー (Appendix 4)

ヘリコプターの飛行時に得られた、レーダー高度計と GPS 高度情報との差から珪計算によって得られるイメージである。地形解像度は約 25m である。高解像度の地形情報がわずかな高低を示し、断層などの抽出に役立つ。

- 5) 三放射性元素イメージ (Radiometric Ternary; カリウム：赤、トリウム：緑、ウラ

ン：青) (Appendix 5)

複数の元素のカウント比をとると、トリウム/カリウム：黄，トリウム/ウラン：シアン，カリウム/ウラン：マゼンタという三色の組み合わせが得られる。したがって、この三色が均等に混ぜ合わさると白色となる。このような処理を施したイメージは、表層の化学組成などの特徴を良く表し、岩相境界や変質帯抽出に役立つ。

ただし、放射性元素データは、ほんの表層（地表から 10~100cm まで）の情報しかもたらさないことに注意しなければならない。空中放射能探査データは、この他、つぎのような要因で大きく変化するために、解析に当たっては注意を要する。

- ・ データ取得高度が高くなれば、放射能カウントは指数関数的に減少する。したがって、飛行高度を低くすることによって、全放射能カウントの値を大きく保つ事ができる。また、低空飛行は、センサーの視野を小さくするため、より高精度のデータを得ることを可能にする。
- ・ 飛行体のスピードが遅いほど、カウントレイトは正確になる。
- ・ 土壌がその下にある原岩から生成したものであれば、放射能カウントは原岩組成を示すが、河川等によって運ばれた土壌であれば、その下の岩石組成は反映されない。
- ・ 土壌は、一般に原岩にくらべ、カリウム、トリウム、ウランなどの放射性元素に乏しい。したがって、土壌が厚く堆積していると放射性元素レスポンスを弱める。

6) カリウムイメージ (Radiometric Potassium Counts; Clipped to Top 20%; Appendix 5; Radiometric Potassium Counts: Appendix 6)

放射性カリウム元素カウントの最高値から 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, および 45% で切り取った図を作成した。したがって、これらのイメージは、バックグラウンドノイズを除去でき、最も強い異常域を強調することができる。

7) SPOT イメージ (Appendix 7)

縮尺 1/50,000 のハードコピープリントを用いた。本調査で用いた SPOT イメージは、次のとおりである。

Legazpi 地域 : Path/row p310/324 : 1992 年 4 月 6 日取得

Irosin 地域 : Path/row p311/325 : 1997 年 2 月 22 日取得

Tiwi 地域 : Path/row p310/323 : 1995 年 3 月 26 日取得

縮尺 1/250,000 のモザイク画像には、上記 3 シーンを用いて行った。

SPOT イメージは、解像度が約 10m であるため、グレースケールのトーン変化、画像の肌合いの変化から、岩相変化および地質構造を抽出することが可能である。

1-5. 解析方法

解析方法については、3 地域とも同じである。

解析手法は、構造のビジュアル化と鉱化・変質作用を反映すると考えられる異常域の抽出（図化）を重視した。以下の要素は、空中物理探査データから岩相・構造を抽出する場合の着眼点を示す。

- ・ 地質構造要素の抽出：地質構造の情報は、磁氣的線構造として得られる。磁氣的線構造は、層理、溶岩の積層やこれらを切断する構造、すなわち、断層や断裂を示す。調査地域の地形解析と照合することによって、磁気データから、断層のセンス、すなわち、正断層、走向断層、スラストなどを識別できる可能性がある。
- ・ 磁性および放射性に基づく、岩相単位の抽出：基本的に、地質体は、その固有の磁性および放射性をもつことから、岩相単位を抽出することが可能である。ただし、磁性については、深部情報を掴んできているため、得られた特性が、地表の岩石情報とは異なる場合がある。
- ・ 孤立する円形に近い高磁気異常域の抽出：貫入プラグを反映している可能性がある。
- ・ ブロードな磁気勾配域の抽出：擬似深度スライスイメージを作成することにより、潜在的貫入岩体の抽出できる可能性がある。
- ・ 磁気異常の形が、円形に近く、磁気レスポンスが比較的強い場合は、火山センターに対比される場合が多い。
- ・ 磁気コンターが疎な、ブロードな低磁気帯（"magnetic flat region": Irvine and Smith(1990); 以下" flat region"と略す）は、磁鉄鉱の分解をともなう変質作用である場合が多い。

次に、放射能データによる解析を重ねあわせて行く。

- ・ 高いカリウム異常をもつ地域の抽出：高いカリウム異常をもつ地域は、変質帯の可能性はある。浅熱水性変質では、しばしばアデュラリアや明礬石などのカリウムを含有する鉱物が生成する。したがって、このような変質帯では、周囲にくらべ高いカリウム異常が生じる可能性がある。また、ポーフィリー型鉱床では、その中心にカリウム変質帯が形成されることが多い。ポーフィリー型鉱床のカリウム変質帯には、多くの場合、磁鉄鉱が伴われるため、放射性カリウム高異常とともに、高磁気異常が抽出されることが多い。

公表された地質図と空中物理探査データを対比することにより、異なる磁気レスポンスをもつ地域を岩相に割り当てた。公表されている 1:50,000 地質図と磁気レスポンスは比較的一致するが、矛盾するところもある。空中磁気データから得られる情報と、放射性元素分布データおよび SPOT データとは地域の大部分で、異なる。これは、後二者が、地表の情報であるのに対し、前者は深部の磁性体に対応した情報を示すことによる。

以上のデータを、SPOT イメージの上で重ねあわせた。SPOT イメージは、より正確に、断層や断裂の位置を示す。以下に示す手順は、SPOT イメージの上に重ねられた各情報から、岩相・構造を解析する際のものである。

- ・ 1:50,000 縮尺の地質図上で、適当な水系を描き出す。
- ・ 層理を、そのトレンドに忠実に描き出す。その走向および傾斜を抽出する。このことによって、岩相区分および岩相境界を決めることができ、広域的地質構造の把握が可能になる。
- ・ 主要な岩相・構造単位を描き出したのち、これらの単位を切断、変形、移動させている断層や断層を抽出する。岩相区分は、色、植生、組織、地形的特徴などの違いによって判断する。
- ・ 褶曲軸を層理のトレンドから描き出す。
- ・ 断層/断層/リニアメントのトレンドは、岩相・構造単位間の違いを反映する。
- ・ 以上の解釈図の上に、空中物理探査データを重ねあわせる。SPOT イメージからは不明瞭であった岩相境界および構造は、空中物理探査データから推定することが可能となる。この段階では、地質構造の動きの方向、例えば、逆断層や正断層などを推定することが可能となる。

以下に、3 地域の解析結果を示す。なお、下記の空中物理探査結果と、現地踏査結果との対比については、第3章総合解析で検討する。

1-6 Legaspi 地域 (Bacon-Manito 西部地域) 解析結果

前項のようにして解析した解析図を Fig.II-1-1 に示す。また、磁気特性および放射性元素特性から区分された岩相単位を図の凡例に示す。凡例の地質名は、PNOC レポート (Los Banos and Oliver, 1997) に基づいた。

1) 高カリウム異常

全放射性元素カウントイメージ、三成分放射性元素イメージおよびカリウム濃度異常域を、Appendix 5 に示す。Appendix 5 の放射性元素全カウントイメージにおいて、白色～赤色部分が、放射性元素の高濃度異常域を示す。放射性元素高濃度異常域は、カリウム濃度異常域との対比から、三元素のうちカリウム異常に因るところが大きいことがわかる。

カリウム高異常域のうち、断層あるいは断層を伴う地域が変質帯として有望な地域である。カリウムの高異常域は、概して、地域に分散しており、不連続である。しかしながら、地域中央には、WNW-ESE の方向性をもってカリウムの高異常域が配列している。これは、本地域に分布する主要な WNW-ESE の走向断層に沿っている (Fig.II-1-2)。より小さなカリウム高異常域は、地域の南部に観察される。これらの異常域は、二次的な NE-SW 系の構造に沿っているように見える (Fig.II-1-2)。

しかしながら、カリウム、トリウム、ウラニウムがほぼ等量含まれる異常域は、より広範囲に分散して分布しており (Appendix 5: Radiometric Ternary, Legaspi area)、これら

は、地質構造よりも分布する岩石にコントロールされていると考えられる。カリウムと鉛直方向一次微分イメージ (Appendix 2) とを重ねあわせてみると、カリウム高異常域は、低磁気異常および SPOT 画像から推定される広域的な地質構造に一致していることがわかる (Fig.II-1-2)。このことは、カリウム高異常域は、磁性体中の高放射性元素含有体を示しているものではないことを意味する。

2) 低磁気異常

低磁気レスポンス領域が、かなり広範に分布する (Fig.II-1-2)。これらの低磁気異常について、つぎのような原因を考えることができる：

- ・ 調査地域を横切るように分布する数多くの直線的な異常域は、断層と解釈される。主要な異常域が、地域中央に (例えば, 1444000mN, 595000mE), WNW-ESE 方向のトレンドをもって分布する。この構造に沿って、熱水が移動したことが低磁気異常の原因と考えられる。
- ・ 地域中央に分布する、狭いが連続的な低磁気異常域は、WNW-ESE 系の断層が NE-S 系の断層と交差するところでは、よりブロードになる (例えば, 1444000mN, 594800mE; 1444500mN, 600000mE など)。

このような地域は、流体の通路となり、熱水流体によって消磁化 (磁鉄鉱の分解) を被った可能性がある。異なる地域での、低磁気異常の原因は、地域ごとにチェックすることが望ましい。同じような磁気レスポンスに対して、異なる原因が考えられる。いずれにせよ、鉱化作用のポテンシャルが高い地域として、低磁気帯で、断層を伴う地域が優先的にフィールドチェックするべきである。

3) 地質構造と貫入岩体の推定

Fig.II-1-3 に示すような地質構造データが得られ、幾つかの貫入岩体が推定された。SPOT イメージと空中物理探査データから、本地域には、広く断層や断裂が分布することが明らかとなった。既存データとの対比から、広域的な左横ずれ断層とより小規模な左横ずれ断層の抽出が可能となった。

SPOT イメージ (Appendix 7) およびデジタル地形イメージ (Appendix 4) から、多数のリニアメントを読み取ることができる。これらの線状構造は、直線的な水系に従う事が多い。また、これらの線状構造は、磁気異常が途切れやズレと一致している。

鉛直方向一次微分イメージ (Appendix 2) は、多くの地質構造データを提供する。また、疑似深度スライスイメージ (Appendix 3) を作成し、構造的な解釈の一助とした。

二つの主要な断層が、WNW-ESE および NE-SW の方向に存在する。これらの断層に沿う相対的な移動から、WNW-ESE 系断層は、時代的に最も古く、より若い NE-SW 系断層によってずれている。“主要” WNW-ESE 断層は、鉛直方向一次微分イメージ (Appendix 2) の磁気分布を 1444500mN, 592000mE において、左横ずれをもたらしている。磁氣的構造単位の見かけ上の相対的時代から、この“主要”断層は、NE 側が落ちる正断層で切

られている。二つの大きな派生断層が 1444000mN, 595000mE および 1443500mN, 600000mE で枝別れしている。地表付近の火山岩分布域が、NE-SW の構造によって途切れている。この NE-SW 構造は、正断層であり、NW 側が落ちていると推定される。このことについて、次の二つの解釈が可能である。一つは、(a)正断層は高磁性をもつ火山岩の活動より前に生じた。このため、火山岩分布が断層によってコントロールされ、見かけ上途切れたように見えると考えるもの。もう一つは、(b)正断層は、高い磁性をもつ火山岩が堆積した後に生じ、相対的に高い方のブロックが選択的に浸食されたと考えるものである。解析結果は、(a)の可能性を支持する。

上記の断層の幾何学的解析結果をさらに発展させるために、全磁力イメージ(極磁気変換)(Appendix 1)およびその鉛直方向一次微分イメージ (Appendix 2) を用いた。両者ともに、カラーおよびグレイスケールイメージを用いた。断層や断裂に関する別な情報源として、SPOT イメージ (Appendix 7) を用い、これと鉛直方向一次微分イメージ (Appendix 2) の対比を行った。

深部では、全体としては単純な構造が伺えるが、浅部の詳細な構造は、複雑化する。すなわち、浅部では、主要断層は、単純な一本の断層ではなく、ある幅を持った断層帯が発達していることが明らかである。このことは、深度が浅くなるにつれ、封圧の減少のためにスプレイ (splay) が増加すると解釈することができる。

より小さな断層は、かなり無秩序に配列しているように見える。しかし、主要断層が走向断層であることを考慮することによって、これらの小断層を、特定の走向方向でグルーピングできる。さらに、これらの断層を歪みモデルでその発達を説明することも可能である。

次の3つの地域に、放射状の形状から貫入岩体が推定できる。

- Lismore Dome (1441000mN, 593000mE); 放射状、高磁気特性をもつ。しかし、疑似スライスからは貫入岩を支持するデータは得られない。本推定貫入岩体は、PNOC が実施した比抵抗測定で、比較的低い比抵抗域と重なる (Los Banos and Oliver, 1997)。しかしながら、本異常域は、断層によって境されることから、断層沿いに風化が進行することによって、新鮮な岩体がドーム状に取り残されたものと考えられる。
- Eastern boundary (1444000mN, 601000mE); 中程度から高磁気異常域が、不明瞭な円形として検出される。しかし、擬似深度スライスイメージでは深部でより明瞭な円形として確認できる (Appendix 3)。しかしながら、深部で得られるこの特徴は、貫入岩体よりもむしろ埋没した高磁性の溶岩である可能性が高い。構造的な情報からは、NW 系の主要断層が本磁性体を変形している。
- Central area (1447000mN, 597500mE); 半円形の磁気レスポンス、円形状の地形、および三成分の放射性元素の濃集によって特徴づけられる。周辺の地質構造は、本異常域の周りで曲げられているように見える。これは、深部に堅固な岩体が存在するためと解

積できる。

断層は、火山岩の分布範囲をコントロールしているように見える。火山中心は、少なくとも部分的に断層にコントロールされている。断層によるズレの分析から、dilation zone が形成される可能性のある場所を抽出することができる。低磁気異常域はシャープな境界をもつ。これはおそらく流体の通路となった断層を反映していると考えられる。

幾つかの半円形の構造は、直線的な磁気模様のずれや乱れから描き出すことができる。これらの構造は、貫入岩体のへい入によって生じたものと思われる。しかし、本地域をとおして多くの断層が分布するために、断層沿いの選択的風化が、みかけ上円形に近い磁気構造を生み出す可能性が高い。

本地域の主要断層を (Fig. II-1-3) に示す。重要なことは、これらの構造が、より広域的な枠組みの中で説明できることである。貫入岩と推定される位置についても広域的なテクトニックな枠組みの中で説明することができる。

空中物理探査の WNW-ESE 系の構造は、SPOT イメージでは、より広範囲に広がる構造と関連付けることができる。すなわち、この構造は、これまで多くの研究者によって提唱されている Legaspi Lineament に一致する (例えば, Aurelio et al., 1997)。断層の幾何学的解析から、本構造は、左横ずれであり、NW~NNW 走向のスプレー (splay) をもつ。主断層の最も北側のスプレーは、SPOT イメージ上で、Bicol 半島の第四紀火山配列に沿って、さらに Tiwi 地域まで追跡が可能である。よりローカルなスケールでは、本地域内の N-S 系断層は、主要な左横ずれ断層と 45° で交わり、左横ずれに関係して形成された展張性の断層である。本地域では、主要な NE-SW 系断層も分布する。これらは、正断層成分をもち、NW 側が落ちている。これらの断層は SPOT イメージ上でも広範囲に認められ、おそらくフィリピン断層に伴って形成されたと考えられる。したがって比較的若い時代の断層である。本地域では、フィリピン断層は NE 方向に凸であるため、広域的な運動方向は、NW 方向であり、その方向に沿って展張場が形成される。この NE-SW 構造は、この若い、現在も活動中の構造運動に関連して形成されたと考えられる。

低磁気異常が、WNW 系断層沿いに観察されることは、熱水活動は、WNW 系断層沿いに形成された弱線にそって上昇したと推定される。鉱化作用に関して重要な構造は、WNW-ESE の左横ずれ断層に関係して形成された dilation zone である (Fig. II-1-3)。ただし、このことは、鉱化作用の時代が、フィリピン断層の活動以前であることを意味しない。なぜなら、WNW-ESE 断層は、フィリピン断層活動開始後も再動を繰り返している可能性があり、より若い熱水活動が古い構造線沿いに起こることが、しばしば観察されるためである。

Legaspi 地域は、鉱化作用のポテンシャルをもつ構造的トラップあるいは dilation zones を作り出すのに都合の良い地質構造をもつ。様々な特徴を解析する過程で、Fig. II-1-3 に



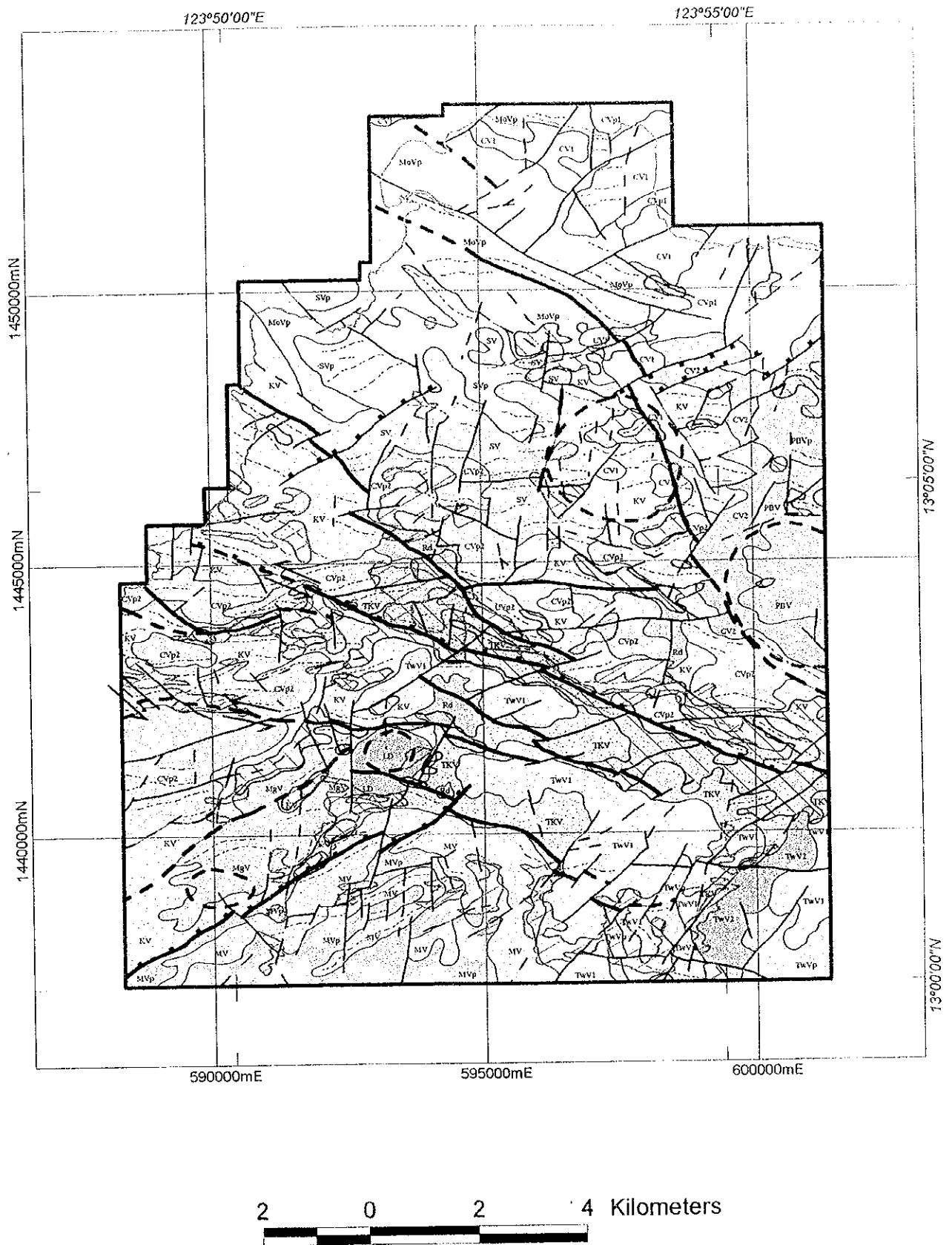

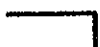


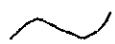
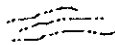

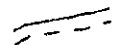
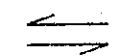


Fig. II-1-1: Legaspi Project Area - Philippines. Geological Interpretation of Airborne Magnetic and Radiometric data, and Panchromatic SPOT Imagery. Legends on following pages.



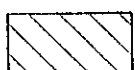
Legend

-  Coastline
-  Project Boundary

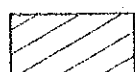
STRUCTURAL SYMBOLS

-  Lithological boundary
-  Linear magnetic trends
-  Major Fault - Confident, Inferred
-  Minor Fault - Confident, Inferred
-  Sense of lateral movement along fault
-  Sense of normal displacement on fault
-  Circular Structure, possible volcanic vent or intrusion

MAGNETIC SYMBOLS

-  Zone of reduced magnetic signature, may correspond to areas of demagnetisation of volcanic rocks due to hydrothermal alteration.

RADIOMETRIC SYMBOLS

-  Areas of increased potassium signature, may correspond to areas of alunite - kaolin alteration



Rd

Low magnetic signature and flat texture. Possibly coincident with accumulations of Recent alluvium.

PBVp

Low magnetic signature with weak, semi-continuous linear texture. Possibly coincident with Palayan-Bayan volcanics (pyroclastics).

PBV

Moderate to high magnetic signature with broad-wavelength, linear texture. Possibly coincident with Palayan-Bayan volcanics (lavas).

CVp2

Moderate to high magnetic signature with a broad-wavelength, apparently flat-lying texture. High total radiometric count. Possibly coincident with Young Cawayan volcanics (pyroclastics).

CV2

Low to moderate magnetic signature and broad wavelength, possible flat-lying texture. Low total radiometric count. Possibly coincident with Young Cawayan volcanics (lavas).

CVp1

Low magnetic signature and weak, chaotic, undulating, rounded texture. Possibly coincident with Old Cawayan volcanics (pyroclastics).

CV1

Moderate magnetic signature and broad-wavelength, apparently flat-lying texture. Low to moderate total radiometric count. Possibly coincident with Old Cawayan volcanics (lavas).

TwV2

High magnetic signature with broad wavelength, flat-lying texture. May simply represent thick accumulations of TwV1 or may be a distinct volcanic Unit. Possibly coincides with the Tanawon volcanics (young lavas).

TwVp

Low to moderate magnetic signature with an undulating, rounded texture. Possibly coincides with Tanawon volcanics (pyroclastics).

TwV1

Moderate to high magnetic signature with chaotic, undulating, broad-wavelength, possibly flat-lying texture. May coincide with the Tanawon volcanics (old lavas).



KV Very low to moderate magnetic signature and flat texture. possibly coincides with Kayabon volcanics (lavas and pyroclastics).

TKV Very low to moderate magnetic signature and undulating rounded texture. Possible zone of demagnetisation caused by hydrothermal alteration. Possibly coincides with the Tikolob volcanics.

SVp Low to moderate magnetic signature and strong linear fabric. Possibly coincides with Sagpon volcanics (tuff breccias).

SV Moderate to high magnetic signature and strong linear fabric. Possibly just thick accumulations of SVp. May coincide with Sagpon volcanics (lavas).

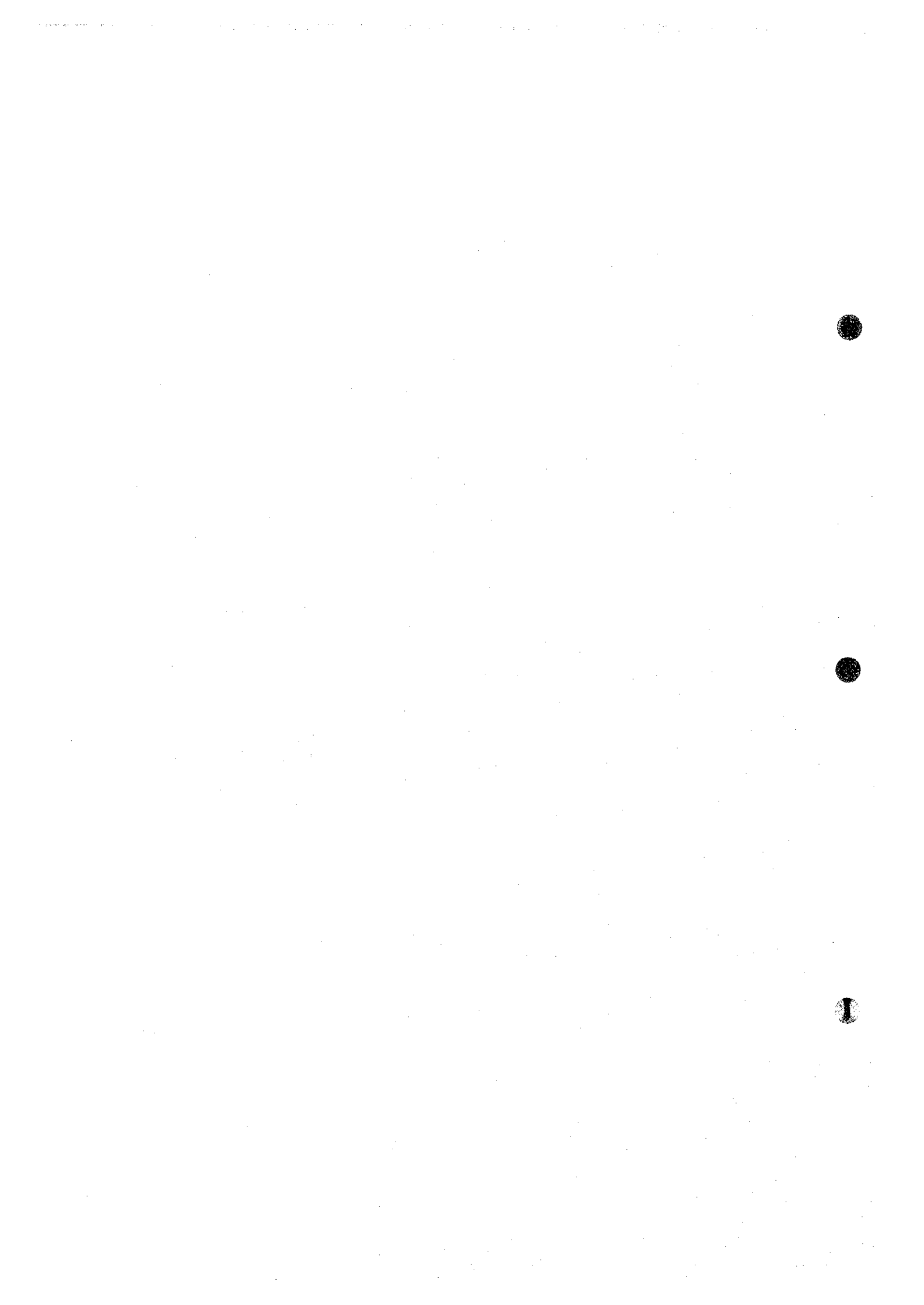
MgV High magnetic signature and broad-wavelength, sub-linear fabric. Possible coherent lava flow. Very high total radiometric count. May coincide with Magaho volcanics (lavas and pyroclastics)..

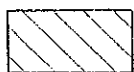
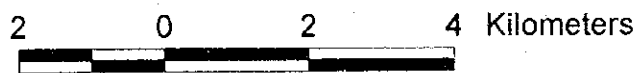
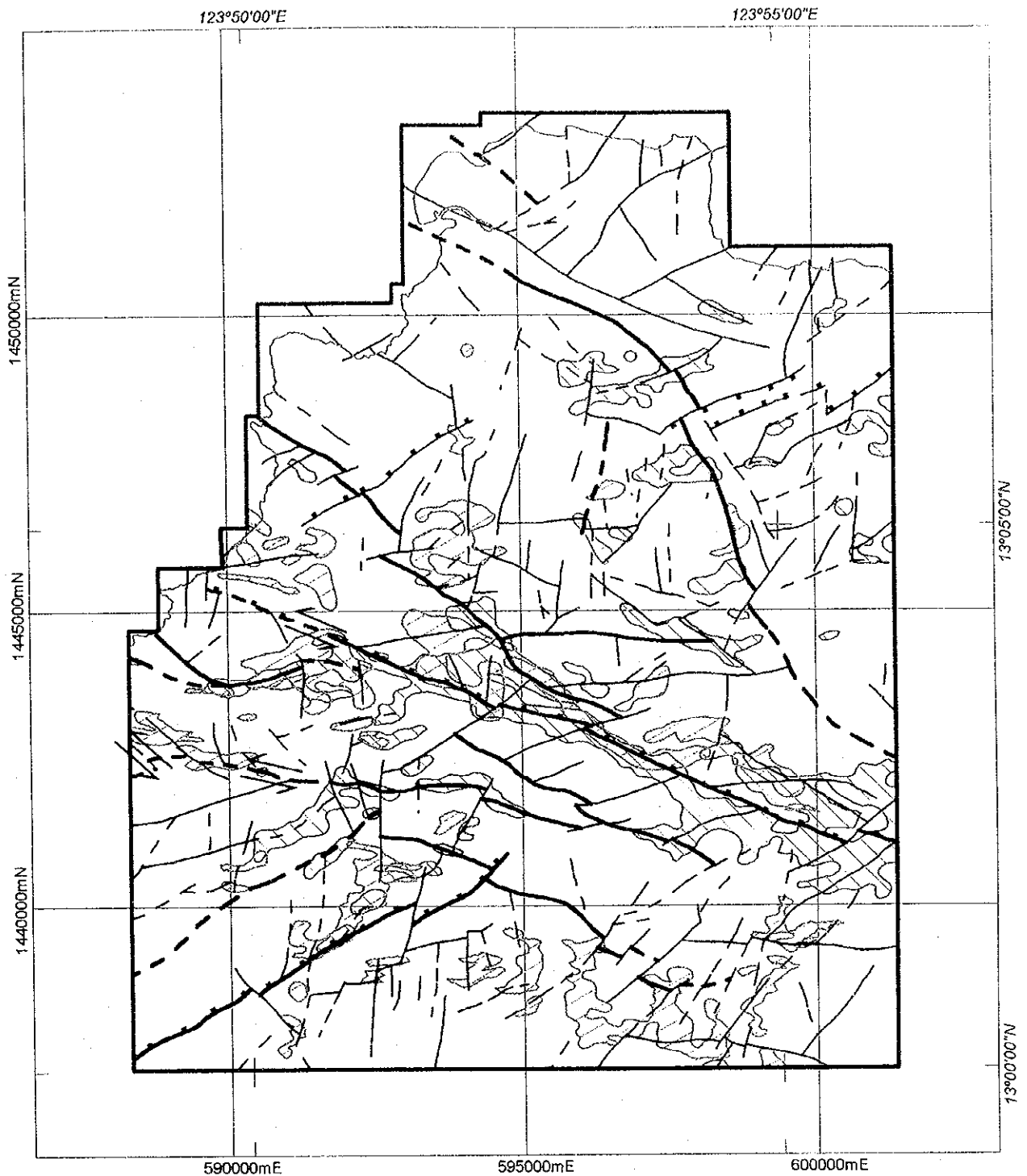
LD High magnetic signature and broad-wavelength, flat-lying, possibly sub-circular texture. May be coincident with the Lison Dome.

MVp Low to moderate magnetic signature and weak linear texture. May coincide with the Malobago volcanics (pyroclastics).

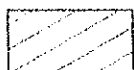
MV High magnetic signature and strong, broad-wavelength, sub-linear fabric. May coincide with the Malobago volcanics (lavas).

MoVp Low to moderate magnetic signature and flat-lying, very broad-wavelength texture. possibly coincides with Manitohan Volcanics.



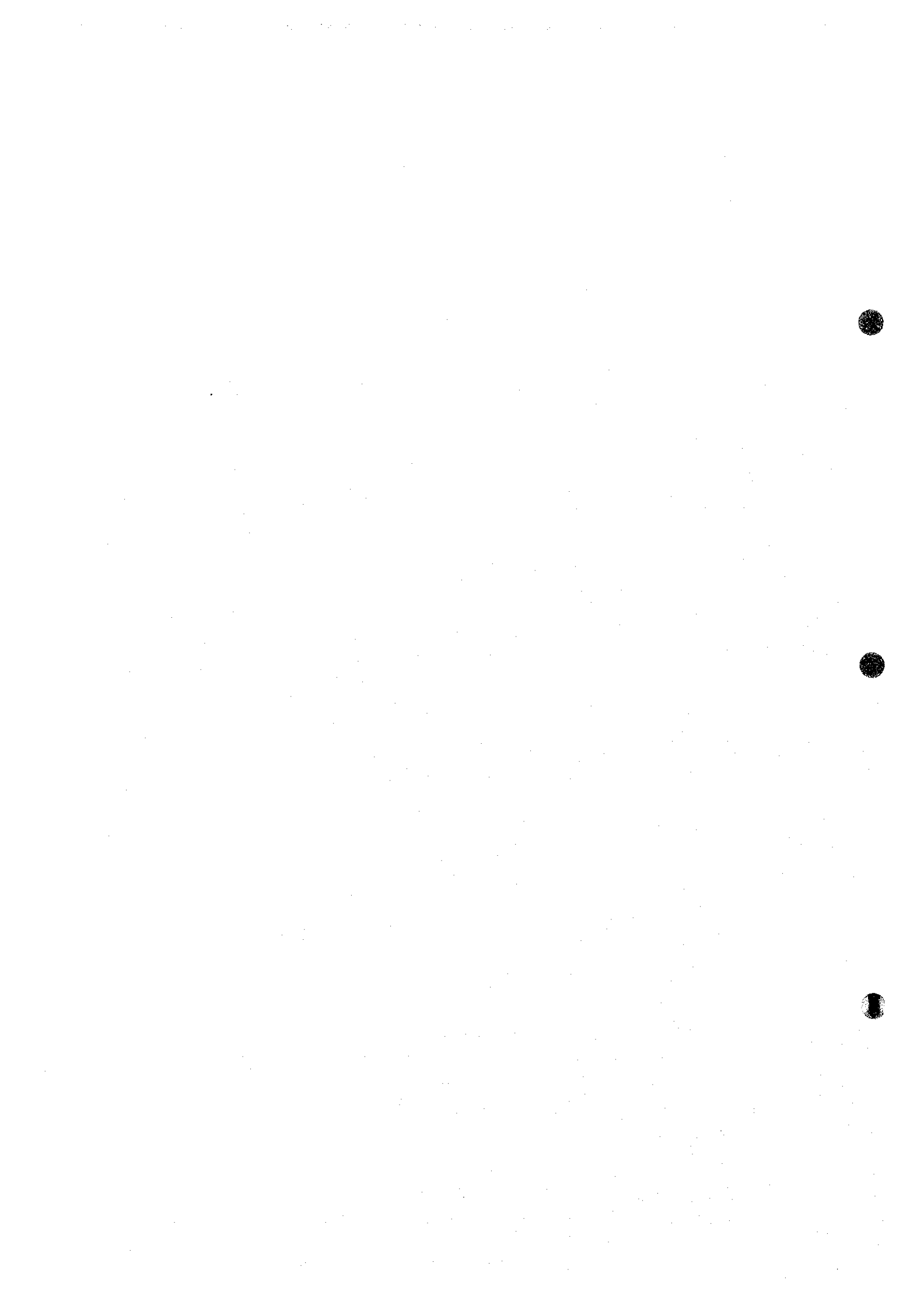


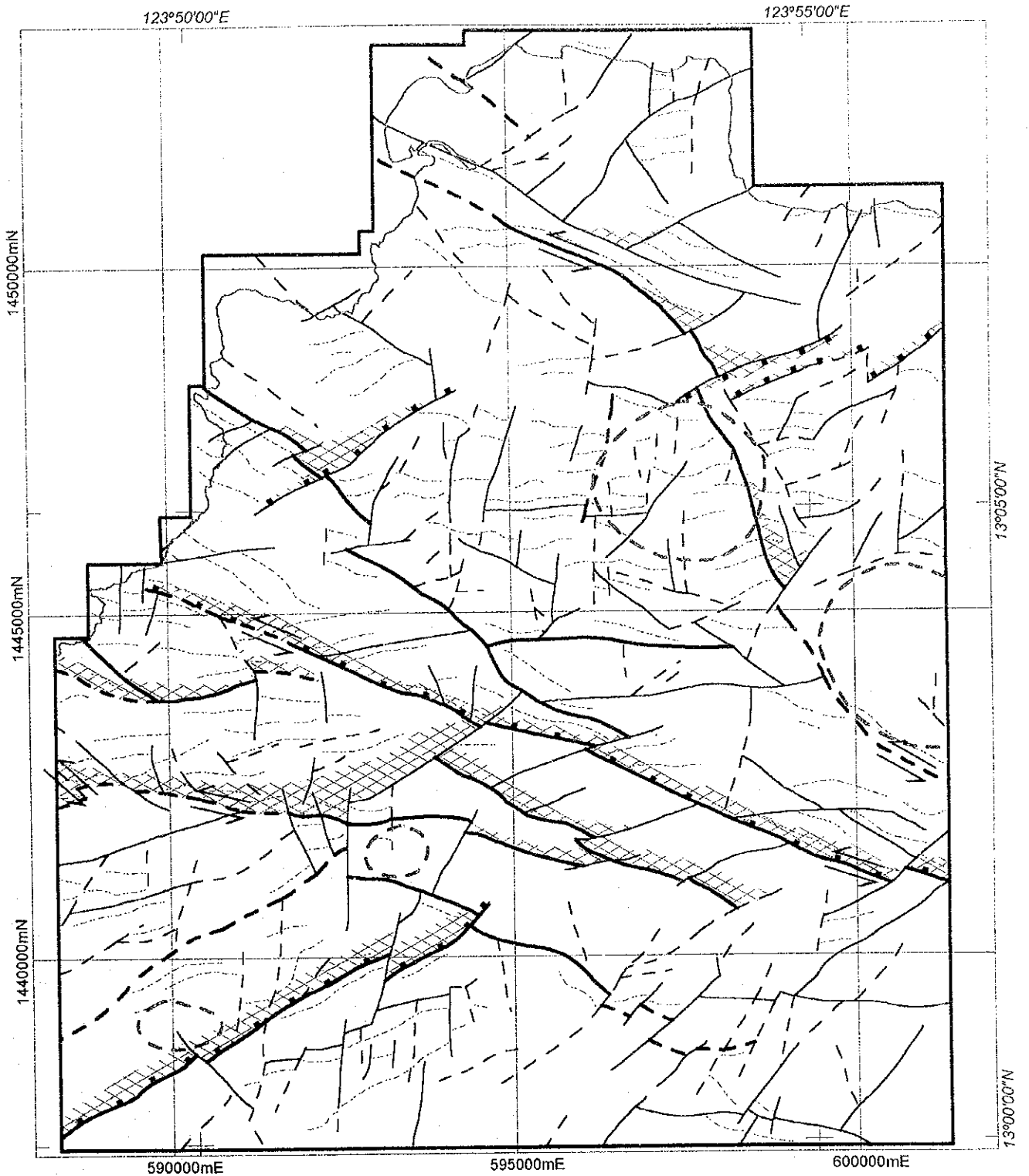
Zone of reduced magnetic signature, may correspond to areas of demagnetisation of volcanic rocks due to hydrothermal alteration.



Areas of increased potassium signature, may correspond to areas of alunite - kaolin alteration

Fig. II-1-2: Legaspi Project Area - Philippines. Magnetic lows and Potassium highs combined with faults from aeromagnetic interpretation.





- Sense of movement
- Coastline
- Circular feature
- Magnetic trends
- Major Fault - Confident
- Major Fault - Inferred
- Minor Fault - Confident
- Minor Fault - Inferred
- Project Boundary
- Possible dilation zone

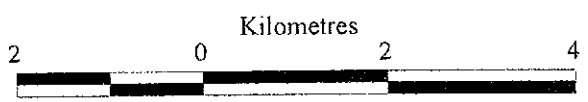


Fig. II-1-3: Structural Interpretation with possible zones of dilation



示すような貫入岩体が分布する可能性が示された。これらの推定貫入岩体の分布位置は、主要な構造に関係しており、地域を横切る dilational な枠組みの存在を支持する。これらの推定貫入岩体は、鉱化作用の可能なソースとしても考えることができる。

4) 探査有望地区の抽出

貫入岩体の存在は、本地域の金鉱化作用にとって重要な要因である。鉱化作用に関して、貫入岩が、流体の起源や熱源としての直接的な鉱化作用のソースとして、あるいは貫入にともなって形成される断裂系が鉱化作用の場を提供するなどの間接的な役割としても、重要と考えられる。本地域の東方に分布する火山中心も本地域の鉱化ポテンシャルに対して間接的な影響を与えるであろう。

金鉱化作用に関して、広域的な地質構造が果たしている役割が明確でないために、本地域において、金鉱化作用のポテンシャルが高いターゲット地点を示すことは困難である。しかし、幾つかの金鉱化作用がつぎのようなところに関係していると考えられる。

* カルデラリム、火山中心、半円形構造

解析図では、いくつかの半円形構造が抽出されている。これらの異常域は、古い火山活動の中心と考えられる。火山中心の形成とともに、破砕によって火山物質の噴出が起こる。主要な構造および小構造の両方ができる。火山活動と直接関係した構造は、同時期の流体の通路を提供するであろう。このような構造は、火山活動あるいは流体の移動が再活動する場所としても重要である。

* 低磁気異常域

低磁気異常域は、空中物理探査データから明らかにされ、最終的な解析図に描き出された。これらは、熱水活動に伴う火山岩の広範囲な変質を反映していると考えられる。今後、低磁気異常域と鉱化作用を伴う変質帯の関係を明らかにすることが要求される。WNW あるいは N トレンドの構造の付近は、広域的な流体の通路として振る舞うと考えられることから、重要と考えられる。

興味ある地域としては、以下の場所が含まれる。

- WNW-ESE トレンドの主要断層沿いの低磁気異常域。中でも、カリウム高異常域と重なるところが特に有望と考えられる (1444500mN, 591500mE; 1444500mN, 594000mE; および 1443000mN, 599500mE)。これらの地域の幾つかには、Phase I 調査によって、変質帯が見出されている。
- 1440000mN, 592500mE の同様な特徴をもつ地域。ただし、NE トレンドの断層沿いの異常域は除く。この地点は、“古い”貫入岩体が推定される地点にも近い。

1-7 Irosin 地域 (Gate Mountains 地域) 解析結果

前項のようにして解析した解析図を Fig.II-1-4 に示す。また、磁気特性および放射性元素特性から区分された岩相単位を図の凡例に示す。凡例の地質名は、PNOC レポート (Delfin

et al, 1993) に因った。

1) 高カリウム異常

カリウム全カウントイメージ、三成分放射性元素イメージおよびカリウム濃度異常域を Appendix 5 および Appendix 6 に示す。

カリウム高異常域で、断層あるいは断層を伴う地域が変質帯として有望な地域である (Fig.II-1-4)。カリウムの高異常域は、不連続的ながら、地域の NW 側に集中して分布する。しかしながら、地域中央には、NW-SE の方向性をもち、やや SE 方向に伸張したカリウムの高異常域が配列している。これは、本地域に分布する主要な WNW-ESE の走向断層に沿っている。より小さなカリウム高異常域は、地域の南部に観察される。これらの異常域は、二次的な NE-SW 系の構造に沿っているように見える (Fig.II-1-5)。

しかしながら、カリウム、トリウム、ウランウムがほぼ等量含まれる異常域は、より広範囲に分散して分布しており、これらは、地質構造よりも分布する岩石にコントロールされていると考えられる。カリウム (Appendix 5: Radiometric Potassium Counts) と鉛直方向一次微分イメージ (Appendix 2) とを重ねあわせてみると、カリウム高異常域は、広域的な地質構造に一致していることがわかる。このことは、カリウム高異常域は、変質帯に関連しており、非磁性体中の高放射性元素含有体を示しているものではないと言う仮説を支持する。

2) 低磁気異常

低磁気レスポンス領域が、かなり広範囲に分布する (Fig.II-1-5)。これらの低磁気レスポンスについて、幾つかの原因が考えられる：

- ・ 狭い線状の異常域が数多く分布し、これらは断層と解釈される。多くの異常は、ランダムで、定向配列を示さないが、1390000mN, 610000mE 地点付近の SW 側には、明らかに放射状配列をするものがある。これらのトレンドは、貫入岩体の存在を示唆する。幾つかの同様な構造が分布する (Fig.II-1-5)。そのような構造に沿って熱水流体が移動し、周囲の火山岩を消磁させた可能性がある。
- ・ 1403000mN, 617000mE 地点付近には、大きな低磁気異常域が存在する。これは、Irosin Caldera 付近に位置し、現在の熱水変質分布域を反映していると考えられる。そのすぐ南には円形状の高異常域があり、貫入体の存在が示唆される。

以上のような地域は、流体の通路となり、熱水流体によって消磁化を被った可能性がある。異なる地域での、低磁気異常の原因は、地域ごとにチェックすることが望ましい。同じような磁気レスポンスに対して、異なる原因が考えられる。いずれにせよ、鉍化作用のポテンシャルが高い地域として、低磁気帯で、断層を伴う地域が優先的にフィールドチェックするべきである。

3) 地質構造と貫入岩体の推定

Fig.II-1-5 に示すような地質構造データが得られ、幾つかの貫入岩体が推定された。SPOT イメージ(Appendix 7)と空中物理探査データから、本地域には、広く断層や断裂が分布することが明らかとなった。既存データとの対比から、広域的な左横ずれ断層とより小規模な左横ずれ断層の抽出が可能となった。

SPOT イメージ(Appendix 7)およびデジタル地形イメージ (DTM) (Appendix 4) から、多数のリニアメントを読み取ることができる。これらの線状構造は、直線的な水系に従う事が多い。また、これらの線状構造は、Phase I 現地踏査の結果から、断層や角礫化帯を示すと考えられる。また、SPOT/DTM イメージのリニアメントは、磁気異常が途切れやズレと一致している。

鉛直方向一次微分イメージ(Appendix 2)は、多くの構造データを提供する。また、擬似深度別スライスイメージ (Appendix 3) を作成し、構造的な解釈を行った。しかし、地表付近に、高磁気異常をもつ火山岩類が分布するため、深部データを効果的に分別できなかった。しかしながら、最深部のスライスの磁気分布は、構造的なブロックに区分できるイメージが得られた(Appendix 3)。

二つの主要な断層が、WNW-ESE~NE-SE および NE-SW の方向に存在する。これらの断層に沿う相対的な移動から、WNW-ESE 系断層は、時代的に最も古く、より若い NE-SW 系断層によってずれている。“主要”WNW-ESE 断層は、SPOT イメージ上で、左横ずれ成分をもっていることが明らかである。磁氣的構造単位の見かけ上の相対的時代から、この断層は、NE 側が落ちる正断層で切られている。大きなスプレイ (splay) が、1399500mN, 608500mE で主要な左横ずれ断層から枝別れしている。枝別れしたのち、その構造は、より NW 方向に向かう。これらの磁気不連続は、SPOT イメージでも明瞭に判読が可能であり、ある程度の距離を追跡可能である。地表付近の火山岩分布域が、WNW-ESE の構造によって途切れている (1393000mN, 610000mE; Fig.II-1-4)。この構造は、正断層であり、NE 側が落ちていると推定される。このことについて、次の二つの解釈が可能である。一つは、(a)正断層は高磁性をもつ火山岩の活動より前に生じた。このため、火山岩分布が断層によってコントロールされ、見かけ上途切れたように見えると考えるもの。もう一つは、(b)正断層は、高い磁性をもつ火山岩が堆積した後に生じ、相対的に高い方のブロックが選択的に浸食されたと考えるものである。解析結果は、(b)の可能性を支持する。

他の主要な構造として、Irosin Caldera が明瞭に識別される。この半円形状の構造は、調査地域の北側中央に分布する。断層の北側に、現世の堆積物が厚く堆積していることが

ら、北落ちの断層であることが明らかである。沖積扇状地堆積物が 1405000mN, 609000mE 地点に認められる。

上記の断層の幾何学的解析結果をさらに発展させるために、全磁気イメージ(極磁気変換)(Appendix 1)およびその鉛直方向一次微分イメージ(Appendix 2)を用いた。両者ともに、カラーおよびグレイスケールイメージを用いた。断層や断裂に関する別な情報源として、SPOT イメージ(Appendix 7)を用い、これと鉛直方向一次微分イメージ (Appendix 2) の対比を行った。

深部では、全体としては単純な構造が伺えるが、浅部の詳細な構造は、複雑化する。すなわち、浅部では、主要断層は、単純な一本の断層ではなく、ある幅を持った断層帯が発達していることが明らかである。このことは、深度が浅くなるにつれ、封圧の減少のためにスプレイ (splay) が増加すると解釈することができる。

より小さな断層は、かなり無秩序に配列しているように見える。しかし、主要断層が走向断層であることを考慮することによって、これらの小断層を、特定の走向方向でグルーピングでき、さらに、これの断層を歪みモデルでその発達を説明できる可能性がある。

いくつかの異常域が、貫入岩体の存在を示唆する。

- * Malobago Dome (1405000mN, 621000mE) ; 放射状、中～高磁気異常、顕著な放射性元素ハローが、二つの円形岩体を描き出している。これらは地質図上の流紋岩質貫入岩に一致する。
- * Northern boundary (1409000mN, 615000mE) ; 広い、中～高磁気異常で、半円形状の様々な程度の低磁気異常を伴う。この地域は、Bulusan 火山複合体の南端に位置する。その南には Irosin Caldera のカルデラ構造が良く見える。
- * Southwest area (1390000mN, 610000mE) ; 半円形状の高磁気異常、円形状地形および放射性 3 元素の同程度に低い異常で特徴づけられる。小さな低磁気異常域が、これを放射状に取り囲むようにして産する。これは、貫入岩体か、あるいは“古い”火道を示している可能性がある。
- * Central area (1402500mN, 609500mE) ; 小さな半円形状の磁気異常があり、周囲を低磁気異常が取り囲む。貫入岩体あるいは火道を示している可能性がある。

火山岩類の分布域は、断層にコントロールされているように見える。火山中心は少なくとも部分的に断層にコントロールされていると期待される。断層のズレの解析から、dilation zone を抽出できる可能性がある。

低磁気異常域のシャープな境界が存在し、これらは流体の通路として機能した可能性がある。

幾つかの半円形状の特徴は、線状の磁気異常のズレから描き出すことができる。これら

の構造は、貫入岩体のへい入によってできたと考えられる。しかし、地域全体をとおして、多数の断層が存在することから、断層に沿った風化作用によって、見かけ上円形構造を呈するものも多いと思われる。

主要な断層構造を Fig. II-1-6 に示す。

重要なことは、これらの構造が、より広域的な枠組みの中で説明できることである。貫入岩と推定される位置についても広域的なテクトニックな枠組みの中で説明することができる。

空中物理探査の WNW-ESE 系の構造は、SPOT イメージでは、より広範囲に広がる構造と関連付けることができる。すなわち、この構造は、その北に位置する Legazpi Lineament と平行である。また、Philippine 断層に斜交する。その幾何学的解析から、本構造は、左横ずれであり、NW~NNW 走向のスプレー (splay) をもつ。この構造は、左横ずれであり、相対的に“古い”断層と考えられる。

地域の南には、よりローカルな NS 系の断層が存在する。これらは、主要な左横ずれ断層と 45° で交わり、左横ずれに関係して形成された展張性の断層と考えることができる。本地域では、主要な NE-SW 系断層も分布する。これらは、正断層成分をもち、NW 側あるいは SE 側が落ちている。これらの断層は SPOT イメージ上でも広範囲に認められ、おそらくフィリピン断層に伴って形成されたと考えられる。したがって比較的若い時代の断層である。本地域では、フィリピン断層は NE 方向に凸であるため、広域的な運動方向は、NW 方向であり、その方向に沿って展張場が形成される。この NE-SW 構造は、この若い、現在も活動中の構造運動に関連して形成されたと考えられる。

鉱化作用は、WNW-ESE 系の断層の活動に関連して形成されたと考えられる。鉱化作用に関して重要な構造は、WNW-ESE の左横ずれ断層に関係して形成された dilation zone である (Fig. II-1-6)。ただし、このことは、鉱化作用の時代が、フィリピン断層の活動以前であることを意味しない。なぜなら、WNW-ESE 断層は、フィリピン断層活動開始後も再動を繰り返している可能性があり、より若い熱水活動が古い構造線沿いに起こることが、しばしば観察されるためである。

Irosin 地域では、鉱化作用のポテンシャルをもつ構造的トラップあるいは dilation zones を作り出すのに都合の良い地質構造をもつ。様々な特徴を解析する過程で、Fig. II-1-6 に示すような貫入岩体が分布するの可能性が示された。これらの推定貫入岩体の分布位置は、主要な構造に関係しており、地域を横切る dilational な枠組みの存在を支持する。これらの推定貫入岩体は、鉱化作用の可能なソースとしても考えることができる。

4) 探査有望地区の抽出

* 低磁気異常域

低磁気異常域は、空中物理探査データから明らかにされ、最終的な解析図に描き出された。これらは、熱水活動に伴う火山岩の広範囲な変質を反映していると考えられる。今



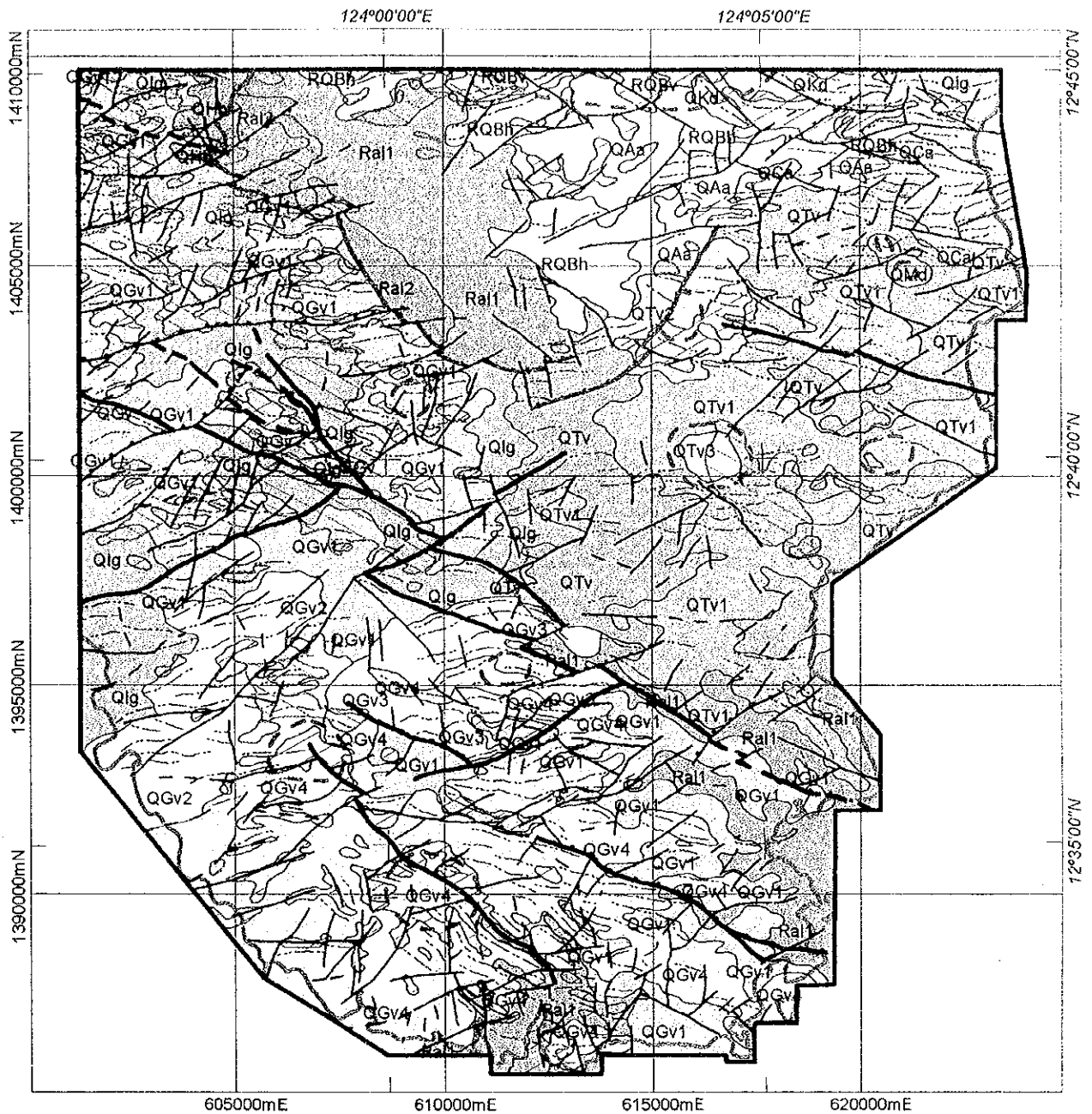
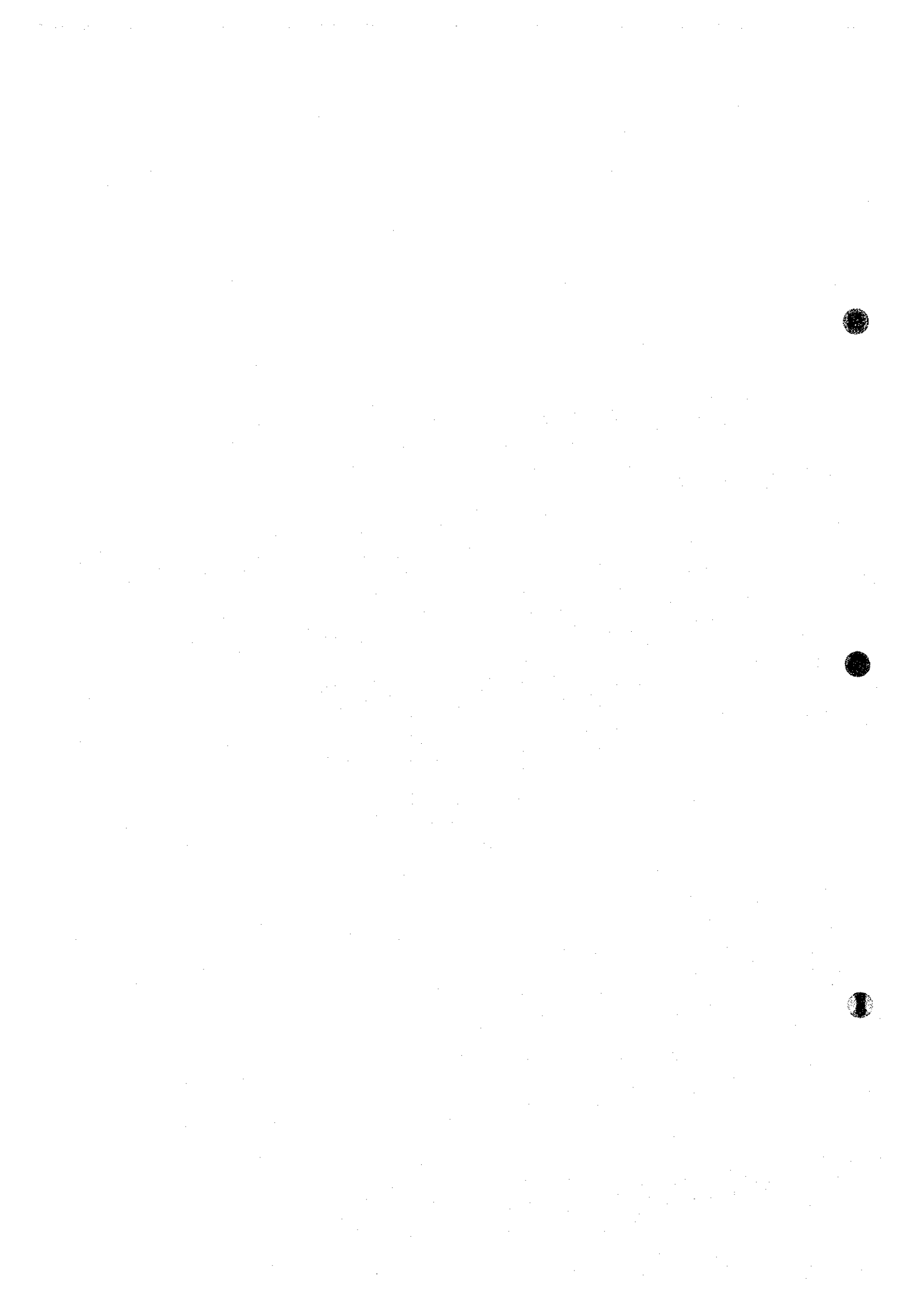
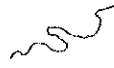


Fig. II-1-4 : Irosin Project Area - Philippines. Geological interpretation of Airborne Magnetic and Radiometric Data, and Panchromatic SPOT Imagery. Legends on following pages.



Legend



Coastline

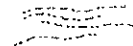


Project Boundary

STRUCTURAL SYMBOLS



Lithological boundary



Magnetic linear trends



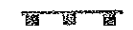
Major Fault - Confident, Inferred



Minor Fault - Confident, Inferred



Sense of normal displacement on fault

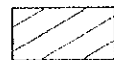


Caldera rim, with sense of displacement



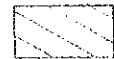
Circular anomalies, possible volcanic vents or intrusive bodies

MAGNETIC UNIT



Zones of reduced magnetic signature relative to adjacent units. May correspond to areas of demagnetisation of volcanic rocks due to hydrothermal alteration.

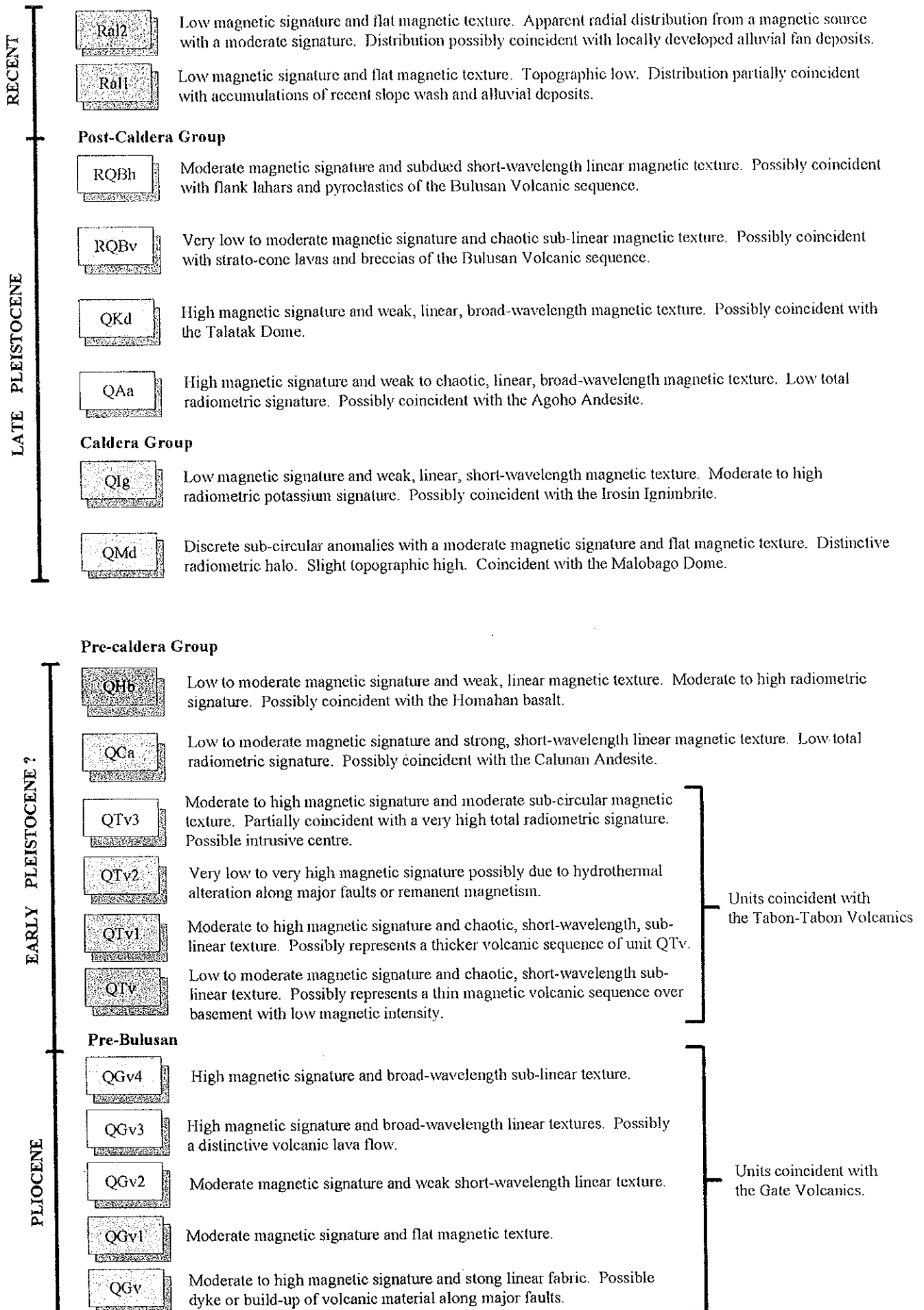
RADIOMETRIC UNIT

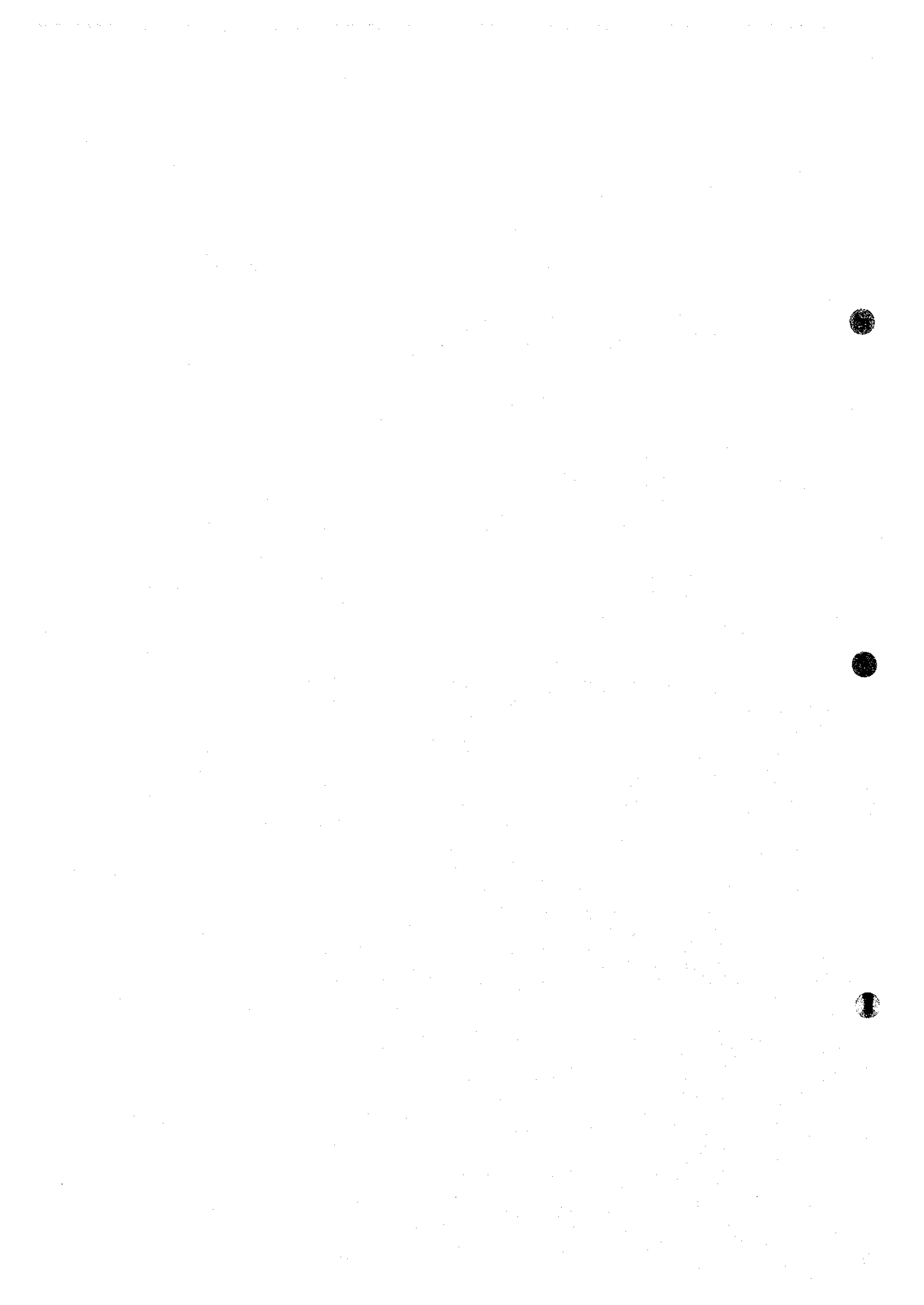


Areas of increased potassium signature, may correspond to areas of argillic alteration.



AIRBORNE-MAGNETIC UNITS





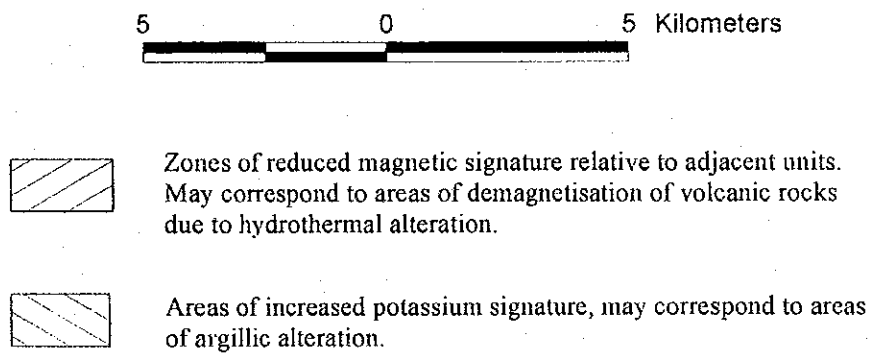
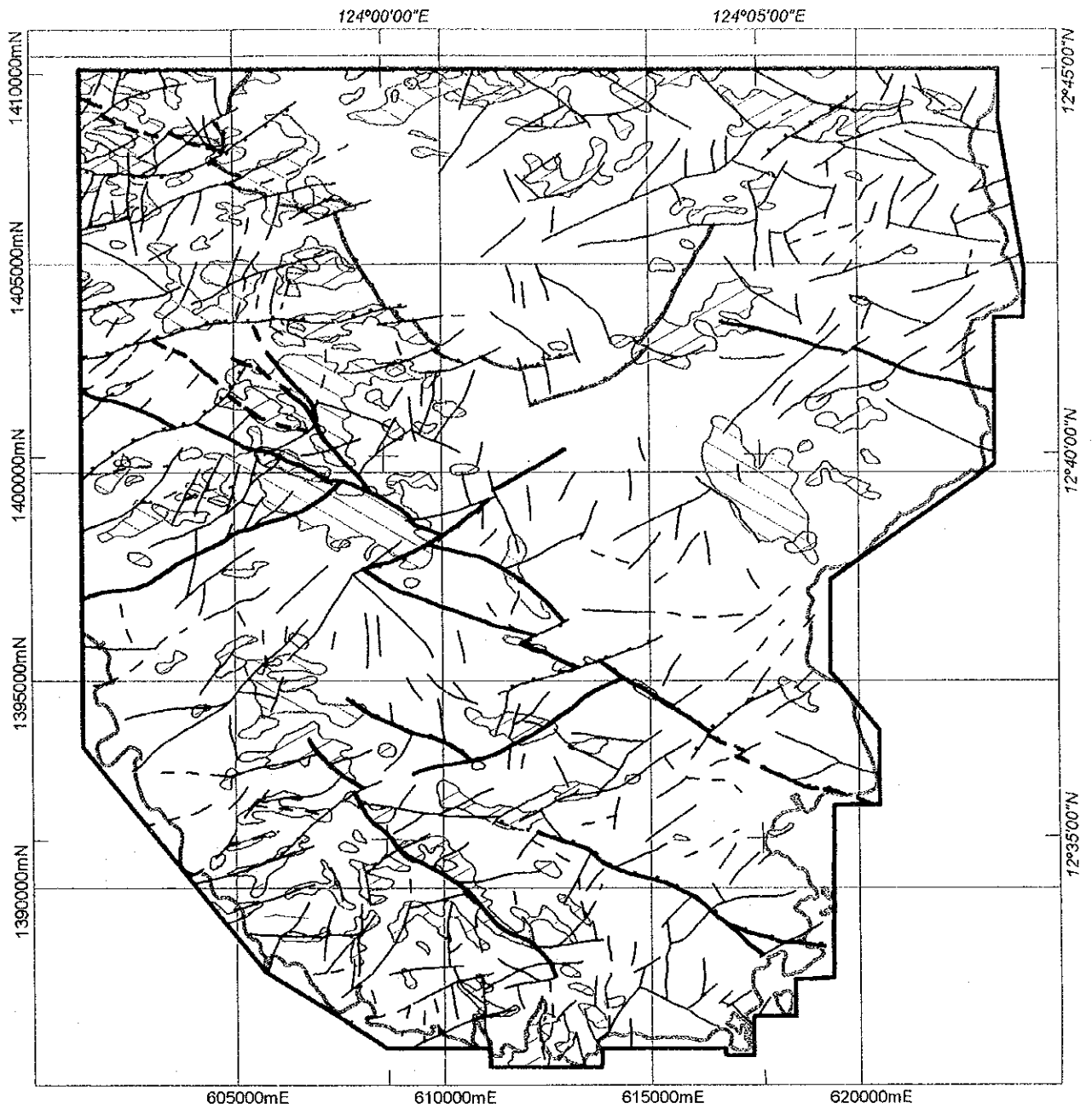
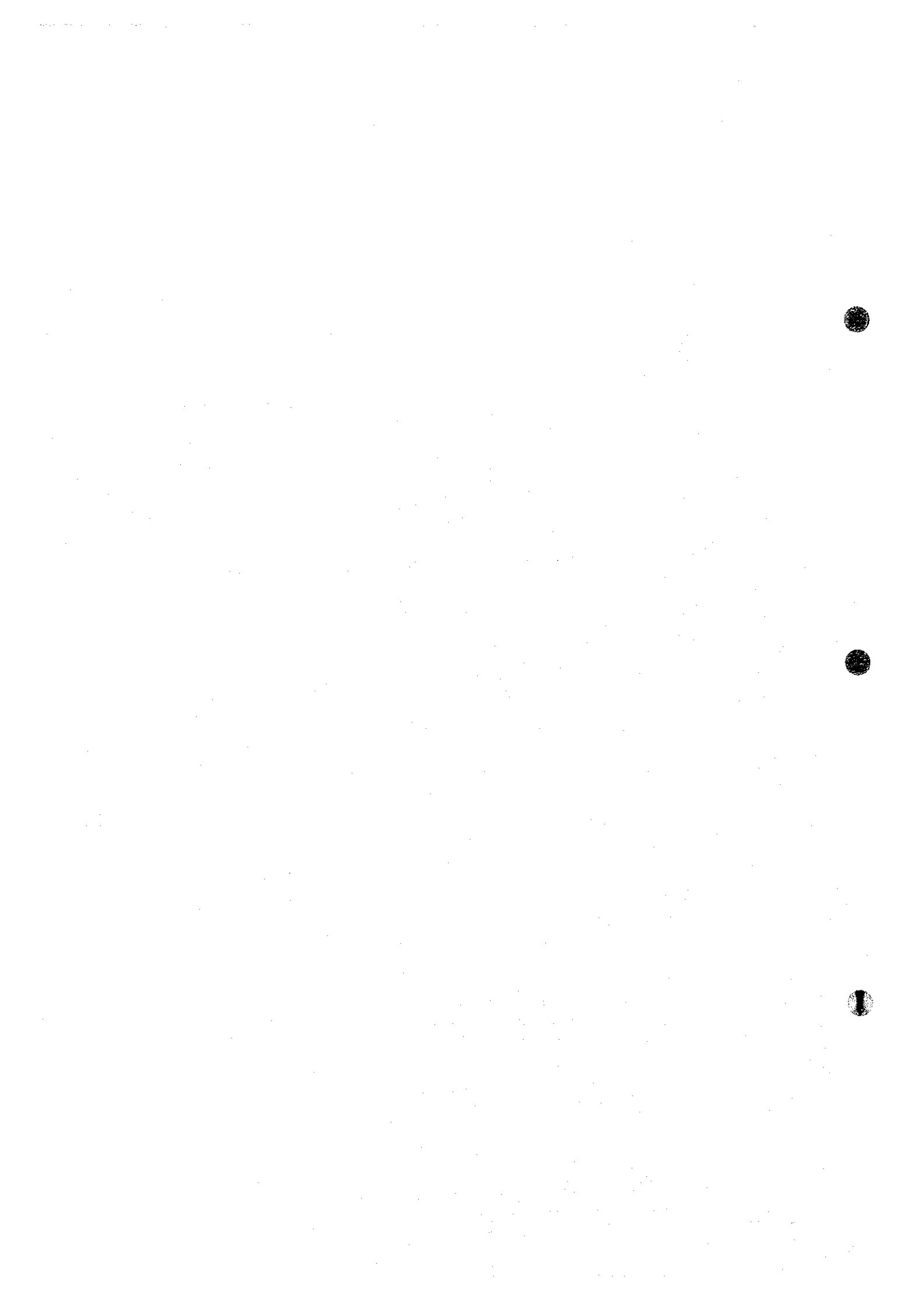
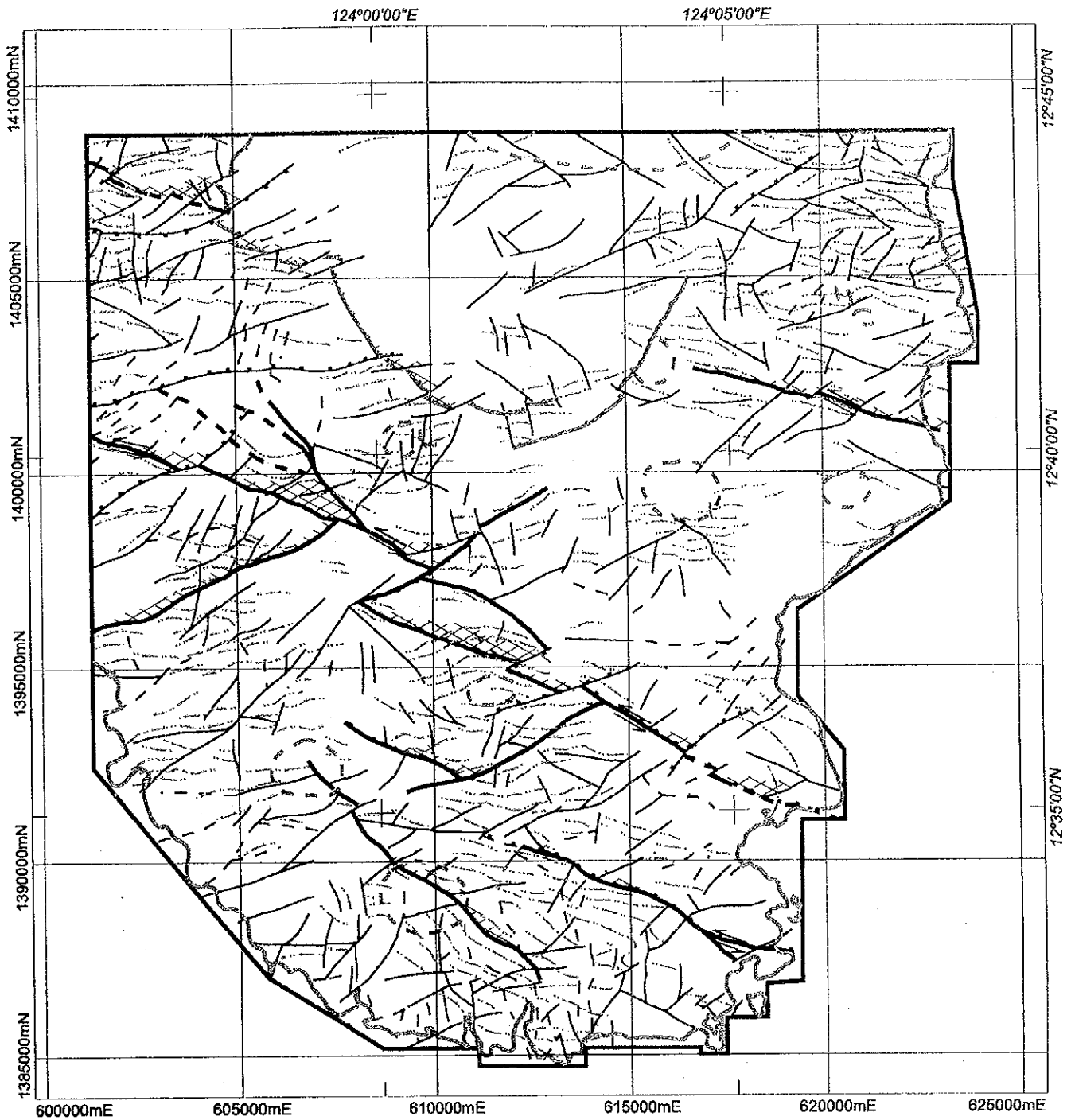


Fig. II-1-5: Irosin Project Area - Philippines. Magnetic lows and Potassium highs combined with faults from aeromagnetic interpretation.





- ⇄ Sense of movement
- ⌊⌋ Coastline
- ⌊⌋⌊⌋ Circular structure
- ⌊⌋⌊⌋ Magnetic trends
- ⌊⌋⌊⌋ Caldera
- ⌊⌋⌊⌋ Major Fault - Confident, Inferred
- ⌊⌋⌊⌋ Minor Fault - Confident, Inferred
- ⌊⌋⌊⌋ Project Boundary
- ⊠ Possible zone of dilation

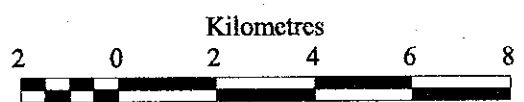


Fig. II-1-6: Structural Interpretation with possible zones of dilation



後、低磁気異常域と鉱化作用を伴う変質帯の関係を明らかにすることが要求される。WNWあるいはNトレンドの構造の付近は、広域的な流体の通路として振る舞うと考えられることから、重要と考えられる。

* 興味ある地域としては、以下の場所が含まれる。

- ・ 1390000mN, 610000mE 地点の半円形状の低磁気異常域。この地域は、放射性3元素が低いところと一致している。この地域は、古い火道を示していると考えられる。
- ・ 1400000mN, 618000mE 地点の大きなカリウム高異常域。
- ・ 調査地域の北西部。ここは、小さいカリウム高異常域および低磁気異常域が多数分布する。多数の断層も分布する。

1-8 Tiwi 地域 (Tiwi-Mt. Malinao 北西部地域) 解析結果

前項のようにして解析した解析図を Fig.II-1-7 に示す。また、磁気特性および放射性元素特性から区分された岩相単位を図の凡例に示す。凡例の地質名は、BMG 発行の地質図 1:250,000 に因った。

1) 高カリウム異常

カリウム全カウントイメージ、三成分放射性元素イメージおよびカリウム濃度異常域を Appendix 5 に示す。

カリウム高異常域で、断層あるいは断層を伴う地域が変質帯として有望な地域である (Fig.II-1-7)。カリウムの高異常域は、不連続的ながら、NE 系の断層に沿いに集中して分布する。しかしながら、地域の南西部 (1489000mN, 559000mE) にも、異常域が分布する (Fig.II-1-8)。

カリウム、トリウム、ウランウムがほぼ等量含まれる異常域は、より広範囲に分散して分布している。これとは対照的に、全放射性元素の低い明瞭な異常域が、1487500mN, 565000mE 付近に分布する。この低放射性元素異常域は、Mt. Malinao 火山の第四紀火山岩分布域と一致している。このような広い放射性元素異常は、地質構造よりも分布する岩石の性質にコントロールされていると考えられる。様々な、放射性元素濃度の分布異常は、異なる種類の火山岩類が分布していることを示唆する。

2) 低磁気異常

低磁気レスポンス領域が、かなり広範に分布する (Fig.II-1-8)。幾つかの原因が考えられる：

- ・ 狭い線状の異常域が数多く分布し、これらは断層と解釈される。多くの異常は、ENE-WSW~NE-SW 方向に配列する。NE 系の断層と NW 系断層との会合部では、異常域が広がる傾向がある (例えば、1494000mN, 562000mE 地点)。
- ・ 1488000mN, 560000mE 地点の南西側には、NW 系の大きな低磁気異常域が存在する。この異常域は、構造的にコントロールされた変質帯の存在を示し、現地踏査によって検証すべき地域である。熱水がこの地質構造を流動することによって、周囲の火山岩の低

磁気異常をもたらしている可能性がある。

- ・ 調査地域の南側境界に沿って、幅の広い低磁気異常域が存在する (1485000mN, 559000mE)。この異常域が NW あるいは NE 系の断層のどちらに沿って存在するかは、今回の調査からは明らかではない。現地踏査でチェックすべき地域である。

このような低磁気異常域は、流体の通路となり、熱水流体によって消磁化を被った可能性がある。異なる地域での、低磁気異常の原因は、地域ごとにチェックすることが望ましい。同じような磁気レスポンスに対して、異なる原因が考えられる。いずれにせよ、鉱化作用のポテンシャルが高い地域として、低磁気帯で、断層を伴う地域が優先的にフィールドチェックされるべきである。

3) 地質構造と貫入岩体の推定

Fig.II-1-9 に示すような地質構造データが得られ、幾つかの貫入岩体が推定された。SPOT イメージと空中物理探査データから、本地域には、広く断層や断裂が分布することが明らかとなった。既存データとの対比から、広域的な左横ずれ断層とより小規模な左横ずれ断層の抽出が可能となった。

SPOT イメージ (Appendix 7) およびデジタル地形イメージ (DTM) (Appendix 4) から、多数のリニアメントを読み取ることができる。これらの線状構造は、直線的な水系に従う事が多い。また、SPOT/DTM イメージのリニアメントは、磁気異常が途切れやズレと一致している。

鉛直方向一次微分イメージ (Appendix 2) は、多くの構造データを提供する。また、擬似深度スライスイメージ (Appendix 3) を作成し、構造的な解釈を行った。しかし、地表付近に、高磁気異常をもつ火山岩類が分布するため、深部データを効果的に分別できなかった。しかしながら、最深部のスライスの磁気分布は、構造的なブロックに区分できるイメージが得られた (Appendix 3)。

二つの主要な断層が、NNW-SSE~NW-SE および ENE-WSW~NE-SW の方向に存在する。これらの断層に沿う相対的な移動から、NNW-SSE~NW-SE 系断層は、時代的に最も古く、より若い ENE-WSW~NE-SW 系断層によってずれている。

“主要”な NNW-SSE~NW-SE 断層は、SPOT イメージ上で、左横ずれ成分をもっていることが明らかである。大きなスプレイ (splay) が、1492000mN, 562500mE 地点で、主要な左横ずれ断層から枝別れしている。枝別れしたのち、その構造は、より NW 方向に向かう。磁気異常を切るような明瞭なリニアメントは、SPOT イメージでも明瞭に判読が可能であり、ある程度の距離を追跡可能である。地表付近の火山岩分布域が、ENE-WSW 系の構造によって途切れている (1485000mN, 565000mE; Fig.1) (Figure 7)。この構造は、

正断層であり、SE側が落ちていると推定される。このことについて、次の二つの解釈が可能である。一つは、(a)正断層は高磁性をもつ火山岩の活動より前に生じた。このため、火山岩分布が断層によってコントロールされ、見かけ上途切れたように見えると考えるもの。もう一つは、(b)正断層は、高い磁性をもつ火山岩が堆積した後に生じ、相対的に高い方のブロックが選択的に浸食されたと考えるものである。解析結果は、(a)の可能性を支持する。

本地域の特徴として、1488000mN, 560000mE 地点付近に明瞭な曲線構造が認められる。この構造は、NE-SW系断層が、左横ずれのNW系断層によって変形を受けているように見える。これら二つの主要な構造に挟まれる地域は、transpressionあるいはtranstensionの応力場にあり、磁気異常の破断やバックリング(buckling)などが観察される。結果として生じる褶曲のヒンジ帯に断裂が生じ、ここにカリウム高異常が生じた可能性がある。この地域は、同時に低磁気異常域でもある。本地域は、詳細な現地踏査を行うべき、最も優先度の高い地域である。

断層を幾何学的に解析するために、全磁力イメージ(極磁気変換)(Appendix 1)およびその鉛直方向一次微分イメージ(Appendix 2)を用いた。両者ともに、カラーおよびグレースケールイメージを用いた。断層や断裂に関する別な情報源として、SPOTイメージ(Appendix 7)とデジタル地形イメージ(DTM)(Appendix 4)との対比を行った。

深部では、全体としては単純な構造が伺えるが、浅部の詳細な構造は、複雑化する。すなわち、浅部では、主要断層は、単純な一本の断層ではなく、ある幅を持った断層帯が発達していることが明らかである。このことは、深度が浅くなるにつれ、封圧の減少のためにスプレイ(splay)が増加することが期待される。

より小さな断層は、かなり無秩序に配列しているように見える。しかし、主要断層が走向断層であることを考慮することによって、これらの小断層を、特定の走向方向でグルーピングでき、さらに、これの断層を歪みモデルでその発達を説明できる。

いくつかの異常域が、貫入岩体の存在を示唆する。

- * Northeast boundary (1496000mN, 546000mE); 広い、中～高磁気異常、半円形状の様々な程度の低磁気異常を伴う。ここは、また三成分放射性元素高異常が円形に見える。
- * Southern boundary (1485000mN, 562500mE); SPOTイメージから、本地区は、南方に位置する火山中心の縁辺部であることが明らかである。本地区は、調査地域のすぐ南に位置する火山中心から広がる放射状の異常域として認識される。本地区はまた、地形的にも円形に近い特徴をもち、三成分放射性元素濃度が低い地域である。
- * Central area (1492500mN, 558000mE); 小さな半円形状の磁気異常帯である。周囲を低磁気異常域で囲まれる。顕著な放射性元素の低異常があり、地形的に低い地域で

ある。これは、貫入岩体か、あるいは火道を示している可能性がある。

火山岩類の分布域は、断層にコントロールされているように見える。火山中心は少なくとも部分的に断層にコントロールされていると期待される。断層のズレの解析から、dilation zone を抽出できる可能性がある。

低磁気異常域のシャープな境界が存在し、これらは流体の通路として機能した可能性がある。

幾つかの半円形状の特徴は、線状の磁気異常のズレから描き出すことができる。これらの構造は、貫入岩体のへい入によってできたと考えられる。しかし、地域全体をとおして、多数の断層が存在することから、断層に沿った風化作用によって、見かけ上円形構造を呈するものも多いと思われる。

主要な断層構造は、Fig.II-1-9 のようなパターンを示す

重要なことは、これらの構造が、より広域的な枠組みの中で説明できることである。貫入岩と推定される位置についても広域的なテクトニックな枠組みの中で説明することができる。

空中物理探査の NNW-SSE~NW-SE 系の構造は、SPOT イメージでは、より広範囲に広がる構造と関連付けることができる。すなわち、この構造は、その南に位置する Legaspi Lineament と平行である。また、Philippine 断層に斜交する。その幾何学的解析から、本構造は、左横ずれであり、NW~NNW 走向のスプレー (splay) をもつ。この構造は、左横ずれであり、相対的に“古い”断層と考えられる。

調査地域にはより小さなスケールで、NS 系の断層が存在する。これらは、主要な左横ずれ断層と 45° で交わり、左横ずれに関係して形成された展張性の断層と考えることができる。本地域では、主要な NE-SW 系断層も分布する。これらは、正断層成分をもち、NW 側あるいは SE 側が落ちている。これらの断層は SPOT イメージ上でも広範囲に認められ、おそらくフィリピン断層に伴って形成されたと考えられる。したがって比較的若い時代の断層である。本地域では、フィリピン断層は NE 方向に凸であるため、広域的な運動方向は、NW 方向であり、その方向に沿って展張場が形成される。この NE-SW 構造は、この若い、現在も活動中の構造運動に関連して形成されたと考えられる。

鉱化作用は、WNW~NW 系の断層の活動に関連して形成されたと考えられる。鉱化作用に関して重要な構造は、NNW-SSE~NW-SE 系の左横ずれ断層に関係して形成された dilation zone である (Fig.II-1-9)。ただし、このことは、鉱化作用の時代が、フィリピン断層の活動以前であることを意味しない。なぜなら、WNW-ESE 断層は、フィリピン断層活動開始後も再動を繰り返している可能性があり、より若い熱水活動が古い構造線沿いに起こることが、しばしば観察されるためである。

Tiwi 地域では、鉱化作用のポテンシャルをもつ構造的トラップあるいは dilation zones を作り出すのに都合の良い地質構造をもつ。様々な特徴を解析する過程で、Fig.II-1-9) に

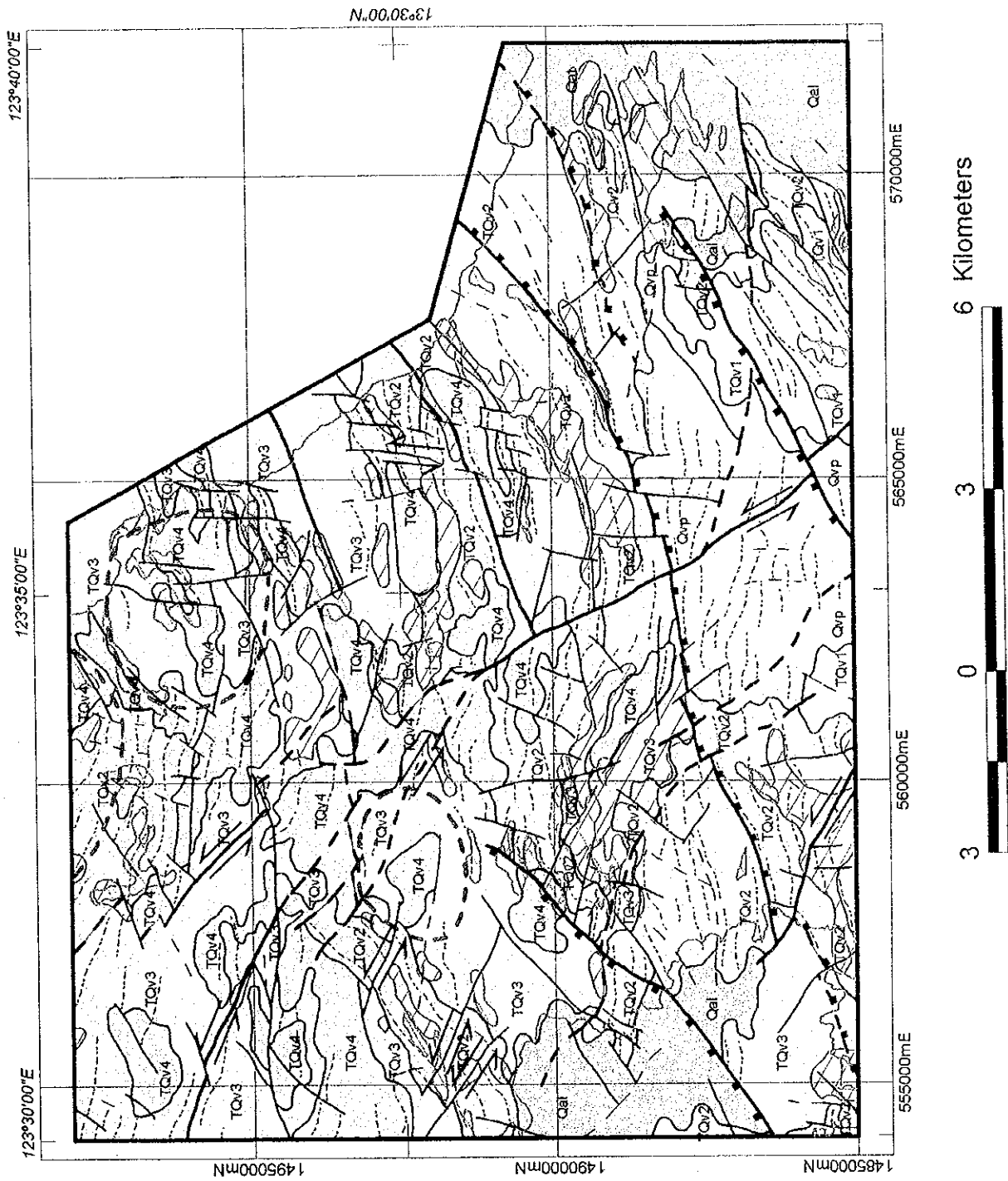
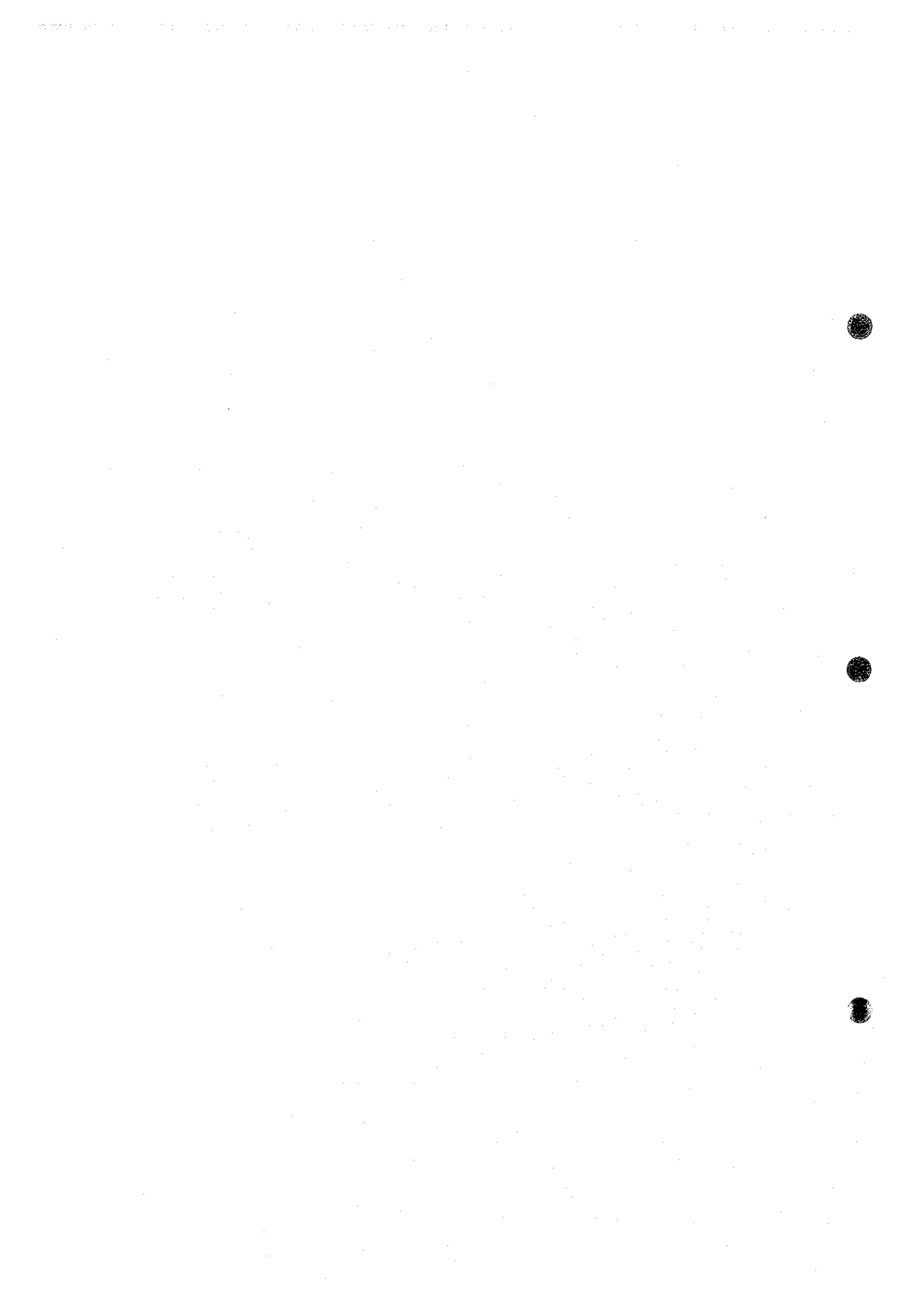











Fig. II-1-7 : Tiwi project area - Philippines. Geological interpretation of Airborne Magnetic and Radiometric Data, and Panchromatic SPOT Imagery. Legends on following pages.




Legend

-  Coastline or Lake
-  Project Boundary


STRUCTURAL SYMBOLS

-  Lithological boundary
-  Linear magnetic trends
-  Major Fault - Confident, Inferred
-  Minor Fault - Confident, Inferred
-  Sense of lateral movement along fault
-  Sense of normal displacement on fault
-  Circular structure, possible volcanic vent or intrusion

MAGNETIC SYMBOLS


-  Zone of reduced magnetic signature, may correspond to areas of demagnetisation of volcanic rocks due to hydrothermal alteration.

RADIOMETRIC SYMBOLS

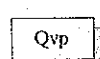
-  Areas of increased potassium signature, may correspond to areas of alunite - kaolin alteration.

AIRBORNE-MAGNETIC UNITS

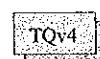
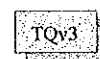
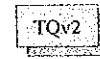
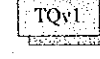
RECENT

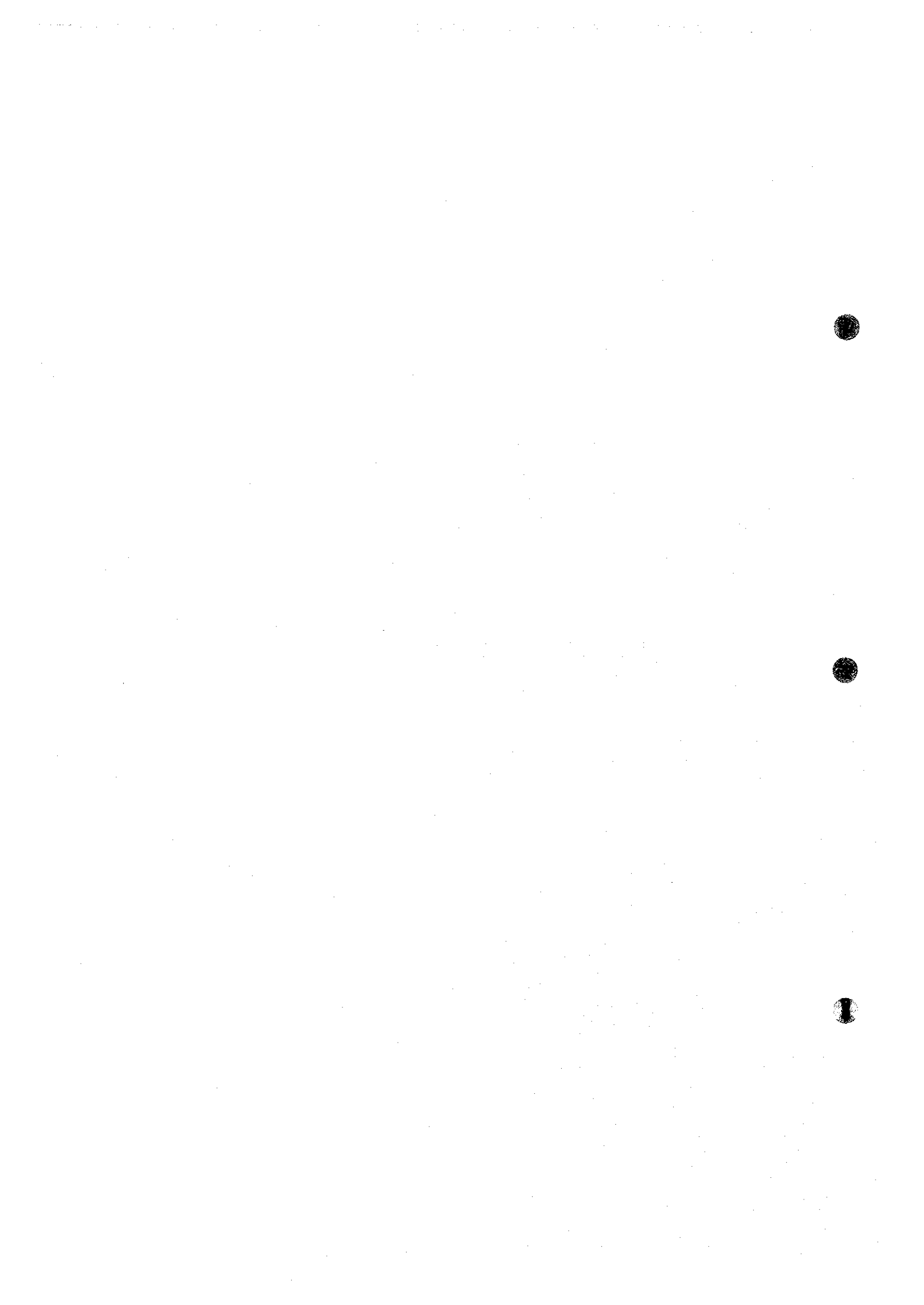
-  Qal Low magnetic signature and flat texture. Topographic low. Very low to moderate Total Radiometric Count. Distribution partially coincident with accumulations of terrace gravels and alluvial deposits.

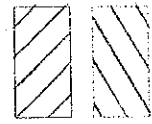
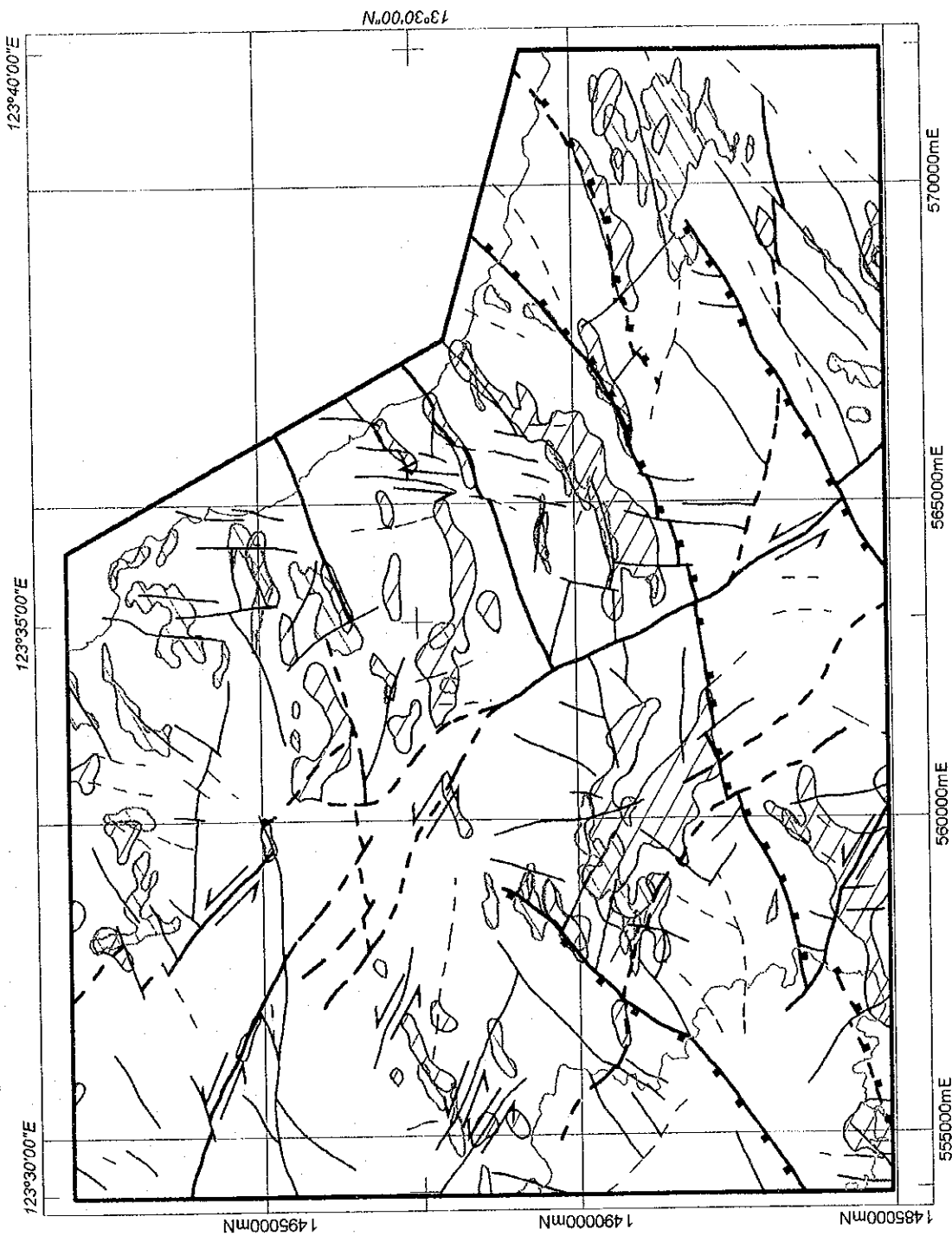
QUATERNARY

-  Qvp Low to moderate magnetic signature and weak to chaotic sub-linear texture. Low Total Radiometric Count. Partially coincident with unit Qvp from the Geological map of the Buhi-western Mt. Malinao area by the BMG Regional Office V (see JMEC report 1998), pyroclastic agglomerate, tuff, pumice and volcanic debris.

LATE TERTIARY TO EARLY QUATERNARY

-  TQv4 High magnetic signature and moderate, broad-wavelength, sub-linear, to undulating rounded texture. May represent a gently dipping, sub-horizontal unit, possibly coincident with andesitic and dacitic flows.
-  TQv3 Moderate magnetic signature and a flat to weak, sub-linear texture. Due to the muted linear texture, this unit may represent a thin weakly magnetic unit stratigraphically higher than unit TQv2.
-  TQv2 Low to moderate magnetic signature and well-defined strong, linear texture. Possibly coincident with pyroclastic deposits and andesitic and dacitic flows.
-  TQv1 Moderate to high magnetic signature and strong, broad-wavelength, linear texture. Moderate to high Total Radiometric Count. May correspond to andesitic and dacitic flows.





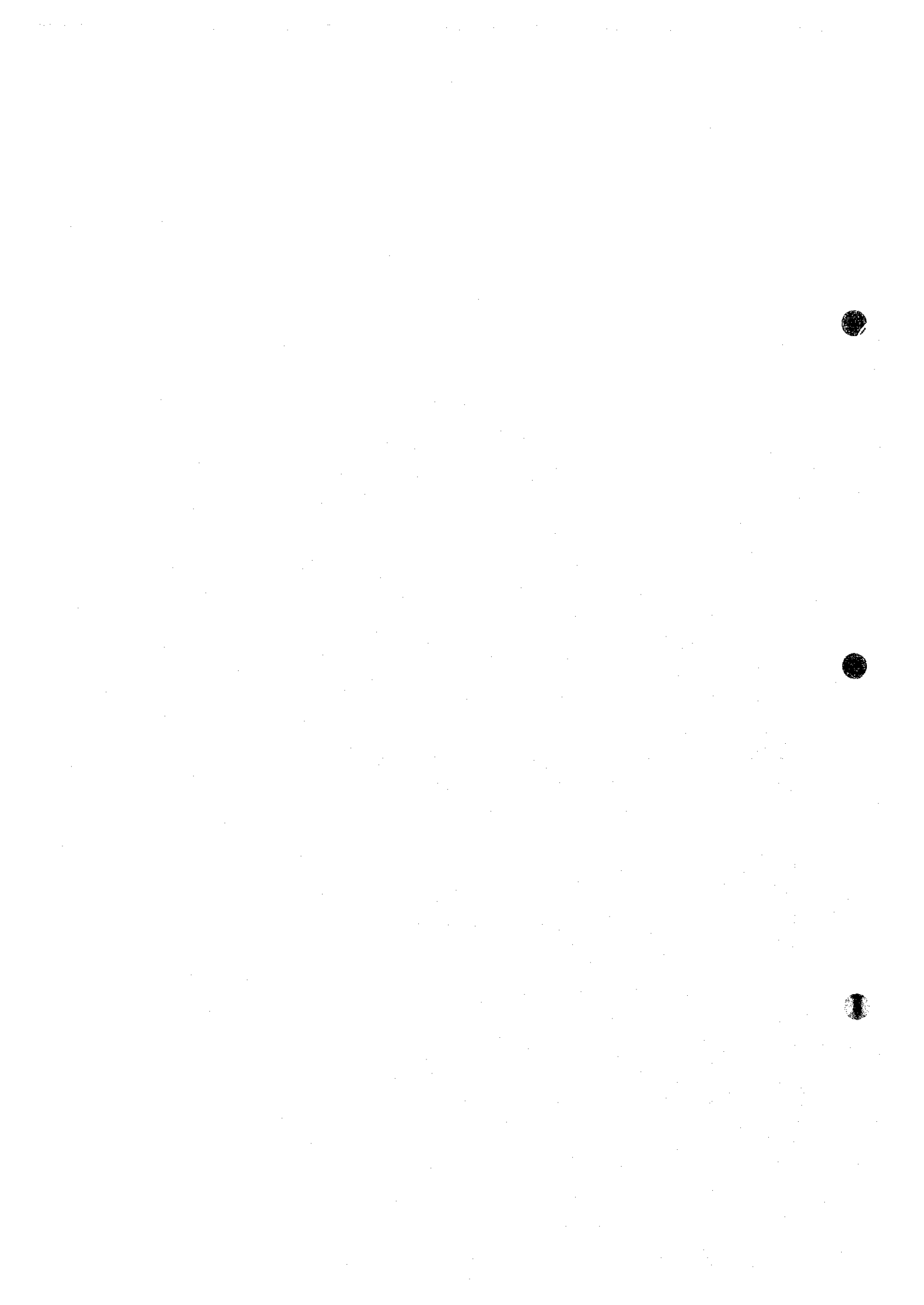
Zone of reduced magnetic signature, may correspond to areas of demagnetisation of volcanic rocks due to hydrothermal alteration.

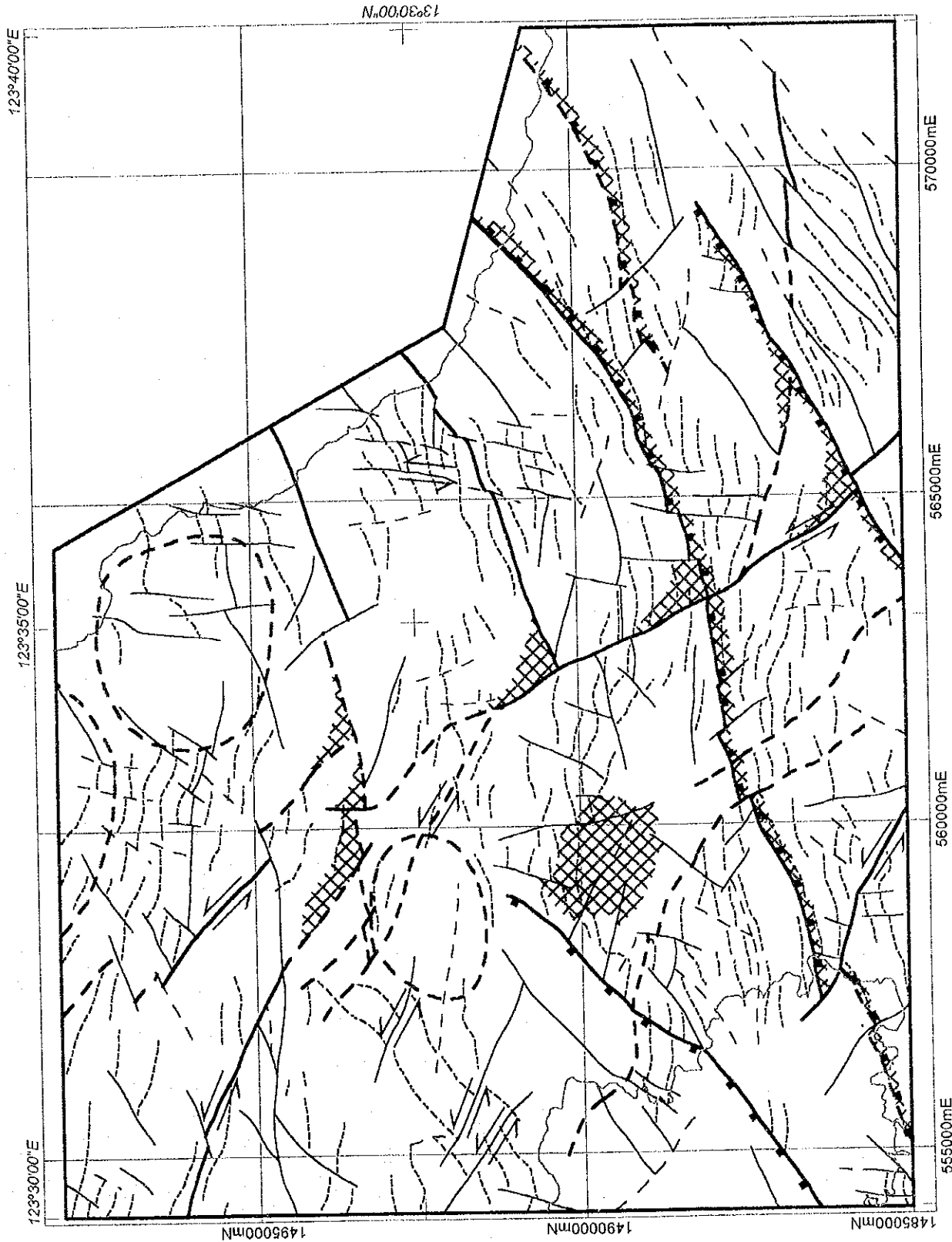
Areas of increased potassium signature, may correspond to areas of alunite - kaolin alteration.

6 Kilometers



Fig. II-1-8 : Tiwi project area - Philippines. Magnetic lows and Potassium highs combined with faults from aeromagnetic interpretation.





- ⇌ Sense of movement
- ⋈ Coastline or lake
- ⋈ Circular feature
- ⋈ Magnetic trends
- ⋈ Major Fault - Confident
- ⋈ Major Fault - Inferred
- ⋈ Minor Fault - Confident
- ⋈ Minor Fault - Inferred
- ⋈ Project Boundary
- ⊗ Possible dilation zone



Fig. II-1-9: Structural Interpretation with possible zones of dilation

