

Sikhote-Alin 南部の磁気異常分布と火成岩類

佐藤興平¹⁾・石原丈実²⁾・A. A. Vrublevsky³⁾・石原舜三⁴⁾

1. はじめに

ロシア南東端のシホテアリン(Sikhote-Alin)地域には、白亜紀-古第三紀の酸性火成岩類が広く分布し、その一部に錫・タングステン・鉛-亜鉛などの鉱床を伴う(例えば、佐藤ほか, 1993)。これらは80-50 Ma 頃の火成活動で形成されたと考えられており、西南日本内帯に広く分布する同時期の酸性火成岩類やこれに伴う鉱床と類縁関係にあるとみられる。中新世に日本海が形成される前には、シホテアリン地域と日本列島はひと続きの地帯を構成していた可能性が高い。しかし、日本列島の花崗岩岩石区や鉱床生成区がシホテアリン地域のそれとどのような関係にあるのかは、興味深い課題であるが、詳しい事は判っていない(佐藤ほか, 1993)。

日本の花崗岩類とこれに伴う鉱床については、1960-70年代に放射年代や帯磁率やイオウ同位体組成などの定量的データが蓄積され、1980年代には日本列島とほぼ平行な帯状配列を示す花崗岩岩石区と鉱床生成区の枠組みが完成した。この岩石区の認定上最も重要な基準となったのは、マグマの酸化度に起因する花崗岩類の2区分、すなわちチタン鉄鉱系(還元型)と磁鉄鉱系(酸化型)の識別であった(Ishihara, 1977)。この区分については既に多くの解説があるのでここでは繰り返さないが、副成分鉱物として含まれる磁鉄鉱の量を反映した帯磁率を測定する事によって野外でも簡単に識別できるという利点を持っていた。比較的短時間に全国の主要岩体が踏査されたのは、この利点が生かされたからである。いくつかの未調査地域が残されているが、これまでの調査結果は200万分の1あるいは300万分の

1の図面として印刷公表されている(石原ほか, 1992; 佐藤ほか, 1992)。

上記の2区分と鉱床との関係についてみると、最も特徴的なのは錫の鉱化とチタン鉄鉱系花崗岩類との密接な関係である。この関係は日本だけでなく世界のほとんどの地域で認められる。錫に富むシホテアリン地域でも同様の関係が成り立つのかどうかは、今後日本列島との対比を行なう場合最初に検討すべき重要な点である(例えば, Sato et al., 1992)。石原(1980)はシホテアリン南部のKavalerovo 鉱床地域を訪問した報告の中で、磁鉄鉱系火成岩類卓越地帯に多量の錫石が産するという点で、シホテアリン南部は世界的には特異な地域であると指摘している。この事は前報でも触れたが(佐藤ほか, 1993)、実態は不明のままである。旧ソ連の文献には、磁気異常分布や花崗岩類の磁氣的性質に触れた興味深い研究も見られるが(カルニッチ, 1971; Romanovskii, 1976; 1989)、詳細は明らかでない。また、シホテアリン地域は植生が密で開発も進んでいないため、地表の地質調査は困難を極めるといふ。まして外国となれば、広域的な現地調査の実現性も当面ない。そこで、間接的な手法ではあるが、磁気異常分布図から火成岩類の磁氣的性質を推定する事を試みた。上に述べた花崗岩類の2区分は、地表調査が困難な地域でも、空中磁気探査による推定がある程度可能であるという点でも優れていると言えよう。

ここで用いたのはソ連地質省発行の250万分の1磁気異常図である(USSR Ministry of Geology, 1977)。これは18枚で旧ソ連全土をカバーしており、現在入手可能な図面としては最も精密なものと思われる。対比に用いた地質図は、これと同じ図法

1) 地質調査所 鉱物資源部
2) 地質調査所 海洋地質部
3) Institute of Complex Analysis of Regional Problems, Russian Academy of Sciences
4) 工業技術院(現在:北海道大学理学部)

キーワード: ロシア, シホテアリン(Sikhote-Alin), プリモリーエ(Primorye), 火成岩, 花崗岩, 鉱床, 磁気異常, 帯磁率

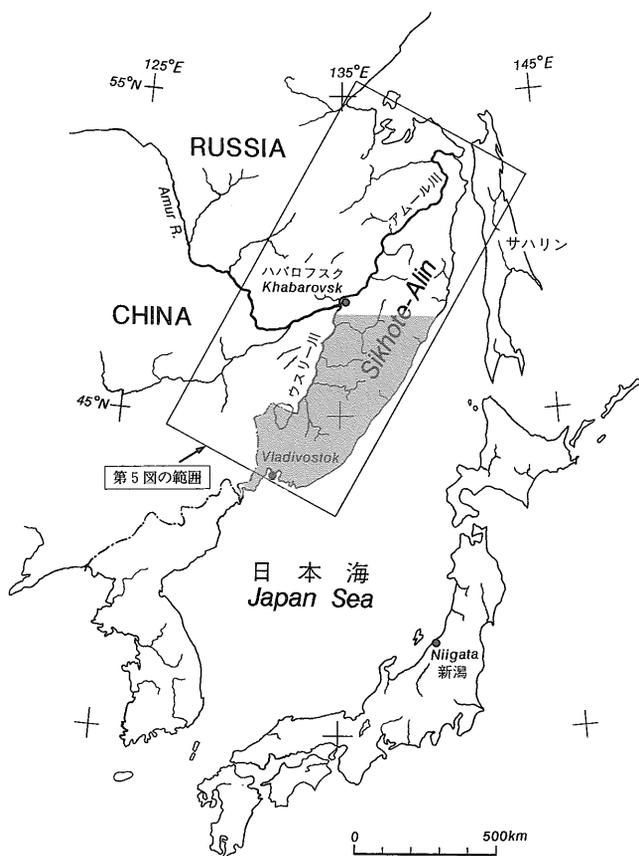
および縮尺で印刷された Kosygin and Ponoko 編集 (1987) の図面で、必要に応じて Shilo et al. (1982) の地質図(150万分の1)も参照した。これらの地質図は、その後公表されたものを含めても、入手可能な広域地質図としては最も詳しい資料と判断された。これらには付加体の概念は取り込まれていないが、ここでの目的には差し支えない。磁気異常をおこすのは、言うまでもなく磁性岩体であって、成因はともかく堆積岩類が磁気異常の原因となる事は一般的には考えられないからである。

磁気異常図と地質図を比較検討する作業と併せて、地質調査所が保管するシホテアリン南部の岩石試料45個(注1)の帯磁率も測定した。この試料は、地質標本館開設時に、ウラジオストックのソ連科学アカデミー極東地質学研究所から交換試料として寄贈されたもので、大半が後期白亜紀の花崗岩類からなり、ここでの目的にうってつけである。数は多くないが、これらは地表調査に代わる役割を果たすと期待される。ただし寄贈標本の多くは正確な帯磁率測定には十分な大きさがなく、本稿に記する測定値は真の値より幾分小さい(注2)。

2. シホテアリンの地質と鉱床の概略

シホテアリン山脈は日本海岸沿いの低平な山岳地帯である。山脈の名前からこの地帯はシホテアリン地域と呼ばれるが、行政区分では南半分がプリモリエ地方(Primorye-krai)に、北半分がハバロフスク地方(Khabarovsk-krai)に属し、全体として日本の本州に相当する広がりを持つ(第1図)。ここで取り上げるのはプリモリエ地方で、シホテアリンの主要鉱床はこの地方に産する(佐藤ほか, 1993)。プリモリエは錫が多産する事で特徴づけられるが(例えば, Gonevchuk et al., 1987), Vostok-2 のような大規模なタングステン・スカルン鉱床や Dalnegorsk の鉛-亜鉛スカルン鉱床群も知られている(注3)。

シホテアリン地域は、ジュラ紀-前期白亜紀には海洋プレートの沈み込み帯に位置し、付加体が発達した。陸源の堆積物と深海底の堆積物や火山岩類が渾然一体となった付加体が、現在の位置関係では、先カンブリア紀-古生代の変成岩や火成岩などからなるハンカ(Khanka)地塊の東側と北側にこれをと



第1図 シホテアリン(Sikhote-Alin)南部
(図の網かけ部)。

りまくように分布している(第5図参照)。この地域は後期白亜紀-古第三紀には大規模な酸性火成活動の場となり、花崗岩類の貫入に伴って錫・タングステン・鉛-亜鉛などの大規模な鉱床が形成された(佐藤ほか, 1993参照)。付加体に含まれる異地性の石灰岩体(古生代-三畳紀)はスカルン鉱床の母岩として重要な役割を果たした。錫や鉛-亜鉛の主要鉱床は比較的浅成とみられ、鉱床の近傍には酸性火山岩類も分布する。いずれにしても、シホテアリン地域の地質は、大局的にみれば、主に堆積岩からなるジュラ紀-前期白亜紀の付加体と後期白亜紀-古第三紀の火成岩類に大別されよう。前者は磁気異常の要因とはならないであろうから、磁気異常図から火成岩類の磁気特性を把握できると期待される。ただし、この地方には新第三紀以降にも散点的ながら苦鉄質な火山活動が生じており、この分布が下位の地質体の磁気特性を隠している場合がある。また、古生代の地質体がナップとして中生界を被って

いる地域もあるので(例えば, Khanchuk, 1992), 磁気異常の検討にあたっては古生代や新第三紀以降の火成岩類にも注意を払う必要がある。

3. シホテアリン南部の火成岩類の分布

第2図にはプリモリーエ地方を含む北緯48度以南の花崗岩類と火山岩類の分布を示した。Kosygin and Popeko (1987)に基づき, 火成岩類は(1)古生代, (2)白亜紀-古第三紀, および(3)新第三紀-第四紀に3大別してある。

(1) 古生代

古生代の火成岩類は, 中生代の付加体に含まれる異地性岩塊を別にすれば, ハンカ(Khanka)湖周辺のハンカ地塊に分布する(第5図参照)。ハンカ地塊の東縁はナホトカ(Nakhodka)付近を通過してシホテアリン中央断層(Central Sikhote-Alin Fault)と平行に伸びる断層(Arsenyevsky Fault, Khanchuk et al., 1989)とされるが, その東側つまりナホトカの北東方にもいくつかの古生代の岩体が記されている(第2A図の矢印)。ただしこれらを白亜紀とする地質図もある(Shilo et al., 1982)。この付近では古生代の地質体がナップとしてジュラ系の上ののった構造をなすとされ(Khanchuk, 1992), 古生代と白亜紀の火成岩類が混在するというのが実態らしい(第8図参照)。

古生代の花崗岩類の大半はシルル-デボン紀もしくは二疊紀の岩体で, 一部にカンブリア紀の岩体も見られる。岩質としては, 花崗岩を主とし花崗閃緑岩は少ない。ハンカ湖東方には両雲母花崗岩も露出する。火山岩類は流紋岩とデイサイトが卓越し, 少量の安山岩-玄武岩も産する。白亜紀-古第三紀の火成岩類と比べると, 古生代の火成岩類は全体としてSiO₂に富むと言えよう。

(2) 白亜紀-古第三紀

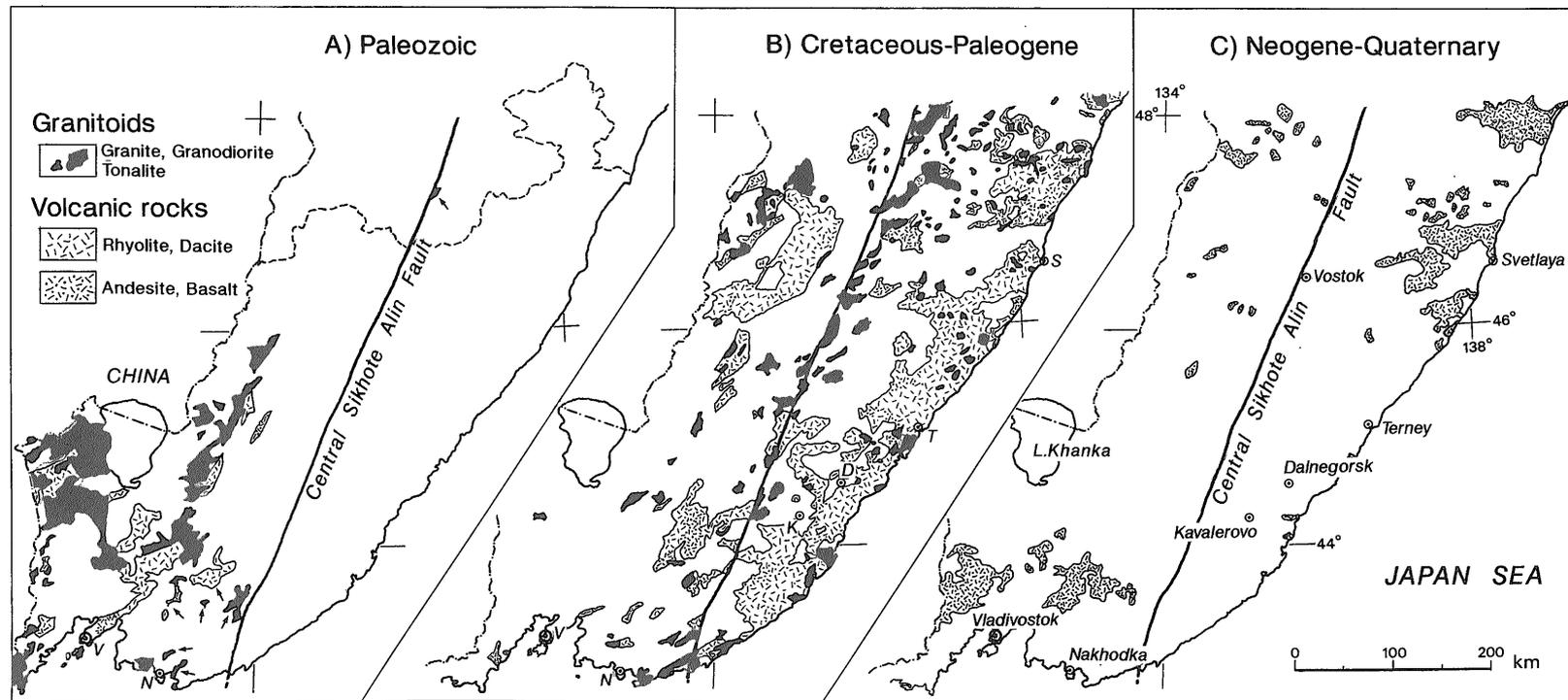
この時期の火成岩類はシホテアリン全域に広く産するが, 第2図の範囲では特に日本海岸沿いの500 kmに及ぶ連続した火山岩類の分布と, シホテアリン中央断層沿いに密集した花崗岩質岩体の露出が注目される。火成岩類の分布の大半はハンカ地塊の外側であるが, その内部にも及んでいる。火成活動の時期は, 主に後期白亜紀であるが始新世まで続いたらしい。Kosygin and Popeko (1987)やShilo et al.

(1982)の地質図では, この時期の火成岩類の大部分が後期白亜紀とされており, 古第三紀のものは主にシホテアリン中央断層の東側にわずかに分布するだけである。

後期白亜紀-古第三紀の花崗岩類は, 主に花崗岩と花崗閃緑岩からなり, 一部はトータル岩-閃緑岩質で, 古第三紀岩体にはアラスカイト質花崗岩も見られるという。Kosygin and Popeko (1987)やShilo et al. (1982)の地質図を見る限り, 岩質には余り明瞭な広域変化は認められないが, 比較的苦鉄質な花崗閃緑岩-閃緑岩質岩体は北緯46度以北のシホテアリン山脈北半分に多いようである。ただしKosygin and Popeko (1987)によれば, Vostok周辺とその北方のシホテアリン山脈西斜面には, Alに富む両雲母花崗岩-花崗閃緑岩からなる岩体も露出する。このようなS-type的な花崗岩類は, Vostok-2タングステン・スカルン鉱床(佐藤ほか, 1993参照)の形成に関係した可能性があり, 鉱床学的にも興味深い。その一部はK₁₋₂(前期-後期白亜紀)に区分されており, より苦鉄質な岩体の活動に先行したらしい。しかし, 花崗岩類の岩質や時代の広域変化については, 火山岩類についてと共に, 後で述べるように, 更に定量的なデータを蓄積したうえで議論する必要がある。鉱床についても同様である。

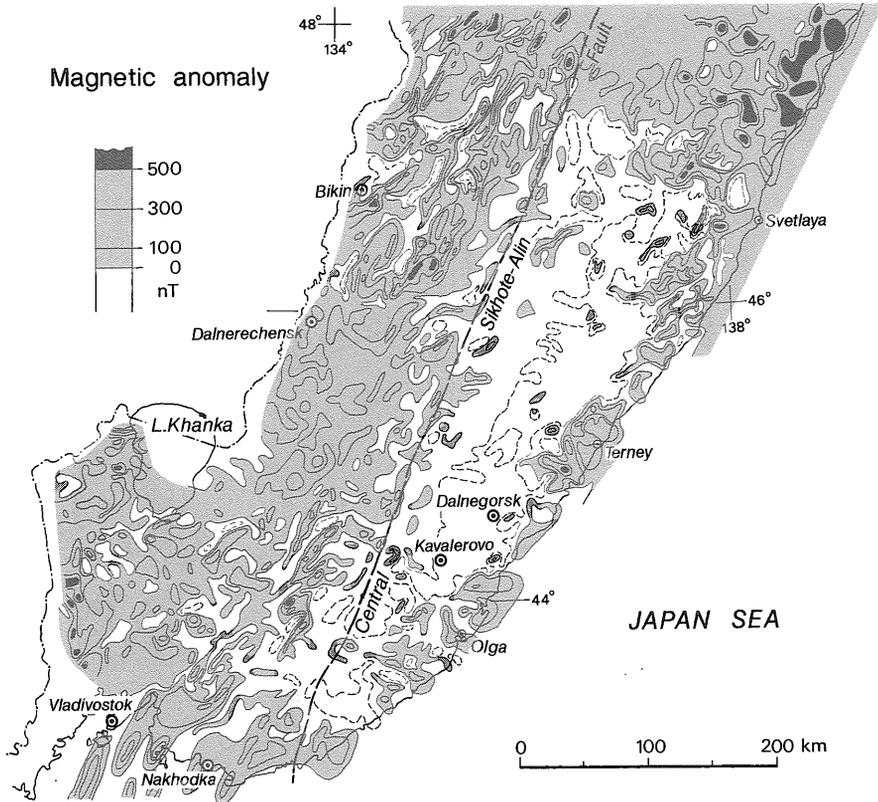
後期白亜紀-古第三紀火山岩類は, 主に流紋岩とデイサイトからなり安山岩がこれにつぐ。漸新世-始新世の火山岩類は主に安山岩-玄武岩質(一部アルカリ岩質)とされているので, 時代が新しくなるほど火山活動がより苦鉄質なものと変わっていったのかも知れない。

Baskina and Volchanskaya (1972)は, Terney付近からSvetlaya付近までの300 km余りの日本海岸地域から採取した火成岩70個のK-Ar年代を報告している。いずれも全岩について得られたデータであり, 測定試料の詳しい記載が無いため年代値の信頼度に疑問が残るが, 大半の結果が65-40 Maという漸新世-始新世の年代を示すという点が注目される。しかし彼女らが年代を検討した地域の火成岩類は, Kosygin and Popeko (1987)だけでなくShilo et al. (1982)の地質図でもほとんど全て後期白亜紀とされている。地質図の編纂にあたって放射年代がどう取り扱われたのかは判らないが, 火成岩類の詳しい時代区分については検討の余地がありそうであ



第2図 シホテアリン南部における火成岩類の分布。

A) 古生代 (Paleozoic), B) 白亜紀-古第三紀 (Cretaceous-Paleogene), C) 新第三紀-第四紀 (Neogene-Quaternary). Kosygin and Popeko (1987) による。A) の矢印を付した岩体については、白亜紀とされていたり、あるいは図示されていない文献もある (例えば, Shilo et al., 1982; Khanchuk, 1992)。A 図の鎖線はプリモリーエ・ハバロフスク両地方の境界。



第3図 シホテアリン南部の磁気異常分布。
 USSR Ministry of Geology (1977)による。
 正の異常域を網かけて示す。負異常域には-100 nT(ナノテスラ)の等値線のみを鎖線で示した。

る。火成活動の性質が時代と共にどう変わっていったかというような議論は、詳しい年代を広域的に検討したうえで行うべきであろう。

(3) 新第三紀-第四紀

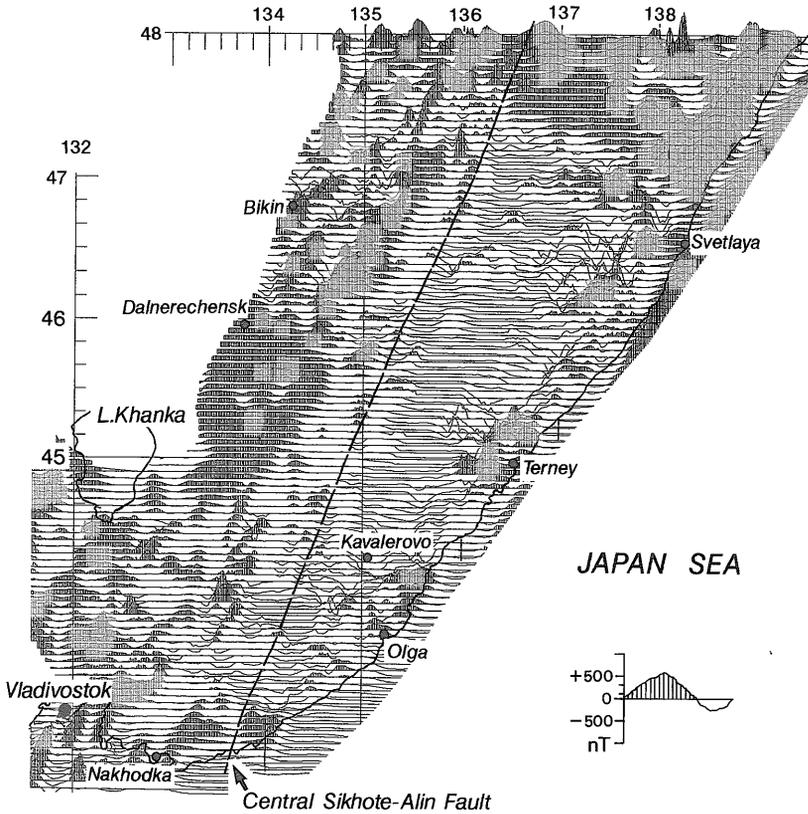
この時代の火成岩は主に玄武岩質火山岩からなり、シホテアリンの全域に点在する。鮮新世-第四紀の玄武岩類は、第2図の範囲でもその全域に散在し、ウラジオストック(Vladivostok)付近ではかなり広い分布面積を占める。中新世の火山岩類は北緯46度付近より北側の日本海岸沿いに集中し、サハリン対岸の沿岸部では、鮮新世-第四紀の玄武岩類と共に基盤を広く被っている。

4. シホテアリン南部の磁気異常分布

第2図に対応する地域の磁気異常分布を、第3図にはコンターで、第4図には波長と振幅の関係を見やすくするためプロファイルで示した。いずれもソ連地質省発行の磁気異常図(USSR Ministry of Geology, 1977)に基づく。まず広域分布の特徴を概観し、次に火成岩の分布との対応を検討しよう。

(1) 広域分布

本稿の主題ではないが、この地域の地体構造(第5図参照)と磁気異常分布のあいだに興味深い対応関係が見られるので、初めにそれについて触れておこう。まず注目されるのは、シホテアリン中央断層(Central Sikhote-Alin Fault)を境として西側に正の異常が、東側に負の異常が卓越する事である(第3図)。東側でも、日本海岸沿いに比較的短波長で振幅の大きな正異常が点在し北に続く。この沖合いに



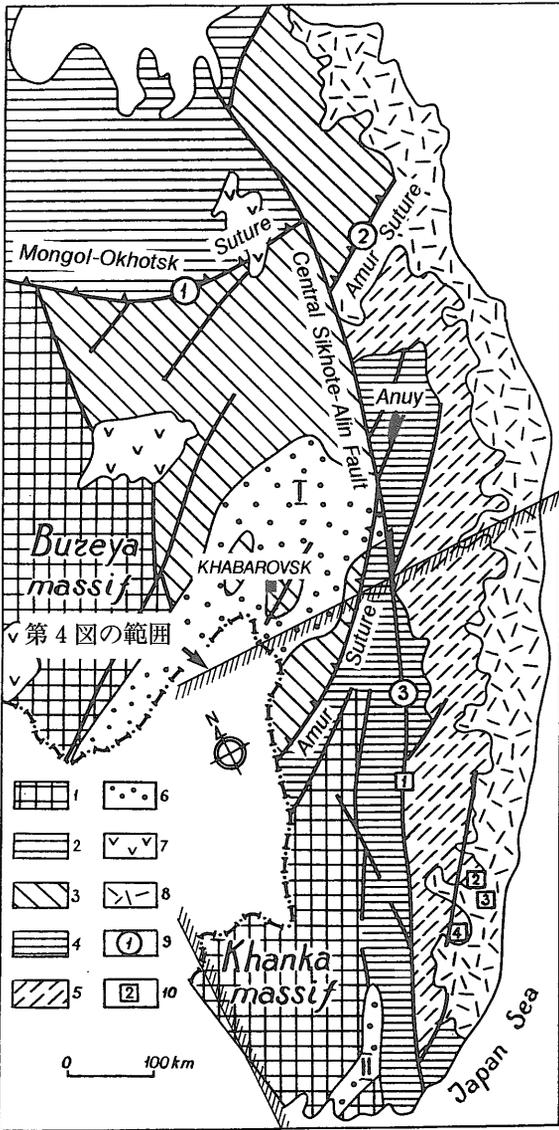
第4図 シホテアリン南部の磁気異常のプロファイル。緯度3分20秒間隔で、正の異常をハッチで示す。メルカトル図法。USSR Ministry of Geology (1977)の図をデジタル化したNOAA(米海洋大気局)配給のデータより作成。

は、幅25-50 km の正異常帯がシホテアリン中央断層と平行に走る(第3-4図では北東沿岸域を除き省略)。この東西の顕著な差異はしかし北緯47度付近から北側では不明瞭になり、シホテアリン中央断層の東側でも比較的長波長の正異常が卓越し、日本海沿いの大きな正異常がその上に上乘せされたようなパターンを示す。

第4図ではハンカ地塊北部Dalnerechensk南方の平坦な正異常域が目立つ。この区域からシホテアリン中央断層までの地帯は、磁気異常が0-100 nT(ナノテスラ)と小さいため目立たず、上記の正異常域との間に大きな境界が存在する事が示唆される。この境界は、ハンカ地塊の東縁をシホテアリン中央断層と平行に走る断層(Arsenyevsky Fault)と関係していよう(第5図)。Dalnerechensk南方と似た正異常域は第4図のシホテアリン中央断層北端部にも認められる。この区域とその南側は、第2および5図に示すように、いずれもジュラ紀-前期

白亜紀の付加体が後期白亜紀の花崗岩類に貫かれた地域で、地質の差異は無いとされる。しかし北緯47度付近を境とするこの磁気異常の顕著な差異は、むしろこの付近を境にして地殻の深部構造が南北で異なる事を示唆しているようにも思われる。この地域北方のAnuy川上流には、小規模ながら先カンブリア紀-古生代の地質体が露出しており(第5図のAnuy)、変成岩について488-417 Maと291-211 Maの2群の放射年代が得られている(Sobolev et al., 1982)。この地質体の帰属は明らかにされていないが、伏在する微小陸塊の一部である可能性もあり(例えば、Natalin, 1993)、磁気異常分布の解析にあたって今後念頭に置くべきであろう。シホテアリン北部を含む広域的な磁気異常分布については、稿を改めて検討したい。

地質構造との関係で注目されるもうひとつの点は、シホテアリン中央断層西側の中国国境に近いBikinから北東に伸びる明瞭な磁気異常である。こ



第5図 シホテアリンとその周辺地域の地質構造区分。
 1. 先カンブリア紀-古生代の地塊, 2. Mongol-Okhotsk 褶曲スラスト帯, 3. Badzhal-Amur 褶曲スラスト帯, 4-5. Sikhote-Alin 褶曲スラスト帯(4. ジュラ紀付加体, 5. 前期白亜紀付加体), 6. 内陸堆積盆, 7. 前期白亜紀 Khingan-Okhotsk 火山岩地帯, 8. 後期白亜紀-新生代火山岩地帯, 9. 主な断層, 10. 主な鉱床。詳しくは、佐藤ほか(1993)参照。

これは Amur Suture にほぼ一致する。断層沿いに産する付加体中の苦鉄質火山岩類(Kosygin and Popeko (1987)では三疊紀-ジュラ紀)が磁気異常の原因となっている可能性がある。

(2) 火成岩類と磁気異常分布

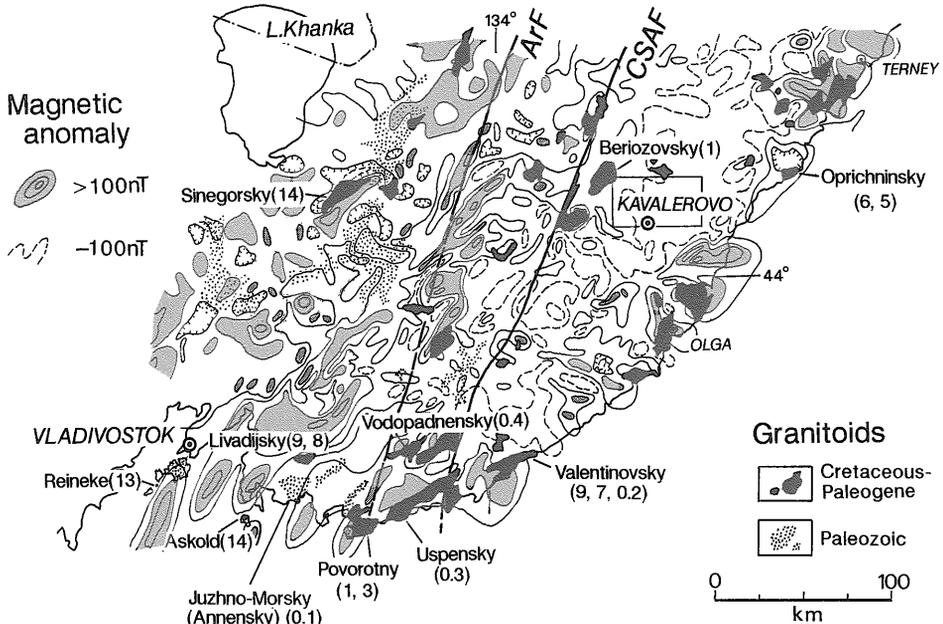
本稿の主目的は鉱化作用を伴う白亜紀-古第三紀火成岩類の磁氣的性質を推定する事にあるが、他の時代の火成岩類にも注意を払う必要がある。ここでは第2図と第3-4図を比較検討すると共に、帯磁率の測定結果についても触れよう。

A) 古生代

ハンカ地塊には古生代の花崗岩と酸性火山岩類が広く露出する(第2図A)。しかし、火成岩体の地表分布と磁気異常のパターンには明瞭な対応が見られず、少なくとも古生代火成岩類の多くが磁鉄鉱に富むとは考えられない。この地域に卓越する正の磁気異常は、振幅の比較的小さな長波長成分が卓越する事から、むしろ地殻の深部に原因を求めべきだと思われる。実際に帯磁率を測定した4個の花崗岩試料は、ビョートル大帝湾岸で採取されたものであるが、このうち3個は $0.5 \times 10^{-3} \text{SI}$ 以下というきわめて低い値を示し、磁鉄鉱を欠くとみられる。ただし、ウラジオストック南西の Reineke 島で採取された1試料は $12 \times 10^{-3} \text{SI}$ を超える高い帯磁率を示し、岩体南側の海域に著しい正の磁気異常を伴っている(第3, 6図参照)。ハンカ湖南西の磁気異常にも同様の原因が考えられるが、詳細は不明である。古生代の花崗岩類には磁鉄鉱に富むものとこれに乏しいものと2種が含まれる事は確かなようであるが、古生代という長い地質時代を更に区分してみたときに2種の花崗岩類の時空分布がどうなっているかというような事は、今回の検討からは判然としない。

B) 白亜紀-古第三紀

シホテアリン中央断層西側の特にハンカ地塊の磁気異常の一部は後期白亜紀火成岩体に起因するとみられる。第6図には、シホテアリン地域南端部の花崗岩類と磁気異常の分布を示した。ハンカ地塊に貫入した Sinegorsky 岩体とウラジオストック南東の Askold 島の試料はいずれも $14 \times 10^{-3} \text{SI}$ という高帯磁率を示す花崗閃緑岩であって、これらの岩体には顕著な磁気異常を伴っている。一方、Olga から Terney に至る日本海岸の磁気異常は花崗岩類の露出とほぼ対応しており、Oprichnisky 岩体の試料で $5-6 \times 10^{-3} \text{SI}$ という比較的高い帯磁率が得られた事から、これら海岸沿いの岩体は比較的高い磁鉄鉱に富むと推察される。詳しい採集地点は不明だが、こ



第6図 シホテアリン南端部の磁気異常と花崗岩類の分布. 磁気異常は USSR Ministry of Geology (1977) による. +100 nT 以上の異常域を網かけで表わし, 負異常域には-100 nT の等値線のみを鎖線で示した. ケバ付きの閉鎖曲線は内側が負の異常域であることを示す. 花崗岩類の分布は Kosygin and Popeko (1987) の一部を Shilo et al. (1982) を基に改変. 岩体や島の名称に付した括弧内の数字は, 地質調査所に寄贈された試料の帯磁率測定結果 (単位: $\times 10^{-3}$ SI, Kappa meter KT-5 による). 岩体名は寄贈リスト (英語) に記された形容詞型のまま. CSAF: Central Sikhote-Alin Fault (シホテアリン中央断層), ArF: Arsenyevsky Fault. Kavalerovo 付近の矩形は佐藤ほか(1993)の第7図の範囲.

の付近の火山岩類7個のうち5個は $5-37 \times 10^{-3}$ SI という高い帯磁率を示し, 火山岩類も海岸地帯の磁気異常の一翼を担っていると考えられる. 地質図ではこれらはいずれも後期白亜紀とされているが, 上記の高帯磁率火山岩標本のうち4個は寄贈リストでは古第三紀とされている. すでに述べた K-Ar 年代データとあわせ, この地帯の磁気異常は主に古第三紀火成岩類に起因する可能性が高いように思われる. これが正しいとすると, 日本の中国地方と似た関係が成り立つ事になり, この地帯の火成岩類についての詳しい年代学的検討が待たれる.

上に述べたハンカ地塊と日本海岸地帯との中間地帯は, 振幅の比較的小さな長波長の異常が卓越し, シホテアリン中央断層東側の負異常域は海岸近くまで広がっている (第3, 4図). この事は, この地帯の火成岩類が全体として磁鉄鉱に乏しい事を示唆する. 測定した花崗岩類の帯磁率も 0.5×10^{-3} SI 以下の低い値が多く, この推定を裏づける. Vostok-2 タングステン鉱床付近にも高磁性岩体の存在を示す

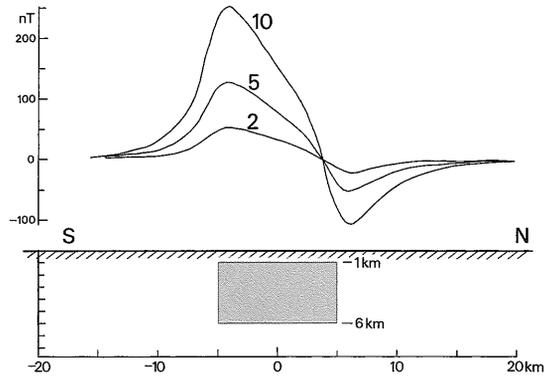
磁気異常は認められないので (第2, 3図参照), この鉱床をもたらし花崗岩類も磁鉄鉱を欠くかこれに乏しいと考えられる. ただし, シホテアリン中央断層周辺で採取された花崗岩類の中には, $1-9 \times 10^{-3}$ SI の帯磁率を示す試料も少数ながら含まれており, 全ての岩体が磁鉄鉱に乏しいという訳ではない. 詳しく見ると, こうした岩体は何らかの磁気異常を伴っており, 用いた磁気異常図の精度の高さも確認される結果となった. 第3および4図に見られる局所的な異常はこうした磁性岩体を反映しているのであろう.

さて, この“中間地帯”に関して検討しておかなければならないもうひとつの点は, 火山岩類の広範な分布である (第2図B). 日本海側の火山岩類は海岸付近の正異常域だけでなく内陸深く“中間地帯”まで広がっているが, 錫鉱床群で知られた Kavalerovo 地域 (石原, 1980; 佐藤ほか, 1993) も含め, その分布と磁気異常パターンとの間には明確な対応が見られない. 少なくとも内陸よりの火山岩

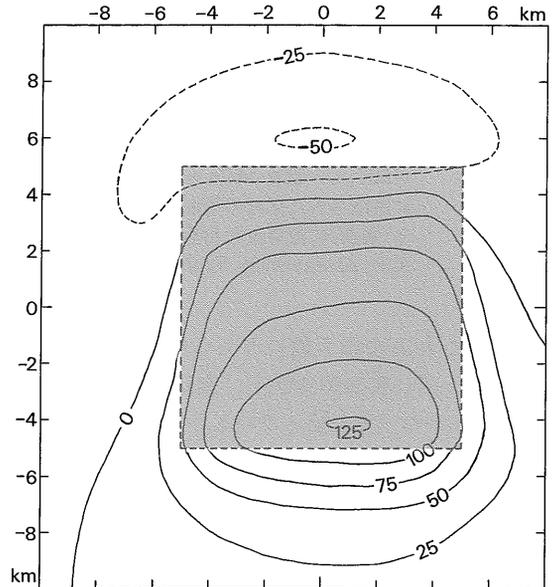
類は、磁鉄鉱を欠くかこれに乏しいと推察されるので、顕著な磁気異常を伴う海岸沿いの火成岩類と同類のものかどうかは疑わしい。第2図Bには一括して示されているが、内陸側で後期白亜紀、海岸沿いでは古第三紀というような活動時期の差がないのかどうか検討する必要がある。

ところで、Kavalerovo 付近にはシホテアリン地域で最も重要な錫鉱床が密集しており、本稿にとって重要なのもう少し検討してみよう。主な鉱床は第6図に示した矩形の範囲に分布する(佐藤ほか, 1993参照)。この範囲は全体が負の異常域に含まれるが、詳しくみるとその内部は均一ではない。磁気異常パターンと地表の火山岩類の分布の間に明瞭な対応関係は見られないので、鉱床周辺の火山岩類は磁鉄鉱に乏しいと推定されるが、地下には磁性岩体が伏在する可能性が考えられる。磁気異常の観測方法やデータの詳細は不明だが、USSR Ministry of Geology (1977)の図面には、 -100 nT(ナノテスラ)以下の領域の一部に -300 nTのコンターも描かれており、例えば10 km四方の範囲で最大200 nT程度の振幅の異常が観測されているとみてよいだろう。第7図a, bには、一例として、地下1-6 kmの範囲に 10×10 kmの磁性岩体が伏在する場合の磁気異常を示した。この岩体が 5×10^{-3} SIの帯磁率を持っていれば、200 nT強の振幅は得られる。もちろん計算上は別の規模や帯磁率であってもよい。問題は、この磁性岩体が鉱化に関係した花崗岩質岩体なのかどうかである。Dubrovsk 鉱山の地表下900 mで、伏在花崗岩質岩体の一部が試錐により捕捉されているという(石原, 1980)。その試料の詳しい観察と共に、新期の岩脈に含まれるという花崗岩質捕獲岩(佐藤ほか, 1993参照)の記載も重要である。新期の岩脈の存在に見られるように、この付近では古第三紀まで火成活動が続いたらしい。地下の構造は第7図のモデルよりもずっと複雑である可能性が高く、磁気異常の原因の解明は今後の課題である。ただ、Kavalerovo 北西のBeriozovskiy 岩体の試料で、弱いながらも少量の磁鉄鉱の存在を示す帯磁率(約 1×10^{-3} SI)が得られている事を考えると(第6図参照)、Kavalerovoの錫鉱床が磁鉄鉱系(酸化型)花崗岩活動に関係した可能性は否定しきれないと言えよう。

以上のように、白亜紀-古第三紀酸性火成岩類に



第7a図 地下の磁性岩体に起因する磁気異常プロファイルの例。磁性岩体(網かけ部)は 10×10 kmで厚さ5 km, 上面が地下1 kmの場合。帯磁率が2, 5, 10×10^{-3} SIの3つの場合につき、観測飛行高度500 mを仮定して計算。



第7b図 帯磁率 5×10^{-3} SIの岩体が、網かけ部の地下1-6 kmに伏在する場合の磁気異常パターン。コンターは25 nT間隔。観測飛行高度500 mを仮定。上が北。左右非対象なのは磁北が西に偏るため。なお、これらのモデルでは、誘導磁化のみを考え、地球磁場として、 $44^{\circ}N135^{\circ}E$ 付近の値: 偏角 -10° 伏角 59° を用いた。

ついてみると、大局的には西のハンカ地塊と日本海岸で高磁性の酸化型(磁鉄鉱系)が卓越し、その中間で低磁性の還元型(チタン鉄鉱系)が卓越するという傾向が指摘される。主な錫・タングステン鉱床はこの中間地帯に分布するが、Kavalerovoの錫鉱床群

については関係火成岩の性質に関して明瞭な結論を下すに十分な判断材料は得られていない。上に述べた東西変化の検証やその原因の考察には、帯磁率や分解能の高い年代データの集積が不可欠である。

C) 新第三紀-第四紀

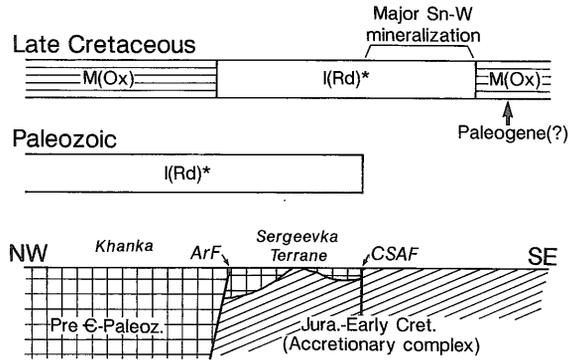
鮮新世-第四紀の玄武岩類は、短波長で振幅の大きい異常を伴っており、磁性岩体として磁気異常分布のかなりの部分を担っていると推定される。実際に帯磁率を測定した4個の試料はいずれも $5-12 \times 10^{-3} \text{SI}$ 以上という高い値を示した。ただし、この時代の玄武岩類の分布と磁気異常パターンが1:1に対応するわけではなく、下位の火成岩類の寄与も考えられる。特に第3図北東端の著しい正異常は、下位の白亜紀(?)-古第三紀の火成岩類にも起因する可能性が高い。なお、Svetlaya 付近の中新世火山岩類は顕著な磁気異常を伴わないがその理由は判らない。詳しい採集地点は不明であるが、中新世玄武岩の1試料は約 $9 \times 10^{-3} \text{SI}$ という高い値を示した。

5. まとめ

磁気異常の検討という間接的な手法ではあるが、シホテアリン南部の火成岩類の磁氣的性質について不十分ながらもある程度の子測を立て、今後の課題を考えてみた。帯磁率を測定した火成岩試料は計42個と少数ではあるが、多くの場合磁気異常図からの推定と調和的であり、この手法がかなり有効であると思われた。第8図は、第6図付近の花崗岩系列の東西変化についての子測を概念的に示したものである。この図では、例えば古生代の花崗岩類を主にチタン鉄鉱系(還元型)としているが、既に述べたように、ここで得られた少数のデータで古生代という長い地質時代の花崗岩類を代表してよいかどうか問題が残る。このほか第6図の範囲に限っても、磁気異常の原因が不明な区域が残されている。詳細な解析にはもちろん地表調査が不可欠であるが、それは筆者らの能力を超えた課題であり、ロシア側関係者による今後の研究に待ちたい。

以下に、シホテアリン南部の磁気異常と地質の関係について調べた結果をまとめておこう。

1) シホテアリン中央断層を境に、全体として西側は正の磁気異常が、東側は負の磁気異常が卓越し、日本海岸沿いには短波長で振幅の大きな正の磁



第8図 シホテアリン南端部における花崗岩系列の東西変化を示す概念図。M(Ox)：磁鉄鉱系(酸化型)、I(Rd)：チタン鉄鉱系(還元型)。I(Rd)*は一部にM(Ox)も産する事が確認された事を示す。M(Ox)地帯にI(Rd)も産するかどうかは明らかでない。下の模式地殻断面はKhanchuk(1992)を簡略化。CSAF: Central Sikhote-Alin Fault, ArF: Arsenievsky Fault. Sergeevka Terraneはカンブリア紀とみられる変成岩や貫入岩類からなり、二畳紀の高圧変成岩(255, 290Ma, Kovalenko and Khanchuk, 1991)を伴う。これらはジュラ紀の付加体の上にナップとしての上るとされる。付加体の発達する地帯が初めて火成活動を受けた“処女地”にI(Rd)が形成される事をこの図は主張するが、この仮説は実地検証による批判を受けなければならない。

気異常が配列する。ただし、この帯状配列は北緯47度付近より北側では不明瞭となる。

2) ハンカ地塊東縁の断層(北部)やAmur Sutureは磁気異常分布にも明瞭に現れている。

3) この地域の短波長磁気異常は主に白亜紀以降の火成岩類に起因するとみられるが、一部の古生代花崗岩体は高い帯磁率を持ち、明瞭な磁気異常を伴う。

4) シホテアリン中央断層周辺に分布する後期白亜紀花崗岩質岩体の多くは、Vostok-2 タングステン鉱床を伴う岩体も含め、顕著な磁気異常を伴わず、磁鉄鉱を欠くかこれに乏しい還元型(チタン鉄鉱系)に属するとみられるが、一部に酸化型(磁鉄鉱系)とみられる岩体も産する。Kavalerovoの錫鉱床群の地下に伏在する花崗岩質岩体については、酸化型の可能性は残るものの、磁気異常図からは明瞭な結論が得られない。

5) 日本海岸沿いの強い磁気異常は、後期白亜紀(?)-古第三紀の酸化型(磁鉄鉱系)火成岩類と新第三

紀以降の苦鉄質火山岩類に起因すると推定される。

6. あとがき

本稿は、既に公表されている磁気異常図と地質図を比較検討したもので、現地調査をふまえたものではなく、その結果にも多くの不確実な点が含まれていることをお断りしておかねばならない。既存資料の間に見られる岩体の分布や年代の不統一の解明も含め、広域的な地表調査による帯磁率や放射年代の検討が今後必要なのは、繰り返し述べてきた通りである。将来共同研究としてこのような検討が可能になる事を望んでいる。

しかし現時点で本稿のような検討をあえて試みた背景には、当面しかるべき現地調査の見込みがない事もあるが、ソ連科学アカデミー極東地質学研究所から寄贈された岩石試料が、現地検証のいわば代役として筆者らを動かす原動力になった事も確かである。同研究所にお礼申し上げると共に、この試料を記載・整理し筆者の一人(佐藤)に検討の機会を与えて下さった元地質標本館の一色直記氏に厚くお礼申し上げる。寄贈試料一覧には、岩石名や時代と共に、岩体名もしくは地名が記されていた。それらの位置は上記研究所の V. G. Gonevchuk 氏および Pacific Institute of Oceanology (在ウラジオストック) の A. N. Malyarenko 氏からもご教示頂いた。両氏にお礼申し上げる。

注 1) R19510-19554. R は地質標本館の岩石標本登録番号。

注 2) 切断や粉碎を避け、Kappa meter KT-5 で測定。試料に十分な大きさがなかったり表面に凹凸があると、測定値は真の帯磁率より小さくなる。チタン鉄鉱系(還元型)と磁鉄鉱系(酸化型)花崗岩類の境界は、SI 単位で約 3×10^{-3} となる。e.m.u./g 単位との関係については佐藤・石原(1983)の第 2 図を参照されたい。

注 3) 日本になじみのない地名や鉱床名は英語表記だけを示した。ロシア語の文献は英訳を示した。

文 献

Baskina, V. A. and Volchanskaya, I. K. (1972): The potassium-argon age of igneous rocks in the eastern Sikhote Alin. Dokl. Akad. Nauk. USSR, **204**, 60-63.
 Gonevchuk, V. G., Kokorin, A. M., Korostelev, P. G., Radkevich, E. A. and Semenyak, B. I. (1987): Tin ore formations in the south of the Soviet Far East. Geol. Pac. Ocean, **3**, 1255-1272.

Ishihara, S. (1977): The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. Mining Geol., **27**, 293-305.
 石原舜三(1980): ソ連プリモリーエの錫鉱床. 地質ニュース no. 308, 36-45.
 石原舜三・佐々木昭・佐藤興平(1992): 日本鉱床生成図 深成岩活動と鉱化作用(2): 白亜紀-第三紀, 地質調査所 1:2,000,000 地質編集図15-2.
 カルニッチ, R. G. (1971): 沿海州附近の地球物理学的観測結果およびその地質学的解釈. 島弧と縁海, 東海大学出版会, 25-30.
 Khanchuk, A. I. (1992): Tectono-stratigraphic terranes of Primorye Territory. In: Y. D. Zakharov, I. V. Panchenko and A. I. Khanchuk eds., A Field Guide to the Late Paleozoic and Early Mesozoic Circumpacific Bio- and Geological Events, IG-CP-272 and 321, Vladivostok, 1992, 1-14.
 Khanchuk, A. I., Golozubov, V. V., Nevolin, P. L., Ratkin, V. V. and Kokorin, A. M. (1989): Geology and tin occurrences of Kavalerovo Region in Primorye. USSR Acad. Sci. Far Eastern Branch, Khabarovsk, 1989, 12p.
 Kosygin, Y. A. and Popeko, V. A. (1987): Map of magmatic formations of Far East USSR, 1:2,500,000. Institute of Tectonics and Geophysics, USSR Academy of Sciences, and USSR Ministry of Geology, GUGK Moscow, 1987 (ロシア語)
 Kovalenko, S. V. and Khanchuk, A. I. (1991): First find of glaucophane shales in Sikhote-Alin. Dokl. Akad. Nauk., USSR, **318**, 692-694. (ロシア語)
 Natalin, B. A. (1993): History and modes of Mesozoic accretion in Southeastern Russia. The Island Arc, **2**, 15-34.
 Romanovskii, N. P. (1976): Magnetic susceptibility and some metallogenic features of granitoids of the east of the USSR. Sov. Geol., no. 12, 64-74. (ロシア語)
 Romanovskii, N. P. (1989): Magmatism-mineralization systems of Asian Pacific mountain belts and their association with deep zones and centers of endogenic activity. Geol. Pac. Ocean, **4**, 268-278.
 佐藤興平・石原舜三(1983): 甲府花崗岩体の帯磁率と化学組成. 地調月報, **34**, 413-427.
 佐藤興平・石原舜三・柴田 賢(1992): 日本花崗岩図, 地質調査所編集: 日本地質アトラス(第2版), 朝倉書店発行.
 Sato, K., Ishihara, S. and Kamitani, M. (1992): Metallogeny of granitoid affinity in East Asia. Abst. 29th IGC, Kyoto, 1992, p. 726.
 佐藤興平・Lavrik, N. I.・Vrublevsky, A. A. (1993): Sikhote-Alin の地質と鉱床. 地質ニュース, no. 468, 16-26.
 Shilo, N. A. and Kosygin, Yu. A. eds. (1982): Map of Volcano-Tectonic Structures of the Near-Shore-Continental Part of the Far East USSR, 1:1,500,000. (ロシア語, 凡例に英対訳付)
 Sobolev, V. S., Lepezin, G. G. and Dobretsov, N. L. eds. (1982): Metamorphic Complexes of Asia., Nauka, Moscow, Pergamon Press, Oxford, 349p.
 USSR Ministry of Geology (1977): Magnetic Anomaly Map of USSR, 1:2,500,000. (ロシア語)

SATO Kohei, ISHIHARA Takemi, ANATOLY A. VRUBLEVSKY and ISHIHARA Shunso(1993): Distribution of magnetic anomalies and igneous rocks in southern Sikhote-Alin, Far East Russia.

〈受付: 1993年7月14日〉

〔追記〕本稿寄稿後、思いがけずハバロフスク地方訪問が実現した。旅行の一端を本号口絵の第4頁に紹介した。