

ロシア共和国, プリモーリエ準州の主要鉱床, 特にスズ-ベースメタル鉱床とインジウム資源

石原舜三¹⁾

1. はじめに

日本海の反対側, 近くて遠かったプリモーリエへの金属鉱床への最初の旅は, 私にとっては思い出が深く忘れることが出来ない. それは, 丁度, 研究所のつくば引越しの年, 1979年8月のことであった. 極東ロシアのハバロフスクが第14回太平洋学術会議の開催によって初めて外国人に解放された. 鎖国政策を採り続けた旧ソ連の極東地域の地質と鉱物資源に対する関心は高く, 日本から多数の参加者があった. 私も西南日本内帯の片割れであるロシア側の金属鉱物資源が見ることが出来る日を心待ちにしていた一人であった. 市川浩一郎教授の発案で, 私達は見学記をまとめた(市川ほか, 1980).

旧ソ連時代, 資源情報は全くのオフレコであった. この会議後の付属巡検として, ウラジオストック北東方のカバレロボ地域のスズ鉱床が提案されており, 多くの外国人参加者の注目を集めた. ハバロフスクから貸切の小型ジェット機で移動するなど, 旧ソ連の全盛時代であった. 飛行約1時間, レーダー塔が見える山間のカバレロボ空港に到着した. レーダー塔の写真を撮ろうとする勇気ある日本人研究者がいて, 直ちにスチュワードの制止を受けた. ハバロフスクにおける橋・鉄道・空港なども撮影禁止であった. 機内にはモスクワほか欧州ロシアからの参加者も多く, 聞くところによるとロシア人でもウラジオストックからこの地域にかけては旅行困難で, この機会を利用したとのことであった.

当時, 組織的な潜頭鉱床探査によって多数のスズ鉱床を発見され, プリモーリエは旧ソ連邦の最重要な産スズ地帯となりつつあった. 主要な3スズ鉱山を見学したが, 富鉱部を抜き掘りせず, 採掘坑道をレベルごとにまず展開し, 組織的に鉱石を外していく直



第1図 沿海州地方の花崗岩類分布図. その年代は, 内陸から日本海へ若くなり, 海岸部では火山岩類を伴うことに注目(Ishihara et al., 1996). K:ハバロフスク, V:ウラジオストック, Iは中央断層.

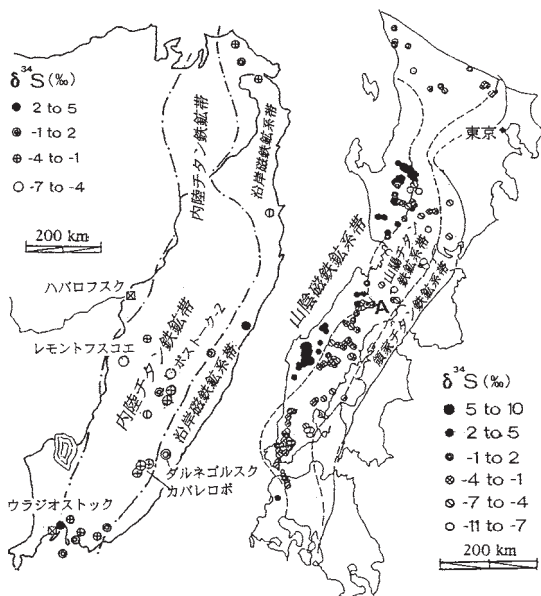
1) 産総研 特別顧問

キーワード: プリモーリエ, スズ, 鉛・亜鉛, インジウム

前であり、計画経済の長所を見た思いがした。それから20年、1998年にIGCP-373のフィールド巡検で再びこの地を訪れたが、全て終掘してゴースタウン化しており、まさに「限りある資源」(石原訳, 1978)を見る思いであった。しかし、この地は、テレビ報道によると、今タングステン資源で脚光を浴びようとしている(後述)。

沿海州地方は内陸部に古期岩類が分布し、海岸部へ向けて新期岩類が卓越する一般的な地質背景を持

つ(第1図)。花崗岩類は内陸部で古生代-前期中生代であり、日本海沿いで古第三紀であり同源の火山岩類を伴う。南部のプリモリーエ準州は、西南日本と同様な面積を持ち(第2図)、主としてジュラ紀の付加体に後期白亜紀-古第三紀の火山岩類が噴出し(写真1~2)、花崗岩類(写真3)が貫入する点でも同様である。花崗岩類は内陸部でチタン鉄鉱系、海岸部で磁鉄鉱系であり、日本側の山陽-領家チタン鉄鉱系帯および山陰磁鉄鉱系帯と日本海を挟んで対照的である。磁鉄鉱系花崗岩類は張力場の、チタン鉄鉱系花崗岩類は圧縮場におけるマグマ発生が必要である



第2図 シホテアリン-西南日本内帯の花崗岩系列と鉍石硫黄同位体比の比較。Ishihara et al. (1996)を一部変更。



写真2 日本海海岸：火砕岩からなる岩塔。



写真1 日本海の海岸露頭：古第三紀火山岩類。



写真3 日本海海岸：花崗岩類は磁鉄鉱系で苦鉄質包有物を多く含み、マグマ混交が推察される。

から、両地域の火成活動は白亜紀の付加体形成以後、大陸縁沿いのリフト系沿いに発達した古第三紀の張力場“古日本海”を挟んで生成した可能性が考えられる。

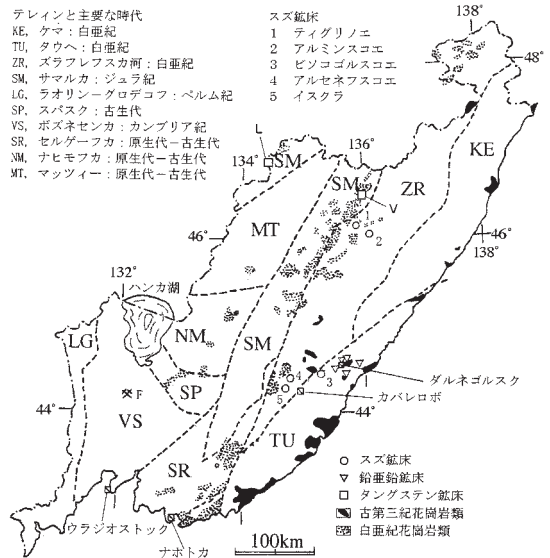
カバレロボを中心とするスズ鉱床の紹介に当たり、筆者は以前この地のスズ鉱床は世界の主要なタイプである深成型と比較して火山性が強いことを強調した(石原, 1980)。火山性であることは高温低圧下で鉱液から鉱石鉱物が晶出するゼノサマル型との比較を意味し、日本の生野、明延鉱床で見られるように、多量のベースメタルとスズ・タンゲステンとが共存し、かつインジウムが多産するであろうことを暗示する。この小文ではシホテアリン南部のプリモリーエ準州を中心に、硫化鉱物として産出するベースメタル、インジウムなどの金属鉱物資源について考察してみたい。

2. プリモリーエ準州の地質概況

シホテアリン南部のプリモリーエ準州はいくつかのテリンに分けられている(第3図)。古期岩類は南部のハンカ湖を取り巻いて分布し、Matsee テリンは上部原生代-カンブリア紀堆積岩・火山岩類が緑色片岩-グラニュライト相の変成作用を受けた岩石から構成される。Nakhimovka テリンも同様であるが、変成作用は角閃岩相までである。Voznesenka テリンは下部カンブリア紀の非活動的大陸縁に発達した碎屑岩類と石灰岩類、これらに貫入する花崗岩類から構成される。

Sergeevka テリンはその東方、ナホトカを含む地域にあって、後期原生代の角閃岩と結晶片岩類、貫入する後期カンブリア紀-初期オルドビス紀のメタ斑れい岩・メタ閃緑岩類からなる。初期オルドビス紀の花崗岩類も貫入する。Spassk テリンは前期古生代の付加体ウエッジであって、下部古生代タービダイトにチャート、オフィオライト、チャートに石灰岩ブロックを含むメランジュからなる。中朝国境に接するLaelin-Grodekov テリンはペルム紀の島弧であり、火山岩・堆積岩類から構成される。

中生代の諸岩石はプリモリーエの中央部から東部の主要部分を構成する。Samarka テリンは中央部のシホテアリン中央断層沿いに広く分布する中-上部ジュラ紀付加体ウエッジからなり、古生代のオフィオライト・チャート・玄武岩を含む。Kema テリンは下部白



第3図 プリモリーエ準州のテリン区分と花崗岩類の分布。Khanchuk *et al.* (1998)を簡略化。F: ボツネセンカ蜜石鉱床、L: レルモントフスコエ鉱床; V: ヴオストーク-2鉱床。

亜紀の島弧系と考えられ、フリッシュ堆積物と海成玄武岩・安山岩類などから構成される。

Taukhe テリンは最下部白亜紀のタービダイトとメランジュからなり、後期デボン紀から初期ジュラ紀にいたる海山構成物などのブロック・岩片などを含む。Zhuravlevka River テリンは下部白亜紀のフリッシュ堆積物を含む碎屑物から構成され、これは大陸縁のタービダイト盆地で生成したものと考えられる。

カバレロボ-ダルネゴルスク地域では下部白亜紀のシルト岩-砂岩類が厚さ3,500mに亘って発達し、これが石炭紀-ペルム紀と中-上部三畳紀のチャート、玄武岩、砂を夾在する石灰岩類を含むオリストストロームに覆われる。石灰岩は直径数cmから数km、大岩体は背斜軸に産出する傾向がある(Gonevchuk and Kokorin, 1998)。

これら堆積岩類に貫入して白亜紀-古第三紀の火山岩類が広く発達し、特に日本海沿岸でその露出が良い。これらは4時期の活動を持ち、第1期は玄武岩質安山岩の凝灰岩と溶岩類、同源と思われる小規模な斑れい岩-閃緑岩の貫入、第2期は流紋岩-流紋デイサイト質溶結凝灰岩類、第3期は安山岩-デイサイト質の溶岩・火砕岩類、第4期は白亜紀最末期から古



写真4 ダルネゴルスクの中心街。鉱山から化学処理工場まで完備している。



写真5 西ピットから見る中央ピット。

第三紀にかけての流紋岩質溶結凝灰岩、溶岩、オブシディアンからなり、溶岩と密接に花崗斑岩が産出する。

大局的には同源と思われる花崗岩類が以上の諸岩石類に貫入し、小規模に露出する。シホテアリンには花崗岩バソリスは存在せず、この地域が西南日本内帯よりも浸食しておらず、鉍化水準が残存していることを示している。花崗岩類は主としてチタン鉄鉍系に属し、噴出岩類に富む海岸部の火山深成岩帯が磁鉄鉍系に属する(Sato *et al.*, 2004)。プリモーリエ準州の中央部にセントラル断層が走り(口絵1)、韓国の梁山断層の延長とも考えられているが、その近傍で花崗岩類の露出が大きく(第3図)、この断層と隆起量との関係が示唆される。

花崗岩系列についてはこれまで様々な提案があるが、沿岸部で磁鉄鉍系であり、内陸部でチタン鉄鉍系である点は、鉍硫黄同位体比($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$)からも明らかである(第2図)。すなわち、Ratkin *et al.* (1998)はダルネゴルスク付近のボロン・鉛亜鉛の5鉍床から鉍床平均値として、 $-1.3 \sim +2.0\%$ 、その北西方と南西方、内陸のカバレロボ地域のスズ多金属鉍床から $-3.4 \sim -1.0\%$ 、その北方のティグリノエ鉍床付近からは $-3.9 \sim -1.2\%$ を報告した。同一地域のポストーク-2鉍床は -5.5% 、レumontフスコエ鉍床は -4.7% である(Gvozdev, 2004)。負の硫黄同位体比は関係火成岩類が堆積性の還元種硫黄を取り込んだことを意味し、チタン鉄鉍系であることを示す。

鉍床は異地性の石灰岩類に貫入岩が接してスカルン型鉍床、割れ目に鉍化して鉍脈型鉍床を形成する。

プリモーリエ準州で国際クラスの巨大鉍床は、古生代のほたる石グライゼン鉍床(Sato *et al.*, 2003)と白亜紀のダトー石スカルン鉍床である。大規模鉍床としてKhanchuk *et al.* (1996)はティグリノエ(Snグライゼン)、ポストーク-2(Wスカルン)、レルモントフスコエ(Wスカルン)、ドブロフスコエ(Sn鉍脈)、ニコラフスコエ(Zn-Pb-Agスカルン)、グルコエ(Au鉍脈)などを挙げている。

ベースメタル鉍床は主に中-小規模で(口絵3-5)、中規模鉍床としてはニコラフスコエ鉍床の他に下記のものがある。イスクラ(Cu-Sn鉍脈)、テルニストエ(Cu-Sn鉍脈)、ダルニエ(Sn-ZnPb鉍脈)、ユヅノエ(Sn-Zn-Pb-Ag鉍脈)、マイミノフスコエ(Zn-Pb-Ag鉍脈)、スミルノフスコエ(Sn-Zn-Pb-Ag鉍脈)、クラスノゴルスコエ(Sn-Zn-Pb鉍脈)、ヴェルクネイェ(Zn-Pb-Agスカルン)、パルチザンスコエ(Zn-Pb-Agスカルン)。すなわち鉛亜鉛に富むスズ多金属鉍床が多く、これらは主にダルネゴルスク地域に分布している。

3. ダルネゴルスク鉍化域の地質

ダルネゴルスク(写真4)は鉍山業と共に発展したもので、極東ロシアで経済的に最も重要であり、オープンピットで採掘される鉍体を縫うようにして鉍山町が作られている(口絵6)。採掘の主体はボロン鉍石(写真5~9)の採掘とその化学的処理であるが、ボロン鉍石の組織が見事で(口絵8-10)、机上の飾り物が(写真10)鉍石から作られたりしている。また鉛・亜鉛に富み、全ロシアの鉛は10%、亜鉛は7%を生産・供



写真6 ピット内部の岩石境界：黒は黒色泥岩、白はダンピュライト鉱石、西ピット260mL.

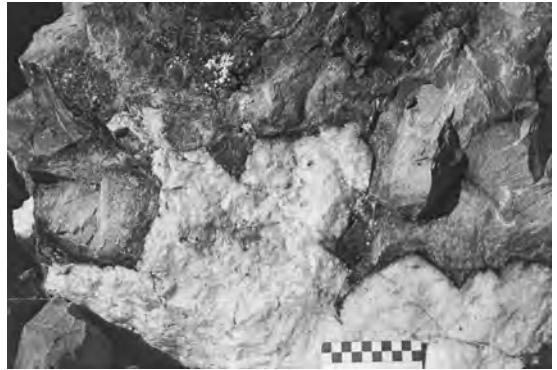


写真8 鉱体の周辺部、再結晶化石灰岩に埋められる、中央ピット168mL.



写真9 ダンピュライト自形結晶、博物館にて、標本の天地26cm.



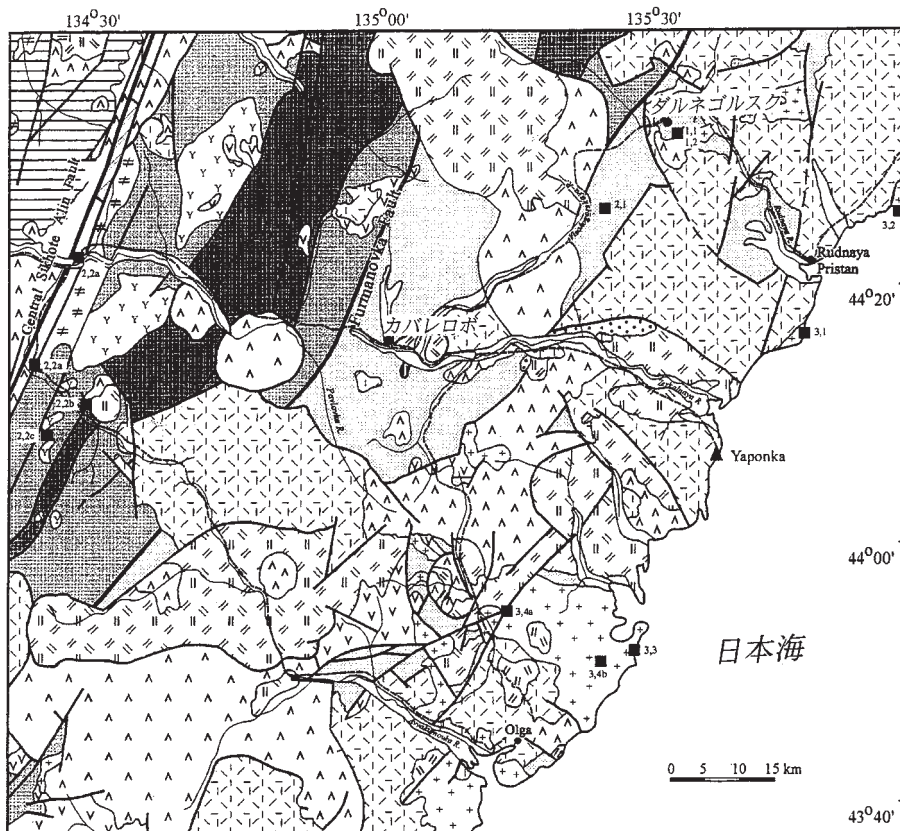
写真7 リング状に成長するボロンスカ alun 鉱物、中央ピット168mL.



写真10 ダルネゴルスク鉱石を利用して作成した記念品、博物館にて.

給している。

この地域は基本的には後期ジュラ紀-初期白亜紀の付加体から構成される。下部白亜紀のシルト岩-砂岩類が厚さ3,500mに亘って発達し、これが石炭紀-ペルム紀と中-上部三畳紀のチャート、玄武岩、砂を夾在する石灰岩類を含むオリストストロームに覆



- | | | | |
|--|---|--|--|
| | サマルカ テレン (中-上部ジュラ紀付加体) | | 後期白亜紀安山岩とデイサイト類(Maastrichtian) |
| | ツラフレブスカ河 テレン: 下部白亜紀ターペイト
a. Berriasian-Barremian; b. Aptian-Albian | | 後期白亜紀珪長質溶結凝灰岩と溶結凝灰岩 (Maastrichtian-Danian) |
| | タウカ河 テレン: ネオコミアン付加体 | | 後期白亜紀花崗岩(Turonian-Campanian) |
| | 白亜紀花崗岩(a)とモンゾニ岩(b) | | 断層(a左横ずれ、b、普通) |
| | 白亜紀安山岩類(Cenomanian-Turonian) | | 見学地点 |
| | 白亜紀珪長質溶結凝灰岩(Turonian-Campanian) | | |

第4図 ダルネゴルスクーカバレロボ地域の地質図 (Vasilenko and Valuy, 1998).

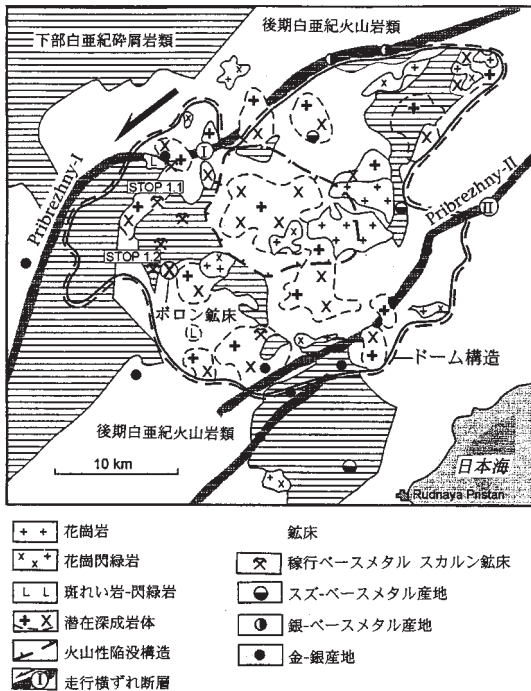
われる。石灰岩は直径数cmから数km、大岩体は背斜軸に産出する傾向がある。

これら堆積岩類に貫入して白亜紀の火山岩類が広く発達する(第4図)。これらは4時期の活動生成複合体に分けられる。

第1期複合体: 層厚800m, 後期白亜紀の凝灰質礫岩, タファイト, 玄武岩質安山岩の凝灰岩と溶岩からなり, 輝石-角閃石安山岩質岩脈類の貫入を受ける。同源と思われる小規模な斑れい岩-閃緑岩の貫入を伴う。これらはカルクアルカリ岩に属するが, アルカリと軽希土類元素にやや富む。

第2期複合体: 層厚2,150mに達する後期白亜紀の流紋岩-流紋デイサイト質溶結凝灰岩であり, プリモルスキー層と呼ばれる。これらもカルクアルカリ岩系に属し, アルカリ元素に富む。そのFe/Mg比は高く, 微量元素のPb (20-70ppm), Zn (50-200ppm), Mo (2-7ppm)に富んでいる。

第3期ダルネゴルスク複合体: これは安山岩-デイサイト質の溶岩・火砕岩が卓越するもので, 流紋岩玄武岩質安山岩類を伴う。層厚1,000m程度である。これらは高アルミナカルクアルカリ岩系に属する。K-Ar年代は69-55Maである。同源と思われる斑れ



第5図 ダルネゴルスクのドーム構造と鉱床との関係 (Vasilenko and Valuy, 1998).

い岩、花崗閃緑岩、花崗岩は鉛(～300ppm)、亜鉛(～490ppm)、銀(1～2ppm)に富む。

第4期複合体：白亜紀最末期から古第三紀にかけての流紋岩質溶結凝灰岩、溶岩、オブシディアンからなり、層厚1,000mである。溶岩と密接に花崗斑岩が産出する。シリカ含有量に富み、K/Na>1、微量成分としてのPb(10-60ppm)、Zn(24-120ppm)、Sn(2-8ppm)に富む。

4. ダルネゴルスク地域の鉱床

ダルネゴルスク地域の鉱化作用は北東系の左横ずれ断層に夾まれる地区内で、花崗岩貫入を伴うドーム状隆起構造に関係している(第5図)。ここには早期の小規模火山性陥没があるが、その後の花崗岩質マグマの貫入により隆起したことが地表の露出とボーリングによる地下潜在深成岩体の捕捉により明らかである。周囲からの隆起量は約1kmと推定されている。鉱床は侵食が著しい中心部には存在せず、周辺に限られる。

最大のボロン鉱床は南西部の小岩体に隣接したスカルンに産する。その北方には稼行中のベースメタルスカルン鉱床が分布する。スズ-ベースメタル鉱床はドームの東側周辺部に、銀-ベースメタル鉱床は北西側断層沿いに、金銀鉱床は南側周辺部に分布する(第5図)。

鉱床の産状は(1)炭酸塩岩とアルミナ珪酸塩岩類境界沿いの断層中のパイプ状、または鉱脈、(2)石灰岩中のレンズ、パイプ状鉱体、(3)炭酸塩岩とアルミナ珪酸塩岩間の層状鉱体、(4)複雑形態の石灰岩と火山岩の境界部、(5)アルミナ珪酸塩岩中の鉱脈、などである。

4.1 ダルネゴルスク・ボロン珪酸塩鉱床

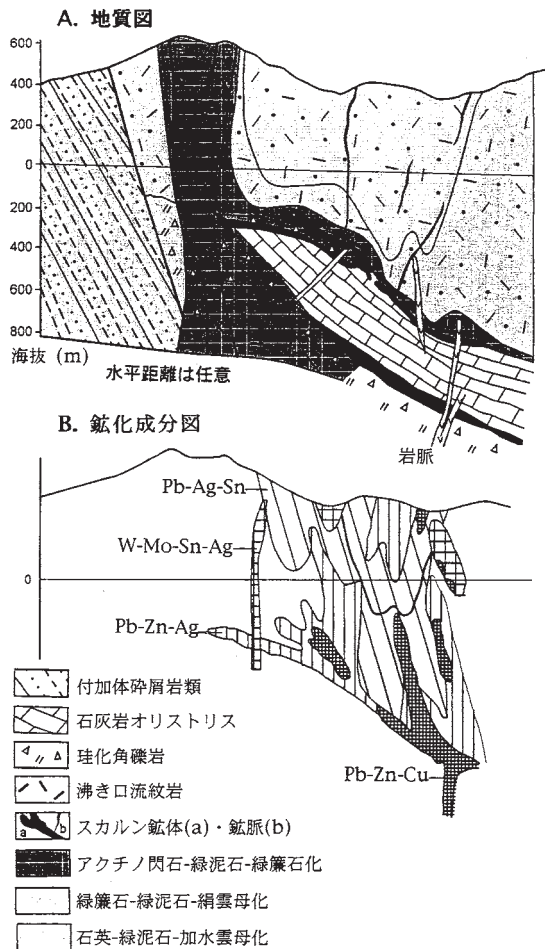
これはシリンカ河オリストストローム層中の三疊紀石灰岩体を交代する走向N70-80°Eのスカルン鉱床で、総延長3.5kmに達する。鉱体は幅540m以下、深度は1,700mであるスカルン化は東南系と北東系断層、石灰岩と花崗岩接触部に規制される。鉱床は珪酸塩岩、柘榴石、輝石、ダトライトを中心に多数のスカルン鉱物からなるが、主要鉱石は次の3種類であり、いずれもダトライトを含む。

- (1)ダトライト $\text{CaB}_2(\text{SiO}_4)\text{OH}$
- (2)ダンビュライト $\text{CaB}_2(\text{SiO}_4)_2$ -ダトライト
- (3)斧石 $(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe})_3\text{Al}_3\text{BO}_3(\text{Si}_4\text{O}_{12})\text{OH}$ -ダトライト

鉱化作用は2時期に分けられ、初期は薄い縞状の柘榴石-珪酸塩岩-輝石スカルン層の形成で、ダンビュライトとダトライトを含む。巨大(20-30cm)な石英、ダンビュライト結晶群を石灰岩が埋めることがある。これらは後期の熱水変質を受け、輝石中のMgは減少し、柘榴石はFeが増加する。晶洞には石英、ダトライト、方解石、稀にアポフィライトが晶出する。

4.2 ニコラエフスコエ ベースメタル スカルン 鉱床

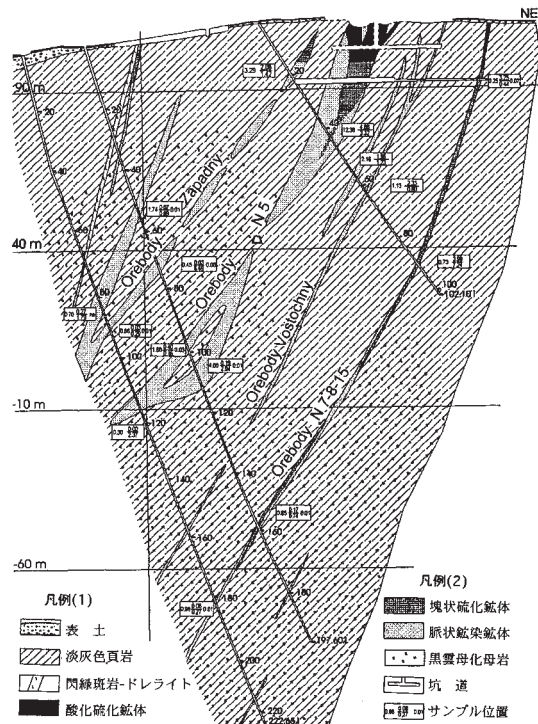
この鉱床はボロン珪酸塩鉱床のすぐ北方に位置する。母岩は中部ジュラ紀堆積岩類とこれを覆う上部白亜紀の流紋岩、流紋デイサイトからなる。貫入岩類は小規模(1.2km²)の斑れい岩-閃緑岩類と花崗斑岩プラグである。母岩の石灰岩レンズは輝石、柘榴石-輝石スカルンに変質している。花崗斑岩はプロピライト化、黒雲母化、グライゼン化などを受ける。



第6図 ニコラエフスコエ鉛床の断面図 (Vasilenko and Valuy, 1998).

鉛床は石灰岩レンズとその周囲の角礫部を取り巻いて皮殻状に産出する。他に上部の火山岩類、一部は岩脈沿いに発達する(第6図)。皮殻状鉛体はヘデン輝石が90%近くまで達するスカルン鉛床で、ほかにヨハンゼナイト($\text{Ca}(\text{Mn}, \text{Fe}^{2+})(\text{SiO}_6)_2$)と透輝石を含む。他に方解石、石英が多産する。少量鉛物としてはイルバイト、柘榴石、緑簾石、ほたる石、珪灰石、ダンピュライト、ダトライトがある。火山岩中の鉛化は細脈-鉛染状で、アルバイト化、緑泥石化、緑簾石化、プレーナイト化、白雲母化の変質作用を持つ。

鉛石は(1)硫化物スカルン、(2)硫化物-方解石-石英、(3)サルフォソルト-硫化物-方解石-石英の組み合わせに大別される。(1)と(2)とは一般に塊状、不規則鉛染状、縞状を呈し、 $\text{Pb} + \text{Zn}$ 品位は深部へ減少

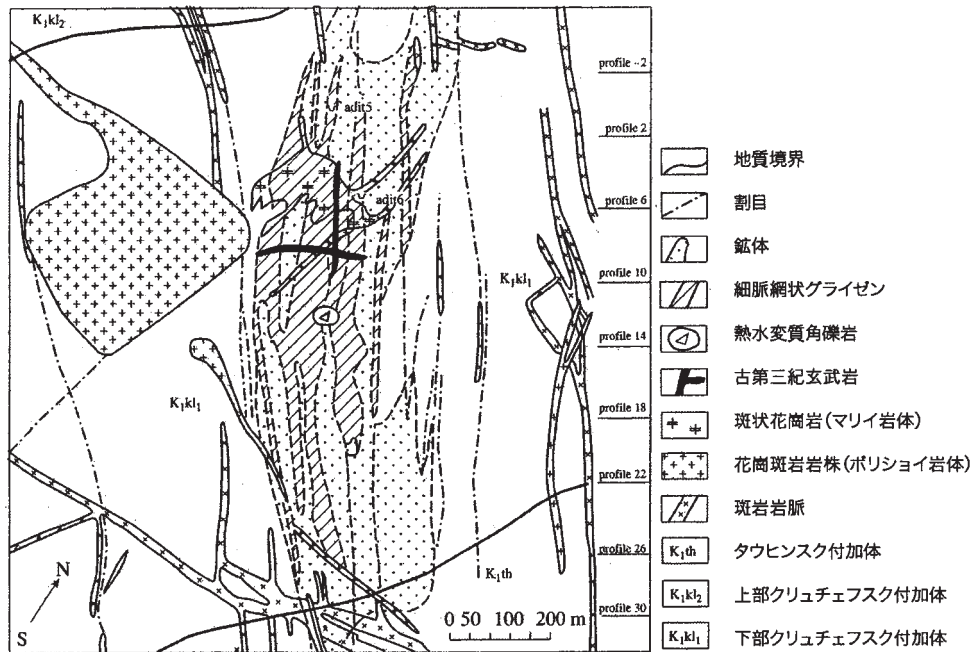


第7図 ノボーモナスティルスコエ鉛床の断面図 (Vasilenko and Valuy, 1998).

する。(3)は更に、ポケット鉛染状の Ag-Bi 鉛石と Sb-As 鉛石とに分けられ、前者は深部に、後者は上部に産出する傾向がある。鉛床全体としての上下変化は(1) Pb-Zn-Cu 鉛化が石灰岩上盤や岩脈沿いに、(2) Pb-Zn-Ag 鉛化と Pb-Ag-Sn 鉛化は火山岩類中に広く、(3) W-Mo-Sn-Ag 鉛化は断層や火山岩境界の規制を受けて分布する(第6図)。

5. ノボーモナスティルスコエ スズ-ベースメタル鉛床

この鉛床は日本海に面する町、ルドナヤプリスタンに近い。鉛床は淡灰色シルト-頁岩を母岩とし(第7図)、2タイプに分けられる。第1は破碎帯に鉛化するもの(例7-8-15, 9, 14-16, 10, Parallel'naya鉛体)は幅1-2m、深度最大2,200mに達する。第2は割目交差部にレンズ状鉛体を形成するもので最大幅30mである(例, 5-12鉛体)。鉛石の85%は7-8-15号鉛体および5号鉛体に含まれる。7-8-15号鉛体は走向 $\text{N}10-20^\circ \text{E}$ 、延長2,300m、傾斜 $60-70^\circ$ 、深度500m、



第8図 ティグリノエ鉱床の地質図 (Gonevchuk et al, 2005).

脈幅0.2-17m, 平均0.5-2.0mである。最上部の40mは酸化鉱体である。その下位の初生鉱体は磁硫鉄鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 少量の黄銅鉱, 硫砒鉄鉱, スズ石からなり, 脈石鉱物は緑泥石, 石英, 白雲母, 炭酸塩鉱物である。微量の黄錫鉱とバレリー鉱が顕微鏡下で閃亜鉛鉱中に発見されている。

鉱床は北から南へ3鉱体に分けられ, 北鉱体が鉱量の半分を占める。品位Pb4.1%, Zn4.4%の鉱石が幅1.3m, 深度500mまで連続する。中央鉱体は品位Pb2.2%, Zn3.8%, 脈幅1.56mで, 深度230mまで連続する。南部鉱体は品位Pb3.1%, Zn3.8%, Sn0.16%-0.22%, 脈幅2.23m, 深度180mである。この鉱床からは2万4千トン(Pb3.19%, Zn3.45%)が採掘された。これは金属量として鉛766トン, 亜鉛828トンである。

5号鉱体はレンズ状, 厚さ3-30m, 走向延長130m, 深度185mである。上部12mが酸化帯であった。初生鉱体は上部で塊状, 下部で鉱染状である。鉱石は主に方鉛鉱, 磁硫鉄鉱, 閃亜鉛鉱, 下部で磁硫鉄鉱, 閃亜鉛鉱が増加する。硫砒鉄鉱や黄銅鉱を含む石英-磁硫鉄鉱レンズが包有されていることがある。品位は鉱体幅平均10.2mで, 採掘鉱石はPb4.41%, Zn4.48%で12万3千トンである。これは金属量として

鉛5,424トン, 亜鉛5,510トンである。

この鉱床の主要稼行成分はPb, Zn, Snであるが, 精錬過程でIn, Cd, Ag, Biの回収が試みられている。これら成分の垂直ゾーニングはPb含有量は5号鉱体では深度と共に減少するが, 17-8-15号鉱体は上下に均一である。鉱石はインジウム(10-1,150ppm In, 平均62ppm), カドミウム(平均249ppm Cd)に富む。閃亜鉛鉱は鉄に富む(~16.4重量%Fe)。

6. イスクラ スズ銅鉱床

この鉱床はカバレロポ鉱化域南西端で1989年に発見され, 20% Snにまで達するスズ鉱石が発見された。Khanchuk et al. (1996)によるランキングは“中規模”である。鉱床付近は下部白亜紀の砂岩・シルト岩から構成され, これらに斑れい岩-モンゾニ岩類, モンゾ花崗閃緑岩, アプライト岩脈などが貫入する。

鉱床は北東系急傾斜断層に規制され, 鉱脈状である。走向延長100m, 脈幅0.1-5m, 平均品位は2.5% Snである。富鉱部は2ヶ所で認められる。ビクトリア鉱体は南北に300m, 脈幅5-19m, スズに富み, 品位は0.1-20% Snである。ポリヤルナ帯は銅に富み, 地表延長280m, 脈幅3.3-15.2m, 品位は0.04-6.0% Sn

である。鉍脈は細粒の石英、緑泥石、スズ石、黄銅鉍の集合体である。少量の硫砒鉄鉍、黄鉄鉍、磁硫鉄鉍、閃亜鉛鉍、黄錫鉍、方鉛鉍、ベリル、絹雲母、方解石、グラファイトが付随する。

鉍脈は安山岩質岩脈に切られ、岩脈は鉍化作用最末期の石英-黄鉄鉍、石英-方解石脈に切られる。20個の鉍石分析から、Kokorin *et al.* (2000)はSnO₂ 0.17~14.03%, Sn solute 0.02~5.91%, WO₃ 0.007%~0.315%, Cu 0.02~16.14%, As 0.042~0.2%, In 50~1,150ppmを報告している。一方、乏しい成分としてPb0.03%以下、Zn0.34%以下、Ag230ppm以下、Bi90ppm以下などがある。筆者が見学したポリヤルナ鉍体は角礫化堆積岩類を充たす黄銅鉍(880ppm In)と黄銅鉍-石英脈(330ppm In)とで高いインジウム異常が見られた。

7. ティグリノエ鉍床

ティグリノエ鉍床群はカバレロポの北北東へ直距離226km, Zhuravlevka River テレインの西縁に位置する。Khanchuk *et al.* (1996)によると、スズで“大規模”鉍床に属する。白亜紀の付加体堆積岩類地域に後期白亜紀の花崗岩類が小ストック状、岩脈状に貫入し、広範囲の鉍化変質帯を伴う(第8図)。これら貫入岩類の下部には潜在する花崗岩が知られており、ティグリノエ岩体と呼ばれている。鉍床は北北西方向に伸長する小貫入体、岩脈に伴って産出する。鉍化地帯に分布する貫入岩類は3相に分けられ、それぞれは平均値で第1表の性格を持つ。

すなわち、いずれもシリカ、アルカリに富み花崗岩質であり、アルミナ飽和度(A/CNK)は1より大きく、パーアルミナスである。III相は特に大きく分化が進んでいる(1.14)。Na₂O/K₂O比はI-II相で1以下であるが、III相でNa₂O > K₂O、ナトリウムが急増する。Fe₂O₃/FeOは磁鉄鉍系とチタン鉄鉍系の境界値である0.5より小さく、全てチタン鉄鉍系に属する。揮発性成分ではフッ素の多さが目立ち(5,300-8,000ppm)、リチウムも多く含まれる(100-1,100ppm Li₂O)。Nb, Mo, W, Sn, Znなどの鉍化金属成分はいずれも多く含まれる(第1表)。早期相から末期相へ増加する元素は、F, Li, Nb, W, Sn, Zn, Rb/Srなどである。

鉍化帯は南北に伸長し(第8図)、マリイ花崗岩体の屈曲部に存在する巨大なグライゼン変質体中のス

第1表 ティグリノエ鉍床に関連する花崗岩類の化学的特性 (Gonevchuk *et al.*, 2005)。

成分名	ポリシヨイ岩体		マリイ岩体	
	I相 (92Ma)	II相 (90Ma)	III相 (85Ma)	III相 (85Ma)
	花崗斑岩 (n=10)	中粒花崗岩 (n=16)	斑状花崗岩 (n=7)	
SiO ₂	75.74%	75.73%	71.72%	
TiO ₂	0.06	0.03	0.01	
Al ₂ O ₃	13.34	13.18	16.18	
Fe ₂ O ₃	0.20	0.17	0.23	
FeO	0.55	0.60	0.55	
MnO	0.01	0.03	0.09	
MgO	0.13	0.10	0.12	
CaO	0.48	0.45	0.36	
Na ₂ O	4.00	4.13	5.87	
K ₂ O	4.98	4.52	3.56	
Li ₂ O	0.01	0.08	0.11	
Rb ₂ O	0.05	0.13	0.12	
P ₂ O ₅	0.02	0.03	0.05	
F	0.53	0.55	0.80	
Total	100.10	99.73	99.77	
A/CNK	1.04	1.05	1.14	
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.36	0.28	0.42	
Rb/Sr	21	30	61	
Nb	50ppm	55ppm	86ppm	
Be	5.9	6.8	5.0	
Mo	12	4	11	
W	32	53	302	
Sn	21	28	38	
Cu	45	22	26	
Pb	79	75	56	
Zn	102	162	244	

トックワーク2鉍体で特に大きい。その規模は全長2,000m, 幅500m, 深度はティグリノエ岩体に達するまでの約1,000mである。

鉍化作用は気成期、気成-熱水期および熱水期の3時期に分けられる。気成期は輝水鉛鉍-カリ長石-アルバイト-チンワルダイト細脈で特徴付けられ、部分的に硫砒鉄鉍を伴う。気成-熱水期はスズ石-トパズ-チンワルダイト-白雲母-石英、鉄マンガン重石-カリ長石-石英、スズ石-カリ長石-石英、硫化物(磁硫鉄鉍-黄銅鉍-閃亜鉛鉍-黄錫鉍-方鉛鉍)-石英の組合せを持ち還元的である。熱水期は早期の硫化物-緑泥石-石英期に磁硫鉄鉍-黄銅鉍-閃亜鉛鉍-黄錫鉍が多く含まれるが、後期の菱鉄鉍-方解石-石英期では黄鉄鉍と方鉛鉍が卓越し、低温・酸化的となる。

ティグリノエ鉱床では下記のように多数の鉱石のインジウム含有量が測定されている。

(1) 細脈-鉱染状鉱石 (n=150) : 平均50ppm In

(2) グライゼン鉱石 (n=150) : 平均90ppm In

鉱石ではグライゼンが高く、グライゼン鉱石はこの種の鉱床では広く発達するので、インジウム資源として大きな可能性が考えられる。また閃亜鉛鉱には平均3,188ppm In (n=26) が与えられており、Popov and Popova (1992) は閃亜鉛鉱の鉱量として27万トンを算定しているため、これに平均品位を乗ずると、閃亜鉛鉱に含まれるインジウムのみで861トンが得られる。スズ硫化物に含まれるものを考慮すると、この鉱床はインジウムに関して、生野や明延鉱床に近い規模(石原・ゴネフチュク, 2007)を持つものと考えられる。

8. ヴォストーク-2鉱床

同一地域のVostok-2鉱床は、ティグリノエ鉱床の北方、直距離35kmにあつて、タングステン鉱床として“大規模鉱床”である(Khanchuk *et al.*, 1996)。その西北西、直距離120kmにはタングステン鉱床として“大規模鉱床”であるレルモントフスコエ鉱床がある(第3図)。

ヴォストーク-2鉱床は主に磁硫鉄鉱・黄銅鉱・灰重石からなるスカルン型鉱床で、1961年に発見され、1965年の探査終了時に酸化物量10万トンWO₃と算定された(Gvozdev, 2004)。1984年以降の年間生産量は粗鉱35万トン(1.65% WO₃, 0.65% Cu, 3% P)である。

この鉱床はZhuravlevka River テレインのタービダイト盆地に位置し、下部白亜紀の堆積岩類に異地性石灰岩がオリストストロームとして含まれる。多数の白亜紀貫入岩類が分布し、古期岩類(~128Ma)はダルネンスキー岩体と命名され、黒雲母-角閃石閃緑岩、モンゾ閃緑岩、花崗閃緑岩、同質の岩脈類からなる。セントラル岩株が鉱床と隣接し、これは111Ma前後の年代を持つ黒雲母-角閃石花崗閃緑岩で、斑状優白花崗岩を伴う。最末期はBiserny貫入岩(~98Ma)である。

鉱化作用はセントラル岩体の斜長花崗岩~花崗閃緑岩と接するマーブル層準のスカルン中に胚胎し、一部はホルンフェルス中のスカルンにも見られる。この石灰岩質層は一般に北東走行、北西に60-70°傾



写真11 熊の毛皮を背に(志村俊明氏と著者)。プリモリーエのフィールド調査は、初夏はクリッシュ(山ダニの一種)と大型の熊に悩まされる。

斜する。鉱化作用はスカルン中の層状、レンズ状、ポケット状鉱体として見られ、それがグライゼン化、石英脈化の重複鉱化作用を受けることがある。灰重石・磁硫鉄鉱・黄銅鉱が最も卓越し、少量の硫砒鉄鉱・閃亜鉛鉱・ビスマスを伴う。佐藤ほか(1993)は鉱化作用は、(1)輝石-ざくろ石-アクチノ閃石、(2)灰重石-石英、(3)硫化鉱物、(4)石英-方解石の4時期からなるが、スカルン鉱物に較べて磁硫鉄鉱が極めて多い点で典型的なタングステンスカルンとは異なり、その鉱物組合せは山口県玖珂地方のものに類似すると指摘した。

ヴォストーク-2鉱床はスズに乏しく、僅かに鉱物学的な興味としての黄錫鉱の記載があるに過ぎない(Gvozdev, 2004)。閃亜鉛鉱は量的に少なく、鉄に富む種類(ca.14wt.% FeO)である。ロシア側の分析によると、閃亜鉛鉱は14ppm Inのインジウム含有量を持つに過ぎない(Gvozdev, 2004)。したがってこの鉱床のインジウム資源量は小規模と考えられる。

9. むすび

プリモリーエ準州の地質は内陸側の古期基盤岩類を除き、基本的には中生代の付加体堆積物から構成され、それらに白亜紀-古第三紀の火山岩類・花崗岩類が貫入する点で、西南日本内帯の地質と酷似する。磁鉄鉱系/チタン鉄鉱系からなる花崗岩系列は、

我が国では付加体堆積岩類の存在と、張力/圧縮の大局的構造場に支配されているが、プリモリエ準州でも同様で、内陸部にチタン鉄鉱系列が、沿海沿いに磁鉄鉱系列が卓越し、それぞれ圧縮場、張力場を表わしているものと考えられる。また、チタン鉄鉱系はセントラル断層沿いに卓越すると見ることが出来るが、この点も日本の中央構造線沿いの領家花崗岩類と棚倉破碎帯沿いの阿武隈花崗岩類がチタン鉄鉱系である事実と酷似し、圧縮場とチタン鉄鉱系との関連性を示唆する。

花崗岩に関係する金属鉱床は、日本では花崗岩に関係する多数の深成型と岩脈に付随する垂火山性スズ・タングステン多金属型(明延・生野鉱床)からなるが、プリモリエ準州では垂火山性鉱床が卓越している。ベースメタル鉱床では、日本より鉛・亜鉛の比率が高い。垂火山性の生成条件を反映して、スズ・ベースメタル鉱床が多く分布する。この種の金属鉱床は一般に微量成分のインジウムに富むので、プリモリエ準州のインジウム資源量を検討した。その結果、ティグリノエ鉱床が最も大きく有望であり、明延・生野鉱床と同様な1,000トンInの規模を持つと推定された。

一方、品不足が心配される超硬度合金材、タングステンに関しても大きな可能性があるようである。昨年11月28日のテレビ朝日「報道ステーション」によると、プリモリエ中央部のプリモルスク鉱床は発見鉱量の8割が手付かずで数億トン規模を持つという。ただ中国の資源戦略の為に日中「レアメタル争奪戦」が発生し、出資額(3億米ドル)は折半、利益は7:3でロシア側優位と高騰しているそうである。樹木から降り注ぐ「木ダニ」や熊(写真11)の出現で調査しにくいプリモリエの「山岳地帯」には、まだ有望な地下資源が眠っている可能性が高そうである。

文 献

- Gonevchuk, V. and Kokorin, A. (1998) : The Kavalerovo ore district. *In Anatomy and Textures of Ore-bearing Granitoids of Sikhote Alin and Related Mineralization* (R. Seltmann *et al.* eds.), IGCP-373, Excursion Guidebook, GFZ Potsdam, 51-72.
- Gonevchuk, V., Korostelev, P. G. and Semenyak, B. I. (2005) : Genesis of the Tigrinoe tin deposit (Russia). *Geology Ore Deposits*, v. 47, 223-237.
- Gvozdev, V. I. (2004) : The Arminsky ore district. *In Khanchuk, A.I., Gonevchuk, G.A. and Seltmann, R. ed. (2004) : Metallogeny of the Pacific northwest (Russian Far East): Tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins*, 87-97.
- 市川浩一郎・島津光夫・石原舜三・植村 武・大槻憲四郎 (1980) : シホテアリンの地質-第14回太平洋学術会議見学旅行に参加して-。地球科学, v. 34, 218-231.
- 石原舜三訳 (1978) : S. E. キスター著: 限りある資源。サイエンス社, 177p.
- 石原舜三 (1980) : ソ連, プリモリエの錫鉱床。地質ニュース 308, 36-45.
- 石原舜三・G. I. ゴネフチュク (2007) : ロシア, プリモリエ地域におけるインジウム資源量の予測。資源地質, v. 57, 25-28.
- Ishihara, S., Ivanov, V. V. and Ratkin, V. (1996) : Gold deposits and their $\delta^{34}\text{S}$ ratios of the Sikhote-Alin, Russia - A comparative study with those of the Sanyo Belt of Japan -. *Resource Geology*, v. 46, 267-277.
- Ishihara, S., Hoshino, K., Murakami, H. and Endo, Y. (2006) : Resource evaluation and some genetic aspect of indium in the Japanese ore deposits. *Resource Geol.*, v. 56, 347-364.
- Khanchuk, A. I., Ratkin, V. V., Ryazantseva, M. D., Golozubov, V. V. and Gonokhova, N. G. (1996) : Geology and mineral deposits of Primorsky Krai (Territory). *Vladivostok Dalnauka*, 61p.
- Khanchuk, A., Gonevchuk, V. and Simanenkov, V. (1998) : The Primorye region - The southern Sikhote Alin accretionary fold system: Geology and metallogeny. *In Anatomy and Textures of Ore-bearing Granitoids of Sikhote Alin and Related Mineralization* (R. Seltmann *et al.* eds.), IGCP-373, Excursion Guidebook, GFZ Potsdam, 1-6.
- Kokorin, A. M., Gvozdev, V. I., Gonevchuk, V.G., Gonevchuk, G. A., Kokorina, D. K., Korostelev, P. G. and Semenyak, B. I. (2000) : Iskra deposit is a new object of the Kavalerovo tin district (geology, ore composition, genesis). *In Ore Deposits of Continental Margin*. *Vladivostok Dalnauka*, 226-247.
- Popov, V. A. and Popova, V. I. (1992) : Methods and results of mineralogical mapping of the W-Sn Tigrinoe deposit (Primor'e). *Nauka Yekaterinburg (in Russian)*.
- Ratkin, V. V., Sakarev, A. N. and Rysabtseva, M. D. (1998) : Sn, B and Pb-Zn skarn, vein and dissemination deposits in the East Sikhote-Alin, Russia. *Resource Geology*, v. 48, 7-11.
- 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.
- Sato, K., Suzuki, K., Nedachi, M., Terashima, S., Ryazantseva, M. D., Vrublevsky, A. A. and Khanchuk, A. I. (2003) : fluorite deposits at Voznesenka in the Khanka massif, Russia: Geology and age of mineralization. *Resource Geology*, v. 53, 193-211.
- Sato, K., Kovalenko, S. V., Romanovsky, N. P., Nedachi, M., Berdnikov, N. V. and Ishihara, T. (2004) : Crustal control on the redox state of granitoid magmas: tectonic implications from the granitoid and metallogenic provinces in the circum-Japan Sea region. *Trans. Royal Soc. Edinburgh, Earth Sci.*, v. 95, 319-337.
- Vasilenko, G. and Valuy, G. (1998) : The Dal'negorsk ore district. *In Anatomy and Textures of Ore-bearing Granitoids of Sikhote Alin and Related Mineralization* (R. Seltmann *et al.* eds.), IGCP-373, Excursion Guidebook, GFZ Potsdam, p. 23-50.
- ISHIHARA Shunso (2008) : Major ore deposits of the Primorye Territory, Russia; particularly of tin-basemetal deposits and indium resources.

<受付: 2007年7月2日>