

北欧の鉱床一

第7回IAGODに参加して

石原舜三(鉱床部)
Shyunso ISHIHARA

鉱業の国—北欧

鉱業は北欧3国 スカンジナビア2国とフィンランドの長い伝統である。スウェーデンのベルゲスラーゲンではCu Fe Agが中世から採掘され 一部の鉱床は現在まで稼行されている。灰重石 ガーナイト lāngbanite などはこの地方で命名され スカルンなる言葉はある鉱物組合せの捨石に対して軽蔑的になげつけられた鉱夫の“売女め”であると言う。これらの古い鉱山に加えて スウェーデンでは19世紀には著名なキルナ(Fe) 鉱床 ボリーデンを含むスケレフテ地域の硫化物鉱床(Cu Pb Zn) およびライスバル(Pb) アイティク(Cu-Au)などの硫化物鉱床が発見された。

ノルウェイで著名なゴングスベルグ銀山は1623-1957年の稼行の歴史を持ち レロス銅山は1644年から最近まで稼行された。20世紀初めにはスリトエルマ グロングなどで黄鉄鉱 ベースメタル鉱床が発見されてノルウェイ鉱業の中心となり 古生代末期のオスロ古リフト帯では巨大なモリブデン鉱床も発見された。

フィンランドの最初の鉱山はオセモ鉄山であり 1540年に開かれた。有名なオートクンプ鉱床の発見は今世紀であり ケミ地域の白金鉱床の発見もこの国の鉱業に

新しい発展をもたらしている。

北欧3国ではその古い歴史を受けついで 現在でも資源探査が積極的に地質調査所 地方自治体 私企業などにより実施されている。特にフィンランドでは第二次大戦以後 資源探査に力を入れはじめ たとえば地質調査所の職員は 戦前の数十名から1985年には919名に増大しており そのうち487名が鉱物資源部に配属されている。スウェーデンでは地質調査所から1982年に分離した560名からなる探査部門 スウェーデン地質公社(Swedish Geological Co.)を持っている。そのウラン探査班は昨年のチェルノブイリ原発事故の後処理に大々的に活躍した。

北欧3国 とくにフィンランドとスウェーデンでは人口の割合に大規模な探査活動を実施している。そこには両国の特殊な地質的背景がある。すなわち両国は先カンブリア系からなるバルチックシールドを氷河堆積物が覆い 基盤の露出は僅か3%程度であるにすぎない。したがってほぼ全地域に亘って潜頭鉱床探査の手法が採用されるため人手と探査技術を必要とする。かつ氷河堆積物が比較的薄いために 探査コストと発見後の開発の両面で比較的安価であり 経済性が期待できる。それよりも一次産業から三次産業へ至るバランス感覚は失わない社会通念が背景にあり “香港化”の著しい我が



写真-1
機窓から西方を見たスウェーデン中南部風景

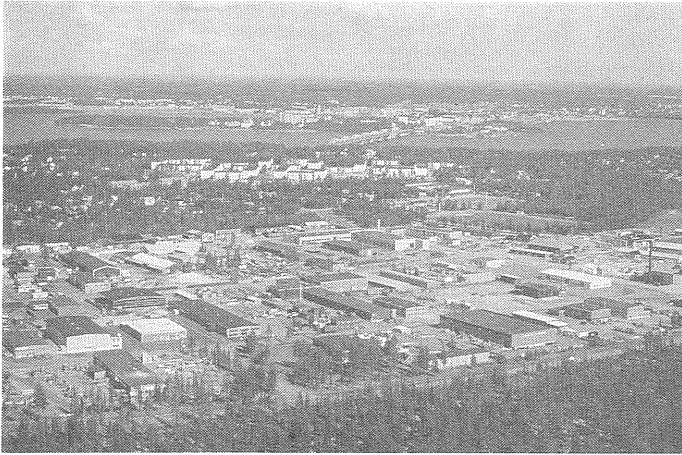


写真-2

ルレオ。入江の向側が中心地。キルナ鉄鉱石を積み出す港は右上方にある。

国などは見習うべきであろう。

このような鉱業の伝統と現状に基づき 第7回国際鉱床学連合 (IAGOD) の4年に1回の総会と学術討論会が1986年8月18-22日 スウェーデン北部の小都市ルレオ(写真-2)で開催された。この年はまた 北欧3国が共同で調査した北極圏プロジェクト (Nordkalott Project 1980-1986) を終了し 総括する年にも当り その成果の盛大な発表会もおこなわれた。IAGOD 総会は これまで第4回(佐々木 1974) 第5回(石原 1979)について本誌で紹介してきた。今回も総会における話題を紹介すると共に 我々にとってなじみが少ない北欧の地質と鉱床について解説してみたい。

第7回 IAGOD 討論会



写真-3 会長挨拶をおこなうスウェーデン地質調査所のカウツキ-基盤地質部長。

今回の総会には世界40ヶ国からの約420名が参加し(渡辺・鹿園 1986) 討論会では約200の学術発表が講演ポスターなどでおこなわれた。特別招待講演は8件が用意され 一般講演はIAGODに常設されている次の7分科会(1鉱床のテクトニクス 2鉱物共生関係 3流体包有物 4蛍石-重晶石鉱床 5スカルン鉱床 6マンガン鉱床 7スズ-タングステン鉱床)と特別討論会3件(1先カンブリア紀シールド地帯の金鉱床 (2)火山性塊状硫化物鉱床 (3)花崗岩類に関係する鉱床)で発表討論された。

特別講演で筆者に興味深かったのはまず R.H. Sillitoe の“火山体と鉱床”である。シリトウは火山(i)を成層火山 (ii)溶岩ドーム (iii)カルデラに3分し それぞれに伴う鉱床を手際良くまとめた。

(i)成層火山体は安山岩質 その根っ子は広く酸性変質を伴うポーフィリー銅鉱床で特徴づけられる。また高硫黄系金銀鉱床(含 enargite-luzonite)も浅所周辺に伴う。

(ii)溶岩ドームは珪長質火山体に特徴的で 絹雲母や氷長石変質が酸性変質より卓越する浅熱水性金銀 ペースメタル鉱床を伴う。根っ子には一般には鉱床はないがクライマックス型ポーフィリー Mo 鉱床はこのケースに相当する可能性がある。

鉱床は一般に火山作用の末期から終息期に形成されたから 火山活動に関係するカルデラリング構造 放射状割目 ダイアトリーム マールその他に著しく規制される。シリトウは火山体の復元が鉱床探査に重要であることを強調した。

コロラド鉱山大学の R. W. ハッチンソンは“先カンブリア紀金鉱床の時空関係”について講演し 経済的に重要なものは次の2件であると結論づけ



写真-4
学会会場のルレオ工科大学の食堂。木材を豊富に使った前衛的な建物である。

た。

(i)始生代 (Archean) の グリーンストーン中の 鉱脈：金鉱脈は始生代のものが重要である。原生代では小規模であるにすぎず その原因は原生代では気圏 水圏共に酸化状態になったためである。始生代の鉱床は 近くにアルゴマ型 Fe 鉱層 カンバルダ型 Ni Cu-Zn 硫化物鉱床を伴う。金鉱脈はもともと海底火山作用により生じた合金 含黄鉄鉱の化学沈澱物が続成-変成作用の過程で 鉱脈や網状鉱脈に変化したものである。すなわち Syngenesist ハッチンソンならでは結論であった。しかし 還元的な始生代の火成環境のなかでも特に酸化的な所に金鉱床が産出すると言う提案もあり (服部 1987) 金の濃集機構に関してはいくつかの問題がありそうである。

(ii)他の一つの重要な鉱床は始生代陸地に近い原生代の化石砂金鉱床であり これは始生代の金鉱脈から浸食された砂金と考えられがちだが 重要な鉱床は南アのウィットウォーターズランドに限られている。そこで彼は南アは地殻進化が速い特殊な環境にあったために 海底火山活動が活発であってそれに伴う金鉱床が生じそれが引続き浸食 砂金化したものと考ええる。

コラ半島の超深部試錐

今一つ注目をひいたのは ソ連の V. I. カザンスキーの“大陸地殻の深部構造と鉱床の生成”である。これはコラ半島の超深度の掘削井の結果を主題としたもので筆者には目新しかったが IGCP 91「プレカンブリア紀の鉱床生成」などで交流が深い北欧の人達にはそうでもなかったらしい。

試錐はコラ半島つけ根の ペチェンガ地域 (第3図参照) で実施された。主目的はコンラッド面の実態解明と含

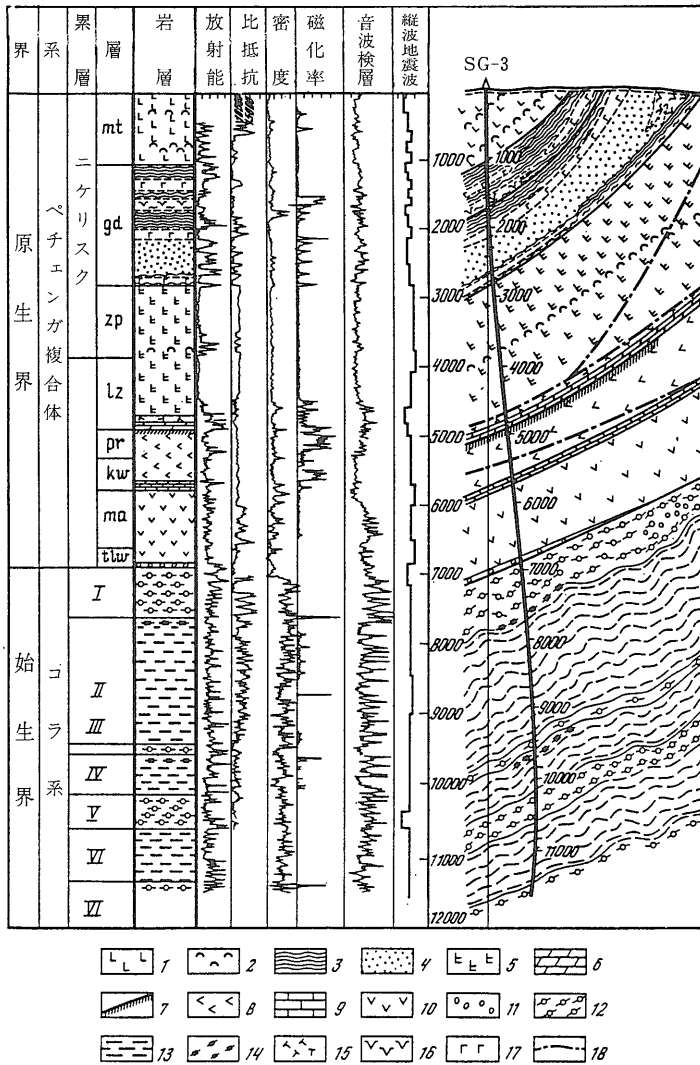
Ni 貫入岩層の探査などであり そのため始生代片麻岩類が広く分布するコラ半島で 原生界が残存するペチェンガ鉱化域が選ばれた。予想断面は上部に原生代 (20億年) の苦鉄質火山岩層 (ペチェンガ系 4層からなり第3層に含 Ni 苦鉄質貫入岩がある) 4.7kmより下位で始生代 (27-29億年) の角閃岩と含鉄珪岩を夾む花崗岩質片麻岩類 7.5-8km にコンラッド面があって その下に玄武岩層が出現するであろうというものであった。

結果は見事にはずれ 原生界は 6,840m まで続き 残り (6,840-12,000m) はすべて始生界の変成岩類であって玄武岩層は得られなかった。またコンラッド面にも岩石差は得られなかった (第1図)。上部の原生界は火山岩堆積岩類の互層で 火山岩は主に玄武岩質 安山岩粗面安山岩などを伴う。始生界は閃雲斜長石片麻岩 高アルミナ片麻岩 (泥質源) 角閃岩 超苦鉄質岩からなり 花崗岩質岩脈 ペグマタイト脈を様々な密度で伴う。放射年代は地上で得られているものとはほぼ同様であった。

鉱床探査側面からみれば 1,540-1,810m で地表と異なる層準に含 Ni 超苦鉄質岩層が得られた。始生界では 小規模ながらも含鉄珪岩 Fe-Ti 鉱体 Cu-Ni 鉱微低温熱水変質岩が得られている。筆者はこの超深部に産出する始生代の熱水変質岩の地表水の関与について関心を持ち質問したが まだ O H 同位体などの研究は行われていないとのことだった。今後の掘進予定についての質問には 演者はうまく体をかかわっていた。

Fall-out over Sweden

IAGOD 討論会にはポスターセッションも用意され ここではチェルノブイリ事故による汚染調査図が掲げられ 参加者の注目を集めた。以下にポスターの全文を



第1図

ベチェンガ地域深部掘削井の断面 (Kazansky ら 1985 岸本文訳)

1—輝石ひん岩・ピクライトひん岩の間層を伴う普通輝石輝緑岩; 2—塩基性凝灰岩・同層灰岩; 3—凝灰岩の間層を伴った千枚岩・シルト岩; 4—シルト岩・泥岩を伴った周期的成層砂岩; 5—陽起石化輝緑岩; 6—苦灰岩 アルコース砂岩; 7—絹雲母片岩; 8—変輝緑岩; 9—苦灰岩, ポリミクト砂岩; 10—輝石ひん岩と同質片岩; 11—ポリミクト礫岩 同粗礫岩; 12—高アルミナ鉱物を随伴する黒雲母—斜長石片麻岩; 13—ミグマタイト化・花崗岩化黒雲母—斜長石片麻岩; 14—磁鉄鉱—角閃石片岩; 15—安山岩質ひん岩貫入体; 16—ウエルライト貫入体; 17—はんれい岩—輝緑岩貫入体; 18—断層.

地層 I III V VIIは紅柱石 十字石 珪線石 ざくろ石を含有し 稀には角閃岩体を伴う白雲母—黒雲母—斜長石片麻岩; 地層 II IV VIは黒雲母—斜長石片麻岩 黒雲母—角閃石—斜長石片麻岩および角閃岩.

ベチェンガ コンプレックスの層序区分: ルオスタラ系はテレバ累層(tiw) マヤルバ累層 (ma) クベルネリニョク累層 (kw) ビルチャルバ累層(pr); ニケリスク系はルチュロムポリ累層 (lz) ザポリヤルヌイ累層 (zp) ジュダノフ累層(gd) マテルト累層(mt) からのなる.

訳す.

1986年4月26日土曜日 ソ連のチェルノブイリ (Chernobyl) 原子力発電所の事故は放射性同位元素のfall-outを生ぜしめた. Fall-outは2回に亘り発生し 最初の主要なもの 4月28日(月)—30日(水) 小規模な第2回目は5月8日(木) 共に南西風によりもたらされた.

汚染図(口絵2左)は5月9日の空中全 γ 線量調査から U Th K^{40} 宇宙線などの自然放射線量を差し引き地上における γ 線量として $\mu R/hr$ で示してある. したがってこの図は5月9日のfall-outの量を意味する. なおスウェーデンにおける自然放射能は $8\mu R/hr$ である.

セシウム図(口絵2右)は5月9日—6月3日の Cs^{134} の地上測定結果であり KB/m^2 で表してある. Cs^{137} は Cs^{134} のほぼ2倍の値を示す.

Fall-out図作成のデータは主にスウェーデン地質社によるエアボン調査に基づいており この調査は国立放射線保護研究所の委員会の要請で そこで標準化されている機器によっておこなわれた.

航空機には 300—2800keV 256チャンネルの γ 線スペクトロメータが積まれ 高度150mで測定された. 測線間隔は最大50km 汚染が著しい地域ほど密なグリッドで飛行した. 東部の湾岸地域の測線は4km間隔である.

今回の討論会には また9組の野外巡検が用意され 筆者も汚染域にかかる一つに参加した. スウェーデン地質社の黄色い小型機はまだとび続けていた. 巡検中ラップ人が生計をたてている野生のトナカイに何回も出会ったが(写真5) トナカイはぬきとりで捕獲 内臓のCsを調査し 汚染が著しい地区のものは今年処分さ

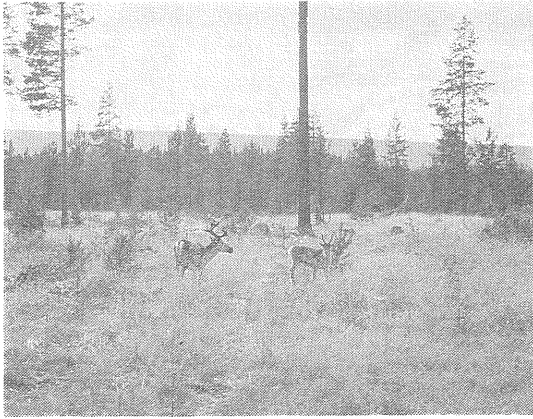


写真-5 車窓に見る野生のトナカイ。



写真-7 スウェーデンの滝。高低差は少ないものの河川は時には滝を作る。

れる予定とのことであった。トナカイもラップ人もまた犠牲者である。巡検中 私達はスウェーデンや中部ヨーロッパの人達を中心に保障問題について議論したが北欧の人達は悲観的であった。私達の巡検には偶然ではあるがソ連からの参加者が8人にも達した。8月末のスウェーデンは何種類ものベリーが色づく。彼等は盛んにベリーを摘みとって食べた。

緑の低地—バルチックシールド

北欧といえば森と湖である。まさにその通りで先カンブリア系のバルチックシールドは低くそして森林と共にどこまでも続く(写真6)。山地はスウェーデン・ノルウェイ国境沿いのスカンジナビア山地に限られるがその高さも2,000m以下である。フィンランドでは最

高1,324m 同国の平均高度は152m ヨーロッパの平均高度330mの $\frac{1}{2}$ である。

バルチックシールドは約1.1万年前まで厚さ数十mの厚い大陸氷河に覆われていた。氷河は山地から低地へ移動して氷食を行い、氷食谷や氷河堆積物によるせき止湖を作った。スウェーデン中北部では北西から南西へ河川や湖沼がならぶ(第2図)。また融氷による基盤の上昇が著しくその標識地としてヨーロッパの地学教科書にしばしば登場する。フィンランドとスウェーデンの湖の面積は国土面積の約9%にも及ぶ。

先カンブリア紀変成岩や深成岩からなるバルチックシールドの北西側には古生代中期にカレドニア造山帯が発達した。ここは主にノルウェーで山地が急激に大西洋に落ち込みフォードで特徴づけられる。バルチック

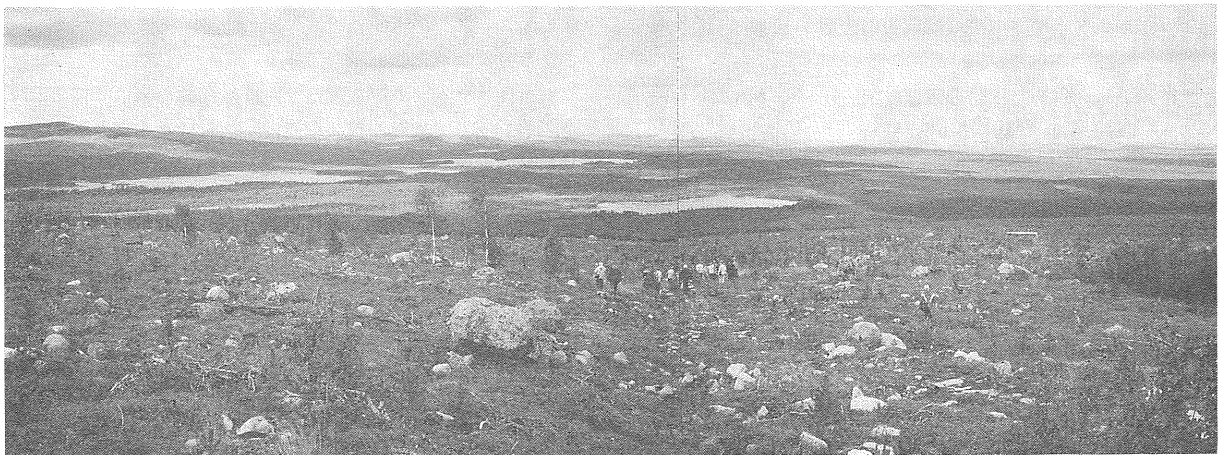


写真-6 ルレオ南西方アルビヤウル郡下の森林風景。

シールドの南側にも顕生代の被覆層が発達する。

クラトンの成長と主要鉱化期

バルチックシールドの先カンブリア系は北東から南西へ発達 成長した(第3図)。北東側の最古の岩石は31-35億年 南西部の最も若い花崗岩は9億年である。これら先カンブリア系の最西部は6-4億年に再活動し カレドニア造山帯を形成した。

先カンブリア紀の地殻の発達は次の6回の造山運動 すなわち

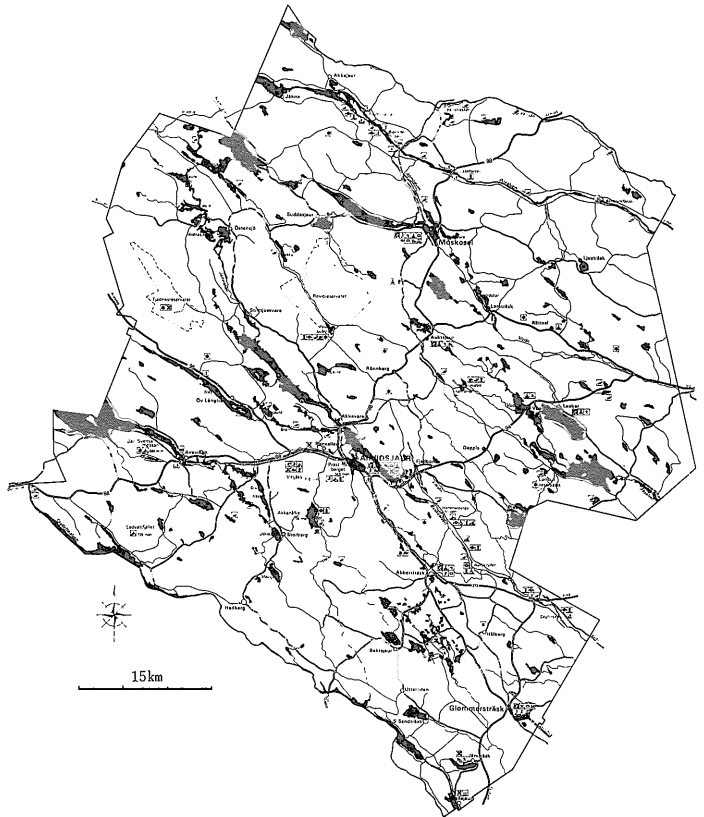
| | |
|-------------|-------------|
| サーミアン | 30億年以上 |
| ロピアン | 29-26億年 |
| スペコフェニアン | 20-17.5億年 |
| ゴシアン | 17.5-15.5億年 |
| ハランディアン | 15-14億年 |
| スペコノルウェイジャン | 12.5-9億年 |

により生じたが 最も著しいものはスペコフェニアン期のもので これはアンデス型の沈み込みにより早期原生地殻が始生地殻に付加されたものと解釈されている。重要な鉱化作用は次の4時期にみられる。

- (i)原生代クラトン中の24億年の苦鉄質
層状貫入岩体に伴われる鉱床: Cr PGE Ni-Cu V-Ti-Fe
- (ii)原生代クラトン縁辺部の沈み込み帯に 関係する 20-18億年の 鉱床: Cu-Zn Ni-Cu Cu-Mo (主要硫化鉱床生成期)
- (iii)カレドニア造山帯の堆積火山性層準 規制 鉱床: Pb (-Zn) Fe-Zn-Cu
- (iv)オスロ古リフト帯の鉱床(二疊紀): Fe-Mn-Ti-W Cu-Pb-Zn Bi Mo

先カンブリア紀の鉱化作用

原生代が広く分布する北東部はカレリアンクラトンと呼ばれる。この地域は31-25億年の花崗岩類 29-27億年のグリーンストーン帯からなる。これら始生代の諸岩石を覆って原生代(25-21億年)の陸上火山-堆積岩類が分布する。また東北系の張力断層に沿って24億年の苦鉄質岩類が貫入し これらはCr(ケミ コイテライネン) Fe-V-Ti 鉱床(ムスタバーラ) Ni-Cu(±PGE 白金属)

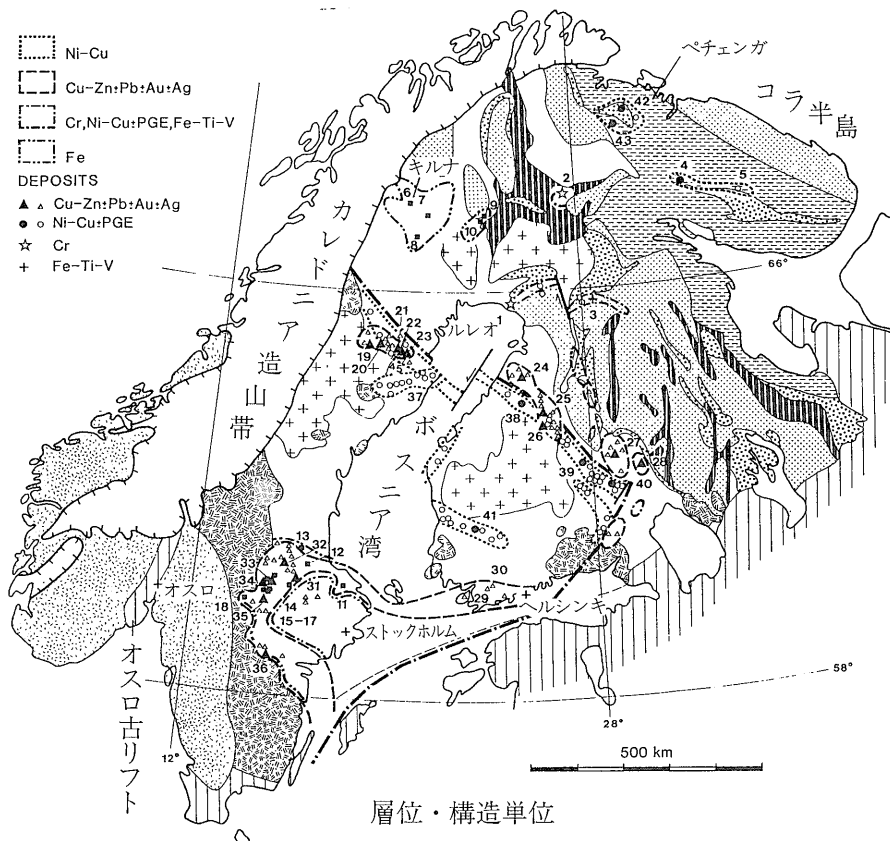


第2図 スウェーデン北部 アルビツヤウル郡下の河川の流れ(北西→南東). 湖(黒色部)が多いことに注目。

鉱床(モンテペゴルスク ベチェンガ)などを伴う(第1図)。先カンブリア紀鉱化作用で最も経済的に重要な原生代初期の鉱床は始生代の大陸縁に沿って北西かS南西方向にスウェーデン北部のスケレフテ帯 その南東延長のラドガ-ボスニア湾帯 更に南部のベルグスラーゲン帯からなる。これらがポリーデン オートクンプなどで代表される主要な硫化物鉱床帯である。

原生代クラトンの周辺部は22-20億年前の頃 北西方向のドレライト岩脈の貫入をうけ これは張力割目の発達があった結果と考えられている。引続いて(21-20億年前) クラトン周辺部は沈降し 大陸棚浅海堆積物である炭酸塩岩 タービダイトなどがソレライトの薄層と共に堆積した。

20-19億年前の時代には この地帯は構造場の変換があり 沈み込み帯と背弧に縁海が発達した。オートクンプ型のCu-Co-Zn硫化物鉱床はこの縁海が発達に関与したと思われる。引続く(18.8億年前)時期には複数回のアンデス型の島弧活動があつて(第4図B) 多数の火山性硫化物鉱床が生成された。この帯のNi-



第3図
バルチックシールドの地質概略と始生代初期の鉄床 (Gaál 1986).

- Cr 鉄床: 1 ケミ 2 コイ
 テライネン Fe-V-Ti 鉄床: 3 ムスタバーラ Ni-Cu 鉄床: 4 モンチェゴルスク 5 イマンドラーバルツォガ Fe 鉄床: 6 キルナ 7 スババーラ 8 マルムベルゲット 9 ハンスカイネン 10 ラウツバーラ 11 ダンネモラ 12 ビングスバッケ 13 ヒントヤーン 14 ルベルグ 15 グレンゲスベルグ 16 ブロトベルグ 17 ホクスベルグ 18 ペルスベルグ—ノルマーク. Zn-Cu±Pb±Ag±Au 鉄床: 19 クリスティネベルグ 20 ネスリデン 21 ガルベンベルグ 22 レンストロム 23 ロングダル 24 ビハンティ 25 ビヘサルミ 26 カンガサルビ 27 オートクンプ 28 ハマスラティ 29 アイヤラ 30 オリヤルビ 31 ガルベンベルグ 32 ファルニ 33 グレンスグルバン 34 サクスベルゲット 35 カベルトルブルーヌナルスベルグ 36 オンメベルグ. Ni-Cu 鉄床: 37 ラップバット ネット 38 ヒツラ 89 コタラーティ 40 エノンコスキ 41 パンマラ 42 ベチェンガ 43 アラレチュカ

層位・構造単位

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 顕生代被覆層 | □ スベコフェニアン地向斜堆積物(20-18億年) |
| ▧ カレドニア造山帯 | ▨ カレリアン地塊被覆岩類(24-19億年) |
| ▩ 南西スカンジナビアドメイン | ▧ 原生代高変成岩類(29-27億年) |
| ▨ 非-後造山期火成岩類(17-15億年) | ▩ グリーンストンベルト(29-27億年) |
| ▧+ スベコフェニアン花崗岩類(18.5-17.5億年) | ▨ 原生代花崗岩類(31-25億年) |
| 原生代地殻の縁 | — 断層 |

Cu 鉄床はソライト系玄武岩質マグマの貫入相に伴われるものである。

オートクンプ鉄床

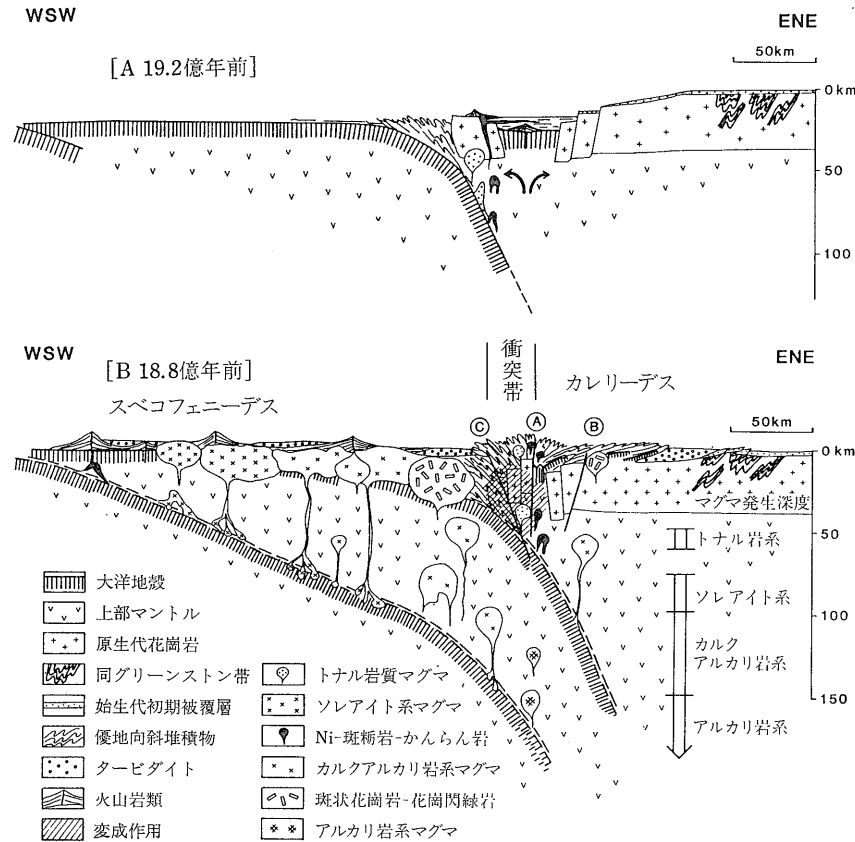
オートクンプ鉄床はフィンランドを代表する塊状硫化物鉄床であり 成因的にも大変興味深い。その成因はかつては貫入活動に伴う後生熱水鉄床説または硫化物含有黒色片岩からの変成分化説などが考えられたが 近年は火山堆積性同生説が定着している。

オートクンプ鉄床は1910年の試錐で発見され これまでに塊状Cu-Co-Zn 硫化物鉄床が3ヶ所 オートクンプ(現在ではケレティと呼ばれる) プオノス ルイコンラティ さらに Ni-Co 硫化物が1ヶ所(プオノス)で確認

されている(第5図)。 これまでに Cu-Co-Zn 鉄石が約4,000万トン採掘され 少なくとも200万トンの鉱量がある。平均品位は第1表の通りである。1986年の予算によると 40万トンの鉄石(2.7%Cu 0.21%Co 0.6%Zn)から10,160トンCu 589トンCo 885トンZnの生産が予定されていた。

構成岩類: 基盤は先スベコカレリアン(始生代)の花崗岩 眼球片麻岩 グリーンストーンなどであり これは地塊状に分布する(第5図)。これを不整合に覆うスベコカレリアン系は珪岩 蛇紋岩 黒色片岩 雲母片岩 さらに一部で苦鉄質火成岩 花崗岩が貫入する。

鉄床の母岩は蛇紋岩とドロマイトのレンズを含む石英-スカルン岩石で これは“オートクンプ・アソシェーション”と名付けられている。リボン状に蛇行し密な



第4図
スベコフェニアン造山運動のプレートテクトニクスモデル (Gaál 1986).

褶曲をうけながら雲母片岩や黒色片岩中にみられる。この岩石は化学的に特異な性質を持ち Ni (400-2,000 ppm) Co (50-150ppm) Cr₂O₃ (1,000-5,000ppm)が高く Cu (8-90ppm)が低い。したがってスカルンにはCrに富む鉱物が多い。ニッケルは主にペントランド鉱として産出する。

蛇紋岩はダナイト ペリドタイト 輝岩などのレリクトを持つ。一部では斑輝岩や元来枕状溶岩であったと思われる縞状角閃岩を含む。ドロマイトとはレンズの周辺部で漸移することが多い。蛇紋岩は一般に種々の程度の炭酸塩化と緑泥石化を受けている。蛇紋石帯にはチャート質石英層が夾まれることがありまた鉱石を含むチャートが蛇紋岩の直上にみられる。

ケレティ鉱床は延長4 km 幅100-300m 厚さ1-40mの層状で 20-50°の傾斜を持つ。衝上断層と逆断層により3鉱体に分けられておりうち2鉱体が地表に露出する。主鉱体は深度300mで緩傾斜 深度200mまで上昇する(第6図)。1913年の採掘開始時の2,800万トンの鉱量の多くは採掘済みである。

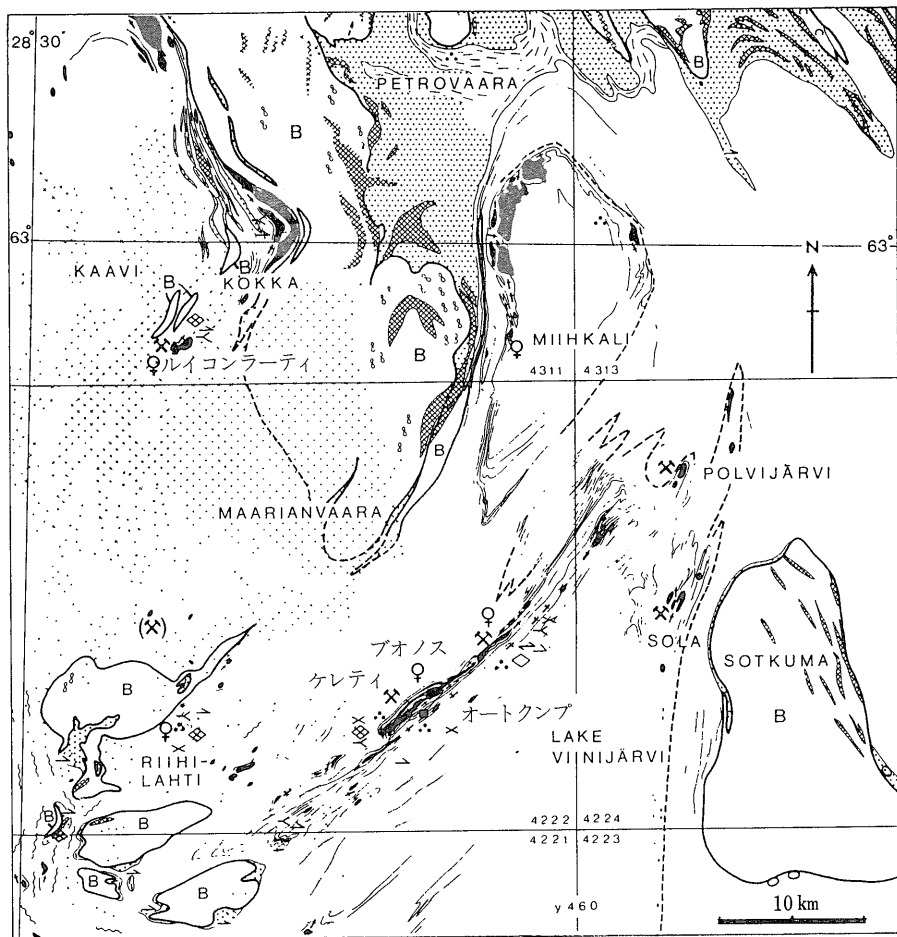
鉱石鉱物は母岩中に密な鉱染 縞状 塊状 角礫状に産出する。鉱体は黄鉄鉱型と磁硫鉄鉱型に分けられ

一般に黄鉄鉱型がコアにあって磁硫鉄鉱型に包まれる。著しいCoの濃集が両タイプの下部にZnの濃集が上盤側に認められる。場所によっては高Ni-低Co帯が鉱体周辺部の石英岩中に鉱染状にみられる。

主要硫化鉱物は磁硫鉄鉱(23%) 黄鉄鉱(21%) 黄銅鉱(11%) 閃亜鉛鉱(1.7%) ペントランダイト(0.5%) 脈石鉱物は石英(38%) スカルン鉱物(2.2%) 蛇紋石 ドロマイト タルクなどである。

成因: 石英-スカルン岩石や鉱石はしばしば縞状組織を示すが一般に変成作用以前の構造を知ることは難しい。しかしながら局部的には見事な縞状構造がみられる(第7図)。鉱床は恐らくチャートと共沈した堆積性でありその時期は鉱石のPb同位体によると20-21億年前である。それが18-19億年前の変成・褶曲作用により現在の角閃岩相変成岩類にみられる複雑な鉱体をもたらしたものと思われる。

一方 Ni-Co 鉱床および Ni 微候地は 董青石-アンソフライト-緑泥石-柘榴石組合せの特異な岩石にのみ産出し 鉱染網状にみられる。化学組成(第1表)が Cu-Co-Zn 鉱床とかなり違うことから 鉱液がフィードチャンネルから後生的にもたらされて生じたものと考えられ



- | | | |
|---|--|--|
| <p>原生代</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ B 花崗岩、眼球片麻岩 グリーンストーン | <p>始 生 代</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 花崗岩 ■ 雲母片岩、注入片麻岩 ■ 黒色片岩 ■ 蛇紋岩類 ■ 苦鉄質火成岩 ■ 珪岩 | <ul style="list-style-type: none"> ♀ Cu 鉱床、徴候地 ⊗ 鉱 山 ⋯ 柘榴石 ⋯ 珪線石 ⋯ 董青石 ⊗ 十字石 ◇ 直閃石、カミングト角閃石 ◇ 紅柱石 ⋯ 藍晶石 |
|---|--|--|

第 5 図
オートクンプ地域の地質概
略と鉱床の位置
(Parkkinen 1986).

たこともある。しかしこの種の鉱石 とくに Ni 徴候地はかなり広域的にみられ 鉱石の化学的的成分もかなり一定している。ケレティ鉱床では Cu-Co-Zn 鉱体の上下盤に密接に産出し あたかもその生成に先立って母岩と同生的に沈澱した産状を示している。

スケレフテ帯の鉱床

スケレフテ帯は既述のようにスウェーデン中北部を西北西に走る沈み込みを伴った始生代の 衝突帯と思われ (第

1987年 5 月号

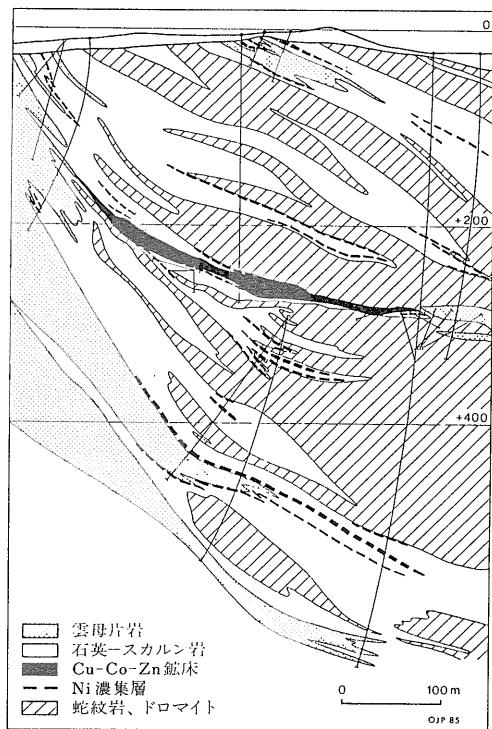
2 図) 南側に海成堆積火山岩類が 北側にカレリアン地塊が分布する。この地域はスカンジナビアで最も重要な硫化物鉱床地帯であり 高品位鉱 (1.4%Cu 6.8%As 16g/tAu 鉱量800万トン) で著名なポーデンを含め80以上の層準規制鉱床が知られており 15鉱床以上が稼行された (第8 図)。稼行鉱床の規模は 鉱量 100-1,700万トンである。

これらの鉱床はかつては花崗岩に関係するものと思われており とくに花崗岩化作用説が一般的であった時代には 堆積岩類の花崗岩化 それに伴うメタルの濃集と

第1表 ケレティ鉱床の平均品位(%)

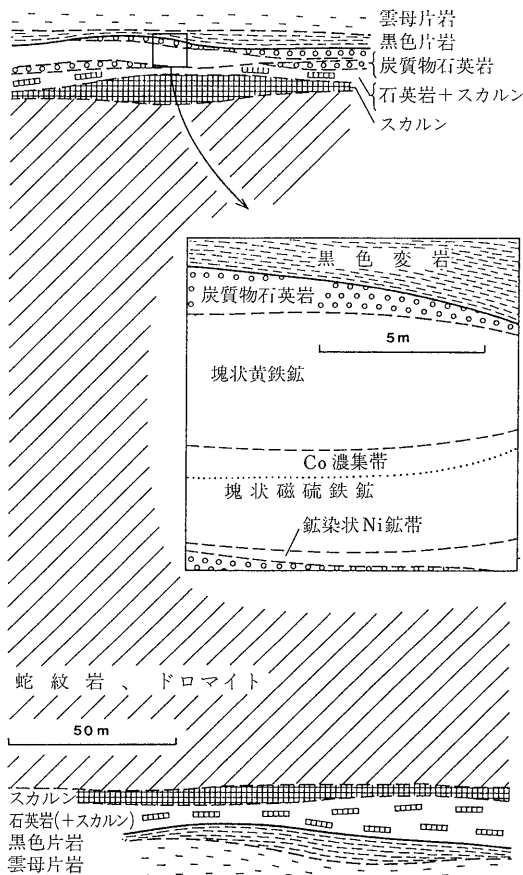
| | Cu-Co-Zn鉱 | Ni-Co鉱 |
|--------------------------------|-----------|---------|
| Cu | 3.8 % | 0.35% |
| Co | 0.24 | 0.14 |
| Ni | 0.12 | 0.47 |
| Zn | 1.0 | 0.1 |
| Fe(S) | 28.0 | 6.3 |
| S | 25.3 | 3.9 |
| <hr/> | | |
| Ag | 9 ppm | — |
| Au | 0.8ppm | 0.15ppm |
| SiO ₂ | 38.0% | 82.0% |
| MgO | 0.4 | 3.0 |
| CaO | 0.5 | 2.0 |
| C | 450ppm | — |
| Cr ₂ O ₃ | 150ppm | — |
| V ₂ O ₅ | 150ppm | — |

Parkkinen (1986)



第6図 ケレティ鉱床中央部の44断面。左側の雲母片岩・黒色片岩が石英・スカルン岩と蛇紋岩(オートクンブアソシエーション)の実質上位に当る (Parkkinen 1986)。

構造的に好ましい破碎帯や引きずり褶曲への硫化物鉱床の生成が考えられた (Gavelin 1955)。しかし 近年では火山堆積性鉱床説を支持する地質家が多く 日本の黒

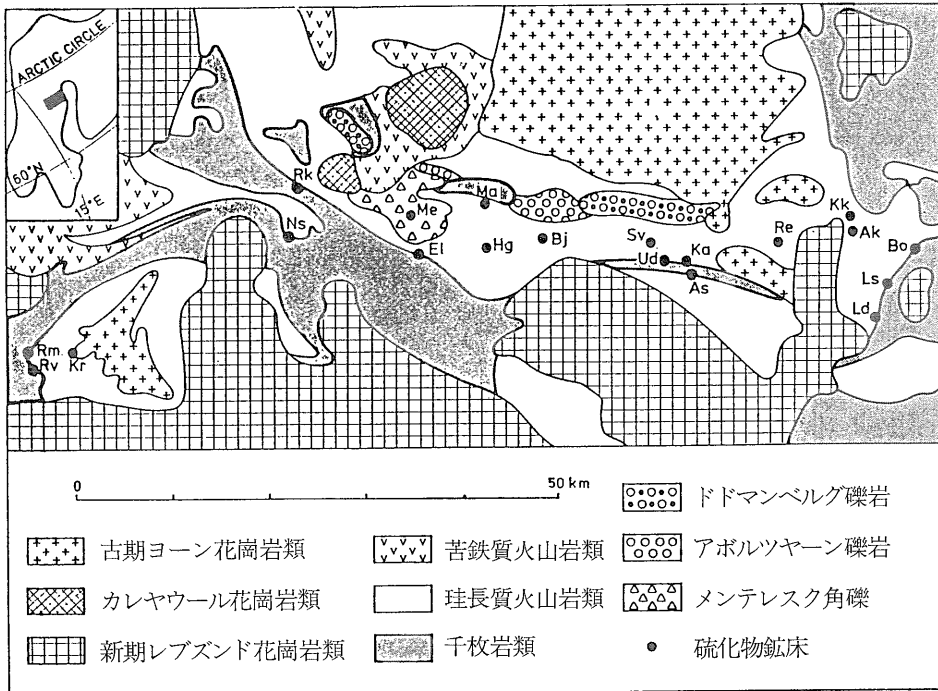


第7図 ケレティ鉱床 オートクンブアソシエーション未褶曲部にみられる鉱体の上下変化 (Parkkinen 1986)。まず高Ni 低Fe-S鉱体 ついで主要なCu-Co-Zn-Fe-S鉱体が生成した。上盤沿いのZn濃集部や鉱体中のCo濃集部は変成分化作用で生じたものかも知れない。

鉄鉱床との比較研究が盛んである。

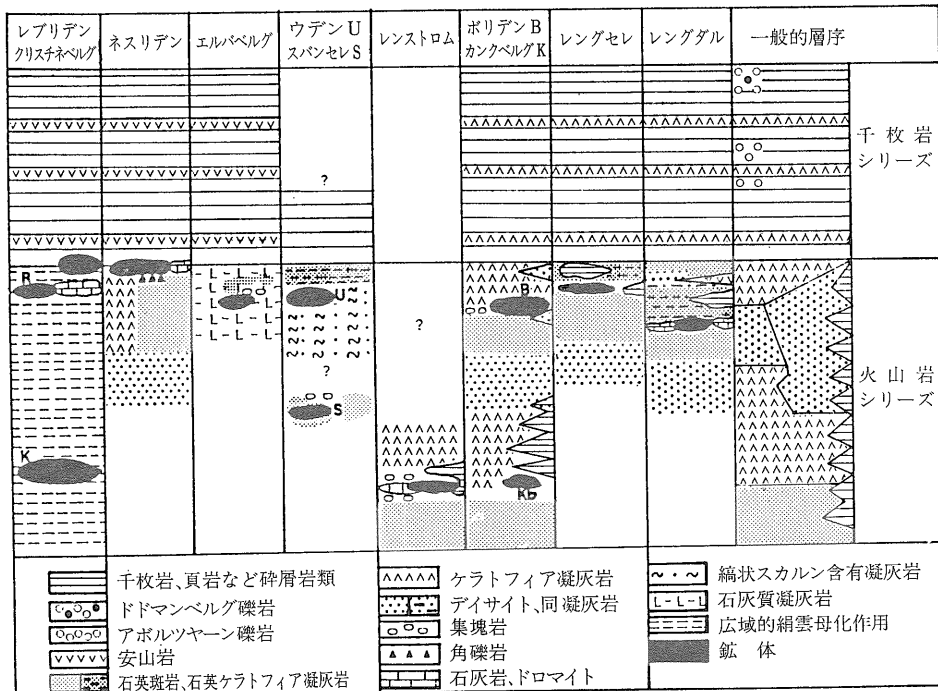
この地域の最下位は原生代のスケレフテ層群で これは海成の火山岩・堆積岩類からなり弱-中程度の広域変成作用をうけている。この層群は3部層に分けられ下部層は珩長質火山碎屑岩類を主とし 少量の苦鉄質火山岩と泥質岩を夾む。珩長質岩は粗粒の結晶質凝灰岩葉理凝灰岩 角礫化凝灰岩などで 溶岩は少ない。岩質は石英ケラトフィア質デイサイト-流紋岩である。苦鉄質岩の夾みはスピライト質玄武岩-安山岩質であり火山活動はパイモータルであったと言える (Widenfalk 1986)。この下部層が主要な鉄床胚胎層である (第9図)。

この下部層の上位に整合的に泥質岩を主とし 一部に砂岩や礫岩を夾む堆積岩類がみられ 現在では千枚岩化



第 8 図 スケレフテ地域の地質略図と鉱床の分布 (Rickard & Zweifel 1975).

鉱床名：Bo ボリーデン Kk カンクベルグ Ak オクラ Ls ロングセル Ld ロングダル Re レンストロム As アセン Ke ケドレスク Ud ウデン Sv スパンセル Bj ブョルリデン Ma マウルリデン Hg ホグクラ Me メントレスク El エルバベルグ Ns ネスリデン Rk ラッケヤウル Kr クリステナベルグ Rm ロブリドミラン Rv レブリデン。



第 9 図 スケレフテ地域主要鉱床の層序的位置 (Rickard & Zweifel 1975).



写真-8 スエーデンの教会。 中部ヨーロッパのものとは違った質素な良さがある。

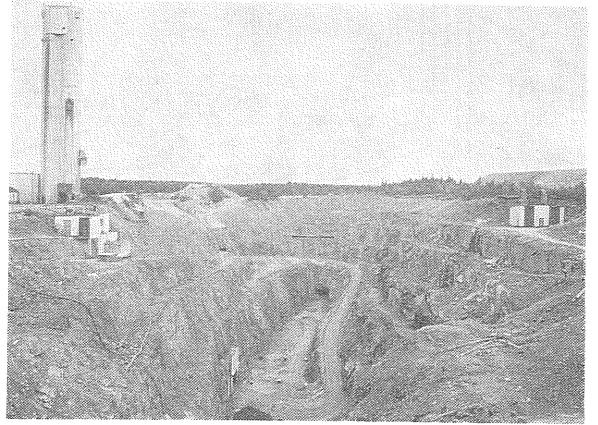


写真-10 ウデン鉱床の露天掘りと立坑。現在は坑内掘りに切り換えられている。



写真-9 スケレフテ地域のポーフイリー銅鉱床の露岩。網状細脈は主に石英。

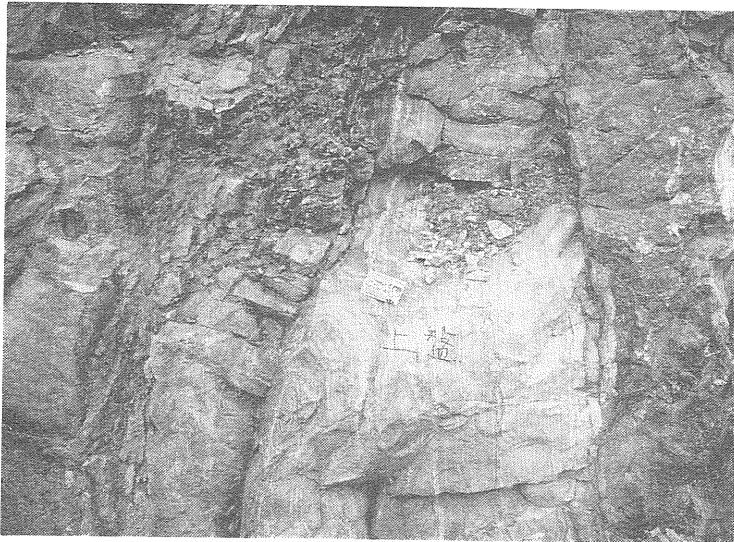
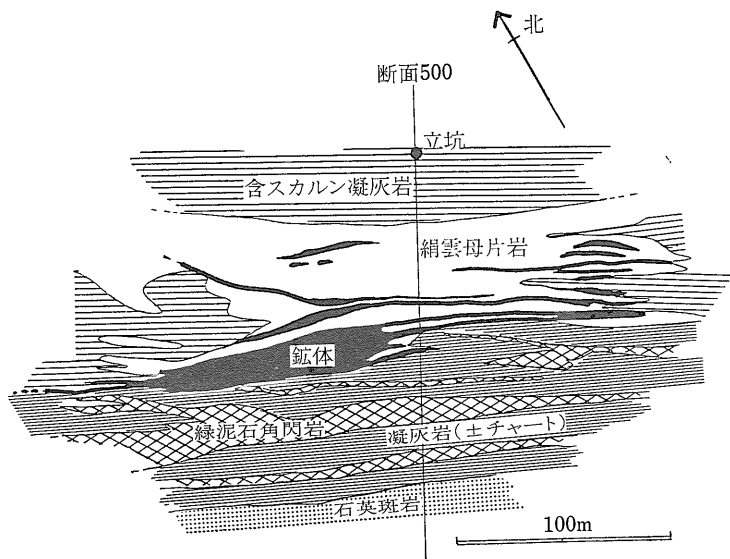


写真-11 ウデン鉱床の上盤。 中央の白色褶曲部が上盤変成岩でその左側が鉱体。



第10図
ウデン鉱床の平面図(上)と断面図(下)
Widenfalk (1986).

している。上部層は石英ケラトフィア質 デイサイト-流紋岩とスピライト質玄武岩-安山岩である。また上部層には超苦鉄質岩-斑岩の浅所貫入岩類がしばしばみられるが、これらはコマチアイト~ポニアイト質であり、島弧と海嶺火山岩類の中間的な性質を示す。

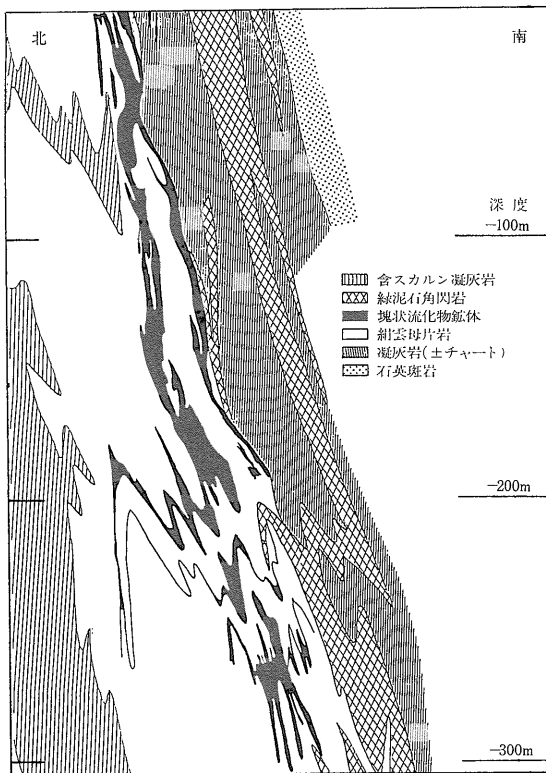
スケレフテ層群は局部的に発達した流紋岩質の陸上火山岩類に覆われ、そしてヨーン花崗岩類(古期)の貫入をうける。この深成岩類は斑岩から花崗岩に至る幅広い組成を持つが、 Na_2O に富む特徴を有する。その浅所貫入岩相は著しい角礫化や熱水変質作用を伴い、一部ポーフリー Cu 鉱化を伴う(写真9)。

鉱床の多くはスケレフテ層群下部層の千枚岩層の直下で、火山岩類と密接に産出する(第8図)。一部は石灰質岩と密接なこともある(エルバベルグ)。より下位の火山岩シリーズ中の鉱床は火砕岩中に産するが、近傍に黒色片岩中の石灰質レンズがみられることが多い。

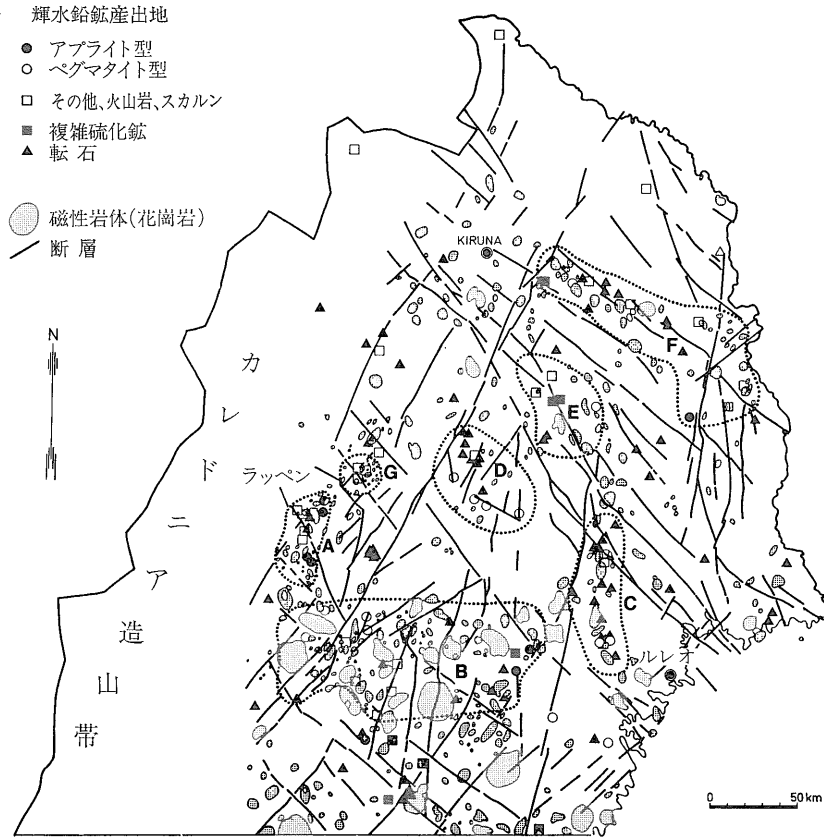
鉱石鉱物は黄鉄鉱で特徴づけられ、種々の割合で黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、磁硫鉄鉱、硫砒鉄鉱を含む。Sb、Biなども産出する。スケレフテ地域全体としての平均品位は、1.5ppmAu、39ppmAg、0.8%Cu、2.3%Zn、0.2%Pb、0.8%As、30%S、31%Feであり(Rickard & Zeifel 1975)。一般に Zn に富んでいる。

筆者が見学したウデン(Udden)鉱床(写真10、11)は地域の東部にあり、現在唯一の稼行中の鉱床である。1955年に発見され、総鉱量は600万トン、東方2kmには同一層準のケドトレストク(鉱量400万トン)がある。

ウデン鉱床は褶曲が著しい鉱床の代表例であり、西北西-東南東の大きな向斜構造の中の小背斜軸に分布する。オープンピット内では南に急斜する変成岩類に層状鉱体が10層にも達するが、坑内観察によりこの複雑な構造は



褶曲作用の結果生じたものと考えられている(第10図)。主要鉱体は絹雲母片岩と凝灰岩(土チャート)との間に胚胎し、主として黄鉄鉱からなり、閃亜鉛鉱と若干の黄銅鉱を含む。方鉛鉱と四面銅鉱はスカレンに富む層準で多い傾向がある。鉱床の平均品位は、0.8ppmAu、41ppmAg、0.41%Cu、4.72%Zn、0.35%Pb、0.1%As、26%Sである(Widenfalk 1986)。



第11図

スウェーデン北部の Mo 産出地と磁性岩体 (Öhlander 1986). 点線域に A~F は輝水鉛鉱の濃集域.

スウェーデン北部の花崗岩地帯の鉱床

スケレフテ地域の北方 大陸ドメイン(カレリアン地塊)には花崗岩類に関係した Mo U W などの鉱床が多数発見されている。花崗岩類は主に始生代の変成岩類に貫入する。変成岩類の変成度は地域によって様々であり 緑色片岩相以下から角閃岩相まで変化する。

花崗岩類は同位体年代により古期 新期の 2 時期に分けられている。古期グループ(18.9-18.4億年)は一般に幅広い組成とアルカリ/ライム比を持つ。限られた化学分析値およびスウェーデン北部では円形の空中磁気異常が一般的でそれが花崗岩類の分布と一致する(第11図)ことから判断して 花崗岩類の多くは磁鉄鉱系に属するものと考えられる。Mo 鉱床はこの古期花崗岩類に伴われる。スケレフテ地域のポーフィリー銅鉱床も同様であり 環太平洋地域で提案された花崗岩系列の鉱床との関係は原生代花崗岩地帯にも適用できる。

新期花崗岩類(18-17.5億年)は限られた組成を持ち一般に珪長質である。U 鉱床は流紋岩や古期花崗岩を母岩とするが年代からみて新期花崗岩に由来するものと考えられている。

モリブデン鉱床：スウェーデンは第一次および第二次世界大戦時に若干の Mo を生産したにすぎないが 近年の探査によって数多くの徴候地が発見されている。Mo 産地の特色はそれがスケレフテ地域以北の大陸ドメイ



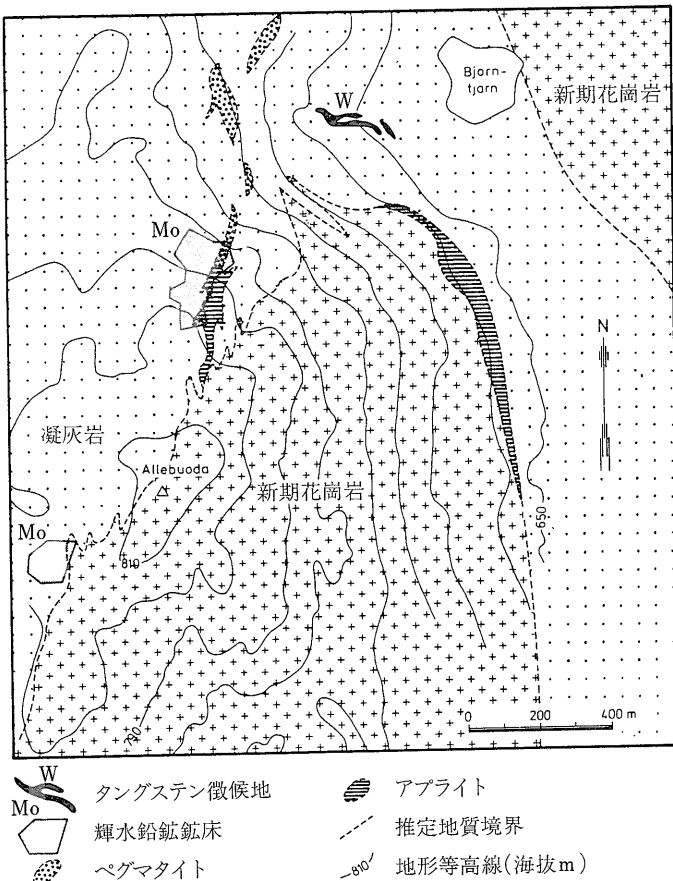
写真-12 コタベルゲットのモリブデン探鉱地。転石から露頭を発見し剝土してその存在を確認した。

ンにしか産出しない点にある。鉱床のタイプとしては優白色花崗岩に伴われるアプライトペグマタイトに含まれるアプライト型 ペグマタイト型が主要なもので ここでも環太平洋地域にみられる傾向と同様である。

最も重要なラッペン地区（第11図のA地区）ではアプライト型が優勢である。この地域では始生代変成岩類が南北軸を持って褶曲し2時期の花崗岩類の貫入をうける。古期花崗岩は赤褐色中粒黒雲母花崗岩で片理構造を持つ。新期花崗岩は不均質な岩相を示すが一般に塊状でピンク色を示す。1ヶのU-Pb ジルコン年代は18.6億年である。

輝水鉛鉱は (i)新期花崗岩に関係するアプライトに鉱染 (ii)花崗岩中の石英脈 (iii)被貫入岩の火山岩類中の鉱脈と鉱染鉱床としてみられる。最大級のムンカでは鉱量150万トン(0.1-0.15%Mo) アレブオダでは同100万トン(0.15-0.2%Mo)が確認されている。

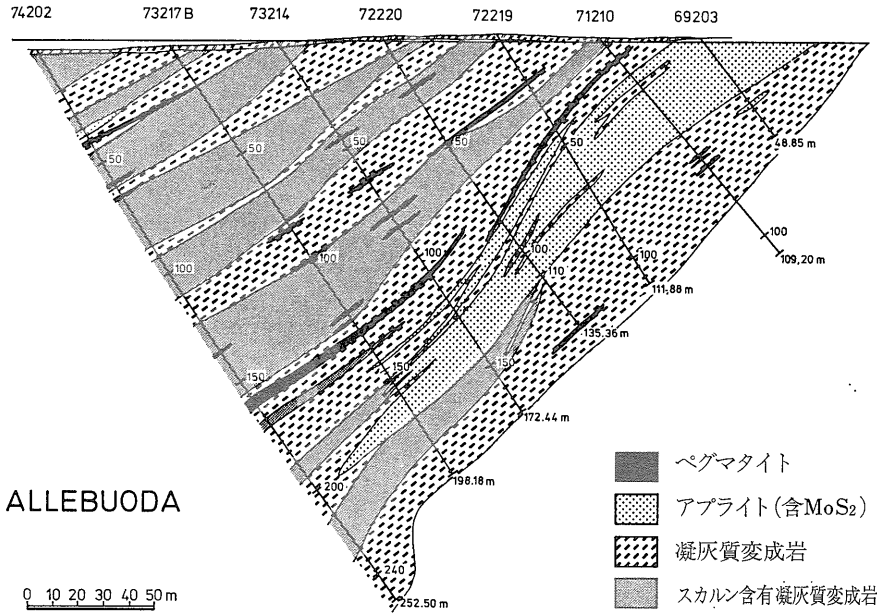
アレブオダでは花崗岩体周辺のアプライト支脈に主要鉱体がみられる(第12 13図)。輝水鉛鉱は一部にペグマタイトを伴うアプライト(口絵5)中に局部的に粗粒結晶として濃集する。蛍石がしばしば伴われ 黄鉄鉱がまれに濃集する。石英脈がある所ではMo品位が上昇する。アプライトは円形石英パーサイト質微斜長石 Na 斜長石からなり変質は斜長石が若干の絹雲母化を ごく微量の黒雲母が緑泥石化をうけるにすぎない。



第12図 アレブオダ Mo 鉱床平面図 (Öhlander 1986)



写真-13
アレブオダのアプライトに産出する輝水鉛鉱。

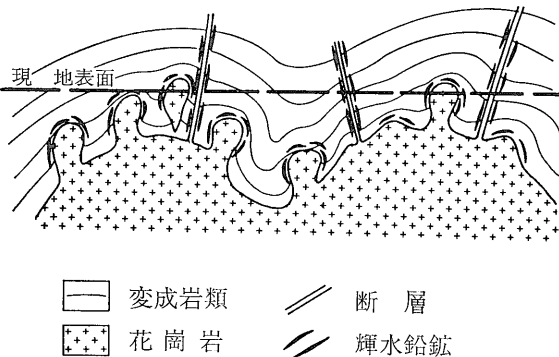


第13図 アレブオダMo 鉱床断面図 (Öhlander 1986)

B(含コタゲルベット) C E地区の鉱床もラッペン地区の鉱床に似るが よりペグマタイト性である。主要鉱床の輝水鉛鉱の産状は第14図のようにまとめられる。

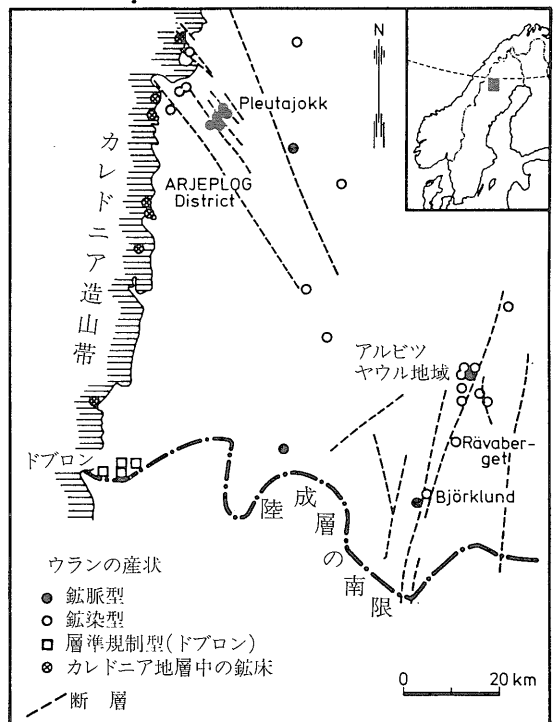
ウラン鉱床: スウェーデンのU鉱床は南部のアルム頁岩中のものが著名であるが 北部の始生代岩石中とカレドニア造山帯の基底部にも多数の微候地が発見されている(第15図)。始生代の鉱床は主に(i)鉱脈型 (ii)鉱染型であり いずれも裂か系の規制をうけ 母岩は流紋岩か花崗岩である。

以上とは時代的に異なり かつ経済的に重要なものにドブロン地域(第16図)の火山岩類中の層準規制鉱床がある。この地域には新期のレプスンド花崗岩(18-17.5億年)を不整合に覆いドブロン層群が発達する。この層群は2層に分けられ 下部層のポヨンクノセン層は下位

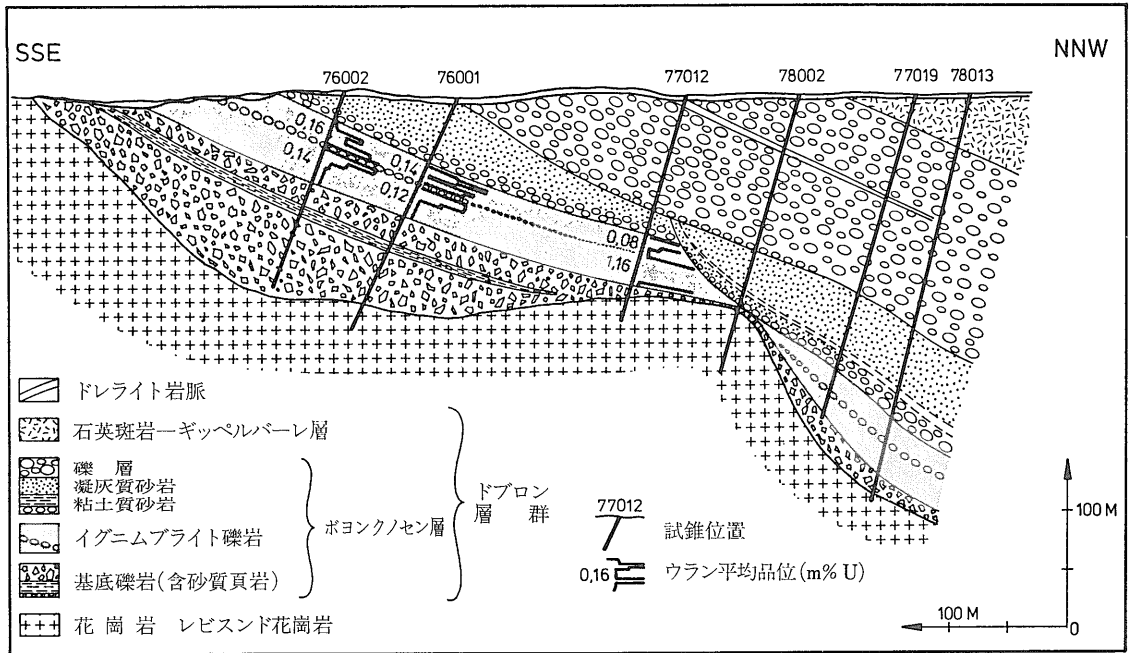


第14図 輝水鉛鉱鉱床の模式的な位置 (Öhlander 1986)

から砂質泥岩を夾む基底角礫岩 イグニンプライト 赤色砂岩礫岩互層からなり U鉱床を胚胎する。上部層はほぼ完全に流紋岩質火山岩類からなる。ドレライト



第15図 スウェーデン北部 ウラン鉱床の分布 (Öhlander 1986)



第16図 ドロンU鉱床断面図 (Öhlander 1986)

岩脈が貫入する。

U鉱床は下部層の流紋岩質イグニムブライトにみられこの母層は厚さ0~60m 厚さ1~10mの礫層を夾む。イグニムブライトの溶結度は様々で 色もマトリックスの変質鉱物 緑泥石-絹雲母 赤鉄鉱を反映して暗緑色~赤褐色に変化する。主に石英 少量の長石からなるLithophyse (直径5mm~15cm) と晶洞が溶結部分に特徴的にみられる。



写真-14 ブリュートヨクウラン鉱床。剝土後地質調査し 重要部分を除き盛土をして元の状態に戻してある(芝の部分)。

ウラン異常は一般に0.3%U以下 帯状に分布する。ウランは鉱染状ピッチブレンド Fe-Ti-Mn 酸化物と密接に産するウランチタン酸塩 マトリックス絹雲母を被覆した形として見られる。構成鉱物の晶出順序は3期

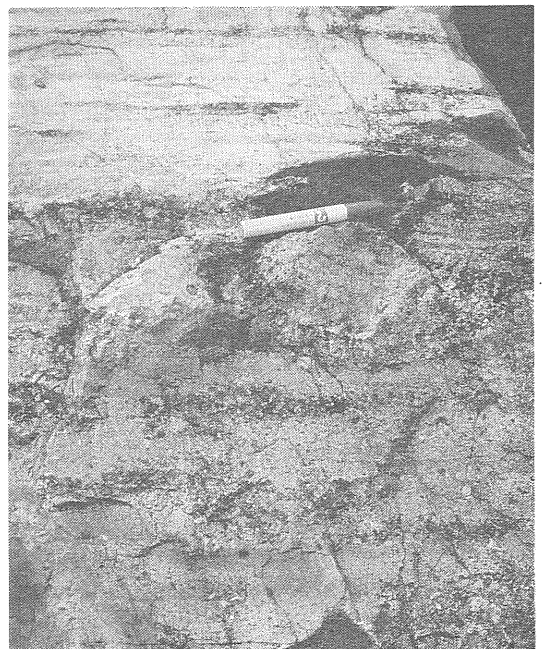
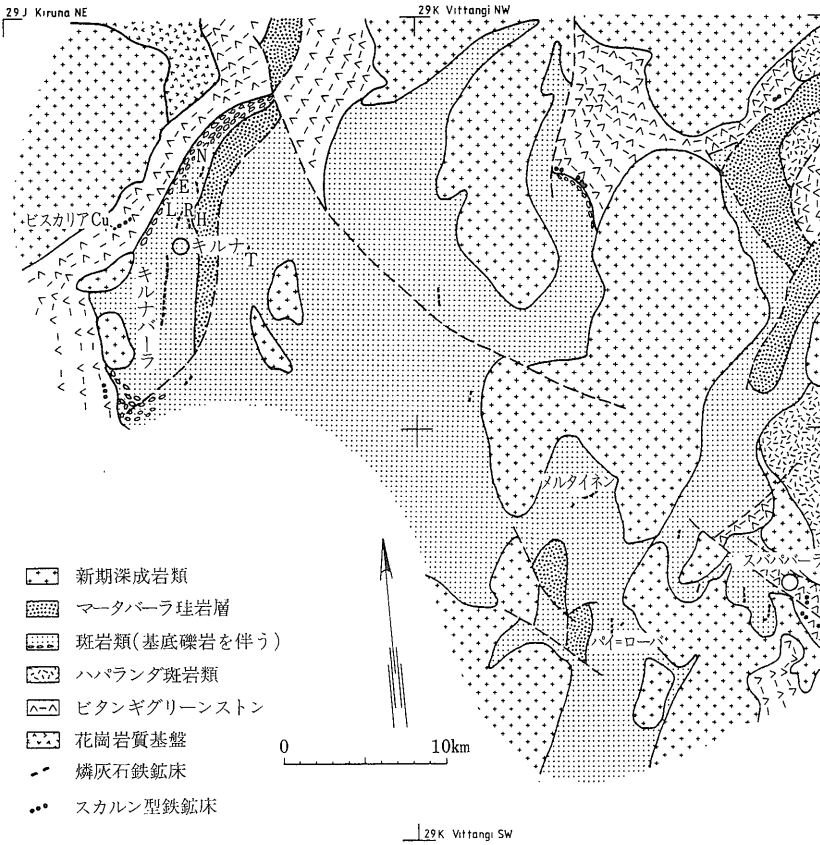


写真-15 ドロン、ウラン鉱床の火砕岩類。



第17図
キルナ型鉄鉱床地域の地質略図
(Lundberg & Smellie 1979).

に分けられ 含ウラン鉱物は第2期 若干の硫化物 黄鉄鉱 方鉛鉱 閃亜鉛鉱 黄銅鉱 硫砒鉄鉱などは緑泥石 絹雲母などと共に第3期に晶出した。ウランの起源はイグニムブライトや上位の火山岩類から脱離時期に酸化性地表水により溶脱され 構造的に好適の場に沈

殿したものと思われる。

キルナ鉄床

スウェーデンの鉄床を紹介するに当って キルナ型鉄床をさけることはできない。この鉄床は燐灰石含有の高品位磁鉄鉱(一部赤鉄鉱) 鉄石を産することで著名であり 鉄石自身の性質からみれば チリのエルラコ磁鉄鉱溶岩(本誌345号) マント型鉄床(本誌326号)や揚子江下流域の玢岩鉄床(本誌334号)などよく似ている。その成因は最初 貫入活動に伴うマグマ性鉄床と考えられていたが 近年では海底噴出活動に伴う同生説などがうち出され 現在も論争が続いている(後述)。

キルナ鉄床はスウェーデンの最北部 北極圏(写真-16)内にある。付近には スバババーバラ マルゲルベツトなどの多数の同様な鉄床があり 南々東100kmには北ヨーロッパ最大の露天掘り鉄山であり 鉄染状の黄銅鉄-黄鉄鉄-磁鉄鉄-磁硫鉄鉄鉄床を稼行する アイテックがある。

キルナ地域の構成岩類は主に ビタンギグリーンストーン



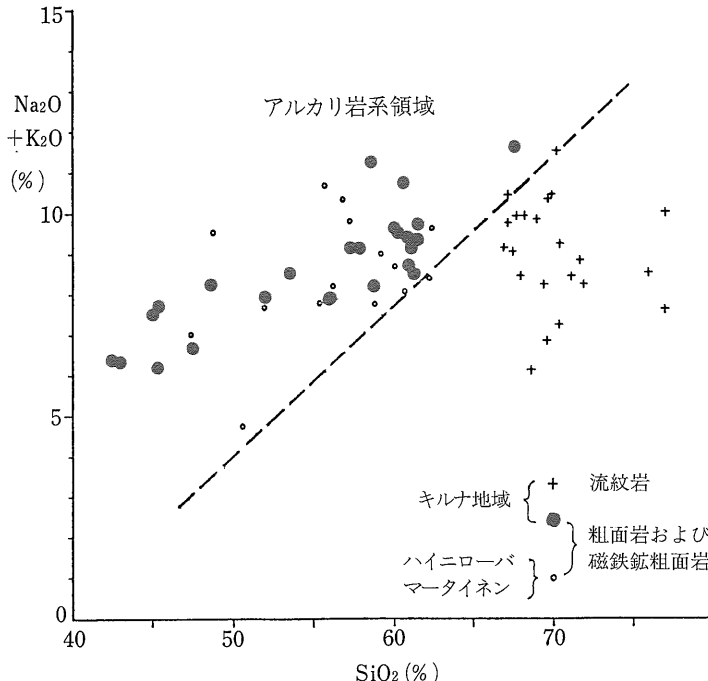
写真-16 北極圏の入口にみられる表示板。

ン キルナ斑岩類 これらに貫入する 深成岩類である (第17図). グリーンストーンは花崗岩質基盤を不整合に覆い 下部は主に 堆積岩類 上部は 苦鉄質-超苦鉄質火山岩類に富む (第18図). 下部の石灰質岩に付随してスカルン型鉄鉬床が また一部では石墨片岩や石灰岩層準に 鉬染-裂か 充填性黄銅鉬-磁硫鉄鉬床 (例ビスカリア 鉬量 5,000万トン 2.5%Cu) などが胎する.

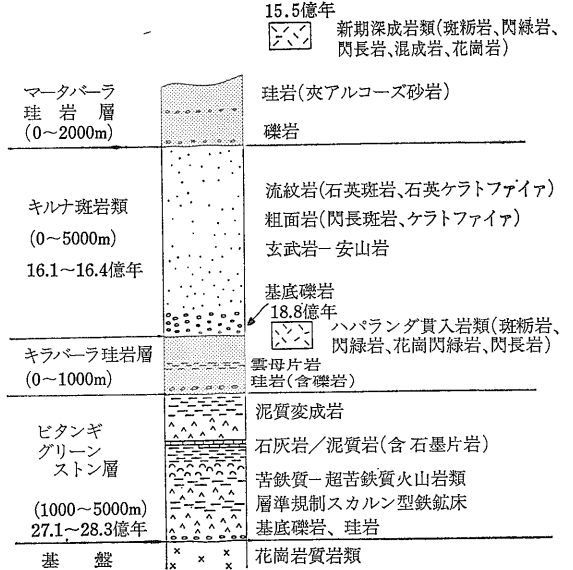
キルナ斑岩類は最下部に礫岩層を伴う. これはグリーンストーンや中性火山岩類 一部には燐石膏含有磁鉄鉬鉬石礫を含み キルナ斑岩類の初期岩類が局部的に削剝されて生じた堆積岩である. キルナ斑岩類の主体は流紋岩 粗面岩と安山岩であり 玄武岩はごく少量である. 溶岩が火砕岩より多い. 粗面岩はアルカリ岩系に 流紋岩は垂アルカリ岩系に属し (第19図) 両者が異なる起源を持つことは明瞭である.

粗面岩はキルナ付近では下部層に出現し 厚い流紋岩中に局部的に厚く発達することが多い. 粗面岩には一部に不規則シュリーレン状に磁鉄鉬粗面岩がみられ これにはアミグデュールが発達し 溶岩と思われる. 一方 流紋岩にはアミグデュールはみられず 厚い均質な外観を示し これは本来火砕流堆積物であった可能性が考えられている.

鉬床は最大のキルナバーラがキルナの南方に 多数の小鉬床が北方へ 南北系の層理面に沿って 分布する (第



第19図 キルナ型鉬床母岩のアルカリ-シリカ図 (Lundberg & Smellie 1979).



第18図 キルナ-スパババーラ地質の模式柱状図 (Lundberg & Smellie 1979).

17図). 下記の3つが主要鉬床でそれぞれの規模は次の通りである.

- キルナバーラ: 走向延長4,000m 幅90m 深度1,500m
- ルオサバーラ: 走向1,200m 幅23m 深度400mでは幅数mに尖滅
- ルオサヤービ: 走向1,000m 幅60m
(キルナバーラの深部延長とみられルオサヤービ湖の下500mにある潜頭鉬床)

これら鉬床の走向はほぼ N-S 傾斜は50-60°E であって 2種類の火山岩類の境界部に産出する. 下盤岩石は粗面岩 (または高Naケラトファイア) であり これはかつて閃長斑岩と呼ばれた. 一般に斑晶を含むが 欠く場合もあって代わりにアミグデュールが含まれる. 磁鉄鉬に富む磁鉄鉬粗面岩もある. 石英は一般に5%以下である. この下盤火山岩類は主に溶岩であるが キルナバーラ鉬床の近くでは幅2mの粗面岩質燄灰岩を伴う. これは鉬床と35°程度斜交する.

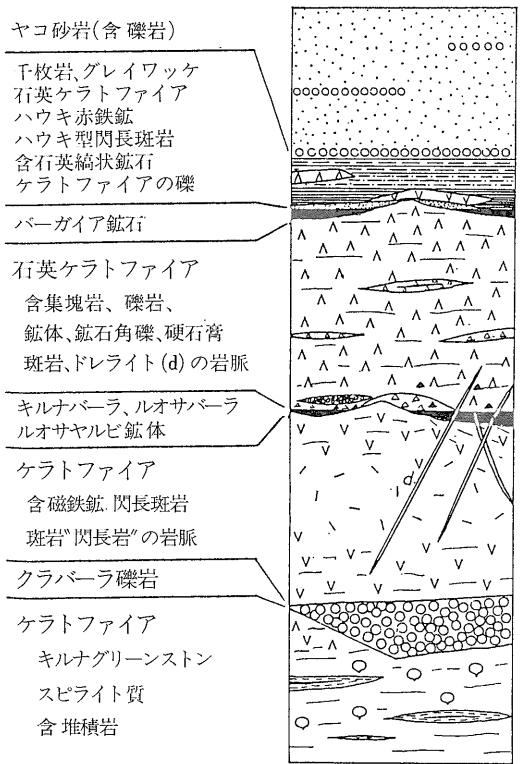
上盤岩石は 流紋岩 (または石英ケラクトファイア) であり これはかつて石英斑岩と呼ばれた. 下盤岩石とは色の違い やや多い 斑晶 (斜長石と微斜長石) 集塊岩や礫岩の夾み 溶岩構造の欠如などが

ら区別される。 鉱体直上では幅 1-1.5m のカオリナイト化変質がみられる。

母岩と鉱床との境界はシャープである。 鉱体は磁鉄鉱と赤鉄鉱からなる。 両者は独立に産しマータイトは稀である。 脈石鉱物は少量であるが フルオアパタイト (2.5%F) が最も一般的である。 これは微粒 (0.008 mm) 希土類に富む (0.6%) 特徴を有する。 一般鉱石では 1%P 以下 アパタイトに富む鉱石では 2-5%P である。 アクチノ閃石は次に多い脈石であり その他透輝石 方解石 黒雲母 石英 楯石 滑石 アルバイトなどが含まれる。 Ti は 1% 以下 S Mn は少なく 0.1% 以下である。

他の一群の鉱床に レクトーン ヘンリー ノックバーラなどからなるパーガイア鉱石と呼ばれるものがある。 これはアパタイトに富む (15-20容量%) 小鉱体 (最大厚さ250m) からなる。 石英ケラトファイアを母岩とするが 上部には千枚岩などを夾むことがある(第20図)。 最下部層にはアパタイトに乏しい鉱石角礫をアパタイトに富むマトリックスが埋める角礫鉱が出現する。 一般に磁鉄鉱は下盤側に 赤鉄鉱が上盤側に多く産出する。 一部では上部の石英縞状鉱に漸移する部分が見られる。

キルナバーラを中心とするスウェーデン北部の鉄鉱床には成因論に関して長い歴史がある。 今世紀以前にはこの鉱床は気成鉱床と考えられた。 前世紀末 Högbom は鉱体の場で分化したマグマ性鉱床であることを主張した。 その後 Stutzer はマグマ分化作用はその場ではなく深部で生じ 鉄濃集マグマが貫入活動でその場にもたらされたものと考えた。 1920年代まで鉄鉱床の母岩は貫入岩と思われていた。 下盤岩石は閃長斑岩と 上盤岩石は石英斑岩と呼ばれていた。 これらが噴出岩であることを主張し 地下で濃集した磁鉄鉱溶岩が地表に流出して鉱床が生成したと考えたのは Geijer (1931) で



第20図 キルナ地域鉱化層準の模式柱状図 (Parák 1975).

ある。 現在のチリ北部のエラコ火山ではその実例をみることができ (本誌345号参照) この説には支持者が多かった。

海底噴気熱水説が登場したのは1940年代末-1950年代である。 堆積構造や角礫鉱石などは周辺部で見られることが多く Parák (1975) は開発と探査の進展に伴って発見された上盤側の礫状鉱やパーガイア鉱体上盤側にみ

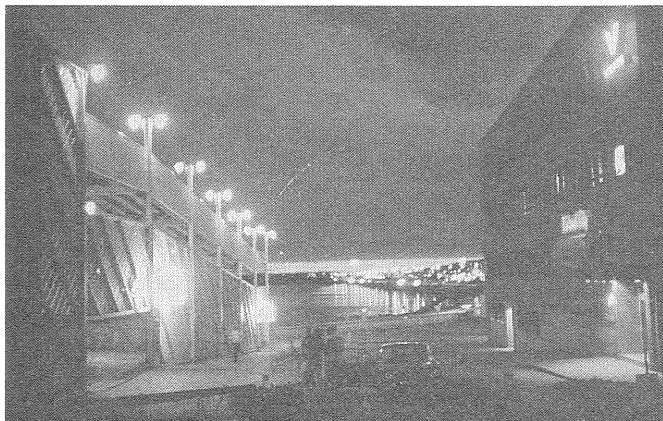
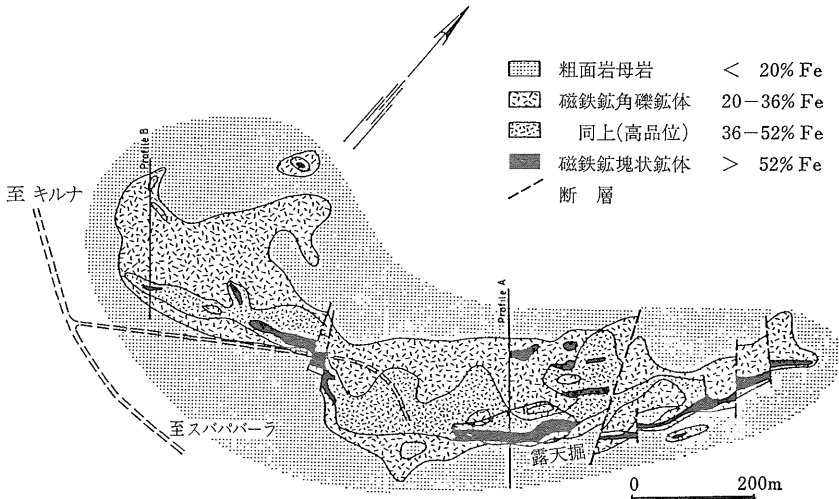


写真-17
ルレオの夜9時。 西の空はまだ明るい。



第21図
マータイン鉄鉄床の平面図
(Lundberg & Smellie 1979)

られる堆積構造 漸移する縞状鉄を重視し この鉄床を「キルナ型噴気-堆積性アパタイト-鉄鉄床」と呼んでいる。

一方 キルナ南東方のバイニローバなどの類似鉄床を研究した Lundberg & Smellie (1979) は 鉄床が特殊な組成を持つ鉄に富む磁鉄鉄粗面岩と密接に産する点を強調し(第21図) この粗面岩は付近の一連の火成岩類のマグマ分化物とは考えられない性質を示すので 鉄に富む物質を地下で同化して生成した特殊なマグマではなかろうかと主張する。鉄床形成に至る鉄の濃集については 揮発性成分高濃度のために生ずる溶液不混和説で説明する。生成環境としてはエルラコと同様な陸上火山を考え 角礫岩については粗面岩固結時の差別的応力場に流入した鉄化流体の機械的破壊によって生じたものと主張し 堆積作用による角礫説を否定している。

キルナ型鉄鉄床は鉄酸化物に富む特殊なマグマから生じたものであろう。生成の場は キルナバークなどの主要鉄体は陸上火山活動 パーガイア鉄体は海に近い火山活動の環境であったものと思われる。マグマから鉄鉄物が分離 鉄床に濃集する機構については なお今後の検討が必要であらう。

謝辞：この解説を終るに当り ベチェンガの超深部試錐の資料を翻訳して下さった岸本文男氏に感謝します。

文 献

Frietsch, R., Papunen, H. and Vokes, F. M. (1979) The ore deposits in Finland, Norway and Sweden—A review. *Econ. Geol.*, v. 74, p.975-1001.
Gaál, G. edit. (1986) Proterozoic mineral deposits in central Finland. 7th IAGOD Sym., Exc. Guide no. 5, 36p.

Gavelin, S. (1955) Sulfide mineralization in the Skellefte District, northern Sweden, and its relation to regional granitization. *Econ. Geol.*, v. 50, p.814-831.
Geijer, P. (1931) The iron ores of the Kiruna type. *Sveriges Geol. Undersökning*, Ser. C, no. 368, 39p.
服部恵子 (1987) ヘムロ鉄床—カナダ オンタリオ州の始生代金鉄化作用。地質ニュース 389号 p.21-31。
石原舜三 (1979) 国際鉄床学連合 (IAGOD) 第5回総会に出席して。地質ニュース 296号 p.49-57。
Kazansky, V. and 9 others (1985) Relationships among deformation, metamorphism and petrophysical properties of rocks in the Pechanga ore region. Tauson edit, IGCP Project 91: Metallogeny of the Precambrian: Internal structure of ore-forming Precambrian faults. Nauka Moscow, p.6-47.
Lundberg, B. and Smellie, J. A. T. (1979) Painirova and Mertainen iron ores: Two deposits of the Kiruna iron ore type in northern Sweden. *Econ. Geol.*, v. 74, p.1131-1152.
Öhlander, B. (1986) Proterozoic mineralizations associated with granitoids in northern Sweden. 7th IAGOD Sym. Exc. Guide no. 7, 39p.
Parák, T. (1975) Kiruna ores are not "Intrusive-magmatic ores of the Kiruna type". *Econ. Geol.*, v. 70, p.1242-1252.
Parkkinen, J. (1986) in Gaál edit. (1986).
Rickard, D. T. and Zweifel, H. (1975) Genesis of Precambrian sulfide ores, Skellefte District, Sweden. *Econ. Geol.* v. 70, p.255-274.
佐々木 昭 (1974) 第4回 IAGOD 集會に出席して。地質ニュース 248号 p.39-43。
渡辺 順・鹿園真建 (1986) IAGOD 第7回総会に出席して。鉄山地質 v. 36, p.575-579。
Widenfalk, L. (1986) The Skellefte sulfide ore district. 13p. Appendix to Öhlander (1986).