

スウェーデンの鉄鉱床

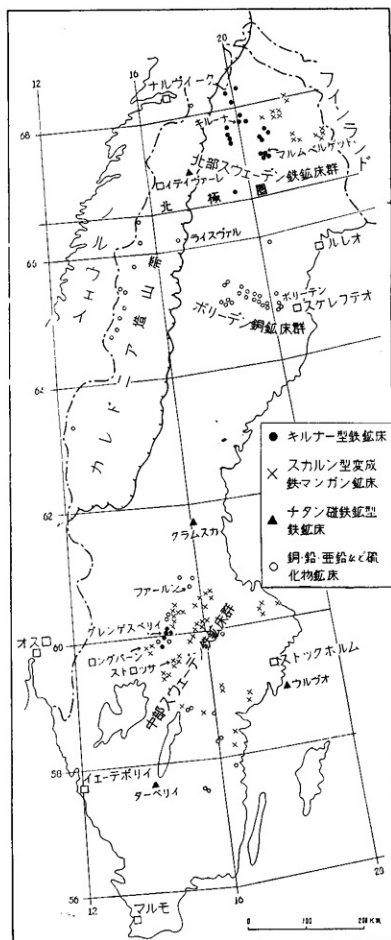
～無尽蔵のキルーナとイエリヴァーレ鉱山～

鉄鋼はあらゆる産業の基盤をなす重要な生産の1つであって その原料である鉄鉱石の埋蔵量の多少は 一国の経済発展の方向を左右する大きな影響力をもっている 全世界の鉄鉱石埋蔵量は 約860億トン余といわれ その大部分は 堆積源の層状鉄鉱床 あるいは風化残留源の層状・塊状鉄鉱床に存在するものであるが 本文においては 火成源の鉄鉱床としては世界最大の規模をほこり 高品位鉄鉱石を産出するので著名な キルーナ型鉄鉱床を主にして 世界第4位の鉄鉱石生産を維持しているスウェーデンの鉄鉱床の状況を 紹介しよう

スウェーデンはヨーロッパの北部 スカンジナビア半島

島の東側を占め 北緯56°から69°にわたり 南北約1,600kmに細長くのびた国で 面積約44万km² 人口約720万 (日本は面積37万km² 人口約9,600万) である。

スウェーデンなど北欧諸国は



スウェーデンの主要鉄鉱床群分布図

洪積世に氷河が被っていたため 地形はなだらかで氷河堆積物に被われ 白樺と針葉樹の森林と無数の湖の美しい自然の国である。 北部スウェーデンの北極圏の内側では 6月初めから7月初めまでの間 夜になっても太陽が地平線から沈まない「真夜中の太陽—白夜」が見られ 多くの観光客が訪れるが 12月初めから1月初めまでの間は薄明るい夜の連続である。 この北部地方はラップランドと呼ばれ かつてはトナカイなどの狩猟を生業としていた北極圏人種のラップ人が現在も住んでいる。

スウェーデンの主な鉄鉱床群は 図に示す如く北部スウェーデン (ラップランド) と中部スウェーデンに分布し それぞれ大規模な多数の鉄鉱床からなる。 これら鉄鉱床群は 地質の状況・鉄鉱石の鉱物組合せなどの性質によって チタン磁鉄鉱型鉄鉱床・スカルン型変成鉄鉱床・キルーナ型鉄鉱床の3型に分類される。

1. チタン磁鉄鉱型鉄鉱床

この型のおもな鉄鉱床は スモーランド ターベリイ (Småland Taberg) ロウテヴァーレ (Ruotevare) クラムスカ (Kramska) ウルヴォ (Ulvö) に分布し いずれも鉄マグネシアに富む塩基性マグマの分化と離溶によって濃集分離した鉄チタン鉄石マグマが 塩基性岩中に貫



北極圏 北緯66°30'の北極圏 (左側) の白石の指標 ラップ人の昔の住居のモデルがある ここから北方1kmのところには北極圏という名前の駅がある ここからヨーロッパ大陸最北端まで550km 北極まで2,611km 赤道まで7,389km 南極まで17,389kmの指標がみえる

入してできた鉱床である。 鉱石はいずれもチタン磁鉄鉱（離溶析出したチタン鉄鉱葉片を含む磁鉄鉱）を主とし時に亜灰長石・輝石類・かんらん石・角閃石・ざくろ石・ウルヴォスピネル・チタン鉄鉱を含むことがある。 ターペリイ鉱床は かんらん石斑礫岩中に貫入した厚さ40m位の板状のチタン磁鉄鉱—かんらん岩鉱体で 40万m²の広がりをもち 品位は Fe 40~50% TiO₂ 10~12% V 0.16% で約5,000万トンの埋蔵量がある。

ロウテヴァー： 鉱床は 灰長岩—灰長斑礫岩中の緩傾斜の板状鉱床で 厚さ20~30m 広がりも30万m²で墨流し状鉱染部を含めると43万m²以上になり チタン鉄鉱・チタン磁鉄鉱の鉱石は Fe 40~50% TiO₂ 10~12%で 埋蔵量は5,600万トンと称される。 ウルヴォ鉱床・クラムスカ鉱床も共に変成斑礫岩中の板状鉱床で 上記鉱床に比べれば Fe 20~30% TiO₂ 5~10%で低品位であるが 埋蔵量はそれぞれ2,000万トン 2,500万トンと算定されている。 これらの鉱床は鉄・チタンのほかにヴァナジンを含有しているので注目を浴びている。

2. スカルン型変成鉄鉱床

造山運動や岩漿活動により繰り返して変成作用を受けた多重変成鉄鉱床のうち カレドニア造山帯に存在する古生層中の変成鉄鉱床をのぞけば この型の大部分の鉱床は分布図に示す如く 北部と中部スウェーデン鉄鉱床区に存在し とくに大規模な鉱床は少ないが多数の鉱床が開発されている。 この型には スカルンの比較的小さい含鉄片岩・赤鉄鉱石英片岩・磁鉄鉱石英片岩で少量の緑れん石や緑閃石を伴う型と 輝石・角閃石・ざくろ石

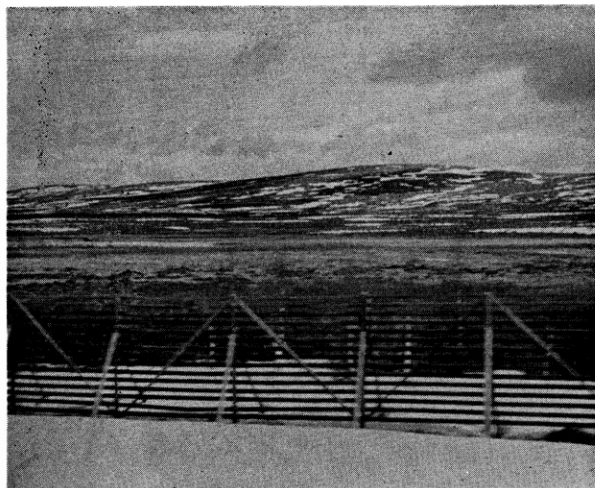
・緑れん石などスカルン鉱物の多いスカルン型鉄鉱床とがあり いずれも 地殻の最古の岩石である始生代のスヴィオン (Svionian) 系 (約10数億年前より古い) に属する岩層中に賦存している。

スヴィオン系の下部層は レプタイト (leptite) 層と呼ばれ 酸性火山岩・凝灰岩・砂岩などが変成交代作用を受けて形成された レプタイト・レレフリント層が石灰岩・苦灰岩・砂岩層をはさんでいる。 上部層は硬砂岩・千枚岩・礫岩・塩基性溶岩などからなる岩層であるが 鉄鉱床は後述の硫化物鉱床と共に この下部層中にのみ存在し 上部層およびその上位のゴート系には賦存していない。

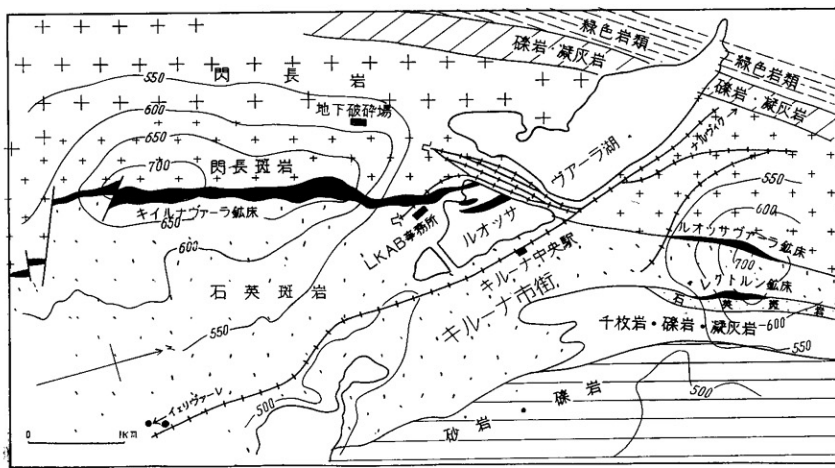
鉄鉱石は磁鉄鉱を主とし 時に赤鉄鉱を伴い ざくろ石・輝石類・角閃石類・その他多数の珪塩塩鉱物を伴うこの種のスカルン式鉱床には鉄鉱のみならず マンガン鉱を伴う鉱床や (著名なロングバーンなど) 金・銅・鉛・亜鉛・モリブデン・タングステンなどの硫化物型鉱床もある (ボリーデン・ファールンなど)。 スカルン型鉱床は多くの場合 石灰岩・苦灰岩層と密接に伴って存在している。 これらのスカルン型多重変成鉱床の成因に関しては種々の見解が発表されているが レプタイトの原岩の堆積岩と共に元来存在していた鉄および鉄マンガン鉱床が 造山褶曲運動とそれに伴う古期花崗岩類の貫入を受けて 母岩はレプタイトになり 花崗岩は片麻状となり 鉱石は再結晶し同時の接触熱変成作用によりスカルンが形成され 硫化物鉱石の大部分が導入された。 引続くマグネシア交代作用の強い部分では レプタイトは堇青



北極圏のトナカイ 白樺と針葉樹の林の中を車窓に近づいてくる



車窓からみた北極圏 ならかな地形の凍土地帯近くの防雪柵 5月末でも残雪が多く湖沼は凍っている



キルーナ付近の地質と鉄床

石など苦土の多い岩石に変成した。その後の緑色岩脈の貫入後にさらにスヴィオン末期の新期花崗岩類・片麻岩・ペグマタイトなどが貫入して再び変成作用を与え種々の変成接触・気成鉱物が形成され硫化物の一部も導入されたものと考えられている。この種のスカン型鉄鉱床の規模は一般に大きくなく延長数100m以下幅数10m以下のものが多く中部スウェーデンにおけるこの型の鉄鉱床の埋蔵量は3.5億トン(Fe 35~60 SiO₂ 10~20 P 0.005~0.02 S 0.007~0.5%)と推定されている。

3. キルーナ型鉄鉱床

キルーナ型の鉄鉱床も北部および中部スウェーデンの鉄鉱床群分布地域に存在する。資源としての立場からは他の型の鉄鉱床よりも圧倒的に重要な鉄鉱床でありまた鉄床学的にもきわめて興味深い鉄床型である。最も重要な鉄床はキルーナ(Kiruna)鉄床群・イエリヴァー

レ市(Gällivare 人口24,000)北東7kmのマームベルゲット(Målberget)鉄床群・中部スウェーデンのグレンゲスベリイ(Grangesberg)鉄床群で前者は北極圏からそれぞれ150km・70kmの内部に位置する。後2者は変成作用をこうむった鉄床である。

グレンゲスベリイ鉄山

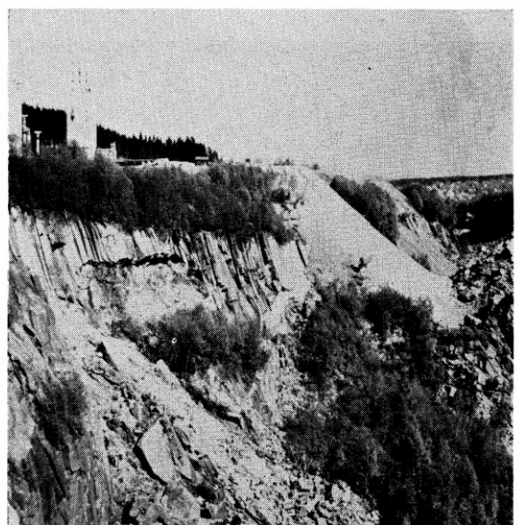
グレンゲスベリイ鉄床は新旧2期の花崗岩質岩石に貫入されたレプタイト層中にありカリ・レプタイト層とソーダ・レプタイト層との境界部にN30°E・60°SEに延びた鉄床群で延長1,200m内に板状の3鉄床がある。幅は20~90m深さは3本の立坑で520mまで開発されさらに300m以深まで確認されている。

鉄石は磁鉄鉱・赤鉄鉱・燐灰石からなり磁鉄鉱塊状鉄・赤鉄鉱塊状鉄・磁鉄赤鉄縞状鉄・磁鉄鉄レンズを含む赤鉄鉱・磁鉄赤鉄混合鉄・赤鉄鉄中の磁鉄斑状変晶鉄(seven star ore)・磁鉄鉄中の赤鉄斑状変晶鉄・磁鉄鉄燐灰石縞状鉄など種々外観の異なる鉄石が産し鉄体と離れて赤鉄鉄燐灰石の鉄染鉄もレプタイト中に存在する

鉄石の品位はFe 58~64% P₂O₅ 0.1~1.0%で北部に向かい同時に上盤側に向かって含燐量が増加する。鉄床付近には変成作用の時期に形成された少量のスカン鉄物の鉄染する部分もある。鉄体は輝緑岩脈・ペグ

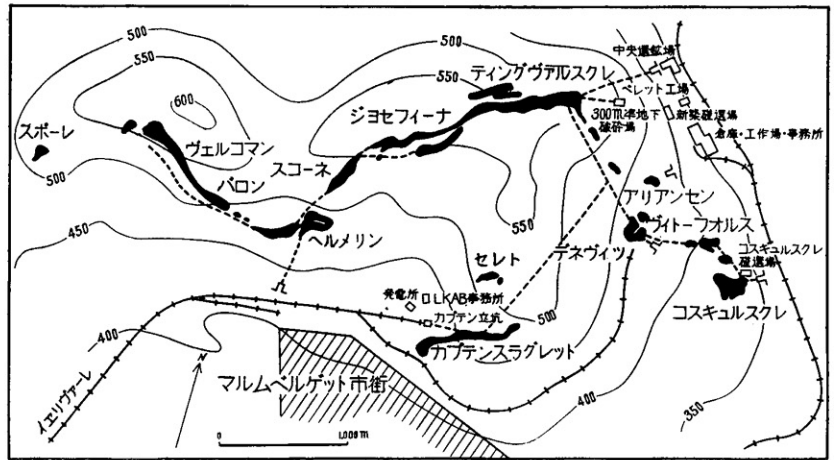


グレンゲスベリイ鉄山の中央立坑(左方)と南部立坑 白樺の美しい林の中に鉄山施設・事務所・社宅などが散在する



グレンゲスベリイ鉄山の露天掘り跡 レプタイト片麻岩の片理が顕著でペグマタイト脈が貫いている

マタイト脈につらぬかれ 後者は微斜長石・斜長石・石英・黒雲母・灰重石・輝水鉛鉱を伴い 接触部の赤鉄鉱を磁鉄鉱に還元する場合もある。この鉱山の最近の出鉱量は精鉱150万トン 研共採は掘量260万トンで 埋蔵鉱量は1.2億トン(Fe59~62%)以上と推定されている。



イェリヴァーレ・マルムベルゲット鉱床群の分布

マルムベルゲット鉱山

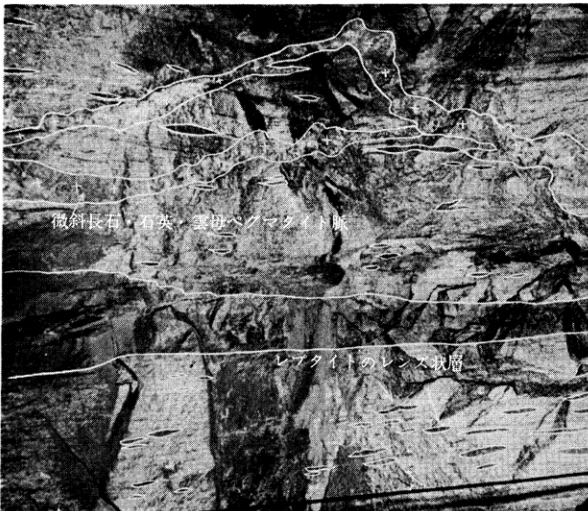
マルムベルゲット鉱床は図に示した如く 東西に延びる山稜に位置するstromalmラグレト(Stora Malm-lagret 大鉱層) デネヴィツ・コスキュルスクレ(Denne-witz-Koskullskulle) カプテンスラグレト(Kaptens-la-gret) の3大鉱石層とその他の小鉱体からなり 母岩のレプタイト層 閃長質片麻岩層中にほぼ整合的に存在するが 大規模にもまた局部的にも褶曲し 全般的に南方に30~70° ときに90°にまで傾斜し 南西方に富鉄部が落している。鉱体および付近には後期の花崗岩類・ペグマタイト脈が貫入している。

鉄石は磁鉄鉱を主とし 西部では赤鉄鉱が増加する。磁鉄鉱と燐灰石が細かい縞状をなす鉄石やレプタイトの薄層が鉄石中にはさまれる場合が多い。含燐量はP 0.25~1.2%で Fe 58~65%程度のものが多い。「大鉱層」の鉄体 面積(スウェーデンの鉄鉱床では 鉄床の規模を鉄体の面積で示すことが多い)は 14.7万m² コスキ

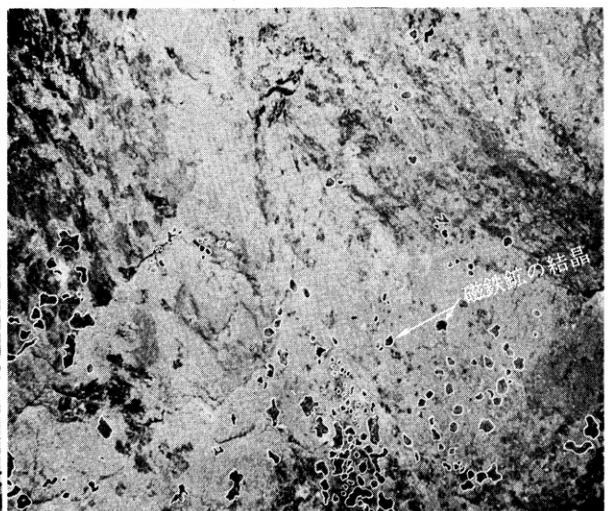
ュルスクレ鉄体の面積は 2.5万m²で 現在の最下底坑道標高300m 水準以上の鉄量は 3,000万トン 開山以来の既採掘鉄量は 8,300万トンと計算され 鉄床下限は確認されておらず 現在の埋蔵総鉄量は 4億トンと推定されている。

かつては露天掘りで採掘されたが 1935年頃から坑内掘りに移行し 現在ではほとんど坑内掘りで シュリンケージ法・サブレベルストーピングと長孔さく岩法などによって開発されている。

採鉄・選鉄など鉄務関係の中心は LKAB事務所のあるマルムベルゲット市街(人口約10,000)の北東方数kmにあるヴィトーフオルス(Vitåfors)にあって 採掘された鉄石は 300m 水準の地下破砕場(2,000トン/時)で破砕され 中央選鉄場と新築磁選場で乾式・湿式で磁選され その大部分は鉄道で出荷されるが 1部はペレット工場(35万トン/年)で円鉄にされる。



グレンゲスベリイ鉱山の鉄石 レプタイトのレンス状薄層(暗灰色部)をほらび 磁鉄鉱-赤鉄鉱層を網状に貫く赤色の微斜長石・石英・雲母ペグマタイト脈(上半部)



グレンゲスベリイ鉱山の Seven star ore 変成作用により直径1cm以上にも成長した磁鉄鉱の結晶(斑状結晶)が細粒赤鉄鉱中に斑点状に存在する 鉄床の別の場所では 細粒磁鉄鉱中に赤鉄鉱の斑状変晶の含まれる鉄石もある



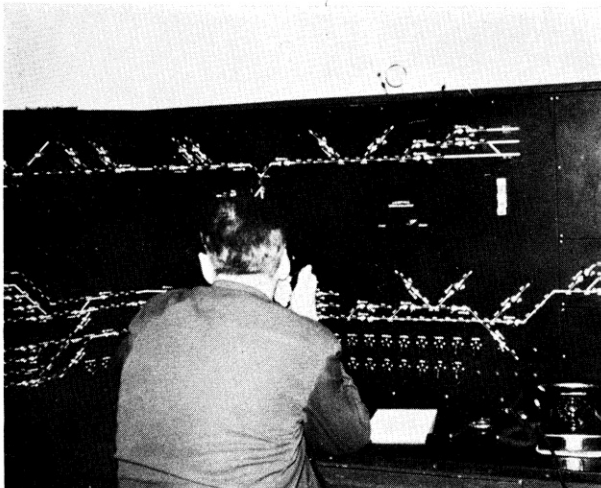
マルムベルゲット市街 中央の古風な木造の新教会と鐘楼

キイルナヴァーラ鉱山

キイルナ鉱床群は全延長約23kmの地域にわたり キルナ市街(人口16,000 郊外を含めて24,000)の南南西方のキイルナヴァーラ (Kiirunavaara) 北方のルオッサヴァーラ (Luossavaara) レクトルン (Rektorn) と東南方にやや離れて存在するトゥオルヴァーラ (Tuolluvaara) およびその他の鉱床からなり 地質図に示す如く 鉱床は単斜構造で東方に傾斜するスヴィオン系中の閃長斑岩と石英斑岩の境界部に ほぼ整合的に存在する板状鉱体である この地質・鉱床の特長は 地殻最古のスヴィオン系の岩石であるにも拘らず変成作用を受けていないことで 母岩の斑岩類は噴出したままの岩石組織を保ち 鉄鉱も再結晶していない。しかしこのような地質・鉱床が多重変成作用をこうむれば 既述のマルムベルゲットやグレングスベリイ鉱床と全く同様な岩石・鉱床に変わるものと考えられ キルナ型鉱床として一括分類されるわけである。

キルナ鉱床群中最大のキイルナヴァーラ鉱床は 走向 N20°E 傾斜 50~60°E 延長約5km 幅 34~152m 平均 70mである。露天掘りで採掘されているのは延長約2.8km 山頂からルオッサヴァーラ湖面水準(500m)まで約230mの部分で 山稜方向に深く掘り下げられている。 鉱体平面積は32.5万m² 深さは湖面水準から800mの深部まで確認され その間の鉱量は約15億トン さらにその下方500~800mも鉱体が存在するものと推定されており 従って埋蔵鉱量は20~30億トンを上回るものと推定されている。

鉱床は中南部で赤色花崗斑岩脈に 北部で緑色斑岩に切られ また南部で断層により変位している。 鉱石は微細な磁鉄鉱粒のち密な塊状集合体で特別な構造組織を認めない。 燐灰石は上下盤際および周辺部に多くなるが 鉱石品位は Fe50~71%(磁鉄鉱の理論含鉄量は72.1%) P 0.02~5.0% である。 鉱体周縁部では微量の角閃石・方解石・緑泥石・雲母・銅鉱物・赤鉄鉱・黄鉄鉱などが認められることもあり 一部では磁鉄鉱が再結晶している。 鉱体と下盤の閃長斑岩との関係は 一般に鮮鋭でなめらかであるが 時に不規則になり また閃長斑岩塊が鉱石中に含まれることもある。 また 上盤側の石英斑岩との関係は 滑らかで鮮鋭な場合が多いが 不規則なでこぼこのいちじるしい境界や剪断面を伴ったり 石英斑岩塊が鉄鉱石でみだされたり 上盤際鉱石中にレンズ状石英斑岩薄層が一般走向とほぼ平行に並んでいたりする場合も多い。



マルムベルゲット 鉱床群の坑内運送司令室 コントロールパネル上に鉱石積込・鉱車運行・配車・信号機の様子が指示灯で示され 押ボタンと電話で指令を与える



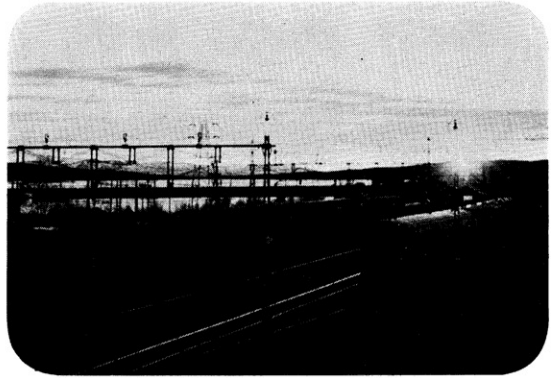
マルムベルゲット ヴィトーフォルス事業場 右はし新築磁選場 中央は中央磁選場・遠景は針葉樹の原生林

この鉱床は今世紀初頭から本格的に開発され 最近まで主として露天掘りで採掘されてきたが 数年前から坑内掘りに1部移行し 1957年には出鉱量1,070万トン中56% 1959年には1,050万トン中40% 1961年には1,200万トン中20%と露天掘りの占める比率は減少し 最終的には1965年までに全部坑内掘りに移行する。 その時には世界最大規模の坑内掘り鉱山となるであろう。

最近のキルーナ地区の出鉱量は 900~1,100万トン/年で キイルナヴァーラ鉱床からはその中90%余が出鉱され 他はルオッサヴァーラ・レクトルン鉱床からのものである。 露天掘りの採掘段は17mで トラックドリルで発破孔をあける。 鉱石は30トン積のトラックで破碎場へ送られる。 坑内ではおもにサブレベルケービング法で採掘され 鉱石は大型積込機 (Joy loader) で20~30トン積大型運搬車に積み貯鉱立坑に送られる。 そこから大型鉱車で坑内破碎場に送られ 地表の選鉱場へ捲上げられて簡単な磁選で約20%の珪を除き 含鉄・含磷量により6等級の精鉱に分類し 鉄道で LKAB の貯鉱場・積込港湾施設のあるルレオ (Lulea) またはナルヴィク (Narvik) へ送られ輸出される。 キルーナ付近の冬季気温は-30°Cまで低下することがあり 積雪量は平均1m位であるが 露天掘りは休止することなく続けられている。

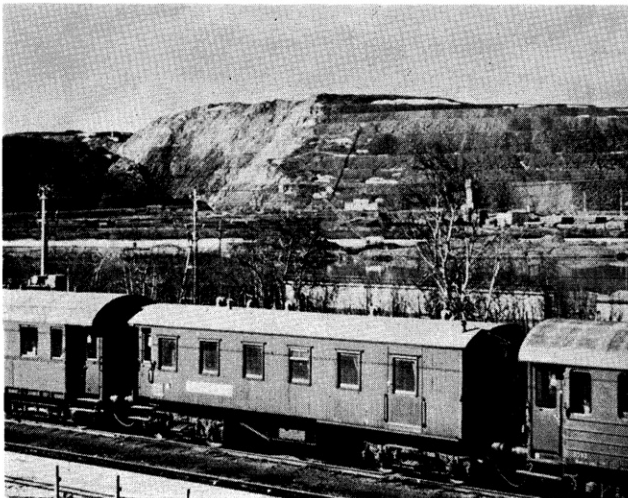
4. キルーナ型鉄鉱床の成因

キルーナ型鉄鉱床の成因は多くのスウェーデン鉱床学者

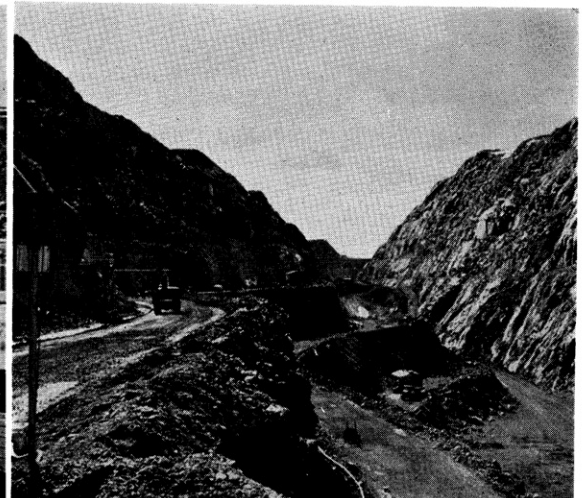


キルーナ駅付近の夜景 5月下旬で夜10時太陽が沈むこのころでも真夜中に部屋の中で新聞が読めるほどの明るさである 太陽は北から昇り北に沈み夕焼けと朝焼けが連続する

の論争の焦点の1つであって 鉱石の起源と閃長岩類との関係・変成作用の役割などに関しいくつかの異論もあるが 地質・岩石・鉱石鉱物の研究やトーマス炉 (含磷鉄鉱の製鉄法) の鉱滓や $Fe-SiO_2-O_2$ 系 $Fe-F-P_2O_5$ 系の研究結果から 石灰分の少ないアルカリマグマの液相分離によって閃長岩質岩類マグマと鉄鉱石マグマとに分離し 閃長斑岩・石英斑岩類が半深成-火山底性の場に貫入した後に 磁鉄鉱マグマが貫入したもので その中に多少含有されていた気成相から 角閃石・磷灰石・石英・電気石・炭酸塩・赤鉄鉱などが晶出したものと考えられ 鉱床形成は地表下浅所で形成されたものであろう。 一部の研究者は 上盤の鉱石礫の存在から鉱体は貫入でなく「鉄石溶岩」であろうとし また鉄石中の微量元素の挙動から「海底噴出性の鉄層」と論ずる研究者もあるが シュナイダーヘーンらの学者は いずれにせよ鉱床は 地表近くで形成されたもので 閃長岩の火成活動に結びつけ 正岩漿性-気成の移行型鉄鉱床に分類している。



キルーナ駅からみたキイルナヴァーラ鉱山の遺景 中央部の谷が露天掘の北端 深さ230mが採掘されたための段で山容が全く変ってしまった



キイルナヴァーラ鉱床の露天掘 左側は上盤の石英斑岩 右側は下盤の閃長斑岩 中央道路および採掘段の部分は全部鉄鉱石



キイルナヴァーラ鉱床の露天掘の底部での採掘トラックドリルによるさく岩と積込用パワーシャベル

鉱床形成後に始生代中期・末期の超変成作用と花崗岩の貫入を受け マルムベルゲットやグレンゲスベリイに見られる如き多重変成鉱床に変化したものである。

この型の類似鉱床はノルウェーのロフォーテン 米国のアディロンダック・メキシコ・チリー・インドなどにも分布する。

5. LKAB と TGO

マルムベルゲット鉱床は17世紀中頃に キルーナ鉱床は17世紀末にはすでに発見されており 小規模な採掘の時期を経て 1884～1887年にルレオーイェリヴァーレ間に鉄道が通じ その頃からマルムベルゲットの本格的開発が始められた。そこでキルーナの鉱床は1,900年から本格的な採掘が始まった。

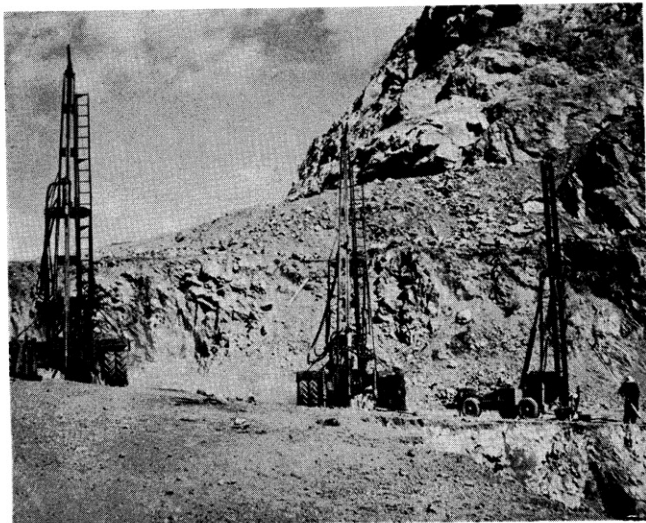
スウェーデンの鉄鉱山のほとんど大部分は国策会社であるLKAB (Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolaget) と TGO (Trafikaktiebolaget Grängesberg-Oxelösund 鉱山交通会社) とにより経営されている。

LKABの株の大部分は政府が 一部は TGO が保有している。LKABは1890年に創立され マルムベルゲット・キルーナ鉱床を主体にして開発すると同時に その後周辺の鉱床群を買収し 現在では両地区のほとんどすべての鉱床群はLKABの鉱区である。

TGOはグレンゲスベリイ鉱山・ストロッサ (Strässa) 付近の鉄鉱の多くを開発しており 前記LKABの小株主であるほか アフリカのリベリアにも大規模な鉄鉱を開発しており 鉱石輸送のため27船腹を保有している。

1952年から1957年頃における全スウェーデンの鉄鉱出鉱量は毎年約1,500～1,800万トンで そのうちLKABが75～85%(キルーナ860～1,070万トン マルムベルゲット260～400万トン)を占め その他が TGO や他の鉱山から出鉱されている。スウェーデン国内製鉄用の鉄鉱石需要量は年200～300万トン程度で 毎年の出鉱量の大半の1,100～1,300万トンが輸出に向けられ 含燐鉄石はベルギー (230～300万トン) ドイツ (390～600万トン) に輸出され その他ポーランド (30～60万トン) チェコスロバキア (10万トン) にも売鉄されている。スウェーデンの鉄鉱生産量は 米国・ソ連・フランスに次いで第4位でカナダ・ベネズエラがこれに続き ちなみに日本の国内鉄鉱生産量は約100～140万トン (含鉄量) で 第20位 毎年約1,000万トン以上の鉄鉱石を輸入している現状である。

(鉱床部 関根良弘技官)



キイルナヴァーラ鉱床露天掘のトラックドリル さく岩深度は約17m



キイルナヴァーラ鉱床坑内の鉄鉱床と上盤との境界部径10cm以上で達する石英斑岩の岩塊が磁鉄鉱でみたまされている