

# ヘムロ鉱床

## —カナダ、オンタリオ州の始生代金鉱化作用—

服部 恵子 (オタワ大学地質学科)

Keiko HATTORI

### まえがき

ヘムロ鉱床は5大湖の西端にあるスペリオル湖の北東岸に位置し規模からみて北米の有数の金鉱床の1つにかぞえられております。鉱床がカナダ縦貫高速道路(トランスカナダハイウェイ)の脇に30年以上にわたり露出していたこと及び鉱石が他の始生代の金鉱床のものと少々異なる“顔つき”と鉱物共生をもっていることなどから地質屋さんのみならず広く世間の注目をあびました。

筆者はカナダのオタワにあって幸に探鉱開発の時から鉱床の研究にたずさわることができ更に昨春5月にカナダ地質学会年会で特別講演会「ヘムロ金鉱床」を単独計画運営しその折各鉱山会社及び政府大学の研究機関の方々の発表を聞く機会に恵まれました。その後トロントで行われたゴールド'86の学会で多くの始生代の特にカナダの金鉱床の講演が行なわれました。これらの最近の私達の資料と理解をもとにこの小文ではまず始生代の金鉱床の一般的な特長を紹介しそれからヘムロ鉱床の母岩構成鉱物地球化学的データなどについて解説し終りにこれまでの成因論を紹介し私の考えも述べてみたいと思います。

### 始生代の金鉱床

始生界が広く分布している地区といえますと楯状地で金鉱床も当然カナダからアメリカ北部にわたるカナダ楯状地ブラジル楯状地オーストラリア西部インド南部及びアフリカ南部などに広く分布しております。

金鉱床はこの中でもグリーンストンベルトと呼ばれる堆積岩と苦鉄質火山岩火山砕屑岩を主体とする岩石からなる岩石帯中に胚胎され楯状地の大部分をしめる片麻岩花崗岩類などの高度変成岩深成岩の中にはほとんどみられません。

鉱床の母岩は千差万別で苦鉄質の火山岩が母岩に多いということは言えるものの堆積岩から超苦鉄質溶岩半深成岩とあらゆる類の岩相が母岩になっております(Hodgson, 1983; Grove, 1986)。

鉱床の形態産状も多岐ですが大まかに言って金鉱

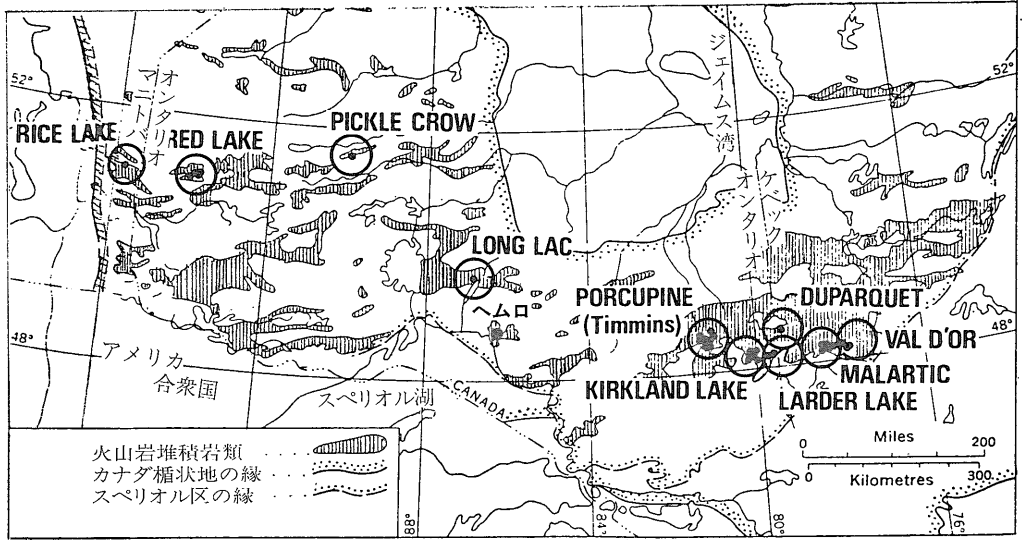
床は3つのタイプに分けられると思います。

- ① 石英脈に伴うもの(主構成鉱物:石英 炭酸塩鉱物)
- ② 縞状鉄鉱床に伴うもの(主構成鉱物:磁鉄鉱 硫砒鉄鉱)
- ③ その他

タイプ①がもっとも典型的なもので北米で一番大きい鉱床マッキンタイヤー-ホリンジャー(オンタリオ州のティミンズにあります)は石英-炭酸塩(主としてアンケライト)脈が斑岩中に走っております。オーストラリアで一番大きいコールドンマイル鉱床はこのグループに入ります。このタイプの鉱床では金を含む石英-炭酸塩脈が強度に炭酸塩変質を受けた岩石中に産出します。時に含クロム雲母(フクサイト)を含む炭酸塩化の進んだきれいな緑色の岩石が広範に現れます。

次に縞状鉄鉱床に伴うものはカナダでは今採鉱中のルビン鉱床いくつかのジンバブウェ(元のローデシア)の金鉱床ヘムロ北のジュラルトン地区のものがあげられます。合衆国で一番大きい金鉱床ホームステークは長らく始生代の縞状鉄鉱床に伴うものと思われていたのですが最近のジルコンを使った下盤の凝灰岩の年代測定で原生代初期とわかりました。このタイプ②は未だ同生なのか後生なのか議論がつきないところですがもともと磁鉄鉱であったところが硫黄の添加で硫化物縞状鉄鉱床になって同時に砒素金の添加を受けたという後生説が一般的に受け入れられるところになりました(Fyon et al. 1983, Macdonald 1983, Grove et al. 1986)。

ヘムロの発見が遅れた理由の1つとしては人々に“どういったものが始生代の金鉱床だ”という先入感があったためと思います。「石英脈ははっきりしない炭酸塩化作用はみられない緑色の雲母も露頭では明確でない硫化物縞状鉄鉱があるわけではない硫砒鉄鉱は見られない」などからヘムロの鉱石にはあまり注目がいかなかったということかもしれません。その意味では金鉱床の探査にはどういったものを捜しているのかという適確な認識が一番重要であるという良い例であると思います。



第1図 カナダ楯状地 スペリオール区のグリーンストーン帯と主要産金地帯 (大円).  
 小黒点は総生産量31トン以上の鉱床 (33鉱床あり).

### ヘムロの発見と開発の歴史

最初の地質調査は オンタリオ州政府のトムソン (J. E. Thomson) により1931年に行われ その調査でマニトウワッジ (Manitouwadge) とヘムロ (Hemlo) 地区が有望であることが報告されました。これに引続き 合衆国のメリーランドのウィリアムス (J. K. Williams) と その地域の山師であるオルマン (Ollmann) が共同で 1945年に現在のラック (Lac) が持っている鉱床地区に鉱区を設定しました。すぐ隣の地所はページ (T. Page) らにより1947年に登記され 1951年 57年 59年と地質調査 トレンチ作り等がなされたもの 見るべき結果が得られず 1965年に会社は解散しました。その後 小規模な探鉱活動はあったもの 1978年には全ての登記が無効となりました。

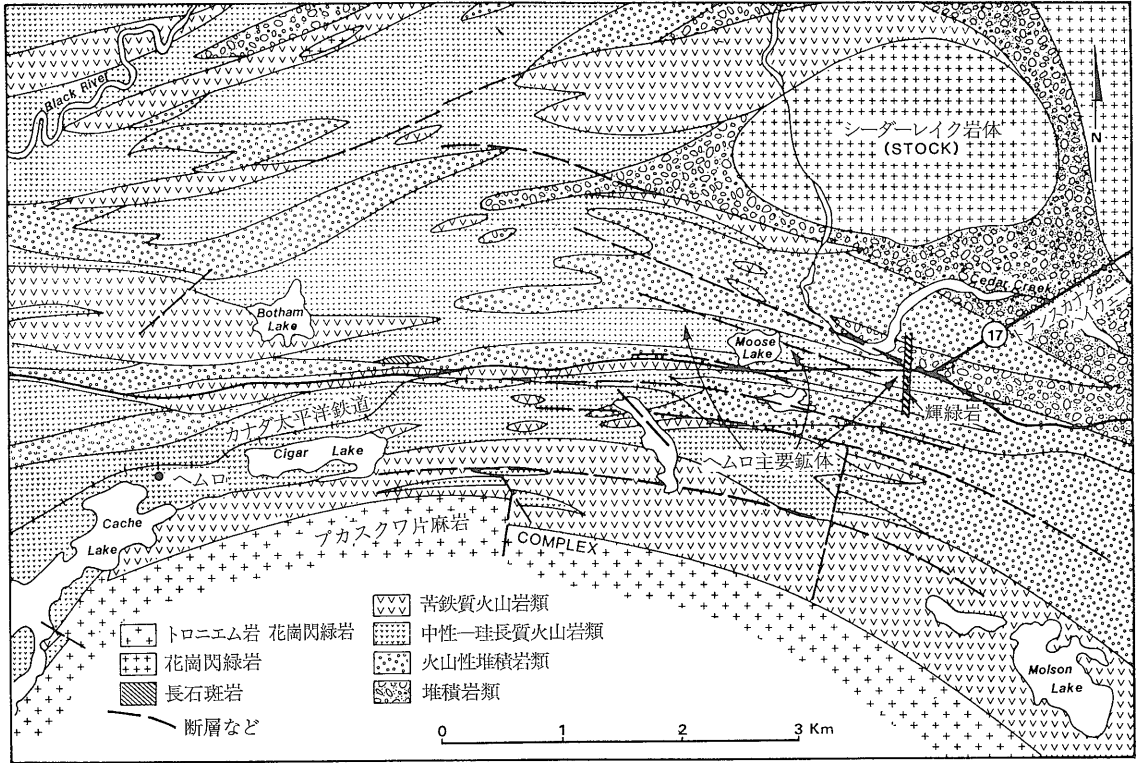
1980年 ラーシュ (J. Larche) とマクキノン (D. McKinnon) が鉱区を設定し 鉱床の東半分にあたる地所の権利をインタナショナル・コロナ会社にゆずり渡し 西半分地所は やはりバンクーバーの小会社であるゴライアス社 (Goliath Gold Mines) とゴールデン・セプタ社 (Golden Sceptre Resources) に探鉱委託を行いました。ベル (D. Bell) の指導下で探査活動を開始。1981年11月東コロナ鉱体の発見 1982年11月ゴライアス主鉱体の発見となりました。この1982年の冬から1983年にかけてはヘムロゴールドラッシュが発生し 近くのレイクヘッド大学の大学生も鉱区設定で100万円とかのお金をもうけたなど いろいろなうわさが飛びかいました。1983年の冬には 花崗岩質岩体の地域も含めてほとんど登

記ずみになりました。この1983年から1984年は探査地質屋さんの一番多忙な時期で 近くのホテル モテルはすべて2~3ヶ月以上前から満員 24時間ヘリコプターがドリリングの労働者を運搬したりで飛びかいました。ヘムロ値段とって ハンバーガーからコココーラにいたるまで倍近くの値段につりあがり いたるところに真新しい登記のくいが立ち 測量の為の糸がありといったたいへん活気に満ちた時期でした。

その後 東コロナ鉱体を含むインターナショナル・コロナ会社の地所はテック社 (Teck) に委託され ゴライアス会社の地所は ノランダ社 (Noranda Mines) に委託されました。更に西方延長のウィリアムスが登記したところは 同氏の末亡人から1981年にラック社に委託されました (第5図参照)。3会社による探鉱が2年間行われ最終的な鉱量確認後 1985年春からオープンピットと坑内掘りの両方で採掘が開始されました。

採掘費は金1オンス当たりにして 120-140米ドルグラムに換算するとこれは600円-700円とたいへん経済的です。当初 金のみならずモリブデン 重晶石の回収と販売も考慮されましたが 水銀 砒素等の含有量が高くモリブデンの回収を断念 重晶石は近くに買手がみつからずこれも断念し 目下 金のみを採掘 販売しております。

大きな鉱床が発見される時は しばしば鉱区紛争がつきものですが ヘムロ鉱床の場合も例外ではなく いくつかのものが 州政府の鉱区登記所では解消されず残っており法廷に持ちこまれました。そのうちでも一番大きなものは現在ラック社が採掘してるウィリアムス氏が



第2図 へムロ地域の地質概略図とへムロ鉱床の位置 (Muir 1985 原図)。

登記した地所に関するもので インターナショナル・コロナ社がラック社を起訴し 昨年3月 州裁判所はラック社に地所をコロナ社に明け渡すようにという判決を下しましたまた世間を驚かしました。既に採鉱中の会社が地所をすべて明け渡さねばならないという事は世界的にも大変稀なことで 勿論 そのような判決自体がカナダでも初めてであり 経済界にもたいへんなショックを与えました。ラック社は勿論判決に不服で 連邦裁判所まで上告する手続きをとっております。

生代の火山岩 堆積岩は東西に細長くのびており その北側は ゴーワン・レイク (Gowan Lake) とシダー・レイク (Cedar Lake) という珪長質岩の貫入を受け 南側は ヘロン・ベイ貫入岩とプカスクワ (Pukaskwa) 片麻岩体により分布が規制されております (第2図)。

このグリーンストーンと呼ばれる 火山-堆積岩類は 主

### へムロの広域地質

へムロ—ヘロン・ベイ (Heron Bay) は、カナダ楯状地の始生代の岩石を主体とするスペリオール州 (第1図) 中でもワワ (Wawa) 区の中にあります。ワワ区の中にいくつか東西にのびる火山岩と堆積岩を主体とするグリーンストーンベルトがあるわけですが へムロはスクライバー (Schreiber)—ホワイトリバー (White River) ベルトに属します。

このへムロ地区は 州政府の地質家により1/31, 680のスケールで地質図が作られました (Muir 1982 a, b)。始

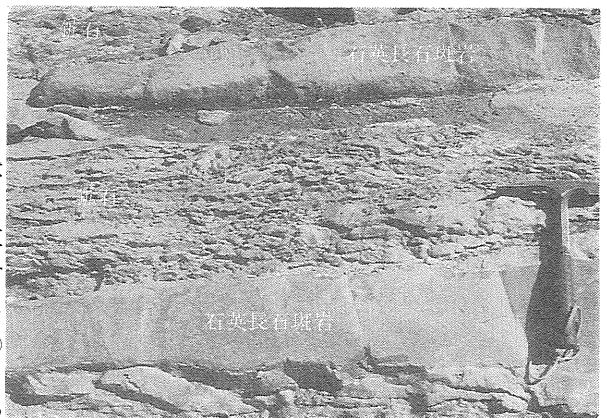
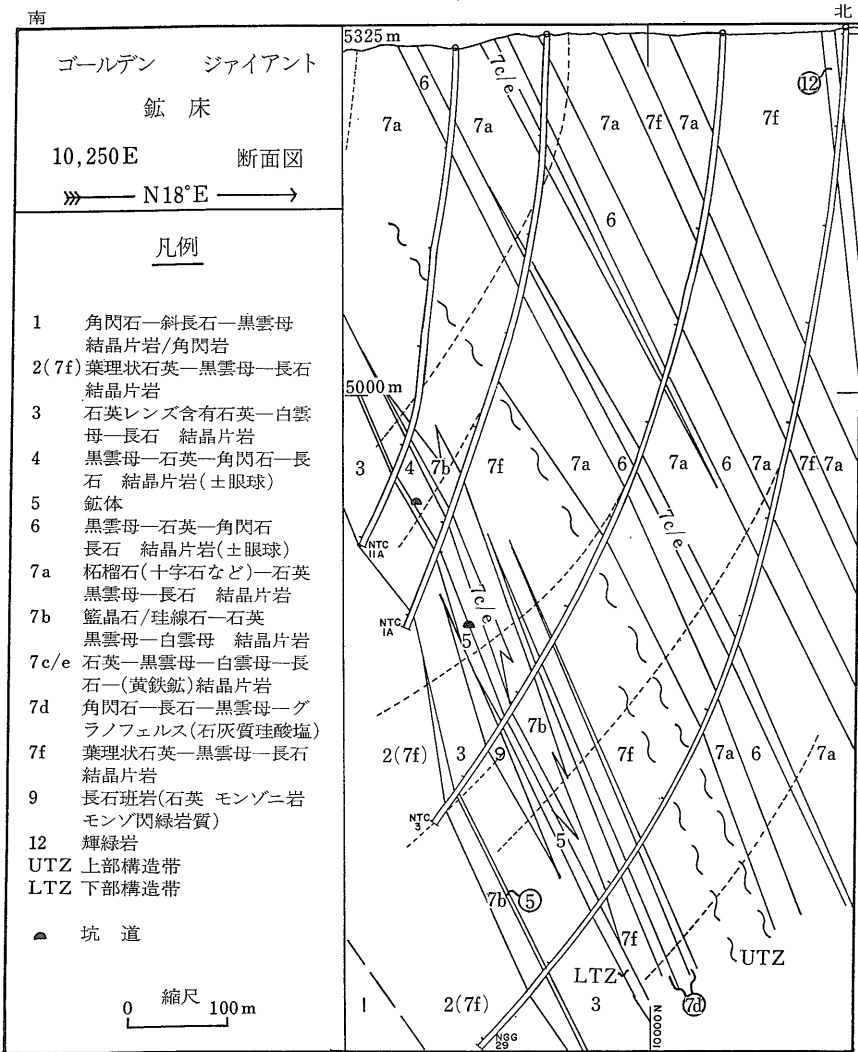


写真1 ラック社のトレンチに見る鉱石とシート状石英長石斑岩。



第3図 ゴールデンジャイアント  
鉱床の南北断面図 (Kuhns  
et al. 1986 原図)。  
下部構造帯 (LTZ) は鉱化  
層準 (5) にはば一致する。

としてソレライト質の玄武岩からなる下部層 プレータ  
ーハーバグループと カルクアルカリ質の火山岩及び  
堆積岩とからなる上部層 ヘロン・ベイグループに大別  
されます。 下部層のプレーターハーバグループは南  
側のスペリオル湖岸側に分布し きれいな枕状溶岩が見  
事に露出しております。

上部層のヘロン・ベイグループが鉱床を胚胎し 下部  
層に比べ多岐な岩相 複雑な構造を示します。 すなわ  
ち 東部は主として砂岩 頁岩からなる堆積岩ですが  
西側は火山砕屑岩と火山岩を主体としております。 更  
に鉱床の下盤に対応する火山岩は苦鉄質ですが 鉱床付  
近には珪長質の岩石及び堆積岩が卓越しており 探鉱当  
初 鉱床胚胎場所が岩相変化している場所と一致してい  
ることと合わせて 黒鉱鉱床との類似性が指適されまし

た。

グリーンストーンベルトの南に広く露出するプカスクワ  
片麻岩体は グリーンストーン生成の時 既に基盤として  
あったらしく 岩体は片麻組織の発達が著しいところか  
ら弱いところまで複雑な岩相を示します。 ゴーワン・  
レイク シーダー・レイク ヘロン・ベイ岩体は貫入岩  
体で グリーンストーンベルトの岩石に熱変成を与えてお  
ります。 更に 特に鉱床近傍ではたくさんの平行に走  
る板状の石英 長石を斑晶に持つ斑岩が貫入してしま  
す(写真1)。

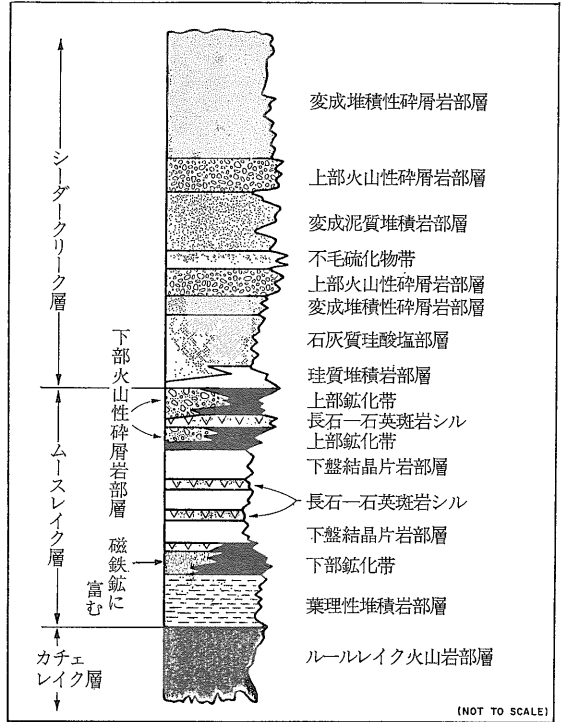
これらすべては始生代ですが この地区には原生代の  
貫入岩もあります。 南北に走るドレライト 薄いアル  
カリ質岩脈などです。 後者の多くはたいへん小さい岩  
体で 地質図上にはのってきません。 このうち ドレ

ライトの貫入岩がヘムロの主鉱体を南北に切って西鉱体と東鉱体に分けております。これら原生代の貫入岩は始生代諸岩石の片状構造を切りかつ変質変形も弱い為一見してすぐにわかります。

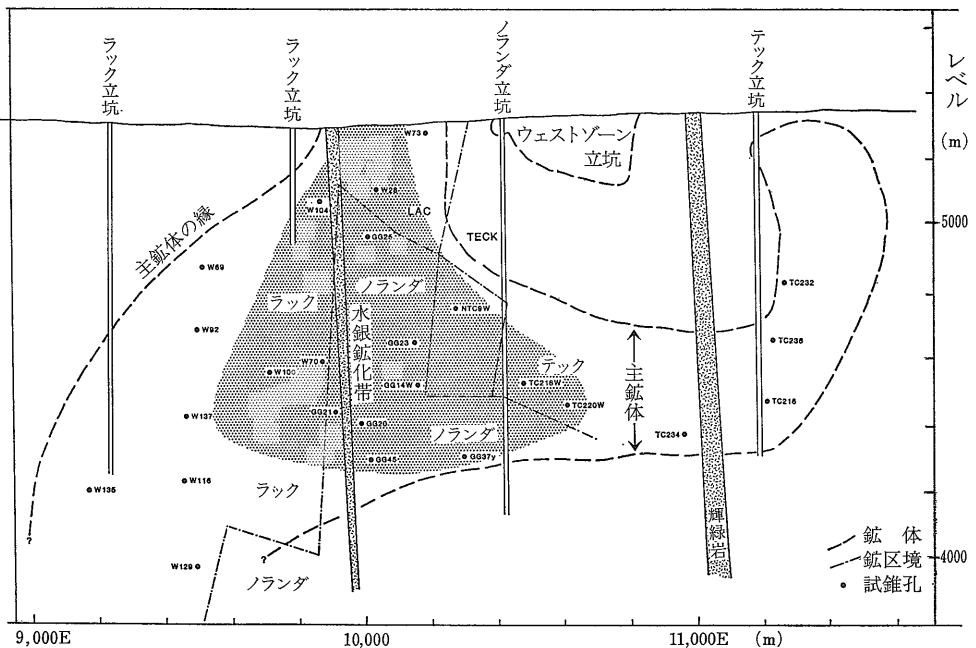
ジルコンを使った絶対年代測定 (Corfu & Muir, 1986) によると 鉱床を胚胎するヘロン・ベイグループは27.7億年 貫入している斑岩は27.7-26.9億年 花崗閃緑岩は26.9億年です。

### ヘムロ鉱床の母岩と鉱量

鉱床近傍の岩石は変形をかなり受け片状組織がたいへん発達しております。探鉱開発当初この片理面が層理面と思われました。その後のトレンチによって鉱床のみならず近傍の母岩も明らかにされ 鉱床付近が非常に変形していることがわかりました。鉱床へ200-300m 付近になると褶曲が見られるようになり 更に鉱床近くではほとんど鉱体と平行な等斜褶曲が見られるようになり 褶曲冠を片状構造が貫通し(口絵II-6) 更に葉理構造が発達し 元々の層理面はおぼろげにしか認められなくなります。更に鉱床の近傍では 鉱化変質に伴う雲母のため葉状構造が更に卓越して 白雲母結晶片岩となってきます。こうした漸変化を元に 構造地質屋であるフゴン (Hugon, 1984, 1986) は 鉱床を胚胎するあたりが大規模な剪断変形を受けて マイロナイト



第4図 ヘムロゴールドenjジアント鉱体における模式柱状図 (Noranda Exploration Co. 1986 原図)。



第5図 ヘムロ鉱床の東西断面図。南方より投影 (Harris 1986 b 原図)。

第1-1表 ヘム口鉱床産鉱物一覧表(1) 鉱石鉱物 (Harns 1986)

鉱石鉱物		
多量鉱物	一般式	ヘム口
Native Gold	Au	Hg0.0-22.1, Ag0.0-29.1
Pyrite	FeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>
Molybdenite	MoS <sub>2</sub>	MoS <sub>2</sub>
Sphalerite	ZnS	Hg0.0-27.5, Fe0.0-1.9
Arsenopyrite	FeAsS	FeAsS
Stibnite	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	As0.0-4.8
Tetrahedrite	(Cu, Fe, Zn) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	Hg0.0-18.6, Ag0.0-8.9
Tennantite	(Cu, Fe, Zn) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	Hg0.0-15.2, Ag0.0-8.3
Zinckenite	Pb <sub>6</sub> Sb <sub>14</sub> S <sub>27</sub>	As0.0-11.5
Realgar	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Sb0.0-0.5
Cinnabar	HgS	HgS
Aktashite	Cu <sub>6</sub> Hg <sub>3</sub> As <sub>4</sub> S <sub>12</sub>	Cu <sub>6</sub> Hg <sub>3</sub> (As, Sb) <sub>4</sub> S <sub>12</sub>
少量鉱物	一般式	ヘム口
Aurostibite	AuSb <sub>2</sub>	AuSb <sub>2</sub>
Chalcopyrite	CuFeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>
Pyrrhotite	Fe <sub>1-x</sub> S	Fe <sub>1-x</sub> S
Galena	PbS	PbS
Native antimony	Sb	As0.0-1.3
Berthierite	FeSb <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	Mn0.0-13.4
Bournonite	PbCuSbS <sub>3</sub>	As0.0-6.0
Boulangerite	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	As <sub>2</sub> .4-5.8
Native Arsenic	As	As
Gersdorffite	NiAsS	Fe1.4-14.9
Parapirotite	Tl(Sb, As) <sub>5</sub> S <sub>8</sub>	TlSb <sub>5</sub> S <sub>8</sub>
Routhierite	TlHgAsS <sub>3</sub>	Cu <sub>1.0</sub> Tl <sub>1.0</sub> Hg <sub>2.0</sub> (As <sub>1.4</sub> Sb <sub>0.6</sub> )S <sub>6</sub>
Altaite	PbTe	PbTe
Twinnite	Pb(Sb, As) <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	Pb(Sb <sub>1.2</sub> As <sub>0.8</sub> )S <sub>4</sub>
Orpiment	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Sb0.0-5.0
Geocronite	Pb <sub>14</sub> (Sb, As) <sub>6</sub> S <sub>23</sub>	Pb <sub>14</sub> (Sb <sub>3.0</sub> As <sub>3.0</sub> )S <sub>23</sub>
微量鉱物	一般式	ヘム口
Native Silver	Ag	Ag
Hemlo No. 1	-	Tl <sub>0.2</sub> Ag <sub>0.4</sub> Au <sub>0.6</sub> Sb <sub>2.0</sub> S <sub>2.0</sub>
Chalcostibite	CuSbS <sub>2</sub>	CuSbS <sub>2</sub>
Jamesonite	Pb <sub>4</sub> FeSb <sub>6</sub> S <sub>14</sub>	Pb <sub>4</sub> FeSb <sub>6</sub> S <sub>14</sub>
Gudmundite	FeSbS	FeSbS
Ullmannite	NiSbS	NiSbS
Coloradoite	HgTe	HgTe
Galkaite	(Cs, Tl)(Hg, Cu, Zn) <sub>6</sub> (As, Sb) <sub>4</sub> S <sub>12</sub>	-
Melonite	NiTe <sub>2</sub>	NiTe <sub>2</sub>
Tvalchrelidzeite	Hg <sub>12</sub> (Sb, As) <sub>8</sub> S <sub>15</sub>	Hg <sub>12</sub> (Sb <sub>4.7</sub> As <sub>3.3</sub> )S <sub>15</sub>
Baumhauerite	Pb <sub>3</sub> As <sub>4</sub> S <sub>9</sub>	Pb <sub>3</sub> (As <sub>2.2</sub> Sb <sub>1.8</sub> )S <sub>9</sub>
Cubanite	CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Seligmannite	PbCuAsS <sub>3</sub>	PbCu(As <sub>.52</sub> Sb <sub>.48</sub> )S <sub>3</sub>
Dufrenoyite	Pb <sub>2</sub> As <sub>2</sub> S <sub>5</sub>	Pb <sub>2</sub> (As <sub>1.1</sub> Sb <sub>0.9</sub> )S <sub>5</sub>
Calaverite	AuTe <sub>2</sub>	AuTe <sub>2</sub>
Pararealgar	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	not analyzed
Stibarsen	SbAs	SbAs
Breithauptite	NiSb	NiSb
Clausthalite	PbSe	PbSe
Wurtzite	(Zn, Fe)S	Fe4.8Hg6.2

化していることを明らかにし 更に片状構造がこの剪断帯と平行でかつ広域的な層理面に平行であることを示しました。彼によりますと 一見普通の結晶片岩にみえるところも片理面に沿う断層で大きく動いた可能性も強いとのことです。

さて 母岩の岩相ですが(第3, 4図) 3鉱山会社が各々別々の名前及び異なった区別の仕方をしていて たいへん混乱のあるところですが 共通するところは 下盤に石英-雲母結晶片岩又は眼球状石英を含む 雲母結晶片岩などのカリウムに富む岩石があり 更に下盤には

やはりカリウム添加を受けた黒雲母を含む 長石-石英結晶片岩があります。上盤の方には堆積岩があることを反映し 特に鉱床付近で石榴石 藍晶石 珪線石 紅柱石などを含むアルミナに富む岩石が生じてきます。上盤岩石は元々堆積岩であったことは確実ですが 下盤の岩石は変形と変質が激しく 原岩が貫入岩であったのか 又は火山岩なのか あるいは当初思われたように火砕岩なのか 未だ議論のあるところです。

鉱床は 1985年時点で平均含金量 8g/t 鉱量7,700万トンと計算されております。各鉱山会社別(第5図)の品

第1-2表 へムロ鉱床産鉱物一覧表(2) 珪酸塩鉱物他と酸化鉱物 (Harns 1986)

珪酸塩鉱物など		
多量鉱物	一般式	へムロ産
Quartz	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	—
Vanadian muscovite	K(Al,V) <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> up to 8.5
Biotite	K <sub>2</sub> (Mg,Fe <sup>2+</sup> )(Al,Fe <sup>3+</sup> ) <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	—
Phlogopite	KMg <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (F,OH) <sub>2</sub>	—
Microcline	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Barian microcline	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	BaO up to 16.6
Barite	BaSO <sub>4</sub>	SrO up to 7.2
Titanite	CaTiSiO <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>
少量鉱物	一般式	へムロ
Plagioclase	(Na,Ca)Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	An <sub>0</sub> -An <sub>90</sub>
Anhydrite	CaSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>
Calcite	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
Scheelite	CaWO <sub>4</sub>	CaWO <sub>4</sub>
Apatite	—	—
Clinozoisite	Ca <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH)	—
Zoisite	Ca <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH)	Ca <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
Zircon	ZrSiO <sub>4</sub>	—
Amphiboles	—	Tremolite, Actinolite, Hornblende
Tourmaline	—	var. dravite
微量鉱物	一般式	へムロ
Fluorite	CaF <sub>2</sub>	—
Cafarsite	Ca <sub>6</sub> (Ti,Fe,Mn) <sub>6-7</sub> (AsO <sub>3</sub> ) <sub>12</sub> ·4H <sub>2</sub> O	Ca <sub>6</sub> (Ti,Mn,V,Fe) <sub>7</sub> (AsO <sub>3</sub> ) <sub>12</sub> ·xH <sub>2</sub> O
Ferberite	FeWO <sub>4</sub>	Fe <sub>67</sub> Mn <sub>18</sub> Mg <sub>15</sub> WO <sub>4</sub>
Monazite	(Ce,Ln,Th)PO <sub>4</sub>	(Ce,Ln,Th)PO <sub>4</sub>
Allanite	(Y,Ce,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> )(OH)	(Ca,RE) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> )(OH)
Stilbite	Zeolite Group	not analyzed
Chlorite	Chlorite Group	—
Vanadian grossular	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	Ca <sub>3,1</sub> Al <sub>1,2</sub> V <sub>0,8</sub> Si <sub>2,9</sub> O <sub>12</sub>
Vesuvianite	Ca <sub>10</sub> Mg <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>5</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>4</sub>	not analyzed
酸化鉱物		
多量鉱物	一般式	へムロ
Rutile	TiO <sub>2</sub>	(Ti,Sb,V,W)O <sub>2</sub>
Tomichite	(V,Fe) <sub>4</sub> Ti <sub>3</sub> AsO <sub>13</sub> (OH)	(V,Fe,Ba,Al) <sub>4</sub> Ti <sub>3</sub> (As,Sb)O <sub>13</sub> (OH)
少量鉱物		
Magnetite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Ilmenite	FeTiO <sub>3</sub>	Mn0.0-4.7
微量鉱物		
Hematite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Fe,V) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Chromite	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sub>56</sub> Zn <sub>45</sub> Al <sub>99</sub> Cr <sub>95</sub> V <sub>04</sub> O <sub>4</sub>
Pyrochlore group	A <sub>1-2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O,OH,F)	Ca <sub>2.5</sub> Ti <sub>1.3</sub> Sb <sub>1.5</sub> O <sub>6</sub>

位と鉱量は次の通りです。

テック社：コロナ東部鉱体 西部鉱体：12g/t 760万トン (Burk et al. 1986)

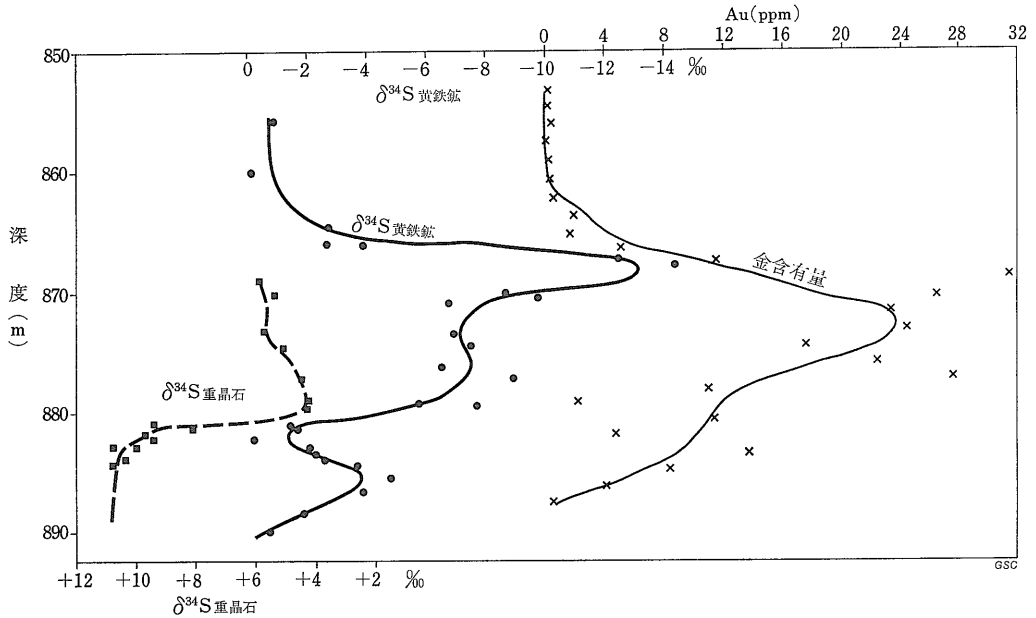
ノランダ社：コールドン・ジャイアント 鉱体：8.5g/t 2,200万トン

ラック社：ページ・ウィリアムス 鉱体：6g/t 4,700万トン

これらの主鉱体の他に 鉱化を受けるセプターフラクチャーゾーンが現在ノランダ鉱区に またゴールドン・ジャイアント鉱体の下盤に薄い下部鉱体などありますがそれらは 現在の段階では採鉱されておられませんので計

算には入れられておりません。

各鉱体は薄餅状で 広域的にみますと地層に平行にみえます。 鉱体には 黄鉄鉱 石英-長石に富むところ更に雲母やモリブデンに富むところがあって帯状構造を示します(口絵II-7)。 肉眼的にも更に細かな縞状構造に分けられ 顕微鏡下では 更に細かく分帯できます。 雲母に富むところは葉状構造が特に発達し 外観はベラベラとした感を与えます。 この縞状構造は時に 後からの不毛石英脈等で切られます。 多くの不毛石英脈も後の変形でブーディナージされております。



第6図 ヘムロ鉱床14W 試錐コアに見られる硫黄同位体比と金品位の深度による変化 (Cameron & Hattori 1985 原図).

### ヘムロ鉱床の構成鉱物

ヘムロ鉱石には 石英 長石 雲母 黄鉄鉱 輝水鉛鉱 それに重晶石が肉眼的に見えるだけです。まれに産出する水銀濃集部では辰砂 輝安鉱 レアルガーが見えます(口絵II-8)。肉眼的な金粒はたいへん稀ですが石英脈中に単独に見ることがあります。雲母には2種類があり 緑色のたいへんきれいなものは輝水鉛鉱の鉛色のすじを伴い 金品位も上がるという一般的傾向を持ちます。この緑色雲母は 他の始生代の金鉱床にでる含クロム雲母(フクサイト)ではなく パナジウムに富むタイプです。

金品位の高いところは 主に石英 カリウム長石 雲母が90%以上をしめ カリウム長石の存在が半透明の砂糖状の顔つきを与えています。

鉱石の細かな縞状構造は 黄鉄鉱 輝水鉛鉱 雲母 石英 長石の量比の違いによるものです。顕微鏡下では すべての鉱物 特に雲母が平行に並び 石英 長石は再結晶の結果 モザイク状の結晶境界を示します。変形によるリボン状の石英も時に見られます。金属鉱物は主として黄鉄鉱 輝水鉛鉱の多いところに濃集してきます。

鉱物屋さんの喜びそうな舌をかむような名前の鉱物がたくさん報告されており パラピエロタイト(タリウム鉱物)などは北米では初めての産出記録です。この鉱

物の最初の記載は オーストラリアで一番大きい始生代の金山 ゴールデンマイルでありました。これだけでなく トミチャイトやアクタチャイトなどゴールデンマイルで知られている鉱物がたくさん見つかり 鉱物の類似性が指摘されております。

また一覧表(第1表)でおわかりになりますように 水銀 アンチモン タリウムなど 若い造山帯の浅熱水性金鉱床に富化されてくる元素を含む鉱物も注目をあびました。更に レアルガーや辰砂などの低温鉱物が産出することも成因を解釈する上で注目を集めました(後述)。

重晶石の多いところは 重晶石帯として下盤に産出しますが 金はつきません。こうした産状の他に 明らかに後から切るような重晶石脈も時に見られます。

### ヘムロ鉱床の構成元素

ヘムロ鉱床でたいへん興味深いことの1つは 鉱床構成元素グループで 日本 ニューゼaland等の環太平洋帯に産出する浅熱水性の鉱脈鉱床と似たような元素が濃集することです。例えば 水銀 砒素 アンチモン タリウム等です。更に 始生代の岩石中には稀にしか産出しない硫酸塩鉱物がたくさんです。塊状の硫酸塩鉱物の産出は 北米の始生代の岩石中では最初の記録です。これを更に裏うちするように 硫黄の同位体比



が変化します (第6図)。これも始生代の岩石中ではたいへん稀なことです。第6図からもおわかりのように硫黄の同位体比が金の品位と相関します。相関する理由は未だわかりませんが、金鉱液が酸化することで硫酸塩が鉱液中に存在したと説明することができます。母岩の方も下盤では広範囲に赤鉄鉱化して赤くなっており一般的に還元であった始生代の環境の中で特異に酸化であったことを示しております。

もう1つ興味深い点は、鉱床中の重金属量がのきなみ低く、岩石の平均含有量に比べても銅鉛亜鉛等は低い値をとります (第2表)。これは金鉱化をもたらした鉱液がこうした重金属に濃集していなかったということ、又は鉱化時期にこうした金属を沈澱させるような過程がおこらなかったということで説明されます。

これは海水が火山岩中をぐるぐると循環して海底下で噴気によって金属が沈澱するといった黒鉱モデルではへムロ金鉱床は説明できないということを示しています。もし海水のような塩素に富んだ水が鉱液となったとしますと金のみならずまず重金属が抽出されてしまうからです。

他の始生代の金鉱床と比べへムロ金鉱床の特異な点は炭酸塩鉱物が出ないことです。これの説明としては次の2通りが可能です。

(1)炭酸塩鉱物は後の変成作用時に分解消失してしまっただ。

(2)炭酸塩鉱物は沈澱しなかった。

(1)の場合、カルシウム-珪酸塩鉱物が出来るのが普通です。たいへん局所的ですが母岩に元々は炭酸塩鉱物があったという証拠がみつかったので (1)は消去されます。

もし鉱化が陸上浅所で起った場合、圧力減少に伴い炭酸塩鉱物が沈澱しますからこの炭酸塩鉱物の不在は (2)の理由、すなわちへムロ鉱床が浅所陸成起源である地質的に若い浅熱水性鉱脈とは異なった過程で生成したことを意味します。

### へムロ近傍の鉱化作用

広域的に見ますとへムロから北へ50kmの同じグリーンストーンベルトの中にジコ、ウイルロイなどの一連の

第2表 へムロ鉱床産岩石中の化学成分の増減傾向 (Cameron & Hattori 1985)

分析箇數	上盤変成 堆積岩類	— 鉱化帯 — 絹雲母 結晶片岩		塊状 重晶石	下盤変成 堆積岩類	始生代 頁岩
	18	42	29	27	406	
	中間値	中間値	中間値	中間値	平均値	
<b>増加成分</b>						
Mo ppm (1)	8	1250	1630	20	2.2	
Sb ppm (3)	3.8	109	67	11	1.2	
Hg ppm (3)	1.8	13	15	2.5	0.15	
V ppm (1)	50	515	190	38	130	
As ppm (3)	105	187	85	25	46	
Ag ppm (2)	0.1	1.0	1.0	0.4	0.4	
Ba % (5)	0.13	0.55	32.3	0.28	0.055	
S % (6)	2.0	7.5	10.5	1.1	0.66	
<b>減少成分</b>						
Mn ppm (1)	220	77	70	77	700	
Ni ppm (1)	14	15	10	6	127	
Cu ppm (1)	17	20	10	2.3	66	
Cr ppm (4)	23	20	5	10	133	
Co ppm (1)	13	14	17	10	35	
Zn ppm (1)	67	47	116	43	323	
Pb ppm (1)	10	4.5	4.0	18	26	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % (4)	15.0	9.3	2.1	16.3	16.9	
TiO <sub>2</sub> % (4)	0.4	0.4	0.24	0.27	0.73	
MgO % (4)	1.1	0.3	0.1	0.8	3.3	
Na <sub>2</sub> O % (4)	2.0	0.6	0.7	1.6	2.5	
CaO % (4)	2.9	0.4	0.1	1.4	2.1	
CO <sub>2</sub> % (6)	0.16	0.14	0.12	0.14	1.1	
<b>変化なし</b>						
Rb ppm (4)	40	20	10	80	91	
Sr ppm (1)	460	100	980	348	199	
K <sub>2</sub> O % (4)	1.6	4.5	1.0	4.2	2.7	
SiO <sub>2</sub> % (4)	64.0	59.3	29.4	68.1	58.0	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % (4)	4.9	9.5	2.5	2.0	7.6	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % (4)	0.13	0.08	0.02	0.09	0.16	

分析方法: (1) Emission - ICP, (2) AAS, (3) AAS - hydride, (4) XRF, (5) NAA, (6) Wet chemical

塊状の硫化物鉱床があります。その鉱石は強度の変成作用でたいへん粗粒になっております。西方へ100kmの所には昔のゼンマック塊状硫化物鉱床があります。このすぐ近くで同じように亜鉛に富むウィンストン・レイク鉱体がファルコンブリッジにより最近発見されました。このウィンストンレイクとへムロの間には原生代中期のコールドウェルアルカリ岩体が貫入しています。

スペリオル湖北岸一帯には原生代中期の炭酸塩岩を主体とする地域に亜鉛-鉛-銅鉱脈があり生成の時代としては原生代と思われませんが始生代の岩石をしばしば母岩にしております。この例としてはへムロ西方のピック川近くのデットホースクリーク (死んだ馬谷…カナダ人はあまり情緒がないようです) がありへムロ南西のヘロン・ベイの鉱体が近くに産出する好例です。ニピゴンからサンダー・ベイの方に行きますと更にたくさん例があります。

金の鉱化作用としては低品位石英脈を伴うゴールドンセプターフラクチャーゾーンがへムロ鉱体の西延長に出ます。現在ノランダ社の管轄下になっております。ヘロン・ベイには緑色のフクサイト、モリブデンの鉱化

に伴う金が1984年の12月に報告され 第2のヘムロブームをこのあたりでまき起こしました。その後 詳細な探査にもかかわらず鉱化帯の延長が見つからず現在は探査活動も下火になりました。

ヘムロ鉱床の層準の西延長30-40kmには重晶石鉱体が点在し ヘムロでの重晶石の産出とあいまって やはり1984年には登記ブームを起しました。重晶石は塊状で やはり広域的には層理と平行なレンズ状に産出します。時代的にはヘムロの重晶石と同時期で 始生代のストロンチウム比をもっています(Hattori et al. 1985)。生憎とこれらの重晶石鉱体からは金はでてきません。

### ヘムロ鉱床の成因

ヘムロ鉱床に関する成因論は 同一会社内でも地質屋さんの間で同意をみていない状況ですが 以下 これまでに提唱された説とその説の取り上げられた根拠を述べさせていただきます。

#### I. 火山岩と同時生成

- I-a. 海底噴気堆積性(黒鉱式同生説)
- I-b. 低温温泉起源説(地表付近の低温熱水活動で化学的に母岩を交代。生成時代はほぼ母岩と同じ)

#### II. 後生説

- II-a. 始生代末期:花崗岩質岩の貫入に伴う
- II-b. 原生代:アルカリ岩の貫入に伴う

II-b説は探鉱初期に言われたもので ヘムロ鉱床から西へ約35kmのところたいへん大きなコールドウエル・アルカリ貫入岩体があり ヘムロ近傍も含めた周辺にはこれに伴うランプロファイヤの貫入があります。このコールドウエル岩体は原生代中期で 岩体の西方にはこの岩体に伴うと思われる かなりたくさん重晶石を含む銅 鉛 亜鉛脈が広範な地区に産出します。ヘムロにも重晶石や水銀などがでることなどから かなりの人々はこれら鉱化作用は始生代末期の広域変成作用の後 原生代の貫入活動によって生じたものと考えました。この説は私達のストロンチウム同位体結果が始生代を示すことから 今は完全に消えさりました。

I-aの黒鉱式同生説はテック社の探査長のバリアント(Valliant 1986 a, b)により提唱されたものです。

根拠は ①鉱床の縞状構造が グリーンストーンベルトの一般的層理面と一致していること。 ②広域的にみると鉱体はグリーンストーンベルトの南部から北部へと岩相の時間的な変化と合致する所 及び西部から東部へと堆積岩が卓越するという岩相変化に対応した所に 胚胎す

る。 ③鉱体内で重晶石が主として下盤側に出るという上下変化。 ④下盤側にカリウム添加 黄鉄鉱化といった変質が広くみられ それに加えて上盤側の変質は目立たない。更に重晶石の生成には 日本の黒鉄鉱床でも見られるように 2種類の異なった溶液(硫酸塩に富むものとバリウムに富むもの)が必要で 噴気過程というのは2溶液の混合にたいへん都合がよい といったこともあげられます。

I-bの同生説が出された根拠は 上記の広域的な岩相変化を考慮すると火山岩と同時期の鉱化作用である。更に砒素 タリウム 水銀の濃集がニュージーランド等の陸上での温泉熱水活動の産物と似ていることなどです。

II-a 後生説の根拠は 下盤での広範な変質は岩相の相違によるもので 泥岩等は熱水がきても不透層として働く為に上盤側の堆積岩が卓越するところには変質がこない。更に変形作用を受けますと 泥岩の方は変形に順応する為に鉱液が通る間隙を作らないが 溶岩 火砕岩の方はもろい為 間隙を生じ鉱化変質が卓越するというものです。

私自身 鉱床の発見からいろいろ講演し 当初 非常によく縞状になった岩相 及びストロンチウムの資料を基に 同生説ですべてうまく説明がつけることができるのではないかと思ったわけですが(Hattori & Cameron, 1985, Cameron & Hattori, 1985) その後 鉱床の近傍の岩石の変形の状態が明らかにされ 更に構成鉱物が詳細にわかるにつれ すべてこうした資料が後生説に有利であることを認めざるを得なくなりました。以下に 後生説に有利なことを表記します。

- 1) 鉱床付近の変形が著しい。 鉱床100m以内で地層が褶曲しかつ片状構造が卓越してくる為 元々の層理面の認識ができなくなる。 鉱床の板状形態はこの片理面に平行である。この面は 広域的にみると層理面に平行ですが 変形の強いゾーンで鉱床のみが板状に保たれたとは思いがたい。
- 2) いくつかの斑岩が変形かつ変質を受け カリウムを濃集していること。 鉱床周辺の斑岩は26.7~26.9億年を示す。これは 母岩の27.7億年に比べたいへん若い。 斑岩貫入後の鉱化作用と考える方が諸データを説明し易い。
- 3) 地球化学的に 鉱床を構成している 元素の濃集を海水が循環する海底熱水活動では説明できない(Hattori & Cameron, 1986)。

海水は塩素を含み 塩分の存在は鉛 銅 亜鉛の抽出 濃集にはたいへん都合が良い。 金もその過程で少しは濃集されるものの 金だけ濃集する鉱床

の成因は 海水が関与する機構からは難かしい。

## ま と め

ヘムロ鉱床は 始生代の金鉱床の中では 特異な産状と鉱物及び元素の共生関係をもっております。特異な産状は鉱床の生成場所が主要な変形ゾーン中にあり 鉱物が生成中及び生成後に強い動力変形を受けた為であると言えます。変形によって脈そのものが激しくミロナイト化され 現在にみる縞状組織を与えております。

特異な鉱物及び元素組成は 鉱床生成時より前に硫酸の濃集が起り かなり酸化的環境であったことによるものです。よく知られていますように始生代は一般的に還元的で 鉱床もそれを反映して一般に還元的なのですが ヘムロにおけるこの硫酸の濃集による酸化環境は 地質的にはたいへん若い金鉱床の場合と類似する為 鉱物及び元素の濃集がそういった若い鉱床のものに似ていると言えます。

ではどうしてヘムロ近くで 硫酸の濃集があったのかということはたいへん大きな疑問です。1つの可能性としては 現世のポーフィリー型鉱床にみられますような貫入岩の熱水活動に伴ってヘムロ鉱床には生成された。もう1つの可能性としては 勿論 堆積性硫酸塩の存在です。この硫酸の起源も含めヘムロの生成過程の理解の為に これからの研究が待たれるところです。

謝辞：昨年夏の帰国の折 地質調査所と鉱山地質学会では講演を招待して下さいと楽しいひとときを過ごさせていただきました。この小文はその時の一部ですが お世話下さった石原舜三 浦辺徹郎の両氏にお礼を申し上げます。

## 文 献

始生代金鉱床一般

Colvine, A. C., Andrews, A. I., Cherry, M. E., Durocher, M. E., Fyon, A. J., Lavigne, M. J., Jr., Macdonald, A. J., Marmont, S., Ploulsen, K. H., Springer, J. and Troop, D. G. (1984) An integrated model for the origin of Archean lode gold deposits; Ontario Geological Survey Open File Report 5524, 98p.

Hodder R. W. and Petruk W. edit. (1982) Geology of Canadian gold deposits. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 24.

Hodgson, C. J. (1983) Preliminary report on the Timmins-Kirkland Lake area gold deposits file; Ontario Geological Survey Open File Report 5467, 434p.

縞鉄鉱層に伴う金鉱床

Fyon, J. A., Crocket, J. H. and Schwarcz, H. P. (1983) The

Carshaw and Malga iron-formation-hosted gold deposits of the Timmins area; Ontario Geol. Surv. Misc. Paper, 110, 98-110.

Macdonald, A. J., 1983, The iron formation-gold association evidence from Geraldton area; Ontario Geol. Surv. Misc. Paper, 110, 75-97.

Groves, D. I., Amaro, D., Hallbaner, D. K., Phillips, G. N. and Kahl, N. (1986) Epigenetic versus syngenetic formation of Archean BIF-hosted gold deposits: evidence from morphology, trace-element and lead-isotope composition of pyrite; Extended Abst., Geocongress' 86 (Johannesburg), 365-368.

ヘムロ鉱床

Cameron, E. M. and Hattori, K. (1985) The Hemlo gold deposit, Ontario: a geochemical and isotopic study; Geochim. Cosmochim. Acta, 49, 2041-2050.

Corfu, F. and Muir, T. L. (1986) Preliminary U-Pb ages from the Hemlo area, Northwestern Ontario; Abst. Joint Annual Mtg. Geol. Assoc. Can., and Can. Geophys. Union, 11, 59.

Harris, D. C. (1986) The minerals in the main Hemlo gold deposit, Ontario; Geol. Surv. Canada 86-1A, 49-54.

Hugon, H. (1984) The Hemlo gold deposits: gold mineralization within a dextral shear zone. Ont. Geol. Surv. Misc. Paper, 119, 212-217.

Muir, T. L. (1982 a) Geology of the Hemlo Area, District of Thunder Bay; Ontario Geological Survey, Report 217, 65p. Accompanied map 2452, scale 1: 31, 680.

Muir, T. L. (1982 b) Geology of the Heron Bay area, District of Thunder Bay, Ontario Geological Survey, Report, 218, 89. Accompanied map 2439, scale 1: 31, 680.

Muir, T. L. (1985) Geology of the Hemlo-Heron Bay area; in Gold and Copper-zinc Metallogeny Hemlo-Manitowadge-Winston Lake, Ontario, Canada; Joint publication Mineral Deposits Div., Geol. Assoc. Canada and Geol. Div. CIM., 30-38.

Noranda Exploration Company Staff. (1986) Golden Giant Joint Venture Properties; Field excursion guidebook, The Joint Annual Meeting of Geol. Assoc. Canada, Min. Ass. Canada and Canadian Geophys. Union (Ottawa).

Quartermain, R. (1986) Teck-Corona Mine area geology; Field excursion guidebook, The Joint Annual Meeting of Geol. Assoc. Canada, Min. Ass. Canada and Canadian Geophys. Union (Ottawa).

その他

Patterson, G. C. (1985) Exploration history and field stop descriptions of the Hemlo area; in Gold and Copper-zinc metallogeny Hemlo-Manitowadge-Winston Lake, Ontario, Canada; Joint publication, Mineral Deposits Div., Geol. Ass. Canada and Geol. Div. CIM. 66-86.

Hattori, K. and Cameron, E. M. (1986) Archean magmatic sulphate. Nature, 319, 45-47.