

# 世界の層状硫化物鉱床(その3)

## ～アパラチア造山帯の塊状硫化物鉱床～

兼平慶一郎・佐藤壮郎

### 1. アパラチア造山帯の地質の概要

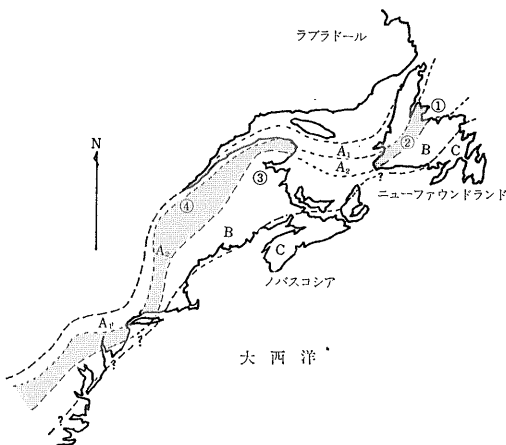
アパラチア造山帯の地質については 過去30年間 M. P. BILLINGS を中心とするハーバード大学の人々によって精力的に調査・研究が行なわれ 特にニューイングランドの地域については精密な調査が行なわれて 世界の造山帯の中でもっともよくわかっている地域の一つになっている。その概要は 1968年に BILLINGS に献ぜられた論文集 (ZEN et al., 1968) によってうかがい知ることができる。また 引き続き 1970年に出版された E. CLOOS に献ぜられた論文集 (FISHER et al., 1970) には アパラチア造山帯の中部および南部の地質があつかわれている。一方 カナダに属する北部アパラチアについても着実に地質調査が行なわれ その結果は カナダ地質調査所の出版物その他にまとめられている (DOUGLAS, 1970)。1970年に BIRD と DEWEY は アパラチア山脈北部の構造発達史をプレートテクトニクスの立場から 新しく解釈することを試みた (BIRD and DEWEY, 1970)。このような試みを可能にした理由の一つは それまでに蓄積された BILLINGSその他による詳細な地質調査の結果であったと思われる。

アパラチア造山帯とその周辺地域はいくつかの構造单元からなり 大まかにみるとことに北部アパラチアにおいては 各構造单元は大陸側から大西洋側へと 次のように配列して NE—SW 方向にのびて帯状に分布している (ZEN et al., 1968参照)。

- (1) Foreland: 下部古生代の石灰岩・ドロマイト 珪岩からなるプラットフォーム堆積物の帯。変形は一般に弱いが東の方へ次第に強くなる。
- (2) Logan's Line の東の変形された下部古生層の帯。岩相は(1)に類似。この帯の東半部には 東方から押しかぶせてきた 横移岩塊が分布するという。
- (3) 先カンブリア代基盤が孤立した岩塊として NE—SW に配列して露出する地域。
- (4) 強く褶曲し 変成された いわゆる優地向斜性下部古生層の帯。この帯には 超塩基性岩が 断続的に細長く分布している。
- (5) Connecticut-Gaspé 複向斜帯。シルル・デボン紀の地層が分布する。
- (6) (5)の東翼の過褶曲した複背斜帯。主としてオルドビス紀の地層が分布する。(4)の帯は(5)の西翼の複背斜帯にあたる。
- (7) Merrimack 複向斜帯。再びシルル・デボン紀の地層が露出する。
- (8) (7)の帯から東は帯状分布があまりはっきりしなくなる。オルドビス紀 シルル紀 下部デボン紀の地層が分布しているほか ところどころに先カンブリア代の岩層が顔を出している。
- (8) 以上の帯に重複して 造山時以後の被覆岩層が各所に分布する。

アパラチア造山帯の主体をなすのは 下部古生代の堆積物で その厚さや岩相の差から 劣地向斜堆積物と優地向斜堆積物とに分けられる。上に述べた帯状分布では (1)の一部および(2)の帯が前者に そして少なくとも(4)から(7)は後者にあたる。

北部アパラチアでは 主としてオルドビス紀後期とデボン紀とに造山運動のピークがあった。それぞれ Taconic 変動 Acadian 変動とよばれている。BIRD と DEWEY (1970) は 北部アパラチア造山帯を西から東へ A B C の3帯に分けた(第1図)。A帯は Taconic と Acadian の両変動を受けた帯であり B帯は主に Acadian 変動によって褶曲山地となった帯である。A帯と B帯の境は マサチューセッツ州 メイン州の中央部から ニューブランズウィック州の西側を通り ニューフ



第1図  
アパラチア造山帯北部の帯状構造 (BIRD and DEWEY, 1970)  
A<sub>1</sub>: Logan 帯 A<sub>2</sub>: Piedmont 帯 B: B 帯 C: C 帯  
番号はおもな鉱床帯を示す  
①Notre Dame Bay 地域 ②Buchans 地域 ③Bathurst 地域  
④Eastern Townships 地域

アウンドランドでは 中央火山性地帯の南東側にぬける。A帯はさらに Logan 帯と Piedmont 帯に分けられる。前者は劣地向斜帯であり 後者は優地向斜帯である。一方 C帯はニューファウンドランドのアバロン半島からノバスコシアにわたる帯で あまりよくはわからないが 先カンブリア代末期の造山運動で安定化した地域とも考えられている。

以上のような構造をもつ北部アパラチアでは 塊状硫化物鉱床の分布する地域として 次の4つの地域をあげることができる(第2図)。

- (1) Notre Dame Bay 地域 (ニューファウンドランド北部)
- (2) Buchans 地域 (ニューファウンドランド中部)
- (3) Bathurst 地域 (ニューブランズウィック州)
- (4) Eastern Townships 地域 (ケベック州南東部)

(3)は BIRD と DEWEY (1970) のB帯に属するが 他は Piedmont 帯に位置する。いずれの地域の鉱床も海底火山性物質に伴っている点では共通しているが それぞれ異った特徴がある。

アパラチア山脈の中部・南部にも多くの塊状硫化物鉱床が知られている(KINKEL, 1967)。しかし構造発達史との関連で 特に興味のある鉱床は北部アパラチアに分布しているので ここでは主として北部アパラチアの塊状硫化物鉱床を紹介することにする。はじめに上の各地域の代表的鉱床を紹介し あとでもう一度アパラチア造山帯の発達と鉱床生成との関連を考えてみることにしよう。

## 2. Notre Dame Bay 地域の地質と鉱床

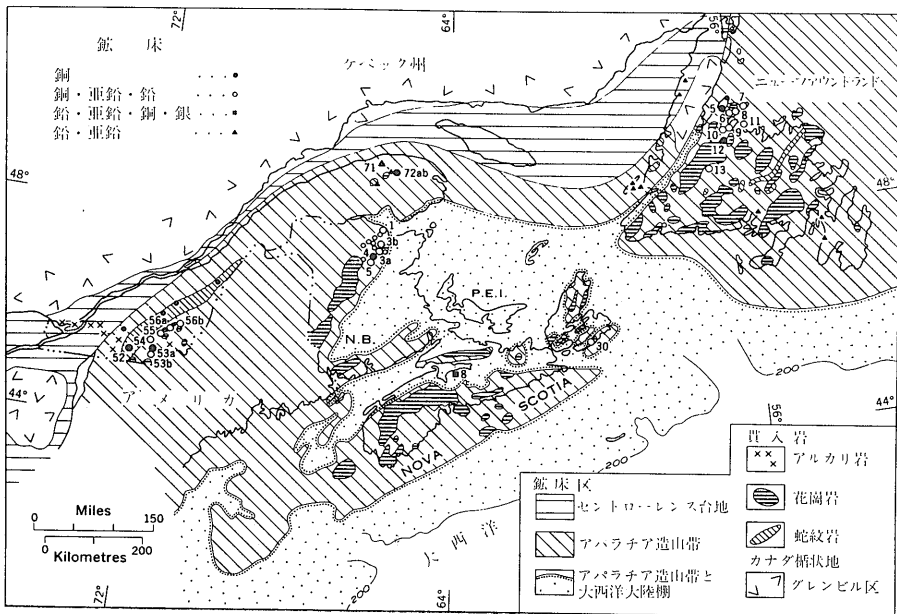
この地域には広く塩基性噴出岩が露出しているが 便宜上超塩基性岩を伴う Betts Cove-Tilt Cove 地域とそうでない Whalesback 地域とに分けて考えることができる(第3図)。

### (a) Betts Cove-Tilt Cove 地域の地質と鉱床

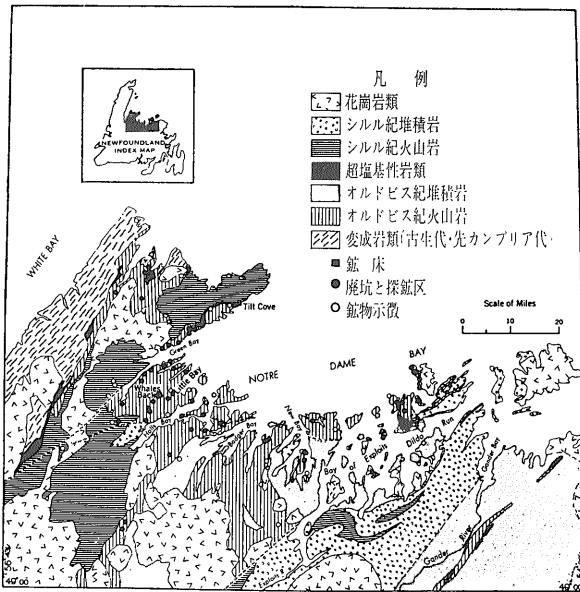
この地域は古くから探鉱・探掘の行なわれたところであるが 現在はほとんど稼行されていない。塊状硫化物鉱床は いわゆるオフィオライト中に胚胎しており その意味で最近とくに注目を集めるようになってきた。鉱床を胚胎している岩層は Snooks Arm Group とよばれ 下部オルドビス紀のものと考えられている。この岩層はBurlington半島の北東海岸部にへばりつくように露出しており 幅最大5km 延長約16km にわたって分布している。西側は断層によってシルル紀の Nippers Harbour Group およびそれより若い火山岩類に接している。

Snooks Arm Group は 下位から蛇紋岩 斑れい岩 岩脈群 枕状溶岩 火山砕屑岩という構成をもち 上部では チャート 頁岩などの堆積物をはさんでいる。この岩石の組み合わせは 海洋底地殻の構成に似ており 下部オルドビス紀の海洋底地殻が 陸上に露出しているのだろうと考えられている (UPADHYAY and STRONG, 1973)。

超塩基性岩は主として蛇紋岩化されたカンラン岩からなる。超塩基性岩の上部は輝岩からなり それは斑れ



第2図  
アパラチア地域北部の鉱床区と主要単金属鉱床(E. R. ROSEによる; DOUGLAS 1970, p. 313)  
ニューファウンドランド:  
7. Tilt Cove  
8. Betts Cove  
9. Little Bay  
10. Whalesback  
13. Buchans  
ニューブランズウィック:  
3a. Brunswick No. 6  
3b. Brunswick No. 12  
5. Heath Steele  
ケベック:  
53b. Eustis  
55. Weedon  
56a. Cupra  
56b. Solbec



第3図 北部ニューファウンドランドの地質と卑金属鉱床 (WILLIAMS 1963)

い岩へと漸移する。この斑れい岩からなる部分は多くの岩脈によって貫かれ、上部にゆくにつれてほとんど岩脈のみからなるようになる。そしてその上に枕状溶岩がのる。枕状溶岩は玄武岩質ないし安山岩質である。枕状溶岩の部分には火山砕屑岩と赤色チャートがはさまれている。この枕状溶岩の上には火山砕屑岩、頁岩、砂岩、チャートからなる堆積岩層がある。これら

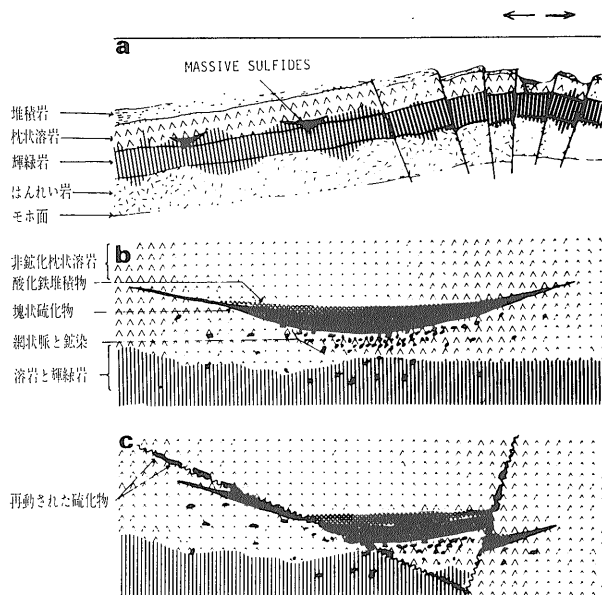
の岩層は全体として南東に数10度傾斜している。枕状溶岩の形などほとんど変形せずに残っているが、岩石自体は緑色片岩相に相当する変成作用をうけている。

**Betts Cove 鉱床:** この鉱床は1860年に発見され、1875年から1885年の間に約10万t (約10% Cu) の鉱石を産出した。ここでは上のべたオフィオライトの層序が乱されておらず、オフィオライトと硫化物鉱床との関係がもっともよくわかる (UPADHYAY and STRONG, 1973)。縞状構造をもつ塊状鉱と鉱染鉱を産する。鉱床の主体はレンズ状の形をしている。ちょうど岩脈群とその上の枕状溶岩との間に胚胎しており、この部分の鉱石には縞状構造がとくによくみえる。それより下位には鉱染鉱がく。おもな鉱石鉱物は黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱がある。

鉱床はオフィオライトの層序に規制されているようにみえる。UPADHYAY と STRONG (1973) はこの鉱床の生成を次のように考えた。下部オルドビス紀の海嶺でオフィオライトが形成され、その時の火山性噴気・熱水で鉱床は形成された。鉱液 (brine) の起源はちがうが紅海のような環境を頭にえがけばよい。上部には火山堆積性鉱床が形成され、下方には網状脈や鉱染鉱が生じた。現在の鉱床の形や、鉱石の組織・構造は初生鉱床が変形・変成された結果である (第4図)。

**Tilt Cove 鉱床:** この鉱床は1857年に発見された。1864年から1917年にわたってかなりの量の銅鉱を産出したといわれる。1957年に操業を再開し、1960年には約80万t (1% Cu) の鉱石を選鉱処理した。そして1967年に再び閉山された。

この地域では枕状溶岩と蛇紋岩とが断層で接して、いわゆる Sheeted dyke の帯がはっきりしない。鉱床は枕状溶岩と火山砕屑岩、若干の赤色チャートからなる岩層中に胚胎している。採掘あとから判断すると、鉱床は一つの



第4図 オフィオライトに伴う塊状硫化物鉱床の形成 (UPADHYAY and STRONG, 1973)

a. 海嶺での火山活動で硫化物鉱床が形成される。鉱床は枕状溶岩の下部にできた。  
b. 拡大図。下方には網状脈があり、そして塊状鉱の上には酸化鉄を含む堆積岩がのっている。  
c. 変形されて硫化物は断層などにそって再動している。Betts Cove や多くのニューファウンドランドオフィオライトに伴う鉱床はこの状態を示す。

大きなレンズ状鉱体であつたらしい。そのほかに網状脈や鉱染状の部分もある。主要鉱石鉱物は黄鉄鉱と黄銅鉱である。少量の閃亜鉛鉱 赤鉄鉱 磁鉄鉱なども含まれている。まれに磁硫鉄鉱を含む鉱石もある。

脈石は緑泥石 白雲母 石英 方解石などである。硫化鉱物は一般に極めて細粒で 黄鉄鉱には framboidal 組織を示すものもあり また 黄鉄鉱—黄銅鉱—閃亜鉛鉱の共生は各種のコロフォーム組織をもっている (KANEHIRA and BACHINSKI, 1967) (第5図)。

Betts Cove—Tilt Cove 地域には このほかにも稼行されたことはないが硫化物鉱化作用が点々と認められる。いずれも 地質環境と鉱石の性質は Betts Cove や Tilt Cove の場合とよく似ている。

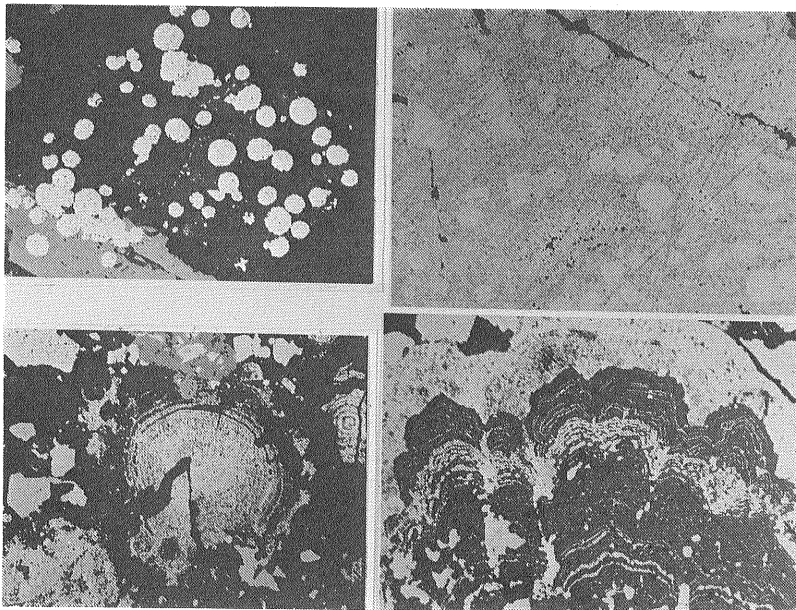
(b) Whalesback 地域の地質と鉱床

Betts Cove—Tilt Cove のオフィオライトは Notre Dame Bay の西の縁に位置するが この湾の南側の部分には より広く緑色岩類が分布している。この岩層はあまり蛇紋岩を伴わず ほとんどが枕状溶岩と若干の火山砕屑岩とからなる。その時代は下部オルドビス紀である。一部には Betts Cove の場合とよく似たオフィオライトの層序が観察される。この緑色岩類中に規模は大きくないが 多数の塊状硫化物鉱床が知られている。また同種の鉱化作用によって生成されたと考えられる黄鉄鉱—黄銅鉱の網状脈もみられる。個々の鉱床についての記載は少ない。ここでは網状脈の一例として Whalesback 鉱床について紹介する。

**Whalesback 鉱床**：この鉱床は1965年秋から採掘が始められた。1日2,000 t (1.7% Cu)のペースで選鉱処理が行なわれ すでに約400万 tの鉱量を掘りつくしてしまっている。鉱床付近に分布する岩石はオルドビス紀の塩基性—中性噴出岩が主で 火山砕屑岩 頁岩の薄層がはさまれている。この岩層はこの地域ではLush's Bight Group とよばれている。噴出岩の大部分は枕状構造をもつ。岩石は緑色片岩相に相当する変成作用を受けている。いくつかの斑れい岩の小岩体が露出している。この斑れい岩も変成作用をうけていて 枕状溶岩と一連の火成活動の産物と思われる。そのほかに多数のより新しい角閃石斑岩などの岩脈が岩層を切っている。

鉱床は枕状溶岩中の剪断帯に胚胎している(第6図)。剪断帯の幅は最大130m N65°E方向に800m 続いている。剪断帯中に網状脈が発達しており 剪断帯の25~35%が“鉱体”となっている。黄銅鉱—黄鉄鉱からなる脈は 最大幅1mに達する場合もあるが 多くは20cm以下である。脈の間は硫化鉱物で鉱染されている。そして全体として幅30mぐらゐの“鉱体”を形成している。鉱石には少量の磁硫鉄鉱 閃亜鉛鉱も含まれている。方鉛鉱 キューバ鉱 ペントランド鉱も記載されている (KANEHIRA and BACHINSKI, 1968)。脈石は主として石英 緑泥石 方解石である。

Whalesback 鉱床の近くにはいくつかの銅—黄鉄鉱鉱床が知られている。たとえば Little Bay 鉱床は 枕状溶岩中にある塊状硫化物鉱床である。レンズ状の鉱体



第5図  
Tilt Cove 鉱床の鉱石の反射顕微鏡写真  
(左上) 黄鉄鉱(白色)のベレット組織  
灰色は赤鉄鉱 黒色は緑泥石などの脈石。写真横の長さ 0.3 mm。  
(右上) 黄鉄鉱のベレット。まわりは細粒の黄銅鉱からなる。写真横の長さ 0.32 mm。  
(左下) 黄鉄鉱と黄銅鉱が同心円状の縞模様をなすコロフォーム組織。凝灰角礫岩中のもので 硫化鉱物も破碎されている。写真横の長さ 0.7 mm。  
(右下) 黄銅鉱(灰白色)と閃亜鉛鉱(暗灰色)からなるコロフォーム組織。白色自形の鉱物は黄鉄鉱。写真横の長さ 0.36 mm。

で Tilt Cove の鉱床に似ている。

Lush's Bight Group は変形され変成されている。鉱床の生成環境は変形前の状態に復元してみないとわからないが レンズ状鉱体は海底で生成し その下部に Whalesback のような網状脈ないし鉱染鉱床が形成されたものではないかと想像される。

### 3. Buchans 地域の地質と鉱床

Buchans は Notre Dame Bay の湾岸から約 120km 南西 ニューファウンドランドの内陸部に位置する。この鉱床は黄鉄鉱の比較的少ない 黄銅鉱—閃亜鉛鉱—方鉛鉱—鉛—錳—石からなり Tilt Cove や Whalesback のものとは大変性質がちがう。鉱床付近の火山堆積岩類はオルドビス紀のものと考えられている。噴出岩類は中性ないし酸性で 堆積岩としては砂岩がはさまれており 北東部の塩基性噴出岩類を主体とする岩層とは 全くちがう。鉱石と母岩の性質からみると Betts Cove-Tilt Cove の鉱床を仮にオフィオライトに伴うという意味で Cyprus type と呼ぶとすれば Buchans の鉱床はまさに Kuroko type に相当するといえよう。ただしこの種の鉱床はニューファウンドランドでは めぼしいものは Buchans の鉱床しかなく かなり特異な鉱床である。

鉱床は1907年に発見された。1928年から本格的な開発が行なわれ 今日まで継続して高品位の銅・鉛・亜鉛を産出している。既掘 埋蔵合わせて鉱量は 1,700 万 t をこえる。その平均品位は 15.5% Zn 7.85% Pb 1.45% Cu である。

この地域の岩層は緑色片岩相に相当する弱い変成作用をうけているが 著しい変形はうけておらず ゆるい褶

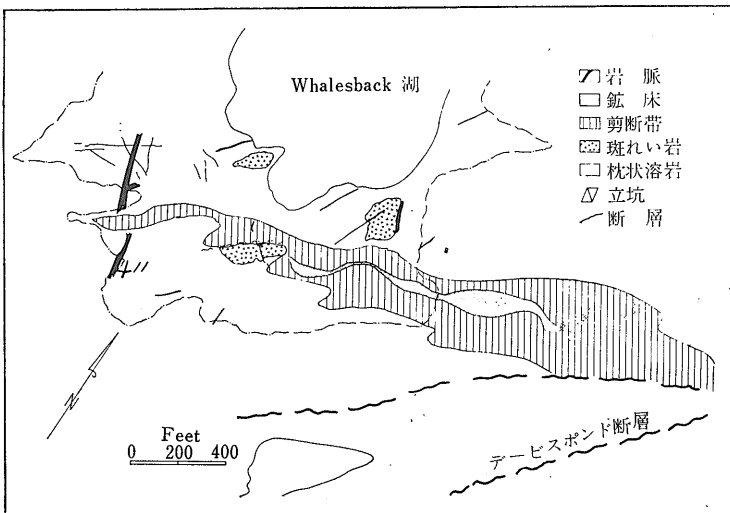
第1表 Buchans 鉱床の母岩の層序、鉱床は角礫岩帯中に存在する。

石英安山岩層序	上盤安山岩	西部では凝灰角礫岩と溶岩流 東部では凝灰岩にかわる
	上部アルコース	砂岩 凝灰岩 礫岩の互層
	石英安山岩	凝灰岩 若干の凝灰角礫岩
	流紋岩	流紋岩岩床
	輝緑岩	岩床 閃緑岩質の部分 安山岩質の部分もある。
	角礫岩帯	花崗岩礫をもつ礫岩。 若干の火山岩礫を含む
	火山角礫岩	石英安山岩中のいくつかの層準をしめ 種々の溶岩の岩塊を含む。
	石英安山岩	凝灰岩 若干の凝灰角礫岩
	砂岩・シルト岩	砂岩 シルト岩 凝灰岩
	主下盤帯	中性火山岩
	下部アルコース	アルコース砂岩 若干の礫岩
	下盤安山岩	安山岩～玄武岩質。 溶岩流および火山砕屑岩

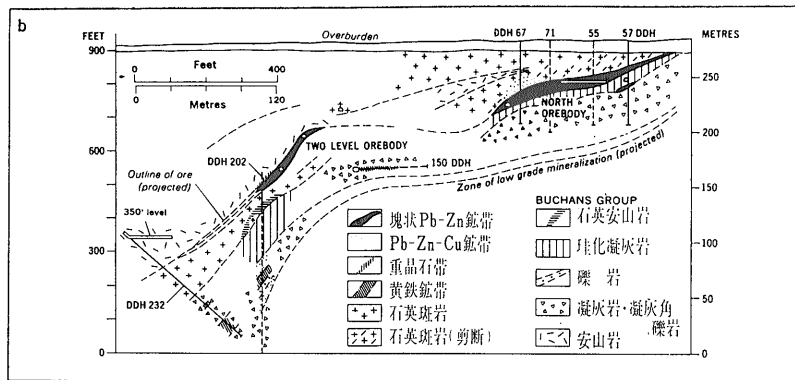
曲をくりかえしている程度である。したがって層序もはっきりしている。 Buchans 鉱床地域の層序は第1表の通りである (SWANSON and BROWN, 1962)。下盤と上盤に安山岩質噴出岩 火山砕屑岩を主とする岩層があり 両者の間に砂岩をはさんで 酸性噴出岩類を主とする Dacite Formation とよばれる岩層がある。鉱床はこの Dacite Formation 中に胚胎している(第7図)。

これらの岩層はデボン紀の花崗岩に貫れているが 花崗岩と鉱床とは直接の関係はないようにみえる。

数個のレンズ状ないし層状の鉱体があり これらはすべて一枚の凝灰角礫岩層の中に存在する。下盤側の岩層中にも弱い鉱化作用が認められるが 上位の岩層には鉱化作用は認められない。鉱体の主部は 硫化鉱物含有量の多い塊状鉱からなるが しばしば鉱物組成の差に



第6図 Whalesback 鉱床地質略図 (KANEHIRA and BACHINSKI, 1968) この地域はおもに玄武岩質枕状溶岩からなる。鉱床の開発のため トンネルを掘って Whalesback 湖の水を枯らしたが 図には以前の湖水の範囲(鎖線)も示されている。

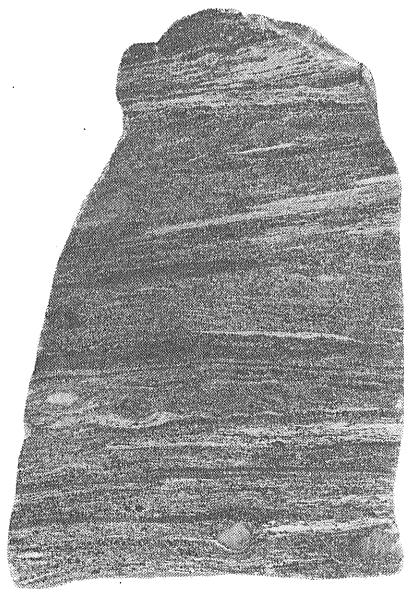


第7図 Buchans 鉱床の断面図 (P. W. GIBSON による DOUGLAS, 1970 p. 326)

よるきれいな層構造ないシラミナがみられる(第8図)。この構造は母岩の層理と調和している。

鉱石のおもな構成鉱物は 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 四面銅鉱 重晶石で 一般に細粒である。 そのほか 自然金 輝銀鉱 黄鉄鉱 石英も含まれている。 鉱石の外観 鉱物組成は黒鉱によく似ている。 鉱体の一部には 凝灰角礫岩の基質部のみが閃亜鉛鉱などによって交代され 角礫だけがそのまま残っているようなみかけの鉱石もある。

絹雲母化作用 緑泥石化作用などの母岩の変質が認められる。 鉱床の上盤側には赤鉄鉱—石英岩の薄層がみられることもある。

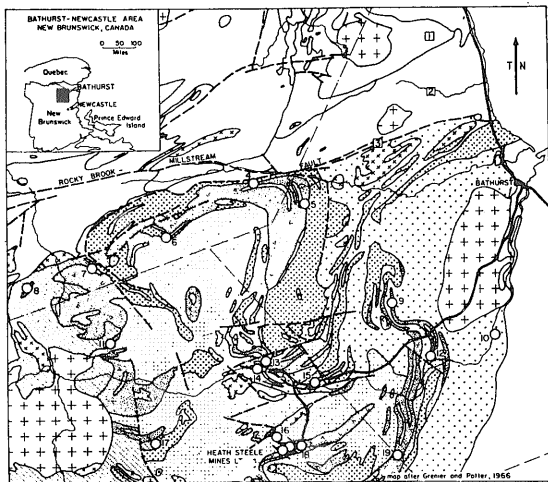


第8図 Buchans 鉱床の 鉱石 閃亜鉛鉱・方鉛鉱からなる部分(黒色)と黄銅鉱からなる部分(灰色)とが こまかい縞状構造を示す。 脈石は重晶石で黒鉱に類似する。

#### 4. Bathurst 地域の地質と鉱床

ニューブランズウィックの北部に位置するBathurstの南西部には オルドビス紀の褶曲した火山堆積岩類が広く分布する。 この岩層はその北側がシルル紀—デボン紀の褶曲した地層と断層によって壊し また東側は変形していない石炭紀の地層によって覆われている。 オルドビス紀の火山堆積岩類の分布地域には 数多くの塊状硫化物鉱床が存在する。

Bathurst 地域のオルドビス紀の火山堆積岩層は Tategouche Group とよばれており変成された碎屑岩 塩基



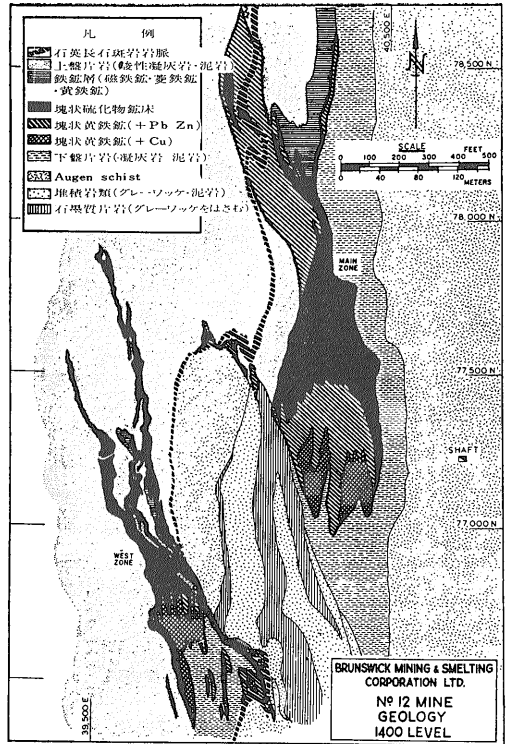
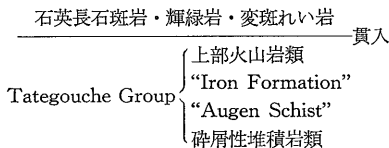
主要硫化物鉱床	
○ 赤鉄	10 Key Anacon Mines
■ 花崗岩類(デボン紀)	11 Elbow Mines Ltd
□ 輝緑岩・はんれい岩(デボン紀)	12 Brunswick No 6
○ オルドビス紀 (Tategouche 層群および相当層)	13 Canoe Landing Lake
□ 珪質安山岩	14 C.M.B.S. (Wedge)
□ 珪岩 (Augen schist)	15 C.M.B.S. (Wedge) A and B
□ 緑色岩類	16 C.M.B.S. (Stratvat 61)
□ 珪質堆積岩類	17 Middle River Mining Co.
□ 粘板岩	18 Heath Steele Mines Ltd
	19 Captain Mines Ltd
	9 Brunswick No 12

第9図 Bathurst 地域の地質と鉱床の分布 (LUSK and CROCKET, 1969) 図の東西の距離は約 75km

性噴出岩 火山碎屑岩 “Augen Schist”などに区分されて岩相分布図がえがかれている(第9図)。このうち “Augen Schist”とよばれているのは しばしば Porphyryともよばれている岩石で 実際には石英の斑晶を残している変成された酸性の火山碎屑岩である。塊状硫化物鉱床はこの “Augen Schist”によく伴っている。この地域の岩石は一般に緑色片岩相に相当する変成作用を受けている。またデボン紀の貫入と思われる大小の花崗岩質貫入岩体がこれらの岩層を貫いている。次にこの地域の代表的な2・3の鉱床を紹介しよう。

**Brunswick No. 12 および No. 6** : Brunswick No. 12 は Bathurst の南西約26km そのさらに南東9.6kmに No. 6 が位置する。両鉱床は接近して存在し しかも地質がよく似ているのでまとめて紹介する。

この地域のオルドビス紀の岩層の層序は次の通りである (McALLISTER and LAMARCHE, 1972)。



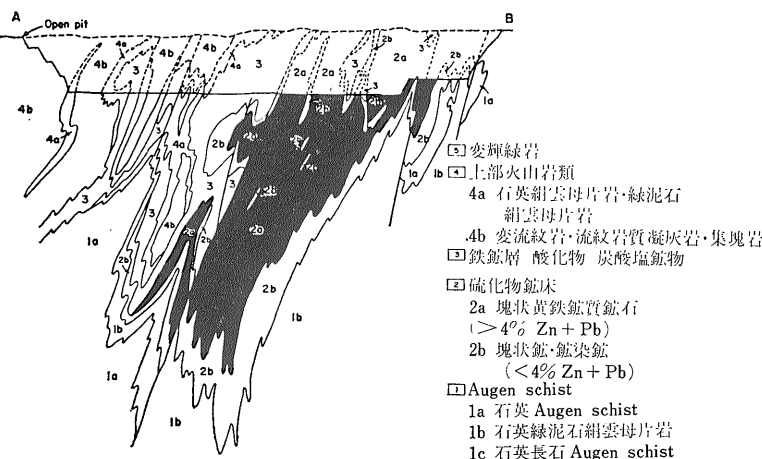
第10図 Brunswick No. 12 鉱体 1,400ft レベルの地質図 (McALLISTER and LAMARCHE, 1972)

Iron Formation とよばれているのは 磁鉄鉱あるいは赤鉄鉱を含む珪質片岩である。塊状硫化物鉱床は Augen Schist と Iron Formation との間に胚胎している。

No. 12 鉱床は “Main zone” と “West zone” の2つの鉱体からなる (第10図)。Main zone はレンズ状鉱体で N-S 走向で西に70°傾斜している。地表部においては走向延長約400m 幅30~60mである。塊状硫化物鉱体の2/3が Pb-Zn 鉱で1/3が黄鉄鉱を主とする

鉱石からなる。Main zone は少なくとも970mの深さまで試錐によって確認されている。West zone は西に急斜し575m レベルではほとんど垂直で 深部で Main zone と合体している。

No. 6 鉱床は非常に複雑に褶曲しているが 一かたまりの鉱体とみた場合 地表部では長さ約300m 幅最大120m 西に約55°で傾斜している。試錐によって深さ365m まで鉱体は確認されているが 深さとともに幅は次第に減少している (第11図)。



第11図 Brunswick No. 6 鉱体の断面図 (D. PERTOLD による McALLISTER and LAMARCHE 1972, p. 61)。露天掘の東西の長さ (A-B) は約 400m。

両鉱床の鉱石は一般に 塊状で80~90%細粒の硫化鉱物からなる。主要構成鉱物は 黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 四面銅鉱 斑銅鉱であり 主な脈石鉱物は 石英 緑泥石 絹雲母 炭酸塩鉱物である。平均すると 鉱石の Zn/Pb 比は2.5ぐらいであるが黄鉄鉱の多い つまり低品位鉱では Zn 含有量が相対的に高く この比が8ぐらいになることもある。Pb-Zn 鉱では母岩の構造に平行な banding がよくみられる。

No. 12 Main zone では 下盤側に Cu 含有量が多くなる傾向がある。 West zone や No. 6 鉱体では褶曲が著しいので “zoning”があるかどうかははっきりとはわからない。 とくに第11図にみるように No. 6 鉱床は閉じた褶曲をしていて 母岩とともにくりかえし折りたたまれている。 これをもとにもどして考えると少なくとも鉱体の延長は 1,500m 以上あったと思われる。

**Caribou 鉱床** : Bathurst の西約 50km のところに位置し 鉱床は火山岩類に伴っている。 付近の火山岩類は主に酸性のものであるが 塩基性火山岩も伴う。 岩層は複雑に褶曲しているが 変成作用は弱く せいぜい緑色片岩相に相当する変成しか受けていない。 この地域には大小約20の鉱床が知られている。

Caribou 鉱床は framboidal 黄鉄鉱を含む石墨質泥岩層と酸性凝灰岩層との間の漸移帯に胚胎している (Roscoe, 1971)。 岩層は軸の立った向斜をつくって 石墨質泥岩が外がわに 酸性凝灰岩が核の部分に露出している (第12図)。

鉱床は 3 つ以上の一見雁行配列をした板状鉱体からなる。 黄鉄鉱—閃亜鉛鉱—方鉛鉱—黄銅鉱の組み合わせの塊状鉱が主体であるが 下盤側には鉱染鉱を伴う。 また上盤側 (凝灰岩側) には方鉛鉱—閃亜鉛鉱帯があり黄銅鉱に富む帯は下盤側にある。 構成鉱物は非常に細粒で コロフォルム組織もしばしばみられる。

石墨質泥岩は火山活動の休止を意味し その堆積環境は海水の流れの停滞した還元環境であったと思われる。 硫化物鉱体と火山堆積岩層をまとめて “Ore zone unit” とよぶことができよう。 鉱体の端 とくに褶曲の東翼

では鉱体は不毛な黄鉄鉱帯に移化する。 一般に上盤側はシャープに母岩に移り変わるが 下盤側はややぼやけていて 鉱染鉱を伴う。

鉱石には鉱物組成の差による縞状構造がよくみられる。 また片理も発達している。 鉱石の一部は Kuroko 鉱床の fragmental ore にその構造が似ているといわれる (Roscoe, 1971)。

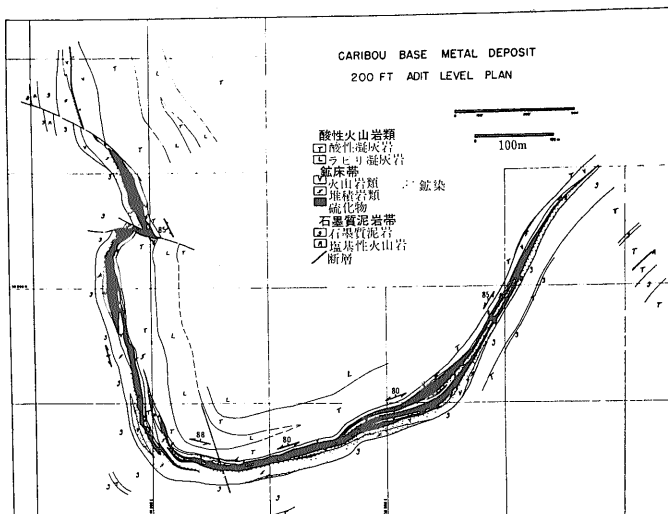
### 5. Eastern Townships の地質と 鉱床

ケベック州南部の Eastern Townships とよばれる地域にも いくつかの層状硫化物鉱床が知られている。 この地域では アパラチア造山帯を構成する岩層はすでに述べたように東西に帯状分布している。 すなわち西から東へ 石灰岩・ドロマイトを主とする地層 フリッシュ堆積物を主とする地層と続き 間に蛇紋岩帯をはさんでその東に北東—南西にのびていわゆる優地向斜性堆積物が分布している (McAllister and Lamarche, 1972)。 層状硫化物鉱床は この中の変成された噴出岩類に密接に伴って産する。

**Cupra 鉱床** : 1970年現在の埋蔵量が約65万 t (2.19% Cu 0.75% Pb 3.81% Zn) と見積られている小規模の鉱床である。 鉱床は先中部オルドビス紀の Acton 層あるいは Weedon 結晶片岩とよばれている変成された火山堆積岩層に胚胎する。 岩層は一般に走向 N30°E で SE に急斜している。 変成度は緑色片岩相に相当する。 この帯には他にもいくつかの同種の鉱床が知られており Sherbrooke-Weedon metallogenic belt とよばれている。

鉱床はしばしば薄い jasper を伴い またまれに磁鉄鉱質 Iron Formation を伴っている。 みかけ上下盤の岩石は塩基性火山岩で上盤は流紋岩質凝灰岩である。 鉱体は主として縞状構造をもつ塊状硫化物鉱石で構成されており 縞状構造は母岩の片理と平行である。 主要鉱石鉱物は黄銅鉱 閃亜鉛鉱 斑銅鉱 方鉛鉱 黄鉄鉱である。 鉱体は厚いところでは厚さ15m ぐらいに達するが 平均すると 1m ぐらいで厚くなっているところは褶曲で折りたたまれたものと思われる (McAllister and Lamarche, 1972)。

**Solbec 鉱床** : Cupra の近くにおいて 1960年代に開発・採掘された。 鉱



第12図 Caribou 鉱床 200ft レベル地質図 (Roscoe, 1971)



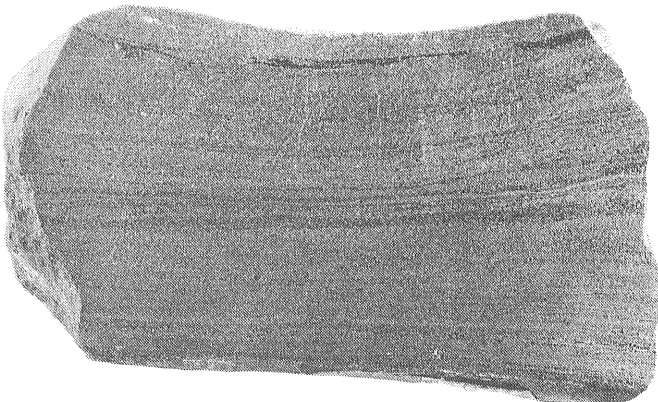
第2表 アパラチア山脈の4つのタイプの塊状硫化物鉱床の比較

	I	II	III	IV
代表的鉱床	Betts Cove-Tilt Cove	Cupra-Solbec	Brunswick No. 6-Caribou	Buchans
母岩	玄武岩 枕状溶岩 火山碎屑岩	珪質片岩 塩基性片岩 ヤスパー	珪質片岩 若干の塩基性片岩 鉄鉱層	石英安山岩 凝灰岩 凝灰岩
鉱体の形	レンズ ストックワーク	レンズ 層状	層状	層状
主要硫化物	黄鉄鉱 黄銅鉱 (閃亜鉛鉱)	黄鉄鉱 黄銅鉱 (方鉛鉱)	黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 (黄銅鉱)	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 四面銅鉱 (黄鉄鉱)
主要脈石	石英 緑泥石 白雲母	石英 緑泥石 白雲母	石英 緑泥石 白雲母	重晶石
鉱石の構造	縞状構造不明 縞	やや明瞭な縞状構造	明瞭な縞状構造	明瞭な縞状構造 (ラミナ?)

量約100万t (2% Cu 4% Zn) で 坑内と露天で採掘され 1964年には約37万tの鉱石が選鉱処理された。3~5mの厚さの層状鉱体で母岩である塩基性片岩および白雲母石英片岩に対して整合的に存在する。赤鉄鉱石英片岩も伴われている。おもな鉱石鉱物は黄鉄鉱 黄銅鉱 閃亜鉛鉱である。鉱石には母岩の片理に平行な縞状構造が非常によく発達している (第13図)。

この帯の南の延長 合衆国との国境近くには 昔開発された Eustis Moulton Hill その他の鉱床がある。

**Eustis 鉱床:** 4つのオーバーラップしたレンズ状鉱体からなる。鉱床帯は走向延長130m 厚さ最大13mであるが落し方向には2,500m (深さ1,600m) 続いている。落しは引きずり褶曲にみられる“しわ”(crumpling)と平行である。黄鉄鉱・黄銅鉱塊状鉱石で構成され 母岩は 片状絹雲母曹長石斑岩である。暗緑色で塊状の岩石もある(緑泥石化されたものと説明されている)。ランプロファイアー岩脈が鉱体を切っていて そのまわりの鉱石は 磁硫鉄鉱・黄銅鉱・キューバ鉱の組み合わせ



第13図 Solbec 鉱床の 鉱石  
黄鉄鉱 黄銅鉱と若干の閃亜鉛鉱からなる鉱石で脈石は 石英 白雲母 緑泥石。母岩の構造に調和した縞状構造がみられ 別子型鉱床の鉱石に似ている。

に変わっている (KINKEL, 1967)。

**Moulton Hill 鉱床:** Eustis の北約20kmにあり 地質は Eustis に似ている。緑泥石片岩と白雲母片岩との間に胚胎する。鉱体は 銅 鉛 亜鉛を含む黄鉄鉱質塊状鉱で構成されている。鉱床はその生成後に くりかえし変形を受け また鉱石は変成されて再結晶していると記載されている (KINKEL, 1967)。

### 6. 各地域の鉱床の特徴

以上北部アパラチア造山帯の4つの地域の塊状硫化物鉱床の概略を述べた。各地域の鉱床の特徴をまとめると第2表のようになる。Whalesback 鉱床は Betts Cove-Tilt Cove 鉱床の網状脈の部分に相当するとみることができる。表の配列の順序は 銅を主体とする鉱床から鉛・亜鉛を主体とするものへの順序であり それは大体のところ母岩の火山岩類がより塩基性のものからより酸性のものへの順序でもある。

これらの鉱床はすべて母岩とともに造山運動にまきこまれ それぞれいろいろな程度の変形を受け また変成されている。鉱床の成因を考える場合には 変形・変成を受ける前の状態に還元してみなければならない。変成作用の点からみれば これら4つの地域はすべて緑色片岩相に相当する変成作用を受けており 鉱石は大部分再結晶しているが 変成温度が低く おそらく鉱石の鉱物組み合わせはもとの組み合わせからあまり変わっていないと思われる。Betts Cove-Tilt Coveの鉱石にはきれいなコロフォーム組織がみられる(第5図)。これは原組織のレリックと思われる。また各鉱床の鉱石にみられる鉱物組成の差による縞状構造(第8図)はおそらく原構造(堆積構造?)であろう。鉱体の形は Betts Cove-Tilt Cove のものが 塊状ないし厚いレンズ状であり

Buchansの鉱体は層状である。両地域の岩石の変形がそれほど著しくないことからみて これらの形態はほぼ原形態をとどめているものと考えられる。Cupra-Solbec や Brunswick-Caribou の鉱床は著しく変形されており 全体としてみると多くの鉱体は層状であるが 薄い層状鉱体が褶曲によって折りたたまれ 一見レンズ状鉱体にみえる場合もあり また逆に厚いレンズ状鉱体が薄く引きのばされている場合もあると考えられる。

母岩の変成岩類を 原岩に直して 玄武岩質 安山岩質 流紋岩質 として区別し また溶岩と火山碎屑岩とを区別することは

それ程困難ではない。しかし 一般に変成して再結晶しており また化学分析の行なわれた例も多くはないので 火山岩の岩系まで区別して論ずることは今のところむづかしい。

一方 鉱床の成因を問題にする場合 どの火成活動と成因的に関係があるかが問題で 単に母岩としてたまたま鉱床と共存しているだけの岩体と区別する必要がある。その意味で mafic schists と felsic schists を母岩としている Cupra-Solbec の鉱床で どちらの火成活動が硫化物をもたらしたのか区別する必要があるが 差当ってこれをはっきり区別する資料がない。しかし mafic schists がより密接に鉱床に伴っているようなので おそらく成因的にも mafic magma が関連しているといふ考えられる。

以上のように鉱石の性質と成因的に鉱床と関係があると思われる岩石の性質をもとに 4つの地域の鉱床の特徴を 次のようにいうことができるであろう。

- I. Betts Cove-Tilt Cove deposits  
massive copper-pyrite deposits associated with ophiolites
- II. Cupra-Solbec deposits  
Stratiform copper-pyrite deposits associated with basie volcanics and pyroclastics
- III. Brunswick-Caribou deposits  
Stratiform lead-zinc-copper-pyrite deposits associated with felsic pyroclastics
- IV. Buchans deposits  
Stratiform lead-zinc-copper-barite deposits associated with felsic to intermediate volcanics and pyroclastics

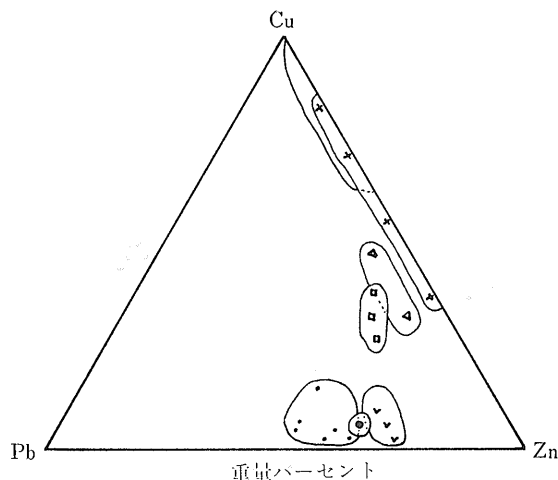
第14図には 各鉱床の鉱石の Cu-Zn-Pb 比が わが国の黒鉱やキースラーガーの鉱石と比較して示されている(立見・大島 1968)。Betts Cove-Tilt Cove, Cupra-Solbec の鉱石と Brunswick-Caribou, Buchans の鉱石との間にはきわだった差がみられる。

### 7. 北部アパラチア山脈の塊状硫化物鉱床の形成

1965年頃まで北米大陸における塊状硫化物鉱床研究者の議論の中心の1つは次の2つの成因説であった。

- (1) 鉱床は造山帯発展の比較的晩期に地下深所から断層などに沿って上昇してきた鉱液によって交代作用で形成された。
- (2) 鉱床は母岩である噴出岩・火山碎屑岩と同時期に同一火成活動によって形成された。そして後にまわりの岩石と一緒に変形され変成された。

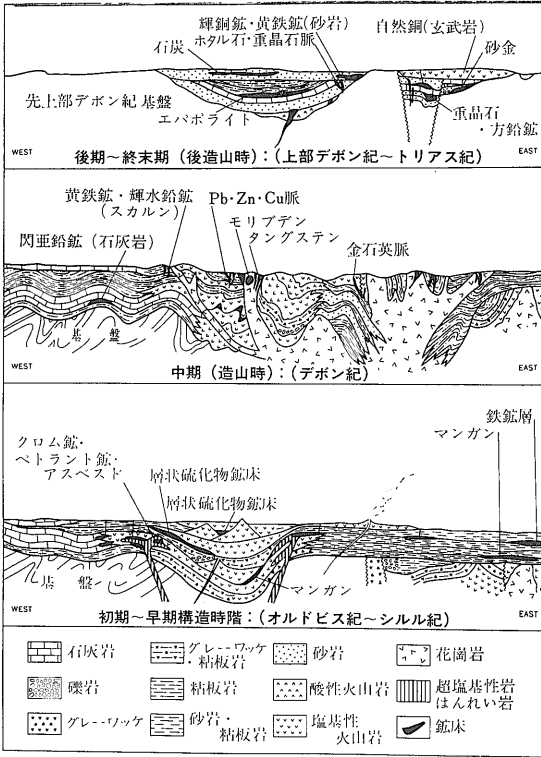
前者を後生説 後者を同生説といふことができよう。



第14図 各種の層状硫化物鉱床の鉱石の Cu-Zn-Pb 比。(立見・大島 1966 の図を若干改変)。  
 小黒点：黒鉱鉱床の黒鉱 大黒点：Buchans  
 ∇印：Brunswick No. 6 および Caribou  
 四角：黄鉱なども含んだ黒鉱鉱床全体  
 三角：Cupra-Solbec ×：別子型鉱床  
 ×印よりもCuよりの無印の領域はTilt Cove-Betts Cove (Cyprus-type) の鉱石についての推定組成範囲。 鉱石の分析値および採掘品位をもとに計算してある。 別子型鉱床は Pb は極めて少いが 図では見やすいように幅広く画かれている。

北米大陸の研究者には伝統的に(1)の立場をとる人が多かった。そして STANTON (1960) が主張した(2)のような立場は 当時はあまり歓迎されなかった。しかし1965年頃から鉱石の変成組織にも注意が払われるようになり (KALLIOKOSKI, 1965) 同生説の妥当性も論じられるようになってきた。ことにわが国の黒鉱鉱床の研究が紹介されるようになってから カナダ楯状地やアパラチア山脈の塊状硫化物鉱床は 黒鉱鉱床のような鉱床が変成されたものかもしれないと考える傾向が出てきた。もちろんこの成因説論争に決着がついたわけではなかったが 一方1970年頃からは 別の観点から鉱床の形成が問題になってきた。それはプレートテクトニクス説の登場である。これは否応なしに構造発達史と鉱床形成との関係を問題の中心にすえた。造山帯の発展という観点からみると(2)の主張ははるかに有利であることが理解されるようになってきた。最近ではかなり多くの研究者が 同生説の立場をとっているようにみえる(たとえば McCARTNEY, 1960; 第15図)。また プレートテクトニクス説では塊状硫化物鉱床の生成はどう解釈されるかという議論をする人も出てきた(たとえば STRONG, 1973)。次にこれまで述べた4つの地域の鉱床の形成の地質環境と北部アパラチア山脈の構造発達史との関連を若干考察してみることにしよう。

UPADHYAY と STRONG (1973) は Betts Cove-Tilt



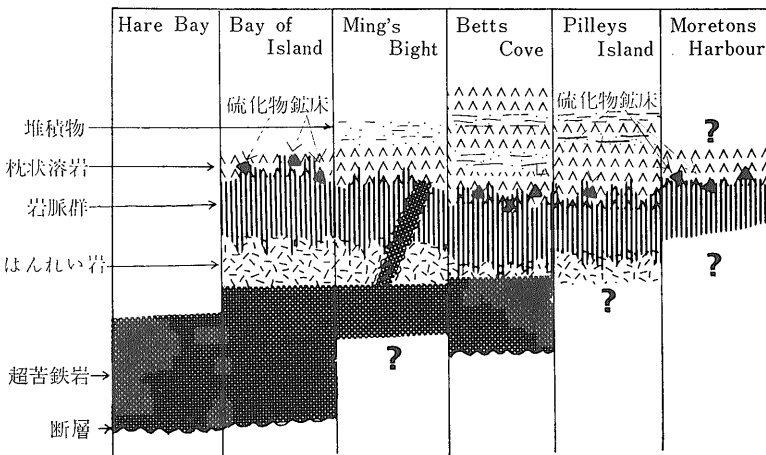
第15図 アパラチア造山帯における鉱床の生成を示す模式図 (W. D. McCARTNEY による DOUGLAS, 1970)

Cove 地域のオフィオライトが海洋底地殻の岩石組み合わせに類似することから この地域の鉱床は海洋底地殻の形成の時に海嶺において形成されたものであると考えた。そして現在アパラチア山脈中に見出されるのは 拡がる海洋底地殻とともに運ばれてきて アパラチア造山帯のところではぎとられ オフィオライトと一緒に造山帯の

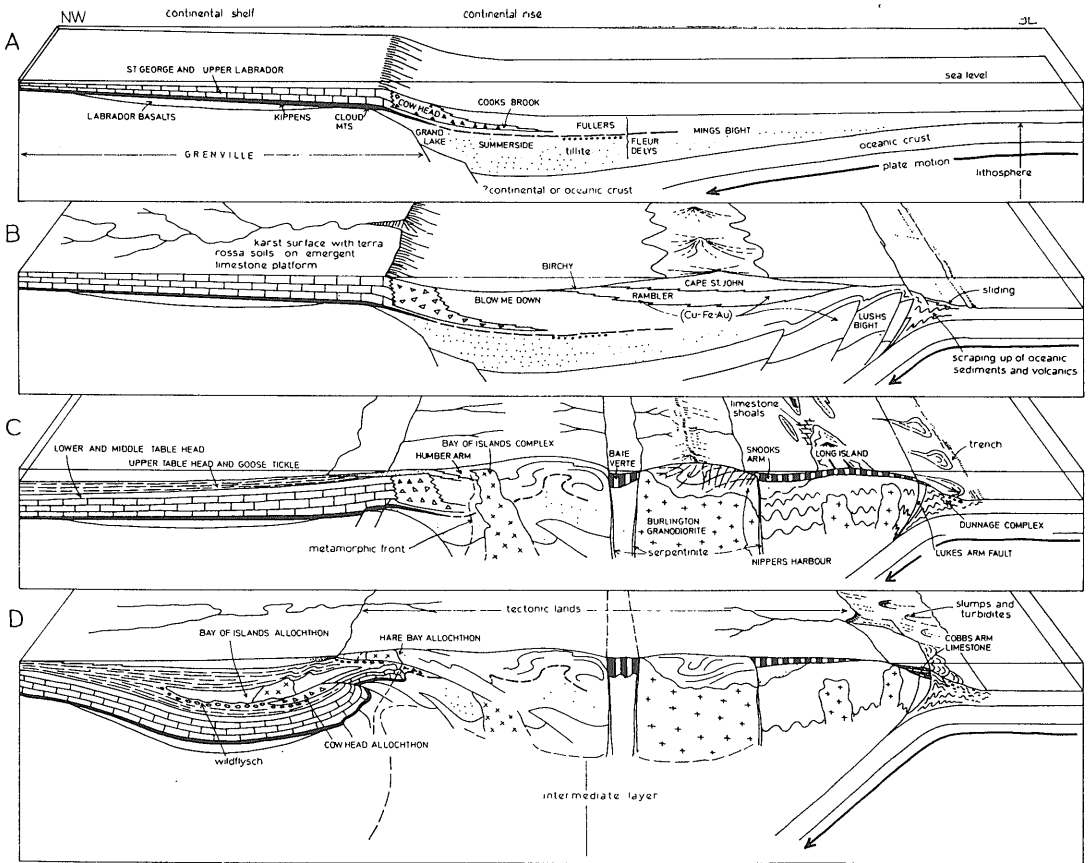
中に組みこまれたためであると考えた。ニューファウンドランドには他にも類似の鉱床がある(第16図)。

BIRD と DEWEY (1970) は Whalesback 鉱床の胚胎する Lush's Bight Group は古い(先カンブリア代?) 海洋底地殻のせり上ったものであると考えた(第17図)。Betts Cove-Tilt Cove 地域や Whalesback 地域の鉱床に産状のよく似たものとして キプロス島の塊状硫化物鉱床がある (SEARLE, 1972; CONSTANTINOU and GOVETT, 1973)。キプロス島のオフィオライトは一般に海洋底地殻(おそらく海嶺で生産された)のせり上ったものと考えられているが(GASS, 1967) 未発達な島弧における火成活動の産物の可能性があるとの主張もある (MIYASHIRO, 1973)。この問題は今後岩石学的にも構造発達史の上からも検討されねばならない問題であるが 典型的なオフィオライトに伴う鉱床を Cyprus type の鉱床とよぶことにすれば Betts Cove-Tilt Cove の鉱床はまさに Cyprus type の鉱床である。

Cupra-Salbec の鉱床は現在まであまり詳細には研究されていない。しかし鉱床はいわゆる優地向斜中の火山岩・火山碎屑岩に伴っているようにみえる。そして少くとも火山岩類の一部は塩基性であり それらは陸源性堆積岩と互層している。この帯のすぐ西にはアルプス型蛇紋岩の分布する地域があり 大きくみるとこの地域は 優地向斜中の塩基性火山岩-蛇紋岩の組み合わせの岩石類の分布地域ともみられる。そして塊状硫化物鉱床はこの中の塩基性火山岩類に少なくとも位置的には関係しており おそらく成因的にも関係があるものと思われる。以上のような地質環境を考えると もちろん多くの相異点はあるが この地域の鉱床は 三波川帯のキースラーガーと類似している点が少なくない。仮にこの地域の鉱床はアパラチア山脈中に胚胎する Besshi



第16図 ニューファウンドランドのオフィオライトの模式断面と対比 (UPADHYAY and STRONG, 1973)



第17図 ニューファウンドランドの構造発達史を示す模式図 (Bird and Dewey, 1970).  
 A. オルドビス紀造山以前 B. 島弧—海溝の始まり C. 早期オルドビス紀造山 D. 後期オルドビス紀造山  
 Bに Cape St. John の島弧の火山活動と 海洋底地殻のせり上り (それが Lush's Bight Group のオフィオライトと考えられる) が示されている。

type の鉱床 (KANEHIRA and TATSUMI, 1970) であるということができよう。

Buchans 地域の鉱床と母岩の性質は黒鉱鉱床のそれに類似する点が多い。母岩の時代はオルドビス紀といわれているがあまりはつきりしない。火山岩類はカルク・アルカリ岩系のもので 砂岩・礫岩をはさんでおり地質環境は Notre Dame Bay 地域のそれとはまったく異なる。BIRD と DEWEY (1970) は Betts Cove-Tilt Cove 地域の西に分布する酸性火山岩類 (Cape St. John Group) 噴出の地質環境として アパラチア造山帯の発達途上において一部海上に頭を出した火山島の列を想定している (第17図)。Buchans の火山岩類は海底噴出のものであるが おそらく Cape St. John Group の活動と類似の地質環境が考えられる。火山島の下には大陸地殻の存在も考えられる。その意味からも Buchans の鉱床は Kuroko-type の鉱床 (MATSUKUMA and HIRAKOSHI, 1970) であるということができよう。

Brunswick-Caribou の鉱床の鉱石は黄鉄鉱質でありその意味ではキースラーガーに似ている。しかし卑金属元素の量比からみると Kuroko-type の鉱床の黒鉱に類似している (第14図)。成因的に関連があると思われる火成岩は酸性噴出岩類である。共存する噴出岩によって塊状硫化物鉱床を Cyprus type Besshi type Kuroko type に大別するとすれば Brunswick-Caribou の鉱床は Kuroko type といえるであろう。ここでも大陸地殻の上に形成された火山島の列が想定される。

(筆者らは千葉大学・鉱床部)

引用文献

BIRD, J. M. and DEWEY, J. F. (1970): Lithosphere plate-continental margin tectonics and the evolution of the Appalachian orogen. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **81**, 1031-1060.  
 CONSTANTINO, G. and GOVETT, G. J. S. (1973): Geology, geochemistry and genesis of Cyprus sulfide deposits. *Econ. Geol.*, **68**, 843-858.

- DAVIES, J. L. (1966): Geology of the Bathurst-Newcastle area, New Brunswick. Guidebook: Geology of parts of Atlantic Provinces, 33-43, Geol. Assoc. Can.-Mineral. Assoc. Can.
- DOUGLAS, R. J. W. ed. (1970): Geology and economic minerals of Canada. Geol. Surv. Canada, p. 838.
- FISHER, J. W., PETTJOHN, F. J., REED, J. C. and WEAVER, K. N. eds (1970): Studies of Appalachian geology: central and southern. Interscience Publishers, pp. 460.
- GEORGE, P. W. (1937): Geology of lead-zinc-copper deposits at Buchans, Newfoundland. Amer. Inst. Min. Met. Engrs., Tech. Publ., No. 816, in Mining Technology, 1, No. 3, 1-23.
- GASS, I. G. (1967): The ultrabasic volcanic assemblage of the Troodos massif, Cyprus. in Ultramafic and related rocks. P. J. Wyllie ed. (John Wiley), 121-134.
- KANEHIRA, K. and BASHINSKI, D. (1967): Framboidal pyrite and concentric textures in ores of the Tilt Cove mine, northeastern Newfoundland. Can. Mineral., 9, 124-128.
- KANEHIRA, K. and BACHINSKI, D. (1968): Mineralogy and textural relationships of ores from the Whalesback mine, northeastern Newfoundland. Can. Jour. Earth Sci., 5, 1387-1395.
- KANEHIRA, K. and TATSUMI, T. (1970): Bedded cupriferous iron sulphide deposits in Japan, a review. in Volcanism and ore genesis, T. Tatsumi ed. Univ. Tokyo Press, 51-76.
- KALLIOKOSKI, J. (1965): Metamorphic features in North American sulfide deposits. Econ. Geol., 60, 485-505.
- KINKEL, A. R., JR. (1967): The Ore Knob copper deposit, North Carolina, and other massive sulfide deposits of the Appalachians. U. S. G. S. Prof. Pap. 558, pp. 58.
- LUSK, J. and CROCKET, J. H. (1969): Sulfur isotope fractionation in coexisting sulfides from the Heath Steele B-1 orebody, New Brunswick, Canada. Econ. Geol., 64, 147-155.
- MCALLISTER, A. L. and LAMARCHE, R. Y. (1972): Mineral deposits of southern Quebec and New Brunswick. 24th Intern. Geol. Congr. Exc. A58-C58, Guidebook, pp. 95.
- McCARTNEY, W. D. (1970): Figure VII-2, p. 312, in Geology and economic minerals in Canada, R. J. W. Douglas ed. Geol. Surv. Canada, Econ. Geol. Rept. No. 1.
- MATSUKUMA, H. and HORIKOSHI, E. (1970): Kuroko deposits in Japan, a review. in Volcanism and ore genesis, T. Tatsumi ed. Univ. Tokyo Press, 153-179.
- MIYASHIRO, A. (1973): The Troodos ophiolite complex was probably formed in an island arc. Earth Planet. Sci. Letters, 19, 218-224.
- ROSCOE, W. F. (1971): Geology of the Caribou deposit, Bathurst, New Brunswick. Can. Jour. Earth Sci., 8, 1125-1136.
- SEARLE, D. L. (1972): Mode of occurrence of the cupriferous pyrite deposits of Cyprus. Inst. Min. Met. Trans. 81, B189-B197.
- STANTON, R. L. (1960): General features of the conformable "pyritic orebodies" Part 1. Field association, Part 2. Mineralogy. Can. Min. Met. Bull., 53, 24-29, 66-74.
- STRONG, D. F. (1973): Plate tectonic setting of Appalachian-Caledonian mineral deposits as indicated by Newfoundland examples. Soc. Min. Eng., AIME, Preprint No. 73-J-320, p. 31.
- SWANSON, E. A. and BROWN, R. L. (1962): Geology of the Buchans orebodies. Can. Min. Met. Bull., 55, 618-626.
- 立見辰雄・大島敬義 (1966): 小坂および花岡鉱山黒鉱鉄床産鉱石の鉱物組成. 日鉱誌 82 (944) 1008-1014.
- UPADHYAY, H. D. and STRONG, D. F. (1973): Geological setting of the Betts Cove copper deposits, Newfoundland: an example of ophiolite sulfide mineralization. Econ. Geol., 68, 161-167.
- WILLIAMS, H. (1963): Relationship between base metal mineralization and volcanic rocks in northeastern Newfoundland. Can. Mining Jour., 84, 39-42.
- ZEN, E.-AN, WHITE, W. S., HADLEY, J. B. and THOMPSON, J. B., Jr., eds. (1968): Studies of Appalachian geology: northern and maritime. Interscience Publ. pp. 475.

(9頁からつづく)

formation (含炭層) Malasse (モラッセ) Radiolarite-jaspar formation (ラジオラリアチャート層) Ophiolite formation (オフィオライト層) など。

この他 先カンブリア紀の区分追加 構造のもとと明確な表現規定 海底構造の表現などについて意見を述べた後 "以上指摘した点 とくに Cover と Fold Belt の定義と区分が明確にされるならば 凡例は満足できるものとなる" と結んでいる。

おわりに

この第一段階の 500 万分の 1 アジア極東地質構造図編集要領に関し 終始 一番問題になったのは 'Basement' 'Fold Belts' および 'Cover' の定義とその区分の基準で

あった。今回の会議の最終段階でも この問題はすっきりと解決されないまま編集作業が進められることになり この区分は各国の編集者または准調整者の判断にまっことなる。さらに 調整者による全域の編集のさいに このような用語を使用するかどうか検討されることとなる。

鉱床生成やプレート・テクトニクスなどに関する探究のために資料を提供するのがこの地質構造図作成の目的の一つであるので 火成岩の Tectonic Stage の所属区分活動帯なども重要視され 懸案となっている海域の地球物理的データや構造の表現も問題となる。とにかく 多くの問題を抱え 多岐にわたるアジア極東地質構造図が 一日も早く完成される日を待つものである。

(筆者は 地質部)