

世界の層状硫化物鉱床 (その4)

始生代の塊状硫化物鉱床と火山岩の特徴

佐藤壮郎・兼平慶一郎

このシリーズの2回目にカナダ楯状地の塊状硫化物鉱床について紹介した。黒鉱鉱床とカナダ楯状地の塊状硫化物鉱床とは生成年代に実に30億年近い隔りがあるにもかかわらず多くの共通点をもっていることについては、読者もすでにお気づきのことと思う。ここで話の順序が少し乱れるが、筆者の1人佐藤がカナダに出張中で、新しい資料に接することもできたので、もう一度始生代の鉱床に目を移して、始生代の火山活動の特徴を紹介し、また始生代の鉱床と黒鉱鉱床との比較などをしてみよう。

Creekの鉱石は方鉛鉱をかなり多量に含むことがある(MATULICH 他 1974)。脈石鉱物としては緑泥石・絹雲母・石英(あるいはそれらの変成産物であるコーディエライトやザクロ石など)および少量の炭酸塩鉱物が普遍的であり、黒鉱鉱床中に多量に産する重晶石や石膏は産出が報告されていない。鉱石中の金・銀の含有量は普通それぞれ3~60g/ton 30~90g/tonとされており(SANGSTER, 1972) 黒鉱と比べると金がやや高い。金・銀鉱物は自然金・エレクトラムの他に、テルル化合物が多く、多くの鉱山から報告されている。その他、黒鉱鉱床と比較した鉱石構成鉱物の違いとして、黒鉱鉱床に普遍的な四面銅鉱が極く少量しか産しないこと、黒鉱鉱床からは産出報告のないスズ鉱物(スズ石: Kidd Creek・Zenmac 黄スズ鉱: Lake Dufault)や硫砒鉄鉱(Chisel Lake Kidd Creek など)がいくつかの鉱床に産することがあげられる。"タフアイト"中の鉄鉱物は黄鉄鉱・磁硫鉄鉱・磁鉄鉱であり、鉄石英中の赤鉄鉱に比べて低い酸素分圧を示す組合わせである。

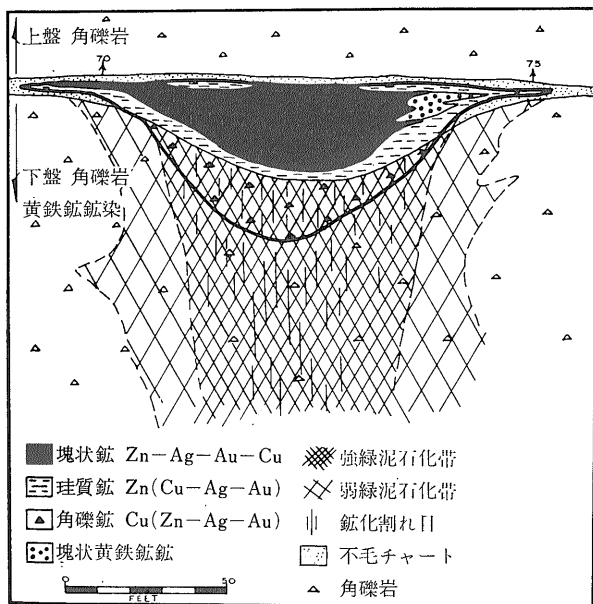
第2図に塊状硫化物鉱床中のCu: Zn: Pb比を示した。ほとんどの鉱床はCu-Zn線上に落ち、黒鉱鉱床との鉛含有量の差は明白である。

I 黒鉱鉱床との比較

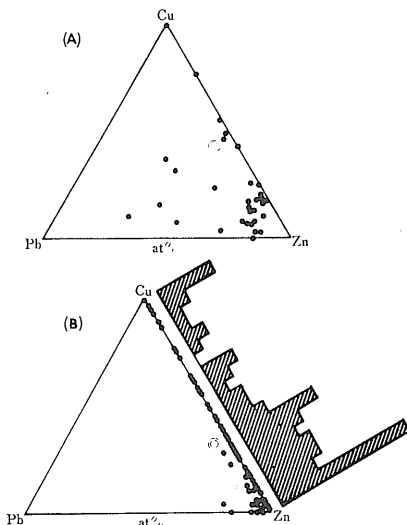
I-1 鉱石の産状と組成

第1図にカナダ楯状地の塊状硫化物鉱床の模式断面図を示してある。下位から網状鉱→塊状鉱→"タフアイト"(あるいはチャート)と変化すると共に、鉱床の上部に亜鉛・金・銀が濃集することは、黒鉱鉱床における珪鉱→黄鉄→黒鉄→鉄石英という帯状分布に対応している。

塊状硫化物鉱床中の重金属鉱物は、黄鉄鉱・磁硫鉄鉱・磁鉄鉱・閃亜鉛鉱の5種類で、量的にほとんど100%近くを占める。方鉛鉱は一般に稀であるが、例えば Kidd



第1図 Noranda の Delbridge 鉱床の模式断面図 (BOLDY, 1968). 鉱床の形態と鉱物の帯状分布は黒鉱鉱床によく似ている。



第2図 カナダの古生代以降の火山性層状鉱床(A)とプレカンブリア紀の塊状硫化物鉱床(B)の Cu-Pb-Zn 比の比較(原子比) (SANGSTER, 1972)。比較のために小坂鉱山内の層状鉱床中の Cu-Pb-Zn 比(立見・大島, 1966)を白丸(黒鉄のみ平均)と二重丸(黒鉄・黄鉄・珪鉄を含めた全体の平均)で示してある。塊状硫化物鉱床が鉛に乏しいことが明瞭に読み取れる。

第1表 始生代の塊状硫化物鉱床と黒鉱鉱床の主に下盤側の変質火山岩の化学組成の比較

	Millenbach 鉱床		Coronation-Flin Flon 鉱床			小坂 鉱 山		釈迦内鉱山の珪化岩
	新鮮な流紋岩	変質した流紋岩	下盤の基性溶岩	コーディエライト・アンソナイト・フィライト岩	緑 泥 石 質 質 変 質 質 岩	比較的新鮮な円頂丘流紋岩の平均	内の岱東鉱床の円頂丘流紋岩	
SiO ₂	62.3	53.4	55.9	53.1	65.8	71.66	83.71	93.94
TiO ₂	1.04	1.16	0.35	0.31	0.2	0.38	0.26	0.09
Al ₂ O ₃	13.5	12.7	15.8	14.9	9.0	15.58	10.77	3.52
Fe ₂ O ₃	3.1	5.7	3.9	3.4	0.1	0.61	0.32	0.23
FeO	5.59	10.6	6.00	15.48	8.1	0.32	—	0.07
MnO	0.16	0.13	0.18	0.14	0.1	0.01	—	0.01
MgO	3.1	7.7	5.1	7.3	12.7	0.34	0.60	0.25
CaO	2.5	0.65	5.3	0.35	0.0	0.92	0.03	0.07
Na ₂ O	3.3	1.3	3.1	0.44	<0.1	4.62	0.17	0.30
K ₂ O	2.4	1.2	0.28	0.40	<0.1	2.03	2.95	0.19
H ₂ O	0.04	0.09	3.8	4.6	5.0	1.15	—	0.80
P ₂ O ₅	0.20	0.16	0.04	0.06	0.2	0.07	0.14	0.02
CO ₂	1.56	0.62	0.36	0.11	<0.1	—	—	—
	SIMMONS (1973)		WHITMORE (1969)			TATSUMI and CLARK (1972)		KAJIWARA (1968)

⑥ 塊状硫化物鉱床では Mg と Fe の増加と Ca とアルカリの減少で特徴づけられ 黒鉱鉱床では Si 以外の全ての元素が減少する傾向にある。

I-2 鉱石の組織

塊状硫化物鉱床は 一般に緑色片岩相程度の変成作用を受けており 中には Geco 鉱床のように 周囲の岩石の変成相は角閃岩相まで達している場合もある。このような鉱床の鉱石中では初成的な組織構造は 全て破壊されてしまっていると予想されるが コロフォーム組織や堆積構造などがいくつかの鉱床で観察されている。

I-3 変質

塊状硫化物鉱床に伴う変質は一般に緑泥石化が最も著しいが 時に絹雲母化・珪化もみられる。化学組成上は緑泥石化に伴って Fe・Mg の増加と Si・Ca・K・Na の減少がみられる(第1表)。一方黒鉱鉱床直下では珪化が最も顕著で Si以外のすべての元素がとりさられている。

I-4 鉱床の形態と規模

黒鉱鉱床と塊状硫化物鉱床は 鉱染～網状鉱体を除くと 鉱床の断面はレンズ状であり 厚さの数倍程度の拡がりを持っている。この点はキースラーガーが厚さに比べて水平的な拡がりがあるかに大きいことと対照的である。塊状硫化物鉱床では 二次的な変形作用のため 鉱床学的単位としての鉱体の規模がどの程度であるのか 必ずしも明らかではないが 多くの場合鉱量にして数10万～数100万トンの規模で 一つの単位鉱体を形成しているらしい。Kidd Creek や Horne 鉱床の

“Upper H”・“Lower H” 鉱体の2,000～3,000万トンクラスが単位鉱体として最大の規模であろう。黒鉱鉱床の単位鉱体と比べてほぼ同程度であるといえる。

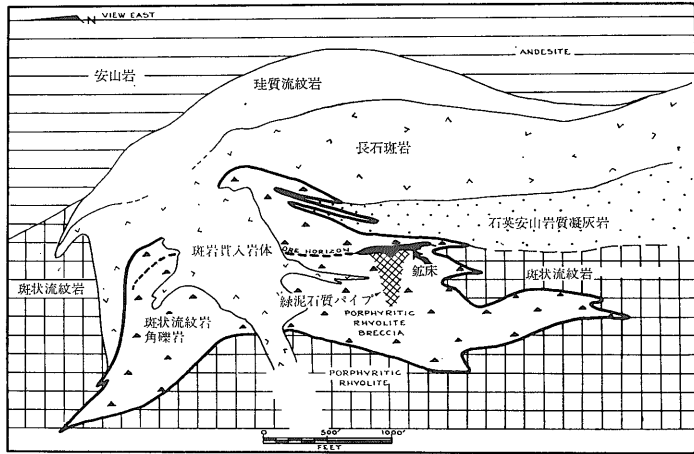
I-5 鉱床を伴う火山活動

鉱床に関連する火山岩の性質については 次章に詳しく述べるが 一般に次のような特徴が指摘できる。

- ① カルクアルカリ岩系に属する流紋岩に伴われている。
- ② 鉱床付近では角礫化作用が著しい。
- ③ 鉱床は酸性岩を主とする厚い火山累層の翼部に胚胎されている。
- ④ 鉱床は塩基性から酸性へ移り変る一連のマグマサイクルの末期に形成されている。

これらのことはいずれも黒鉱鉱床においても認められていることであり 鉱床形成の場が似たようなものであったことを物語っている。

Noranda 地域の Lake Dufault 石英閃緑岩体や Mata-gami 地域の Bell River 貫入複合岩体(これらはいずれも周辺の火山岩と 同源の貫入岩体であるとされている GOODWIN and RIDLER, 1970)。周辺の塊状硫化物鉱床の濃集の程度や拡がり は 黒鉱鉱床の場合でいえば例えば北鹿地方全体に匹敵する。鉱床に直接伴われる噴火活動の規模は 黒鉱鉱床の溶岩円頂丘の活動に相当するものであるらしい。BOLDY (1968) は Noranda 地区の Delbridge 鉱床において 鉱床は約 1km²の拡がり



第3図 Noranda の Delbridge 鉱床の復元図 (BOLDY, 1968).

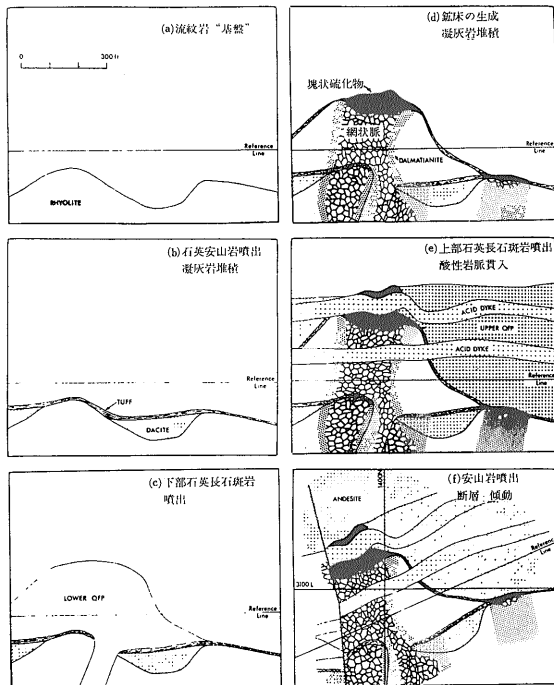
もつ流紋岩角礫岩の噴出に引き続いて行なわれたことを明らかにし(第3図) 角礫の大きさの変化から噴出中心は 現在 porphyry intrusive によって占められている付近であると推定した。また SIMMONS 他(1973) はやはり Noranda 地区の Millenbach 鉱床に対して 第4図のような生成過程を考えた。いずれも HORIKOSHI (1969) が明らかにした黒鉱鉱床と火山活動の関係(第5図)に 規模・様式共に極似しているといえる。

以上のように 黒鉱鉱床とカナダ楯状地の塊状硫化物鉱床とは 驚く程類似点が多い。両者の間の鉱物組合

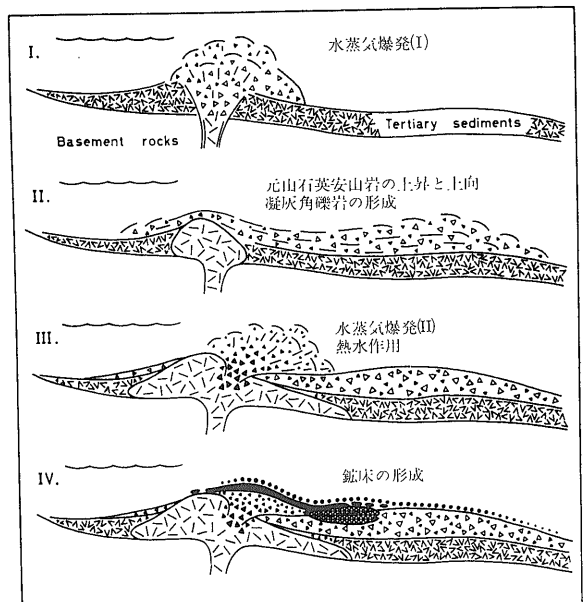
せの違い 例えば塊状硫化物鉱床に磁硫鉄鉱や磁鉄鉱が多いことや 硫酸塩鉱物を産しないことは 始生代の大気や海水が還元的な環境にあったためと説明できるだろう。(例えば約30億年前の大気の酸素分圧は 現在の約1/1000であったという推定もある(RUTTEN, 1971). また鉛が少ないことは 地殻・マントルの鉛の進化の問題と関連しているといわれているが 始生代の火山岩は 古生代以降のものとは比べて必ずしも 鉛にとぼしくない(第2表参照)。一方 SANGSTER (1973) は始生代には鉛に富む深海堆積物の影響がなかったためと説明している。

II 火山岩の性質

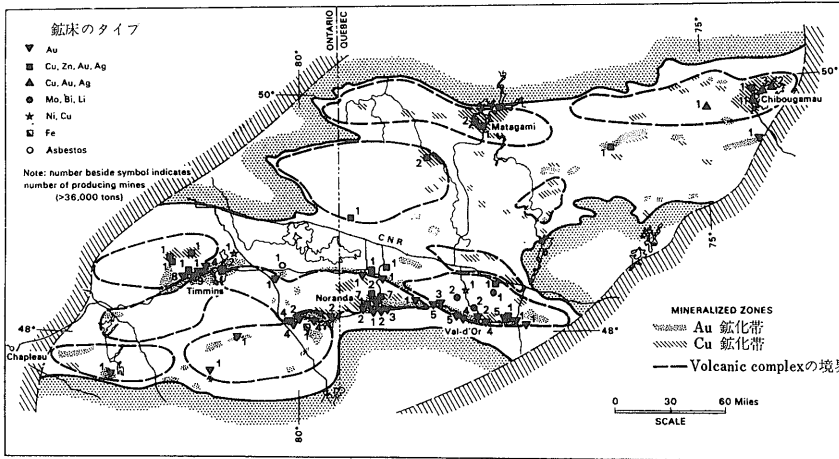
カナダ楯状地の始生代の火山岩累層は 復元が正しいとすると 6,000~12,000m の厚さがあり (BARAGAR and GOODWIN, 1969) Superior 区ではその58.3%が玄武岩 30.7% が安山岩 11.0% が石英安山岩と流紋岩である (GOODWIN, 1972)。一般には火山岩累層の上部程酸性岩の比率が増しているが 2回あるいはそれ以上の基性→酸性のサイクルが 認められることもある (BARAGAR and GOODWIN, 1969; HUTCHINSON 他 1971; GOODWIN,



第4図 Noranda の Millenbach 鉱床の生成模式図 (SIMMONS 他1973).



第5図 黒鉱鉱床(小坂)の生成模式図 (HORIKOSHI, 1969)。始生代の塊状硫化物鉱床(第3図 第4図)と生成機構の点でも極似している。

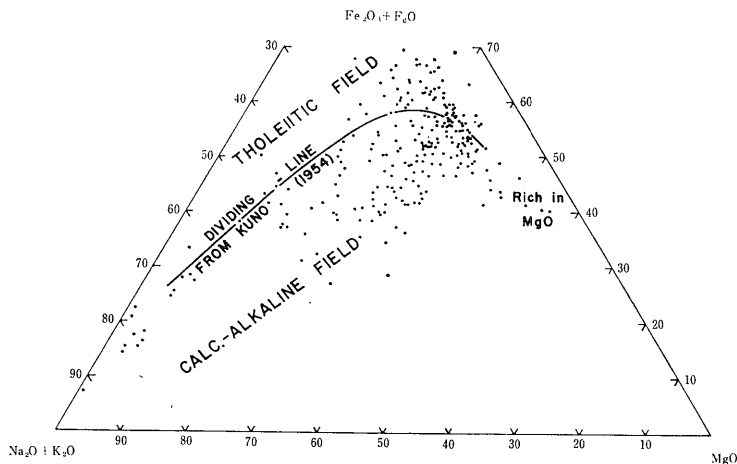


第6図
Abitibi 地域における volcanic complex と鉱床の分布 (GOODWIN and RIDDER, 1970). 酸性火山岩は細い縦線で 堆積物は粗い斜線で示してある。彼らは白抜き部分をオロゲンと称し 両側をクラトン(粗い網目)に挟まれた海盆状の造山帯であったとしている(第11図参照)。海の深さは鉄鉱層の相変化からオロゲンの中心に向かって深くなっていたと推定されている。Volcanic complexの楕円形の形は後の変形によるものであり 本来は円形であったとしている。

1972). これらの火山岩はいくつかの中心を持って分布しており GOODWIN and RIDLER (1970) は Abitibi 地域において 11個の独立した分布範囲を認めて volcanic complex と呼んだ(第6図)。これらの volcanic complex は それぞれ1回の基性→酸性サイクルから出来ているという。

火山岩の化学組成を第2表に示した。カナダ楯状地の始生代火山岩のほとんど全ては ソレライトないしカルクアルカリ岩系に属し アルカリ岩系に属するものは金鉱床の濃集している Kirkland Lake 地域にわずかに産出するにすぎない。DESCARREAU (1973) は Abitibi 地方の火山岩の分化のトレンドは AMF ダイアグラム上で38%がソレライトの領域にあり 残りの62%はカルクアルカリ岩の領域に入ることを示した(第7図)。

第2表で Timmins-Noranda の地域は塊状硫化物鉱床や 金鉱床が濃集している地域であり Lake of the Woods-Wabigoon 地域では大きな鉱床が見出されていないが 両地域の火山岩の化学組成の差はほとんどない。



第7図 Abitibi 地域の火山岩(溶岩)の AFM ダイアグラム (DESCARREAU, 1973). この地域の火山岩の38%がソレライトの領域にあり 62%がカルクアルカリ岩の領域にある。

始生代のマグマ活動の構造的な場の問題に関しては次章で述べるが 玄武岩中の Ba, Sr, Pb などの微量成分は現在の島弧におけるソレライトやカルクアルカリ岩系の特徴を持っているように見える。しかし Ni や Cr の含有量は本シリーズその1で紹介した JAKES and GILL (1970)の海洋玄武岩の特徴を示している。塊状硫化物鉱床には 鉛がほとんど伴われなかったのに 火山岩中には 現在の島弧における火山岩と同程度の鉛を含んでいることにも注目しておこう。

WILSON ら (1965) は カナダ楯状地の10地域の玄武岩類について Niggli 値 Peacockのアルカリ-ライムインデックス Rittman のシグマ値 (Suite Index) を計算していずれの地域においても島弧や大陸縁の造山帯の玄武岩に類似していると結論した。RITTMAN (1962)はインドネシアにおいて 大洋側から大陸側にかけてシグマ値が1から10まで徐々に増大することを示したが 上述のカナダ楯状地の値をインドネシアの例にあてはめるといずれも最も大洋側の火山前線付近の値に相当する。

DESCARREAU (1973) も Abitibi 地域において同様な結論に達した(第8図)。

このようにカナダ楯状地に広大な分布を示す火山岩の化学組成が いずれも現在あるいは 比較的若い時代の造山帯の最も大洋側の特徴を持っていることは非常に興味深い。このようなマグマの発生のはどのように考えられているのかを次章で見てみよう。

III 始生代の造山帯のモデルとメタロジェニー GOODWIN (1968, 1971)

第2表 始生代の火山岩と現在の島弧

		個数	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	CO ₂	H ₂ O
玄武岩	Timmins-Noranda	82	49.9	14.8	2.36	8.20	9.75	6.36	2.07	0.25	1.09	0.11	0.19	0.85	3.52
	Lake of the Woods-Wabigoon	134	50.0	14.7	2.70	8.96	8.93	6.11	2.21	0.39	0.97	0.25	0.21	1.81	2.01
	カナダ楯状地4地域の平均	322	49.7	14.9	2.57	8.77	9.39	6.31	2.11	0.32	1.00	0.18	0.19	0.97	2.76
	深海ソレライトの平均		49.34	17.04	1.99	6.82	11.72	7.19	2.73	0.16	1.49	0.16	0.17	—	1.27
	島弧ソレライトの平均		51.57	15.91	2.74	7.04	11.74	6.73	2.41	0.44	0.80	0.11	0.17	—	0.45
	環太平洋地域の安山岩の平均		59.5	17.2	6.10	7.03	3.42	3.68	1.60	0.70	—	—	—	—	—
安山岩	Timmins-Noranda	85	55.5	15.9	1.78	6.34	6.20	4.33	3.82	0.51	1.10	0.16	0.17	0.87	3.03
	Lake of the Woods-Wabigoon	107	59.3	15.3	2.01	5.23	5.23	2.95	3.60	1.12	0.79	0.28	0.13	2.27	1.38
	カナダ楯状地4地域の平均	237	57.6	15.4	1.82	5.96	5.64	3.75	3.70	0.84	1.00	0.22	0.15	1.57	2.20
	環太平洋地域の安山岩の平均		59.5	17.2	6.10	7.03	3.42	3.68	1.60	0.70	—	—	—	—	—
酸性岩	Timmins-Noranda	38	65.1	15.2	1.09	4.03	2.77	2.64	4.00	1.82	0.63	0.12	0.10	1.20	1.98
	Lake of the Woods-Wabigoon	80	67.3	14.7	1.23	2.47	2.67	1.73	4.11	1.77	0.38	0.23	0.07	1.54	0.91
	カナダ楯状地4地域の平均	152	66.8	14.8	1.09	3.01	2.55	1.78	4.06	1.78	0.50	0.18	0.10	1.12	1.44
	石英安山岩 (ブーゲンビル)		65.1	16.5	3.86	4.75	1.48	4.60	2.05	0.51	—	0.08	—	—	—
	流紋岩 (ニュージーランド)		75.3	13.5	1.68	1.49	0.25	4.12	3.39	0.27	—	0.05	—	—	—

Ⓔ Timmins-Noranda 地域は カナダ楯状地の中で最も塊状硫化物鉱床が濃集しており Lake of the Woods-Wabigoon 地域には大きな鉱床は見えず KNIGHT (1969) からとった。

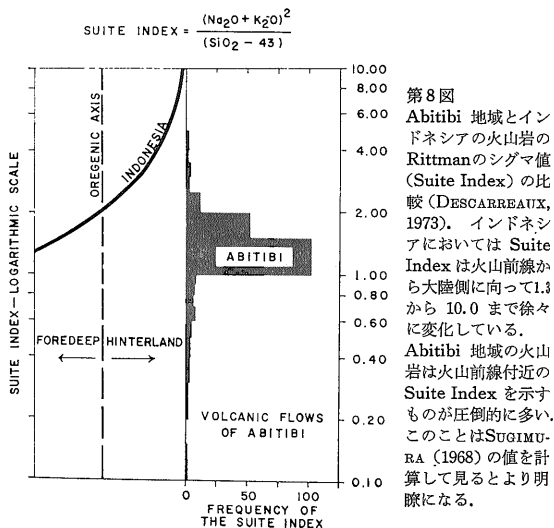
はカナダ楯状地の始生代の地層の方向性や構造に4つの中心があることを認めて カナダ楯状地は4つの核(クラトン)を中心にして造山帯(オロゲン)が形成されて成長したと述べた。彼はこのクラトンとオロゲンから成る単位をプロト大陸と呼んで 第9図に示すように南から Superior Ungava Hudson Slave と名付けた。この4つのプロト大陸の中で Superior が最も大きくまたよく調べられている。前号(本誌241号)にも述べたように Superior プロト大陸は堆積岩に富む帯を挟んで6つの火山帯から成っている(その2 第2図本

誌241号 p. 46参照)。南部の3つの火山帯(Uchi Wabigoon Abitibi-Wawa)は東西方向 北部の3つの火山帯(Windigo Amisk LeRonge)は北西—南東方向に伸びており Goodwin は両者の中心 すなわち Windigo と Uchi の中間にクラトンがあると考えた。彼によれば 南部の3つの火山帯は北から南 すなわちクラトンの外側にいくにしたがって 次のような傾向を持っている。

- (1) 火山帯の幅が増加する(Abitibi-Wawa 帯が最も広い)。
- (2) 各火山帯の中の より小規模な火山岩分布範囲(Goodwin and RIDLER, 1970 の volcanic complex)の面積が大きくなる。
- (3) 火山岩の中で酸性岩の割合が増加する。またアルカリに富む酸性岩が Abitibi 地域にのみ噴出している(例えば Kirkland Lake 地域の粗面岩や Noranda 地域のソーダに富む流紋岩)。

GOODWINはこのような傾向はプロト大陸の成長の時代的变化を表わすと考え Uchi→Wabigoon→Abitibi→Wawaの順にオロゲンの年代が若くなるとした。彼の始生代のオロゲンのモデルは 現在の島弧における造山帯のモデルとよく似ている。このような造山活動により 地殻物質が 順次クラトンの周囲に付加されていき4つのプロト大陸はやがて融合し 現在見るようなカナダ楯状地を形成するに至ったと考えた。

一方 GOODWIN and RIDLER (1970)のモデルは 上述



海嶺の火山岩の化学組成の比較

個数	Ba	Sr	Y	Zr	Sn	Co	Ni	Se	V	Cr	Ga	Ag	Pb	Zn	Cu	
66	85	124	15	103	1.61	36	85	66	362	175	37	0.134	2.4	99	115	BARAGER and GOODWIN (1969)
36	122	217	—	133	0.75	43	110	—	384	144	21	0.10	3.6	89	91	
205	105	164	15	105	1.15	35	103	57	346	187	27	0.124	6.7	103	109	
	14	130	43	95	—	32	97	—	292	297	17	—	0.5	—	77	ENGEL 他 (1965)
	75	200	—	70	—	—	30	—	270	50	—	—	1.5	—	—	JAKES and WHITE (1971)
44	147	142	14	164	1.59	19	72	43	258	106	40	0.138	3.2	92	69	BARAGER and GOODWIN (1969)
17	317	442	—	193	0.87	22	38	—	162	74	25	0.11	7.7	70	51	
101	248	263	14	160	1.46	18	63	48	201	103	30	0.12	7.1	86	60	
	270	385	21	110	0.8	24	18	—	175	56	16	0.13	6.7	—	54	TAYLOR (1969)
22	399	180	1.7	175	2.03	6	24	19	106	27	31	0.109	4.5	103	61	BARAGER and GOODWIN (1969)
9	450	317	—	210	1.63	6	19	—	65	51	25	0.13	9.9	50	28	
60	383	222	1.7	217	2.12	4	24	19	82	38	32	0.11	7.6	72	44	
	520	460	20	100	0.39	9	5	—	68	13	—	—	5.2	—	22	TAYLOR (1969)
	870	125	20	160	1.3	n.d.	n.d.	—	8.5	1.7	16	—	18	—	6	

されていない。主成分はパーセントで 微量成分は ppm で表わしてある。なお 深海ソレイトと島弧ソレイト中の鉛含有量は TATSUMOTO and

したモデルとややニュアンスを異にしている。彼らは Abitibi 地域の詳細な層序と構造の研究を行なって 次のような結論を得た(第6図参照)。

- (1) Abitibi オロゲンの構造・岩相変化は ほぼ東西に走る軸部を中心にして南北対称である。
- (2) Volcanic complex はオロゲンの周辺部に存在し そのうちでも周辺により近いグループ(第6図の1・2・5・6・7・9)はやや古く オロゲンの中心部に近いグループ(第6図の3・4・8)はより新しい。
- (3) 鉄に富む化学的沈澱物(exhalite, HUTCHINSON 他 1971)の相変化(酸化物相→炭酸塩相→硫化物相)から推定された海の深さは 中心部が深く周辺部が浅い。

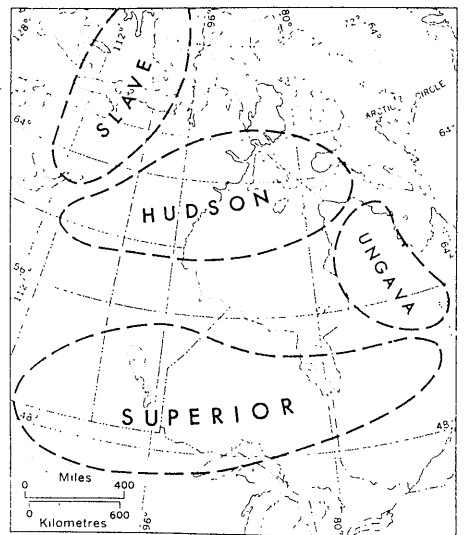
これらのことから彼らは Abitibiオロゲンは両側をクラトンに挟まれた造山帯であり 現在の島弧に似た火山列島がオロゲンの周辺にでき 中心に向かって成長していったと考えた(第10図)。

FOLINSBEE ら(1968) HART ら(1971) WHITE ら(1971) はより明確に 始生代の火山帯は現在の島弧周辺と同じ構造的な場で生じたとしている。特に後の2つの論文は 海洋底拡大が始生代にもあったと結論しているが その根拠は始生代と現在の島弧の火山岩組成の類似性だけで 説得力に乏しい。

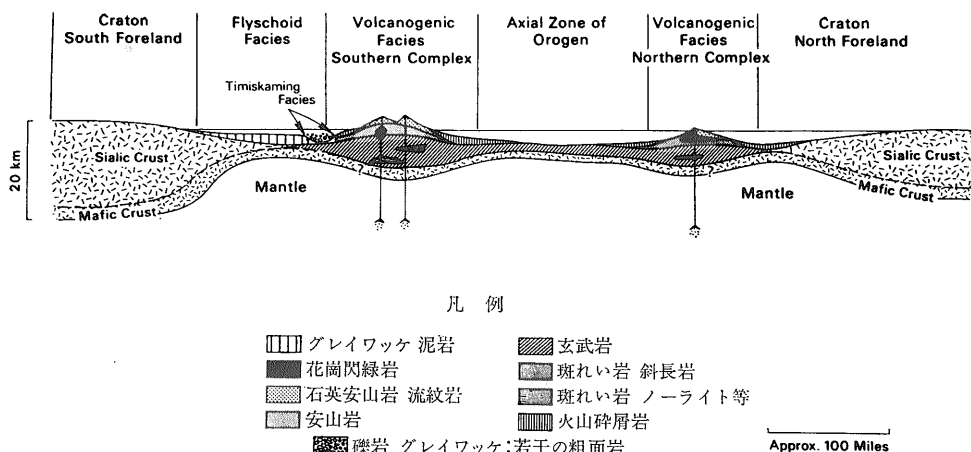
一方 GLIKSON (1971) は 始生代の造山運動には現在とまったく別の力が働いていたと考えた。彼のモデルを詳しく説明する紙数はないが 全体としては古典的な

造山運動のモデルに似ている。

これらとまったく異質のモデルとして GREEN (1972) の隕石起源モデルを次に紹介しよう。地球の最初の大陸地殻が隕石の落下によって生じたという説は 必ずしも新しいものではないらしいし 有名な DIETZ (1964) の Sudbury ニッケル—銅鉱床を伴う超塩基性岩体の成因に関する隕石モデルもあるが GREENは最近明らかにされた月の海の成因や実験岩石学の知識に立脚して なかなか説得力のある議論を展開している。彼の論拠となっているのはおもに次の2点である。1つは カナ



第9図 カナダ領地における始生代の4つのプロト大陸の分布(GOODWIN, 1971)。破線は 始生代のある時期における各大陸のおよその相対的大きさを示す。こ



凡例

- | | |
|--------------------|---------------|
| □ グレイワッケ 泥岩 | ▨ 玄武岩 |
| ■ 花崗閃緑岩 | ▩ 斑れい岩 斜長岩 |
| ▤ 石英安山岩 流紋岩 | ▧ 斑れい岩 ノーライト等 |
| ▥ 安山岩 | ▦ 火山砕屑岩 |
| ▨ 礫岩 グレイワッケ:若干の粗面岩 | |

第10図 Abitibi オロゲンの模式想像図 (GOODWIN and RIDLER, 1970). オロゲンの幅は約800km 2つの火山列島の間の距離は300km 程度であったと思われる. この図は第6図の Noranda-Matagami を通る断面でのデータから描かれた. 北側のクラトンは フリッシュ 堆積物を伴っていないことから 南側のもより小規模でかつ海面上の高度も低かったと推定される. オロゲンの中および基盤に シアル質の地殻があったという直接的な証拠はないので ここでは玄武岩質の地殻が基盤にあったとして描いてある.

楕状地では断片的にしか露出していない (NALDRETT, 1970) が アフリカやオーストラリアの始生代の地層の最下底を構成する特異な超塩基性岩体 (komatiite) の存在である. この超塩基性岩中のオリビンは 溶融体が急冷された時に見られる特徴的な組織 (sphenifex 組織) を示している. のみならずこの超塩基性岩は Mg に富む玄武岩と互層し 超塩基性岩自身も枕状構造を持っている. これらのことは この岩体が溶岩流として海底に噴出したことを暗示している (例えば VILJOEN and VILJOEN, 1969). GREEN らの実験によると この溶岩の温度は少なくとも 1,600~1,650°C であり 水の含有量は 1% 以下であったこと この組成のマグマを得るためには 上部マントル物質 (パイロライト) の 60~80% が溶融することが必要である. このような特異なマグマの発生を可能にする条件は 現在の地球のいかなる場所でも満たされていないし おそらく古生代以降そうであったのだろう. もう一つの論拠は 始生代の火山岩の活動の時代が隕石の落下によって引き起されたと解釈されている 月の海の玄武岩火山活動の時代とほぼ一致することである. GREEN はこれらのことから 35億年以上前に 月と地球に巨大な隕石が降りそそぎ 異常な komatiite マグマの発生と それに引き続くソレライト-カルクアルカリ岩系の火成活動の引き金となったと解釈した. 彼のモデルを第11図に示す.

GREEN の説はあまりにもカタストロフィックであるが 始生代の火山活動や変成作用と 地球の熱史の中の必然的な一コマとして説明しようとする考えもある. たとえば FYFE (1974) は 放射性元素をたくさん含んだ薄い花崗岩質地殻とその下の高温の上部マントル そして

当時のマントル対流は短い波長 (100km 程度) であったことを想定して ロードシアその他の始生代の特異な造構運動を説明しようとしている.

ところで GOODWIN (1974) は最近 GREEN と同じような趣旨で 始生代の構造・火成活動を説明するモデルを発表した. また CONDIE and BARAGAR (1974) は 世界各地の始生代火山岩の稀土類元素を分析して 島弧型と Abitibi 型に分けた. Abitibi 型というのは Eu の大きな負異常で特徴づけられ このような特徴を持つ火山岩は これまで報告されている限り月の海の玄武岩のみだそうである. 数多くの塊状硫化物鉱床を産する Abitibi 地域の火山岩の稀土類パターンが島弧型でないことは 前述したような塊状硫化物鉱床と黒鉄鉱床の類似性からはやや意外であるが 始生代玄武岩と月の玄武岩の発生機構の関連性については 今後も注目していくべきことのように思われる.

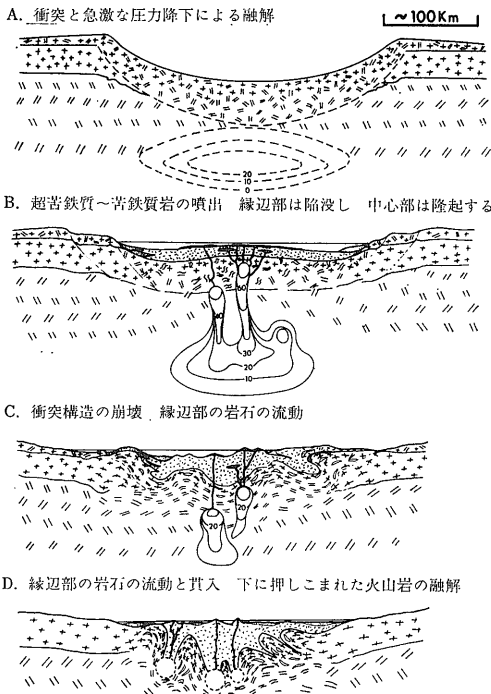
最後にカナダ楕状地のメタロジェニーを総括してみよう. 第3表は HUTCHINSON ら (1971) の表を基にして筆者らがまとめたものである. グリーンストーンベルトの鉱床は komatiite に伴う Ni-Cu 鉱床に始まり引き続きカルクアルカリ岩活動に伴う塊状硫化物鉱床 金鉱床などを生み層状鉄鉱層の沈澱で終わった. その後 Timiskaming 堆積岩から Kenoran 造山運動を通じて Nipissing 輝緑岩の活動までの時代は 堆積作用と変成作用の時代であり この時期の鉱床の多くはグリーンストーン時代の鉱床の再移動の結果と解釈されており (HUTCHINSON, 他 1971) 本質的には不毛の時代であった.

原生代に入るとカナダ楕状地の大部分は安定地塊となり 礫岩型のウラン鉱床 (Blind River) 炭酸塩岩中の

第3表 Abitibi 地域を中心とした始生代のメタロジェニー(HUTCHINSON ら 1971 を多少改変)。

時代	構造運動	主要岩相	鉱化作用	鉱床例
原生代	安定地塊化	その他 鉄鉱層 ウラン鉱床 Keweenaw 玄武岩に伴う自然銅・輝銅鉱床 炭酸塩岩中の鉛-亜鉛鉱床など		
		Nipissing 輝緑岩	輝緑岩脈に伴う再移動型の Ag-Co-Ni-As-Cu-Pb-Zn-Bi 脈	Cobalt
始生代	1 運変ラ動成・ケ造ノ山	花崗岩	ペグマタイト	La Corne
		ミグマタイト	再移動型 Au-石英脈	Porcupine Auno ¹
	作休火山と活堆積	砕屑性堆積岩	砕屑性鉄鉱床	Lake St. Joseph Harricana
			砕屑性 Au 鉱床	Pamour McWaters
	動沈サ降イク盆地(複数)におけるサ塩イクルが酸性のう火山活	噴気沈澱性堆積岩	噴気沈澱性鉄鉱床	Woman River Michipicoten
			噴気沈澱性 Au 鉱床	Wasmac Kerr Adison
塊状硫化物鉱床		Lake Dufault Kidd Creek		
酸性火山岩および浅所貫入岩		ポーフィリー型の Au (Cu) 鉱床	McIntyre Young-Davidson	
塩基性-超塩基性火山・深成岩	アノソサイトに伴う Cu, Au 脈	Timagami Chibougamau		
	超塩基性岩に伴う Ni, Pt, Cu 鉱床	Texmont Marbridge		
	アスベストス クローム鉄鉱 磁鉄鉱床	Matheson		

HATCHINSON らの鉱床成因の解釈は必ずしも広く認められているとはいえないが そのまま掲げた。



④ 超苦鉄質 マントル ⑤ シアル質 地 殻 ⑥ 超苦鉄質-塩基性マagma ⑦ 堆積物 ⑧ 深部地殻の融解

鉛亜鉛鉱床 玄武岩溶岩中の自然銅鉱床など 始生代とまったく異質な鉱床が形成された。特に鉛の濃集が原生代になって初めて現われたことは興味深い。GOODWIN (1971) はこの意味で 始生代と原生代の境目は“lead fence”であるといった。

一方 平面的に見た場合にも グリーンストーンベルト中の鉱床の分布にはある規則性があるようにみえる(第10図参照)。すなわち GOODWIN (1968)のいう Superior プロト大陸の周辺部のグリーンストーンベルト程亜鉛・銅の鉱床が多く 特に少しでも鉛を含む鉱床は最外帯の Abitibi-Wawa 帯に限られている。他方 金鉱床の分布はほぼ一様である。GOODWIN (1971) は 前述した彼の大陸成長のモデルから 若いグリーンストーンベルト程銅・亜鉛鉱床が多いと述べた。

IV あとがき

鉱床の面から見ると 始生代の塊状硫化物鉱床と黒鉄鉱床との類似性は圧倒的である。グリーンストーンベルトと現在の島弧の火山岩の化学的特徴の類似も顕著である。

カルクアルカリマグマは始生代で活発な活動を見せた後 原生代の20億年近くの間ほとんどなりをひそめていた。それが再び活動し出したのは古生代に入ってからであり その後現在に至るまでのわずかに6億年の間に地球上いたる所で繰返し活動している。GREENのいうようにグリーンストーンベルトの活動は 外部からの力で無理やり引起された造山運動の“鬼子”なのであろうか。

(筆者らは 鉱床部・千葉大学)

第11図 始生代のグリーンストーンベルトの隕石成因説を示す模式図 (GREEN, 1972)。

- (A) 始源的なシアル質地殻が巨大な隕石の衝突を受けて 深さが30~50km 程度の大きな凹地ができる。凹地の底は角礫化された上部マントル物質とそれを覆う衝突時の破片放出物とから成る。瞬間的な圧力の低下により 凹地の下のマントルは溶融する。破線は部分融溶の程度を示す(深さは約150km)。この凹地では非常に大きな負の重力異常が生じるだろう。
- (B) ペリドタイトマントルの部分溶融により生じたマグマは 部分溶融の程度を増しつつ破砕された凹地の底に上昇し 非常に高温の超塩基性コマチアイト(>1,600°C)玄武岩質コマチアイトマグマとして噴出する。凹地の周辺部ではスランピングと堆積作用が行なわれる。
- (C) 凹地の底と周辺を覆う破片放出物の層は温度の上昇により流動化し 衝突地形は内部に向かって加速的に崩壊する。その中のシアル質部分(地殻物質 花崗岩質?)は再結晶し 部分溶融して上部の重い超塩基性質・玄武岩質溶岩中に貫入する。火山作用はよりノーマルな玄武岩質のものになる。
- (D) 破片放出物層は片麻岩ドームとして上部の火山岩層中に上昇し 火山岩層は褶曲を受ける。すなわち元の基盤物質は 火山岩層に対して貫入関係を示すようになる。深部では温度が高いため 玄武岩質溶岩と“基盤物質”は再溶融し(P_{H2O}<P_{Total}の条件で) 安山岩と石英粗面岩で特徴づけられる第2期のマグマを生じる。

引用文献

- BARAGAR, W. R. A. and GNODWIN, A. M. (1969): Andesites and Archean volcanism of the Canadian Shield. Proceedings of the Andesite Conference (McBIRNEY, A. R., ed.), Bull. Oregon St. Dep. Geol. Miner. Ind. 65, 121-142.
- BOLDY, J. (1968): Geological observations on the Delbridge massive sulphide deposit. C. I. M. Bull., 61, 1045-1054.
- CONDIE, K. C. and BARAGER, W. R. A. (1974): Rare-earth element distributions in volcanic rocks from Archean greenstone belts. Contr. Mineral. Petr., 45, 237-246.
- DESCARREBAUX, J. (1973): A petrochemical study of the Abitibi volcanic belt and its bearing on the occurrence of massive sulphide ores. C. I. M. Bull., 66 (730), 61-69.
- DIETZ, R. S. (1964): Sudbury structure as an astroblome. Jour. Geol., 72, 412-434.
- ENGEL, A. E. J., ENGEL, C. G. and HAVENS, R. G. (1965): Chemical characteristics of oceanic basalts and the upper mantle. Bull. Geol. Soc. America, 76, 719-734.
- FOLINSBEE, R. E., BAADSGAARD, H., CUMMING, G. L. and GREEN, D. C. (1968): A very ancient island arc in the Crust and Upper Mantle of the Pacific Area, Geophys. Monogr., 12, 441-448.
- FYFE, W. S. (1974): Archean tectonics. Nature, 249, 338.
- GLIKSON, A. Y. (1971): Primitive Archean element distribution patterns: chemical evidence and geotectonic significance. Earth Planet. Sci. Letters, 12, 309-320.
- GOODWIN, A. M. (1968): Archean protocontinental growth and mineralization. 23rd Int. Geol. Congr., 1, 69-89.
- GOODWIN, A. M. (1971): Metallogenic patterns and evolution of the Canadian Shield. Spec. Publ. Geol. Soc. Australia, 3, 157-174.
- GOODWIN, A. M. (1972): The Superior Province. in Variations in Tectonic Styles in Canada, Geol. Soc. America Sp. Paper, 11, 528-623.
- GOODWIN, A. M. (1974): Giant impacts, ocean basins and continental crust. G. A. C./M. A. C. 74 Abst., 36-37.
- GOODWIN, A. M. and RIDLER, R. H. (1970): The Abitibi orogenic belt. in Symposium on Basins and Geosynclines of the Canadian Shield (BAER, A. J., ed.), Geol. Surv. Canada Paper 70-40, 1-24.
- GREEN, D. H. (1972): Archean greenstone belts may include terrestrial equivalents of lunar maria?. Earth Planet. Sci. Letters, 15, 263-270.
- HART, S. R., BROOKS, C., KROGH, T. W., DAVIS, G. L. and NAVA, D. (1970): Ancient and modern volcanic rocks: a trace element model. Earth Planet. Sci. Letters, 10, 17-28.
- HORIKOSHI, E. (1969): Volcanic activity related to the formation of the Kuroko-type deposits in the Kosaka district. Miner. Deposita, 4, 321-345.
- HUTCHINSON, R. W., RIDLER, R. H. and SUFFEL, G. G. (1971): Metallogenic relationships in the Abitibi belt, Canada. A model for Archean metallogeny. C. I. M. Bull., 64, (708), 48-57.
- JAKES, P. and GILL, J. (1970): Rare earth elements and the island arc tholeiite series. Earth Planet. Sci. Letters, 9, 17-28.
- JAKES, P. and WHITE, A. J. R. (1971): Compositions of island arcs and continental growth. Earth Planet. Sci. Letters, 12, 224-230.
- KAJIWARA, Y. (1968): Genesis of the Kuroko ore deposits-with special reference to the Shakanai mine. 東大博士論文.
- MATULICH, A., AMOS, A. C., WALKER, R. and WATKINS, J. J. (1974): The Ecstall story-the Geological Department. C. I. M. Bull., 67, (745), 56-63.
- NALDRETT, A. J. (1970): Ultramafic and related mafic rocks of the Abitibi orogen. in Symposium on Basins and Geosynclines of the Canadian Shield (BAER, A. J., ed.), Geol. Surv. Canada Paper 70-40, 24-29.
- RITTMAN, A. (1962): Volcanoes and their Activity. Intersci. Publishers.
- RUTTEN, M. G. (1971): The Origin of Life by Natural Causes. Elsevier.
- SANGSTER, D. F. (1972): Precambrian volcanogenic massive sulphide deposits in Canada: a review. Geol. Surv. Canada Paper 72-22.
- SANGSTER, D. F. (1973): Reflections on the origin of lead in volcanic massive sulphide deposits. Geol. Surv. Canada Open File 164, 105-110.
- SIMMONS, B. D. and Geological Staff (1973): Geology of the Millenbach massive sulphide deposit, Noranda, Quebec, Canada. C. I. M. Bull., 66, (739), 67-78.
- SUGIMURA, A. (1968): Spatial relations of basaltic magmas in island arcs. in Basalts (HESS, H. H. and POLDERVAART, A., eds.), vol. 2, Intersci. Publishers, 537-571.
- TATSUMI, T. and CLARK, L. A. (1972): Chemical composition of acid rocks related to formation of the Kuroko deposits. Jour. Geol. Soc. Japan, 78, 191-201.
- 立見辰雄・大島敬義 (1966): 小坂および花岡鉱山黒鉱鉱床産鉱石の鉱物組成. 日本鉱業会誌 82 1008-1014.
- TAYLOR, S. R. (1969): Trace element chemistry of andesites and associated calc-alkaline rocks. Proceedings of Andesite Conference (McBIRNEY, A. R., ed.), Bull. Oregon St. Dep. Geol. Miner. Ind., 65, 43-64.
- VILJOEN, M. J. and VILJOEN, R. P. (1969): The geology and geochemistry of the lower ultramafic unit of the Onverwacht Group and a proposed new class of igneous rocks. Geol. Soc. S. Africa Spec. Publ. 2, 55-85.
- WHITE, A. J. R., JAKES, P. and CHRISTIE, D. M. (1971): Composition of greenstones and the hypothesis of sea-floor spreading in the Archean. Geol. Soc. Australia Spec. Publ. 3, 47-56.
- WHITMORE, D. R. E. (1969): Geology of the Coronation copper deposit. in Symposium of the Geology of the Coronation Mine (BYERS, A. R., ed.), Geol. Surv. Canada Paper 68-5, 37-54.
- WILSON, H. D. B., ANDREWS, P., MOXHAM, R. L. and RAMLAL, K. (1965): Archean volcanism in the Canadian Shield. Can. Jour. Earth Sci., 2, 161-175.