

ブッシュフェルト複合岩体のクロム鉱床

松本 一郎¹⁾

1. はじめに

南アフリカは鉱物資源の宝庫であり、金、白金、クロムの埋蔵量、生産量は世界一である。南アフリカの鉱物資源の豊かさはその地質に依存している。日本が火山と地震の国であるのに対して南アフリカは安定大陸に位置し、火山および地震はないに等しい。プレートの集束域である日本列島には古い時代の地質体は少なく、ほとんど全ての地質体はシルル紀以降のものである。それに対して南アフリカには35億年前の緑色岩帯をはじめとして始生代、原生代の地質体が広く分布しており、地球の幼年期の情報が随所で得られる。日本と南アフリカのこのような地質の違いが、鉱物資源の違い等に影響していると言える。

今回、南アフリカの地質、鉱床を観察する機会に恵まれたが、筆者が日本国内のクロムを対象としたレアメタル調査に携わっている関係から、ブッシュフェルト複合岩体のクロム鉱床の紹介を担当することとなった。本報告ではブッシュフェルト複合岩体のクロム鉱床と合わせて、クロム資源の現状、クロム鉱床の2つのタイプと世界のクロム鉱床、クロム鉱床の成因論についても紹介する。

2. クロム資源の現状

南アフリカはクロムの埋蔵量、生産量において世界一であるということは先に述べたが、主要国の埋蔵鉱量、生産鉱量、消費量、および日本の主要輸入先を第1表に示す。南アフリカのクロム埋蔵鉱量は全世界の81.7%を占め、ジンバブエを含めると、上位2国で世界の約95%以上を占める。一方、消費量をみると、日本は世界の消費量の約7%を占め、消費国としては第3位に位置する。日本の稼行クロム鉱山は唯一鳥取県の若松鉱山(日本クロム工業)のみであり、クロム資源のほとんど全ては輸入に頼っているのが現状である。その64.4%は南アフリカから輸入されている。

3. クロム鉱床の2つのタイプと世界のクロム鉱床およびクロム鉱床の成因

クロム鉱床の鉱石鉱物はクロム鉄鉱(chromite もしくは chromian spinel)であり、化学式は(Mg, Fe²⁺)(Cr, Al, Fe³⁺)₂O₄で表される。クロム鉱床には正マグマ性鉱床と漂砂鉱床があるが、大部分の鉱床は塩基性-超塩基性岩体に伴う正マグマ性鉱床で

第1表 世界のクロム資源の埋蔵鉱量、生産鉱量、消費量、及び日本の主要輸入先(資源エネルギー庁, 1993)

主要国の埋蔵鉱量(1991)		主要国の生産鉱量(精鉱)(1991)		主要国の消費量(1985)		日本の主な輸入先(1991)	
百万トン(%)		千トン(%)		千トン(%)		千トン(%)	
南アフリカ	5,536 (81.7)	南アフリカ	4,490 (35.0)	南アフリカ	2,640 (25.8)	南アフリカ	476 (64.4)
ジンバブエ	927 (13.7)	旧ソ連	3,800 (29.6)	旧ソ連	2,474 (24.2)	インド	67 (9.1)
旧ソ連	129 (1.9)	インド	990 (7.7)	日本	680 (6.7)	マダガスカル	55 (7.4)
インド	77 (1.1)	トルコ	850 (6.6)	アルバニア	573 (5.6)	ロシア	38 (5.2)
フィンランド	29 (0.4)	アルバニア	600 (4.7)	インド	567 (5.6)	フィリピン	33 (4.5)
その他	80 (1.2)	その他	2,090 (16.3)	その他	3,281 (32.1)	その他	69 (9.4)
計	6,778	全世界計	12,820	全世界計	10,215	計	739

1) 同和工営株式会社資源事業部：
〒105 港区新橋5丁目10番5号

キーワード：ブッシュフェルト複合岩体, 南アフリカ, クロム
鉱床, 層状型クロミタイト, ボディフォーム型ク
ロミタイト, ラステンバーク・レイヤード系列

第 2 表 世界の層状塩基性～超塩基性岩体(金属鉱業事業団, 1982)

岩 体 名	面 積 (Km ²)
Bushveld Complex, South Africa	67,311
Kunene Complex, South West Africa	7,767
Duluth Complex, U.S.A.	4,712
Great Dyke, Zimbabwe	3,261
Sudbury Complex, Canada	1,341
Insizwa Complex, South Africa	544
Colony Complex, Sierra Leone	492
Usushwana Complex, Swaziland	202
Stillwater Complex, U.S.A.	194
Skaergaard Intrusion, Greenland	104
Ingeli Complex, South Africa	83
Skye Complex, Hebrides	72
Ardnamurchan Complex, Scotland	62
Rhum Complex, Hebrides	36
Tabankulu Complex, South Africa	36
Kapalagulu Complex, Tanzania	23

ある。

通常、クロム鉄鉱が20～30%以上濃集した岩石をクロミタイトと呼ぶが、クロム鉄鉱の濃集度と形態から塊状クロミタイト(ほとんど全てがクロム鉄鉱からなる)と斑状クロミタイト(クロム鉄鉱と他鉱物が種々の割合で混在)に分けられる。また、稼行対象と成り得る上記のクロミタイトに対してそれぞれ塊状鉱(massive ore)、斑状鉱(disseminated ore)とも呼ぶ。

正マグマ性クロム鉱床はその成因と産状から、層状型クロミタイトとポディフォーム型クロミタイトに分けられるが、埋蔵量としては前者が圧倒的に大きい。

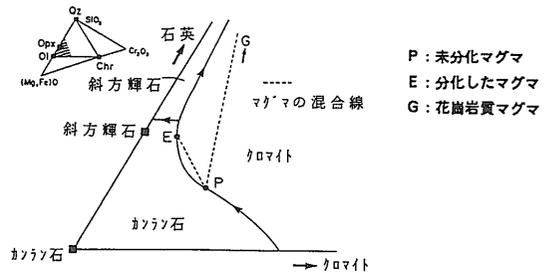
①層状型クロミタイト(stratiform chromitite)

- ・連続性の良い集積岩, すなわち層状貫入岩(かんらん岩, パイロキシナイト, アノソサイト, など)に伴う。
- ・ほとんど全てのものは非造山帯に産する。
- ・主な鉱床
ブッシュフェルト(南アフリカ), グレートダイク(ジンバブエ), スティルウォーター(アメリカ)

②ポディフォーム型クロミタイト(podiform chromitite)

- ・連続性が乏しく, 極めて不規則にオフィオリイトなどのマントルかんらん岩中に産する。
- ・造山帯に産する。
- ・主な鉱床の産地
旧ソ連(カザフスタン, ウラル), トルコ, フィリピン, 日本など

今回報告するブッシュフェルト複合岩体のクロム



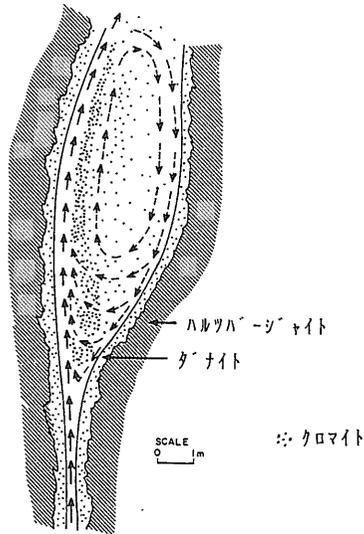
第 1 図 かんらん石-クロミタイト-シリカ系の相平衡図における、マグマ混合によるクロミタイトの生成モデル(Irvine, 1977)。

比較的分化したマグマ(G, E)に未分化なマグマ(P)が混合すると、マグマの混合線はクロミタイトの領域に入り、クロミタイトが晶出する。

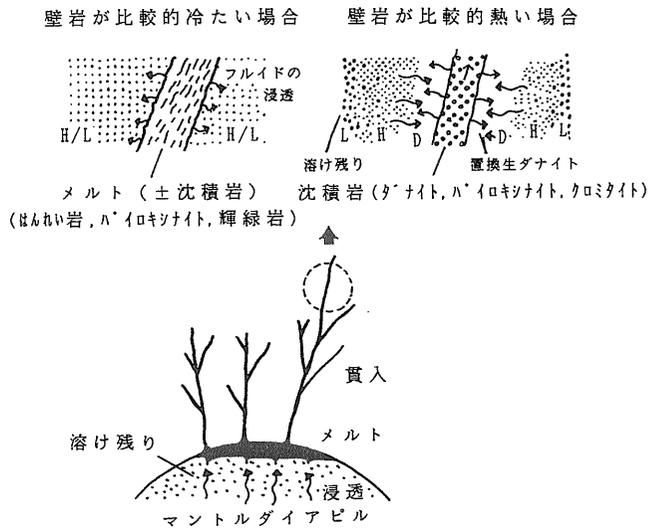
鉱床は上述のとおり層状型の鉱床であり、埋蔵鉱量は他の岩体と比較しても圧倒的に大きい。また、第2表には世界の主要な層状塩基性～超塩基性貫入岩体の規模を示したが、ブッシュフェルト複合岩体は他の岩体と比べて圧倒的にその規模が大きいことがわかる。

クロム鉱床の成因について、Irvine (1977)は分化したマグマを未分化マグマと混合させることにより、クロムスピネルが晶出、沈積することを示し、層状型クロミタイトの成因を説明した(第1図)。

Lago et al. (1982)と Nicolas (1989)はポディフォーム型クロミタイトについて、マントル中のマグマの通路(特にチャンパー状部分)において、マグマの流れ(対流)によりクロムスピネルが濃集すると考えた(第2図)。しかし、スピネル晶出のメカニズムについては言及していない。一方、荒井(1992)は、マグマ-マントル相互反応(第3図)により生じた比較的シリカに富むマグマと未分化マグマとの



第2図 ボディフォーム型クロミタイトのクロマイト濃集モデル(Lago et al, 1982).
マグマの流れ(対流)によりクロマイトが濃集する。



第3図 マグマ-マンテル相互作用の概念図(荒井, 1992)
D, H, Lはそれぞれダナイト, ハルツバーシャイト, レールズライト.
壁岩が比較的温度熱い場合, 貫入したメルトと壁岩の相互反応(マグマ-マンテル相互反応)により様々な岩相を形成する. クロミタイトはそうした岩相の一つである。

混合によりボディフォーム型クロミタイトの成因を説明した。

つまり、層状型クロミタイトもボディフォーム型クロミタイトも基本的にスピネル晶出のメカニズムについては、Irvine 流のマグマ混合モデルにより説明される。

4. ブッシュフェルト複合岩体のクロム鉱床

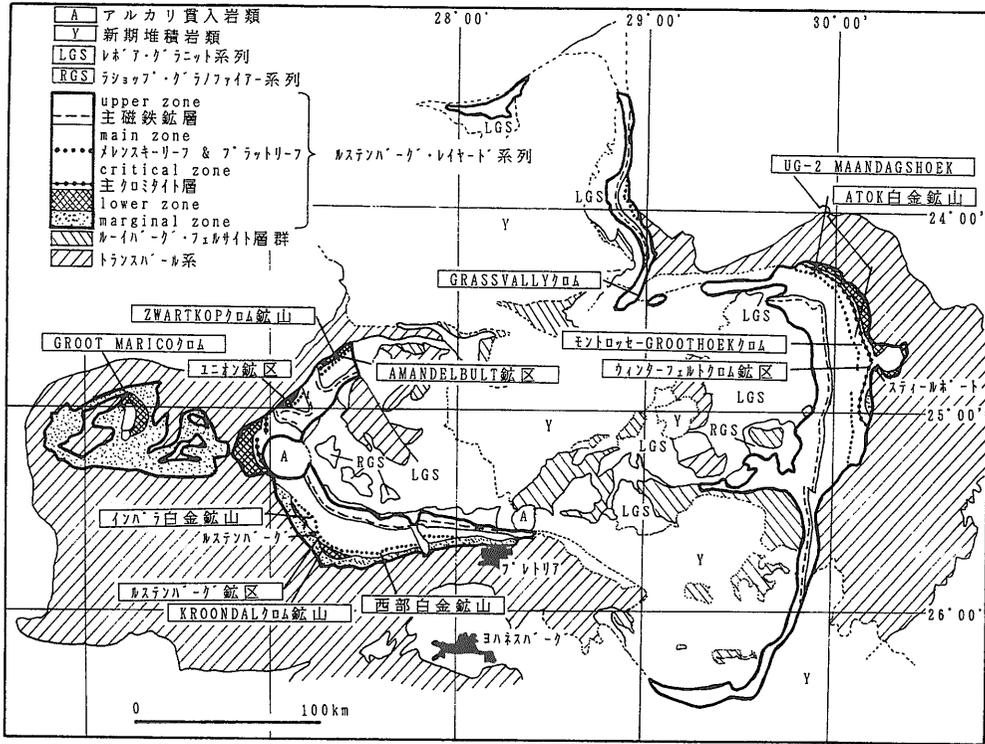
4.1 ブッシュフェルト複合岩体の地質とクロム鉱床

ブッシュフェルト複合岩体は、カープバール地塊の北部(トランスバール州の中央部から西部)に分布する東西480 km, 南北240 kmの世界最大の層状塩基性-超塩基性岩体である。ブッシュフェルト複合岩体の地質図を第4図に示す。ブッシュフェルト複合岩体は原生代のトランスバール系の堆積後に活動(約20億年前)した。その活動は輝緑岩シルの貫入にはじまり、フェルサイト、グラノファイアー、微花崗岩などの貫入後、大規模にマグマが貫入し、層状分化岩体(超塩基性岩→はんれい岩→閃緑岩→花崗閃緑岩)を形成した。花崗岩は岩体形成の最終相として貫入している。

ブッシュフェルト複合岩体は大きく4つの系列に分けられる(第3表)。このうち、クロムおよび白金の濃集の認められるのはラステンバーグ・レイヤード系列であり主クロミタイト層、メレンスキーリーフ、主磁鉄鉱層付近でさらに4区分されている(第5図)。ブッシュフェルト複合岩体はロート状構造をしているため、ラステンバーグ・レイヤード系列が地表に認められるのは主に岩体の東部(東部岩体)と西部(西部岩体)であり、同様にクロム鉱床も東部と西部に位置している。

クロミタイト層はラステンバーグ・レイヤード系列の中でも特に critical zone に認められる。クロミタイト層の代表的なものは下位より LG1~LG7(下位グループ)、MG1~MG4(中位グループ)、UG1, UG2(上位グループ)と呼ばれている。また、UG2の上位には白金で有名なメレンスキーリーフが存在する。メレンスキーリーフとは最初(1920年代)にこれを発見紹介した H. Merensky にちなんだ名称である。

クロミタイトは層状で厚さ2 cm~2 m程度で100 km以上の連続が確認されている。また、数cmのオーダーでクロミタイトとアノーツサイトが互層していることもある(口絵参照)。クロミタイト



第4図 ブッシュフェルト複合岩体の地質図
Vermaak, C. F. AND Von, Gruenewaldt, G. (1986)を簡略化.

を胚胎する岩相はLG1~LG7, MG1までがパイロキシナイトであり, MG2から上位, メレンスキーリーフまではアノーンサイト, ノーライトである. このことは造山帯のポディフォーム型クロミタイトが超塩基性岩に伴われることと対照的である.

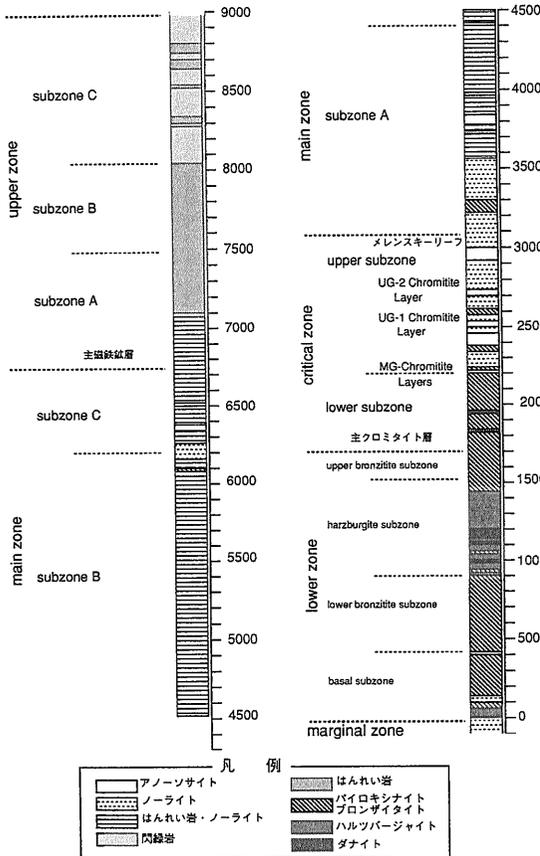
4.2 東部クロム鉱山

東部クロム鉱山(Eastern Chrom Mine)はヨハネスブルグの北東約350 km, トランスバール州の東部に位置し, 第6図のように多くの鉱区から構成されている. 現在の主な稼動鉱区はウィンターフェ

第3表 ブッシュフェルト複合岩体の4つの系列. Vermaak C. F. and Von, Gruenewaldt, G. (1986)を簡略化.

名 称		年 代
ブッシュフェルト複合岩体	レボア花崗岩系列 (Lebowa Granite Suite)	1670±30(U/Pb)* 2010±20(U/Pb)**
	ラショーフ・グ・ラノフィアイト-系列 (Rashoop Granophyre Suite)	2000±30(U/Pb)***
	ルステンバーグ-レイキッド-系列 (Rustenburg Layered Suite)	2050±22(Rb/Sr)****
	マリコ輝緑岩系列 (Marico Diabase Suite)	≥2050, ≤2224,
トランスバール系	ル-イハ-ク-フェルサイト層群 (Rooiberg Felsite Group)	No reliable data

*Coertze et al. (1978) (Makhutso Granite)
**E. A. Retief (pers. comm., 1985) (Nebo Granite)
***Faure and Von Gruenewaldt (1979)
****Hamilton (1977), recalculated with $^{87}\text{Rb}=1.42 \times 10^{-11} \text{yr}^{-1}$



第5図 ラステンバークレイヤード系列の柱状図。
Von, Gruenewaldt, G. Sharpe, M. R. and Hatton,
C. J. (1985)を簡略化。

ルト, モントロッセ, トウィーフォンテンであり, いずれも坑内掘りにより採掘されている。これら東部クロム鉱山の総生産高はおよそ14万トン/月程度である。総従業員数は1993年度初頭で1,376名であったものが, 現在では合理化により900名程度になっている。

今回訪れたウィンターフェルト鉱区は良く整備されている鉱区の一つであり, 鉄道により従業員や鉱石を運搬している。坑内へはスティールポート (Steelport) 坑の斜坑をスキーのリフト様の乗物で行った。採掘現場は層状のクロミタイト層を対象とし採掘しているため, 高さ1 m程度の掘り跡ができています(写真1)。狭い所では高さ50 cm程度の部分もあり, ほふく前進を余儀なくさせられる。

次に訪れたのは東部クロム鉱山から出荷される鉱石を精錬する TUBATSE・フェロクロム精錬所で

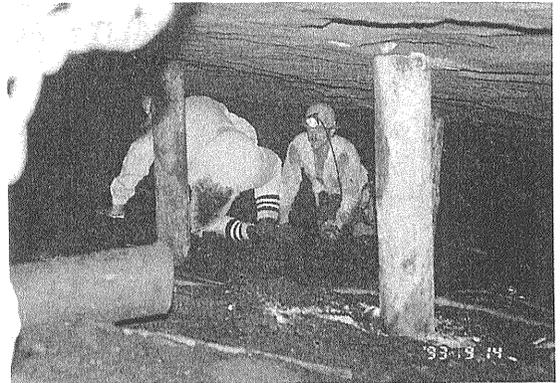


写真1 坑内風景
層状クロミタイトを採掘しているため, 層状な掘跡ができる。

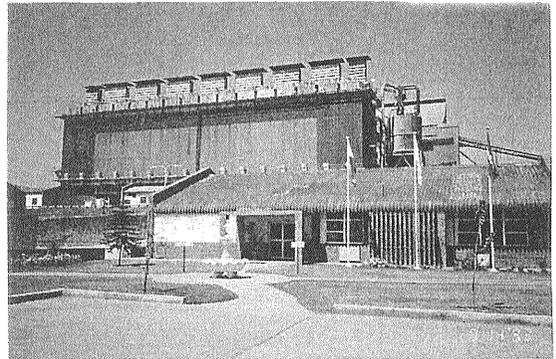


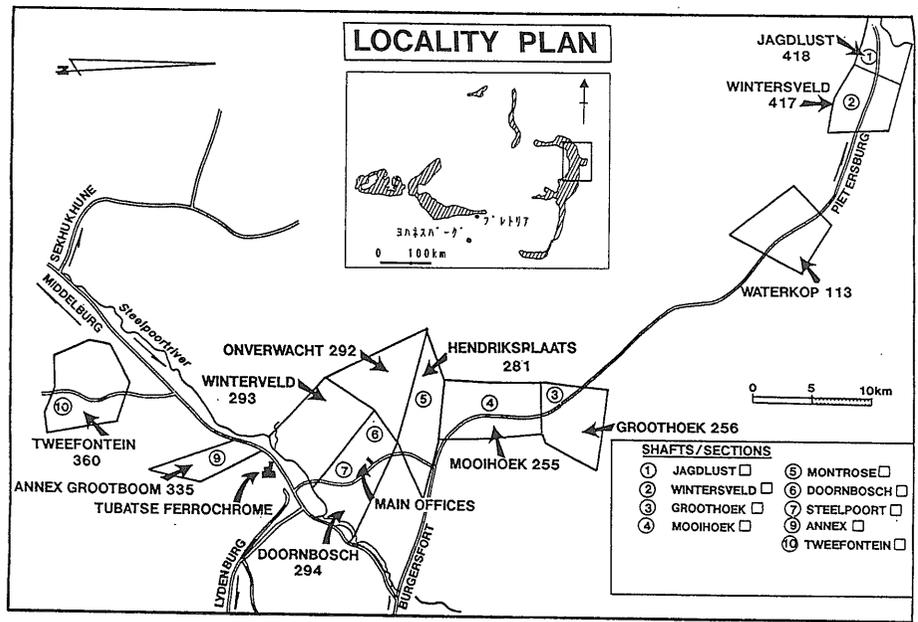
写真2 TUBATSE・フェロクロム精錬所事務所

ある(写真2)。鉱石は粉碎された後, 金属の部分と珪酸塩の部分とに選別され, 溶炉の中(1600°C程度)で溶かされることにより精錬されフェロクロムとなる。フェロクロムはクロム鉱石が黒色であるのとは対照的に白銀色を呈する。これらの工程は全てコンピューターにより管理されている。

5. おわりに

南アフリカには冒頭にも述べたとおり, クロムのほかにも多くの鉱物資源がある。これらは地球の歴史や世界の経済を考える上で重要であることは言うまでもない。しかし, それ以上に今回の旅で南アフリカの自然や文化のすばらしさを実感し, 日本に入ってくる南アフリカの情報が全てを伝えているものではないことを感じた。

謝辞: 南アフリカのワークショップ・巡検を企画,



第 6 図
 東部クロム鉱山の鉱
 区. Samancor Ltd.,
 (1993)に一部加筆.

案内して下さった、地質調査所の Cornel de Ronde 博士、浦辺徹郎博士、本報告を書く機会を与えて下さった元地質調査所の神谷雅晴博士ほか巡検で行動をともにした皆様に心からお礼申し上げます。また、日頃からクロム鉱床を含めてかんらん岩についてご教示下さり、本粗稿を読んでいたいただいた金沢大学の荒井章司教授に感謝いたします。

参考文献

荒井章司(1992)：上部マントルかんらん岩の岩石学—いかにマントル・プロセスを読みとるか—。岩鉱, 87, 351-363.
 Cameron, E. N. (1964): Chromite deposits in the eastern part of the Bushveld Complex. In; Haughton, S. H. (Eds.) The Geology of Some Ore Deposits in South Africa, II. Geol. Soc. S. Afr., 131-168.
 Vermaak, C. F. and Von Gruenewaldt, G. (1986): Introduction to the Bushveld complex. In; Anhaeusser, C. R., and Maske, S. (Eds.) Mineral Deposits of Southern Africa. Vols. I&II. Geol. Soc. S. Afr., Johannesburg, 1021-1029.

Von Gruenewaldt, G., Sharpe, M. R. and Hatton, C. J. (1985): The Bushveld Complex: Introduction and Review. Econ. Geol., 80, 803-812.
 Irvine, T. N. (1977): Origin of chromitite layers in the Muskokox intrusion and other stratiform intrusions: A new interpretation. Geology, 5, 273-277.
 金属鉱業事業団(1982)：昭和58年度地質解析委員会報告書。24-47.
 Lago, B. L., Rabinowicz, M. and Nicolas, A. (1982): Podiform Chromite Ore Bodies: A Genetic Model. J. Petr., 23, 103-125.
 Nicolas, A. (1989): Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere: Dordrecht, the Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 367p.
 Samancor Ltd., (1993): Samancor Ltd. Eastern Chrome Mines. 20p.
 資源エネルギー庁(1993)：クロム鉱。鉱業便覧, 76-77.

MATSUMOTO Ichiro (1994): Chromitite deposit in Bushveld Complex, South Africa.

〈受付：1994年1月7日〉