

ブッシュフェルトの白と黒—世界の鉱産資源

中川 充¹⁾

1. はじめに—ビッグファイブ

アフリカ大陸最南端の国、「南アフリカ共和国」といえば、ダイヤモンド・アパルトヘイト・サファリパークを連想する人は多いだろう。そのサファリから話を始めよう。

クルーガー国立公園で見られる動物たちのうち、ゾウ・ライオン・ヒョウ・サイ・バッファローをビッグファイブという。ただ通過しただけの我々だったが、これら全てにお逢いできるという強運に恵まれた。勿論、現世生物の一種シマウマも見かけた。

さて、南アフリカの鉱産資源ビッグ5といえは金を筆頭に宝飾用ダイヤモンド・白金族元素・クロム・バナジウムがあげられ、いずれも生産量世界一を誇っている。これらのうち後の三者は超巨大な層状貫入岩体であるブッシュフェルト(Bushveld)複合岩体に胚胎している。ブッシュフェルトとはクルーガー公園のある低地帯の別名で、さしずめ「やぶ帯」といったところだろうか。発見された地名を冠した岩体名ではあるが、その大きさゆえに高地帯にまでその分布が及んでいる。

我々はこのブッシュフェルト複合岩体の南西にあるラステンバーグ(Rustenburg)白金鉱山を訪れ、二つの主要白金胚胎層準であるメレンスキー・リーフ(Merensky Reef)とUG-2のクロム鉄鉱層を観察した。これらがこの文章の標題である白と黒である。地質版海外旅行記という面は免れ得ないにせよ、筆者の問題意識を明らかにしながら文章をまとめる。

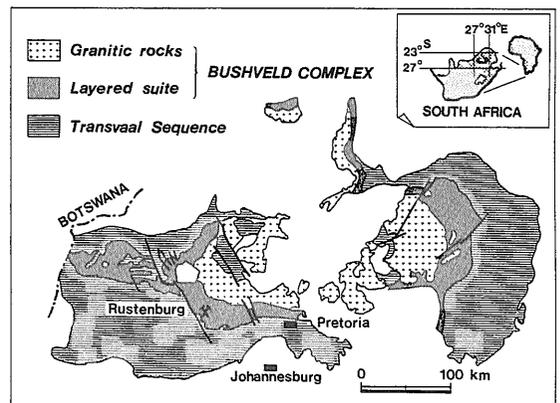
2. 巨大なるブッシュフェルト複合岩体

ブッシュフェルト岩体は、岩石や鉱床分野の教科

書には必ず記述されているものではあるが、ここで Von Gruenewaldt et al. (1985)や Vermaak and Von Gruenewaldt(1986)に基づいて最小限の総括をしておく。

20億年前カーブバル剛塊(Kaapvaal Craton)のトランスバル(Transvaal)層群に貫入した世界最大の層状岩体であるブッシュフェルト岩体は、南アフリカの行政首都プレトリアの北方に位置し、240×480 km という巨大なパン皿様の形で鎮座している(第1図)。岩体の厚さは8~9 km に達し、下部より Lower Zone, Critical Zone, Main Zone, Upper Zone の4つに分けられている(第2図)。下部はダナイトや古銅輝石を主とする輝岩など超苦鉄質な岩相からなり、上部に向かうにつれてノーライト、斑れい岩、閃緑岩、斜長岩など大局的には鉄に富んだ珪長質な岩相に移化していく。

Critical Zone にはクロム鉄鉱層が多く含まれており、下部より LG-1~7, MG-1~4, UG-1~2 の3つのグループに分けられている。クロム鉄鉱は下



第1図 ブッシュフェルト複合岩体の地質概略図
Bowles et al. (1992)を改作

キーワード: ブッシュフェルト複合岩体, ラステンバーグ鉱山, メレンスキー・リーフ, UG-2クロム鉄鉱層, 白金族元素, 流体と揮発性成分, イリジウム, 北海道, オフィオライト。

1) 地質調査所 北海道支所:
〒060 札幌市北区北8条西2丁目

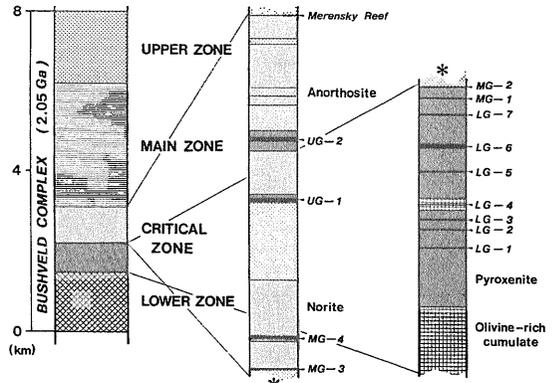
部のものほどCr/Fe比が高いので、鉱石として最も品位の高いLG-6(Steelpoort Chromite Layer)が主たる産出層準となっている。また、このZoneの最上部には白金族元素を特徴的に含むメレンスキー・リーフが存在する。一方、Upper Zoneには20枚以上の含バナジウム磁鉄鉱層が挟まれ、下部のMain Magnetite Layerが主たる産出層準になっている。

岩体中の位置によって多少は厚さの変化があるものの、こうした火成層序は普遍的に認められているため、外形から示唆された3あるいは4個(またはもっと多く; Kinloch, 1982)のマグマ溜りはそれぞれ連結していたものと考えられている。マグマ溜りでは、異なった環境で形成された超苦鉄質と斜長岩組成のマグマが随時混合し、乱流や対流によって拡散・攪拌されながら結晶を沈積させていくという、大規模な結晶分化作用で成因が説明されている。

3. 世界一のラステンバーク白金鉱山

島国根性が抜けないせいなのか、南アフリカの大地に立つとスケール感覚が狂ってしまう。いい加減慣れてきたはずのツアー14日目に訪れたのが、単一の白金鉱山として世界一の規模を誇るラステンバーク鉱山である。ブッシュフェルト岩体の南西端に位置し、鉱山の敷地は30×7 kmと広大で、何と南アフリカとその国内に飛び地としてある独立国ボツワタツワナの両国に跨っている(写真1)。税金も両国に納めており、固定資産税の安い国の方に貴金属の精錬工場が建てられているという説明には思わず納得してしまった。となると、白金の生産統計に現れた数字は、正確には2カ国の合計ということになるのでは? 愚問はさておき、鉱山を見学しよう。

4万人を2万人に削減中だという従業員を抱えるこの大鉱山。来訪者も多く、クラブに置かれたノートにも結構な数の名前が記されていた。それゆえ見学者に対する案内も手慣れたもので、地質図、敷地の模型、鉱石標本、ビデオの解説がWilfred Bock氏(写真2)によりなされた後、我々はKen Lomborg氏らの案内で東部地区にあるTurffontein shaftに向かった。主な立坑は7カ所にあり、東部は地表下700-1,250 m、西部は500 m以浅の場所を主な採掘現場にしている。立坑で我々が降りた29



第2図 ブッシュフェルト岩体の地質柱状概略図。 Von Gruenewaldt et al. (1985), Viljoen and Hieber(1986)を改作。

レベルは、白金鉱石として実際に掘られている Critical Zone 最上部のメレンスキー・リーフとUG-2のクロム鉄鉱層を突き抜けた下盤側(第2図)であった。

水平坑道を走向方向に直交して上盤側に進むと、まず、MG-1のクロム鉄鉱層が出現した。安定大陸地域の層状貫入岩体だけあって、各火成層序は極めて一定した傾斜を示している。広大なこの鉱山全体についても10~20度だという。特に稼行中のメレンスキー・リーフについては9.5~10度という驚くべき均一な傾斜を示す(Viljoen and Hieber, 1986)。順次、MG-2, 3, 4のクロム鉄鉱層と母岩である斑れい岩・ノーライト・斜長岩・輝岩を観察する。こうした火成層序はドレライトや閃長岩の岩脈(写真3)によって切られる場合はあるが、断層による変位はほとんど無く、変動帯の脈型鉱床の対極に位置するような整然さを感じる。

しかし、これらの火成層序を細かく見れば、様々な興味深い現象が観察される。例えば、MG-4のクロム鉄鉱層はクロム鉄鉱と斜長石に富んだ薄層が細互層した斜交葉理状の産状を示す(写真4)。ちなみに、これがクルーガー国立公園で見たシマウマの模様とそっくりなのである。これを空間的に検討すれば、マグマの供給方向やクロム鉄鉱の結晶沈澱機構に重要な情報を与えると思われる。メレンスキー・リーフの採掘現場は、リーフの厚さが25 cm程度(写真5)のため高さが50 cm程の坑道を“ほふく前進”して到達した。いかに効率よく採鉱するかがこの鉱山での主要命題であり、総延長27 kmが採

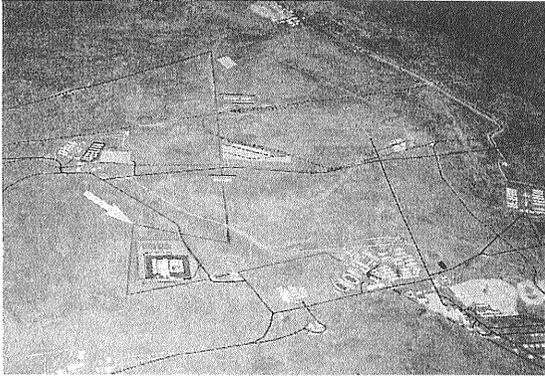


写真1 鉍山の敷地内にある入り組んだ国境線(白矢印). 鉍山のクラブハウスにある模型で、左下が南アフリカ共和国、右上がボツワツナ。

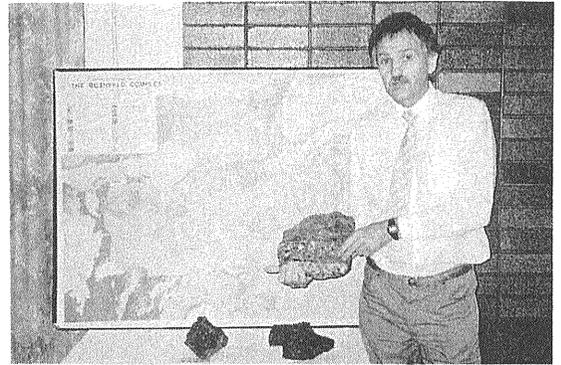


写真2 メレンスキー・リーフの白金鉍石を手にして解説する Wilfred Bock 氏。

掘済みだという。また、実際には十分観察できなかったが、Pothole と呼ばれるメレンスキー・リーフの落込み? が各所に見られる (Viljoen and Hieber, 1986)。

この鉍山では、このメレンスキー・リーフとUG-2 クロム鉄鉍層を白金鉍石として採掘しており、おおよそ半々にブレンドして原鉍石とする。メレンスキー・リーフは厚い程品位が低い傾向にあり、産出する白金族元素の総量は厚さに左右されない。つまり、うまく掘れさえすれば、薄い方が良いわけである。採算ベースを尋ねたところ企業秘密だと云われた後、小声で3 g/t 以上のある値だというヒントをくれた。探鉍にかかる経費が極めて少ない割合で済むゆえの値であろう。

坑内を後にし、粉碎プラントとベースメタルを含む段階の精錬プラントを見学した。回収しているのは全白金族元素と金・銅・ニッケル・コバルトであり、原石の半分はクロム鉄鉍であるにもかかわらずクロムは回収されず、スラグとして扱われている。これはFe/Cr比が高いせいで、良質のクロム鉄鉍層に恵まれている国ならではのことであろう。貴金属回収の精錬プラントは今までに“a few guests”しか訪れたことがないとの事で、我々も見学することはできなかった。

4. メレンスキー・リーフと流体の関係

1924年にブッシュフェルト岩体東部で発見され、Hans Merensky にちなんで命名されたこのリーフ

は、白金胚胎層準として有名なので、その記載的な部分をまとめておく。メレンスキー・リーフは、上下を薄いクロム鉄鉍層に挟まれたかんらん石・輝石・斜長石からなるペグマタイト様の層準で、厚さ25 cm~2 m。下盤側は薄い斜長岩を挟んでノーライトに、上盤側は輝岩に接している。ブッシュフェルト岩体の西部と東部にそれぞれ120 km の連続が確認されており、地下1,200 m までの可採鉍量は33億トン (Bowles et al., 1992)、全貴金属合計の平均品位8.1 g/t (Macdonald, 1987)、精鉍量では26,700トンと見積られている。

白金族鉍物は Braggite: (Pt, Pd, Ni)S, Cooperite: PtS, Laurite: (Ru, Fe, Os, Ir, Pt)S₂ などの硫化物が60%強と主体をなし (Vermaak and Hendriks, 1976), Moncheite: (Pt, Pd, Ni) (Te, Bi, Sb)₂, Merenskyite: (Pd, Pt, Ni) (Te, Bi, Sb)₂, Kotulskite: (Pd, Pt, Ni) (Te, Bi, Sb) などのテルル化合物が25%を占める (Kingston and El-Dosuky, 1982)。Pt-Fe合金とベースメタル硫化物との共生は Pothole Reef と呼ばれる特殊な部分に濃集して認められる (Kinloch, 1982)。

さて、メレンスキー・リーフについての研究は莫大な数にのぼり、研究の進展に即して時代毎に優れた総括がなされてきている (例えば, Wager and Brown, 1968; Vermaak, 1976; Mathez, 1989)。近年では特に、苦鉄質マグマ溜内における流体のダイナミクスを念頭に置いた成因的研究 (Campbell et al., 1983; Irvine et al., 1983) が主流になってきた (Cabri, 1986)。こうした流れは、①メレンスキー・リーフがペグマタイト様であり、②石墨



写真3 サイヤナイト岩脈(右側). 母岩のノーライトに顕著な層状構造が見られる.

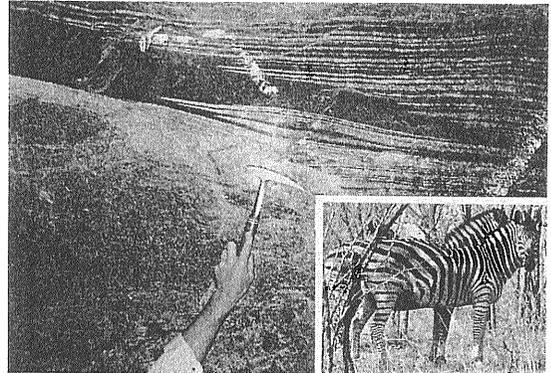


写真4 斜交葉理状のMG-4クロム鉄鉱層とシマウマ.

(Ballhaus and Stumpfl, 1985)や含水珪酸塩鉱物がダナイトパイプやPotholeにしばしば産出し、後者は塩素に富んで(Mathez et al., 1985)おり、③こうした産状をハロゲン元素など揮発性成分の挙動と関連づけて説明した事(Peyel, 1982; Schiffries, 1982)による。

白金族元素の濃集におけるこれら流体が果たした役割については、もともとマグマ内の硫化物溶融体に濃集していた白金族元素をペグマタイト様のリーフに固定したとする立場(Naldrett et al., 1986; Barnes and Campbell, 1988)と、流体そのものが白金族元素と反応して移動濃集を果たしたとする解釈(Boudreau et al., 1986)がある。我々の見学したラストンバーグ白金鉱山のメレンスキー・リーフについては後者の説が有力である(Nicholson and Mathez, 1991)が、いずれにせよ、マグマ内における流体の挙動の検討抜きには白金族元素の濃集を語れなくなってきている。

5. 親密な白金とクロム-イリジウムはどこに？

メレンスキー・リーフに比べて白金胚胎層準としてのネームバリューは低いが、UG-2クロム鉄鉱層も重要な白金鉱石である。メレンスキー・リーフの下位に東西計250 kmにわたって延長し、地下1,200 mまでの可採鉱量は37億トン、平均品位と精鉱量は全貴金属合計で8.7 g/t, 32,200トン(Macdonald, 1987)と見積られている。メレンスキー・リーフに比べて、ベースメタルの割合は低いが、価

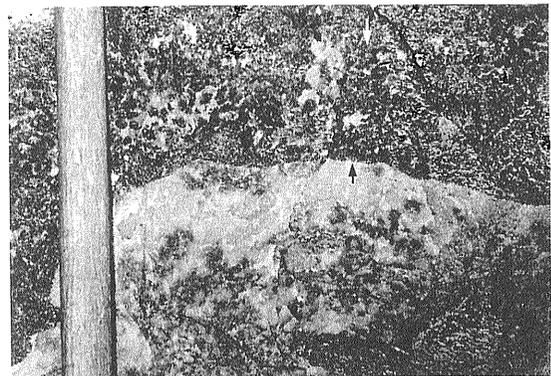


写真5 メレンスキー・リーフ。
上盤のクロム鉄鉱薄層(白矢印)と下盤のクロム鉄鉱薄層(黒矢印)に挟まれたペグマタイト様の部分。左側のハンマーの柄の幅は約3 cm.

格の高いロジウム含有量は高い(Bowles et al., 1992)。このことは、白金族元素について下位ほど未分化であることを想像させるが、まずはUG-2自体の水平・垂直変化について見てみよう。

ラストンバーグ地域におけるUG-2クロム鉄鉱層中の白金族鉱物の総量の9割が硫化物として産出する。ブッシュフェルト岩体全体についてもこの特徴は変わらない(Kinloch, 1982)。北東部で若干テルル化物の割合が多い(Von Gruenewaldt et al., 1990)など、地域的な差も多少は認められるが、これは硫黄フィガシティーの違いによって説明されている(McLaren and De Villiers, 1982)。一方、クロム鉄鉱層内の垂直的变化については、下部から上部に向かって白金族元素が漸減する数回のレーリー則に基づく分化サイクルが認められ(Hiemstra, 1985; 1986)、イリジウムが部分的に濃集している気配は感じられない。

UG-2より下位の岩相では、①母岩である珪酸塩鉍物層よりクロム鉄鉍層の方に白金族元素が濃集する、②LG-1~4はOs, Ir, Ru (IPGE's)が多く、LG-5~7はIPGE'sとRh, Pt, Pd (PPGE's)がほぼ同量で、MG-1以上の層準では逆にPPGE'sが多い、③大局的には上位に向かって白金族元素の総量が増加する、④2 g/tを越えるものは極めて少ない、という規則性が認められる (Teigler, 1990)。やはり、このCritical Zone全体で認められる下方未分化の傾向が白金族元素にも反映していることになる。

では、Critical Zoneより上位のMain ZoneやUpper Zoneの白金族元素はインコンパティブルなパラジウムの割合が高くなっているのだろうか。Upper Zone中の硫化物を含む斜長岩 (Harney and Merkle, 1990)を除けば、全体として白金族元素は極めて微量にしか含まれていないがPt/Pd比は上位に向かって減少傾向にある (Page et al., 1982)。したがって、量そのものは少ないが、上位の方が分化しているという特徴はこの二つのZoneでも当てはまる。

そうすると、Critical Zoneより下部のLower Zoneでは、コンドライトに近い、より未分化なパターンが期待される。この点については、露出の良い東部岩体で研究されており、イリジウムで例外的な10 ppb程度の濃度が検出される外は大部分が2 ppb以下の値を示し、CN-ダイアグラム (Naldrett and Duke, 1980)ではメレンスキー・リーフやUG-2と同様の右上がり曲線となる (Lee and Tredoux, 1986)ので、そう単純ではない。さらに、2層準でPt, Pd各3 ppm程の富鉍帯が知られている (Hulbert and Von Gruenewaldt, 1982)から、白金族元素はそのものの総量は少ないがCritical Zoneと似た挙動を示していることになる。すなわち、ブッシュフェルト岩体を形成したマグマそのものがマントルから分離する時点で既にPPGE'sに富む分化した状態であったのだろう。IPGE'sはマントルに残留し続けているのか、地球の核にまで沈み込むのかは謎である。

6. おわりに—北海道の白と黒

北海道神居古潭帯の蛇紋岩体周辺は、戦時中タス

1994年7月号

マニアなどと並んで世界的に重要な砂白金の産地 (彌永, 1984)であった。神居古潭帯の蛇紋岩はオフィオライト源 (小松, 1977)で、周辺に産出する砂白金の大半はIr-Os-Ru系合金である (中川・太田, 1993)。ここでもクロム鉄鉍と白金族元素鉍物は親密な関係であり、金属鉍業事業団の希少金属鉍物資源の賦存状況調査では、砂クロムの一部にイリジウムの異常 (稼行白金鉍山の約100倍もの高品位)が認められた (中川ほか, 1993)。ブッシュフェルトで見られないようなIPGE'sの濃集機構を解明することは、オフィオライト帯ならではの研究であり、今後の資源探査にも大きく影響するであろう。

アメリカでは備蓄対象資源として明確に位置づけられている白金族元素だが、世界最大の消費国である日本においては、探鉍対象のレアメタルとしてすらリストされていない現状に危機感を覚える。もっとも、日本の消費量の6割以上は、不要不急の装飾品用であるという。本稿の締切直前には札幌のデパートで非売品として30 kgものプラチナを織り込んだ布製の十二単が展示された。アパルトヘイトの幕が下がり、初の総選挙を目前にして新たな第一歩を踏み出そうとしている南アフリカに比べて、日本の爛熟ぶりには呆れるほかない。

最後に、この巡検の実現に向けて企画調整に当たられたC. デロンダ博士を始めとする方々、旅行中いろいろなお世話になった参加者の皆様、現地の情報や様々なご配慮を頂いた金属鉍業事業団ヨハネスブルグ事務所長の奥泉洋一氏、筆者らの参加にご尽力くださった関係各位に心よりお礼申しあげます。

文 献

- Ballhaus, C. G. and Stumpff, E. F. (1985): Occurrence and petrological significance of graphite in the upper Critical Zone, western Bushveld Complex, South Africa. *Earth and Plan. Sci. Lett.*, **75**, 58-68.
- Barnes, S. J. and Campbell, I. H. (1988): Role of late magmatic fluids in Merensky-type platinum deposits: a discussion. *Geology*, **16**, 488-491.
- Boudreau, A. E., Mathez, E. A. and McCallum, I. S. (1986): Halogen geochemistry of the stillwater and Bushveld Complexes: evidence for transport of the platinum-group elements by Cl-rich fluids. *Jour. Petrol.*, **27**, 967-986.
- Bowles, M., De Bruin, D., De Kock, G., Dixon, R. D., Field, M., Hammerbeck, E. C. I., Herzberg, W., Keyser, A. W., MacRae, C. S., Viljoen, M. J., Winterbach, D. J. and Worst, B. (1992): The Bushveld Complex. in *Some superlatives of ge-*

- ology in Southern Africa, Geol. Soc. South Africa, 29th IGC, Kyoto, 1-4.
- Cabri, L. J. (1986): Preface of a third issue devoted to platinum deposits. *Econ. Geol.*, **81**, 1045-1046.
- Campbell, I. H., Naldrett, A. J. and Barnes, S. J. (1983): A model for the origin of the platinum-rich sulfide horizons in the Bushveld and Stillwater Complexes. *Jour. Petrol.*, **24**, 133-165.
- Harney, D. M. W. and Merkle, R. K. W. (1990): Pt-Pd minerals from the upper zone of the eastern Bushveld Complex, South Africa. *Can. Min.*, **28**, 619-628.
- Hiemstra, S. A. (1985): The distribution of some platinum-group elements in the UG-2 chromitite layer of the Bushveld Complex. *Econ. Geol.*, **80**, 944-957.
- Hiemstra, S. A. (1986): The distribution of chalcophile and platinum-group elements in the UG-2 chromitite layer of the Bushveld Complex. *Econ. Geol.*, **81**, 1080-1086.
- Hulbert, L. J. and Von Gruenewaldt, G. (1982): Nickel, copper, and platinum-group mineralization in the Lower Zone of the Bushveld Complex, South of Potgietersrus. *Econ. Geol.*, **77**, 1296-1306.
- Irvine, T. N., Keith, D. W. and Todd, S. G. (1983): The J-M platinum-palladium reef of the Stillwater Complex, Montana: II. Origin by double-diffusive convection magma mixing and implications for the Bushveld Complex. *Econ. Geol.*, **78**, 1287-1334.
- Kingston, G. A. and El-Dosuky, B. T. (1982): A contribution on the platinum-group mineralogy of the Merensky Reef at the Impala Platinum Mines, Bophuthatswana. *Econ. Geol.*, **77**, 1367-1384.
- Kinloch, E. D. (1982): Regional trends in the platinum-group mineralogy of the Critical Zone of the Bushveld Complex, South Africa. *Econ. Geol.*, **77**, 1328-1347.
- 小松正幸(1977): 固体迸入型かんらん岩とオフィオライト. *海洋科学*, **9**, 569-574.
- Lee, C. A. and Tredoux, M. (1986): Platinum-group element abundances in the Lower and lower Critical Zones of the eastern Bushveld Complex. *Econ. Geol.*, **81**, 1087-1095.
- Macdonald, A. J. (1987): Ore deposit models #12. The platinum group element deposits: classification and genesis. *Geoscience Canada*, **14**, 155-166.
- Mathez, E. A. (1989): Interactions involving fluids in the Stillwater and Bushveld Complexes: observations from the rocks. *Rev. Econ. Geol.*, **4**, 167-179.
- Mathez, E. A., Boudreau, A. E. and McCallum, I. S. (1985): Apatite and biotite from Stillwater and Bushveld Complexes and nature of hydrothermal activity. *Can. Min.*, **23**, 308.
- McLaren, C. H. and De Villiers, J. P. R. (1982): The platinum-group chemistry and mineralogy of the UG-2 chromitite layer of the Bushveld complex. *Econ. Geol.*, **77**, 1348-1366.
- 中川 充・太田英順(1993): 北海道のオフィオライト産砂白金. 石井次郎教授追悼論文集, 133-141.
- 中川 充・納 篤・山本俊一郎(1993): 北海道の高イリジウム砂クロム. *資源地質*, **43**, 223-224.
- Naldrett, A. J. and Duke, J. M. (1980): Platinum metals in magmatic sulfide ores. *Science*, **208**, 1417-1424.
- Naldrett, A. J., Gasparini, E. C., Barnes, S. J., Von Gruenewaldt, G. and Sharpe, M. R. (1986): The upper Critical Zone of the Bushveld Complex and the origin of Merensky-type ores. *Econ. Geol.*, **81**, 1105-1117.
- Nicholson, D. M. and Mathez, E. A. (1991): Petrogenesis of the Merensky Reef in the Rustenburg section of the Bushveld Complex. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **107**, 293-309.
- Page, N. J., Von Gruenewaldt, G., Haffty, J. and Aruscavage, P. J. (1982): Comparison of platinum, palladium, and rhodium distribution in some layered intrusions with special reference to the late differentiates (upper zone) of the Bushveld Complex, South Africa. *Econ. Geol.*, **77**, 1405-1418.
- Peyerl, W. (1982): The influence of the Diekop dunite pipe on the platinum-group mineralogy of the UG-2 chromitite in its vicinity. *Econ. Geol.*, **77**, 1432-1438.
- Schiffries, C. M. (1982): The petrogenesis of a platiniferous dunite pipe in the Bushveld Complex: infiltration metasomatism by a chloride solution. *Econ. Geol.*, **77**, 1439-1453.
- Teigler, B. (1990): Platinum group element distribution in the lower and middle group chromitites in the western Bushveld Complex. *Min. Pet.*, **42**, 165-179.
- 彌永芳子(1984): 北海道の砂金と砂白金. みやま書房, 札幌. 212p.
- Vermaak, C. F. (1976): The Merensky Reef—thoughts on its environment and genesis. *Econ. Geol.*, **71**, 1270-1298.
- Vermaak, C. F. and Hendriks, L. P. (1976): A review of the mineralogy of the Merensky Reef, with special reference to new data on the precious metal mineralogy. *Econ. Geol.*, **71**, 1244-1269.
- Vermaak, C. F. and Von Gruenewaldt, G. (1986): Introduction to the Bushveld complex. In: *Mineral Deposits of South Africa*, Anhaeusser C. S. and Maske, S. (Eds.), Geological Society of South Africa, Johannesburg, 1021-1029.
- Viljoen, M. J. and Hieber, R. (1986): The Rustenburg section of Rustenburg Platinum Mines Limited, with reference to the Merensky Reef. In: *Mineral Deposits of South Africa*, Anhaeusser C. S. and Maske, S. (Eds.), Geological Society of South Africa, Johannesburg, 1107-1134.
- Von Gruenewaldt, G., Sharpe, M. R. and Hatton, C. J. (1985): The Bushveld Complex: Introduction and review. *Econ. Geol.*, **80**, 803-812.
- Von Gruenewaldt, G., Dick, D., de Wet, J. and Horsch, H. (1990): PGE mineralization in the western sector of the eastern Bushveld Complex. *Min. Pet.*, **42**, 71-95.
- Wager, L. R. and Brown, G. M. (1968): Layered igneous rocks. Edinburgh, Oliver and Boyd, 326p.

NAKAGAWA Mitsuru (1994): PGE mineralization of Bushveld Complex.

<受付: 1994年1月7日>