

ウィットウォーターズランド盆地の含金礫岩層の金の起源

石原舜三¹⁾

1. まえがき

現在の南アフリカ共和国ヨハネスブルグ市内(写真1, 2)で含金礫岩層が発見されたのは1886年初頭であり, 僅か110年前の事である。この発見で世界の金供給源がすっかり変わり, この化石砂金が世界の金鉱山を席卷した。現在でも世界の産金量の50%は含金礫岩層から生産されており, 残存金量は4万トンと言われている(Robb *et al.*, 1992)。この鉱床は過去の世界の金生産量の約40%, ウランの20%近くを供給した。現在では採掘が地下4,000mにまでおよび, 採掘は徐々に困難になっているが, かつての尾鉱が1g/t以上のAuを含んでおり, 現在ではこれらからも金が回収されている(写真5, 6)。

この含金礫岩層を含む堆積盆地はウィットウォーターズランド盆地と名付けられている。これはアフリカーンズで, 英語で言えばWhite Water Ridgeである。この盆地の堆積岩類の珪岩部分は突起部を形成し, そこから流れる水は白く滝を成していたようである。最初の発見露頭は現在ヨハネスブルグ市内であり, 現在では小さな公園として保存されている(写真3, 4)。

ウィットウォーターズランドの含金・ウラン礫岩鉱床の成因については砂金起源と熱水起源の論争を中心に, 本誌479号に詳しく紹介された(小林, 1994)。砂金説は地元で広く受け入れられており, 熱水説はヨーロッパの学者間で人気がある。筆者は南ア滞在時に見聞した事柄から砂金説をとるが, その成因説に立つ場合に砂金の原産地は何処であろうかとの疑問が常につきまとう。

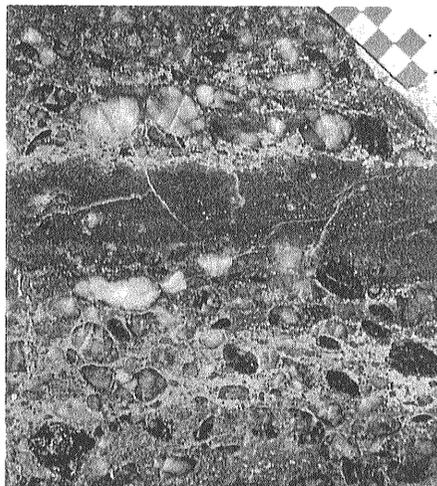


写真1 含金礫岩のクローズアップ。品位12g/t, 横幅21cm(ビーテックス鉱山)。

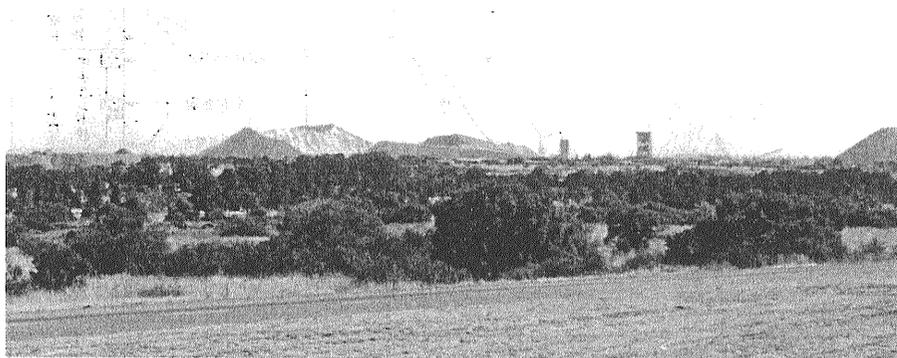


写真2

金山遠景。ヨハネスブルグから車を南方へ走らせると立坑とズリ山が幾つも現れる。これが世界有数の金山であるが, 採掘は地下数kmで行われているために, 一見写真のようにのどかな風景を呈する。

1) 地質調査所 顧問

キーワード: 含金礫岩, ウィットウォーターズランド, U-Pb年代, 緑色岩帯, Aタイプ花崗岩

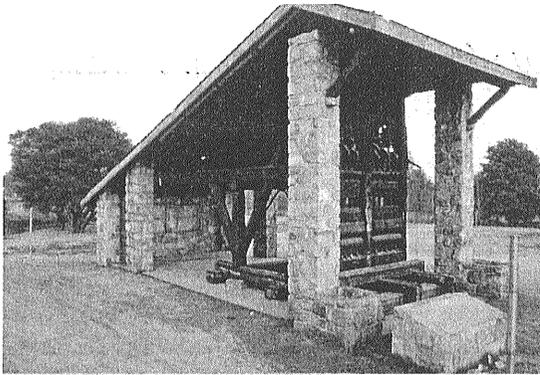


写真3 ヨハネスブルグ市内に保存されている含金礫岩層の保存公園。

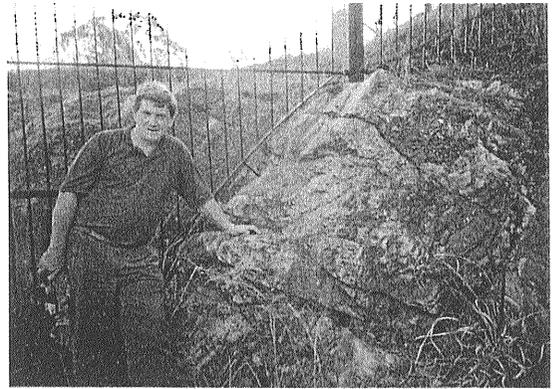


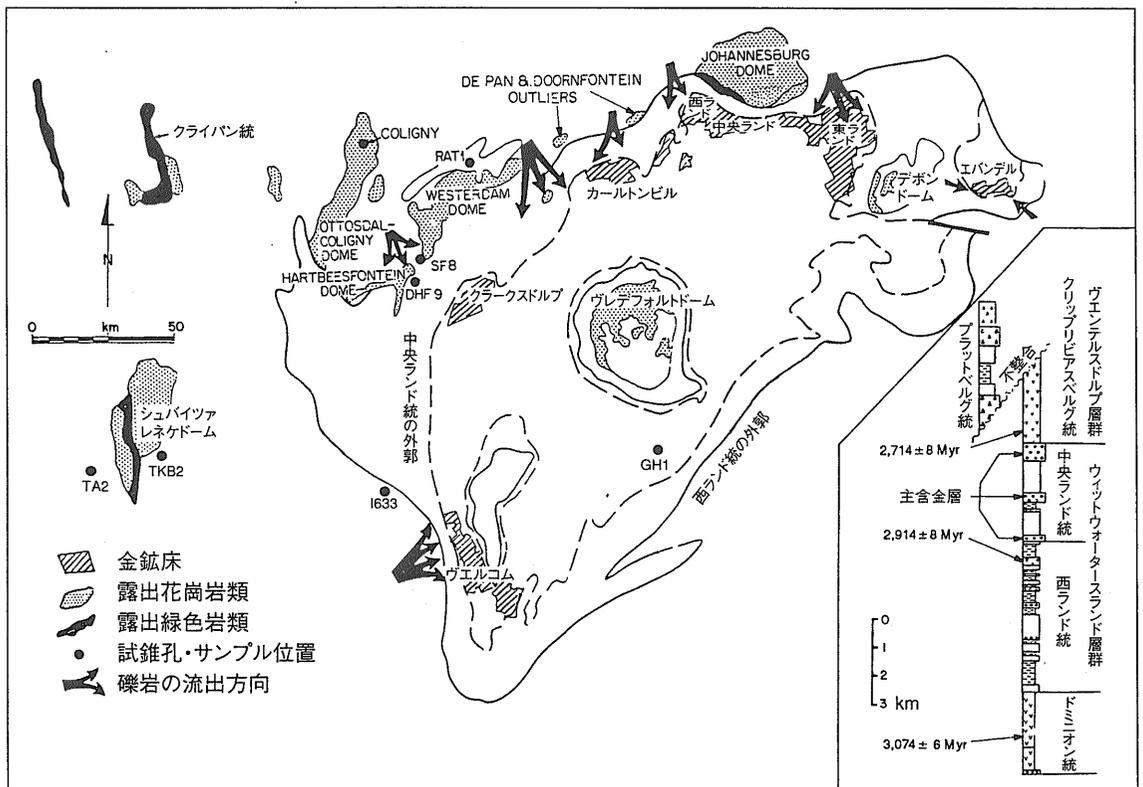
写真4 保存公園の発見露頭。人物はアンホイザー教授。

最近(1998年7月)ケープタウンで行われたIAV-CEIの国際会議ではボツワナ南東部のガバロン花崗岩体を起源とするオリンピック ダム式鉱化作用がその供給源ではなからうかとする新説が提案されている(Wormald & Downey, 1998)。そこで、最近の幾つかの関連論文を紹介しながら、その起源について考えてみたい。なおこの鉱床は海に面

した扇状地流出部の前面に形成されたと解釈されており、その堆積物の供給源は北方あるいは西方である(第1図)。

2. 西側基盤岩類

ウィットウォーターズランド盆地の金および閃ウラ



第1図 ウィットウォーターズランド盆地と礫岩の流れ方向、および近傍の基盤岩類 (Robb et al., 1992)。

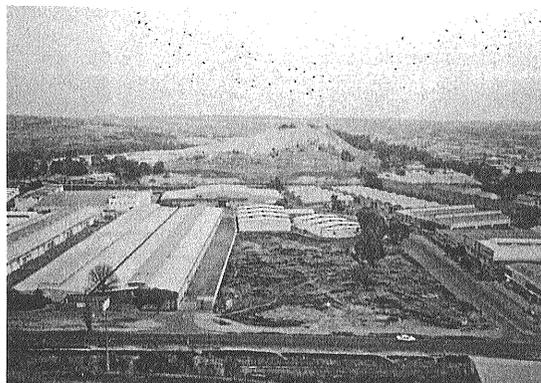


写真5 ヨハネスブルグ市内に残る往時の尾鉱の丘。今では金の再回収の為に取り崩されており、残りは僅かである(ヨハネスブルグ市西南部)。



写真6 発見露頭付近の鉱山の近傍には巨大なビルがそびえる(ヨハネスブルグ市南部)。

ン鉱は黄鉄鉱やほかの重鉱物と共に濃集している。これら鉱物はウィットウォーターズランド層群の上部層(中央ランド統)に濃集している(第1図)。ウィットウォーターズランド層の年代はかつて28-23億年とされていたが、現在では堆積層を夾む火山岩類の年代から30.74-27.14億年の間に堆積したと考えられている。富鉱部の中央ランド層は下位の西ランド層の上部のクラウン溶岩の年代29.14億年から更に限定され、1.6億年以下の堆積時間を持つ(第1図)。一方、礫岩層中の碎屑物のジルコン年代は西ランド層が33.05-30.44億年、中央ランド層は32.07-28.14億年である(Robb *et al.*, 1990)。

時代限定を与えることは起源決定の一つの方

法であるが、Robb *et al.* (1992)はこの発想に基づき盆地西側周辺の8ヵ所から変質花崗岩類を選び(第1図に産地)鉱物分離を行い、主にジルコン、一部でモナズ石、蛍石、ルチルのU-Pb年代を求めた。母岩の花崗岩類の性質と得られた年代を第1表に示す。

花崗岩年代は3ヵ所でドミニオン層の年代(30.74億年)より古く、これらが基盤であることを示している。Coligny試料はやや若い(30.31億年)が、この優白花崗岩とウィットウォーターズランド堆積物との関係は厳密には解っていない。TA2試料では29.27億年、南方の類似岩のジルコンでは核で32.50億年、周囲の変成期成長相で29.40億年が得られているので、これらは最初の花崗岩貫入期

第1表 年代測定試料の概要と測定結果の総括(Robb *et al.*, 1992)。

試料番号	岩石名	変質(脈鉱物)	Au (ppb)	Cl (ppm)	年代 (Ma)	被覆層
ハルトピース フォンティン DHF9	パーアルミナス花崗閃緑岩- 花崗岩(初生柘榴石)	グライゼン化(石英-緑泥石-黄鉄鉱- 黄銅鉱-輝水鉛鉱±閃ウラン鉱)	0.7-4.1	2-10	3,174 +9, -7	ドミニオン層
GHI	低Ca花崗岩(モナズ石含む)	デュエテリック変質(多量の閃ウラン鉱)	0.7-1.7	6-116	3,101 ± 2	ウェストランド層
ウェスターダム SF8/RAT1	花崗岩	(石英-緑泥石-黄鉄鉱-蛍石-炭酸塩鉱物)	0.6-7.4	1-21	3,086 ± 3	ウェストランド, ドミニオン
コリグニ	低Ca優白花崗岩	弱いアルバイト化	7.4	1-2	3,031 +11, -10	フェンタースドルブ
TA2	トナル岩質片麻岩	デュエテリック変質 (シュバイツァベネケ貫入岩体由来の脈)	-	-	2,927 +23, -6 (変成年代?)	同上
シュバイツァ ベネケTKB2	パーアルミナス花崗岩 (モナズ石含む)	デュエテリック変質 (石英-斜長石-緑泥石-ルチル-黄鉄鉱)	6.0-127	1-134	2,880 ± 2	同上
1633	花崗閃緑岩-花崗岩	(石英-緑泥石-黄鉄鉱-黄銅鉱-方鉛鉱)	1.3-9.6	3-4	2,727 +6, -5	フェンタースドルブ 中部層

試料位置は第1図。

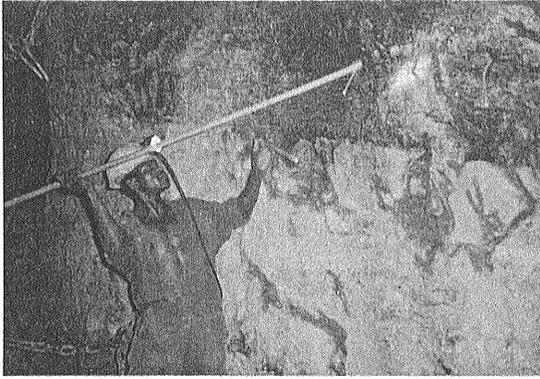


写真7 ハルトビーストフォンティン鉱山坑内における含金礫岩層爆破のためのダイナマイト装填作業。

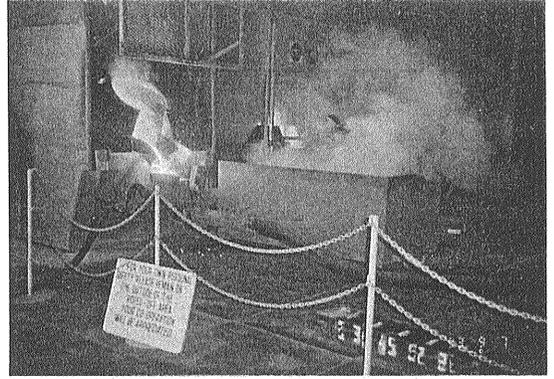


写真10 金銀沈澱物は脱水・焙焼後、ソーダ灰などを加えて溶解し地金を得る。

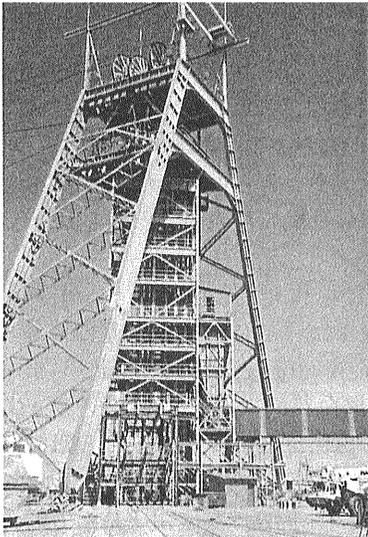


写真8 鉱石は立坑で巻上げられ、直結するベルトコンベアでクラッシュャー室へ運ばれる。

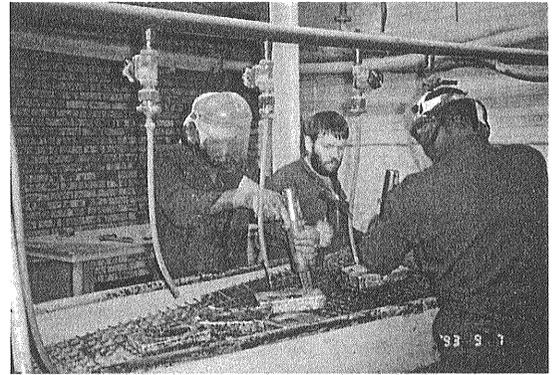


写真11 地金はハンドドリルで不純物などを取り除き、電気分解用に出荷される。

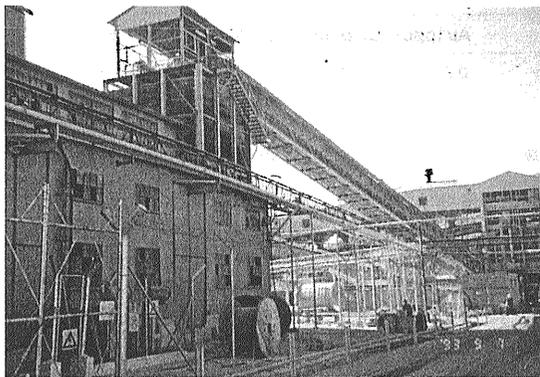


写真9 鉱石運搬システムと破碎施設。鉱石は粉末にし浮遊選鉱で黄鉄鉱を除去し、青化法で金・銀を溶解し、亜鉛粉末を加えて沈澱させる。



写真12 約30kgの金塊を抱えて緊張気味の豊地質標本館長。左後は鉱山の監視員。

よりもミグマタイト化期の年代を示していると考えられる。TKB2の花崗岩(28.80億年)も西ランド層の年代より若い、これも堆積岩との前後関係は解っていない。試錐1633の花崗岩は27.27億年であり、これはフェンダースドルプ層群の最下低火山岩類よりやや若く、盆地堆積作用の最末期に貫入したのと考えられる。この盆地南西域では堆積層が褶曲(一部逆転)しており、この花崗岩活動との関係も想定される。

花崗岩活動に引き続き熱水変質の時代を決定する事は、この熱水期にAu, Uが晶出した可能性があるので重要である。TKB2花崗岩はTA2トナル岩類に貫入し、トナル岩類は含ルチル熱水脈に切られるが、この熱水脈中のルチルは28.84億年を示し、これはTKB2花崗岩のモノズ石年代28.80億年と同じである。同様な一致性はOHF9試料のグライゼンと母岩との間にも見られる。

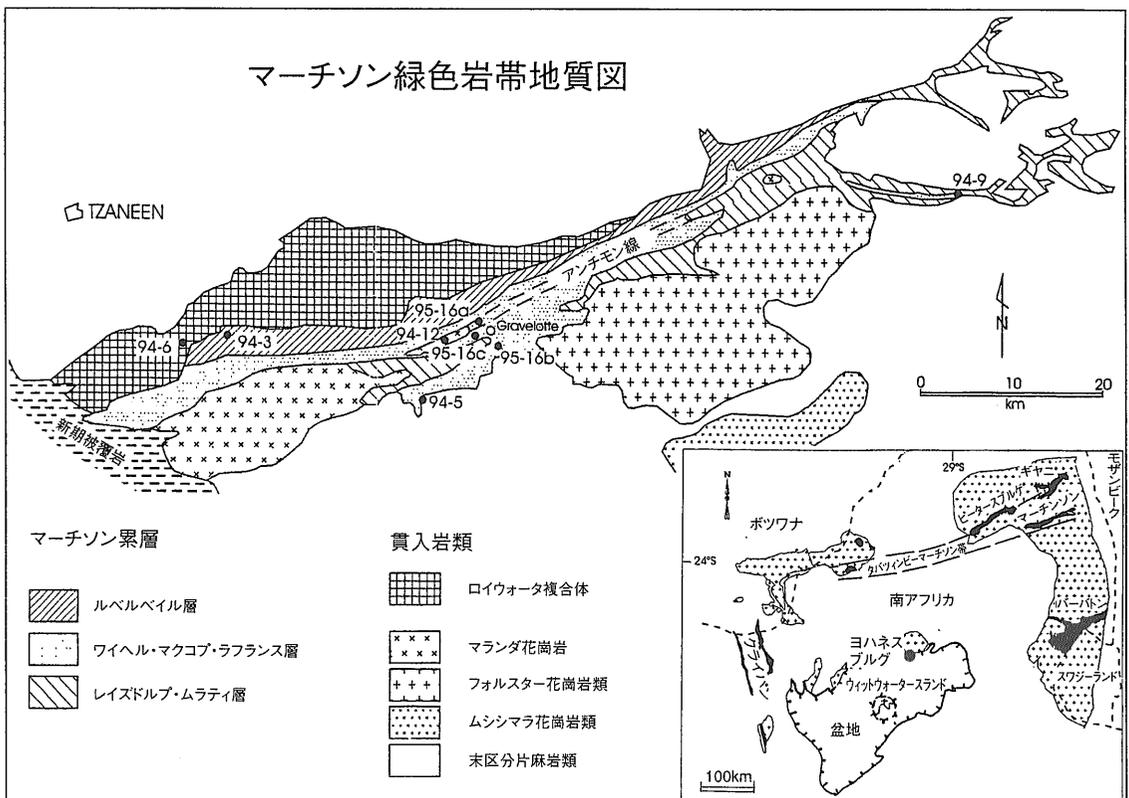
以上のように盆地西方の花崗岩類は時代的には盆地形成前か、堆積中の活動を示しており、根源岩としての資格がある。パーアルミナス花崗岩や低

Ca花崗岩などはU鉱化作用をもたらす確立は高いと考えられるが、金の起源としては熱水変質花崗岩の方が可能性が大きいであろう。現在見られる硫化鉱物脈は余りに小規模で、剝削花崗岩部分とその上位にあったであろう火山岩類中の鉱床をも砂金の起源として考慮することが必要である。

3. 北方起源の可能性

盆地の北北西方約200km離れたボツワナ国境から同国のガバロンにかけてはAタイプ花崗岩類と流紋岩類が分布しており、盆地堆積物の後背地として考察された(Moore et al., 1993)。

花崗岩類はガバロン花崗岩スイートと呼ばれ、ラパキビ組織を持つカリ長石を含む花崗岩、優白花崗岩、文象質微粒花崗岩、マッシフ型のアノーソサイトが少なくとも6,000km²にわたり露出する。同源噴出相であるカニエ層は一般にカリ長石斑晶を伴う塊状の流紋岩であり、時に角礫や流理構造を持つものを伴う。厚さは500~1,300mと推定され



第2図 マーチソン緑色岩帯の地質略図(Poujol et al., 1996).

る。花崗岩と流紋岩との間には微粒花崗岩が分布する。

花崗岩類の年代はRb-Sr法で22.90～26.85億年、ジルコンU-Pb法で28.30億年が報告されていたが、Moore *et al.* (1993) のジルコン精密測定によると花崗岩、文象質微粒花崗岩、流紋岩の3者共に27.83～27.85億年の短い時代に収まる。これは盆地の中央ランド層と同一年代であり、供給源であったとしても不思議ではない。鉍化作用としては花崗岩中に若干のPb, Au, Ag, Fを含む石英脈がある。

Wormald & Downey (1998)はこの花崗岩を、オーストラリアの巨大なオリンピック ダム鉍床を伴うAタイプ花崗岩と同様に捉え、それはリフト帯に沿って生成し、その一部はウィットウォーターズランド盆地北縁まで延びている可能性を指摘した。オリンピック ダム鉍床はAu, U共に高品位である(本号7-18頁参照)。更にこの花崗岩は放射性物質による大きな発熱量を持つため長時間熱源として存在し、その期間に循環した熱水は花崗岩のルーフであったであろうクライパン(Kraaipan)緑色岩類中に金鉍床を、花崗岩自体の頂部には閃ウラン鉍床を形成していた可能性が高いと発表した。

起源岩を更に北東方に求めれば、タバツィムピーマーチソン構造帯の緑色岩類が挙げられる(第2図の挿入図参照)。Poujoal *et al.* (1996)はマーチソン帯の構成岩類のジルコンのU-Pb年代決定を行い30.7～29.7億年の年代を得て、それがバーバトン緑色岩(34.5～32.5億年)より2億年も若いことを示すと同時に、中央ランド層よりやや古い年代であるから、後背地としての可能性を指摘した。

マーチソン緑色岩帯の西方延長部はカープバールクラトン西縁部に分布するクライパン(Kraaipan)-アマリア(Amalia)緑色岩帯と思われ、ここでは、小規模ではあるが、縞状鉄鉍層に付随する金鉍脈が知られている。またマーチソン帯のアンチモニー線(第2図)には、Sb-As-Au-Hg鉍床が多数分布しており、かつ自然金はHgに富む。ウィットウォーターズランド盆地の自然金にもHgが均一に含まれ、二次的な富化現象などは見られないから

(Von Gehlen, 1983), マーチソン緑色岩帯の金鉍床は有力な後背地とされている。

4. 結論

最近の研究からウィットウォーターズランド盆地の西および北方の基盤岩類に、年代的に後背地となりうる火成岩体が存在することが明らかとなってきた。起源物質としては、金は緑色岩類中の浅成熱水金鉍床、ウランはその直下のKに富むAタイプ花崗岩類と考えるのが現時点では妥当なようである。

謝辞：終りに現地における滞在と見学旅行にご尽力いただいたウィットウォーターズランド大学のロブ教授、アンホイザー教授に厚くお礼申し上げる。

文 献

- 小林孝男(1994)：ウィットウォーターズランド盆地の地質および金・ウラン鉍床。地質ニュース, no.479, 28-34.
- Moore, M., Davis, D.W., Robb, L.J., Jackson, M.C. and Grobler, D.F. (1993) : Archean rapakivi granite-anorthosite-rhyolite complex in the Witwatersrand basin hinterland, southern Africa. *Geology*, v. 21, 1,031-1,034.
- Poujoal, M., Robb, L.J., Respaut, J-P. and Anhaeusser, C.R. (1996) : 3.07-2.97 Ga greenstone belt formation in the northeastern Kaapvaal craton: Implications for the origin of the Witwatersrand basin. *Econ. Geol.*, v. 91, 1,455-1,461.
- Robb, L. J., Davis, D. W. and Kamo, S.L. (1990) : U-Pb ages on single detrital zircon grains from the Witwatersrand Basin, South Africa: Constraints on the age of sedimentation and on the evolution of granites adjacent to the basin. *Jour. Geology*. v. 98, 311-328.
- Robb, L. J., Davis, D. W., Kamo, S.L. and Meyer, F. M. (1992) : Ages of altered granites adjoining the Witwatersrand Basin with implication for the origin of gold and uranium. *Nature* v. 357, 677-680.
- Wormald, R. J. and Downey, W. S. (1998) : The Gabarine granite complex in Southeast Botswana as the source provenance. Abstract IAVCEI, Cape Town, p. 71.
- Von Gehlen, K. (1983) : Silver and mercury in single gold grains from the Witwatersrand and Barberton, South Africa. *Mineral. Deposita*, v. 18, 529-534.

ISHIHARA Shunso (1999) : Provenance of conglomerate gold from the Witwatersrand Basin, South Africa.

<受付：1999年1月27日>