

## オーストラリアのオリンピック ダム鉱床 -近代探査法の勝利-

石原 舜 三<sup>1)</sup>

### 1. まえがき

オーストラリアには奇妙な鉱床が幾つかある。奇妙とは環太平洋地域の造山帯で研究している私達にとって見慣れないタイプであり、また普通の鉱床学で教わらないタイプの鉱床である。これらはいずれも原生代の鉱床であり、これから紹介しようとする鉱床もその一つである。

オリンピック ダム鉱床は近年発見された潜頭鉱床の一つであり、古生層の下に埋没していた原生代の鉱床を発見したその経緯も興味深い。特異な性格を持ち巨大である点で注目に値する。その第一はCu鉱床(Cu2.4%)であるが、回収可能なU( $U_3O_8$  0.7%), Au-Ag (Au 0.6g/t, Ag 4.3g/t)が含まれる点である。第二点はその鉱化が、著しい角礫化と赤鉄鉱化に伴われる点である。これらの性質は、原生代の鉱床に接する機会がない我々には馴染みがなく特異に映る。

オリンピック ダム鉱床はアデレイドの北北西約

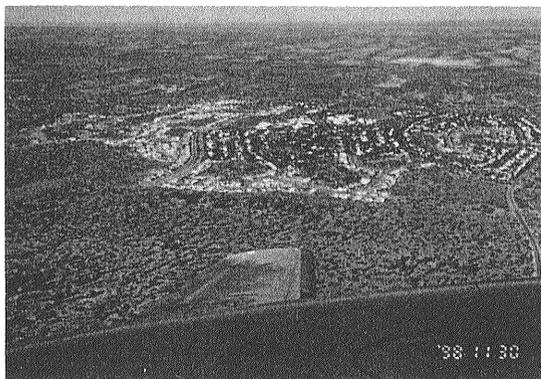


写真1 オリンピック ダム鉱山の居住区として建設されたロクスピ・ダウンズ。

527kmの平原にあり(写真1, 口絵参照), アデレイドからプロペラ機(サーブ340型, 33人乗り)が一日数便飛んでいる。飛行時間は66分, 飛行料金は往復で280オーストラリアドル, その距離に比して割高である。陸路は約6時間のドライブで到達する。鉱床の名前の由来はオリンピック ダムの近くにあるからであるが, そのダムはメルボルンのオリンピック年に完成したためにその様に名付けられたと聞く。これまでの主要な研究としてReeve *et al.* (1990), Oreske & Einaudi (1990, 1992), Haynes *et al.* (1995) などがある。

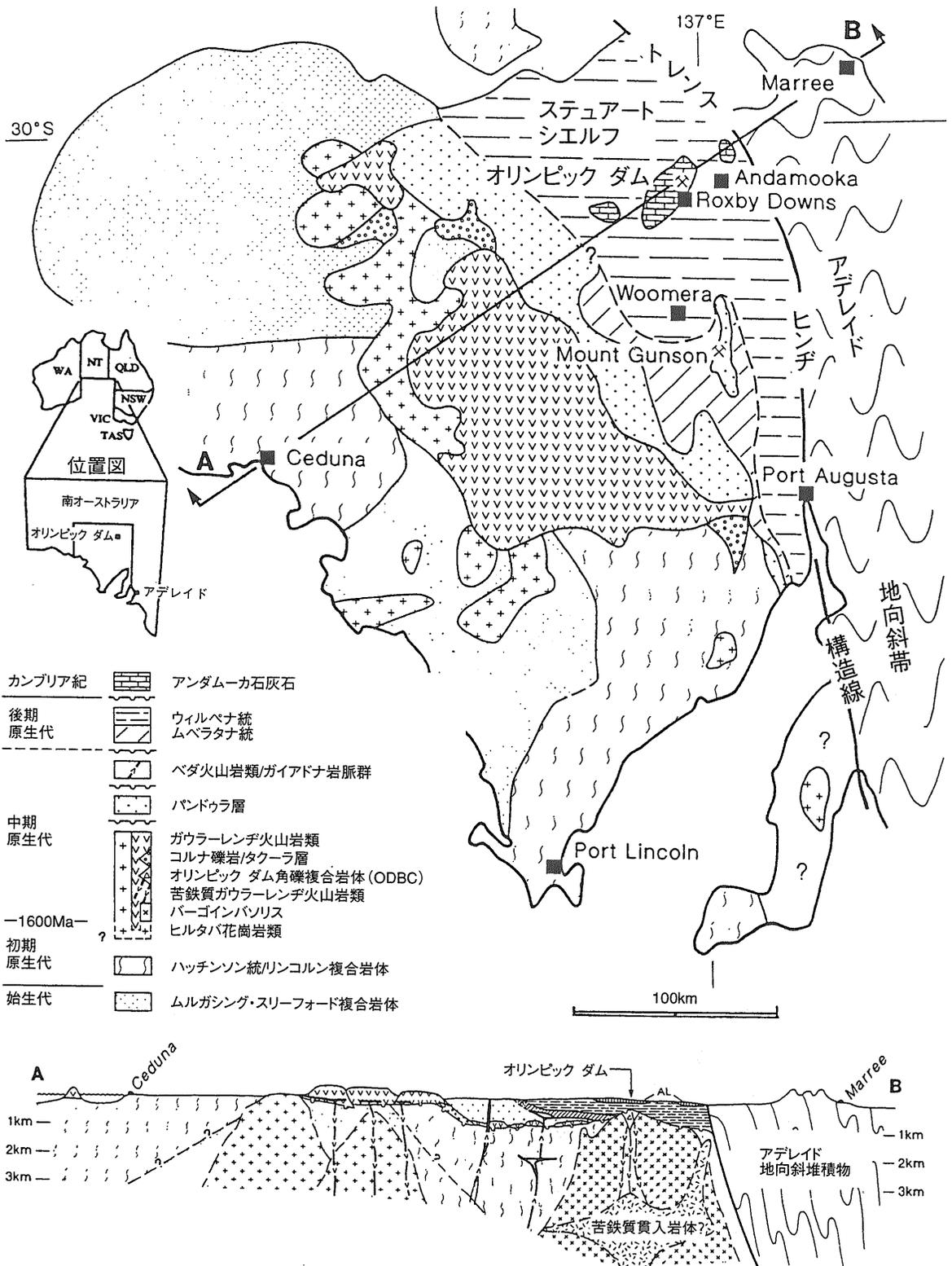
### 2. 広域地質

オリンピック ダム鉱床は原生代のガウラークラトンの周縁部に位置する(第1図)。このクラトンは始生代を基盤に持つ火山岩・花崗岩類複合体である。すなわち, ガウラークラトンの主要部は原生代初期の変形花崗岩類・堆積岩類であり, これらは原生代中期の珪長質・苦鉄質火山岩類とシルト岩によってほぼ水平に覆われる。これらを覆って原生代末期-カンブリア紀の大陸棚堆積物(これはスチュアートシェルフ地質区と呼ばれる)が広く分布する。最下位層は層厚600mのパントゥラ層, これは珪質, 珪長質の河成砂岩が主体で頁岩層を夾む。頁岩は14.2億年のRb-Sr年代を示す。

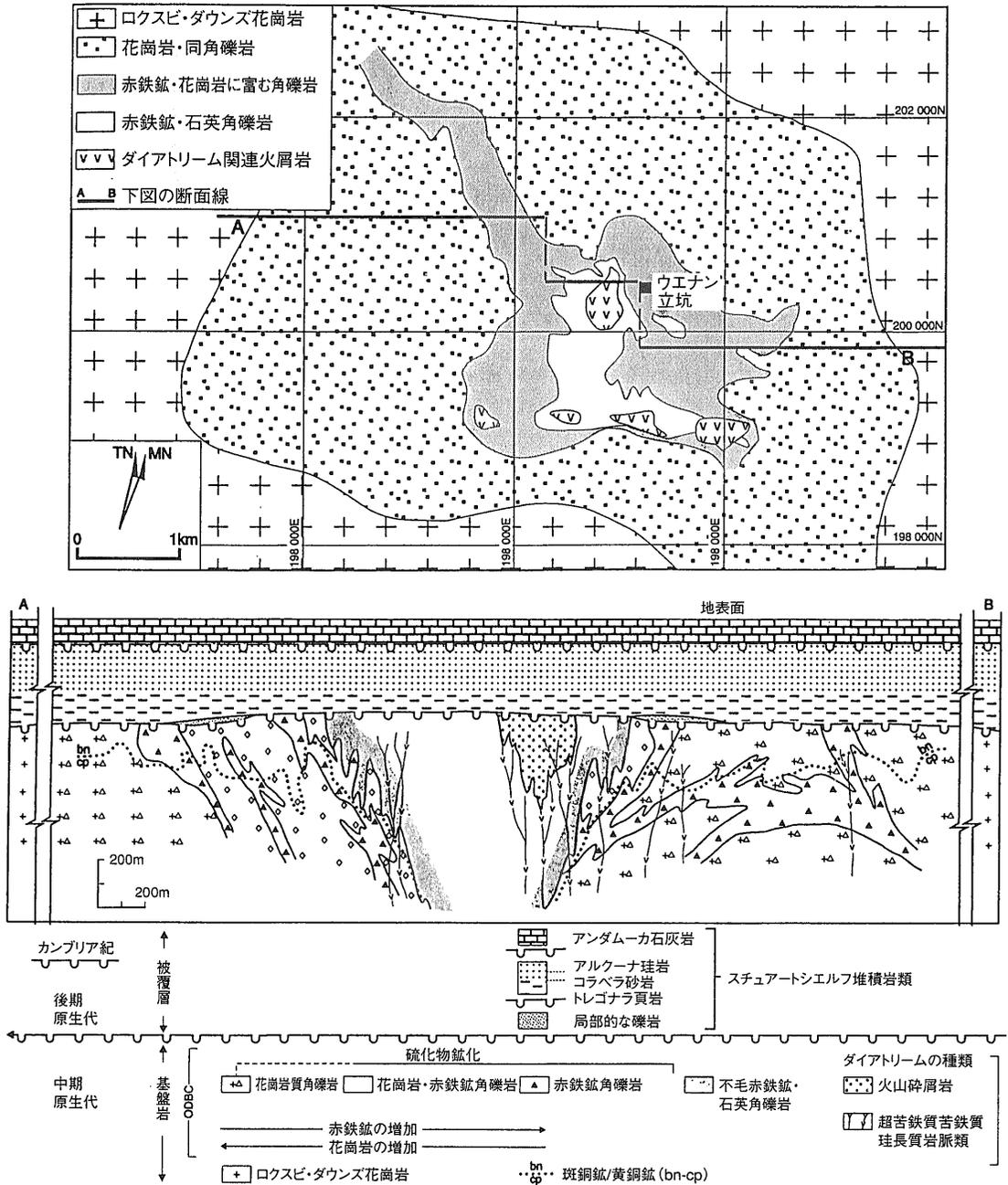
以上の諸岩石はバーコン バソリス(Hiltaba Super-suite相当)の貫入を受ける。このバソリスは2,400km<sup>2</sup>の分布を示し, 粗粒の石英モンゾ閃緑岩-花崗岩であり, Aタイプの特徴を有する。その活動の最末期は細粒花崗岩岩脈の貫入であり, 全体として15.8~16.0億年に形成されたものと思われ

1) 地質調査所 顧問

キーワード: オリンピック ダム, Aタイプ花崗岩, 角礫岩, ダイアトローム, 赤鉄鉱化, 銅硫化物, ピッチブレンド



第1図 オリンピック ダム鉱床付近の広域地質平面図と断面図 (Reeve et al., 1990).



第2図 オリニック ダム鉱床の模式平面図と東西断面図 (Haynes et al., 1995).

れる。鉱床はこのバソリスの一部であるロクスビ・ダウンス花崗岩の角礫部分に胎する(第2図)。

パーコン バソリスやヒルタバ花崗岩類は広域的に分布するガウラーレンジ火山岩類より後期ではあるが、同源と思われる。火山岩類は凝灰岩類が主体で、降下性凝灰岩や溶岩を伴う。組成的にはデ

イサイト、流紋デイサイト、流紋岩が卓越し、少量のソレアイト玄武岩、より少ない量のカリウム質安山岩も産出する。

これらの大量の珪長質岩類の存在から、マントルダイアピールまたは大陸地殻への底付け火成活動によって大量の地殻物質が溶融した成因が一般に

支持されており、地球物理的にも多量の苦鉄質岩が地殻下部に存在する事が支持されている。従ってこの時期のマグマ活動は大陸内リフティングによる火山深成活動と考えられる。

基盤とパンドゥラ層は北西-南東方向のガイアドナ岩脈群の貫入を受け、また岩脈の噴出相と思われる苦鉄質ベダ火山岩類に不整合に覆われる。それらを不整合にアデレイド地向斜の最下位層であるウムベラタナ統(主に頁岩、一部で珪質砂岩)、ウィルペナ統(主に頁岩類)が覆う。その上位は不整合関係でカンブリア紀のアンダムーカ石灰岩類である(第1図)。

ガウラークラトンとスチュワートシェルフはその東部でトレンスヒンジ断層帯に切断され、アデレイド地向斜堆積物と接する。この堆積物はスチュワートシェルフ堆積物よりはるかに厚く、かつ変形を受けている。

### 3. オリンピックダム鉱床の発見

オリンピックダム鉱床は1975年にウエスタンマイニング社(Western Mining Corporation, WMC)によって発見された(写真2)。同社の探査チームは堆積岩母岩の層準規制銅鉱床の形成モデル化を確立し、オーストラリア全域の探査に使用していた。このモデルは塩地下水の循環によって玄武岩中のCuが溶出し、それが還元的環境を見つけて堆積岩層準や割目に沈殿すると考えるものである。

具体的な指針は次のように立てられた。

- 1) 深部に銅の起源となる巨大な玄武岩類があること。この様な玄武岩は重力異常または磁力異常で発見できる。
- 2) 玄武岩類を覆う岩石は硫化物沈殿させるために必要な還元物質を含み、細粒で葉片構造を持つこと。例えば堆積盆周縁の堆積岩類:この盆地は潜在する基盤の高重力異常や磁力異常として現れるであろう。
- 3) 含銅鉱液には通路が必要で、それは断層そのほかの構造線として現れているであろう。

以上の条件に合う場所として南オーストラリア州のスチュワートシェルフ地域が選ばれた。しかしこの地域は地形が平坦で岩石の露出が悪いため(口



写真2 鉱床の発見記念碑。発見試錐孔RD1の位置にある。

絵参照)、精密探査が行われ、スチュワートシェルフ南部のルーペナ火山岩類が銅の起源岩として有望であると推定された。

この火山岩類はスチュワートシェルフに広く潜在し、それらを覆う堆積岩も鉱石鉱物の沈殿に好ましいものと推定された。この頃、広域空中磁気図と重力図が国によって完成し、印刷・公表された。対象地域には数カ所の磁力・重力異常が認められ、特にスチュワートシェルフ南方のガリソン山鉱徴地は正の磁気・重力異常を示すことがわかり、この探査モデルの適用を元気づけた。以上のデータに構造解析結果を加えオリンピックダムとその20km南西のアクロポリスが標的地として選ばれた。試錐孔決定のために補足的な磁気・地震探査が地上で行われた。

最初の試錐(RD1)は1975年6~7月に実施された。この試錐孔はほぼ予想通りに深度335mで、原生代後期~カンブリア紀の石灰岩と砂岩・頁岩層を補足したが、その下位に予想されたウムベラタナ統やルーペナ火山岩類には着孔せず、335mで著しい不整合面を挟んで変質赤鉄鉱化花崗岩に着孔した。そして深度353-391mの38m間で1.0%Cuが得られ、鏡下観察によって細粒鉱染状の輝銅鉱が確認された。

直ちにその近くで試錐がおろされ、同様な鉱化作用が認められた。1976年末までに10孔が掘削され、RD10で初めて経済性を持つ厚さ170mの鉱体(2.1% Cu, 0.6kg/t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)が得られた。引き続き試錐によって鉱床の輪郭が導き出された。



写真3 潜頭鉱床であるため採掘は全て坑内作業。3本の縦坑がある。

1979年中頃、WMC (51%)とBP (49%)のジョイントベンチャーが確立し、更なる探鉱と開発が進められた。1982年に深度500mの最初の立坑が完成し(写真3)、坑内開発の展開、坑内試錐・地質調査がスタートした。鉱石処理がパイロットプラントで1984～1985年に行われ、開山の決定が1985年12月になされた。最初の製品出荷は1988年6月であった。1996年6月～1997年5月の1年間の生産量はメタル量で銅75,400t、ウラン1,758t、金884kg、銀10.8tであった。1997年6月時の残存鉱量は第1表の通りである。

この様に、全ての鉱量を合わせるとメタル量として銅約3,000万t、ウラン約1,000万t、金1,000t以上、銀約7,000tの大鉱床である。



写真4 角礫化が最も弱い母岩。割目化花崗岩。サーベイス斜坑-350mL。

第1表 オリンピック ダム鉱床の1997年6月の鉱量。

	鉱量 (t)	Cu	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Au	Ag
Proved	8,200万t	2.4%	0.7%	0.6 g/t	4.3 g/t
Probable	48,400万t	2.0	0.6	0.7	5.0
合計鉱量	5.66億t	2.0	0.6	0.7	4.9
同メタル量		1,132万t	340万t	396t	2,773t
Indicated	122,000万t	1.1	0.4	0.4	2.5
Inferred	40,000万t	1.3	0.4	0.5	2.2
合計鉱量	16.2億t	1.1	0.4	0.4	2.4
同メタル量		1,782万t	648万t	648t	3,888t
全メタル量		2,914万t	988万t	1,044t	6,661t

#### 4. 鉱床の母岩

オリンピック ダム鉱床は、地表下約300mに潜在する角礫化したロクスビ・ダウンス花崗岩の中にある(写真4)。この角礫岩(Olympic Dam Complex, 略してODBC)は表面的にはやや北西に伸びた不規則形状をしており、中心部の一部にダイアトリームに関係した火山砕屑岩類が現れる。大局的には周縁が割目化・角礫化花崗岩であり、中心へ向けて角礫化が進み、赤鉄鉱に富むゾーニングが見られる(第3図)。

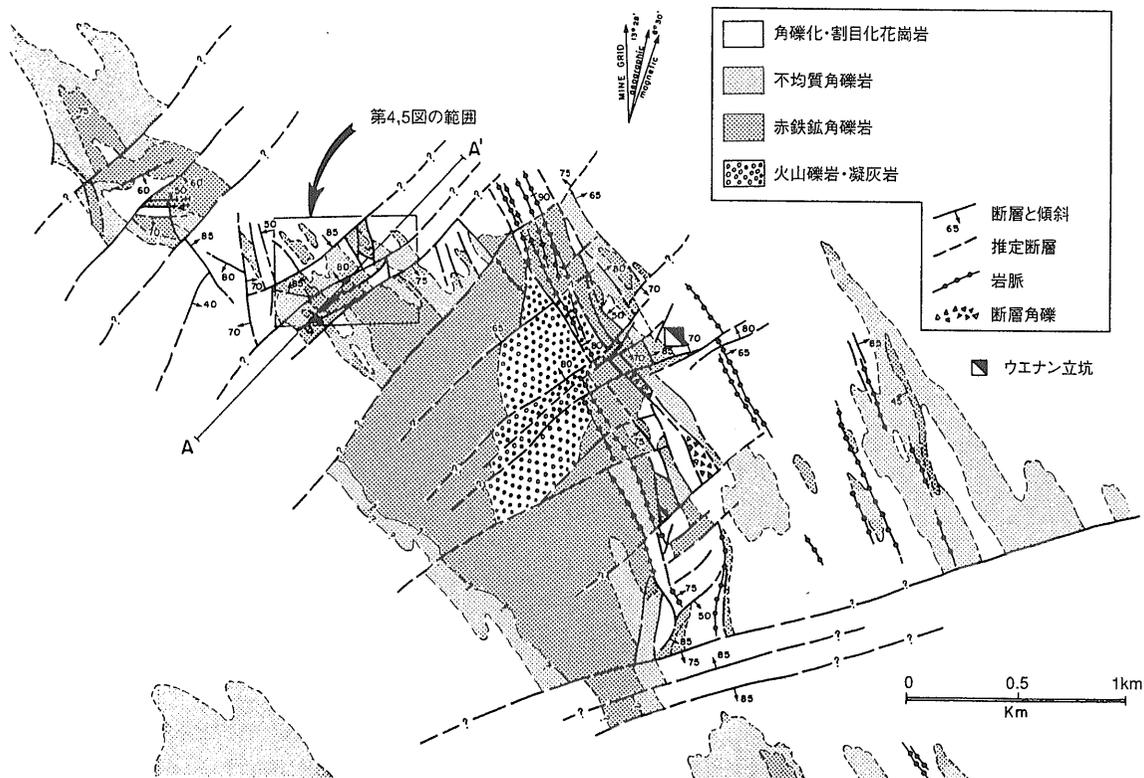
鉱床には北西-南東系と北東-南西系の構造線が明らかで、北西系は角礫化の伸び方向、岩脈の貫入方向、断層角礫帯などで示され、鉱化前か鉱化中の形成と思われる。一方、北東系は鉱化を部分的に規制するが、多くの場合に鉱体を切断しており、一部は鉱化前、主として鉱化後に活動したものと思われる。

鉱床母岩は花崗岩に富む角礫岩と赤鉄鉱に富む角礫岩とに大きく2分し得る(Reeve *et al.*, 1990)。ここではこれらを花崗岩質角礫岩と赤鉄鉱質角礫岩と略称する。

##### (1) 花崗岩質角礫岩

これは角礫化の程度と破碎岩片の移動量によって多様な組織を示す。角礫部分は割目か細脈を持つ赤色の花崗岩である。割目やジグザグ組織は変質や変形が弱い場合にはよく残存している。逆に破碎が著しく、マトリクス部分が上昇すると、岩片の原岩の識別が困難となる。

赤鉄鉱質角礫岩は鉱床母岩を構成するもので、次の3タイプに分けられる(Reeve *et al.*, 1990)。



第3図 オリンピック ダム 鉱床の鉱床地質図 (Oreskes & Einaudi, 1990).

(2) 赤鉄鉱-石英角礫岩

赤鉄鉱・石英・赤鉄鉱-石英の岩片が主に赤鉄鉱・石英から成るマトリクスに埋められたもの。これは主に角礫岩の中心に分布し、少量は他所にも存在する。マトリクスの石英量は40%にも達する。石英は花崗岩起源であるが、脈石英や珪化岩起源も一部では存在する。赤鉄鉱は岩片・マトリクス共に赤褐色粉状結晶から暗紫色赤鉄鉱が主体である。重晶石が鉱染状～細脈状に含まれ(2-5% Ba), 蛍石が少ないことを特徴とする。

(3) 赤鉄鉱角礫岩

これは角礫・マトリクス共に赤鉄鉱で特徴付けられるもので(口絵参照), 量的には3者の中で最も少ないが、特に北西部の銅高品位鉱の母岩である一方で、斑銅鉱-黄銅鉱境界面の下位では黄鉄鉱が豊富となり、銅品位は低下する。この角礫岩は含まれる赤鉄鉱の結晶性が良いために一般に灰～黒色の外観を呈する点で、ほかの2者との識別が可能である。

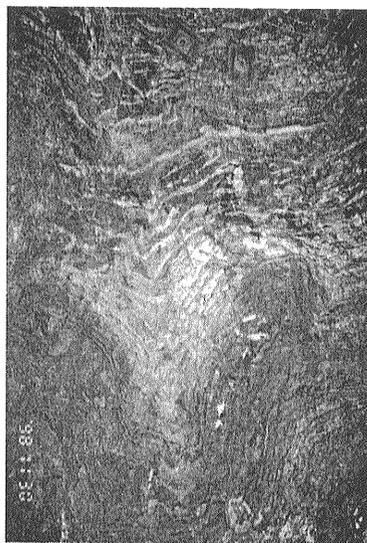


写真5 母岩には花崗岩のほか少量の珪長質火山岩類が含まれる。37Bドライブ-470mL.

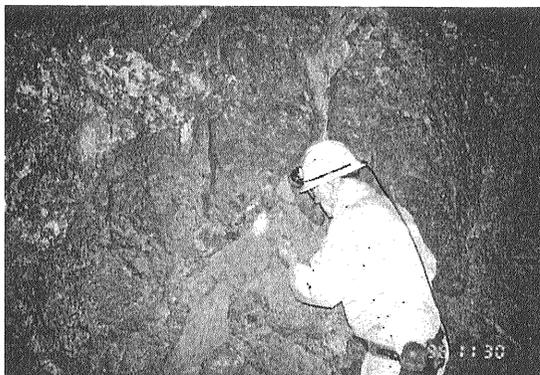


写真6 重晶石-赤鉄鉱鉱体（左）と赤鉄鉱鉱体との間に貫入する玄武岩質岩脈（現在は粘土化）。37Bドライブ-470mL。

#### (4) 赤鉄鉱質異質角礫岩 (Heterolithic hematitized breccia)

これは不均一な岩片と赤鉄鉱片が同質のマトリクスに埋められるものである。岩片の多様性からこの角礫岩は混合・移動が大きかったものと思われるが、岩片の主体は変質花崗岩起源である。この角礫岩は予想・推定鉱量の大部分を占める。

オリンピック ダム角礫複合体 (ODBC) には次の2岩体も存在する。

#### (5) 表成角礫岩

直径数十mに達する岩塊を含み、陸成或いは水中で噴火した火成岩類を持つ浅成の角礫岩が赤鉄質角礫岩中に知られている。この岩石は赤鉄鉱-石英角礫岩にも少し現れるが、ほかの角礫岩には殆ど見られない。この岩石は熱水変質角礫岩を伴い、それと本体との境界は急変するか漸移的である。

表成角礫岩は熱水変質角礫岩に由来する碎屑岩、すなわち、細粒で葉片構造を持つ赤鉄鉱-石英+絹雲母砂岩・シルト岩を含む。これは級化構造や微褶曲を示す。また稀には卓状の重晶石に富む層状砂岩岩片も見られる。これらの事実はこの表成角礫岩が地表近くの熱水噴気活動と密接に関連して生成した事を示している。

#### (6) 貫入岩と関連岩類

ODBCには苦鉄質-珪長質の変質貫入岩類が北西-南東方向に見られ、特に鉱体の中央、或いは南東部に卓越する(第3図)。これは岩脈、貫入自破碎岩脈、凝灰角礫岩様岩脈などとして産出し、一般に断層と密接に貫入する。またその分布はダ

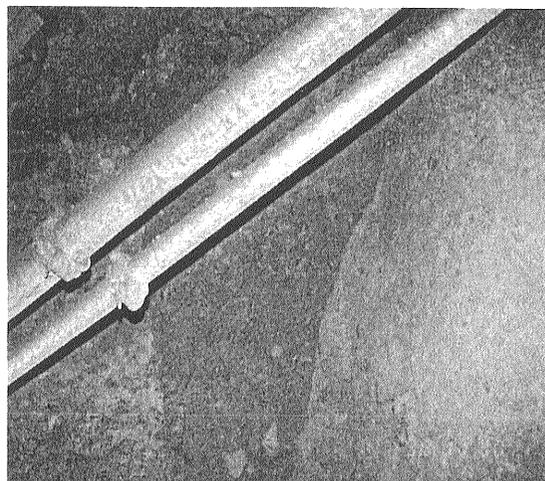


写真7 親子ダイアトリーム。第1期のダイアトリームに第2期のもの(中央黒灰色部)が貫入する。37斜坑クラッシャー室入口、-470mL。

イアトリームの分布域とも一致する。

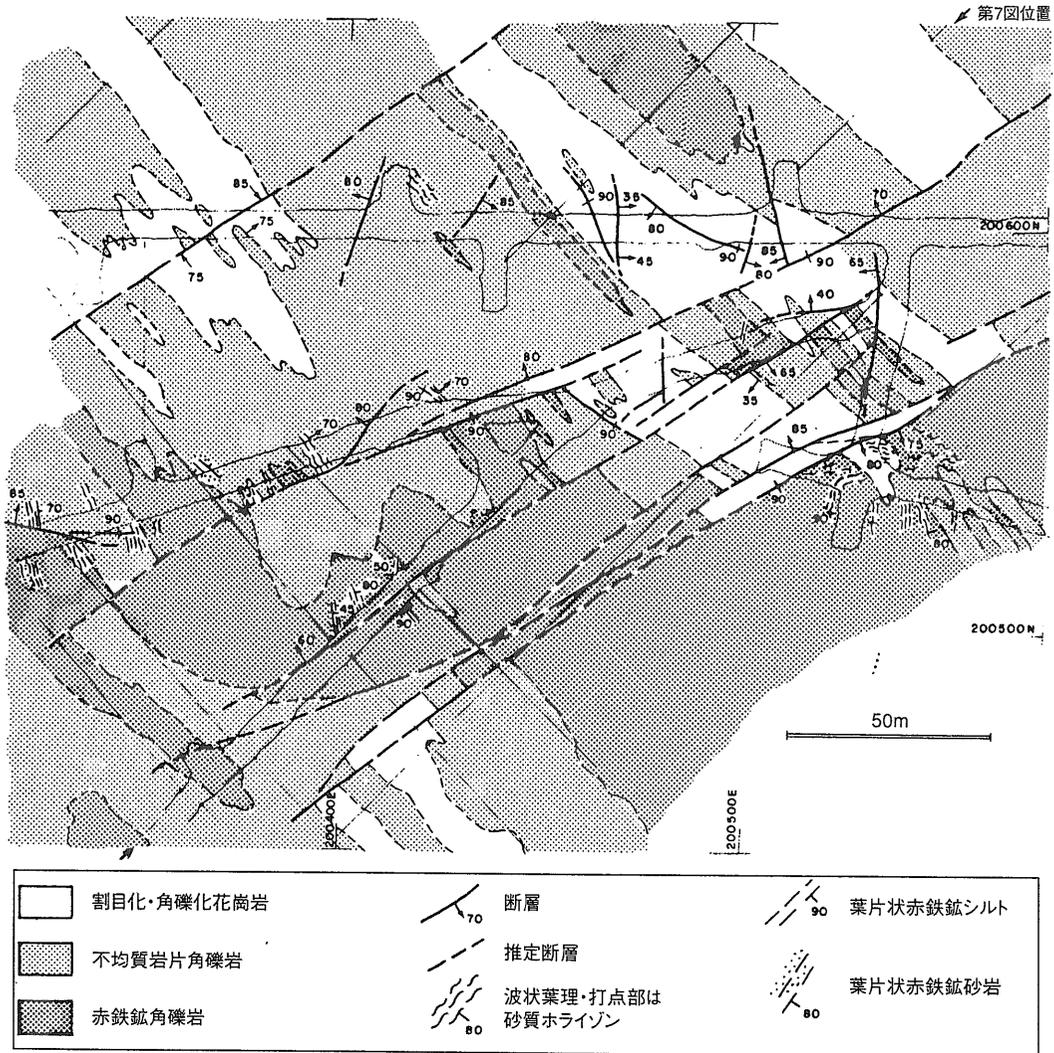
鉱体中心北部のダイアトリームは上部の不整合面直下では500×200m、海面下320mの主レベルでは200×100mの規模を持ち、上部では全く乱雑な火山碎屑岩であり(写真7)、主レベルでは何本かの角礫脈に分かれる(第2図下)。礫種は上部では火山性礫岩、ラピリ凝灰岩、降下性凝灰岩、赤鉄鉱-石英塊であり、これらは全体的に絹雲母化を、部分的に赤鉄鉱化を受けている。苦鉄質岩片もダイアトリームの周縁部や深部で見られ、その場合には近傍に苦鉄質岩脈が存在する。珪長質ダイアトリームはこれら貫入活動と密接な水蒸気爆発で生成した。

## 5. 変質と鉱化作用

オリンピック ダム鉱床の変質鉱物は基本的には絹雲母・赤鉄鉱・緑泥石・シリカ鉱物であり、少量の炭酸塩鉱物も産出する。

絹雲母化は鉱体全般に見られ、花崗岩質角礫の一部で特に著しい。赤鉄鉱化変質は鉱体中心に向けて強くなる傾向がある。緑泥石化変質は弱く全体に見られるほか、パッチ状に著しい部分がある。緑泥石は典型的には長石仮晶を交代して産出し、深部で卓越する傾向がある。

珪化は不規則形状に著しい部分があり、その好



第4図 オリンピック ダム鉱床北西部(第3図に位置あり)における地質構造図(Oreskes & Einaudi, 1990).

例は赤鉄鉱-石英角礫岩体の中心部である。炭酸塩鉱物化は全般に弱い。鉱体北東部の菱鉄鉱脈とその付近の岩片では顕著である。そのほか少量の重晶石・螢石、より少ない量の電気石などが脈状・そのほかの形状で産出する。

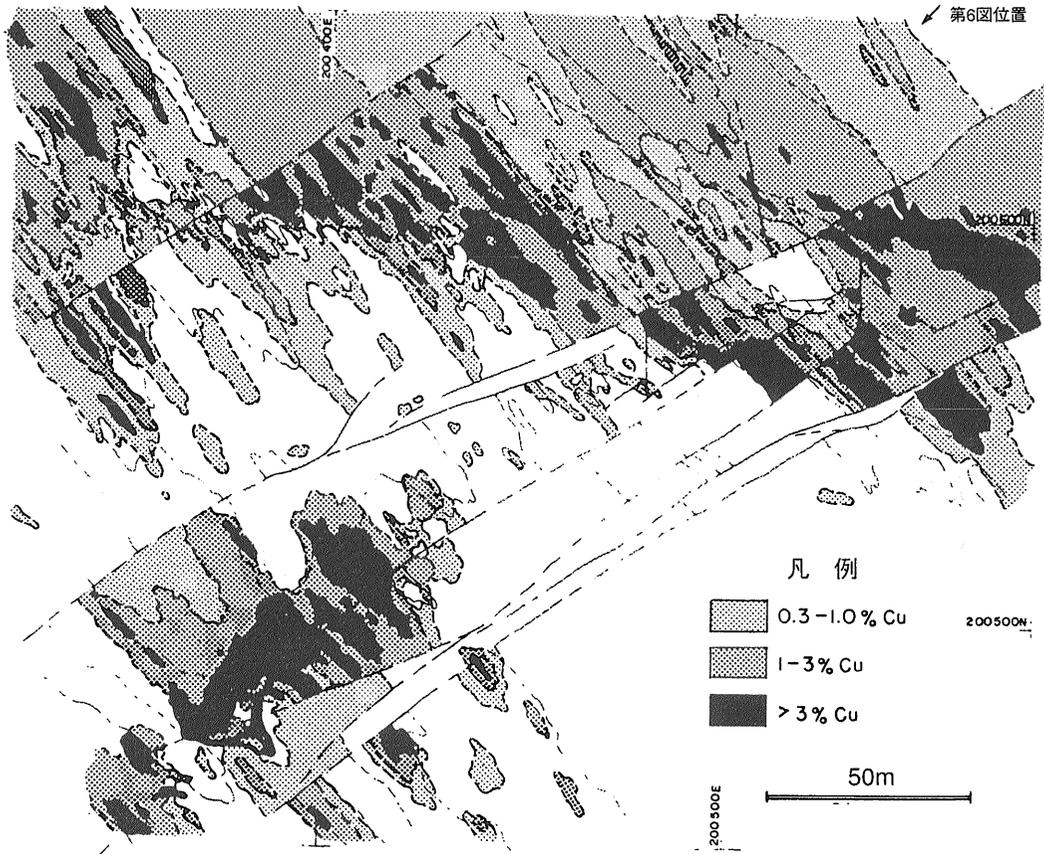
オリンピック ダム鉱床の鉱化作用はFe・Cu・U・Au・Ag・Ba・F・REE、特にLa・Ceの異常濃集を伴うものであるが、現在経済的に回収可能な成分はCu・U・Au・Agのみである。バックグラウンドレベルの0.5% Cu, 0.2 kg/t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, 0.5 g/t Au, 1 g/t Agは角礫化部分の全体にあるとみなして良いが、高品位部は特定部分に限られる。例えば、中心部の赤鉄鉱-石英角礫岩はCu-U鉱化を殆

ど欠くが、同周縁部にはAuが局部に濃集する。

全体的に見て稼行品位部は次の2タイプからなる。

(1) Cu-U(-Au-Ag) 鉱体：これは赤鉄鉱質角礫岩や赤鉄鉱角礫岩中に限られる。これは斑銅鉱-輝銅鉱鉱体と黄銅鉱体に分けられ、Uは両者で変わらないが、Agは前者で高く、Auは後者で高い傾向がある。

鉱体北西部(第3図参照)の母岩の岩質と銅品位との関係を第4、5図に示すが、銅品位は母岩の種類のほかにも構造要素によっても規制され、高品位部は北西-南東の角礫化方向に伸長する。また北東-南西系の断層は多くは鉱体を切るが、一部は



第5図 第4図と同一地区の銅品位分布図 (Oreskes & Einaudi, 1990).

富銅部の形成に参与したことが推定し得る。

(2) Au 銅体：これは前者の周辺で花崗岩か赤鉄銅に富む角礫岩中に産出する。

銅銅化作用は一般に銅染状、0.1~2.0mmの銅硫化物が母岩に散点するもので細脈状のものは少ない。塊状硫化物は非常に稀ではあるが、不規則ポッド(数十cm以下)またはクラスト状(1cm以下)に産する。

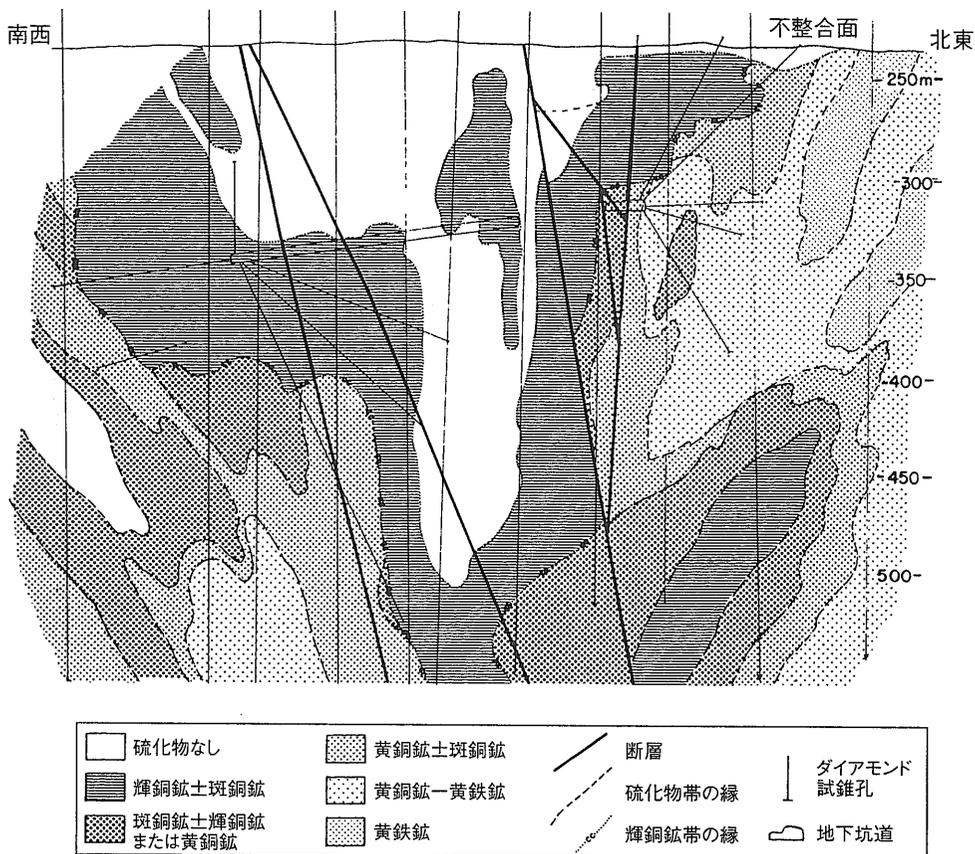
銅硫化物は基本的には黄銅銅・斑銅銅・輝銅銅であり、これらに少量のダイジェナイト、コペリン、自然銅、カロライト、roxbyite ( $Cu_{1.74-1.82}S$ , 少量のFe)が伴われる。これら硫化物は顕著なゾーニングを示し、黄銅銅・黄鉄銅などのSに富む銅物種は銅体の深部や周縁部に産出する傾向を示し、Sに乏しい斑銅銅・輝銅銅は銅体上部か中心部に分布する。この斑銅銅(+輝銅銅)銅体と黄銅銅銅体の境界は斑銅銅(+輝銅銅)-黄銅銅境界面 (bn-cp interface)と呼ばれており、極めて明瞭に境され

る。その形は大局的には立体的に上方に開いて漏斗状を成している(第2図下)。漏斗の深部と周辺に向かって黄鉄銅/黄銅銅比が上昇し、全硫化物量が減少する。

ウランは既述のように銅と一般には正の相関性を持つ。最高品位部は銅体北西部の斑銅銅-輝銅銅体中に10-15mの厚さで見られる。U銅物は微粒のピッチブレンドで銅染状か集合体として見られ、コロフォーム状や片殻状の産状も一般的である。粒状のコフィン石が一部でピッチブレンドに伴われ、プランネル銅や閃ウラン銅が産することもある。

金の産出は次の2タイプに分けられる。

- (1) Cu-U銅体に0.3~1.0g/tの品位で含まれるもので金品位とCu, U品位との間に相関性はないが、金は銅体中心部に近い銅-ウラン銅体で高品位である。金は銅銅物に伴われ、肉眼的には識別できない。



第6図 第5図の北東-南西断面線(矢印)における銅硫化物の垂直変化 (Oreskes & Einaudi, 1990).

(2) 銅-ウラン鉱体中の複雑形態の高品位鉱体。Au数g/tに達するもの。これは主に主要鉱体東部の赤鉄鉱-石英角礫帯近くの高珪化岩に見られる。ここでは後期の割目沿いにペンキ状に自然金が見られることがある。またほかの高品位部や赤鉄鉱-石英角礫帯近くの絹雲母・緑泥石・石英・重晶石を含む熱水変質岩に見られることもある。金は一般にはAg<3重量%、Cu<1重量%、Te<0.1重量%で純粋な自然金である。銀も銅硫化物に伴われる。

オリンピック ダム鉱床は軽希土類元素に富んでおり、Laは2,000ppm、Ceは3,000ppmに達する。希土類元素含有量は一般には赤鉄鉱化と比例する。赤鉄鉱-石英角礫岩の中心部では銅-ウラン鉱化を欠く代わりに、La、Ceが濃集する。また例外的に赤鉄鉱化が弱い絹雲母化花崗岩質角礫岩に富む場合がある。

バストネス石[(Ce, La)CO<sub>3</sub>(F, OH)]が最も一

般的な希土類含有鉱物であり、ほかに少量のフローレンサイト[CeAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>]、モナズ石、微量のゼノタイム、ノブリティ[Ce, Ca, Na)<sub>5</sub>(Si, P)O<sub>4</sub>](OH, F)などが産出する。

バストネス石は(1)赤鉄鉱と共生する、(2)花崗岩角礫岩の石英-絹雲母マトリクスに鉱染する、(3)石英-絹雲母脈に鉱染する、(4)斑銅鉱中の包有物、(5)葉片状重晶石の主包有物として産出する。

モナズ石は赤鉄鉱中の包有物、角礫マトリクスの石英-絹雲母と共生する、石英-絹雲母脈の鉱染結晶(<5ミクロン)の産状を呈する。フローレンサイトは赤鉄鉱とジルコンのリムを形成する。ゼノタイム、ノブリティ(?)はごく微量である(Oreskes & Einaudi, 1990)。

## 6. 成因的考察

オリンピック ダム鉱床は角礫岩の産状、熱水変



写真8 不整合面直下の鉱体。鉱石が角礫化している。  
サービス斜坑-350mL.

質、ダイアトリームの存在などから北西-南東方向の構造的弱線に沿って母岩の花崗岩に熱水性角礫化作用と赤鉄鉱化作用が生じ、その一環として銅・ウラン・金・銀などの鉱化作用が生じた事が明らかである。Reeve *et al.* (1990)はその熱水活動は非造山性のガウラー・レンジーヒルダバ火山深成

活動の末期の浅成火成活動の一環で生じたものと考えた。すなわち浅成貫入活動に伴う高温の還元的热水活動が母岩の角礫化をもたらし、更に低温の酸化的地表水と出会う事によって鉱石鉱物を沈殿せしめるとする。

これに対しOreskes & Einaudi (1990)はマグマ起源の熱水活動は認めるものの、鉱床の形成はガウラー・レンジーヒルダバ火成活動からかなり時間がたった(0.5~1.5億年)後であると主張した。

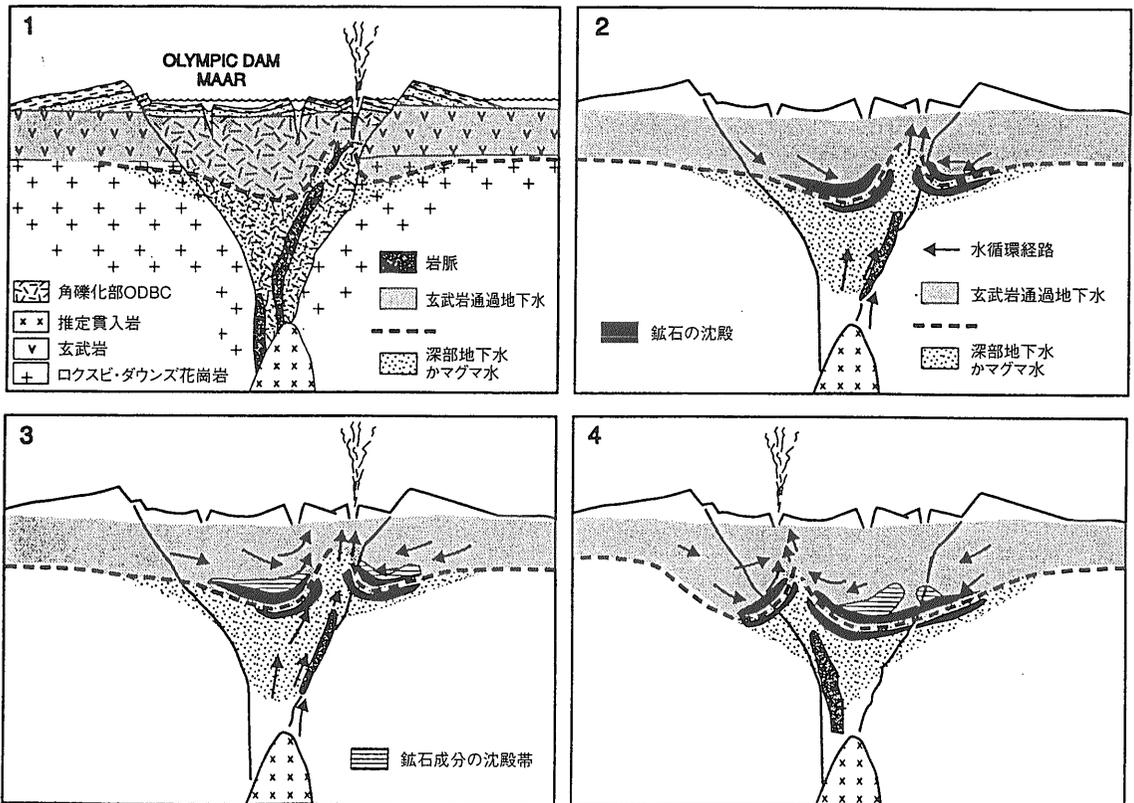
その後Johnson & Cross (1995)は鉱化に密接な岩脈類のジルコンのPb-U年代を求め次の結果を得た。

1,592 ± 8Ma : 自破砕珪長質岩脈。葉片状赤鉄鉱-石英砂岩を切るもの。

1,584 ± 20Ma : 自破砕珪長質岩脈。Cu-U黄鉄鉱-角礫岩を切るもの。

1,597 ± 8Ma : ダイアトリーム中の変形降下凝灰岩。鉱体中心で赤鉄鉱角礫岩を切るもの。

ロックスビー・ダウンズ花崗岩については既にジル



第7図 Haynes *et al.* (1995)による鉱床生成モデル。

コンU-Pb年代 $1,588 \pm 4 \text{ Ma}$ が与えられている (Creaser & Cooper, 1993). すなわち上記の4者はいずれも誤差の範囲で $1,590 \text{ Ma}$ 付近に一致することを示し, オリンピック ダム鉱化作用がガウラーレンジャーヒルタバ火山・深成岩活動の一環であるロクスビ・ダウンズ花崗岩活動の後火成作用によって生成したことが明らかである.

Oreskes & Einaudi (1992) は鉱液には少なくとも2つの起源を想定した. 一つは早期の多分マグマ起源の高温熱水であり, これは比較的 $^{18}\text{O}$ に富み ( $\delta^{18}\text{O} = 10\%$ ),  $400^\circ\text{C}$ 付近で磁鉄鉱を黄鉄鉱・菱鉄鉱と共に沈殿せしめたが, 銅鉱化には重要ではなかった. 後期の赤鉄鉱化をもたらしした鉱液は銅・ウラン鉱化をもたらししており, 重要であるが, これは $\delta^{18}\text{O}$ が小さい ( $< 9\%$ ), 主に古海水・地下水を含めた地表水起源であると予想された. 流体包有物の均質化温度は大きくばらつく ( $360\text{--}100^\circ\text{C}$ ) が,  $180\text{--}190^\circ\text{C}$ 付近に集中する. 塩濃度も幅広く, 2相包有物で7-24重量% NaCl相, 岩塩に飽和した3相包有物では42重量%に達する.

Haynes *et al.* (1995) はこの鉱床の構成鉱物の晶出順序を次の3時期に大別した.

**第I期** (最早期. 部分的に鉱液の沸騰あり): 磁鉄鉱+赤鉄鉱, 緑泥石, 絹雲母, 菱鉄鉱, 黄鉄鉱-黄銅鉱, ピッチブレンド.

**第II期**: 上記を完全または部分的に交代するもの (鉱液の沸騰なし). 赤鉄鉱, 絹雲母, 輝銅鉱, 斑銅鉱, ピッチブレンド, 重晶石, 螢石, 緑泥石.

**第III期**: 空隙に富み晶洞質, または塊状の赤鉄鉱, 粒状石英, 重晶石脈, 所によっては著しい珪化を伴う (鉱液の沸騰なし).

Haynes *et al.* (1995) は角礫岩の産状からこの鉱床はガウラーレンジャーヒルタバ火山活動の一環である角礫化, 岩脈貫入などが塩湖 (playa) に近い地表付近で生じ, 高温のマグマ水と地表からの濃塩地下水が比較的酸化的な $\text{MnO}_2\text{--Mn}_2\text{O}_3$ 安定領域下でミキシングすることで鉱石鉱物の沈殿したとするモデル (第7図) を提案した.

元素の起源はCu, U, Au, Sの多くが塩地下水により玄武岩・花崗岩などの母岩から抽出され,

Feの多く, F, Ba,  $\text{CO}_2$ が潜在マグマから上昇したものと考えられた.

第I期の磁鉄鉱-赤鉄鉱-硫化物-閃ウラン鉱の生成は鉱液の硫酸塩の還元と $\text{Fe}^{2+}$ の酸化によって生じたもので, 更に赤鉄鉱の晶出に伴うpHの低下が絹雲母-緑泥石ハロを花崗岩中にもたらした. 塩地下水は下降する段階で玄武岩からCuを, 珪長質岩からUを抽出した. 閃亜鉛鉱・方鉛鉱がほぼ欠如している事実は還元硫黄種が少なく, またこれら鉱物の安定領域が銅硫化物より狭いためによるものと考えられる. また起源岩が主に玄武岩であったことは鉛の欠如をもたらしただろう.

第II期の鉱物は第I期の晶出に引き続くミキシングがより低温で酸化的還元で生じたものと考えられた.

謝辞: 現地案内の労をとられた, ANUのチャペル教授に深謝する.

#### 文 献

- Creaser, R.A. and Cooper, J.A. (1993): U-Pb geochronology of Middle Proterozoic felsic magmatism surrounding the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag and Moonta Cu-Au-Ag deposits, South Australia. *Econ. Geol.*, v. 88, 186-197.
- Haynes, D.W., Cross, K.C., Bills, R.T. and Reed, M.H. (1995): Olympic Dam ore genesis: A fluid-mixing model. *Econ. Geol.*, v. 90, 281-307.
- Johnston, J.P. and Cross, K.C. (1995): U-Pb geochronological constraints on the genesis of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia. *Econ. Geol.*, v. 90, 1046-1063.
- Oreskes, N. and Einaudi, M.T. (1990): Origin of rare earth element-enriched hematite breccias at the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, Roxby Downs, South Australia. *Econ. Geol.* v. 85, 1-28.
- Oreskes, N. and Einaudi, M.T. (1992): Origin of hydrothermal fluids at Olympic Dam: Preliminary results from fluid inclusions and stable isotopes. *Econ. Geol.*, v. 87, p.64-90.
- Reeve, J. S., Cross, K.C., Smith, R.N. and Oreskes, N. (1990): Olympic Dam copper-uranium-gold-silver deposit. In Hughes, F.E. edit., *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea. 1009-1035*, Aust. Inst. Mining Metal., Melbourne.

ISHIHARA Shunso (1999): The Olympic Dam deposit - Rewarding of modern exploration technology based on genetic modeling.

< 受付: 1999年2月12日 >