

# オーストラリアの鉄鉱石資源の現状と将来

## Present State and Outlook of Australian Iron Ore Resources

稲 角 忠 弘\*

Tadahiro Inazumi

### 1. はじめに

豪州はブラジルとならんで世界の鉄鉱石貿易の2大拠点のひとつである。1995年には世界貿易量の1/3にあたる年間1億3千万tを輸出している。その内の6千万tを日本は購入し、この量は日本の鉄鉱石総輸入量の半分に相当し、豪州は日本にとって極めて重要な鉄鉱石供給国である<sup>1)</sup>。ところが、この豪州の鉄鉱石資源は、開発の緒口となった1960年の輸出解禁まではその埋蔵量については詳しく知られていなかった。1955年発行の国連の世界鉄鉱石資源統計<sup>2)</sup>によると同国の高品位鉄鉱石埋蔵量はわずか5億tと推定されており、豪州連邦政府も当時は将来の自国内消費のための備蓄を考えて輸出に慎重な姿勢を示していたようである。それが、解禁になって探鉱、開発が進むにつれ、西豪州内陸部に鉄分55%以上の高鉄分鉱石が300億t以上も埋蔵していることがわかり、積極的に大規模な鉱山開発が進められ、大量輸送を可能とする鉄道および大型船用港湾設備の建設がされ、わずかこの30年の間に世界最大級の鉄鉱石輸出国に躍進したのである。

鉄鉱石の価格にしめる海上輸送費の比重は高いので、豪州は日本にとっては近距離で有利な位置にあり、また高度成長期にあった日本鉄鋼業の大量生産をまかなえるだけの大規模な資源であるという好条件から、開発にあたり日本は最大のパートナーとなって、長期契約方式、使用技術研究等で積極的に支援し、高効率の大量生産・輸出体制構築に協力してきた。

近年、世界の鉄鉱石貿易量は年々増加し、1994年には年4億tを越え、さらに拡大の方向にある<sup>1)</sup>。特に中国、韓国、台湾等のアジア地区での鉄鋼生産は急増しており、その原料供給元として地理的に近い豪州への依存が強く、豪州はこれに応え一層の生産拡張を進

めている。

一方、輸出解禁以来の総出荷量は30億tを越え、開発当初から採掘されてきた高鉄分低燐の高品位赤鉄鉱鉱山の大鉱量も、供給増余力が無くなりつつある。これに対し、最近では、周辺の中規模の赤鉄鉱鉱床群（衛星鉱床と呼ばれている）や褐鉄鉱系鉱床の開発を進め、基幹鉱山の延命をはかりつつ、増産体制を整えつつある。また、もう一方では、今後東南アジアで新規需要が予想される電炉用還元鉄の供給についても意欲的に取り組んでおり、同国の鉄石を還元して、付加価値をつけて輸出する計画が積極的に進められている。

### 2. 豪州鉄鉱石資源の分布と生産地

#### 2.1 豪州鉄鉱床の種類

鉄鉱床は豪州の各州にわたって広く分布しているが、なかでも鉄鉱石輸出の供給源となる大規模な資源は西豪州に集中している（図-1）。西豪州鉄鉱床の主要なものはスペリオール湖型（Lake Superior Type）鉱床<sup>2)</sup>に属する先カンブリア紀（Precambrian）の層状鉄鉱床であるが、さらに同地区には第3紀に生成した層状の豆状褐鉄鉱（Pisolite Type Limonite Ore）鉱床<sup>2)</sup>がある。地質構造区分で見ると、豪州の西半分は楯状地（Australian Shield）で構成されており、その内部および周縁に鉄鉱床が分布し、一部南豪州までその拡がりをみせている。

西豪州以外の地で、他に輸出源となる規模の鉱床としては、塊状鉄床の交代鉄床<sup>2)</sup>、岩漿分化鉄床<sup>2)</sup>がタスマニア（Tasmania）州に存在する。その他菱鉄鉱床<sup>2)</sup>なども存在する。これら豪州全体にわたる鉄鉱床の分布についての詳細は賀川らが解説<sup>3)</sup>しており、国連調査統計<sup>2)</sup>と併せて参照されたい。

#### 2.2 豪州鉄鉱床の分布と鉱山の現状

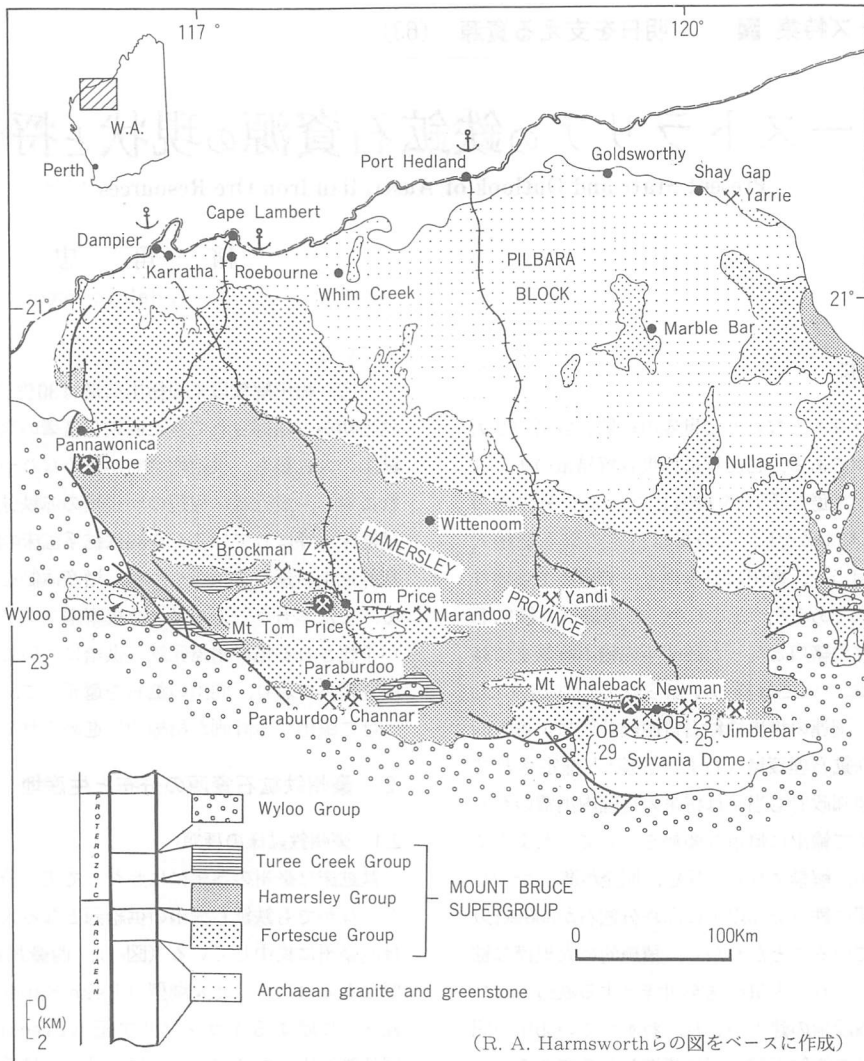
##### (1) 西豪州原生代層中の鉄床<sup>2)</sup>

##### 1) ハマースレイ鉄鉱層地帯の鉄床群<sup>3) 6)</sup>

西豪州中部のやや北寄りの地区はハマースレイ鉄鉱

\* 海外製鉄原料委員会 事務局長

〒100 東京都千代田区大手町1-6-1 大手町ビル235号



(R. A. Harmsworthらの図をベースに作成)

⊗ 基幹鉱山 ⊕ 衛星鉱床 ⚓ 積出港 ● 市街

図-1 西豪州ハmersレイ鉄鉱層地帯の地質構造と主要鉱山の位置

表 1 豪州鉄鉱石資源

	埋蔵量 (既探掘量)	結晶水	製品紹介				現在稼行中の鉱山<1995年産出量>
			T. Fe	SiO2	Al2O3	P	
低磷緻密質赤鉄鉱 (ブロックマン鉄鉱累層および原生代層)	数+億 t (約27億 t)	< 3%	塊63~66 粉62~65	3~5 4~6	0.9~1.5 1.3~2.6	0.03~0.06 0.04~0.07	Mt. Tom Price (main) +Paraburdoo+Channer +Brockman No. 2<37mt>, Mt. Whaleback (main) +Ore Body 23, 25+Jimplebar<34mt*>, Yarrrie <7 mt>, Koolyanobbing+Cockatoo<1 mt>, Whyall<3 mt>
高磷ブロックマン鉄石	190億 t-A (-)	3~5%					未開発
マラマンバ 褐鉄鉱系赤鉄鉱	88億 t (約1億 t)	5~7%	粉61~63	2~3	1.7~2.3	0.02~0.03	Robe River<25mt>, Yandicoogina<15mt>
ピソライト・タイプ の褐鉄鉱鉄石	80億 t (約4億 t)	8~10%	粉57~60	4~6	0.9~2.8	0.03~0.05	Marandoo<10mt>, Ore Body 29<several mt>

注: 埋蔵量は鉄分>55%の鉱石量

注: 高磷ブロックマン鉄石の埋蔵量のAは低磷ブロックマン鉄石量

注: \*の産出量にはOB29の産出量<sup>o</sup>を含む

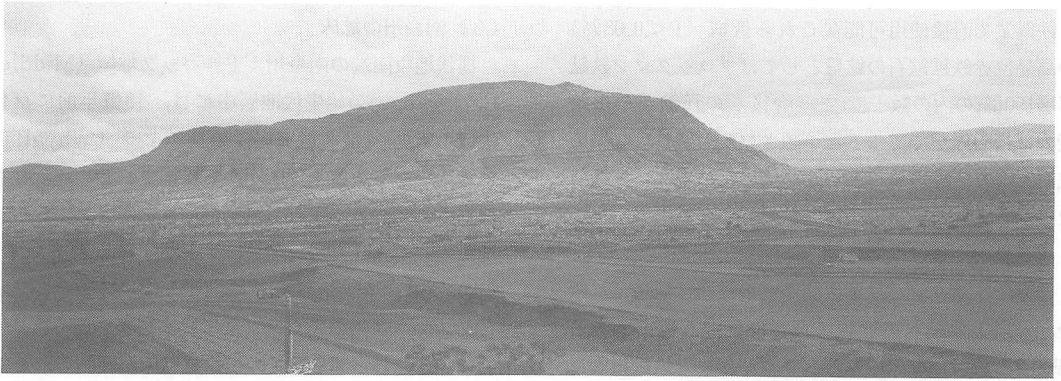


写真1 縞状鉄鉱層の遠景(新日鐵齊藤元治氏提供)ブロックマン鉄鉱累層が山の中腹に黒色帯状に観察できる。手前はマラマンバ鉄鉱累層の鉱床を採掘中のマランドウ鉱山。

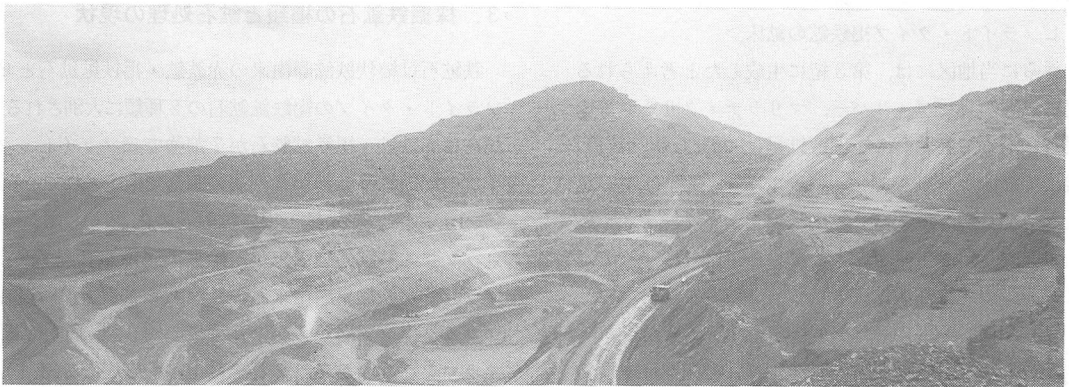


写真2 トムプライス鉱山の採掘状況(鉱床:長さ6km, 幅最大1.6km平均0.6km)

層地帯(Hamersley Iron Province)と呼ばれ、ハマスレイ層群などの原生代の地層が広く分布し(図-1)、ほぼ東西を軸とする褶曲構造中にハマスレイ鉄鉱床を胚胎する。

#### <埋蔵量>

当地区には、鉄鉱石の原岩である縞状鉄鉱層(写真1)が長さ480km, 最大幅200km, 広さ60,000km<sup>2</sup>の範囲にわたって分布しており、原岩の鉄含有量は25~35%あり、これはアメリカのタコナイト鉄鉱石の品位に相当し、そのような意味の原岩を含めた鉱量は6.4兆tもあると見積もられている<sup>4)</sup>。縞状鉄鉱層を含むハマスレイ層群(Group)には、5つの鉄鉱累層(Iron Ore Formation)が含まれており、その中のブロックマン鉄鉱累層(原岩厚さ620m)とマラマンバ鉄鉱累層(原岩厚さ230m)には、縞状鉄鉱層が富化作用を強く受けて鉄分55%以上に富化し、鉱床を形成しているところがある<sup>5)</sup>。探査の結果、1977年時点での当地区の鉄品位55%以上の鉄鉱石の埋蔵鉱量は、ブロックマン鉄鉱累層に191億t, マラマンバ鉄鉱累層に88億

t以上あり、さらに第3紀生成のピソライト・タイプの鉄床80億tがあり、総計300億tを越える埋蔵量が報告されている<sup>4) 5)</sup>。

#### <ブロックマン鉄鉱累層の鉄床>

1960年代の輸出解禁直後に、ブロックマン鉄鉱累層から、鉄床の規模が埋蔵量10億t以上と超大級で、しかも鉄分63~65%、燐0.06%の高品位赤鉄鉱が産出する大鉄床がトム・プライス山(Mt. Tom Price写真2)とホイールバック山(Mt. Whaleback)に発見され、これが基幹鉄床となって今日まで鉄鉱石供給のベースとなってきた。18億年前に富化生成したと推定されている。しかしこのように恵まれた高品位鉄鉱石の大規模鉄床はその後発見されておらず、最近ではその周辺に散在する埋蔵量1億t内外の規模の衛星鉄床および転石(Scree)鉄床が開発され、基幹鉄山の鉄石とあわせて出荷されている。衛星鉄山としてパラバドゥー、チャナー(両鉄山は現在基幹鉄山に並ぶ生産量を出荷)、オアーボディ23, 同25, ジンブルバー、ブロックマンNo. 2などの鉄山が稼行中である(図-1)。

鉄鋼業で直接使用可能なこれら低磷 ( $P < 0.08\%$ ) の高品位赤鉄鉱鉄石の鉱量としてはブロックマン鉄鉱累層190億tの内の数十億tで、今後この種鉄石の供給能力には限界がでてくると予想される。残りは高磷の鉄石となり、埋蔵量は多いが高磷のため現在は採掘対象となっていない(表1)。

#### ＜マラマンバ鉄鉱累層の鉄床＞

一方、マラマンバ鉄鉱累層からの鉄石は低磷で、鉄分55%以上の鉄石の埋蔵量は88億tと豊富である(表1)。一般に鉄床の厚みがブロックマン鉄鉱累層にくらべ薄くて、鉄床も中規模となり鉱量は億t規模で賦存している。現在、マランドウ鉄山、ニューマン鉄床のオアーボデイ29で採掘されている(図-1)。

#### ＜ピソライト・タイプ褐鉄鉱の鉄床＞

さらに当地区には、第3紀に生成したと考えられる褐鉄鉱層がロープ・リバー、マリラナ・クリーク等の溪谷に沿って胚胎し、総埋蔵量は80億tあり、数億t規模で鉄床が分布している(表1)。現在稼行中の鉄山としてロープ・リバー鉄山、ヤンデイクーティナ鉄山があり、年々生産が拡大している(図-1)。

### 2) 西豪州北東部の鉄床

西豪州北東部のキンバレイ台地(kimberley Plateau)を囲む原生代の地層中に、数千万t規模の赤鉄鉱系の鉄床がある。1951年から豪州の国内消費と一部輸出用に採掘されてきたヤンピーサウンド(Yampi Sound)鉄山がある。現在もコッカトウ(Cockatoo)島で小規模な採掘が続けられている。

#### (2) 西豪州の始生代層中の鉄床

##### 1) 西豪州西北部地方の鉄床

西豪州西北部地方の花崗岩、片麻岩のドームを取り巻く始生代中に、ゴールズワージー(Mt.Golsworthy)鉄山を主体とする1億t規模の鉄床がある。ゴールズワージー鉄山は対日出荷が本格化した最初の大規模鉄山であり、現在までにその衛星鉄山のシェーギャップ(Shay Gap)鉄山などを含めて約1.5億tを採掘して終掘し、現在はその東寄りのヤーリー(Yarrie)鉄山で18億年前に富化生成した鉄床を採掘中である。

##### 2) 西豪州西南部の鉄床

西豪州西南部に広く発達した始生代の地層中に、小規模の赤鉄鉱系の鉄床が多数分布する。古くから採掘されている所で一時鉄山は閉山したが、1994年に中国への輸出向けにクーリヤノビング(Koolyanobbing)鉄山が再開発された。

### (3) 南豪州の鉄床

楯状地東南端の南豪州ミドルバック地域(Middle Back range)の始生代地層中には、18億年前に富化生成した埋蔵量2億t規模のワイアラ(Whyalla)鉄床がある。古く1900年から採掘され始め、現在も採掘されており、主として国内向けに使用されている。塊鉄石、焼結粉のほかペレットが生産されている。

### (4) タスマニア州の鉄床

タスマニア州の先カンブリア紀堆積岩を貫く塩基性岩の中に、埋蔵量2億tの磁鉄鉱鉄床が胚胎し、そこにはサベージリバー(Savage River)鉄山がある。その他小赤鉄床なども存在する。

## 3. 採掘鉄鉱石の種類と鉄石処理の現状

鉄鉱石は縞状鉄層由来の赤鉄鉱・褐鉄鉱鉄石とピソライト・タイプの褐鉄鉱鉄石の2種類に大別される。現在は赤鉄鉱・褐鉄鉱鉄石が7割強でピソライト・タイプの褐鉄鉱鉄石が3割弱の割合で生産されている。(表1)さらに赤鉄鉱・褐鉄鉱鉄石の内訳として、ブロックマン鉄鉱累層由来か、始生代層由来の鉄石か、マラマンバ鉄鉱累層由来かの差がある(既述)。現在ブロックマン累層からが全採掘量の約8割、原生代層、マラマンバ累層からはそれぞれ1割程度である(表1)。

### 3.1 縞状鉄層由来の赤鉄鉱・褐鉄鉱鉄石

#### ＜低磷赤鉄鉱鉄石＞

ブロックマン鉄鉱累層あるいは始生代の地層からの高鉄分低磷 ( $P < 0.08\%$ ) の赤鉄鉱鉄石 (3% < 結晶水) が今日までの豪州を代表する鉄石である(表1)。縞状鉄層由来の赤鉄鉱・褐鉄鉱鉄石は、シリカと酸化鉄の互層からなる縞状鉄層のシリカが天水富化作用(化学作用)により溶脱し、入れ替わって褐鉄鉱が沈積し、続成作用や変成作用でヘマタイトが再結晶することにより生成したと考えられており、原岩の種類とシリカ溶脱、変成作用(加熱、加圧)の強さの差によりヘマタイトと褐鉄鉱の含有率および硬さ、塊粉率の差が生じ(図-2)、磷や脈石成分の含有量などの鉄石品位の差も生じたと考えられている<sup>9)</sup>。高品位赤鉄鉱鉄石は沈積した褐鉄鉱が変成作用抽出作用を受けて赤鉄鉱化と脱磷が最高に進んだ鉄石である。結晶水3%から5%とやや高く赤鉄鉱化、脱磷が中途の高磷ブロックマン鉄石は現在までのところ成品対象とされていない(既述:表1)。赤鉄鉱原石の鉄石処理は塊鉄石と粉鉄石の篩い分けが主体で、脱スライム処理のほか、重力選鉱、重液選鉱、磁力選鉱も適宜行われてい

ORE CLASSIFICATION	GENERAL TYPE	TOM PRICE/WHALEBACK	PARABURDOO	TYPICAL BROCKMAN	TYPICAL MARRA MAMBA
	GENERIC TYPE	MICROPLATY	HEMATITE	MARTITE	GOETHITE
	SHORTHAND NOTATION	M-(mpl H)	M-(mpl H)-g	M-(H)-g	M-G to MoG
PIOC		.1 MARTITE-HEMATITE		.2 MARTITE-GOETHITE (HEMATITE)	
HARDNESS		← INCREASING HEMATITE →		← INCREASING ochreous GOETHITE →	
FORMATION		mainly BROCKMAN IRON FORMATION			mainly MARRA MAMBA IRON FORMATION
ERA		PROTEROZOIC			PHANEROZOIC - mainly MESOZOIC to TERTIARY
		METAMORPHOSED			NON-METAMORPHOSED

(提供 : R. A. Harmsworth et. al. PIOC=Pilbara Iron Ore Classification)

左欄内数字 : 数字が小さいほど硬く、塊が多い。ローマ字 : 鉱山例 (下記) を示す

A : Mt. Tom Price, Mt. Whaleback, O. B. 23      B : Paraburadoo 4East, 4west,      C : Paraburadoo Eastern Range,  
D : Tom Price Section 6,      E : Marandoo,      F : OB29

図-2 ハマスレイ鉄鉱層地帯における縞状鉄鉱層由来の鉱石の種類と特性

る。鉱石処理後、ブレンドして出荷されている。

＜マラマンバ鉄鉱層からの褐鉄鉄系赤鉄鉱石＞

一方、マラマンバ鉄鉱層からの縞状鉄鉱層由来の鉱石は現在全体の1割程度しか生産されていない。この鉱石はブロックマン鉄鉱層等の低磷赤鉄鉱石とくらべて結晶水が約5~7%と高く、脆くて粉が発生しやすいことから鉄鋼製錬で使用する場合には使用し難い面があり、使用方法の改良が必要である。ブロックマン鉄鉱層等とは原石が異なり、一般に磷が低く、褐鉄鉱主成分の鉱石で、酸化鉄鉱物はマータイト(仮像赤鉄鉱)として含まれる<sup>5)</sup>。鉱石処理は塊粉の篩い分けだけで、鉱石処理後は直接もしくは低磷赤鉄鉱石とブレンドして成品として出荷されている。

なお、豪州の縞状鉄鉱層は一般に高アルミナの頁岩層が挟み層として存在し、鉱石に部分的に混入するためブラジルなどの同層由来の鉱石よりもアルミナ%が高めなのが特徴である。アルミナは鉄鋼製錬にとっては歓迎されない成分であり、山元では選択採掘、選鉱強化などの低減努力がなされている。

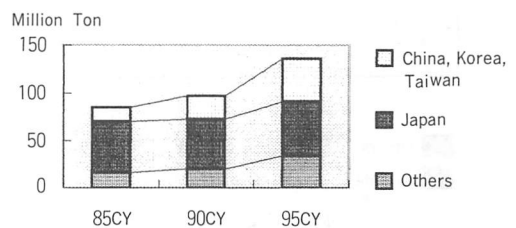
3.2 ピソライト・タイプの褐鉄鉱石

ピソライト・タイプの褐鉄鉱石は縞状鉄鉱層の碎屑片あるいは溶解鉄分が谷底に流下し、再沈積して鉱石となった鉱石で、ヘマタイト等の核となる粗粒の周囲に褐鉄鉱が凝集、結晶成長した特徴的な組織をし、

褐鉄鉱を主成分とした鉱石である。部分的に高アルミナ粘土の混入がある。鉱石処理は、焼結粉サイズまで破碎・整粒処理するだけで成品として出荷されている。ピソライト鉱石は成分(高結晶水)および組織の特徴から焼結中に大亀裂が発生し、焼結の歩留、強度を低下させ、生産率を落とすことが知られており<sup>7)</sup>、開発当初は主として焼成ペレットにして輸出された。その後ペレットはオイルショックにより休止し、焼結用原料一本となったが、近年、日本の焼結技術の進歩により使用法が改善され、使用率が拡大してきている<sup>7)</sup>。

3.3 その他の鉱石

この他に磁鉄鉱主体のサベージリバ鉱石は粗鉱が低品位であり、磁力選鉱後ペレットにして輸出されてきた。現在閉山し、残鉱処理がされている。



(UNCTAD資料をもとに作成)

図-3 豪州の鉄鉱石向け先別出荷量の推移

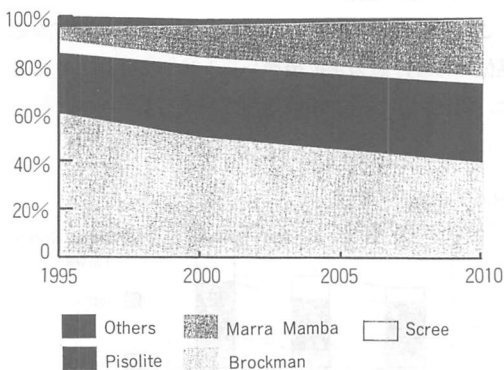
## 4. 今後の展開

### 4.1 アジアへの鉄鉱石需要への対応

豪州の鉄鉱石輸出量は1995年は1億3千8百万tで、この10年の間に5千万tも増加した<sup>1)</sup>。特にアジア地区への出荷増加が著しい(図-3)。今後も積極的にその資源を活用しながら、年約1000万tの国内消費と日本をはじめとする従来顧客への安定供給を確保しながら、さらに鉄鋼生産拡張中のアジアの需要にこたえる方向で生産体制を整えつつある。鉄鉱石の増産のみならず、最近では還元鉄輸出の新しいかたちでの輸出計画も進められている。

### 4.2 鉱山の将来対策

鉄鉱石の増産対応として、高鉄分でしかも低磷の高品位赤鉄鉱石資源の残存埋蔵鉱量は少なく、この種の鉱石は、新規鉱床の発見がないかぎり今後大きな期待はできない。したがって、将来の採掘対象鉱石を、鉄鋼業で直接使用可能とする低磷( $P < 0.08\%$ )鉄鉱石を対象とする範囲で求めることになり、褐鉄鉱(結晶水5%以上)を主体とする鉄鉱石となる。ひとつはピソライト型鉄鉱石があり、もうひとつはマラマンバ鉄鉱石がある(図-4<sup>1)</sup>表1)。埋蔵量の規模はホエイルバックやトム・プライス鉄鉱山のような10億t以上の超大級の鉱床はなく中規模の億t単位の鉱床であるが、総埋蔵鉱量としてはどちらのタイプの鉄鉱石も約80億tあると報告されている。問題は、どちらの鉄鉱石も高結晶水で、本来焼結し難い原料であるので、鉄鉱石の使用技術の進歩にも依存する面がある。日本をはじめとするユーザーとともにいかに円滑に開発、利用拡大を進めていくかが今後の課題となると考えられる。



(提供：西豪州政府)

図-4 西豪州鉄鉱石の構成の将来展望

### 4.3 還元鉄の生産計画

一方、還元鉄の生産は、今後予想されるアジア地区での電炉用原料が目当てで、同国の鉄石を用いて鉄石の付加価値を高めて輸出する方向で官民一体となった取り組みがされている<sup>4)</sup>。ひとつは現行鉄石を選鉱して鉄分67.5%まで高めたのち、流動還元方式(FINMET法)で金属鉄92%まで還元する方法で、年産200万t規模の工場が西豪州の鉄鉱石輸出港のひとつであるポートヘッドランド港の近接地に1998年完成の予定で建設中である。また粉鉄石、石炭から直接鉄銹を製造する溶融還元法(HISMELT法)ほか、多数のプロジェクトが検討されている<sup>4)</sup>。

## 5. まとめ

豪州には1960年代の輸出解禁以来、膨大な鉄鉱石資源が見出され、効率的に開発が進められ、順調に生産が拡大されてきた。引き続き、従来の国内消費向けや既存輸出国への安定供給を確保しつつ、さらに、今後予想されるアジア地区の原料需要増に対し積極的にその資源の活用を図り、鉄鉱石増産や還元鉄輸出で応えていくべく体制を整えつつある。しかし、一方では、当初開発した高品位赤鉄鉱の大規模鉱床の供給増余力が低下してきており、大量の鉄鉱石の安定供給を維持発展させていくには褐鉄鉱を主体とする水鉄石の採掘など鉄石ソースの転換の検討が迫られている。

### 参考文献

- 1) UNCTAD Report 1995,(1996), UNITED NATIONS Publications, p.
- 2) F. C. Percival : Survey of World OIron Ore Resources, (1955), UNITED NATIONS Publications, p335,
- 3) 賀川光雄, 橋本昌三, 三宅新一, 林高朗 : 富士製鉄技報, 15,(1966), p 1
- 4) Department of Resources Development WA:Western Australian Iron ore production to Processing, May 1996
- 5) R. C. Moriis : Handbook of Strata-Boud and Stratiform Ore Deposits, Part IV vol.13, p73
- 6) R. A. Harmsworth, M. Kneeshaw, R. C. Moriis, C. J. Robinson and P. K. Shrivastava : Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea, (1990), The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, p. 617
- 7) 「高結晶水鉄鉱石多量配合下での焼結鉄製造技術」 討論会 : CAMP-ISIJ, 8, (1995), P841- 867