



製鉄原料展望-2

最近の鉄鉱石・原料炭の資源状況と将来

Current Status and Future Directions of Iron-making Raw Materials

— Iron Ore and Coking Coal —

長野研一 新日本製鐵(株)
Kenichi Nagano 原料第二部(原料第一部兼務)
シニアマネジャー

1 はじめに

製鉄原料の主役である鉄鉱石、原料炭を取り巻く環境は最近頃に大きな変化を経験している。最初に両原料の共通する項目に触れ、後章で、それぞれの原料の最近の情報に基づき資源的特質から将来の方向を考察したい。

2 鉄鉱石・石炭資源の概観

2.1 埋蔵量・分布

鉄鉱石、石炭の埋蔵量は、それぞれ100年前後が確認されている(表1、表2)。他の資源と比較すれば、十分な量が確認されている。また、両資源とも世界中に分布している(図1)。

埋蔵量は、定義や考え方が重要で、確認埋蔵量は、近年の“Reserves Growth”という概念³⁾でも調査と経済性の改善により増加する。ローマクラブも、1972年の「成長の限界」での“資源枯渇論”から、1992年の“限界を越えて”、2005年の

“人類の選択”と論調も変化してきている³⁾。石油の例でも、過去30年近く、埋蔵量の寿命は、約40年前後で推移してきた。一部の資源には、石油よりかなり短い可採年数となっているものもあるが、調査と経済性の改善により増加する。

2.2 地質・成因

資源には火成性と堆積性のものがある。鉄鉱石には、約100年間の操業で1500t相当の鉄源を供給した釜石鉱山のように火成性のものもあるが、現在海上貿易されているものの多くは、25億年前を中心とする時期に大気は無酸素状態から、生物の光合成の酸素供給で、それまでは海水中に溶解していたFe分が酸化鉄として一斉に沈殿した鉄鉱石である。縞状鉄鉱床(Banded Iron Formation; BIF)と呼ばれ、鉄鉱石資源の70-80%を占める。BIFが、古代河川床に再堆積したChannel Iron Deposit (CID)、通称Pisoliteもある。これらの鉄鉱石は、火成性のものに比べ、鉱床の平面的広がり大きいことに加え、不純物、有害成分が少なく(表3)、

表1 金属資源の埋蔵量と鉱命¹⁾

		Iron Ore	Copper	Zinc	Mn	Nickel	Tin
		Mt-crude	kt-metal				
Production	P	2,200	15,700	11,300	14,000	1,610	333
Reserve	R1	150,000	550,000	180,000	500,000	70,000	5,600
Reserve base	R2	350,000	1,000,000	480,000	5,200,000	150,000	11,000
Life (year)	R1/P	68	35	16	36	43	17
	R2/P	159	64	42	371	93	33

出典:USGS Mineral Information Summary

表2 エネルギー資源の Proven Reserves²⁾

		Coal		Oil		Natural Gas	
Production	P	6,781 Million tonnes		81,820	Thousand bpd*	296	Billion cf ²⁾ per day
Proved Reserves	Anthracite+Bituminous	411,321		1,258	billion barrels	6,534	Trillion cf
	Subbituminous	414,680					
	R	826,001					
Life(year)	R/P	122		42		61	

出典;BP Statistics 2009

*1;barrles per day

*2;cubic feet

多様な品種の鋼の使用される鉄鉄製造の原料に適する。

石炭は、堆積性である。3億年前から陸上に発生した植物が地下に堆積した後、熱と圧力で炭化が進んだ化石有機資源である。

鉄鉱石資源の太宗のBIFも石炭も堆積性で層状に産し、BIFは厚さ500mにも達するのに対し、石炭層は、特異な例で層厚20mに達するものもあるが、通常は数mである。1mの炭層を形成するには、多くが水分である植物の堆積が20m以上必要とされるからである。採掘対象の層厚が薄いほど、露天掘りが経済的に可能な量は少なくなる。

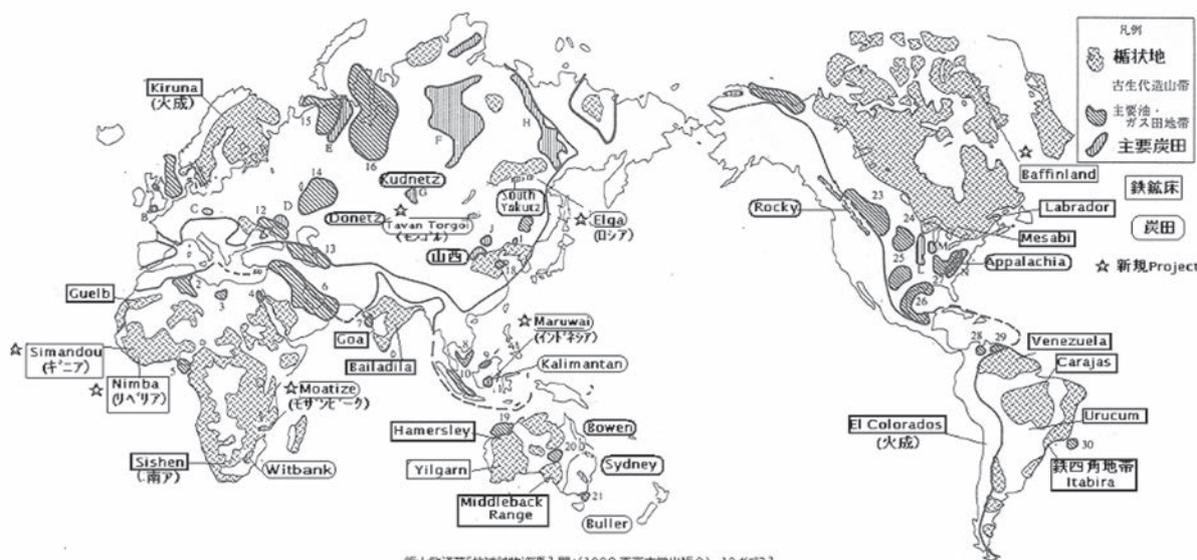
2.3 生産

鉄鉱石は、80%以上が露天掘りで採掘される。海上貿易される鉄鉱石では、火成性のスウェーデンのLKAB(年産2000万t)だけが坑内掘りである。日本の輸入する鉄鉱石の全てが、露天掘りで生産されている。石炭は、60%が露天掘りで

採掘される。露天掘りは、天候に影響され易いことを除けば生産が安定し、機械化が容易で大量生産に適している。採掘された後の鉄鉱石や石炭は不純物を除く必要がある。鉄鉱石の場合は、採掘された鉄鉱石のFeが、65%前後の鉄床も存在する。鉄鉱石の主要鉱物であるHematite(赤鉄鉱、 Fe_2O_3)のFeが70%を考えれば、ほぼ不純物のない鉄鉱石資源である。豪州やブラジルの既存鉄山の一部には、そのような鉄山もある。石炭、特に原料炭では、ほぼ全てで選炭が必要である。選炭の結果、灰分20-30%の原炭が、灰分10%以下の精炭となる。選鉄、選炭は不純物を低減する工程であるが、反面、選別の不完全な効率のため、一部の鉄鉱石や石炭が失われることも不可避である。

2.4 需要・供給

世界の鉄鉄生産は、中国を中心に急激な増産となっている(図2)。鉄鉱石、原料炭の需要の増加となっている。中国は



飯山敏道著「地球植物資源入門」(1998,東京大学出版会)p134に記入

「地球鉄資源入門」(飯山敏道著、東京大学出版会、p134の図表に加筆)

図1 世界の鉄鉱石・石炭資源の分布

表3 BIFと火成鉄鉱石の微量成分比較(例)

成因	S	Cu	Ni	Cr	V
BIF	0.013	0.001	0.000	0.006	0.003
火成	0.003	0.002	0.046	0.017	0.400
	0.213	0.025	0.026	0.010	0.110

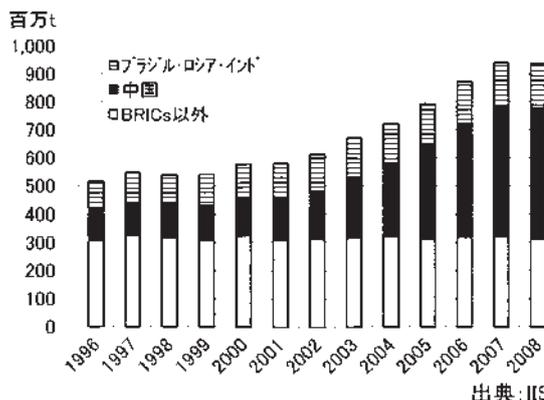


図2 世界の鉄鉄生産

豊富な石炭資源があり、原料炭の輸入への依存は僅少であるが、鉄鉱石では既に過半を輸入に依存しており、鉄鉱石の海上貿易の急増となっている(図3)。

2.5 価格の急騰と寡占化

急激な需給のタイト化に、一時的な天候等による出荷トラブルも重なり、以前は比較的安定して推移した価格は急騰した(図4)。この背景には、価格低迷期に進行したサプライヤーの寡占化(図5、6)があるとされる。

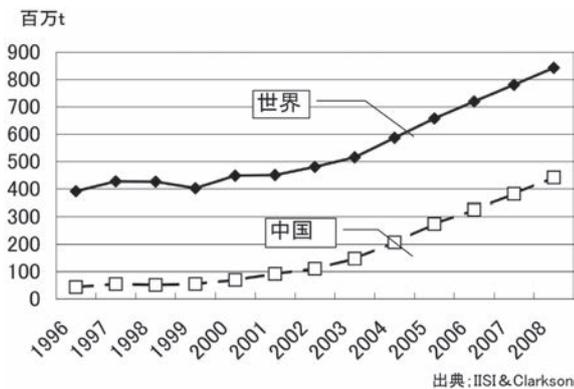
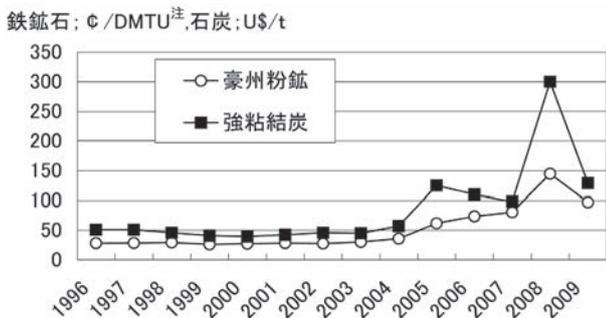


図3 鉄鉱石の海上貿易量の推移



注) DMTU=Dry Metric Ton Unit,これに、Fe%を乗じて100で除すると、US\$/t97¢ /DMTU,Fe=62%なら、97x62/100=60.14US\$/t

図4 鉄鉱石・原料炭の価格推移 (例)

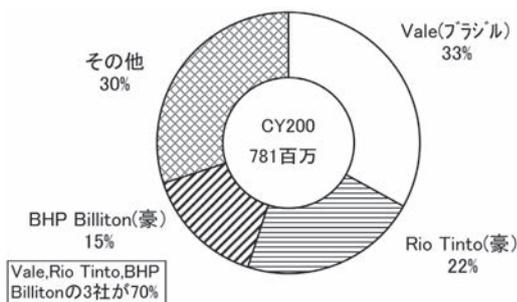


図5 世界の鉄鉱石海上貿易シェア

3 鉄鉱石の動向

中国を中心とする鉄鉱石需要の増加に対し、増産、開発案件が世界中で推進、検討されている。

以下では海上貿易の70%を占める豪州、ブラジルの状況について述べる。

3.1 豪州

既存のメジャー Rio Tinto, BHP Billitonが積極的な拡張を進めている(図7)。経済情勢の変化はあったものの中国の鉄鉱石需要が旺盛なことから、大增産の方針は不変である。豪州鉄鉱石には大別して4タイプがあるが(表4)、高品質のLow P Brockman 資源は限定されており、High P Brockman, Marra Mamba^{*1}, Pisolite に増産は依存する。

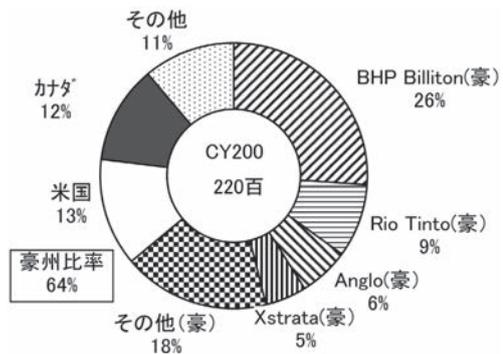


図6 世界の製鉄用石炭海上貿易シェア

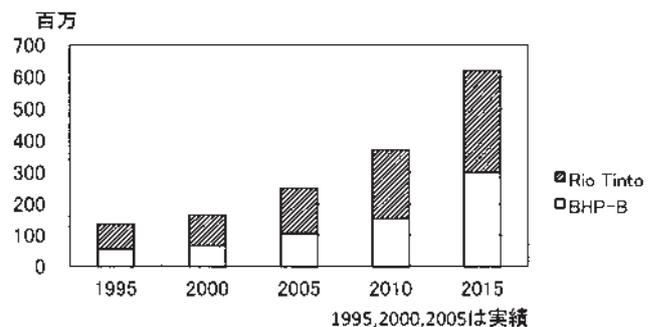


図7 豪州鉄鉱石の拡張計画

表4 豪州鉄鉱石 Ore Type (例)

Ore Type		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	LOI ^{*1} or CW ^{*2}
BIF	Low P Brockman	65.7	2.9	1.7	0.05	1.0
	High P Brockman	62.7	3.7	2.0	0.12	4.2
	Marra Mamba	61.9	3.1	2.0	0.07	6.0
CID	Pisolite-a	56.8	5.9	2.7	0.04	9.5
	Pisolite-b	58.6	4.2	1.4	0.05	10.3

*1:Loss on Ignition(灼熱減量)

*2:Combined Water(結合水)

* 1 Brockman, Marra Mamba は鉄鉱層の名前。

新規のサプライヤーの登場も始まりつつある。代表が、FMG (Fortescue Metals Group) で、独自の鉄道・港を建設、2008年5月から出荷開始した。現在、月産200万tに達し、年産45-55百万tが当面の生産目標である⁴⁾。殆どを中国への出荷としている。採掘を開始した Cloudbreak や次の Christmas Creek 鉱床とも Marra Mamba 層で、平均Feは60%前後で、既存シッパーの出荷品位より低く、鉱床的にも劣位にある(表5)。

当初は選鉱も計画されていたが、現出荷は乾式処理で行われている。出荷鉄鉱石の化学成分は、既存ソースに比べ劣位と推定される。FMGの新設したインフラは、第三者利用を受け入れている。

Hamersley 地区から南に位置する“Midwest”地区 (Yilgarn Basin) でも生産が始められている。現在は Hematite 鉱床を採掘し Truck 運搬で既存の小港 Geraldton から中国向け主体に出荷されている。当地区や Hamesley 地区には先述の USGS の埋蔵量には含まれていない膨大な低FeのBIF 鉱床— Magnetite 鉱床—が存在しており新規開発参入者の開発ターゲットともなっている(表6)。全般的には、低Feの鉱量が多く Grinding と選鉱が必要で、インフラも未整備で本格的な開発はこれからである。高品位資源は、限られており、大きなインフラ投資のための出荷量の確保には、低Fe Magnetite 鉱床の開発が重要となっている。鉄鉱石専用港 Oakajee Port の建設計画があり、2008年7月末に、州政府からその検討に Murchison Metal 社と三菱商事のJVである Oakajee Port & Rail 社指名された。FS, Bankable FSの後、2014年操業開始が目標となっている。Murchison

Metal 社と三菱商事はJVの Crosslamd 社で Jack Hill 鉱床開発と合わせて検討している。当地域では、Gindalbee Metals と中国鞍鋼のJVの Karara Project もある。ここも Magnetite 鉱床 (Fe = 35%) を開発の対象にしている。18億A\$ Project で年産800万tの Magnetite 精鉱 (Fe = 68%) を生産する。当鉱石は、鞍鋼の新設臨海製鉄所、営口 Bayuquan 鋼鉄 Project の主要ソースとなると期待されている。

Rio Tinto, BHP Billiton 以外からの2008年の豪州鉄鉱石の出荷は、3600万tに達している。

3.2 ブラジル

北部 (Carajas) と南部に鉄鉱石生産の拠点を築きあげた Vale 社 (旧 Rio Doce) も生産の拡張を図っている(図8)。Carajas 南部鉱床に S11 を開発して、年産2億tにすることである。S11 は現出荷品位より低 Al₂O₃ と期待されている。南部 (鉄四角地帯) も既存鉱床の一部は供給の限度に達しつつある一方、Fe = 40% 前後のイタビライト (Itabirite) *² を対象にする新規鉱床の開発も計画されている。品位向上には Grinding と選鉱が必要となる。

Anglo 社の Minas Rio System Project は、Hard Itabirite を処理して全量 Pellet Feed し、新設の 525km の pipeline で新港 Acu Port まで輸送する大 Project である。年産26.6百万tの低 SiO₂、低 Al₂O₃ の予想品位を提示している(表7)。最近、日本ミルも参画することとなった NAMISA Project も “High SiO₂ Itabirite” の低 Fe BIF を鉄石の対象の一部としている。

表5 新規鉱山FMGのReserves

Company	Ore	Mt	Fe	SiO2	Al2O3	P	LOI*
FMG	Marra Mamba	1,625	58.9	4.16	2.35	0.053	7.33
Rio Tinto	Brockman	1,236	62.3				
	Marra Mamba	834	61.6				
BHP Billiton	Brockman	1,428	62.6	4.48	2.18	0.092	3.13
	Marra Mamba	461	61.9	3.16	1.79	0.061	6.06

各社の2008Annual Reportから作成
*Loss on Ignition(灼熱減量)

表6 西豪州のMagnetite 鉱床例

Deposit	Company	Fe%	Mineral Resources(百万t)
Ridley	Atlas Iron	37	2,000
Balmoral	Australasian Resources CITIC		800-1,000
Cape Lambert	Cape Lambert	30	2,500
Karara	Gindalbee Metals	35	1,853
Jack Hill	Murchison	35	435
Koolanooka	Midwest	35	430
Southdown	Grange Resource	37	479
合計			8,000-12,000

(各社Home Page等から作成)

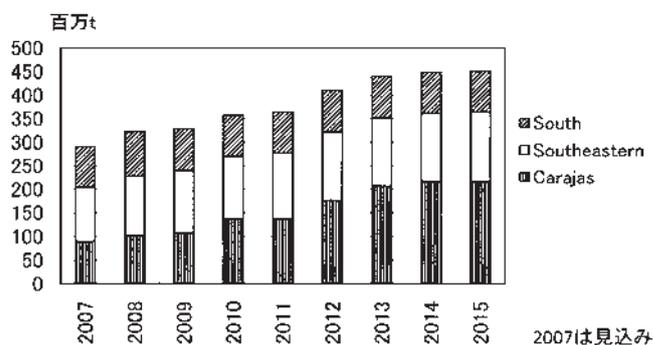


図8 Vale (Rio Doce) 社の増産計画

表7 Minas-Rio Pellet Feed 予想品位

(mass%)			
Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P
68.50%	1.10%	0.30%	0.02%

* 2 Itabirite は、ブラジルで低 Fe BIF を指す地質用語。

3.3 中国の鉄鉱石事情

世界の鉄鉱石マーケットの最大のユーザーとなった中国の状況を把握しておくことは重要である。中国の場合統計的な数値の変化があることもあり全体像を掴み難いが、2006年の数字で整理すると、中国国内鉄鉱石、中国鉄鋼業、中国鉄鉱石輸入を総合すると、成品ベースでの国内鉄鉱石の依存は、42%、その殆どが Concentrate という微粉である。輸入鉄鉱石の多くは粉鉱石であるが、国内ペレット生産が7500万tもあり、輸入と併せてペレットは1億t近くに及ぶ⁵⁾。国内鉄鉱石の品位は、重点鉱山で、粗鉱は、Fe = 30%と低Feであるものの、Grinding、選鉱（磁力選鉱主体）後の精鉱は微粉ながら、Fe = 62.5%との報告がある^{6,7)}。低Fe BIFの選鉱産物である鉄鉱石の一例では、Fe = 67-68%、SiO₂ = 4%、Al₂O₃ = 0.45%、P = 0.005%と、低P、低Al₂O₃、但し、微粉である。

中国の鉄鋼生産は依然増加の一途であり、鉄鉱石輸入も増加し続けている（図9）。国内鉄鉱石生産（粗鉱）も増加傾向ではあるが、2009年1-6月については、減少の兆しがある。統計的に不明な点も多いが、中国製鉄業が輸入鉄鉱石へ傾斜していく方向にあることは、世界マーケットへの影響を考えると大きな警戒要因である。

3.4 まとめ

三大サプライヤーは中国マーケットの急速な伸長に拡張を実行しているが、過去の日本が主体のマーケットの時代の品質改善競争が失なわれつつある。品質改善の方策としての選別採掘や選鉱による劣質部分の成品からの除去を怠っていく傾向にある。その結果、既存入荷鉄鉱石の急速な品位劣化となっている（図10）。また、新規参入者は、既存サプライヤー

より劣質資源の鉱床が開発対象にならざるを得ず、中国ユーザーの受け入れ可能な範囲での劣質成品の出荷が行われ始めている。一方、価格上昇に支えられて、膨大な資源量の低Fe BIFが開発され国際マーケットに本格的に登場する機運にある。米国や中国等の鉄鋼業が既に依拠している鉄鉱石資源である。Feの改善のため、単体分離のための磨鉱（図11）、単体分離されたSiO₂等の不純物を除くための選鉱が必要になる。化学成分では大きな改善が可能であるが、微粉化は避けられない。

以上、既存サプライヤーの品質劣化、新規サプライヤーの劣質資源の開発、低Fe BIFの開発により化学成分的には良質ながら選鉱のための微粉化と言った品質変化が起きてきている。

4 原料炭

前述のように石炭資源は比較的豊富であるが、石炭はエネルギー資源である。世界の石炭生産の13% (717Mt) が製鉄用に使用されているに過ぎない⁸⁾（表8）。製鉄用の使用の主

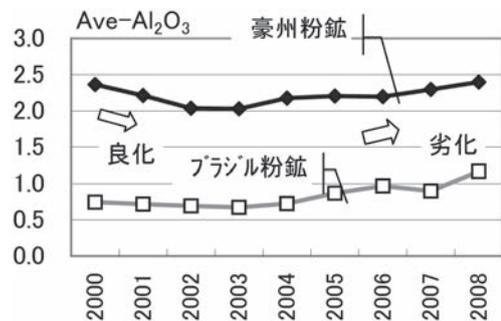


図10 粉鉱 Al₂O₃ の変化 (例)

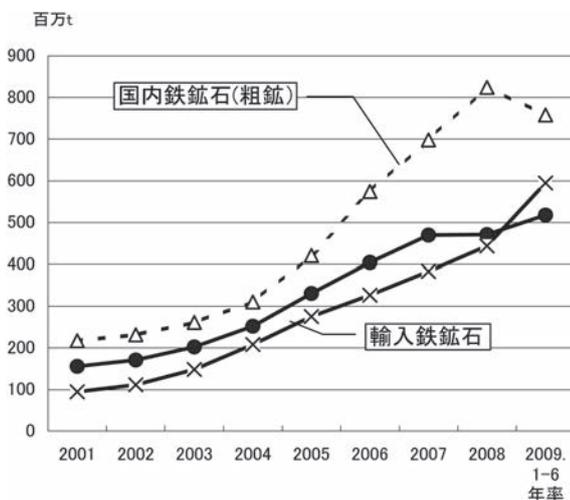


図9 中国鉄鋼、国内鉄鉱石（粗鉱）、鉄鉱石輸入量推移

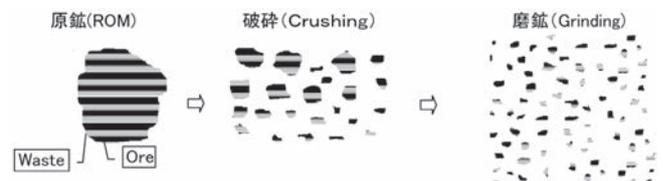


図11 破碎・磨鉱による単体分離 (Liberation) の進行

表8 世界の石炭生産⁹⁾

2007e		百万t
Hard Coal	Coking	717
	Steam	4,826
	Total	5,543
Brown Coal		945
Total		6,488

出典: World Coal Institute

体を占める原料炭(コークス用炭)には、一般炭に比べ低Ashという他に粘結性という特別な性状が求められ、資源・供給に制約がある。一般炭は産出するが原料炭は殆んど産出しない地域も多い。結果的に、現在は、世界の原料炭貿易で豪州が60%以上占める状態となっている(表9)。原料炭資源に乏しいが、製鉄業を発展させているインドやブラジルの原料炭需要が増加すると予想されている。また、中国は豊富な原料炭資源を持っているが、低生産性の坑内掘りで、マーケットによっては輸出もするが、実質輸入国にも転ずる存在で、最近輸入が急増している(表10)。

以下、優良原料炭の供給で最も重要な豪州原料炭の状況と、安価原料炭である非微粘結炭について一般炭との関連に言及する。また、新規ソースも紹介する。

4.1 豪州原料炭

豪州には、Queensland州のBowen Basinと、NSW州Sydney近傍のSydney炭田がある。

現在の強粘結炭のソースでは、Bowen Basinが圧倒的地位にある。Bowen Basinには、German Creek (Moranbah)とRangalの2つの夾炭層(石炭層を含む地層)がある(図12)。前者が粘結性で優れており世界の優良強粘結炭の重要なソースである。このGerman Creek夾炭層資源の露天掘り可能埋蔵量の殆んどをBHP Billiton-Mitsubishi Alliance (BMA)が確保している。坑内掘りも行われているが、本格的な深部の開発は未着手となっている⁹⁾。優良強粘結炭の生産推移を見ると(図13)、露天掘りの生産は頭打ちで、坑内掘りの増加となっている。坑内掘りは、生産の変動が大き

表9 石炭の貿易量⁹⁾(2007e)

単位:百万t

	一般炭	原料炭
Australia	112	132
Indonesia	171	31
Russia	85	15
Columbia	67	0
Siuth Africa	66	1
China	51	3
USA	24	29
Total	576	211

注)インドネシアの原料炭輸出は、この数字より少、この表にはカナダ炭が含まれていない

表10 中国の原料炭輸出入推移

単位:千t

	2004	2005	2006	2007	2008	2009.1-6
輸出	5687	5261	8426	2544	3457	215
輸入	6,767	7,194	9,173	6,220	6,857	12,887
輸出-輸入	-1,080	-1,933	-747	-3,676	-3,400	-12,672

く、供給不安定化の懸念が存在する。

4.2 非微粘結炭

Sydney炭田の北部に位置するHunter Valley地区は、一般炭の大産地である。ここでは、過去、弱粘結炭を出荷していた炭鉱も多く、現在は、非微粘結炭も出荷している。品質的に、現在の非微粘結炭は、過去の弱粘結炭と遜色ない。一般炭生産対象の地域、炭層の中で、粘結性があり、原料炭用に灰分を下げ易い良質部分を非微粘結炭として出荷できる。灰分15%の一般炭を、選炭で、灰分9%の非微粘結炭にするには、選炭歩留まりの低下が避けられない。その歩留り低下が、価格上の一般炭に対するプレミアムとなり、一般炭価格が上昇すれば、非微粘炭価格は大幅に上昇する可能性がある(図14)。CO₂問題はあつものの、世界の経済発展のためのエネルギー需要は増加し、資源的豊富さから、石炭への期待は高い¹⁰⁾。これからも伸長が予想され大きなマーケットの一般

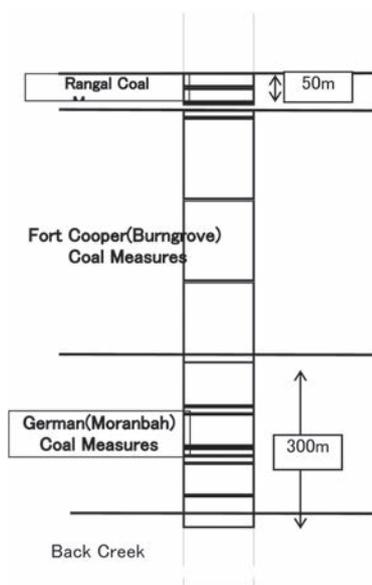


図12 豪州Qld州の石炭層 (黒い層が炭層、白い部分は岩石)

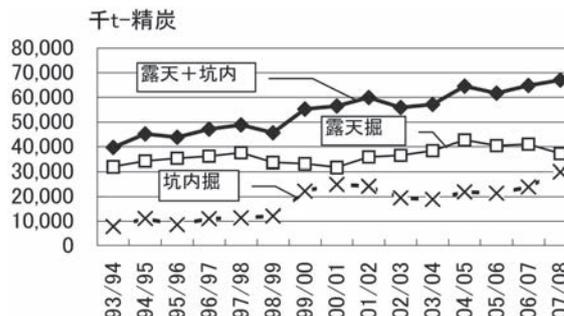


図13 豪州Qld州 German Creek層(良質炭)生産量推移¹⁰⁾

炭は、石油価格の高騰時には同時に高騰する。原料炭の一部を占める安価原料炭である非微粘結炭の供給や価格の大きな懸念要因である。

4.3 新規優良強粘結炭の開発

世界には未開発の優良原料炭鉱が存在している(表11)。新規インフラが必要であり実現までには時間を要すが、露天掘りで、合計20-30百万t/年の将来のソースとして期待したい。

4.4 まとめ

原料炭ソースは、豪州に大きく依存している。優良原料炭は、豪州Qld州のGerman Creek層から生産され、その露天掘り資源の殆どが1社の保有となっている。日本にとって重要な安価原料炭である非微粘結炭も豪州に限定される状況にある。また、石炭はエネルギー資源であり、これからの石油の動向にも影響され易く、一時的にせよ、価格や供給が大きな変化を受ける可能性がある。

5 おわりに

鉄鉱石は、中国の輸入急増でも資源的には十分な存在が確認されているが、

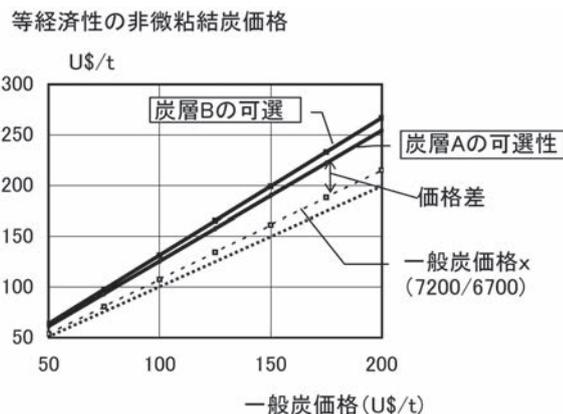


図14 一般炭価格と等採算の非微粘結炭価格

表11 原料炭新規 Project 例

国	Project	Ash	VM	MF (ddpm)
インドネシア	Maruwai	4.5	28	1500
モンゴル	Tavan Tolgoi		20-30	>1000
ロシア	Elga	9	32	30000
モザンビーク	Moatize	9	22	500-800

- ・需要増加のスピードへの供給側の対応のため、出荷の品質管理の劣化
 - ・劣質資源の開発 (Al₂O₃, P,CW…)
 - ・低 Fe BIF 化の長期的な趨勢での選鉱での微粉化
- 製鉄用石炭、特にコークス用炭は、良質炭の賦存の限定と坑内掘り採掘の技術的課題や、一般炭需要の増大で
- ・供給されるコークス用炭の良質炭の比率減少
 - ・一般炭の大きな需要で、従来は安価な高揮発分炭の確保の障害
- が、これからの使用技術が対応しなければならない課題と思われる。

供給サイドの採掘や選鉱技術の進歩にも注意を払っておくことも重要である。

日本が最大の製鉄原料輸入国でサプライヤーも日本の需要への適応を図っていた時代から、国内資源も有する中国が突出した存在となってきた現状を認識し、原料の選択と調達から鉄造りまでを再構築する時期にある。

参考文献

- 1) USGS Mineral information 2009 iron ore : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>
- 2) BP Statistics Review of World Energy 2009 : <http://www.bp.com/>
- 3) D.Meadoows 他：成長の限界 人類の選択, ダイヤモンド社, 東京, (2005)
- 4) Fortescue Metals Group : http://www.fmg.com.au/IRM/content/project_exploration.htm
- 5) 中国鋼鉄工業年鑑2007, 中国鋼鉄工業, (2007)
- 6) 王可南, 姚培慧編：中国鉄鉱床総論, 冶金工業出版社, 北京, (1988)
- 7) 姚培慧編：中国鉄鉱誌, 冶金工業出版社, 北京, (1993)
- 8) World Coal Institute : <http://www.worldcoal.org/resources/coal-statistics/>
- 9) Queensland Gov. Coal Statistics 2001 : http://www.dme.qld.gov.au/mines/coal_statistics.cfm
- 10) JCOAL-JAPAC 石炭セミナー, アジア/世界の石炭需給展望, (財)日本エネルギー経済研究所, (2007)
- 11) 長野研一：第196・197回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, (2008)

(2009年8月3日受付)