

石炭資源の経済的可採年数評価方法（第1報） —意外に少ない可採炭量—

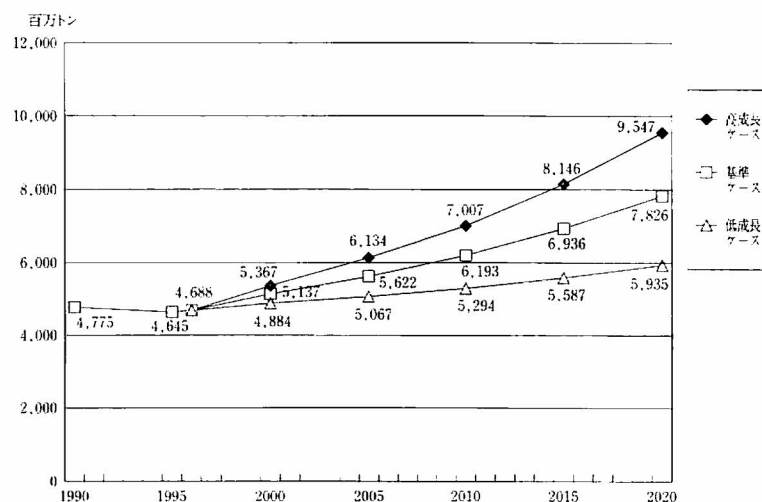
中 嶋 滋 夫*

1. 21世紀の石炭需給増

世紀の変わり目である西暦2000年までにあと1年余を残すのみとなり、年初来21世紀を展望するエネルギー需給や貿易問題について、国内外において政府間レベル（APEC 沖縄会議）や民間団体（経団連—石炭エネルギーセンター、日本エネルギー経済研究所など）による各種の催しが行われた。また、同時に IEA (International Energy Agency) や EIA (Energy Information Administration)、WEC (World Energy Council) などの国際エネルギー関連機関からも、新たなエネルギー需給見通しが相次いで発表された。

21世紀初頭には世界のエネルギー需要は総じて大幅増が予測されるが、これらのうち石炭に関するものを整理すると、2020年に至る需要は

- ①世界の石炭需要見通しは1996年の46億8800万トンが、2020年には78億2600万トンへと、31億3800万トン（1.67倍）の需要増が見込まれ、年率にして約2.2%の伸びとなる（第1図）¹⁾。

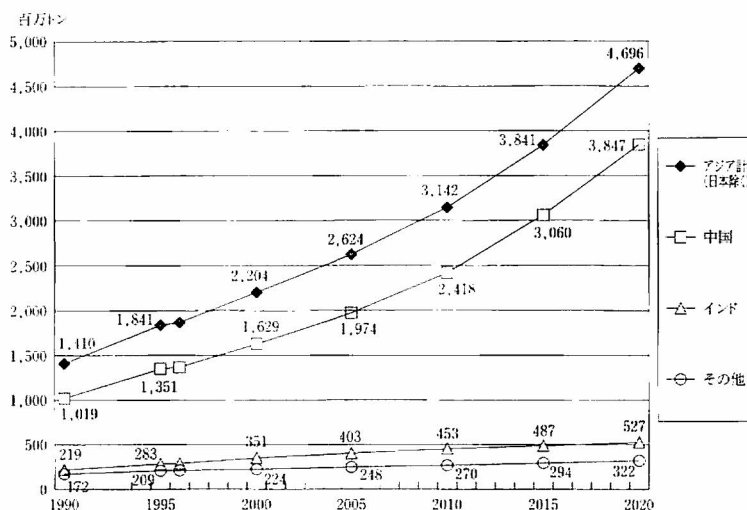


第1図 世界石炭需要見通し

原典：EIA, International Energy Outlook 1998年より作成

出所：「石炭事情の現状と展望」三宅戸義光、第11回エネルギー基礎講座、日本エネルギー経済研究所、1998年9月

- ②アジア地域（除く日本）の石炭需要見通しは同じ期間に18億4100万トンから2.6倍増の46億9600万トンへと増大する。年率にすると約4%の大幅増である（第2図）²⁾。



第2図 アジア地域の石炭需要見通し（除く日本）

原典：EIA, International Energy Outlook 1998年より作成

出所：「石炭事情の現状と展望」三室戸義光、第11回エネルギー基礎講座、日本エネルギー経済研究所、1998年9月

- ③アジアの石炭貿易見通しは、同じ期間中に2億3000万トンから1.7倍増の4億トンに増大する。

アジア地域においては、わが国を含み目下迷走している経済状態が底を打ち、再び活発な経済活動が営まれる結果、2020年段階までに上述のような大幅なエネルギー需要増になると予想されているのである。

2. 経済的可採年数計算手法開発の必要性と困難性

このように石炭資源については近未来的に旺盛な需要増があるものの、石炭は化石燃料中もっとも資源量が豊富にあり、需要量の増加があるにせよ来世紀中の可採資源量は十分にあって枯渇の心配はないと見られていた。

すなわち、石炭可採年数は、現状レベルでは

$$\frac{\text{確認可採埋蔵量}}{\text{年間消費量（現状）}} = \frac{1 \text{ 兆トン}}{45 \text{ 億トン}} \quad 220 \text{ 年}$$

とされている。

しかし、石炭資源量については上述の需要増を背景に、具体的には次のような根拠で次第に資源量の定義、炭量計算基準などについて見直し気運が高まりつつある。

それは

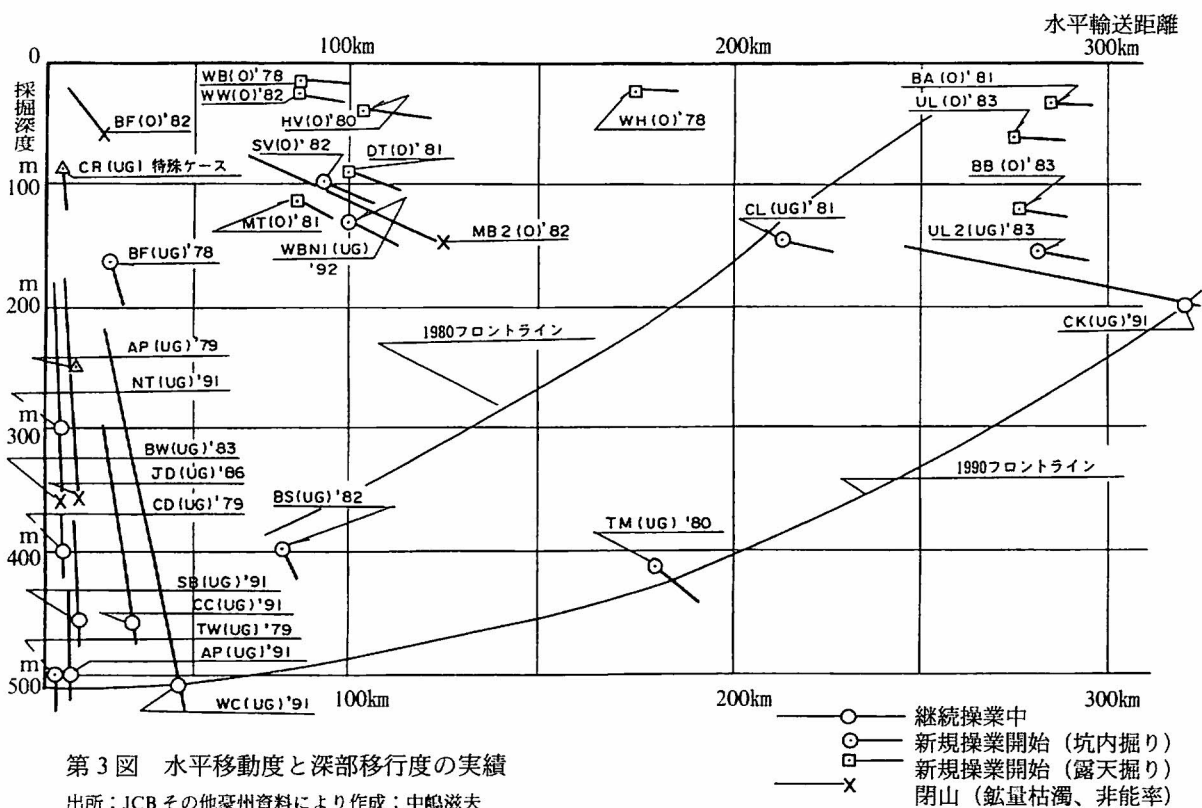
①採掘条件による採掘範囲の制限

石油、天然ガスと異なり、生産コストは大深度や断層介在などの採掘条件に大きく左右され、現在の採掘対象にカウントされている炭量には技術的・経済的に見て、かなり採

掘困難なもののあることが予想される。

- ②炭質は高品位の無煙炭から低品位の褐炭まで幅広い種類があるが、低品位炭は採掘・選炭・運搬・貯蔵などのプロセスのいずれにおいてもコストが高上がりにつき、長距離輸送や輸出向けには適さない。
- ③豪州のようにエコロジー問題を重視する先進石炭資源国では、国立公園や国有林の下に賦存する石炭資源は採掘制限が厳しく、採掘対象となる資源量は予想以上に少ない。
- ④上述の状況に加え、現在のように市況が買い手市場で、発熱量当たり炭価が低く、有害灰分を含有する石炭は忌避される状況下では、石炭生産者は需要家のニーズに従って優良炭質、低硫黄灰分の炭田を選択的に採掘せざるを得ない。
- ⑤さらに④の結果、石炭採掘のフロントラインは急速に奥地に移動し、このような速やかな水平移動はインフラコストの増大、輸送運賃の増加に繋がる。

これらの問題点を可採炭量の視点からもう少し詳しく見てみると、



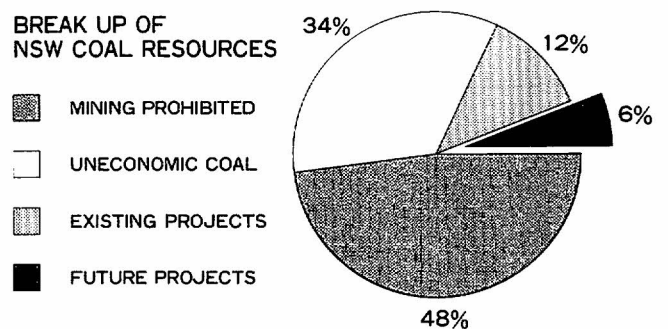
- ①深度増に伴う採掘制限を端的に示した例を第3図に示す³⁾。図の横軸に石炭採掘のサイトから、内需用炭は発電所や鉄鋼ミルの受け入れ拠点まで、輸出用炭は輸出港湾までの内陸運搬距離を示している。また、縦軸は石炭採掘サイトの採掘深度を示している。図の注目すべき点は、輸送距離0～50kmの枠内に示されたいくつかの炭鉱群の採掘深度である。当該箇所の炭層全体の賦存深度は、地表面から1,500mに及ぶものの、いずれの

炭鉱も深度方向の採掘限界を500mとし、それ以上には炭層が続いていても掘り下げていない。すなわち0～50kmの枠内の採掘深度の点は、経済的最大限界深度を示している。また、深度・水平距離増によるコストがFOB価格を押し上げようとするから、一定価格を維持するためには水平運搬距離が大きくなると、生産コスト低減のため深度500mまでの採掘も困難となり、より浅い部分が採算限界点となる。

現状の石炭価格低迷の状況下では、採算限界深度は300m程度まで浅部に移行していると言われ、300m以深の炭量の稼行は一時的中断あるいは永久に放棄され、次の採掘手順としてはより奥地の浅い炭層を対象として稼行フィールドが奥部移行することになる。

- ②有害灰分含有炭の分布状況については、具体的データがないが、わが国需要家サイドの厳しい輸入炭受け入れ品質基準から見て、硫黄分（S）やその他の有害灰分の多いものについては輸入対象とならず、たとえその他条件が有利であっても開発対象にはならない。

- ③第4図に豪州NSW州の天然資源局（Dept. of Natural Resources）の発表している地上施設や環境条件と石炭資源採掘エリアとの関係を示す⁴⁾。これによると、賦存資源量を100とした場合、NSW州の規制を無条件に免れて採掘対象となりうる資源量は僅かに18に過ぎないとしている。地上施設や環境条件とは、居住地域、湖沼、国立公園、森林などを指す。



第4図 Break up of NSW coal resources, NSW Department of Natural Resources, 1994

こうしてみると豪州の場合、大

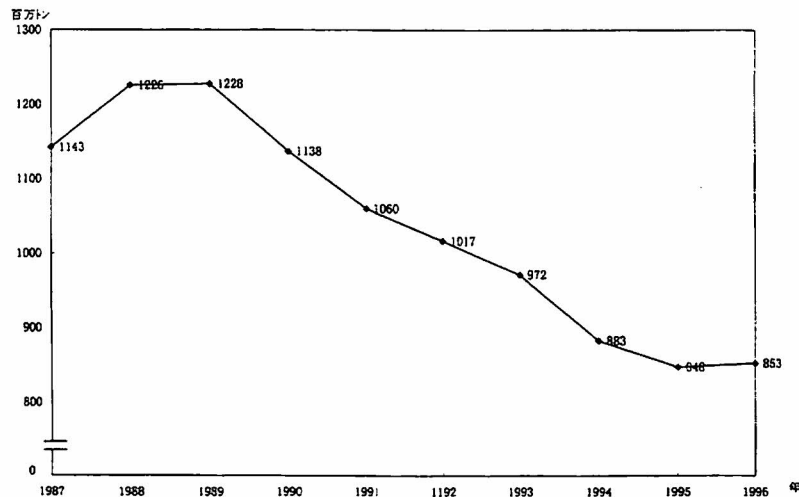
石炭資源国でありながら実際に採掘対象となる炭量は、NSW州の例で深度的には50%（探査済みの600m深度中の300mまでが採算限界）、これに床面積比例の地上施設・環境条件による制約（18%）を加味して単純計算すると、全石炭賦存量のわずかに9%程度にしかない。

④炭質の問題

石炭は重量当たりの発熱量は石油に比べて低く、良質一般炭でおおむね石油の70%に過ぎず、従来長距離輸送問題が石炭利用のネックとなってきた。換言すれば石炭は本来地場産業や地元家庭暖房用のエネルギーとして用いられていたに過ぎない。鉄鋼生産用として代替エネルギーのない原料炭はともかく、発電用の一般炭の大量輸出が可能となったのは、需給地両サイドのインフラ整備（港湾・鉄道網など）、燃焼施設の改善の他に、競合燃料である石油との価格バランスを保つべく、割安な価格設定を行ってきたためである。石炭価格は石油価格と一定の関係があり、石油価格が上がれば石炭も上がり、

石油が下がると石炭も下がる。80年代の実績では見かけの価格差は従来1000kcal 当たり2円程度の格差（石炭がやすい）があった⁵⁾。しかし、90年代になるとエネルギー全体が軟調となって、石油需要が上昇しても石油価格はむしろ低下し、このため石炭価格も一層低く設定せざるを得ない状態になっている。一例を示すと世界の主要消費国の石油消費量は90年代に漸増しているにもかかわらず輸入価格は低迷し、1998年の原油価格は約1.2円/1000kcal 程度に下がってきている。このことが輸出炭の大幅安値をもたらし、豪州などの石炭輸出国の開発者は苦境に追い込まれ、一部は閉山も余儀なくされている。一般炭で見ると1000kcal 当たり価格は0.9円程度に下がり、従来2円/1,000kcal であった油炭価格差は0.3円/1000kcal 程度に圧縮された⁶⁾。

このような状況下に、高品位一般炭や原料炭はともかく、褐炭や亜瀝青炭中の低品位ランクのものは輸出困難となり、産炭国内の褐炭利用も第5図に見るように次第に減少している⁷⁾。



第5図 アメリカを除く世界の低品質炭生産推移（BP統計より作成）

出所：「革新的エネルギー技術の実用化に関する基礎調査——石炭の部（内山直樹）」、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、日本エネルギー経済研究所、平成10年3月

ここに見るように、亜瀝青炭中の低品位炭や褐炭は資源量的には豊富でも、石油市況が現状推移で軟調が続けば、エネルギー商品としての価値は低く、さらに高品位炭であれ、有害灰分含有量の多い石炭もまた消費家にスクリーニングされてしまっている。WEC（世界エネルギー会議）の発表データにはこれら炭質の良くないものも含まれているが、商品価値に乏しいために、経済的視点からは採掘対象にならない炭量が非常に多いと考えられる。

⑤資源枯渇による奥地への開発炭田移行

豪州 NSW 州の場合、炭田水平移動率はたまかな数値ではあるが12km/年に及ぶ⁸⁾。この値は我が国で経験した移動率（100m/年）の120倍にも達する。水平移動率は海際（工業地帯や輸出港湾）に近い炭田開発から始まり、この炭田が20～50年後には枯渇し、次段階

で最寄りの奥地炭田に移動していく速度を、大きな産炭地域単位(例えば NSW 州が1単位)毎に求めたものである。

従ってこの水平移動率は採掘可能炭量に対する採掘負荷を示し、移動率が小さければ資源量に対する採掘比率が小さいので、安定的で長期にわたる採掘が可能である。インフラ整備のテンポもゆっくりでよいから、マクロで見たインフラコストも小さい。ところが、水平移動率が大きいと、次々とインフラを新設あるいは増強する必要があり、何よりも産炭地域全体の資源枯渇テンポが早くなる。換言すれば過大な採掘負荷は問題であり、炭田の衰弱を早め、油田の稼働率が油田の寿命を間接的に示すバロメーターであるのと同様に、水平移動率に見る採掘負荷の大きさが、石炭の寿命を示す間接的なバロメーターと見ることが出来る。

例えば NSW 州の場合、仮に今後の採掘テンポが同様に12km/年で100年間にわたり継続すると単純に計算すれば、NSW 州の海際全域からの稼行正面全体にわたり1,200km前進し、海際から300~400kmの範囲に所在が限られている炭田は、およそ30年間で掘り尽くされることになる。もし、QLD 州の石炭採掘の進捗をほぼ同様規模と見れば、WEC 報告に見る NSW+QLD の可採炭量(909億トン-----瀝青炭+亜瀝青炭+無煙炭+褐炭)は、年間生産量を2億トンとして、450年以上の可採年数となり、水平移動率から見た採掘の進捗/枯渇年数とは全く合わないことになる。むしろこの枯渇年数は前述の深度方向実収率50%、床面積上の採掘制限率18%を掛け、総合実収率を9%として計算した採掘対象炭量($909 \times 0.09 = 82$ 億トン)を年間生産量(2億トン)で割った実質可採年数(41年)の方が、水平移動率から試算した30年の枯渇年数に近い。この試算は粗いものであるが、それでも WEC による450年の可採年数と、視点を全く変えた筆者の方法による水平移動率から見た41年の枯渇年数とでは、どちらが実際の可採年数に近いものであるかは明白である。

⑥種々の採掘制限

地下に賦存する石炭埋蔵量は採掘に当たって、固有の採掘制限を受ける。データが比較的豊富な NSW 州の場合、これらの採掘制限を網羅して可採炭量や可採年数を類推すると、第1表のようになる。表について説明すると、総資源量の1,568億トン⁹⁾とは NSW 州の石炭埋蔵量に関して公表されている数値のうち最大のもので、地表面から少なくとも深度600mに至る賦存量全体を可採、不可採、あるいは層厚・炭質などに関わりなく示したものである。また、この数値は全豪州の確認埋蔵量の1,168億トンよりも大きい。総資源量に対する採掘制限は、まず自然公園などによってその48%が制限埋蔵量となり、全体の52%が制限外で稼行の対象となる資源量である。さらに厳密に経済的稼行可能炭量について見れば、採掘制限は1,568億トンに対し82%となり、経済的稼行対象炭量は僅か18%にしかない。一方、深度制限とは深度増に伴うコスト増から大深度の石炭層については経済的な見地から稼行を見合わせざるを得なくなっており、少なくとも600m間

で探査で確認されている炭量に対し、現状では300m程度の深度までを対象としていることによる制限である。大まかには約50%の炭量が稼行対象から外されている。実収率は坑内採掘固有の制限を示し、長壁式採炭あるいは柱房式採炭法などにより、安全のため採掘現場周辺に保安炭柱を残す結果、かなりの炭量が残存する。また、採掘規格ばかりでなく、稼行対象炭層の採掘の場合に切削炭の積み残し、飛散、上下盤への焼き付き、などの採炭実技上のロスもある。露天掘りの場合にも、周辺薄層部分や挟み（岩石）除去の際に焼き付いて一緒に除去される石炭がある。

安全率は、我が国の JIS 規格（炭量計算基準）に明示され、確認・推定・予想埋蔵量などのカテゴリ一別の実績データのある採掘に対する安全率を、豪州に適応して試算した値である。選炭時にも僅かではあるが炭量ロスがある。

これら係数を1,568億トンに次々に乗じていくと、可採炭量は第1表に示すように56億トンに留まり、これを可採年数で見ると52年にすぎない。第1表の右側の欄に示した値は、採掘制限（48%）にさらに経済的に採掘困難な炭量も除いた経済的採掘可能炭量（18%）を基本とした場合で、この例では可採年数計算にはこの炭量比率が大きく効いてきてわずか19年の可採年数しかないことになる。

第1表 種々の採掘制限を考慮した場合の可採炭量（NSW 州）

項 目	係 数	炭量(億 t)	係 数	炭量(億 t)
総 資 源 量		1,568*		1,568
採 掘 制 限 外	52%*	815	18%	282
深 度 制 限	50%**	408		141
実 収 率				
坑 内 掘	55%*	135		47
露 天 掘	90%*	147		51
安 全 率	0.22**	62		22
選 炭 歩 留	0.9*	56		20
可 採 炭 量		56		20
採 炭 量 / 年		1.08*		1.08
可 採 年 数		(52年)		(19年)

*平成8年度海外炭輸入基盤整備促進調査「今後の豪州炭の安定供給の課題」 新エネルギー・産業技術総合開発機構（エネ研）、平成9年3月

**豪州、日本実績を踏まえた筆者による想定値

中国の場合を見てみよう。中国の可採埋蔵量は1,145億トンで、年間生産量は1996年において14億トン弱である。従って可採年数は82年程度になる。しかるに、中国の水平移動率は15km/年と豪州の1.25倍、そして我が国実績の実に150倍に相当する¹⁰⁾。中国の場合は詳しいデータがないので軽々には論じられないが、既に石炭採掘のフロントラインは海際から始まって、今は山西省、陝西省、内蒙古自治区西部のエネルギー基地に達している（第6図 炭田番号9,10＝華北区・山西省、同8＝西

第2表 2000年各規劃區煤炭調運平衡表

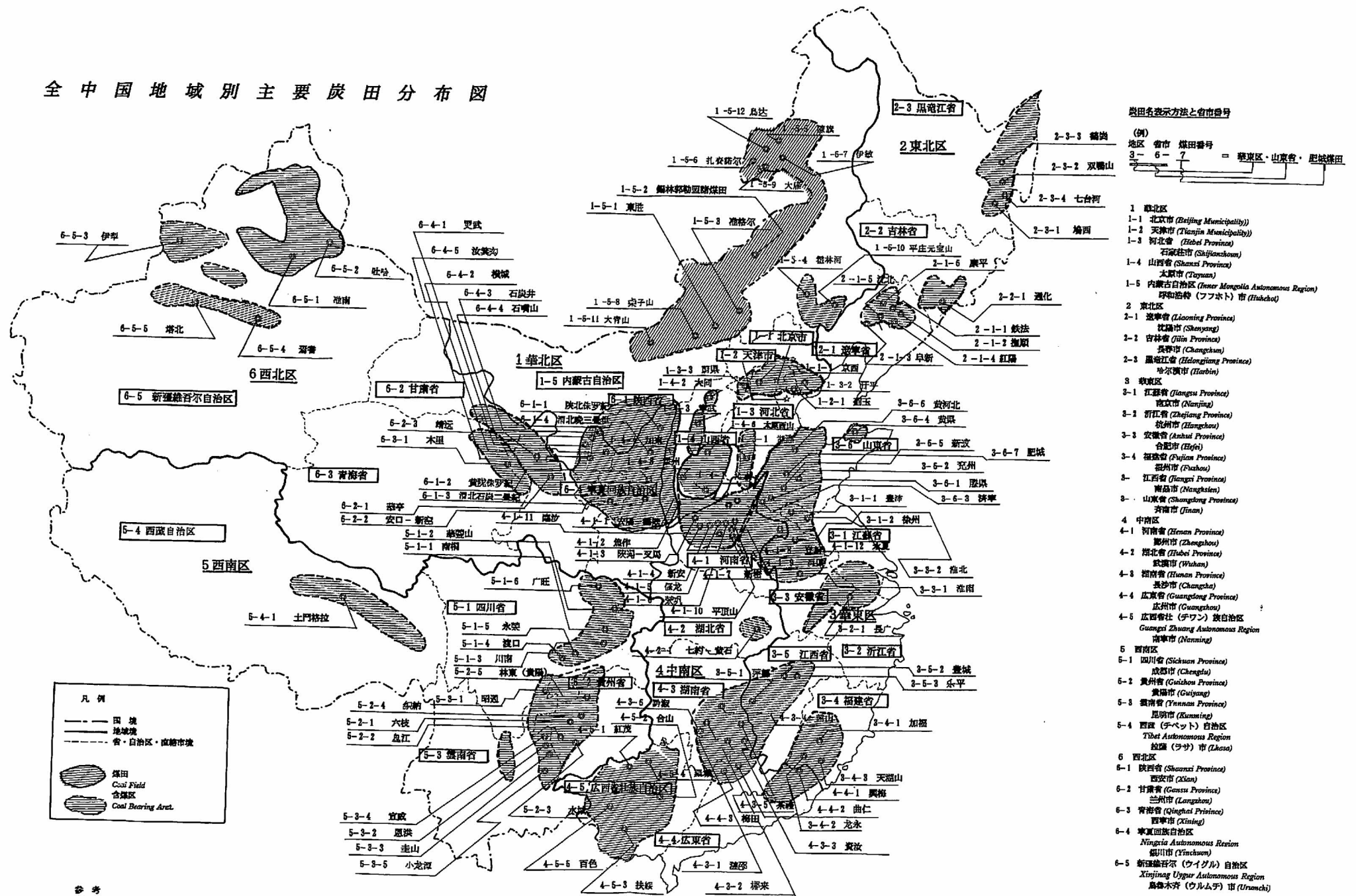
單位：萬 t

	產 量	消 費 量	調出(+)、調入(-)
全 国	140,000	138,400	1,600
東 北	23,000	28,000	-5,000
京 津 冀	7,000	15,000	-8,000
北 京	734	2,780	-2,046
天 津	20	2,310	-2,296
河 北	6,246	9,910	-3,664
華 東	19,000	36,000	-17,000
上 海	~	45,000	-45,000
江 蘇	2,390	8,595	-6,205
浙 江	168	3,968	-3,800
安 徽	4,595	4,463	+132
福 建	1,350	2,046	-696
江 西	2,685	3,417	-723
山 東	7,812	9,011	-1,199
中 南	16,000	23,500	-7,500
河 南	9,934	7,160	+2,774
湖 北	910	4,632	-3,722
湖 南	3,355	4,640	-1,285
廣 西	915	1,865	-950
廣 東	884	4,711	-3,827
海 南	2	492	-490
晉 陝 蒙 (西)	52,000	14,000	+3,000
蒙 西	5,600	2,600	+38,000
神 府	2,100	100	+2,000
滑 北	4,000	3,100	+900
晉 北	16,870	2,600	+14,270*
晉 中	12,860	3,400	+9,460**
晉 南	3,600	1,100	+2,500
晉 東 南	6,970	1,100	+5,870**
新 甘 寧 青	7,000	6,400	+600
新 疆	2,873	2,330	+543
甘 肅	1,860	2,548	-688
寧 夏	1,837	983	+854
青 海	430	539	-109
西 南	16,000	15,500	+500
四 川	7,687	9,187	-1,500
貴 州	5,193	3,669	+1,524
云 南	3,120	2,640	+480
西 藏	~	4	-4
出 口		1,600	1,600

注：*——公路調出500萬 t，**——公路調出100萬 t

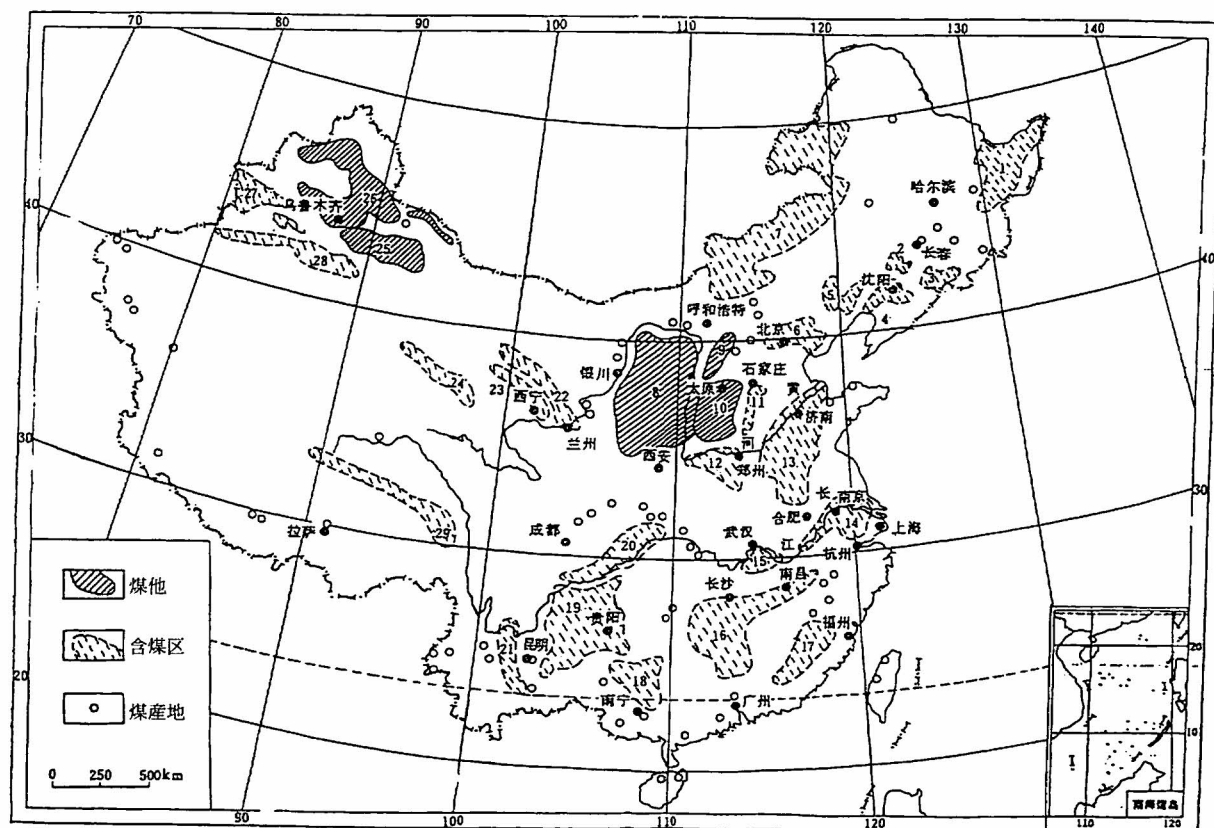
出所：中國煤炭工業統計提要（1949—1991）

全中国地域別主要炭田分布図



参考

本図は下記資料を参照して新規に作成した。
 1 中国煤田地质勘探史第三卷 地区篇；中国煤田地质局、吕代雄煤田工业出版社、1998年3月
 2 中国三石炭火力发电所建设事业に係る案件形成促進調査（石炭資源の部）：
 OECD・SAPROF ミッション（石炭資源調査担当、日本経済研究所・中嶋俊夫）
 3 中国煤田分布図
 4 中国省年鑑：1992年
 5 最新实用中国地图册：中国地图出版社、任 蔚利、1992年6月
 6 最新实用中国地图册：中国地图出版社、任 蔚利、1992年6月
 7 中国人民共和国地图：中国地图出版社、任 蔚利、1991年12月



第6図 中国煤田分布示意图

1—三江穆稜区, 2—遼北区, 3—滹江区, 4—遼河太子河区, 5—遼西区, 6—京唐区, 7—内蒙東部区, 8—鄂尔多斯煤田, 9—大寧煤田, 10—沁水煤田, 11—太行山東麓煤田, 12—豫西区, 13—蘇魯豫皖区, 14—浙蘇皖(南)区, 15—鄂東南区, 16—湘贛粵区, 17—閩粵区, 18—桂中区, 19—黔滇川区, 20—萃盤山区, 21—滇中区, 22—河西走廊区, 23—大通河区, 24—柴北区, 25—吐魯番—哈密煤田, 26—准噶尔煤田, 27—伊犁区, 28—塔里木北聚煤区

出所：中国煤炭工業年鑑（1982）

北区・陝西省、同7＝華北区・内蒙古自治区)。また、西南区やエネルギー基地を除く西北区の一部に石炭の省内生産に余力のある石炭供給省があるが、全体としては第2表に見るように省内炭による自給自足が出来なくなり、次第に石炭を他省からの供給に依存する状況に変化している。

中国の場合、対WEC報告データによる可採年数は80年程度と100年を割り込んでいるが、実際には生産フロントラインがエネルギー基地に至っており、海際からフロントラインまでの石炭生産余力は既になくなってきているから、今後水平移動率が15km/年で推移すると仮定すれば、エネルギー基地以北に見るべき大規模炭田が乏しい点から、この速度で50年（750kmの水平移動に相当）にわたり生産を維持するのは極めて困難であろう。

このためか中国では西暦2000年を待たず、生産規模を現状より2億トン削減することが決定された¹¹⁾。このように中国は生産規模調整を行って、採掘負荷を軽減する措置を選んだものの国内需要地が湾岸工業地帯にあり、輸送距離が既に1,500～2,000kmに達していることから推して、輸送コスト増大（ただしこれまではマイレージに関係なく輸送費が決められていた）と、慢性的な輸送能力不足、輸送滞貨の増大などで、海上輸送の効く近隣諸国（豪州、インドネシアなど）からの輸入の比重が高まろう。また、従来の国内炭依存度70%から脱却して石炭以外の燃料輸入利用（ウラン、石油）が高まってきて、世界のエネルギー需給に著しいインパクトを与える可能性も出てきた。

3. 経済的可採年数計算の必要性と困難性

以上を整理すると

①世界の石炭需要はアジア地域を中心に2020年頃までに著しく増大する。

②肝心の石炭資源量は従来の確認可採埋蔵量を年間消費量で割った可採年数という定義にはあてはまらない種々の制約条件のために、実質枯渇年数は極めて短い。

とすることが出来る。従ってここで、実際に稼行対象となりうる経済的可採年数という概念を新たに構築し、これを評価する計算モデルを新たに創出し、世界の主要炭田について、経済的可採年数を求める必要性が出てきた。

このような評価システムを構築しない限り、可採年数は200年以上あるので、こと石炭に関しては大幅需要増があろうとも21世紀中は心配ないという安易な判断になりかねない。

まして、主要産炭国の現在の炭田稼行実態は、非経済的賦存炭量の採掘回避や、環境制約などの影響を受け、資源を捨てていることが明らかである。

主要石炭資源国であり輸出国でもある南アフリカ共和国の場合も、現行採掘フィールド（Eastern Transvaal Highveld 炭田）が終焉に近づき、次期主力フィールドと目される Waterberg 炭田も湾岸部から一層遠のき、岩脈や断層で分断されている不安定な炭田のため、埋蔵炭量に対する見解も DeJager や、Petrick によって3倍近くも異なっている¹²⁾。これらは南アが今後とも安定的に石炭輸出国としての位置づけを維持できるかどうか、一抹の不安を覚えさせるものである。

石炭や石油については、現状経済的可採年数は求められていない。それは各油田や炭田毎に経済的可採年数を計算することは、作業量が膨大であり、計算条件の国別・州別差異、利益を含む計算根拠の企業秘密性などの制約があって、データすら求めることが出来ないからである。従って、本報では従来の資源採掘の経済性評価方法である FIRR 法についてその基本原理を述べ、第2報において比較的簡便に石炭プロジェクトの経済性を把握する可能性のある SCC（供給コスト）法の基本原理並びに当目的に応用する妥当性などについて、FIRR 法と比較しながら究明することとした。

4. 従来の石炭資源経済性評価法

大規模で長期にわたる資源開発プロジェクトの採算性を評価する方法として、世界的に利用されているのは

① FIRR 法（財務内部収益率法）

② Pay Back Period 法（投資回収期間法）

などである。

特に FIRR 法は、様々な分野の開発プロジェクトの経済性を評価する方法として、多くの金融・研究機関、事業主体などが幅広く用いてきた国際的に認められた手法である。

FIRR の基礎理論は

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \dots\dots (1)$$

で示される。

ここに

B_t ：便益（Cash Flow——Benefit）

C_t ：投下資本（設備投資——Capital Cost）

である。

プロジェクトの FIRR（収益率）を計算するということは、(1) 式において試行錯誤的に（i）の値を求めることであり、そのためには C_t, B_t が既知数でなければならない。すなわち、FIRR の計算では

未知数（i）—— プロジェクトの割引率（＝収益率）

既知数 C_t —— 投下資本（当該石炭開発プロジェクトの計算対象とする期間内に資金（設備投資額）がどの年次にかいほど投入されたかがわかっていなければならない。

既知数 B_t —— 損益計算、資金繰り計算の結果求められた Cash Flow.

以上の係数について(1)式に準拠して計算するものである。

i) C_t について

C_t は Capital Cost の略号で「資本コスト」と言い、設備投資額のことを指す。設備投資とは主要縦坑、斜坑、土地・建物、シールド支保やドラムカッターなどの鉱山機械のように、一回の初期投資でそのプロジェクトの寿命の続く限り用いられるか、あるいは一定の耐用年数毎に更新する性格の設備費用のことである。しかし、これらの設備投資額には新鉱開発のための初期投資、あるいは設備更新のために、ある年次に巨額の資金を拠出し、設備投資のない時期には投資額が大幅に減るなどの変動があるため、各年毎に平準化することが資金計画上望ましい。これらの資金投資や大型設備更新のためには、減価償却（depreciation）と言う会計学の考え方を導入して、次期更新までに必要な資金を内部留保するのが建前である。減価償却の考えを採用すれば損益上は減価償却額をコストと見なし、資金繰り（資金運用）上はこれを内部留保するため、次の新鉱開発あるいは大型設備更新には内部留保した資金を使うことが出来、都度の外部資金調達は軽減される。

比例費あるいは直接費などと言われる人件費や火薬・雷管、ドリルや発破器のような比較的小型の機械品その他の消耗品は減価償却に対象とはならない。

ii) B_t について

B_t は Benefit の略号であり、「便益」と言われる。便益というのは単に利益（損益計算上の税引き後利益）を指すのではなく、プロジェクトに内部留保され外部に流出することのない資金も含まれる。すなわち便益とは換言すれば「キャッシュフロー」のことであり、税引き後利益の他に企業に内部留保され社外流出することのない減価償却費も含まれる。

iii) 現価率について

(1)式中の $1/(1+i)^t$ は現価率と呼ばれ、各年次の B_t や C_t の値を現在価値に置き換えるために用いられる。また、式中の (i) の値がいわゆる収益率を示す。現価率の特徴から、右辺のキャッシュフローに関しては、操業の早い年次に得られたキャッシュフローの値は現在価値に引き直しても大きく現れ、操業末期に得られたキャッシュフローの値はいかに大きくても小さな現価率が掛けられるために、小さな値にしかない。

従って事業の成果として大きな収益率を得る要諦は、出来るだけ早い年次に大きなキャッシュフローを得ることとされる。

5. ROR 法の長所・短所

このように ROR 法は理論的根拠も明白であり、長期にわたるリスクの大きい石炭プロジェクトの収益性を的確に表現することが出来るため、現在資源開発のプロジェクトの経済的評価方法として世界的に広く活用されている。実用上は石炭開発プロジェクトのような民間企業が商業目的で開発事業を行い収益を挙げる場合には FIRR 法 (Financial Internal Rate of Return)、公益的な事業、例えば医療や教育等の直接的な収益をともしない場合には EIRR (Economic Internal Rate of Return) のような特化した計算方式が用いられるが、これらの基本原理はいずれも ROR 法に準拠している。ROR 法の簡単な例を第4表に示す。一方、ROR 法にも弱点がある。それは

①計算が煩雑である。

ROR 法の計算にはあらゆる経済指標すなわち、生産量、販売価格、資本費、減価償却の方法、直接費、租税公課、為替レート、金融条件等のすべてが年次別に細かく数値化されなければならない、また国別に各条件が異なるため計算が極めて煩雑である (第3表参照)。

さらに将来の物価上昇率をどう扱うかの問題があるが、資源開発途上国のように物価上昇の予測が難しい場合は、あえて物価上昇率を考慮に入れない計算を行う場合が多い。

②他プロジェクトの比較が出来ない。

計算対象の特定石炭プロジェクトについてのみの計算であり、他の類似プロジェクトとの関係は、別途 ROR 計算を行わなければわからない。他プロジェクトの比較をしたくとも、我が国の石炭企業、銀行、商社等が資本参加あるいは融資を行うペットプロジェクトからは情報が得られるが、それ以外のプロジェクトの必要データは一般に入手することは極めて困難である。

③販売利益は商業上最も重要な企業秘密である。

当該プロジェクトについての ROR の試算結果は、当該企業にとっての企業秘密である。すなわち、ROR 計算には予測される当該企業にとっての利益が含まれている。通常需要家とShipper間の石炭売買交渉においては、需要家の立場からは原則としてもっとも安

い価格で調達できるように交渉し、シッパーの立場は当然その逆である。従って、実際に売買交渉ではシッパー側は、販売価格はすなわち販売コストであるとの立場をとり、トン当たり利益がいくらであるとの公表は一切行わない。

その結果 ROR 計算モデルやデータ、それに計算結果は専らシッパー側の内部検討の手段として用いられ、ROR 計算モデルへのインプットデータが公開されることはほとんどないことである。

このような ROR 手法の性格から、我が国のような石炭輸入国側が詳細データをもとにあらゆる石炭供給国の実体あるいは将来展望を経済的に評価する手法として ROR を用いることには限界があるものと考えられる。

従って、第2報では ROR 法に代わり、世界各地の石炭プロジェクトについて簡便に経済性評価可能な方法について考究することとする。

第3表 石炭開発 Feasibility Study の基本調査・検討項目（その1）¹³⁾

- | |
|--|
| 1. 石炭開発プロジェクトの開発体制 |
| 1—1 プロジェクトの名称 |
| 1—2 所在地：国・州・住所・郵便番号 |
| 1—3 開発状況：操業中「開始年次」 |
| 建設中「開始年次、操業予定年次」 |
| 開発待機中「F/S完了年次、探査完了年次」 |
| F/S実施中 |
| 探査実施中 |
| その他 |
| 1—4 プロジェクトの性格：国営、非統配国営煤鉱、後者、民間、混合合弁、民間合弁 |
| 1—5 参加者：開発当事者 |
| 合弁パートナー |
| 出資比率 |
| 1—6 鉱区権：Mining Lease, Sub-lease, etc |
| 1—7 合弁形態：Inco, Un-inco, Partnership, etc |
| 2. プロジェクトの経緯 |
| 2—1 開発合意に関する所轄官庁と開発当事者間の合意覚え書き調印 |
| 2—2 F/S調査に関する契約調印 |
| 2—3 探査に関する契約調印 |
| 2—4 探査の経緯 |
| 2—5 基本開発計画に関する取り決め |
| 2—6 J/V契約調印とその内容 |
| 3. データの要約 |
| 3—1 探査 |
| ・概査ボーリング |
| ・精査ボーリング |

出所：「主要産炭地域における石炭資源経済性評価にかかる高度化情報システム確立のための調査」、中嶋滋夫他、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、平成6年3月

第3表 石炭開発 Feasibility Study の基本調査・検討項目 (その2)

3—2	全般的な地質
	・炭田名
	・夾炭層名
	・炭層名
3—3	採掘区域内の地質
	(例) (1) 三畳紀
	(2) Illawara 夾炭層
	(3) 構造
	(4) 炭層の賦存と炭質
	(5) 炭層の上下盤
	(6) 炭質
3—4	埋蔵炭量
	(1) 埋蔵炭量——算定根拠
	(2) 実収炭量——炭層別・山丈別・実収率別実収炭量
3—5	選炭性
	(1) 可選曲線及び困難度
	(2) 選炭歩留まり
3—6	炭質
	(1) 平均的炭質
	(2) 商品炭品質
	・発熱量
	・水分
	・灰分
	・固定炭素
	・硫黄
	・窒素
	・灰の熔融温度
	・Size
	・H.G.I
	・全水分 (as received)
3—7	採掘条件、炭質、炭量の総括
4.	採掘計画
4—1	生産規模並びに生産概要
4—2	開坑計画の概要
	(1) 開坑計画の基本
	(2) 斜坑、縦坑計画
	・斜坑の主仕様
	・縦坑の主仕様
4—3	採掘工程及び生産基礎
	(1) 採掘工程
	(2) 生産基礎
	・Longwall
	・掘進 (Continuous Miner)
4—4	採掘計画及び採炭方式
	(1) 採掘計画及び採炭方式
	(2) 採炭設備及び掘進設備

第3表 石炭開発 Feasibility Study の基本調査・検討項目（その3）

4—5 通気、運搬、給排水、圧気、配電通信集中監視の計画及び設備概要

- (1) 通気計画
- (2) 運搬計画
 - ・石炭運搬計画
 - ・人員及び材料運搬
- (3) 給排水計画
 - ・給水計画
 - ・排水計画
- (4) 圧気計画
- (5) 配電計画
- (6) 通信及び集中監視制御計画

5. 市場の現況

6. プロジェクトスタディ

6—1 製品炭

6—2 炭質調整のための炭層別選炭計画

6—3 生産計画

6—4 石炭輸送計画

- (1) 鉄道建設及び鉄道輸送
 - ・鉄道輸送諸元
- (2) 港湾設備
 - ・既存港湾の現状及び将来計画

6—7 環境問題

- (1) Environmental Impact Statement (EIS) の計画環境庁への提出
- (2) 貯水池への石炭採掘事業に伴う有害物質（油性物質、浮遊固形物）の影響の排除
- (3) 自然の環境（動植物、景観等）へのインパクト

6—8 法手続及び租借申請

- (1) Gazette（官報）による石炭試掘許可申請公告
- (2) 鉱区拡張申請
- (3) 公聴会
- (4) コールリース許可に関する鉱山監督局の推薦に関する大臣の同意取り付け
- (5) リース申請に関する invitation
- (6) 鉱山登記官への地上権申請のための鉄道敷設に関する調査

6—9 坑外工事及び設備の概要

- (1) Site Works
- (2) Access Road（通過道路）
- (3) Potable Water（飲料用水）
- (4) 給電及び電話設備
- (5) 石炭処理計画
 - ・ポケット
 - ・貯炭設備
 - ・払い出し設備
 - ・貨車積み込み設備
 - ・運転及び監視
- (6) 污水处理計画
- (7) 鉄道建設概要

6—10 人員計画

6—11 設備投資計画

6—12 販売収入

第3表 石炭開発 Feasibility Study の基本調査・検討項目 (その4)

7. 収益性の検討
7-1 販売収入
7-2 FOB-Tコスト
8. 経済性
8-1 生産コスト及び FOBT コスト
(1) 生産コスト
・労務費
・材料費、電力費、その他の直接費、間接費
・追加投資額
・減価償却及び金利
・生産コスト総括
(2) FOBT コスト
・輸送費
・FOBT コスト
8-2 収益性
(1) 投資採算性と割引率法
(2) ROR (IRR) と基礎データの見積もり
・生産計画
・生産コストと FOB コスト
・日本側合弁参加者からの支払 (Special Payment, Royalty)
・販売利益
・支払金利
・設備投資計画
・減価償却
・減額
・更新設備
・追加設備

第4表 ROR 法による収益率の計算例^[4,15]

「その1: 損益計算、資金繰りとキャッシュフローの計算」

		内 容	1	2	3	4	5
損益計算書		売 上 高 (R)	50	50	50	50	50
		直 接 費 (C ₁)	10	10	10	10	10
		減価償却 (C ₂)	20	20	20	20	20
		税 前 利 益 δ	20	20	20	20	20
		税 金 (50%) (C ₃)	10	10	10	10	10
資金運用表		税 後 利 益 γ	10	10	10	10	10
		減価償却費 (C ₂)	20	20	20	20	20
	投下資本						
	① C _t		② B _t				
	-100	キャッシュフロー	30	30	30	30	30

第4表 ROR 法による収益率の計算例

[その2：NPV15%と16%の場合の現価率と各年の現在価値及び収益率(i)の計算]

年度	現価率 (i=0.15)	各年の現在価値	現価率 (i=0.16)	各年の現在価値
0	1	1×100	1×(100)=	100
1	$\frac{1}{1+0.15} = 0.8696$	0.8696×30=26.1	$\frac{1}{1+0.16} = 0.8622$	0.8622×30=25.9
2	$\frac{1}{(1+0.15)^2} = 0.7561$	0.7561×30=22.7	$\frac{1}{(1+0.16)^2} = 0.7431$	0.7431×30=22.3
3	$\frac{1}{(1+0.15)^3} = 0.6575$	0.6575×30=19.7	$\frac{1}{(1+0.16)^3} = 0.6407$	0.6407×30=19.2
4	$\frac{1}{(1+0.15)^4} = 0.5718$	0.5718×30=17.2	$\frac{1}{(1+0.16)^4} = 0.5523$	0.5523×30=16.6
5	$\frac{1}{(1+0.15)^5} = 0.4972$	0.4972×30=14.9	$\frac{1}{(1+0.16)^5} = 0.4761$	0.4761×30=14.3
	NPV(15%) 3.3522	3.3522×30=100.6	NPV (16%) 3.2744	3.2744×30=98.3
R O R	100-100.6=-0.6		100-98.3=1.7	
	$\frac{0.6}{15\% + (0.6 - (-1.7))} \times 1\% = 15.3\%, \text{ROR}(i) = 15.3\%$			

出所：「資源経済性評価法」、中嶋滋夫、東京大学工学部資源開発工学科テキスト、平成元年

〔参考文献〕

- 1) 「石炭事情の現状と展望」、三室戸義光、第11回エネルギー基礎講座、財団法人日本エネルギー経済研究所、1998年9月
- 2) 同上
- 3) 「資源管理計画」、中嶋滋夫、株式会社「サンワ」発行、1998年4月
- 4) 「Our threatend coal resources」、Department of Mineral Resources、NSW State of Australia、1994
- 5) 「産業用一般炭の行方」、石油代替エネルギーシリーズその4、木船久夫、エネルギー経済、日本エネルギー経済研究所、1986年1月
- 6) 統計資料8-8「エネルギー源別平均CIF価格」「エネルギー経済」、日本エネルギー経済研究所、1998年10月
- 7) 「革新的エネルギー技術の実用化に関する基礎調査4、石炭の項(内山直樹)」平成9年度調査報告書(NEDO-P-9737) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、平成10年3月
- 8) 3. と同じ
- 9) 「今後の豪州炭の安定供給の課題」、平成8年度海外炭輸入基盤整備促進調査、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、委託調査先：財団法人日本エネルギー経済研究所、平成9年3月
- 10) 「中国3石炭火力発電所建設にかかる案件形成促進調査報告書」、OECD・SAPROF ミッション調査報告書、「石炭の部」、中嶋滋夫、1994年1月
- 11) 「中国の石炭生産の現状」Japac 国際交流会'98、中国国务院企画部国家石炭鉱業局副局長、呉吟、1998年
- 12) 「南アフリカ共和国石炭総合事情調査」、中嶋滋夫他、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、平成5年3月
- 13) 「主要産炭地域における石炭資源経済性評価にかかる高度化情報システム確立のための調査」、中嶋滋夫他、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、平成6年3月
- 14) 「資源経済性評価法」、中嶋滋夫、東京大学工学部資源開発工学科テキスト、平成元年
- 15) 「長期プロジェクトの採算性評価法」、大橋洋二著、1976年11月

Economical Evaluation Method of the World Coal Resources (The First Report) FIRR Method

Faculty of Regional Development Studies, Toyo University
Professor Shigeo NAKAJIMA

A supply and demand problem of coal energy in the 21st century is predicted to give rise to utter confusion. The demand on coal energy is expected to grow by 1.7 times the current demand by the year 2020 lead by Asian regions. Today, the price of coal per 1000kcal is dropping along with the sluggish oil price. And thus, even if there is an increase in demand, the price will be held down and the production balance will weaken. It rather threatens continuance of the existing coal mines.

As the above mentioned example of the case with coal indicates, in order to solve such a contradiction, we need to seize economically mineable coal reserves. Number of those unsolved problems concerning energy supply and demand are mostly resulted from not pursuing an evaluation of the economically mineable reserves of both coal and oil on a global level.

An economical evaluation method standardized internationally for economically mineable reserves has never been needed before and therefore, it has not yet been developed.

As the first report on the development of economical and technical method to search for the global economically mineable reserves, this thesis discussed merits of the FIRR method. It is generalized most these days as an economical evaluation method for resource development projects. The thesis also discusses possibilities of applying the method for the said purpose.