

石油の埋蔵量 ～第10回世界石油会議ブカレスト大会より～

福田 理(燃料部)

1. ま え が き

昭和50(1975)年の第9回世界石油会議東京大会(9th World Petroleum Congress, Tokyo, 1975)の後 東京開催ということで参会の機会を得た著者は いち早く同大会における J. D. MOODY の石油の埋蔵量に関する講演の内容を紹介した(福田 1975; 福田ほか 5名 1975). その後も何回か形をかえて 石油資源問題について解説ならびに批判を試みた(福田 1978a, b; 福田 1979a, b, c; 福田 1980).

昭和 54 (1979) 年秋の第10回世界石油会議ブカレスト大会(10th World Petroleum Congress, Bucharest, 1979; 図 1, 2)においても M. T. HALBOUY and J. D. MOODY の両氏によって 同じ問題が論じられた. 世界石油会議が民間主体の会議であるところから 著者は参会する方法を見出し得なかったが 参会された石油資源開発取締役井上寛生氏の好意により このほど両氏の PD (パネル・ディスカッション) 12における講演のプレプリントを見る機会に恵まれたので それに基づいて両氏の所論をわかり易い形で紹介して エネルギー問題に関心の深い多くの読者のご参考に供する次第である. なお 本講演の内容については すでに著者(福田 1979c)が簡

単に紹介しておいたことを付記しておく.

2. 講演の構成

プレプリントによると 両氏の講演は次のようになっている.

1. 緒 論
2. 諸 定 義
3. 発見量と生産量の資料
4. 発見と生産の歴史
5. 未発見潜在量の見積り
6. 世界の堆積盆
7. 未発見潜在量
8. 結 論

緒論においては 両氏の意図が 過去 現在 および 未来における世界の原油資源の簡単な像を与えることにあること ならびに 両氏の情報源は出版された資料であるが なかでも Rand Corp. の R. NEHRING によって編集された 'Giant Oil Fields and World Oil Resources, Prepared for the Central Intelligence Agency' (CIA のために作製された '巨大油田と世界の石油資源') および DE GOLYER & MACNAUGHTON の共著の 'Handbook of Petroleum Statistics' (石油統計便覧) に負うところが大きいことが述べられている. 以下に 2節以下の内容について順次紹介しよう.

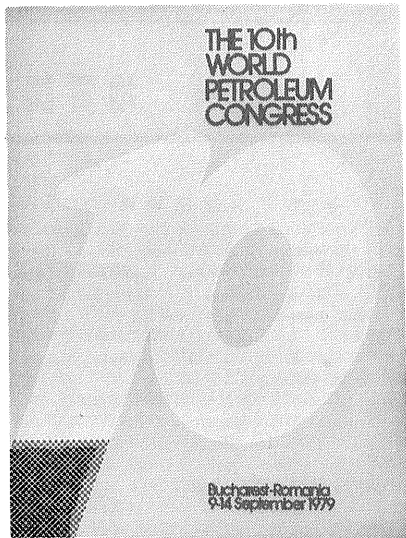


図1 第10回世界石油会議 Buchares 大会の英文案内(表紙)

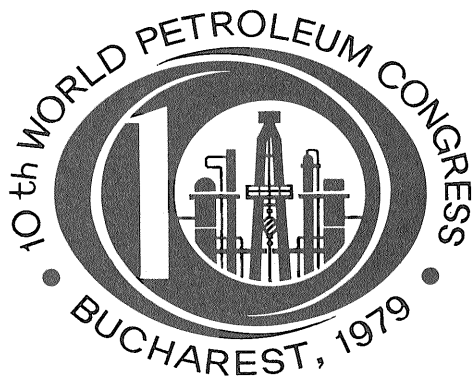


図2 第10回世界石油会議 Bucharest 大会のマーク

3. 諸 定 義

演者に東京大会における演者の Moody が入っていることから推察されるように Bucharest 大会における両氏の講演で使われている術語の定義は Moody によるものと実質的な内容においてまったく同じであるが 与えられた定義の表現は少し違っている。

【堆積盆】 一般に構造的起源の不規則面で それに包れている岩塊は ある期間を超える地質学的時間において ある他から区別される地理的範囲内において 比較的一様な構造的環境のなかでもともに沈積した1つまたは複数の起源をもつ堆積物からなる。(原文 Basin)

【発見量】 ひろがりか試掘によってすでに証明されている炭化水素の集積(のうちの可採量*)。(原文 Discovered)

【油田】 単数または複数のトラップ プールまたは貯留層を含む単一の連続的な産油地区。(原文 Field)

【プール】 単一のトラップ内における単一の炭化水素の集積。 単数または複数のプールが油田を作る。(原文 Pool)

【期待埋蔵量】 ある油田から回収されることが合理的に期待される既発見の炭化水素量で 確認埋蔵量よりずっと小さい。(原文 Prospective reserve)

【確認埋蔵量】 現在ある設備・施設から生産されることが合理的に期待される既発見の炭化水素量。(原文 Proved reserve)

【油田区】 相当均一な地質をもち 単数または複数の油田から確実に出油している地区で 通常1つの堆積盆であるが 必ずしもそうでないこともある。(原文 Province)

【埋蔵量】 ある油田において今後生産さるべき既発見の炭化水素量。(原文 Reserve)

【貯留層】 炭化水素を含むあるトラップのなかの多孔質岩。(原文 Reservoir)

【資源量】 ある地理的単元——堆積盆 油田地域 国 その他——において回収可能な炭化水素の総量で 既発見・未発見の双方を含む。(原文 Resource)

【トラップ】 炭化水素がそれに集積し得るように 上り傾斜側がシールされたある容積をもつ貯留岩。(原文 Trap)

【究極量】 過去の生産量プラス埋蔵量(確認プラス期待) プラス未発見潜在量。(原文 Ultimate)

【未発見量】 そのひろがりか試掘によって証明されていない炭化水素の集積 すなわち未試掘のトラップ中にあるであろう埋蔵量。(原文 Undiscovered)

【単位】 1 トン=7バレル
1 ギガトン(GT)=10億トン
ガス当量 1バレル=6000ft³=6Mcf
エネルギー当量 1Mcf = 10⁹Btu
1 クオド(quad)=10¹⁵Btu=10¹²ft³(ガス)
=167×10⁶バレル(石油)

注 Btu(英国熱量単位 British thermal unit)
=質量 1ポンド(16オンス 453.6g)
の水の温度を 40F°(4.4°C)から 1°F(0.6°C)
だけ高めるのに要する熱量で 252calに当る
10⁶Btuを MMBtuと記し 実用単位として
用いる また 10⁹Btu(25,200 kcal)を
1サーム(therm)という

*著者補

以上の説明にはないが 本文中で使われている用語に次のようなものがある。

【残存埋蔵量】 彼等の埋蔵量 または Moody の P+P 埋蔵量の代りとして使われている。この前の P は Proved(確認)の略 また後の P は Prospective(期待)の略である。(原文 Remaining reserve)

また 必要なものについて Moody の用語と対照して示すと次のようになる。

Moody (1975)

発見量: Ultimate recovery (究極可採量)
埋蔵量: P+P reserves (P+P 埋蔵量)
資源量: P+P reserves plus undiscovered potential
(P+P 埋蔵量プラス未発見潜在量)
究極量: Ultimate reserves (究極埋蔵量)

定義そのものも一般に Moody (1975) のものの方がわかり易いので それに基づく著者 (1979a) の解説も参照していただきたい。

4. 発見量と生産量

1976年の初めまでに全世界で見つかった原油量は 1,632億トン そのうちの累計生産量は484億トン また

表1 世界の原油埋蔵量の地域的分布 (1975年末現在 単位:ギガトン)

地域	発見量	累計生産量	残存埋蔵量	発見量の%	世界の埋蔵量 中の%
西半球	43.5	23.8	19.7	45.3	17.2
USA	23.4	16.0	7.4	31.6	6.4
Venezuela	7.3	4.6	2.7	37.0	2.4
Mexico	9.3	0.8	8.5	91.4	7.4
Canada	2.2	1.1	1.1	50.0	1.0
西ヨーロッパ	4.4	0.4	4.0	90.9	3.5
North Sea (UK and Norway)	3.7	—	3.7	100.0	3.2
アフリカ	8.9	2.9	6.0	67.4	5.2
Libya	4.3	1.3	3.0	69.8	2.6
Nigeria	2.2	0.7	1.5	68.2	1.3
Algeria	1.7	0.6	1.1	64.7	1.0
中東	80.3	12.2	68.1	84.8	59.3
Saudi Arabia	35.8	3.5	32.3	90.2	28.1
Iran	14.1	3.2	10.9	77.3	9.5
Kuwait	12.4	2.4	10.0	80.6	8.7
Iraq	7.1	1.6	5.5	77.5	4.8
Abu Dhabi	6.1	0.5	5.6	91.8	4.9
Neutral Zone	1.9	0.4	1.5	78.9	1.3
東ヨーロッパ	18.8	7.3	11.5	61.2	10.0
USSR	17.3	6.7	10.6	61.3	9.2
アフリカ/オセアニア	7.3	1.8	5.5	75.3	4.8
China	3.3	0.4	2.9	87.9	2.5
Indonesia	2.2	0.9	1.3	59.1	1.1
世界	163.2	48.4	114.8	70.3	100.0

1 ギガトン=10億トン

表2 世界の重要産油地区の発見量 (単位:ギガトン)

地区	中東	その他
1. Saudi Arabia	35.8	
2. USA		23.4
3. USSR		17.3
4. Iran	14.1	
5. Kuwait	12.4	
6. Mexico		9.3
7. Venezuela		7.3
8. Iraq	7.1	
9. Abu Dhabi	6.1	
10. Libya		4.3
11. North Sea		3.7
12. China		3.3
13. Nigeria		2.2
14. Indonesia		2.2
15. Canada		2.2
16. Neutral Zone	1.9	
17. Algeria		1.7
全世界	77.4	76.9
		154.3
		163.2
		世界の%
6 Middle East areas	77.4	47.4
11 other areas	76.9	47.1
合計	154.3	94.5

残存埋蔵量は1,148億トンである。Moony の言葉を借りると上の1,632億トンおよび1,148億トンはそれぞれ究極可採量およびP+P埋蔵量である。この残存埋蔵量は究極可採量の70.3%でありまた前者の半分以上(59.3%)は中東にある。世界を6大地域に分けて発見量生産量および残存埋蔵量をまとめて示したのが表1である。6大地域に含まれる17の主要産油国は世界の発見量の95%近くを保有している。

これら17の主要産油国の発見量に順位を付けて示したのが表2である。これら諸国は世界の総発見量1,632億トンのうち1,543億トンを保有する。17か国のうち6国は中東にありその発見量は世界のその47.7%を占めるのに対して残りの11か国のそれは47.1%である。中東の6か国は単一の堆積盆から産油しているのに対して他の11か国の産油堆積盆は多数ある。1例を挙げると米国の産油堆積盆は14もある。

世界には稼行に耐えるだけの炭化水素をもつ約160の堆積盆があるがこれら堆積盆中の埋蔵量の分布は変化に富む。160もの堆積盆のうち14億トン以上の発見量をもつのは25だけでありその発見量の合計は世界のその86%を占める。またそのうち6つの堆積盆だけで世界の発見量の65%を占める。そして中東の単一の

1ギガトン=10億トン=70億バレル

表3 発見量 生産量 累計発見量 累計生産量および埋蔵量の推移

	発見量	生産量	累計 発見量	累計 生産量	埋蔵量
全世界(ギガトン)					
1921-25	2.11	0.67	(10.05)	(1.15)	
1926-30	10.41	0.94	12.16	1.82	10.34
1931-35	2.59	1.04	22.57	2.76	19.81
1936-40	19.40	1.44	25.16	3.80	21.36
1941-45	4.68	1.68	44.56	5.24	39.32
1946-50	18.38	2.34	49.24	6.92	42.32
1951-55	16.78	3.46	67.62	9.26	58.38
1956-60	20.27	4.85	84.40	12.72	71.68
1961-65	26.39	6.85	104.67	17.57	87.10
1966-70	19.50	10.14	131.06	24.42	106.64
1971-75	12.67	13.80	150.56	34.56	115.00
			163.23	48.36	114.87
中東(ギガトン)					
1921-25	0.21	0.02	(.29)	(.01)	
1926-30	5.32	0.03	0.50	0.03	0.47
1931-35	0.86	0.04	5.82	0.06	5.76
1936-40	15.70	0.08	6.68	0.10	6.58
1941-45	2.16	0.09	22.38	0.18	22.20
1946-50	13.57	0.30	24.54	0.27	24.27
1951-55	11.20	0.65	38.11	0.57	37.54
1956-60	9.08	1.10	49.31	1.22	48.09
1961-65	14.39	1.81	58.39	2.32	56.07
1966-70	5.69	2.98	72.78	4.13	68.65
1971-75	1.82	5.07	78.47	7.12	71.35
			80.29	12.19	68.10
米国(ギガトン)					
1921-25	1.61	0.46	(5.91)	(0.71)	
1926-30	4.40	0.64	7.52	1.17	6.35
1931-35	1.31	0.64	11.92	1.81	10.11
1936-40	2.29	0.89	13.23	2.45	10.78
1941-45	0.18	1.10	15.52	3.34	12.18
1946-50	1.57	1.35	15.70	4.44	11.26
1951-55	0.82	1.67	17.27	5.79	11.48
1956-60	0.58	1.83	18.09	7.46	10.63
1961-65	0.52	1.96	18.67	9.29	9.38
1966-70	3.74	2.35	19.19	11.25	7.94
1971-75	0.47	2.36	22.93	13.60	9.33
			23.40	15.96	7.48

1ギガトン=10億トン=70億バレル

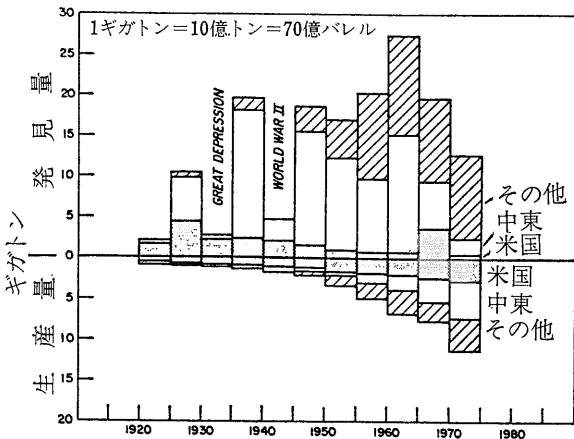


図3 5年刻みの世界の発見量および生産量の推移

堆積盆だけで 世界の発見量のおよそ40%を占めている。

5. 発見と生産の歴史

表3は 1920年から1975年までの石油の発見と生産の歴史を 5年ごとにまとめて示したものである。本表から 5年間隔で発見量と生産量とをプロットしたのが図3である。本図には第2次大戦による発見量の落ちこみははっきり見られる。Prudhoe湾における発見のあった1965~1970年を除くと 1950年以来米国における発見量は生産量を下まわっている。同様に 中東における1970年以後の発見量も生産量に及ばない。

図1に示されているように 世界の石油発見の歴史は 散発的かつ一般的傾向としては 経過とともに増加する発見レートで特徴づけられている。1930年代の後期から1960年代の中頃までは 巨大な中東の油田の大部分が発見された年代であった。すでに指摘したように 中

東における石油発見のレートは 近年著しく落ちている。

最近の発見の評価は困難であるが 1965～1976の12年間にしてみると 世界における発見のレートは一般に低下している。しかし 共産圏における発見は1967年以來むしろ控え目であり また他の諸国においては政府系会社による発掘量が1971年以來増加している。この増加の多くの部分は 南メキシコの Reforma 地区における PEMEX 社による近年の成功を反映するものである。しかし 1970年までの数10年間 政府系会社の発見量は年間およそ1.4億トンの割合で 非共産圏全体のおよそ7%であった。1965～1969年間の企業による発見量は基本的には中東におけるそれを反映している。1968年における米国のピークは アラスカにおける Prudhoe 湾での発見の影響を示している。1970年以後の企業による発見は 北海での発見によって重みを増した。

図4は世界の埋蔵量を5年刻みでプロットしたものである。世界の全埋蔵量に対する米国のその割合は1925年以來減少し続けているが 米国の埋蔵量のピークは1935～1940年の間にあった。中東の多数の巨大油田は 世界の埋蔵量にはっきりした影響を与えている。

6. 未発見潜在量の見積り

ある油田の原油の埋蔵量の見積りは 6個ほどの変数を使う比較的わかり易い方法で行われる。単一の油層については これ等6つの変数はいずれも直接測定できるか 比較的小さな誤差の限界内で合理的に推定される。この方法は堆積盆について未発見潜在量を見積るのに適用できるようにモディファイされている。一言でいうと これは適切な変数を確率論に基礎をおく方法で組合せることによって行われている。予想値およびそ

の存在域を導くには足りる累積確率分布曲線がその最終の結果である。この技術は分析に適したディタ・ベースのある世界各地の多くの堆積盆についてフォローされている。

その他の堆積盆については 産油地区あるいは準産油地区内にある稼行可能な含油層を 次のようにして推定してきた。a) 推定潜在供給量を見積るために実在する油田と関係づける。b) 予想潜在供給量を見積るために実在する産油層と関係づける。

含油層の探鉱が進んだ部分については 累計生産量および発見埋蔵量が究極可採量の全量を得るために加算された。この数字を探鉱の進んだ稼行可能な含油層の容積で割ると 産出層の単位容積当りの究極可採量が得られる。この単位容積当りの数字は 推定および予想含油層の地質学的変化および貯蓄層条件の変化に応じて調整された。これ等の調整された数字は a) 実在する油田の延長部 およびそれに連なる新しい鉱床の中にある推定潜在供給量を見積るのに また b) 試掘が不十分な産油地区および準産油地区にある試掘でわかったトラップや構造にある予想潜在供給量を見積るのに使われた。

未産油地区においては 未試掘の堆積物の容積が見積られ 次いで産油地区における潜在堆積物および未産油堆積物の容積が見積られた。このような堆積物中の堆積潜在供給量は 産油に関する特徴がよく知られた他の地区および準地区にある類似した堆積物と比べることによって見積られる。

既知から未知へ進むに当たって 見積りをする人の判断が 潜在供給量を見積る上にもっとも重要なファクターとなる。ひろい経験をもち 充実したデータ・ベースが身近かにある見積りだけが このような見積りに当たって適切な調整をするのに十分な詳細な知識を持っている。あらゆる点で 未発見潜在量の見積りは すべての地質学および工学的資料を使つての客観的かつ科学的なアプローチを反映している。

結局 埋蔵量についての見積り 発見年月 掘削記録 生産関係資料等のしっかりした資料に基づいて 純統計的に見積ることも可能である。また これまでに述べた方法による見積りを この純統計的に求めた見積りでチェックできる場合もある。

われわれのすべての見積りの根底には 次のような仮定が置かれている。

- 1) 水深の限界を2,000m までとする
- 2) 回収率を40%とする
- 3) 石油に関する地質学の知識により すべての予想トラップの見当がつけられる

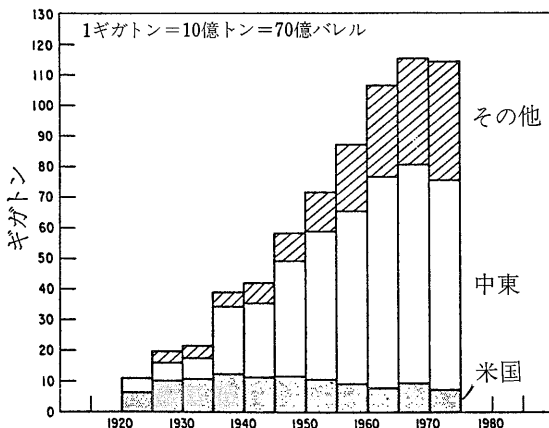


図4 5年刻みの世界の埋蔵量の推移

7. 世界の堆積盆

世界には 次の4つの範疇に区分されるおよそ600の堆積盆がある。1) 探鉱が著しく進んだ 2) 探鉱が進んだ 3) 探鉱が部分的に行われた および 4) 本質的に未探鉱の。これ等のうち 約200の堆積盆については 石油の探鉱はほとんど あるいはまったく行われていない。しかし これ等についても その規模内側を満たしている堆積物の量とタイプ およびそれ等の大体の構造的特質を明らかにするために 十分な研究が行われている。未探鉱堆積盆の大多数は 極地 水深の大きいところや 大陸の遠隔内陸部のような きびしい環境のところにある。残りは 政治的問題のため探鉱活動が制限されているか 遠隔地のためまたは地質学的潜在力に不安があるため 探鉱が行われていない堆積盆である。

部分的に および中程度に探鉱されたその他の240の堆積盆については 探鉱面積はともかく 企業化に耐えるだけの発見はなかった。残りの160の堆積盆だけが炭化水素の商業的生産量をもつ。

これ等の資料は 世界の堆積盆のおよそ60%が 最終的には商業的生産量をもつようになるだろうことを暗示している。したがって 未探鉱の堆積盆のうち120ほどが企業化に耐えるであろう。しかし 14億トン以上の石油をもつ堆積盆は12~15を超えないであろうし また 70億トン以上の石油をもつものは2~4程度であろう。埋蔵量の規模において中東の堆積盆に匹敵するものは おそらくもうないであろう。

世界の産油堆積盆は幾分主観的な部分 すなわち開発先進地区と開発途上地区とに分けられる。また これ等の堆積盆には未開発の石油のうちかなりの部分が含まれているに違いない。

考えられる未発見潜在量のうちの30%ほどは 最盛期にある産油地区からもたらされるであろう。これ等の産油地区はかつて自熱的に探鉱されたところである。

主要な探鉱目標は次のとおりである： 1) 既知の活動をひろげる 2) 新活動で おもに層位トラップおよび微妙なトラップ または既知の構造の深部に対して行われる 3) 低級鉱床の回収率を高める。最盛期にある地区の探鉱は 多年にわたって 米国 カナダ 西ヨーロッパ およびソ連邦で行われてきた。また それは中東およびベネズエラにおいてまさに始まろうとしている。中東の既知の構造上の二疊紀のKhuff 累層中における最近の巨大な天然ガスの発見 Maricaibo 湖における相当規模の白亜紀鉱床の発見 ソ連邦の Volga-Ural 堆積盆における Orenberg ガス鉱床の発見等は 開発最

盛期における堆積盆中にも 潜在量があったことを示している。

今日探鉱が集中的に行われている開発途上の産油地区には 企業化できそうな残存未発見潜在量の40%以上が含まれている。開発途上地区における探鉱活動の例としては 北海の Moray Firth (陸地に深く入りこんだ湾) 部における発見 中央北海の上部ジュラ系での発見 西シベリアでの石炭系における発見 およびメキシコの Reforma 地区における白亜—ジュラ系での発見等があげられる。

将来の企業化できる潜在量の3分の2近くは 今日産油している堆積盆で発見されるであろう。

世界の石油の探鉱・開発前線は 石油の相当規模の集積の発見が期待されているが これまで探鉱がわずしか行われていなかったところである。それ等の位置から そこでの石油の発見はきわめて難しく かつ不経済なものであろうことは明らかである。しかし その潜在量はしっかりしたものであると信じられている。このような前線地区の物理的環境は 普通のところと きびしいところに分けられる。

前線地区として残されている普通の環境のところはあまりない。今日探鉱が許されているこのような地区には 米国の大西洋・太平洋沖 インドの東海岸 およびベトナム沖が含まれる。東支那海およびGulf of Venezuela のようなところは 国境問題をはらんでいる。中程度の環境のところはなお探鉱前線堆積盆として残されているおもな理由は 国内政治問題および国境問題である。メキシコ湾の深部 ベトナム沖 および米国の Basin-and-Range 地区のようなところには すでに生産のきざしが見られる。米国の大西洋沖 アルゼンチン沖 ブラジル沖 および東支那海だけが 近い将来の産油地区から幾分遠いところにある。これ等はいずれも多くは構造と厚い堆積物とをもっており 探鉱に値することは間違いない。

環境のきびしい地区の大部分は北極地方にある。これ等の地区では 探鉱とまでは行かないが 意味のある技術的挑戦がすでに行われており 一度石油が発見されれば 生産が行われるであろう。北極地区において発見から生産がピークに達するまでに要する時間は 10年以上であろう。この時間は 気候と天候 石油の量 坑井の生産性 および政府の規制によってきまる。

北極地方の南部のもっともきびしい環境のところの水深は ほとんど600mを超えている。その他のもっと

もきびしい環境のところは アフリカ アジア および南アメリカの諸大陸の隔離された内陸部にある。この潜在量もまた非常に大きく 発見されれば 生産までもって行けるであろう。探鉱対象面積の大きいことを考えると このような地区における発見の促進には大きな希望がもてる。

洗練された技術の発達は 探鉱対象面積の大きさおよび業務遂行上の制約によって 拍車をかけられたり 抑制されたりする。前線地区における探鉱・開発上の制約は 技術開発および内包されるリスクのため コストに反映する。このような前線地区をもつ政府は このコスト問題を認識し始め これ等地区に挑戦する企業に対して報奨を与えている。

かなりの潜在量をもつ地区の例としては Labrador 海 Baffin 湾 Trondheim 海岸 Greenland 沖 南西アイランド およびイギリス海峡に面する Western Approaches が挙げられる。これ等の地区は 多くの点少なくとも構造のタイプ および岩石の年代と種類において 北海に似ている。ソ連邦の Kara 海 Khatanga 舟状盆地 および Tunguska 地区は 基本的に西シベリアの地質の延長である。西中国の準噶爾(Tzungaria) およびタリムの両盆地もまた 西シベリアおよび アジア・ロシアの Kara Kum 盆地によく似ている。

ノース・スロープ沖および Beaufort 海は あらゆる点で それ等の陸域の対応部に似ている。それは南アメリカの大西洋岸 アフリカの西海岸 およびメキシコ湾についても同様である。しかし これら3地区については 個々の油田が深海部においても企業化できるだけの規模をもっているかどうか という大きな疑問がある。

ノルウェーおよびソ連邦沖の Barents 海地区は 背斜ブロック断層 および岩塩ドームといった構造の変化に富む。この地区に連なる北部ヨーロッパ・ロシアの陸域の Pechora 盆地からは 石油が出ている。アラスカとシベリアとの間の沖合にある Chukchi および Bering の両盆地も 厚い堆積物で満されており かつ多くの構造がある。

構造的には 中央アフリカの諸盆地は リビアの Sirte 盆地に幾分似ている。Chad, Niger, および Sudan においては 最近試掘によって石油が見つかった。

オーストラリア北西海岸沖の水深の大きいところにある Exmouth 地区は 隣接する北西陸棚のガスに富む地区によく似ているようである。最近この地区の入札をした諸企業は Exmouth に大きな石油溜りがあることには疑いをもっており むしろガスに期待しているようである。

アラスカ湾は 太平洋トレンチの近くに発達している他の潜在産油地区とは 幾分異なっている。底の深いアマゾン コンゴ およびベンガルの扇状地は 三角州堆積物の特徴の一部を備えているが それぞれ今日までに開発された主要な産油地区のどれとも幾分か違ってゐる。東シベリア海および南極地方の幾つかの堆積盆だけは 石油の潜在量について言及できるまでに至っていない。

このような地区の中には 石油をもたないものもあるかも知れないが われわれを引きつけるだけの可能性を秘めていることを 見逃すことはできないであろう。たとえば スコットランドの Shetland 諸島の西方における最近の発見は このようなきびしい環境における探鉱につきもののリスクにあえていどんでみようとするだけの意欲を 企業に起させた。ちなみに この海域は不利な北大西洋気象と比較的深い水深で知られている。

深海掘削・生産技術は日進月歩しており その水深記録は月単位の短期間で破られている。最近では 掘削は水深が1,500mを超えるとでも可能となり 大深度からの掘削および生産の実行計画が すでに策定段階に入っている。

8. 未発見潜在量

世界の石油の未発見潜在量がかなり大きいということについては 多くの探鉱技術者の意見はわれわれと一致している。かなりの石油が発見されるのを待っていると思われる。

未発見潜在量の半分以上は 最近生産に入った地区が生産可能であることが知られた地区にあるであろう。これ等の地区における探鉱のスピード・アップ あるいは発見は おもに物理探鉱活動および試掘の増加 および新しい探鉱理念の発展にかかっている。

探鉱前線堆積盆における未発見潜在量は 実際にあるものと信じられている。このような地区は世界の埋蔵量の増加に大きな貢献をするにちがいないが この潜在量が見つかるのは 大部分きびしい 高コストとなるであろう。このような地区の探鉱および開発に要求される技術は 高度に洗練された高価なものであり 私企業のやれる域を超えている。探鉱前線地区における発見量をふやすには 見込みのある地区であることのほかに 私企業と指導・統制力のある政府または政府系企業との間の協力が必要である。

表4には世界の5大産油地における未発見潜在量が要約して示されている。ただし 生産量および埋蔵量に関する数字には見込み量が含まれている。

表4 世界の原油埋蔵量(年当初現在 単位:ギガトン)

	生産量	埋蔵量 (確認および期待)	未発見量 推測値(範囲)	合計
米国	16	7	11 (5-28)	34
その他の西半球	8	12	25 (6-50)	45
ロシア、中国、その他	8	14	50 (14-129)	72
中東	12	68	19 (7-70)	99
その他の東半球	4	14	36 (6-68)	54
合計	48	115	141 (40-345)	304

1ギガトン=10億トン=70億バレル

それによれば 世界の石油の究極埋蔵量は3,040億トンである。 そのうち未発見潜在量は1,410億トンである。 ただし この推定値は90%の確実性のある 400 億トンから 確実性が10%しかない3,450億トンまでのひろがりをもつ。

図5は累計発見量と累計生産量とを暦年に対してプロットしたものである。 未発見潜在量の確実性による限界を示したのが 本図の上部の横線である。 これと同じ資料を片対数グラフで示したのが図6である。 両図は 需要が供給を上まわり 経済的ならびに政治的混乱状態が起る前にわれわれがなすべきことは 発見率の劇的向上であることを 強く示している。

図7に示されているように 原油の需要を指数函数的に増加させている原動力は 指数函数的な人口の増加である。 そして このように増加する人口は 生活の質の向上を期待する。 この需要増の推進力に対処するには 発見率を向上させて効果的な探鉱を実施するか 代替エネルギーを開発するほかない。 われわれの見解では この両方ともやるべきである。

9. まとめ

図8は世界の石油の総生産量 埋蔵量 および未発見潜在量をまとめたものである。

世界の究極可採原油供給量 (Moody の究極埋蔵量) は 3,040億トンと見積られる。 これは1975年末までの累計生産量 480 億トンを含む。 また そのうちの1,150億トンは残存埋蔵量 (P+P 埋蔵量ともいう) であり 1,410億トンは潜在未来可採量 (未発見潜在量のこと) である。 以上の数字は 過去に見つかった程度の石油が将来見つかるであろうことを意味している。

新しい石油の埋蔵量を求めて 世界の多くの部分で探鉱が進められているが 十分な探鉱を行えば 新しい石油供給に対する強い要望に対処できるであろう陸域および沖合が 世界にはまだ残されている。 しかし現在の傾向が続くと 早晚生産量が発見量を上まわるようになるであろう。

10. 第9回東京大会における Moody 講演との比較

上に紹介した第10回 Bucharest 大会における HALBOURY-Moody 講演のプレプリントと 第9回東京大会

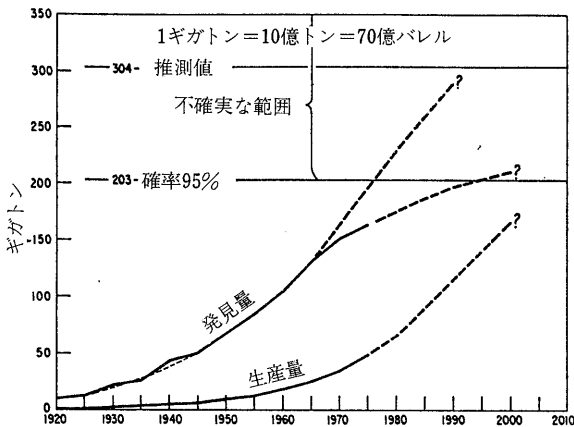


図5 5年刻みの世界の累計発見量および生産量

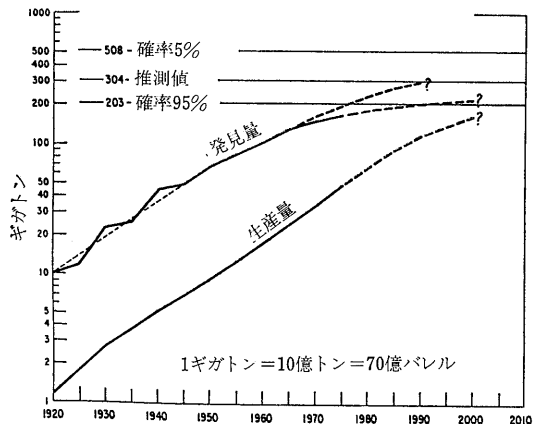


図6 図5をセミログ紙にプロットしたもの

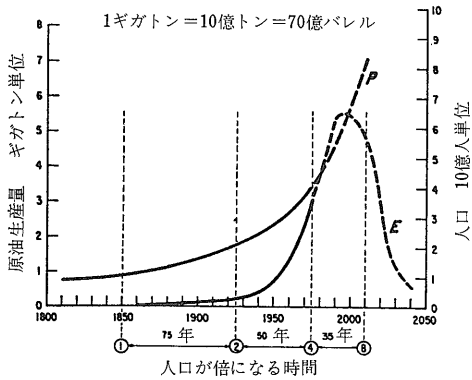


図7 世界の人口と原油消費量の推移

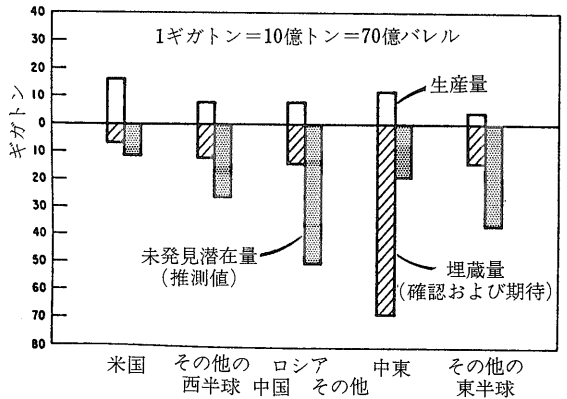


図8 世界の生産量 埋蔵量 未発見潜在量 (1976年当初現在)

における Moody 講演とから 主要な数字をピック・アップして比較してみると 表5の上半分ようになる。Moody 講演の紹介をした (福田 1975; 1978a; 1979a; 1980; 福田ほか5名 1975) 際 1959年の WEEKS の見積り以来究極回収率を40%とした場合の究極埋蔵量の推定値が本質的に変わっていないことを注意しておいた。Moody (1975) および HALBOUYT & MOODY (1979) の究極埋蔵量の推定値は それぞれ2,763億トンおよび3,040億トンであるから 後者を入れて考えても この事情は変らな

い。また 究極可採量の推定についてみると それぞれ1,507億トン (MOODY) および1,632億トン (HALBOUYT & MOODY) である。MOODY の見積りが1974年当初現在で行なわれているのに対して HALBOUYT & MOODY のそれは1975年当初現在で行われているから この1年間に加わった資料によって究極埋蔵量は10%増し また究極可採量は8%増しとなったことになる。HALBOUYT & MOODY によれば これはメキシコの Reforma 地区での発見によるものである。本地区は インカの遺跡で知られた Yucatan 半島のつけ根にある同名の油田群をもつ石油区 (図9) で 西半球最大のものといわれている。その模式的な地質柱状図は図10に示すとおりで サウジ・アラビアの大油田 たとえば世界最大の Ghawor 油田 (図11) や Dammam 油田 (図12) のそれとよく似ており いずれも炭酸塩岩が卓越している (福田 1979b)。

表5 東京大会と大会と Bucharest の資料の比較

(単位: 10⁹トン)

項目	東京大会 (1974 未現在)	Bucharest 大会 (1975 未現在)
累計生産量	43.5	48.4
P+P 埋蔵量	107.2	114.8
究極可採量(R ₁)	150.7	163.2
未発見潜在量	126.2	141
究極埋蔵量 ¹⁾ (R ₂)	276.9	304
究極埋蔵量 ²⁾ (R ₃)	415.35	456
R/P ³⁾	31.6 ⁴⁾	33.1 ⁵⁾
最大年生産量 R ₁ に 到達時期 } による	3.366 } 1984年 後半 }	3.463 } 1985年 初め }
最大年生産量 R ₂ に 到達時期 } による	4.970 } 1997年 中頃 }	5.071 } 1998年 後半 }
最大年生産量 R ₃ に 到達時期 } による	6.462 } 2007年 前半 }	6.807 } 2008年 前半 }

- 1) 究極回収率を40%とする
- 2) 究極回収率を60%とする
- 3) 確認埋蔵量/年生産量
- 4) World Oil 誌および BP 統計による
- 5) BP統計による

次に 上に述べたことの汎地球的な地体構造論上(global tectonics) の意義を考えてみよう。中東の油田群を生んだアラビアーイラン堆積盆 (Arabian-Iran Basin) はパンゲア (Pangaea) にパンタラッサ (Panthalassa) から深く入りこんだテーチス海 (Tethys Sea) に由来する。三疊紀の中頃からパンゲアは分裂し始め 三疊紀末にはローレイシア (Laurasia) とゴンドワナ (Gondwana) との区別が明瞭になり ジブラルタル海峡から中央アメリカにかけて テーチス海を裏返しにした形の海ができた。一方 ローレイシアを不動とすると ジブラルタル海峡付近を中心として ゴンドワナが反時計まわりに回転したため テーチス海はむしろ小さくなった。大西洋ができ始めたのもその頃である。この傾向は現在まで続いている。アラビアーイラン堆積盆がテーチス海およびそのゴンドワナ側の海になったり陸になったりすると (現在のアラビア半島北東側) にまたがっているのに対して レフォルマ地区は上に述べた現在の中央メリ

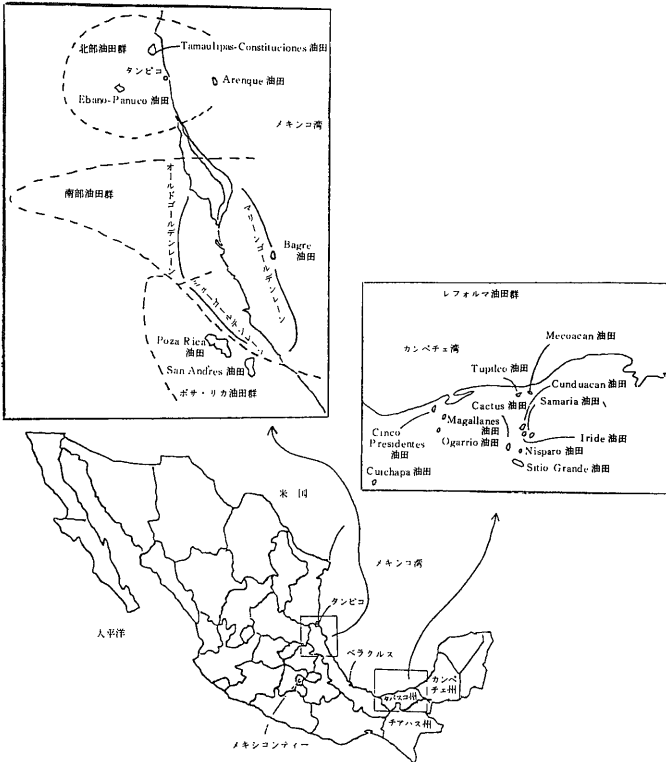


図9 メキシコの主要油田 (日産5,000bbl以上) (石油開発関係資料)

カ付近の太平洋に開いていた海の中央部の浅いところにあった。いずれにしても 熱帯ないし亜熱帯に位置した場合 炭酸塩岩の発達し易いところである。この間の事情は DIETZ and HOLDEN (1970) の論文の一連の付図によく示されている。

11. 石油資源の将来

石油資源の将来に対する見通しの立て方については本誌上で紹介 (福田 1979a) してから間もないので 本稿では解説を省略して本論に入ることとする。もちろん第9・10回の両大会における埋蔵量関係の数字はあまりちがっていないので 将来の見通しも大差ないものとなるのは当然である。

11.1 R/Pからみた見直し

1976年当初の残存埋蔵量 (P+P 埋蔵量) は1,150億トンであり BP (ブリティッシュ・ペトロリアム) 統計による1975年の生産量は201億バレル すなわち28.7億トンであるから R/Pは40.1である。また BP 統計によれば1975年末の確認埋蔵量は666.1億バレル (=951.6億トン) であるから Rとしてこの確認埋蔵量をとると R/Pは33.1である。参考までに BP 統計によるR/P (1960~

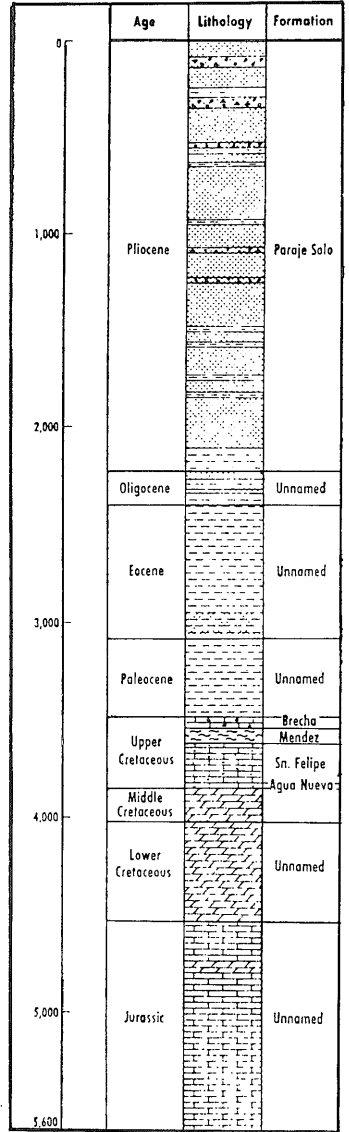


図10 Reforma 地区の模式的な地質柱状図 (世界石油百科 1978)

1977年) の推移を示したのが表6および図13であって石油の寿命が一般に30年程度といわれているのは Rとして確認埋蔵量といった R/P によるものであることがよく示されている。

11.2 正規分布を利用した推定

正規分布を利用した推定の根拠 およびやり方については 東京大会における Moony の値を使って くわしく説明しておいた (福田 1978b; 1979a)。それからわかるように 確率積分の極限值1に当る究極可採量または究極埋蔵量の値 およびそれと同時点までの累計生

表6 世界の石油のR/Pの推移 (1960~1977)

年	年末埋蔵量 (R)	年間生産量 (P)	R/P	年	年末埋蔵量 (R)	年間生産量 (P)	R/P
1960	293.1	8.0	36.7	1969	480.6	15.9	30.2
1961	310.0	8.6	36.0	1970	620.7	17.4	35.7
1962	313.5	9.3	33.7	1971	641.8	18.4	34.9
1963	327.7	10.0	32.8	1972	672.7	19.3	34.9
1964	341.3	10.8	31.6	1973	635.0	21.1	30.1
1965	343.5	11.6	29.6	1974	720.4	21.2	34.0
1966	390.7	12.6	31.0	1975	666.1	20.1	33.1
1967	417.6	13.5	30.9	1976	652.0	21.7	30.0
1968	465.0	14.7	31.6	1977	653.7	22.7	28.8

(石油開発関係資料 1978)

出所：BP統計(各年)

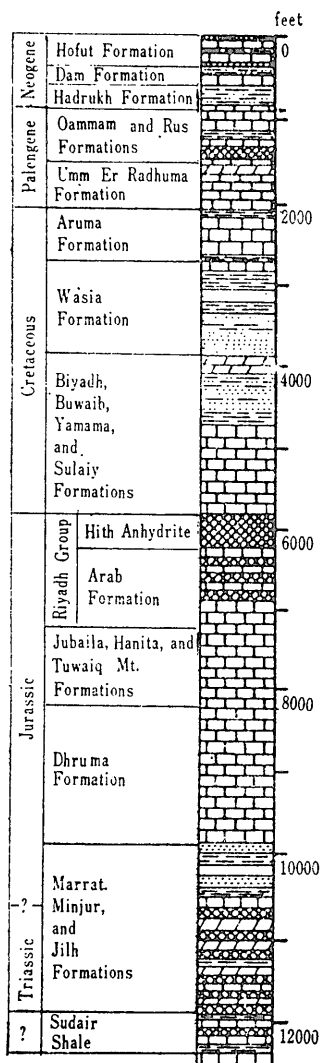


図11 Ghawar油田の地質柱状図 (世界の石油と天然ガス 1969)

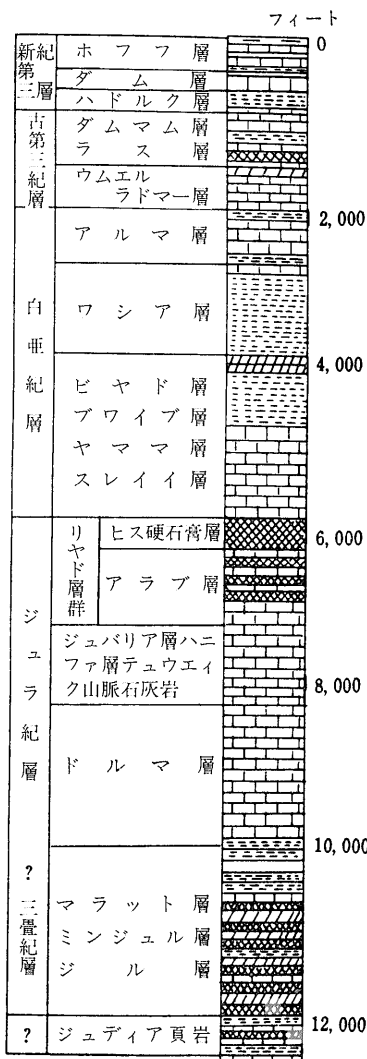


図12 Damman油田の地質柱状図 (世界の石油と天然ガス 1969)

産量の値が変われば 極大値およびそれに達する時期も変わってくる。

先に述べた1976年当初 (1975年末) 現在の累計生産量 484 億トン を 同時点の発見量 (究極可採量) 1,632 億トンで割ると 0.2966 となる。これは究極可採量を 1 とした場合 そのうちの 0.2966 に相当するものが累計生産量であることを意味する。これを式で示すと

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx = 0.2966$$

となる。この 0.2966 に対応する x を函数表 (たとえば渡辺 1943 の第 10 表) によって求めると -0.5343 である。これが 0.2966 (1975 年末) に対応する x である。

次に 表 3 によれば 1970 年末の累計生産量は 345.6 億トンであるからこれを究極可採量 1,632 億トンで割ると 0.2118 となる。この 0.2118 に対応する x を函数表によって求めると -0.8003 である。これが 0.2118 (1970 年末) に対応する x である。これと上に求めた 1975 年末に対応する x との差 0.2660 が正規分布曲線の x 軸上での 5 年に当る。したがって 正規分布曲線の x 軸上で 1 年に当るのは

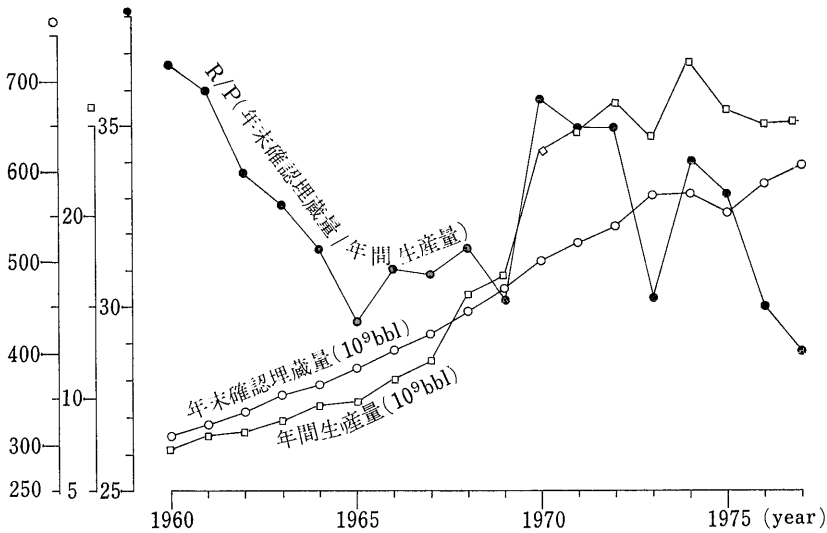


図13
BP 統計による年
末確認埋蔵量 年
間生産量 および
R/P の推移

$0.2660 \div 5 = 0.0532$

である。すなわち x 軸との面積が 1,632 億トンである正規分布曲線に相似の曲線のグラフの x 軸との目盛すなわち年代目盛は 正規分布曲線のそのの

$1 \div 0.0532 = 18.797$

倍となっている。また x 軸と曲線との間の面積はもちろん 1,632 億倍となっている。それ故 1,632 億トンに正規分布曲線の最大値 0.3989 を乗じたものに さらに 0.0532 を乗じて得られる 34.63 億トンが この場合の最大年生産量である。そして

$0.5343 \div 0.0532 = 10.043$

であるから この最大年生産量に達するのは

$1975 \text{年} + 10.043 \text{年} = 1985.043 \text{年}$

すなわち 1985 年の 1 月中旬である。

同様にして 究極埋蔵量 3,040 億トン (回収率 40%) および同 4,560 億トンの場合について 最大年生産量およびそれに達する時期を求めると それぞれ次のようになる。

究極埋蔵量 3,040 億トン (回収率 40%)
 最大年生産量 50.71 億トン
 到達時期 1998 年 10 月初旬

究極埋蔵量 4,560 億トン (回収率 60%)
 最大年生産量 68.07 億トン
 到達時期 2008 年 3 月末

以上に述べたことをまとめて表示したのが表 5 の下半であり また図示したのが図 14 および図 15 である。

12. むすび

1959 年の WEEKS の見積り以来 究極埋蔵量の見積りに本質的な変動がなかったことの重要性と その意義については すでに何回か指摘しておいた (福田 1975; 福田ほか 5 名 1975; 福田 1978 a, b; 1979 a, b, c, d 1980)。これは本稿で紹介した HALBOUTY & MOODY の講演によっても変わらない。しかし 前回の世界石油会議における MOODY の見積りとの間には 約 9% という有意の差があることは重要である。そして それが中東の巨大油田と地質条件のよく似たメキシコの Reforma 地区における発見によってもたらされたことについても すでに述べたとおりである。それだけに このような発見が今後もあろうとは とても思えない。

石油は戦略物資である とよくいわれる。これは 1956 のスエズ動乱以後の世界の紛争の歴史と 図 8 とを対比してやると よくわかる。これを要約すると次の 2 つになる： 1) 現実に頼りになる産油地域は中東地区だけである。 2) 生産圏には大きな未発見潜在量が残されているが その大部分は極度にきびしい環境のところにある。 2) はこれだけならばあまり問題はないのであるが そのため早晩石油の大輸入国におちいらざるを得ない某超大国がその中に含まれていることが重要なのである。第 2 次大戦後の世界史はこの観点から見直される必要がある。見方をかえると 第 2 次大戦は石油戦争でもあった。上の要約は 某超大国に伝統的な膨脹政策を捨てさせ 第 3 次大戦を防止する道の 1 つが世界が石油依存から脱却することであることを示している。

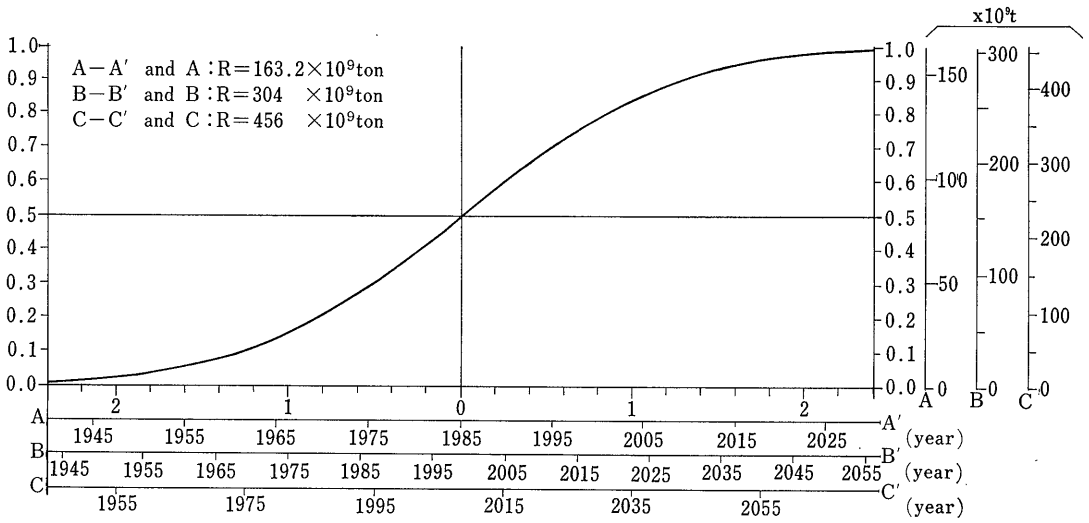


図13 Bucharest 大会の資料による累計生産量の推移の試算例

しからば 石油資源をほとんどもないわが国としては どう対処すべきであろうか。 科学・技術面に重点をおいて考えると 重要なこととして 次のような諸項目が浮び上ってくるであろう。

- 1) エネルギー源の多様化
- 2) ソフト・エネルギーへの転換
- 3) ソフト・エネルギーの選択
- 4) 移行体制の確立

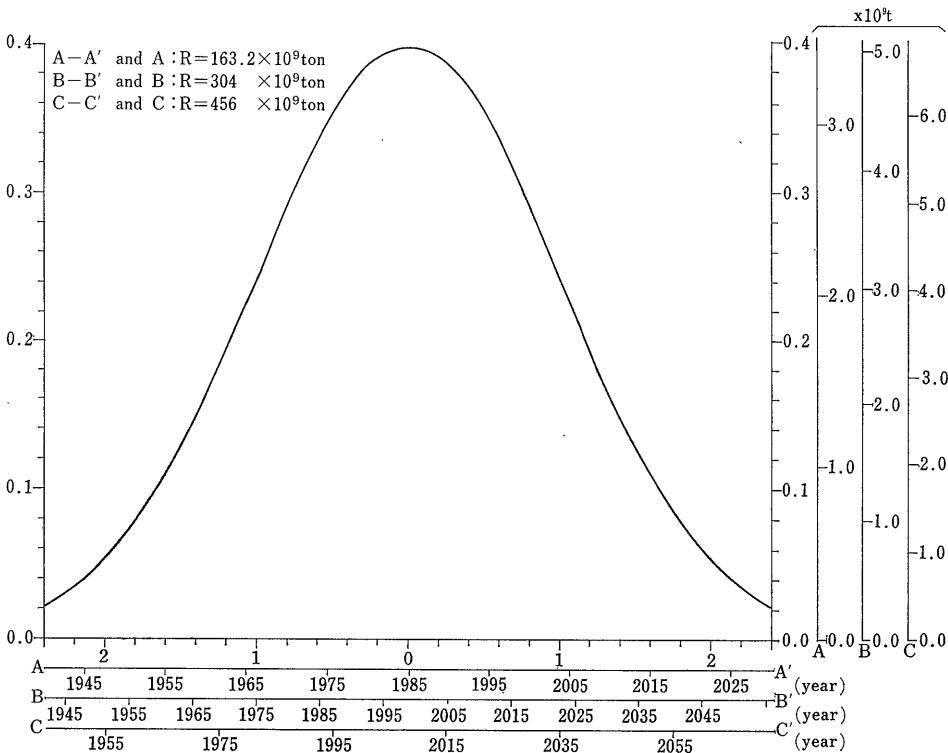


図15 Bucharest 大会の資料による年生産量の推移の試算例

1) については改めて述べるまでもないであろうが原子力もこの範囲内でのみ意味を持つことを忘れてはならない。2) のソフト・エネルギーというのは再生可能なエネルギーのことである (LOVINS, 1977)。これに対して原子力や化石燃料を含む再生不可能なエネルギーをハード・エネルギーという。地熱は一見ソフト・エネルギーのようであるが現在開発の対象となっているのはマグマの残留エネルギーであるからこれもハード・エネルギーである。

将来のエネルギーは もちろん ソフト・エネルギーの中から選択されなければならない。そしてそれが石油の代替としてもっともふさわしいものでなければならないということについては誰も異論がないであろう。問題は具体的な選択であるがそれは人造メタンに止めを指す。何となればメタンは炭化水素であるという点で石油の代替としてもっともふさわしいばかりでなく多くの学者の試算によって人造メタンが石油に代り得る供給力をもつことが明らかにされておりかつ食料問題の解決にもなるからである。しかしそこまで行くには産業構造を相当変えなければならないのでそれまでのつなぎとしてメタンを主成分とする天然ガスの探鉱・開発が必要なのである。幸い共水性ガスを含めるとわが国の天然ガス資源も捨てたものではないし(1979a) またガス付随水にはヨウ素に富むものが多い(福田 1971; 1976d; 1979a)。そしてヨウ素はメタンに次ぐソフト・エネルギーとして注目されている水素エネルギーの担い手なのである(福田 1976a, b, c, d)。

エネルギー問題を論ずるに当たって忘れられがちなことは単に需要に応ずることができればよいという性質のものではないことである。すなわちある面積内のある時間内のエネルギー消費には生態系を破壊しないための限界があるのである。大都会の周辺における光化学スモッグの発生はその証明にほかならない。光化学スモッグの原因物質は自動車の廃棄ガスや各種工場の排煙から供給されるのであるがこれを上空の反射層まで運び大都会周辺に光化学スモッグ現象を起こす原動力は大都会の過剰排熱にほかならないのである。また大都会および周辺地区で異常気象が目立つようになったのが石油の消費が急上昇し始めた昭和30年代の半ばからであることもその間接的な証明であろう。過度の人口集中を避けることも異常気象防止の一助となるであろうがこれは本質的にはエネルギーの問題である。光化学スモッグにしても原因物質がない場合に

は異常気象として認識されるかも知れない。

将来死の灰のない核融合エネルギーが開発されてもその使用に当っては以上のような生態系とのかかわり合いについて十分な検討とその結果に基づく配慮が必要であろう。これに対してソフト・エネルギーは生態系になじみ易いものであるがそれでも地球上で豊かな生活を営み得る人口にはエネルギーの面からみても限界があることを忘れてはならない。LOVINS (1977) の名著もこの点に関する認識にいささか欠けているようである。

欄筆に当り表1~4および図3~8はBucharest大会のプレプリントに基づいて作成されたものであること付記するとともに貴重な資料を提供して下さい石油資源開発(株)探鉱部長井上寛生氏に心から感謝の意を表する。

参 考 文 献

- DIETZ, R. S. & HOLDEN, J. C., 1970, The Break up of Pangaea: In *Continents Adrift* (pp. 103~113).
- 福田 理 1975 世界石油会議東京大会より: アジア親善交流協会研究資料 昭和50年度 No. 1 pp. 45~68
- 福田 理 1976a 水素・人造メタン・太陽エネルギー: 同上 昭和50年度 No. 4 pp. 31~48.
- 福田 理 1976b 自然のサイクル生かした燃料開発: 正論 通巻26号 pp. 169~171.
- 福田 理 1976c 水素とヨウ素~新エネルギーとそこにない手: 地質ニュース 264号 pp. 18~25.
- 福田 理 1976d 水溶型ヨウ素ガス鉱床について: 天然ガス 19巻 9号 pp. 14~27.
- 福田 理 1978a 図説世界の石油資源: アジア親善交流協会研究資料 昭和53年度 No. 2 pp. 1~14.
- 福田 理 1978b 図説石油資源の将来: 同上 昭和53年度 No. 3 pp. 31~40.
- 福田 理 1979a 世界の石油・天然ガス資源と共水性ガス: 地質ニュース 295号 pp. 46~59.
- 福田 理 1979b メキシコの石油・天然ガス資源: アジア親善交流協会研究資料 昭和53年度 No. 4 pp. 105~121.
- 福田 理 1979c 石油価格問題と恒久対策: 同上 昭和54年度 No. 1, pp. 51~59.
- 福田 理 1979d 石油の埋蔵量(第10回世界石油会議ブレスト大会より): 同上 昭和54年度 No. 3, pp. 1~13.
- 福田 理 1980 緊迫させられている石油情勢: 季刊アカデミー 第17号 pp. 21~28.
- 福田 理ほか5名 石油資源の将来: 燃料協会誌54巻 581号 pp. 706~716.
- LOVINS, A. B., 1977, *Soft Energy Paths toward a Durable Peace: Friend of the Earth, Inc.* (室田泰弘・榎屋治紀訳 1979 ソフト・エネルギー・パス: 暗室通信社 410 pp.)
- 渡辺義勝 1942 最小自乗法及統計: 丸善(株) 578頁.