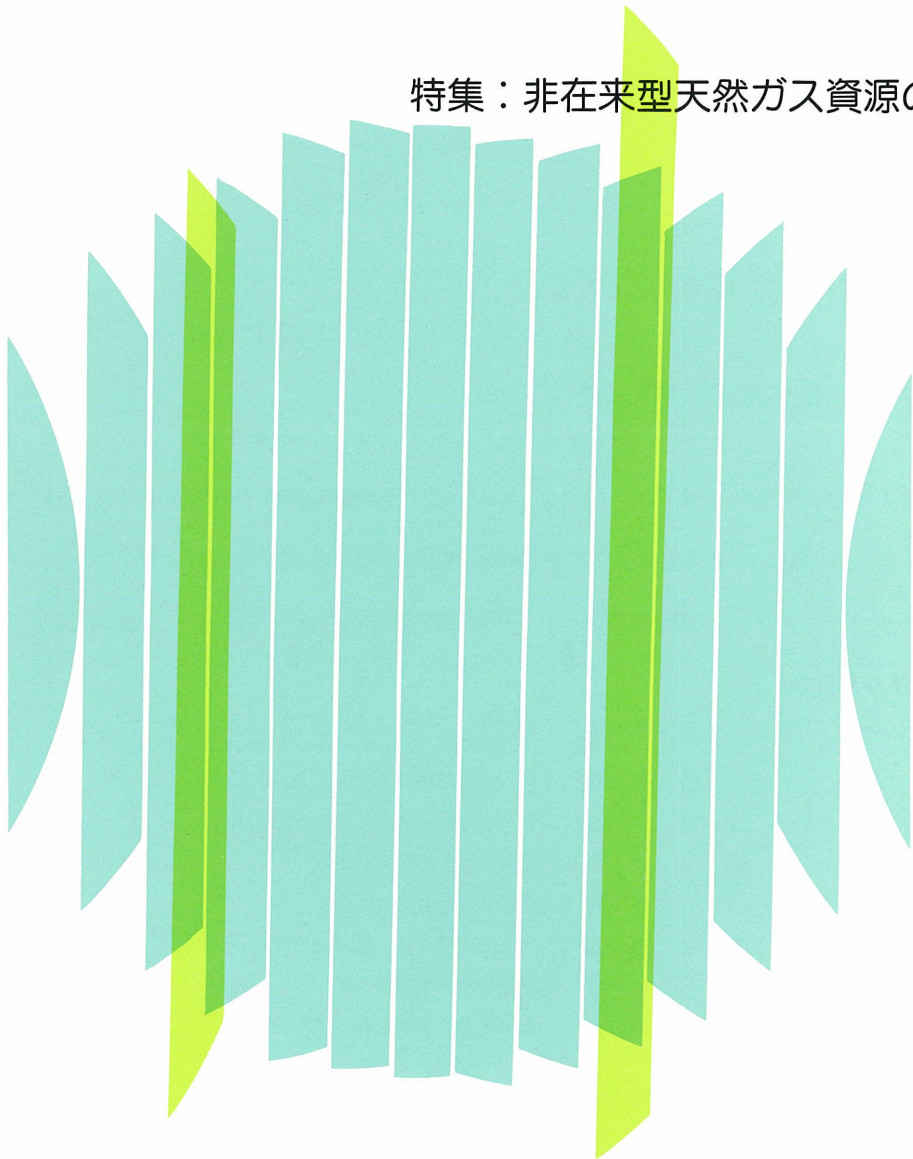


季報 エネルギー総合工学

Vol. 15 No. 4 1993. 1.

特集：非在来型天然ガス資源の展望



財団法人 エネルギー総合工学研究所
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

目 次

第11回 エネルギー総合工学シンポジウム

「非在来型天然ガス資源の展望」

平成4年7月15日（水） 於ABC会館ホール

総会司会 プロジェクト試験研究部部長 片山 優久雄

開会の挨拶	……………	理事長 山本 寛	…………… 1
来賓の挨拶	……………	通商産業省資源エネルギー庁長官官房審議官 末廣 恵雄	…………… 3
【基調講演】 「21世紀を支える天然ガス」			
	……………	東京大学工学部資源開発工学科教授 石井 吉徳	…………… 5
非在来型天然ガスの研究開発動向			
	……………	(財)エネルギー総合工学研究所副主席研究員 吉江 照一	……………27
深層天然ガスとは	……………	通商産業省地質調査所鉱物資源部主任研究官 浦辺 徹郎	……………36
メタンハイドレートの探査	……………	(株)地球科学総合研究所研究一部位次長 青木 豊	……………44
コールベッドメタンの開発状況	……………	三菱ガス化学(株)資源開発部主査 大牟田 秀文	……………54
【パネル討論会】			
テーマ：「非在来型天然ガス資源の展望」	……………		……………64
司会	石井 吉徳	(東京大学工学部資源開発工学科教授)	
パネラー	脇田 宏	(東京大学理学部地殻化学実験施設教授)	
	飯山 敏道	(千葉大学理学部地学科教授)	
	小川 克郎	(通商産業省地質調査所長)	
	山村 政彦	(石油公団天然ガス・新石油資源室長)	
	樹下 明	(電源開発(株)審議役)	
	柿原 武	(大阪ガス(株)専務取締役)	
閉会の挨拶	……………	専務理事 吉澤 均	……………86
研究所のうごき	……………		……………88
編集後記	……………		……………91

開会の挨拶

山本 寛 (財エネルギー総合工学研究所理事長)



おはようございます。私はエネルギー総合工学研究所の理事長の山本でございます。早朝からのご参集、大変ありがたく、お礼を申し上げます。

私どもの研究所は、1981年に第1回のエネルギー総合工学シンポジウムを、ローカルエネルギーをテーマとして開催いたしまして以来、毎年このころ、だいたい7月に、私どもの行っております調査活動に関連させながら、そのときどきの世の中の関心が深いと思われましますテーマを選びまして、本日のようなエネルギー総合工学シンポジウムを開催してまいりまして、今回はその11回目であります。

研究所の発足したのは、第1回の総合工学シンポジウムが開かれた少し前でしたが、しばらくたちまして研究も少し軌道に乗ってまいりましたところで、総合工学シンポジウムの開催にふみきった次第でございます。

エネルギー状況についてみますと、今日我が国ないしは世界的にみましても、エネルギー供給における絶対的な主役がないという状況にございますことは、皆様ご承知のとおりでございます。その中におきまして、天然ガスに対する関心が次第に増してまいっておりますことも、これまた皆様既にご承知のとおりでございます。このような状況の中で今回は、ご案内を差し上げましたように「非在来型天然ガス資源の展望」ということで企画をいたしました。

今日、天然ガスとして市場に供給されております通常の天然ガス資源以外のガス資源といたしましては、このごろ話題になっておりますメタンハイドレート、あるいは古くから知られていたガス資源ではありますけれども、石炭に付随して存するメタンがございます。これに加えて近年、深層天然ガスについてまた関係者の関心がかかなり寄せられているというような状況でございます。

本日は、これからのエネルギー資源候補という観点から、この3つの非在来型天然ガス資源、すなわちメタンハイドレート、コールベッドのメタンガス、それから深層天然ガスという3つにつきましていろいろとご講演いただき、その後にパネル討論をいただくということになっております。

きょう、ここに行われますシンポジウムの骨格は、東京ガス、大阪ガス、東邦ガスのガス3社と東京電力、中部電力、関西電力、並びに電源開発の電力4社のいろいろな資金的なご協力によりまして、勉強会を私どもの研究所で開いてまいっておりますが、その勉強会を基にいたしまして本日の企画がつくり出されたわけでございます。ここにご支援をいただきましたガス3社、電力4社の皆様方に厚くお礼を申し上げたいと思います。また本日のシンポジウムにご協力、ご出講いただきました先生方もこの勉強会にかかわっていらっしゃる方々が、かなりの部分を占めておられます。ここに諸先生方に心から厚くお礼を申し上げますとともに、ご参会を賜りました皆様方にも重ねて厚くお礼を申し上げる次第でございます。本日のシンポジウムが実りある会合になりまして、皆様方にもお役に立つことができればと期待を致しているわけでございます。

これをもちまして、私の開会のご挨拶とさせていただきます。

来賓の挨拶

末廣 恵雄 (通商産業省資源エネルギー庁長官官房審議官)



ご紹介いただきました資源エネルギー庁の末廣でございます。エネルギー総合工学シンポジウム第11回の開催にあたりまして、一言ご挨拶を申し上げさせていただきます。

本日は、エネルギー関係者の方々が多数お集まりということで、最近のエネルギー情勢につきましては、皆様ご案内のとおりでございます。ただ、私ども最近、特に注目しておりますのは、ここ数年のエネルギー消費の伸びでございます。1986年以降、好調な景気が持続してきたということもありまして、エネルギー消費はここ数年、計画以上の伸びを示してきております。特に国民生活につきまして、ゆとりと豊かさを追求するというようなこともございまして、エネルギー消費の中でも特に民生部門の伸びが際だっております。これは従来にない特徴だと考えております。

最近では経済も調整局面ということで、いろいろ経済の状態あるいはエネルギー消費の伸びも若干落ち着いた形になっておりますが、ただ、その中でやはり先ほど申し上げました民生部門につきましては、相変わらず顕著な伸びを示してございまして、そういう意味で中長期的にはエネルギーの消費というのは増加傾向のトレンドであると考えております。

ちょうど2年前に、石油代替エネルギーの供給目標というのを定めました。この供給目標では、2000年までのエネルギーの需要、この伸びにつきまして、年平均伸び率1.4%ということで見込んでおりました。ところがここ数年、毎年3%台の伸びを示してございまして、これを補正いたしますと2000年までに毎年1.4%の伸びということで見込んでおりましたのが、これからは0.9%の余地しかないという状況でございます。

ご案内のとおり、今年の6月にはブラジルにおきまして地球環境サミットが開催されたわけでございますが、地球環境問題、特に地球温暖化問題につきまして、各国とも的確に対応していかなければいけないということで、そういった地球温暖化問題に対する国際的な気運が今年は特に高まってきております。日本におきましては一昨年、石油代替エネルギーの供給目標を策定いたしましたときに、地球温暖化

防止の行動計画というのを政府で定めております。この行動計画自体は供給目標と整合する形で策定したものでございます。この地球温暖化防止行動計画におきまして、一人当りの炭酸ガスの排出量につきましては、2000年以降、概ね1990年のレベルで安定化させようということになっております。この目標は、先ほど申し上げました石油代替エネルギー供給目標、これは例えば省エネルギーだとか、あるいは石油依存度の低減というのを達成することを強力に盛り込んでいるわけですが、この供給目標の達成があって初めて地球温暖化防止のための行動計画も可能となるわけでございます。

ただ、先ほど申し上げましたように、昨今のエネルギー消費の伸びの状況ひとつとりましても、エネルギーをめぐる最近の情勢は非常に厳しい状況でございます。この状況が続きますと、炭酸ガス抑制の目標、これ自体が非常に達成困難になるわけでございます。通産省といたしましては、エネルギーの消費面、供給面につきまして、これまでもいろいろ総合的な政策を展開してきておりますが、昨今のこういった情勢を踏まえまして、更に抜本的な政策の強化拡充を図るということで、今、検討に入っているところでございます。

エネルギー総合工学研究所におかれましては、従来からエネルギー問題につきまして幅広くいろいろな企画をしておられますし、あるいはいろいろな事業展開を図っていただいているわけでございます。特に、国のエネルギー政策に対しまして的確に対応していただいております、この点につきましては私ども深く敬意を表すると共に感謝申し上げる次第でございます。

本日のシンポジウムでは天然ガス資源、これにつきましては供給安定性あるいは環境負荷といった面でメリットがあると言われていたところでございますが、この天然ガス資源に焦点を当てまして、特にこれから長期的に期待されております非在来型の天然ガス資源をテーマとして取り上げていただいております、これは誠に時宜を得たものと考えております。

本日は多数のエネルギー関係者、それから専門家の方々がご参集になっておられますので、本日のこのシンポジウムが実りあるものになるということをご期待申し上げます、簡単ではございますが、私の挨拶に代えさせていただきます。

基調講演

「21世紀を支える天然ガス」



石井 吉徳*

ただいまご紹介いただきました東京大学工学部資源開発工学科の石井でございます。私の題はちょっと大きな題でございますが、「21世紀を支える天然ガス」ということで、ほぼ1時間にわたりましてお話をしてみたいと思っております。

若干、私の背景を申し上げますと、私は石油開発関係の企業に10数年おりました、東大教授の中では非常に長い実務経験をもっています。東大に来ましてから20年ぐらいになりますので、今まではほぼ半分を実務と教育研究の生活をしてきたこととなります。もともとの専門は、東京大学の理学部地球物理の教室出身です。当時物理学科の中に地球物理というコースがありました。このような関係で、エネルギーの供給サイドの実務経験と地球物理学的なベース、この両面からお話をしてみたいと思っております。

私は21世紀にわたるエネルギー問題は、人間にとって最も重要で大変な問題となると思っております。ご存じのとおり、エネルギーは従来から安定供給と、低廉なコスト、この2つが最も重要な命題でございました。しかし最近では、二酸化炭素による地球温暖化問題が、従来全く予期しなかった新しい問題と

して加わっております。我々が現在使っております基本的なエネルギーは、言うまでもなく石油、天然ガス、石炭、そして原子力などでありますが、その主力のエネルギーが二酸化炭素を出すわけであります。これが地球を温暖化するのではないかという環境問題があるわけです。このため、エネルギーを取り巻く環境は、従来と全く違った局面を迎えていると私には思えます。

今地球の人口が非常に勢いで増えております。現在でも54億人という巨大な人口を抱えておりますが、発展途上国において特に増加が激しいわけであります。このためにエネルギーについての要求、需要がますます増えるものと思われます。発展途上国で、これから生活水準が上がれば、ますますエネルギーの需要が増えていくはずで、そういうことで、先ほどの3つの命題に加えて、人口増加というもう1つの圧力が我々のエネルギー供給にかかっていると考えられます。大きさでありますが、これからの21世紀にわたって、エネルギー供給が人類にとって最大の問題になると私は考えております。

経済学者の中には、20世紀は貧困との戦いであった、これからの21世紀は環境との戦い

* 東京大学工学部資源開発工学科教授

の時代であるという人がおります。私はいまエネルギー供給サイドの立場におります。また地球を観測する、宇宙からの人工衛星リモートセンシング技術の専門家として、通産省等の国家プロジェクトにも関係しており、地球の環境をモニターするというのも私の重要な仕事のうちに入っております。そういう理由でエネルギーの供給と環境の問題両方に関心があります。貧困との戦いは、21世紀に入っても人口が増えるにつれて、まだまだ続くのではないかと私は考えています。

そういう立場で、これから大げさでございますが「人類と文明」についても触れてみたいと思います。それから「21世紀はどのようなエネルギーの供給形態、文明が考えられるのであろうか」ということについて話をしてみます。その中で、天然ガス、特にメタンがどのように位置づけられ、将来どのようになるかについて私なりの考え方を並べてみたいと思っております。(図1)メタンは将来、化学原料としても注目されるであろうと思いま

す。いろいろな研究が米国あるいはヨーロッパで進められております。このように、天然ガスにはいろいろな側面があるということ、資源論の立場からお話をしてみます。非在来型の天然ガスが主題ですが、まず一般的な入門的話をしてみたいと考えております。

21世紀を支える天然ガスというタイトルですが、エネルギーの供給形態、文明のあり方などについて話をしてみたいと思います。これからの21世紀のエネルギー供給は、いわゆる非再生的な石油あるいは石炭等、原子力もそうですが、このような非再生的なエネルギーと再生的な自然エネルギーを21世紀にわたって使うべきであるというのが現在の大方の意見であります。これをどのように考えればよいか問題です。そしてエネルギーとしてメタンをどのように位置づければよいか問題です。これにつき、いわゆる非再生的、再生的なエネルギーとは何かについても述べてみたいと思います。

最後に、先ほども申しましたが、化学原料

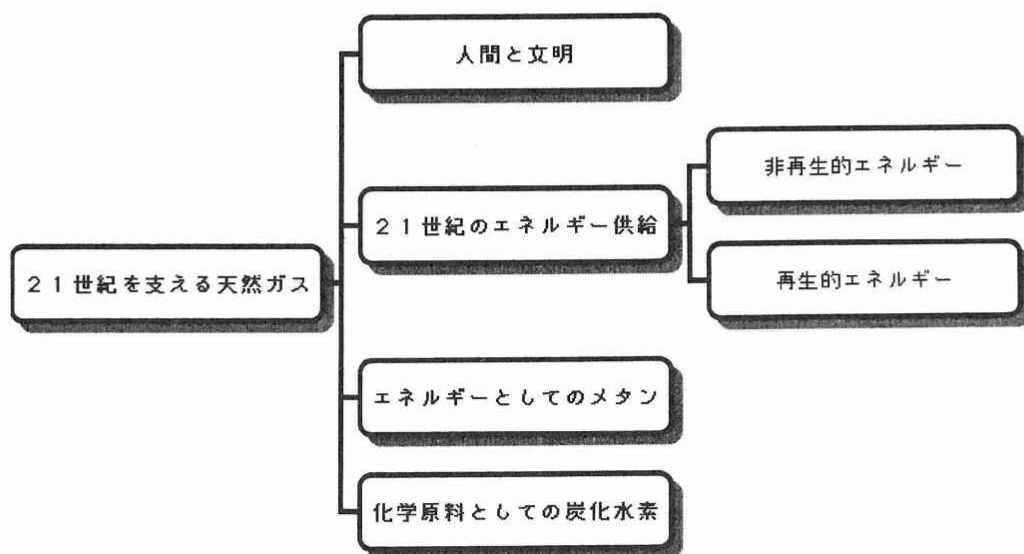
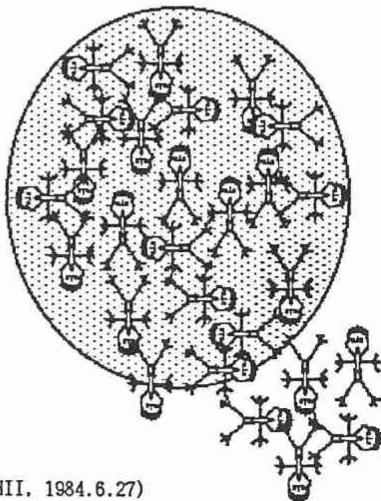


図1 21世紀における天然ガスの可能性

としての炭化水素をどのように見ればよいか、このような順で話を進めてみたいと思います。

図2は、私がこのような一般的なお話をいたします場合に、いつも使っている漫画です。これは1984年、ある国際シンポジウムのときに作りました。「地球の人口がどんどん増えている。この丸いものは地球のつもりで、これから人間が溢れかかっている」、そういうふうなことを漫画に書いたものです。それで、“Limited our Earth” 要するに有限地球観という観点で我々はものを見る必要があるというつむりの漫画です。当時、人口は44億人でしたが、これが現在54億人になっているわけです。いかに人口が急速に増えているかわかります。毎年ほぼ8,000万人とか9,000万人という数で増えています。このような巨大な人口の人類が、これからも幸せに生きていくことができるか、これが我々の命題だろうと思います。それを支えているのが、私の

Limited Our Earth



(Y. ISHII, 1984. 6. 27)

図2 人口増加と有限地球観

立場から言えば、エネルギーであると考えています。

次の図(図3)は皆様ご存じの人口の増加であります。横軸は年で、縦軸は人口です。現在54億人上にあるわけです。この非常に急速な人口増加が、なぜ可能であったのかをエネルギーの立場から眺めてみようと思います。曲線が急に立ち上がった所が人口増のターニング・ポイントであります。18世紀の末、いわゆる産業革命のころです。それまではほぼ数億人くらいの人口で推移をしていました。人間が石炭を使うようになってから人口が急速に、対数的に増え始めたわけです。あるいは、増えることができるようになったわけです。それはなぜかといいますと、エネルギー供給の不安定な要素が石炭を使うことによって本格的に改善されたからです。それまでエネルギーには何が使われていたかといいますと、ご存じのとおり、木を燃やした火を使ったわけです。つまり材料としての木、エネルギー源としての森を使ったわけです。それが化石燃料に代わって、人口はこのように急に増えることができたのです。文明の基盤は十分なエネルギー供給にある、というのが私の持論です。

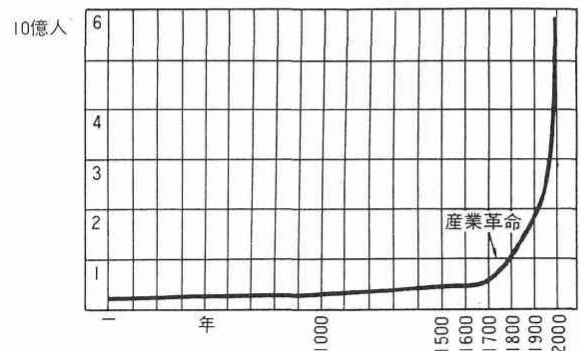
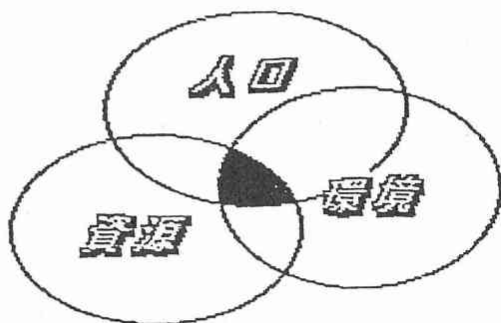


図3 急激な世界の人口増加

現代の人類の問題とは、先ず非常に早く人口が増えることです。したがって、大量の資源並びにエネルギーを使わざるを得ない。このような資源の供給があるから我々は豊かな生活を行えるわけであります。しかし、残念ながら、50億人も人口が地球で生きるには、環境に変化を与えざるを得なくなるのです。ある時には不注意に環境に変化を与えていることもあります。いずれにせよ人間は何かの変化を環境に与えて生きているわけです。したがって、この3つのキー・パラメータを、それぞれ独立して議論することはほとんど意味がないというのが私の考えです。(図4)

今までも人類の文明はエネルギーの消費、需給形態によって変遷してまいりました。文明はエネルギーが支えているわけです。エネルギー需給形態が文明をコントロールしていると私は思っております。昔は木、森を使ったわけです。それが産業革命以降、石炭という非常に大きなエネルギー源を我々は使うようになりました。そして現在は、石油、それから原子力を使っていますが、それでも依然として大量の木を発展途上国等ではエネ



人類と地球

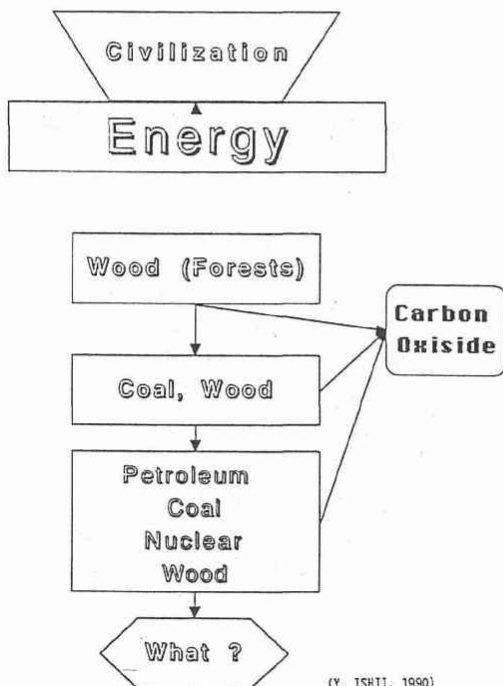
(Y. ISHII, 1984)

図4 人口、資源そして環境

ギー源として使っていることは皆様ご存じのとおりです。(図5)

それで、将来何がくるかということです。まえに述べたように今までのエネルギー問題は、安定供給とコストでありましたが、そこに二酸化炭素の問題が大きなテーマとして浮かび上がってきたわけです。これがエネルギーの需給関係について非常に大きなインパクトを与えているわけです。私はいつも地球温暖化について「説」という言葉を使っています。科学的には地球の温暖化という考えは、1つの「説」に見えます。完全に科学的に検証されていないと考えております。しかし手遅れにならないうちに早く手を打つべきであるという考えもまた正論であります。それではどのようにしてエネルギーを供給すればいいかです。

私は地球温暖化の問題とエネルギーは、表



(Y. ISHII, 1990)

図5 文明を支えるエネルギー

裏一体の関係にあると常に言っておりますが、これについて現在のエネルギーの寿命というのはどのくらいかを知っておくことも大切でしょう。表1は、石油、天然ガス、石炭、ウラン、この主な4つのエネルギー源につき寿命、可採年数がどのくらいあるかを示しています。この表では石油は46年となっておりますがこれは46、45あるいは50かもしれません。これはある程度の誤差があるをご理解いただければよろしいわけです。

それから天然ガス。これは56年という数字になっておりますが、これも数10年という意味だと思います。

石炭はこの表では328年。要するに、何百年もあるということであります。みんないいかげんな数字ではないか、と言われるかもしれませんが、これはエネルギーがコストとリンクしているからでもあり、コストが大きく上がればかなりの開発意欲が出ますので数字は増えるはずで。このような数字というのは

常に流動的であります。石炭が特に大きく何百年あるということは重要です。それからウランは、この表では元共産圏を除いておりますが、63年となっております。

これが現在の我々が知っているエネルギー資源についての基本的な寿命であります。この数字にもいろいろなものがあります。もう1つの表(表2)は“西暦2000年の地球”という、有名な、通称カーター・レポートからとったものです。これは1980年ごろのレポートですが、基本的なコンセプトは全く変わっておりません。カーター時代につくられたアメリカ政府の権威ある資料ということで使っているわけです。細かい数字は今では問題にしないことにします。ここでは Quadrillion Btu、10の15乗 Btu (British thermal unit) 単位で書かれていますが、石油が9,634、天然ガスが8,663とほぼ同程度になっております。固体燃料、つまり石炭は、石油、天然ガスに比べて2桁も多いことになっております。これに

表1 エネルギー資源の寿命と地域別賦存状況

		石 油	天 然 ガ ス	石 炭	ウ ラ ン
確認可採埋蔵量		億バレル 10,016 (147,310 MTOE)	112兆 m ³ (100,902 MTOE)	10,755億トン [高品位炭] (752,831 MTOE)	230 万トン
地域別 賦存 状況	北米	3.2%	7.1%	10.9%	26.4%
	中南米	12.5	6.0	1.1	8.3
	西欧	1.9	5.1	2.7	8.0
	中東	65.9	29.9	—	0.2
	アジア・太平洋	2.4	6.1	10.1	25.5
	アフリカ	5.9	6.4	5.8	31.6
	共産圏	8.4	39.5	69.4	不詳
可採年数		46年	56年	328年	63年 (共産圏を除く)
出典		Oil & Gas Journal (’89)	同 左	世界エネルギー 会議 (’89)	OECD・ NEA/IAEA (’88)

(通商産業省, 1990)

表2 世界の非再生的エネルギー資源量
(Quadrillion Btu)

Petroleum ^a	9,634
Natural gas ^a	8,663
Solid fuels ^b	120,854
Shale oil ^c	20,130
Tar sands ^d	
Uranium ^e	1,960
Total	161,241

^a Based on physical units from Congressional Research Service. *Project Interdependence: U.S. and World Energy Outlook Through 1990*, Washington: GPO, 1977 (based on work done by M. King Hubbert). Conversion factors: 1 barrel oil = 5.8 million Btu; 1 cu ft natural gas = 1,020 Btu.

^b Based on physical units from World Energy Conference. *Survey of Energy Resources*. 1976. Recoverability of coal assumed to be 50 percent. Conversion factor varies for geographical regions.

^c Based on physical units from U.S. Geological Survey. Represents identified resources only.

^d Not estimated, but total energy content of oil in-place is approximately 5,600 - 9,000 quadrillion Btu, based on physical units in table 11 - 18.

^e Based on physical units from World Energy Conference. *Survey of Energy Resources*. 1976. Light-water reactor technology assumed. Conversion factor, 400 billion Btu/short ton of U₃O₈.

At 0 percent annual increase in demand rate:

Resource life = $161,250/250 = 645$ years

At 2 percent annual increase in the demand rate:

Cumulative consumption during

1st doubling period (1977-2011)	12,750
2nd doubling period (2012-2046)	25,500
3rd doubling period (2047-2081)	51,000
Total 1977-2081	89,256
Total 2082-2110	71,494
Total	160,750

It would appear that a fourth doubling would be impossible, and that resource life would be less than 133 years.

At 5 percent annual increase in the demand rate:

Cumulative consumption during

1st doubling period (1977-1990)	5,150
2nd doubling period (1991-2004)	10,300
3rd doubling period (2005-2018)	20,600
4th doubling period (2019-2032)	41,200
5th doubling period (2033-2046)	82,400
Total 1977-2046 (70 years)	159,650

(The Global 2000 Report to the President より)

ついで先ほどの表のように数10年と何百年と桁が違うのは、これからもわかるわけです。あとはシェイルオイルとかタールサンドなどですが、まだまだ実用化されていませんが、かなりの量があるのではないかとこの考え方です。それからウランはこの単位で1,960という数字になっております。この表の言っていることは、今少なくなったと言われる原油よりも、軽水炉で原子力発電として使う限りにおいては、ウランの資源量はそれほど大きくはないということです。もちろん、これについては探鉱余地が大きい分野ですので、この数字には相当未知のファクターがありますが、それでもやはり有限な資源であるということです。以上が非再生的エネルギーについてのマクロな数字です。

この表はもう1つ重要なことを言っています。それは、これからエネルギーをどのような年率の増加で使っていけば、どのくらいもつかということです。先ほどの表は現在の消費量での数字でした。この表では先ず0%、要するに現在の年間使用量、0%の年間使用量増加でいくと645年あるという数字になります。

次に2%で増加したら何年もつかです。表の下の方をご覧くださいますと、133年という数字が出ています。要するに、エネルギーの消費量が2%増でも、非常に大きな違いが出るということです。

それから年5%増という数字があります。この5%というのは、現在の日本のエネルギーの消費量の伸び4~5%に相当します。ひところ、1973年、1979年の第1次、第2次の石油ショックの時にはエネルギー消費はかなり減りました。それが最近では年間に4

~5%増えています。これでは、寿命は70年になるということです。あらゆるエネルギーを使っても70年しかもたないということをこの表は言っています。

それでは、このような状況が今後どのようになるのか。これが大きな問題です。次の図6はシェール石油が一般的な啓蒙のため作ったものです。横軸には2000年、2050年などの年が書かれており、縦軸は日量のパーレルです。図中の1900~1990年頃までの黒いところは、1989年までに生産をされてきた原油とLNGの量です。それから、将来が2050年のところで切ってあります。このところは既存油田からの原油並びにLNG生産についての予測でこのように推移していくことを示しています。白いところは、新油田であります。それともう1つ重要なのが石油採取法の改善です。例えば石油でいいますと、地下から最終的に回収できるのは条件によりますが30%くらいで全部は取り出せないわけです。それをいろいろな技術を使い、より多くの石油を絞り出す技術、これをEORとっておりますが、このような技術を使っていっ

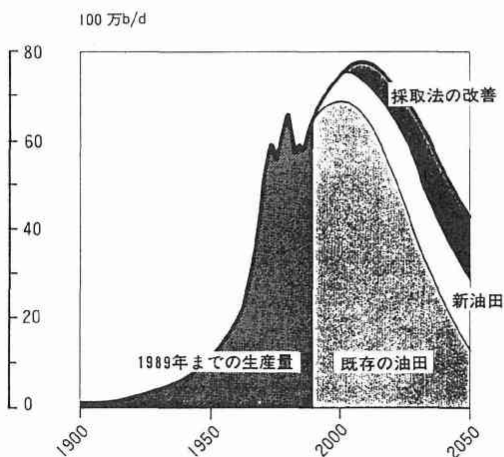


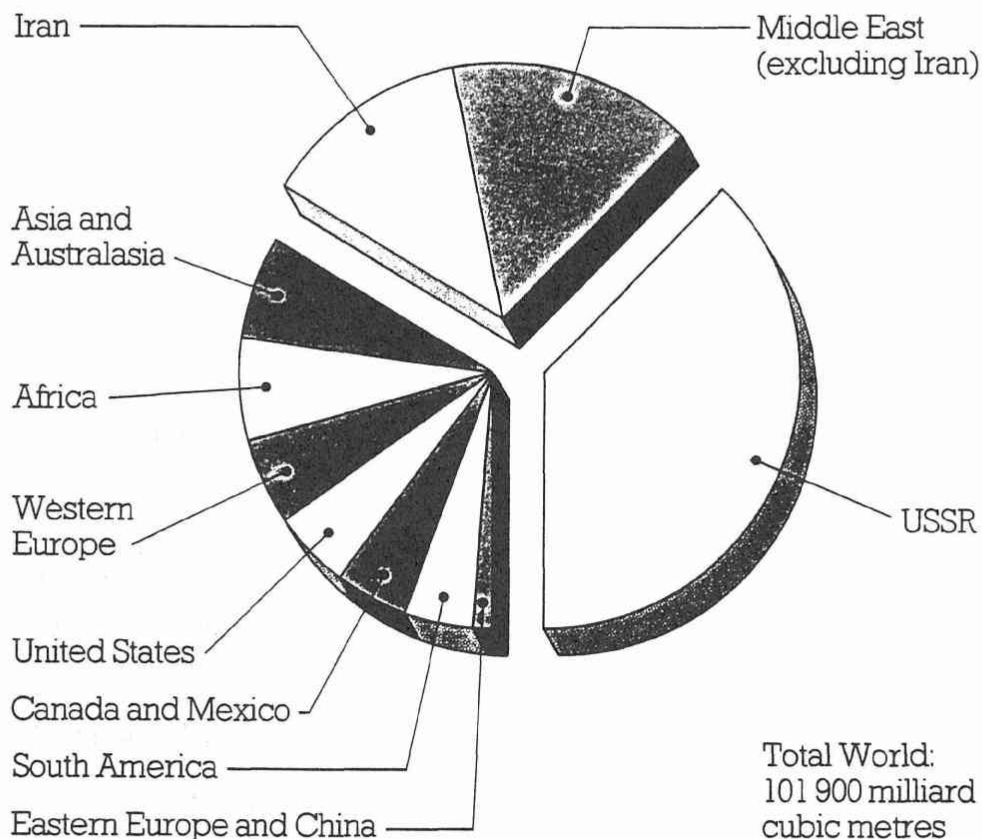
図6 原油/LNG生産量の予測

たのが、この図の右の一番外側のところであり
ます。こういうふうな諸々の可能性を考え
ていっても、このようにそれ程寿命は長くは
ないというのが、今の結論だろうと思いま
す。2050年頃には石油はかなり減退するであ
ろうということでありま

す。これからいろいろなことがわかります。石
油は現在は二酸化炭素を出すから規制すべ
きであるという意見が強いわけでありま
すが、私には実際には規制できないと思
います。というのは、西暦2050年には、
このように減退せざるを得ないと思われ
るからです。エネ

ギーの専門家の中には、現在二酸化炭素のレ
ベルが340ppm、これから21世紀末には倍
の600になるという意見がありますが、このシ
ナリオそのものが実現しないのではないでし
ょうか。その前に化石燃料の使用量は減退
しているのではないかと

いうことです。今の地球温暖化につきま
しては、私なりの個人的な考えもありま
すが、きょうは環境問題が主な話題では
ありませんのでこれ以上は述べませんが、
地球温暖化説そのものが、科学的にこれ
からいろいろと検討されなくてはなら
ないのだと思います。新しいエ



[The Shell Briefing Service(SBS), No. 4, 1988]

図7 世界の天然ガス確認資源量

の供給がどのようになるか。一般的な背景の中で地球温暖化問題は議論されるべきであろうと私は考えております。

そのような背景からも天然ガスは、クリーンなエネルギー源であってしかも資源としてもいろいろと種類が多いことを改めて強調したいと思います。天然ガスには多くの可能性があるので、クリーンであるため環境問題によい、またエネルギー供給源として息が長いということなどの理由から天然ガスが今大きく脚光を浴びているわけです。

それでは、現在わかっているガスのリザーブはどうかについて、マクロなお話をしますが、(図7)まず一番大きなリザーブを持つ国は旧ソ連であります。それからいわゆる中近東であります。ガスに関してはこのようにいわゆる旧ソ連圏が大きなシェアを持っており、いわゆる原油とかなりパターンが違うということがおわかりになると思います。それから、東南アジア並びにオーストラリアであります。日本に持ってきている大部分のLNGは東南アジアから来ているということになります。あとはアフリカ等であります。このように石油のリザーブの地球上の分布パターンとかなり違うということをまずご理解いただきたいと思います。

実際の数字は表3の通りで、119兆m³というのが全リザーブの大ざっぱな数字であります。この表では旧ソ連が45兆m³、中近東が37兆m³です。中近東で特に多い国がイランであります。サウジアラビアでは原油が最大あります。天然ガスにおいては、イランが中近東の一番大きいリザーブをもつ国です。生産量も細かく書かれていますが、R/P、つまり埋蔵量(R)と生産量(P)の比は中近

東が300年、そのうちのイランは700年で、ナイジェリアも大きくて652となっております。このような数字は現在の生産量で割算していますので、これが今後どのようになるかはまったく別のお話であります。

原油と天然ガスの大きな違いは他にもあります。それは世界のリザーブが原油よりはバラエティーに富んでいるということ。天然ガスは気体でありますので、上流から下流部門の間に中流部門というものがああります。日本に持ってくる天然ガスは、LNGとして、マイナス160度の液体として来るわけです。しかし世界の天然ガスの供給パターンは、ほとん

表3 世界の天然ガス資源量と生産量

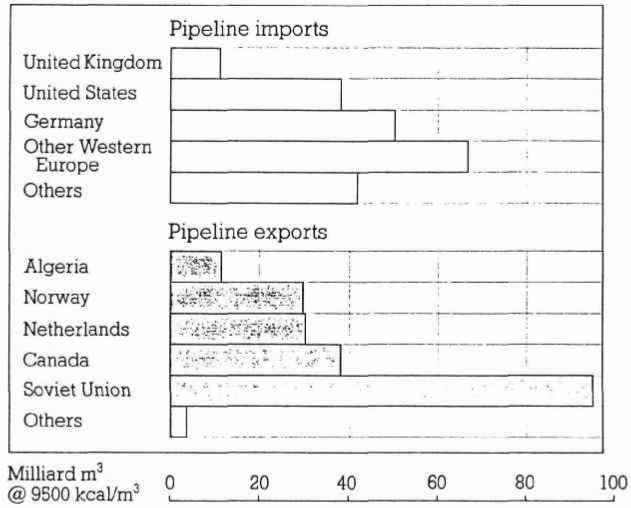
(単位: 兆m³)

地 域	91年1月末 埋 蔵 量 (R)	9 0 年 生 産 量 (P)	可 採 年 数 R / P (年)
北 米	7.47	0.6409	11.7
うち 米 国	4.71	0.5201	9.1
カ ナ ダ	2.76	0.1209	22.8
西 欧	4.97	0.1933	25.7
うち オ ラ ン ダ	1.73	0.0742	23.3
ノ ル ウ ェ イ	1.72	0.0254	67.7
中 東	37.51	0.120	312.6
うち イ ラ ン	17.01	0.0242	702.9
サウジアラビア	5.11	0.0397	128.7
アジア・太平洋	7.46	0.1290	57.8
うち インドネシア	2.59	0.0392	66.1
マレーシア	1.61	0.0161	100.0
アフリカ	8.08	0.0624	129.5
うち アルジェリア	3.25	0.0500	65.0
ナイジェリア	2.48	0.0038	652.6
リビア	1.22	0.0057	214.0
共 産 圏	46.86	0.8932	52.5
ソ 連	45.33	0.8159	55.6
世 界 計	119.216	2.1419	55.7

(出所) 資源量; Oil & Gas Journal (December 31, 1990)
生産量; Oil & Gas Journal (March 11, 1991)

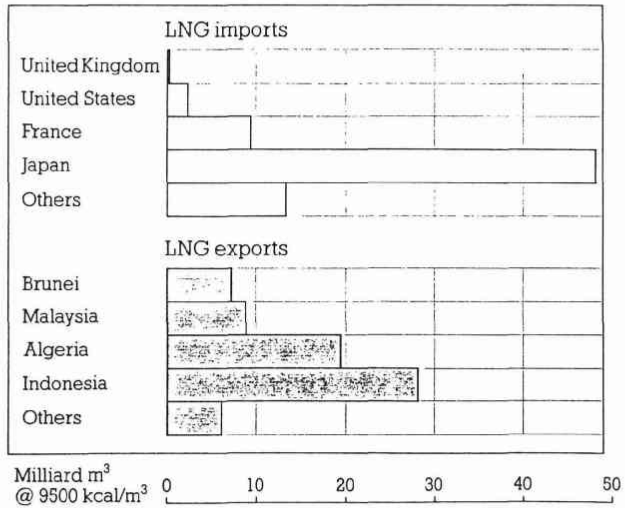
パイプライン輸送の場合

Total pipeline imports/exports: 204.7



LNG輸送の場合

Total LNG imports/exports: 73.3



[The Shell Briefing Service(SBS), No. 3, 1991]

図8 天然ガス貿易量, 1990

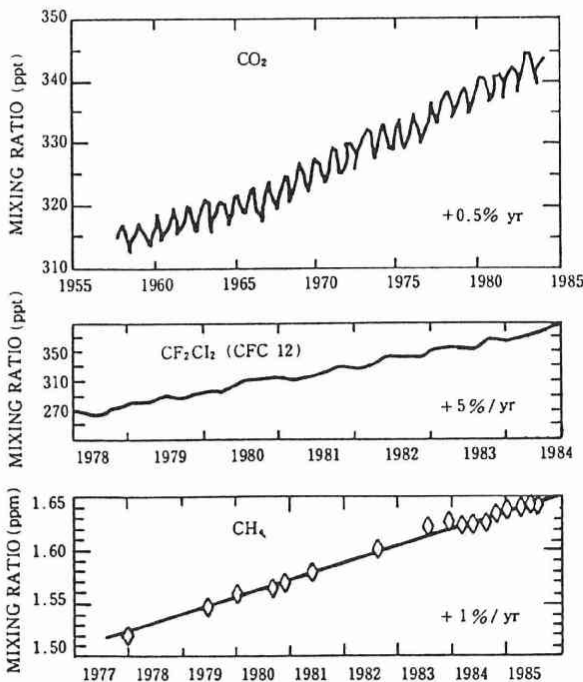
どがパイプラインですが、日本という、大量の天然ガスを使う経済大国での供給形態はLNGという世界でも珍しい形態をとっています。このLNGはマイナス160度の液体にして、現地から持って来るわけですから、特殊なプラント、特殊なタンカーが必要なわけです。そういうことで、天然ガスでは大量のパイプラインを使う輸送メカニズム、LNGで運ぶという技術が必要です。これが中流部門であり、原油にはないところであります。輸送の仕方の違いで世界を見たのが図8です。

図8の上図はパイプラインの輸出入の図でありまして、これからパイプラインで世界的なトレードが成立しているということがわかります。

次に、下の日本特有の問題とを考えてもいいくらいのLNGの輸出入のパターン（下図）は、上の図と全く違っております。ブルネイ、

マレーシア、アルジェリア、それからインドネシアという国からLNGが日本にきています。つまり東南アジアでつくられたLNGを日本が使っているわけです。このように天然ガスについては、いわゆる中流部門が重要であるということをご理解いただきたいと思えます。これからの日本の天然ガスの需給関係を考えていただく場合に、原油とか石炭と違い、中流があることを認識して技術の問題あるいは国策的なプランを考えていく必要があると申し上げたいわけです。

次は天然ガスと地球の環境についてお話をしてみたいと思えます。図9は、皆様が最近をよくご覧になっている図であります。二酸化炭素、メタンが増えている様子であります。この図は1955年から1985年頃までですが、もちろんこの後も観測されています。縦軸がppmで、大気が二酸化炭素を含む量であり、

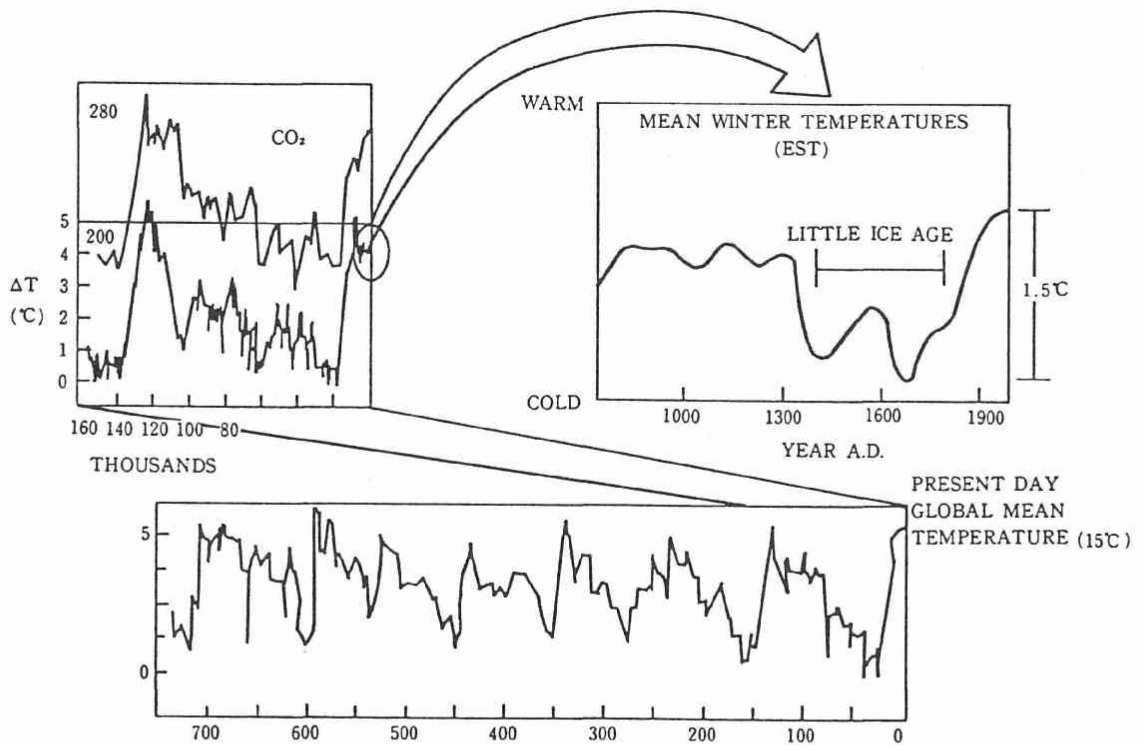


SOURCES
FOSSIL FUEL CONSUMPTION
FOREST BURNING

REFRIGERANTS
FOAM BLOWING
SOLVENTS

RICE PADDIES?
MARSHLANDS?
ENTERIC FERMENTATION?

図9 大気中のトレースガスの変化



[NASA, S.G. TILFORD]

図10 70万年間の気温変化

年間に0.5%ぐらい増えている、これが今問題であるということです。曲線が細かく変わっているのは夏と冬、植物が生長したり枯れたりする季節変動であります。これは過去30~40年のパターンであります。ところが、地球は生れてから45億年もたっています。この長い歴史の間、大気中の二酸化炭素はどのように変わってきたのでしょうか。これにはいろいろの研究があり、例えば70万年ぐらい前からのグリーンランド、南極等の2,000メートルぐらいのボーリングからの氷のコアを採って、その中に含まれているガスの分析がされています。これによって何10万年の気温の変化のパターンと炭酸ガスの変化がかなり詳細に調べられるようになってきております。図10はこの他のいろいろ科学的な資料を使った結果で

すが、これを見ますと、例えば10万年ぐらいの周期で気温は5度ぐらい変わっていることがわかります。それから3~4万年ぐらいの周期で2~3度は変わるパターンもあります。このように地球は昔からダイナミックに変ってきており、過去数10万年をとっただけでも5、6度の激しい変化を繰り返してきています。

それから、つい最近の10万年ぐらいの詳細な研究によりますと、氷の中に含まれている炭酸ガス濃度と昔の気温変化がよく相関しているようです。これが地球は化石燃料からの二酸化炭素で温暖化されているという根拠にもなっております。

ところがこれは「卵とニワトリ」の関係にあるとみることも可能です。というのは、地

表4 主なグリーンハウスガス

Gas		CO ₂	CH ₄	CFC-11	CFC-12	N ₂ O
Concentration	Pre-industrial	280 ppmv	0.79 ppmv	0	0	280 ppbv
	Present	353 ppmv	1.72 ppmv	280 pptv	484 pptv	310 ppbv
Lifetime in atmosphere	Years	(50-200)	10	65	130	150
Global warming potential relative to CO ₂ †	20 years	1	63	4500	7100	270
	100 years	1	21	3500	7300	290
	500 years	1	9	1500	4500	190
Contribution to total radiative effect 1980-1990	Per cent	55	15	24 (all CFCs)		6

[The Shell Briefing Service(SBS),No.4,1990]

*Data from IPCC Working Group 1.

†The warming effect of an emission of 1 kg of each gas relative to CO₂, based on the present-day atmosphere.

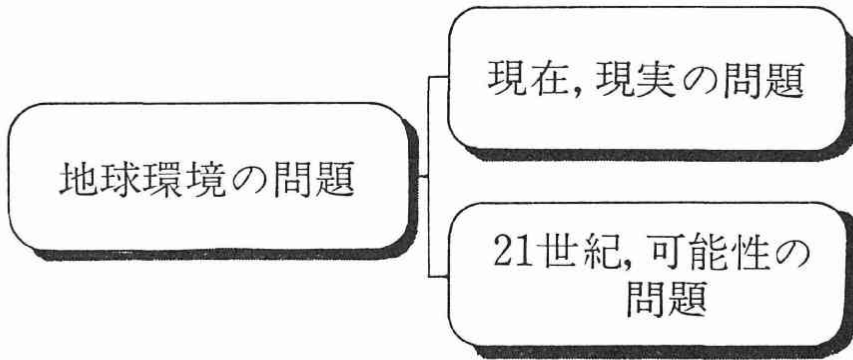
球が何かの理由で暖まったときには、海水中に溶けている二酸化炭素あるいはツンドラ地帯などに含まれているメタンなども大気中に放出されるはずだからです。要するに温室ガスが結果として放出されるわけです。このような理由で、温暖化ガスと地球の平均気温のリンクをしていることが、そのまま化石燃料からの二酸化炭素が地球を温めていると直ちに結論づける考えには問題があるように思われます。必要十分条件では必ずしもないということです。

このシンポジウムは天然ガス、メタンが主題ですが、時折大気中のメタンは二酸化炭素に比べ、より温暖化効果が強いから、天然ガスの開発をやめるべきであると主張する人がいないでもありません。これはこの部分だけの一点正義であります。ところが、エネルギー供給のことを考えると、問題はそれほど単純ではないということです。

主なグリーンハウスガスには二酸化炭素、メタン、その他フロン等もあります。(表4)このようなガスの大気中に滞る時間が違い、二酸化炭素を1とした場合、メタンは20年後では温暖化のポテンシャルが63倍、100年ぐらいで考えると21倍ぐらいになります。それから500年で考えても9倍というふうに、二酸化炭素よりも地球の温暖化効果があるというのです。このためメタンをあまり使うなという意見が環境サイドから出てきます。

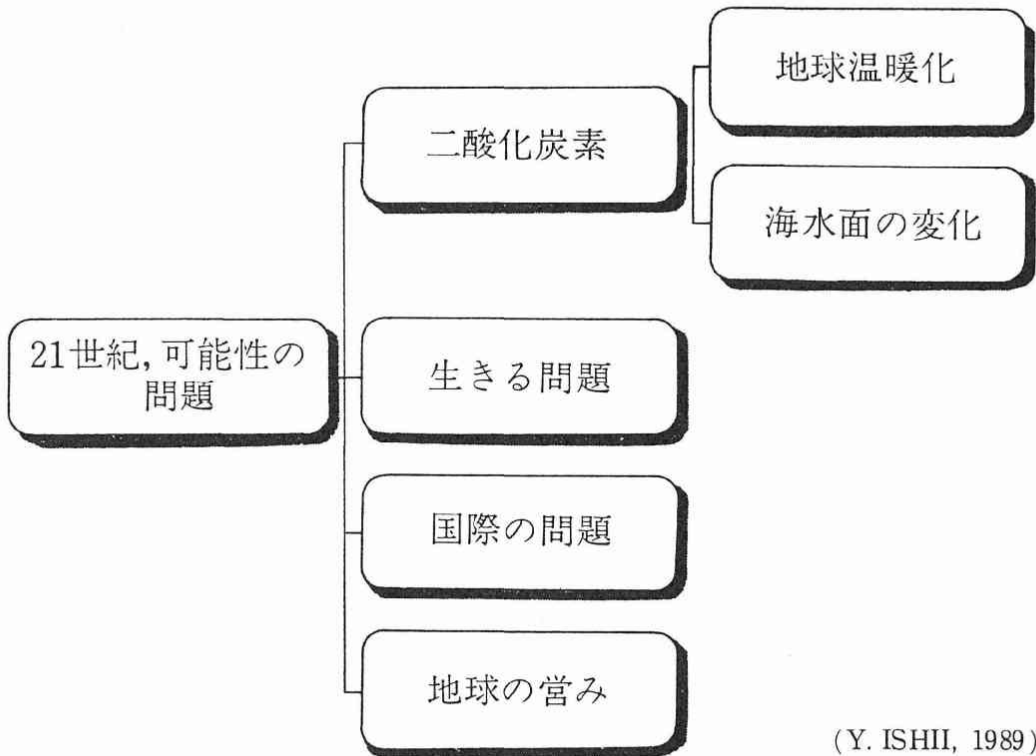
しかし逆に、このためメタンを上手に使うべきであるとの意見も当然あります。メタンを燃やせば、水と炭酸ガスになるので、むしろメタンを有効に使うべきであるということにもなります。このように科学的に考えないと、温暖化の理論は漫才のような話にもなりかねないようです。

いずれにしても、二酸化炭素に比べて、メタンは温暖化ガスとして、短期的にはその効



(Y. ISHII, 1989)

図11 整理する必要がある地球の環境問題



(Y. ISHII, 1989)

図12 二酸化炭素問題とは

果が大きいということは覚えておく必要が
 ろうと思います。このようなものを、我々は
 エネルギー源としてどうみるかということが
 これからの問題となるわけでありませ

先ほどから、私はエネルギーと地球の温暖
 化についての話をしてきました。我々にはい

ろいろな環境問題がありますが、地球の温暖
 化問題はエネルギー供給と表裏の関係にある
 ものです。また文明はエネルギーの供給形態
 で決ってきているという話もしました。これ
 も私の年来の持論であります。一口に地球
 環境の問題といっても、現実に起りつつある

問題、例えば川が汚染される、湖が汚れる、魚が死ぬ、あるいは森林がなくなるなどの問題と、化石燃料により二酸化炭素で地球が温暖化するかもしれない、海水面が上がるかもしれないという、21世紀に相当入ってからの可能性の問題とがあります。また食料不足による飢は、発展途上国の多くの人々が現実苦しめられていることです。また汚い不衛生の水を飲むため年間に400万人の子供たちが死んでいる現実があります。このような現実の環境問題と、温暖化するかもしれないというような予測を区別するべきである、というのが私の主張であります。(図11、図12)

地球は過去何億年前、石炭ができたころ、

あるいは石油が大量にできたころには地球が温暖化しており、大気中に大量の桁違いの量の炭酸ガスがあったとされています。そのときには大量の植物、生物の生産量があったわけです。それが現在の石炭であり石油です。この時代の地球は生命にとってむしろ好都合であったようです。このように、地球がもし温暖化した場合、メリットとデメリットを両方考えた議論をすべきでないでしょうか。

それから、エネルギー供給が万全であれば、我々は石炭、石油、あるいは天然ガス等の炭化水素を使うのをすぐにもやめることができます。ところがそれは不可能です。従って、どこに答えを求めてよいかわかりませんし、

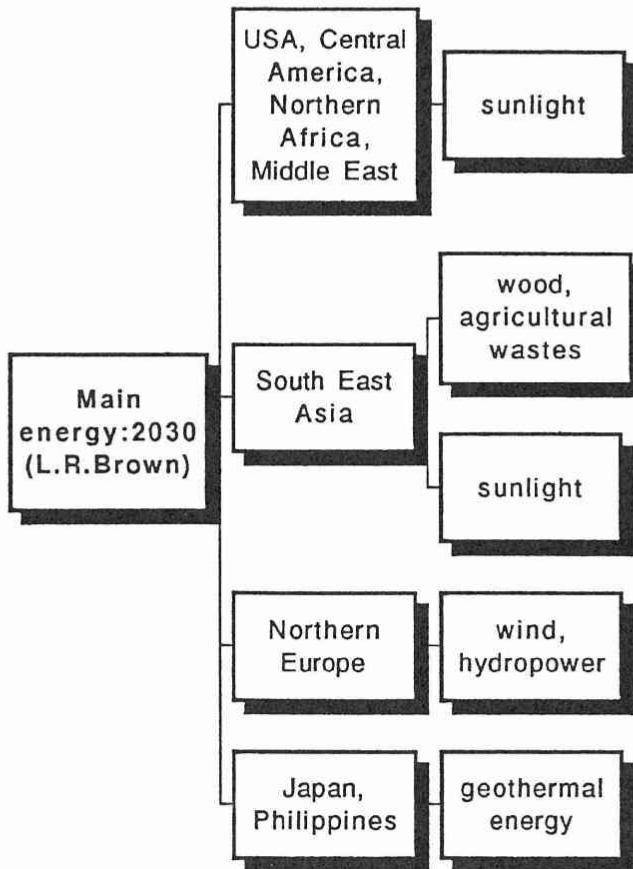


図13 2030年のエネルギー供給：ひとつの考え方

私自身答えを持っているわけではありません。私的な話で恐縮ですが、私は今東大の教養学部で、一般的な教養講義を学生にしております。「21世紀に生きるあなた方にとって、我々大人は答えを持っていない。しかし、あなた方は21世紀を生きなければならない。従来¹の大学は、こうすれば微分方程式が解けるといった、答のあることを教えてきました。ところが、21世紀にいたるこのような問題について、現在大学は学生に答えを教えることができない。今はいろいろな問題があることを知って、バランスよく、論理的にものを考えていく必要があると伝えることしかできない」というように今私は学生に講義をしております。

そして地球温暖化の問題は、エネルギー供給の問題そのものです。これについてはレスター・ブラウンが所長をしているワールドウォッチ・インスティテュートの『ステイトオブザワールド』という、毎年出している本には次のような主張が書かれています。彼は、「化石燃料を使うのをやめるべきである」と非常に強く主張しています。もちろんこの中には天然ガスも含まれています。21世紀のエネルギー供給をどうするかについて、レスター・ブラウンは2030年における主なエネルギーについて図13のようなことを言っています。まず、米国、中米、北アフリカ、中東などの非常に温かい太陽がふりそそぐところは、直接の太陽エネルギーを使えばよい。それから、東南アジアは雨が降り、雲も多く熱帯地方で木もよく生え、農業も盛んであるから木、農業廃棄物を燃やせばよいと主張しています。

それから北ヨーロッパでは風が強く、水が

豊富なので風力と水力を使うのがよいと言っているわけです。つい最近私はオランダに行く機会がありましたが、今でも昔の水車が数百個も残っているそうです。オランダに行くと初めてわかったことですが、この国は非常に風が強い国だということでした。なるほど、その地域に似合ったエネルギー供給形態が昔からあったということもよくわかりました。

それから日本、フィリピンは地熱を使うべきであるとレスター・ブラウンは主張しております。これも1つの考え方ではありますが果してどうでしょうか。このような新しい再生的エネルギー源ですぐ我々のエネルギー供給構造が変えられれば、明日にでも化石燃料を使うことをやめることができますが、実際はそうはいかないでしょう。このレスター・ブラウンの毎年出る本は有名ですから、一度ご覧になるとよいかと思いますが、このようにはうまくはいかないということ、多くのエネルギーの専門の方はすでにご存じであろうと思います。

しかし、何んの対策もないのかというと、必ずしもそうではありません。図14は同じレスター・ブラウンの『ステイトオブザワールド』の資料であり、横軸はいろいろの国です。国民総生産1ドル当りのエネルギー消費量、要するにエネルギーをどの程度有効に使っているかというエネルギー効率であります。日本はご覧のとおり優等生です。せめて日本程度の高さになれば、効率の悪い国では大量のエネルギー節約ができ、間接的に二酸化炭素の放出量も減るということです。

我々が先ずとれる対策として、短期、中期的にはこのエネルギーの有効利用が最も大切であろうと思います。

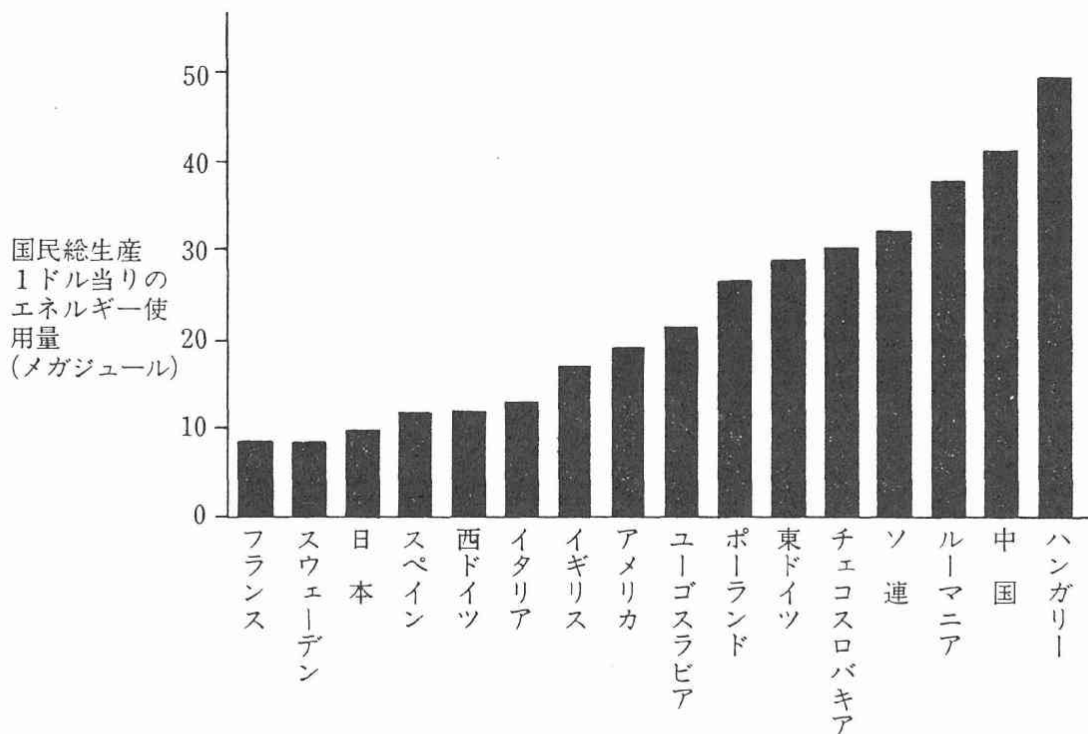


図14 主要国のエネルギー効率 (1983年)

これには2つの効果があります。1つは、今のエネルギー源がより長持ちする、寿命が伸びるということ、もうひとつは、二酸化炭素の放出量が減るということです。このための全般的な資源の浪費もなくなるということです。そこで問題なのは、そのようなメカニズムで今の経済が成り立つのか、むだをしない社会が果して成り立つのかについても考えておく必要があると思います。これが実現可能な短期並びに中期の重要な対応策であります。

それでは、天然ガスについての話に移りたいと思いますが、まず表5ですが、これはECのエネルギー委員会によるEC12カ国についての3つの将来シナリオです。これは天然ガスが1987年、1995年、2000年、2010年という時点でどうなるか予測しています。単位

は100万toe、つまり石油換算100万トンであります。いずれの場合も天然ガスの数字は増えていますが、石油はむしろ減っています。一番下の欄は全エネルギー消費量であります。

シナリオの2は天然ガスの使用量を増やして254から327になっていますが、これでは石油の使用量もあまり減っておらず増えていきますし、原子力も増えていきますから、これはエネルギーを節約しないシナリオと考えられます。

これに対して、シナリオ3は現在の1,062という数字に対して2010年には1,162となっています。すなわち、2010年までほぼ横ばいの場合ですが、天然ガスは大幅に増やしています。ここに今後のエネルギー消費を押しえつつ、天然ガスの比率を上げようというECのひとつの姿勢が出ているようです。

表5 ECエネルギー委員会によるエネルギー
バランス見通し (EC12ヶ国)
(単位: 百万toe)

シナリオ1				
	1987	1995	2000	2010年
石炭	230.2	248.1	276.1	323.2
石油	476.6	541.0	528.2	493.1
天然ガス	198.2	232.3	248.8	276.1
原子力	136.3	179.6	196.1	251.5
水力	14.9	16.8	17.4	18.0
その他	6.1	8.3	10.2	12.9
計	1,062.3	1,226.1	1,276.8	1,374.8

シナリオ2				
	1987	1995		2010年
石炭		263.2		399.7
石油		573.0		537.6
天然ガス		254.4		327.2
原子力	同上	179.6		260.0
水力		16.8		18.0
その他		9.3		15.8
計		1,296.3		1,558.3

シナリオ3				
	1987	1995		2010年
石炭				107.4
石油				348.7
天然ガス				335.0
原子力	同上	同上		340.0
水力				18.0
その他				13.8
計				1,162.9

[石油の開発と備蓄, 1990.6]

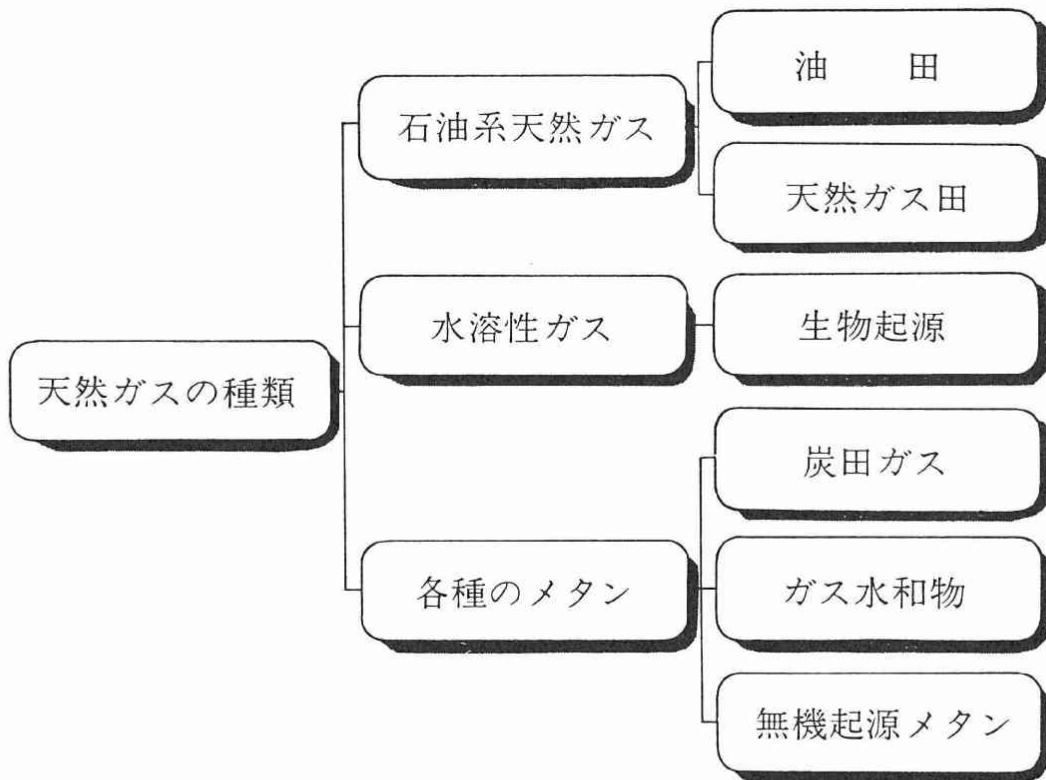
そこで次の問題は、天然ガスがどの程度供給可能かということであり、これは本当のことはわからないわけですが、先ほど既知の埋蔵量について話をした時に天然ガス資源は原油などに比べてかなりバラエティーに富むと話をしました。図15のようにまず石油系天然ガスがあります。これは普通の油田で原油と一緒に出てくるもので、中近東などで油を生産する時、ガスは燃やしているわけです。このような原油に付随した天然ガスと、天然ガスのみのガス田があります。つまり非常にガスリッチのものと石油系のものがあります。それから水溶性ガス、これは

日本の関東平野の茂原などの水溶性の生物起源の地下水に溶け込んだガスであります。ここでは深さはたかだか1,000mぐらいですが、こういうタイプのものは大量に地球にあります。新潟平野にも地下水に溶けている大量の天然ガスがありますが、地盤沈下のために現在は使っておりません。ここには無尽蔵の天然ガスがあると以前は言われていたのですが、当時地下に還元しなかったためか、新潟市内で地盤沈下問題が起きました。これは今から40年も前のことです。このため新潟周辺の水溶性天然ガスの採取をやめたわけです。

次に各種のメタンです。まず炭田ガスですが、これも膨大なものがあります。例えば、オランダは天然ガスの大量の生産国ですが、この国にはフローニンゲンという巨大なガス田があります。このガスは、もっと深いところにある石炭からきたと考えられています。それからいわゆる炭田そのものに含まれるガスも膨大であると考えられています。これについては、今いろいろ調査検討をしているところです。

それから、ガスハイドレート。これはメタンと水が結合したもので、例えばシベリア等の非常に寒い地方では比較的浅いところにシャーベット状になってメタンがトラップされるようです。ある程度圧力が高くなると、例えば日本の周辺の海底下では常温でもメタンハイドレートが存在するといわれており、これは殆ど定説になっています。問題は、これが資源としてどの程度濃集されており、実際に経済的に取り出せるかです。

その次が無機起源のメタン。これについては最近いろいろ話がありますが、これは、



(Y. ISHII, 1990)

図15 いろいろな天然ガスの種類

いわゆるメタンのほとんどが有機起源であるのに対して、地球生成以来からの無機的なメタンが存在している可能性があるとの説によるものです。もし、これが本当だとすれば、膨大な量があるというのがゴールド博士の主張であります。これが無機起源のいわゆる深層ガスであります。これについても現在検討が続けられています。

このような3つのタイプの天然ガスがいま話題となっていますが、まず重要なことはこれが資源として有意義かどうかです。しかし一般に今の油田の深いところを掘っていきますとガスが豊富になる傾向があります。図16は縦軸は深度であり、横軸が炭化水素が生成

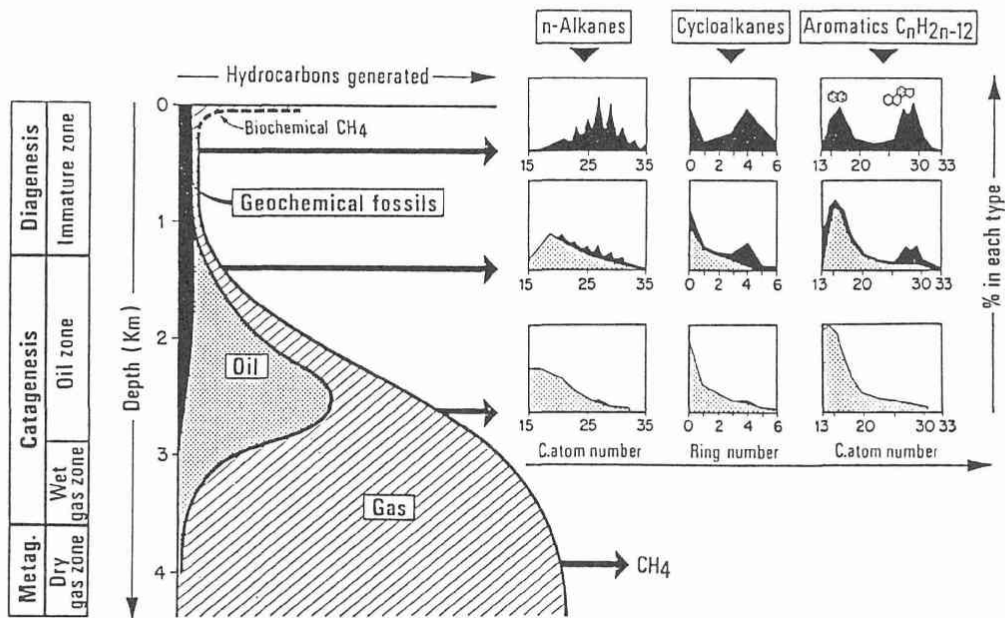
されている状況を概念的に書いたものです。ここで浅いところの有機物の堆積はあまり熟成されていませので石油になっていないということを示しています。しかしもっと深いところ、例えば2,000m, 3,000m, では油が豊富になっていくということです。ところが、もっと深くなりますと、地下の温度も上がりますので、炭素の連鎖が切れるメタン化の傾向が出てくるということです。これは図の下にドライガスゾーンと書かれています。例えば中近東等の大油田等では、深いところには相当な天然ガスがあるとされているのはこのような理由によります。

ここで油田、ガス田の生成の過程を簡単に

述べますと、まず堆積岩の中に油が生成されます。それが移動し集まるわけです。地層はいろいろな地殻変動を受けて、褶曲され図17のような形になってきます。そうすると地層に沿ってガス、油が移動してこのような油田ができあがるというわけです。しかし、このような褶曲でなくても、例えば断層のトラップがあってもいいわけです。どこか高い所に軽いガス、油が移動し溜る場所があればいいわけです。ここで言いたいことは、資源とはこのように濃縮され、経済的に有用なものを指すということです。つまり自然のメカニズムの結果、経済的に価値のある物質、資源になったものということです。ただそこにあるだけではだめである、ということです。これは資源として一番重要なことでもあります。資源の問題とは、最初から最後まで経済の問題なのです。(図18)

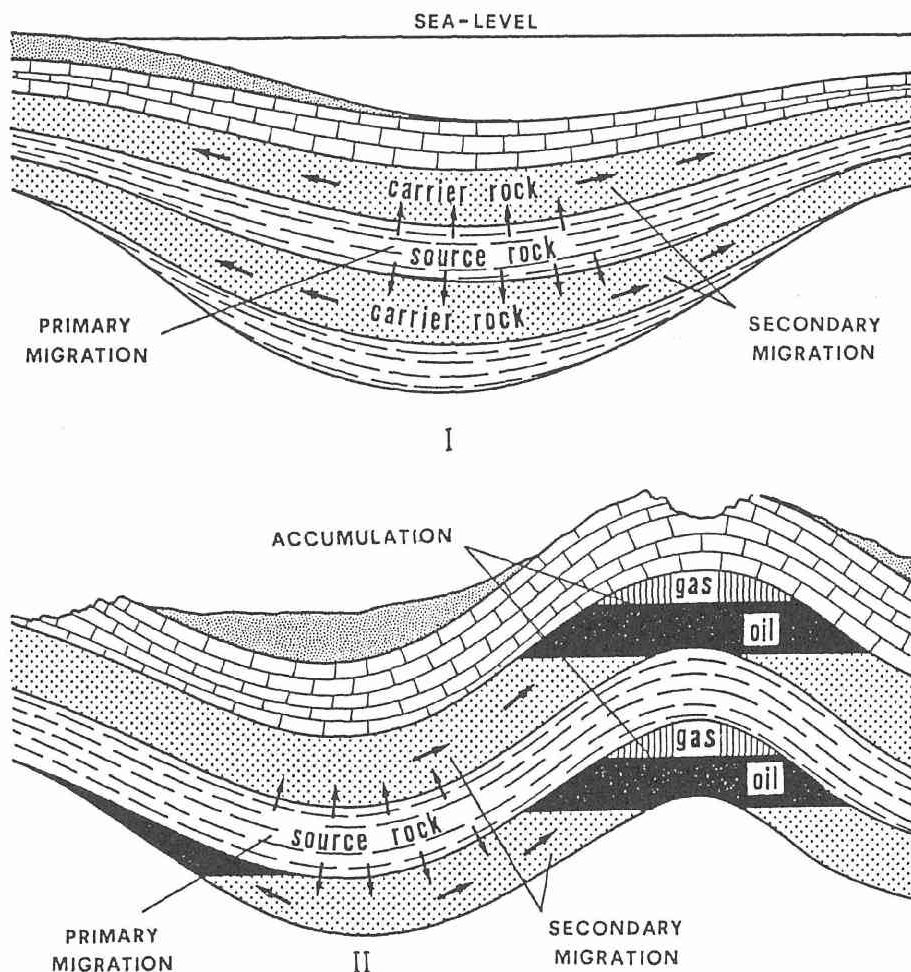
資源にとり重要なことは、どの程度濃縮されているか、大量にあるか、位置はどうかであり、経済的に採れるような場所に大量にあるかということです。これについて細かくお話する時間はありませんが、あらゆる資源を考える場合に、このことを念頭に置いていただきたいと思います。

いろいろな側面が天然ガスにもあります。エネルギーと地球の環境問題、特に地球の温暖化問題ではありますが、これについてももう少し話してみたいと思います。歴史的にみても人間の文明はエネルギーが支えてきたわけです。中世の時代の数億の人口から今の数十億にまで増えることができたのは、十分なエネルギーの供給があったからです。石炭という大量の化石燃料が先ず人口の増加を可能にしました。そして人類はその後石油、天然ガス、原子力等を使ってきたわけです。つまり



[B.P.Tissot & D.H.Welte; Petroleum Formation and Occurrence, 1978]

図16 石油系天然ガスの生成



[B.P.Tissot & D.H.Welte; Petroleum Formation and Occurrence, 1978]

図17 石油・天然ガスの濃集のプロセス

このような非再生的な資源を使って人類は今まで発展してきたわけです。50億人以上にも人間の数が増えることができたのは豊富なエネルギーが使えるようになったからです。

それが現在は、地球にやさしいエネルギーを使うべきであるということ、例えば太陽、風力などに移るとすれば、大変な技術的変革があるということになります。しかしこれも簡単にはいかないでしょう。また永久に石油、石炭等があるわけでもありません。私が学生にいつも言っていることは、「我々大人は答え

を持っていない。しかし、人間はもう50何億人にも増えてしまっている。このために環境問題も起き、エネルギーもいずれ足りなくなる。これをどのように考えるかが、地球に生きる我々人類の最大のこれからの問題である」ということです。

最初「文明とエネルギー」という大げさな命題からスタートいたしまして、いろいろな私の考えをお話しましたが、最後に化学的な原料としてもメタンがこれから必要になるであろうと私は考えています。現在は、石油を

- 1) 濃縮 は ？
- 2) 大量 か ？
- 3) 位置 は ？

理由 = 経済性

資源探査 = 経済的資源の探査

(Y. ISHII, 1971)

図18 資源の3要素

化学原料として使っているわけですが、その石油はその内なくなると言われています。これに対して、もっと息が長いのが天然ガスとしますと、これを化学原料として使うような時期がくるのかも知れません。炭素の鎖をつなげていく話です。

化学は私は専門外でよくわかりませんが、先ほどのように天然ガスには中流部門があり

ますが、この場合LNGとして持ってくるのと、カーボンの鎖をつないで例えばプロパンなどにして持ってくるようにならないかということも考えたりします。先日、オランダのロイヤルダッチシェルの研究所に行き、メタンから、触媒を使いパラフィンまでつくっているプロセスを見る機会がありました。そのプロセスの途中でできるいろいろな製品も見せてもらいましたが、面白いことを研究しているものだと思います。このような化学的なプロセスの原点としてのメタンがあることを実感いたしました。

このように天然ガスについてはいろいろな切口、側面、問題があるようです。これからも皆様方と一緒に、いろいろ考えていくことができれば幸せであると思っています。

非在来型天然ガスの研究開発動向



吉 江 照 一[※]

現在、天然ガスの稼業の対象になっているのは、主として油・ガス田からの比較的浅層の資源であるが、石油代替エネルギーとしての天然ガス資源に対する期待とその需要の伸長を考えると、従来開発の対象とされなかった深層部や新しいタイプの鉱床の資源、いわゆる非在来型の天然ガス資源が将来重要となってくるだろう。

非在来型天然ガスとは何かについての厳密な定義・分類はないが、ここでは次のような前提で在来型・非在来型を考えて行きたい。

(1) 在来型天然ガス

- ① 原油の生産に伴って副産するガス（随伴ガス）
- ② 原油を伴わない遊離性の天然ガス鉱床を構成するガス（構造性ガス）
- ③ ガス層内で水に溶解した状態で存在する水溶性ガス（但し、静水圧近傍の圧力下で溶解しているもの）

(2) 非在来型天然ガス

- ① 貯留形態（鉱床）が在来型と異なるガス
 - ② 特殊な地質環境に胚胎するガス
 - ③ 特別な開発・生産技術を要するガス
- 一般に非在来型天然ガスと見做されるものを表1に示す。

以下にこれら非在来型天然ガスに対する海外の取り組みを紹介するが、深層天然ガス、メタンハイドレート、コールベッドメタンの詳細については、他の講演者の報告を参照されたい。

1. 深層天然ガス

非在来型の深層天然ガスに関しては、成因・起源や深部貯留層の可能性等未知の分野が多く、未だ研究の段階にある。

(1) 米国での取り組み

非在来型ガス全般に渡りその研究開発を積極的に推進している国は、米国である。米国は、旧ソ連に次ぎ世界第2の天然ガス生産国であるが、世界第一の天然ガス消費国でもある。米国の天然ガス埋蔵量は、1970年をピークに減少してきており、1973年の石油価格の高騰などに刺激されて、国政府と産業界は協力して非在来型ガス天然ガスの検討に取り組んで来ている。

深層部に発生源をもつ深層天然ガスに関しては、米国エネルギー省（DOE）が中心となり、非生物起源のガス、プレート地殻構造作用により堆積物が下方におしこめられて生じる沈み込み帯の有機起源ガス、それに有機

※ 財エネルギー総合工学研究所副主席研究員

表1 一般に非在来型と見做される天然ガスの種類・概要

種 類	概 要	開発状況
深層天然ガス	<p>米国エネルギー省（DOE）による分類例：</p> <p>地球深層ガス 地球創成時に地球深部（上部マントル）に閉じ込められたと仮定される非生物起源のメタンガス（T. Goldらによる仮説）。</p> <p>沈み込み帯の生物起源のガス 海洋堆積物中の有機物がプレートの沈み込みに伴い、地殻深部へ持ち込まれ発生するガス。</p> <p>深部堆積盆ガス 下方に屈曲した深い堆積盆中の堆積岩に胚胎するガス（AGAの定義によれば 15,000ft 以深）。</p>	研究段階
メタンハイドレート	<p>海底やシベリアの永久凍土地帯など特定の温度・圧力条件を満たす場所でシャーベット状のガス水和物（ハイドレート）の形で存在するメタンガス。</p> <p>（温度・圧力条件が変わってハイドレートが分解するとメタンガスが遊離する）</p>	<p>陸域： （旧ソ連）でテスト生産実績有り</p> <p>海域： 研究段階</p>
コールベッドメタン	石炭に吸着、あるいは石炭の孔隙や割れ目中を満たす状態で炭層中またはその周辺に存在する石炭ガス。	米国で生産実績有り
タイトサンドガス	米国西部のロッキー山脈地域等のタイト（硬質）な砂岩層の中に存在するガス。砂岩層の浸透率が極めて低いため、特殊な採取技術が必要でコストがかさむ。	米国で生産実績有り
シェールガス	米国東部のアパラチア地域等の有機物に富む頁岩層に存在するガス。浸透率が極めて低いため、特殊な採取技術が必要でコストがかさむ。	米国で生産実績有り
ジオプレッシャードガス	米国のガルフコースト等でみられる、上部堆積物の荷重のために高圧下で溶存する水溶性ガス的一种。圧力が高いため通常（静水圧）の水溶性ガスよりも水中の溶存量が大きい。	米国でテスト生産実績有り

物を含むガスが深層に包みこまれたために生じる深部堆積盆ガスの3つの成因を考えて1982年より調査を進めてきた。

① 非生物起源ガス（地球深層ガス）

非生物起源ガスの中の地球深層ガス（Deep Earth Gas）は、宇宙物理学者であるトーマス・ゴールドが唱えた仮説的なガスで、地球深部には、地球創成期に取り込まれたメタンが大量に存在し、それが上昇移動して天然ガス鉱床や石油鉱床を形成したというものである。地球深層ガスに関連した無機起源ガスの研究は、ゴールド説に関心を抱いた米国ガス研究所（GRI）が中心になって1979年から1988年の10年間米国内の堆積盆からガスをサンプリングし分析を行って、DOEの研究プログラムを支援した。その結果として、炭素やヘリウムの同位体の比による無機起源ガスの判定の目安をつくり、米国のガス田の中にも一部無機起源的なガスが存在すると報告している。

② 沈み込み帯の有機起源ガス

これは、海洋の堆積物中の有機物がプレート（地球表層部を構成する幾つかのプレートのこと）の沈み込みに伴い、地殻深部へ持ち込まれそこで高い温度・圧力を受けて発生したガスである。調査結果によると全海溝域の少なくとも70%において、海溝軸付近に到達した堆積物は全体的に沈み込み貫入している。とくに、アラスカ南西岸に沿ってかなり膨大な堆積物の沈み込みがあることがわかっている。また、アリューシャン海溝内では、最大6兆 m^3 の天然ガスが胚胎しているとの推定例がある。

③ 深部堆積盆のガス

深部堆積盆のガスとは、有機物を含む堆積

物が深層に包みこまれたために生じる堆積盆のガスである。米国では、南東部のタスカルーサ層やロッキー山脈の衝上帯、アナダルコ盆地等で深部（4,500～7,500mの深度）に天然ガスの存在が確認されてる。米国エネルギー省（DOE）の今後の深層天然ガスの調査研究は、深部堆積盆ガスに重点が置かれていくようである。

(2) スウェーデンでの取り組み

スウェーデンのシリヤン環状帯で行われている深層天然ガス開発プロジェクトは、世界で初めてトーマス・ゴールドの説を根拠として深層部の無機的な天然ガスを発見することを目的に行われているものである。シリヤンはストックホルムの北西約300キロにあり、3億6千年前の隕石衝突によってつくられた直径40キロのヨーロッパ最大の隕石跡である。ここが選ばれた理由は、隕石の衝突時にその環状帯の地下では、岩石が破壊されて多数の割れ目が生じ、深部からのガスの移動と貯留に好適な地質構造が作られたと期待されたからである。

プロジェクト発足時の推進母体は、スウェーデンの電力公社Vattenfallであり、この背景には、2010年までに原子力発電を全廃するという国民投票での決定や水力以外のエネルギー資源が殆どないという国情があった（2010年に向けての原発の段階的廃止達成は見込み薄との報道もある）。

以下にシリヤンプロジェクトの経緯を示す。

シリヤンプロジェクトの経緯

- ・1983年-1986年 10本のコア等によるシリヤン環状構造の広範囲な地表調査。
- ・1986年7月 Vattenfallの監督下、Gravberg

坑井の掘削開始。

- ・1987年9月 6,400mまで掘削したが、孔曲がりなどの困難が生じ中断。
- ・1988年8月 7,500mを目標に掘削再開、6,975mで終了。少量の無機起源のメタンを検出。
- ・1990年 スウェーデン政府はこのプロジェクトを民間企業Dala Deep Gas Production Co. に引き継ぐことを承認。
- ・1991年8月 7,000mを目標にStenberg坑井の掘削開始。10月原油流出の報告あり。
- ・1992年6月 6,350mを掘削。8月生産テストを計画。

掘削時に一部で原油の流出や無機起源的なガスが発見されたとの報告があるが、大量の油やガスは未だ発見されておらず、商業性については、一般に疑問視されている。

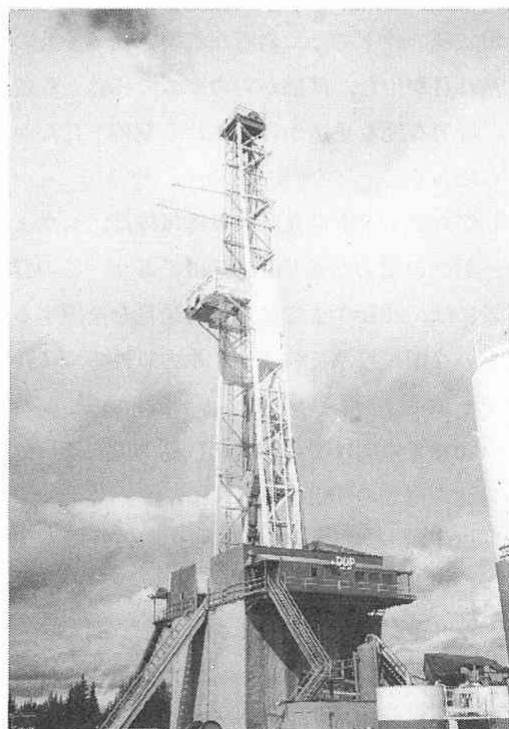


写真1 Stenberg 坑井

写真1は、シリヤン環状帯の中心近くにある現在掘削中のStenberg坑井である。プロジェクトの2番目の坑井であり、1992年6月時点で6,300mの深さに達している。

(3) その他のプロジェクト

深部天然ガスの商業生産をねらった掘削プロジェクトは、この他にスイスのTGKプロジェクトやカナダのシャルルボアプロジェクトがあるが、まだ掘削の段階には入っていない。

スイスにおける深層ガスの調査・開発は、深層ガス・コンソーシアム(TGK)によって行われてる。TGKは、1987年にスイス国内の深層ガスの開発・調査を行うためにスイス・ペトロール社、ズルツァー社と連合組織して設立されたものである。アルプス山岳地帯のヘルベチア地帯という地層が複雑に褶曲した地域を開発対象としており、ここは、アフリカプレートとヨーロッパプレートの境界領域であり、深層ガスが存在するとすれば、深層からの脱ガスが期待される。今年度探鉱井の掘削を予定しているといわれる。

カナダでは、シリヤンと同じような地質構造をしているシャルボアの隕石孔を対象に深層の無機メタンを探索するための掘削が、アーバイオジェニック社によって計画されている。場所はケベック州のセントローレンス川の流域である。

なお、直接深層天然ガスを研究の対象とはしていないが、ドイツではKTB(Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland)と呼ばれる超深度学術ボーリングのプロジェクトがあり、中部ヨーロッパの地殻構造、岩石や地殻流体の物理・化学的性質、基盤岩の発達過程などの研究を行って

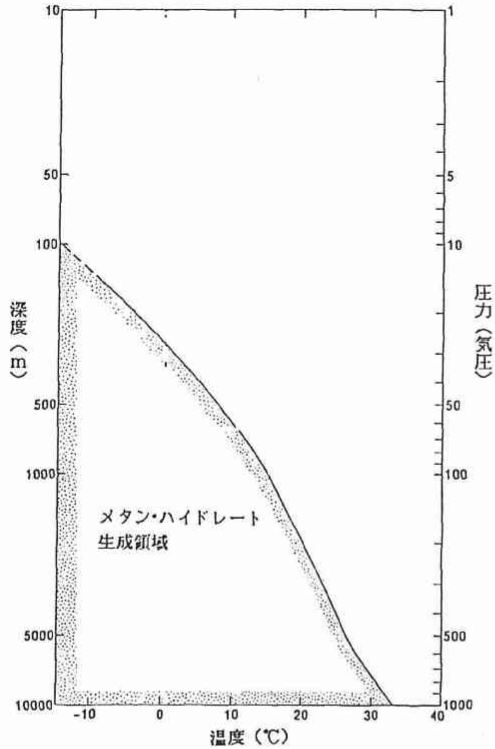
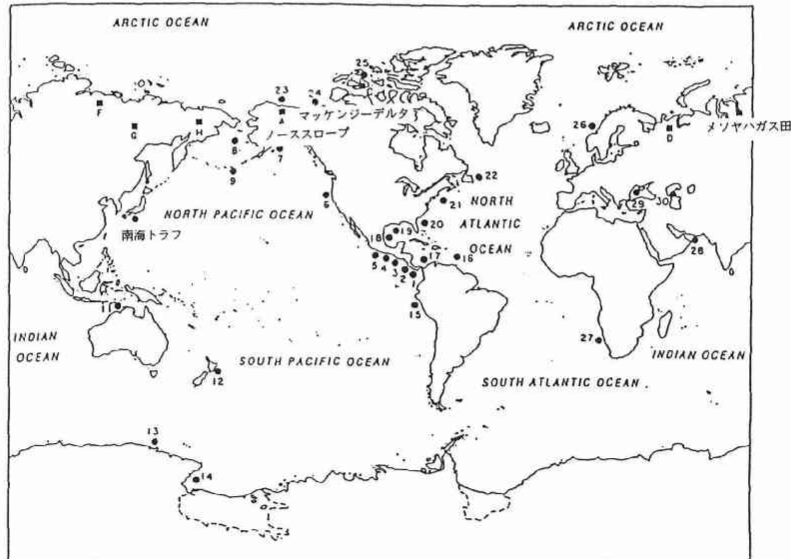


図1 メタン・ハイドレートが生成する温度・圧力条件

いる。掘削場所は、チェコスロバキヤとの国境に近いヴァインディッシュエツェンバッハという所で、1994年に1万メートルの深度達成を目標に目下ボーリングが行われている。深層天然ガスとの関連では、今のところ、サンプル流体中のガスには無機起源的なガスは発見されていない。

2. メタンハイドレート

水と天然ガスは、特定の温度・圧力条件下でシャーベット状のガス水和物を形成するが、これをメタンハイドレートとよんでいる。メタンハイドレートが生成するためには、低温で圧力が高いことが必要である。図1は、メタンハイドレートの形成に必要な温度・圧力・深度の関係を示している。天然ガスのハイドレートの形成は一般に、+12°Cから-8°Cの温度で深度およそ300~1,200mの間に限られている。この条件を満たす地域は海底や



The Earth showing locations of known and inferred gas hydrates in oceanic sediment of outer continental margins (●), and in permafrost (continental) regions (■).

図2 世界のメタンハイドレートの分布 (Kvenvolden, 1988 による)。海域では大陸縁辺部に、陸域では永久凍土域に分布が限られている。

シベリヤなどの永久凍土地域である。ハイドレートの研究を現実的なものにしたのは、1930年代のパイプライン中に生成するハイドレートがガスの流れを阻害することからであったが、1960年代後半にソビエトの科学者がシベリヤの堆積物層からハイドレートの結晶を発見し、回収したと報じたときからハイドレートを資源として評価する努力が始まった。

図2は、メタンハイドレートの存在が報告された場所である。海では大陸縁辺部に、陸では永久凍土域に存在していることが分かる。この中で、テスト生産実績があった所は陸域に限られ、シベリヤのメソヤハガス田、ヴィリュイガス田それにアラスカのノーススロープ、カナダのマッケンジーデルタなどである。海域でのメタンハイドレートの探査は、日本も加盟している国際深海掘削計画(DSDP/ODP)で行われている。日本周

辺海域では、南海トラフや奥尻海嶺でメタンハイドレートの存在が報告されている。なお、メタンハイドレートの資源量としては、陸域で数十兆 m^3 、海域で数千兆 m^3 のオーダーの推定例がある。

3. コールベッドメタン

コールベッドメタンとは、石炭に吸着あるいは石炭の孔隙や割れ日の中を満たす状態で炭層中に存在する天然ガスである。石炭化のプロセスで大量のメタンが発生し、それが石炭および炭層内に残存しているため、コールベッドメタンの賦存地域は石炭の賦存地域ということになる。図3は、世界の炭田分布図である。歴青炭や無煙炭等炭化度が進んだ場所がコールベッドメタンの有力な賦存域となりうる。米国、中国、オーストラリア、カナダなどが有力である。なお、コールベッドメタンは、米国で具体的に生産が行われており、



図3 世界の炭田分布

上記深層天然ガスやメタンハイドレートに比べ、最も開発が進んでいると言える。

(1) 米国での取り組み

現在、コールベッドメタンの商業規模の生産が行われているのは米国だけである。米国では、非在来型天然ガスとしてのコールベッドメタンへの期待は大きく、政府機関が全国的な調査を行っており、その資源量を11兆 m^3 と評価している。1980年に税制優遇を受け、既に3,500本以上の生産井がコロラド、ニューメキシコ両州にまたがるサンファン炭田やアラバマ州のブラックウォリア炭田等で掘られている。コールベッドメタンは、一般に炭層内に水で封じられた形で存在している。写真2は、ブラックウォリア炭田でコールベッドメタン採取に使用されているサッカーロードポンプである。なお、サンファンおよびブラックウォリア炭田からのガス生産量は、1990年実績でそれぞれ34億 m^3 、10億 m^3 となっている。

(2) オーストラリアでの取り組み

オーストラリアでは、クィーンズランド州のボーエン炭田やニューサウスウェールズ州のシドニー炭田でコールベッドメタンの探鉱計画が立てられている。両炭田で資源量は約6兆 m^3 と言われている。わが国との関連では、1990年4月より三菱ガス化学㈱が石油公団の融資を受けボーエン炭田で探鉱活動を行っている。

(3) フランス、イギリスでの取り組み

フランスでは、フランスガス公社 (GdF) が北フランス石炭局と共同でリール地方の閉山後の炭坑からメタンガスをコンプレッサーで吸引・加圧後、天然ガスパイプラインに注入している。送出ガス量は、1991年実績で6,100万 m^3 、1992年予定で8,000万 m^3 である。写真3は、リールにあるコールベッドメタンオペレーションサイトである。

イギリスでは、英国石炭公社 (BCC) が米国の技術を導入し、採炭前の炭層からのガ



写真2 サッカーロードポンプ (米国ブラックウォリア炭田)



写真3 フランス・リールのコールベッドメタンオペレーションサイト

ス抜きの方法（Pre Drainage法）およびドレインガスの利用方法の研究開発をスタートさせている。

4. タイト・フォーメーションガスおよびジオプレッシャードガス

図4は、米国における各種非在来型天然ガスの分布を示したものである。この中でタイトサンドガスとシェールガスは、タイト・フォーメーションガスとして分類されることが

ある。タイトフォーメーションとは、孔隙率10%以下、浸透率1ミリダシー以下の硬質な地層をいう。孔隙の中のガスの飽和率は、在来型貯留岩の80%に比べ、およそ50%である。浸透率は地層内におけるガスの流れ易さを表し、この値が低いことは、ガスの流れに対する抵抗が大きく生産しにくいことを意味する。

(1) タイトサンドガス

米国西部のロッキー山脈地域やカナダ西部

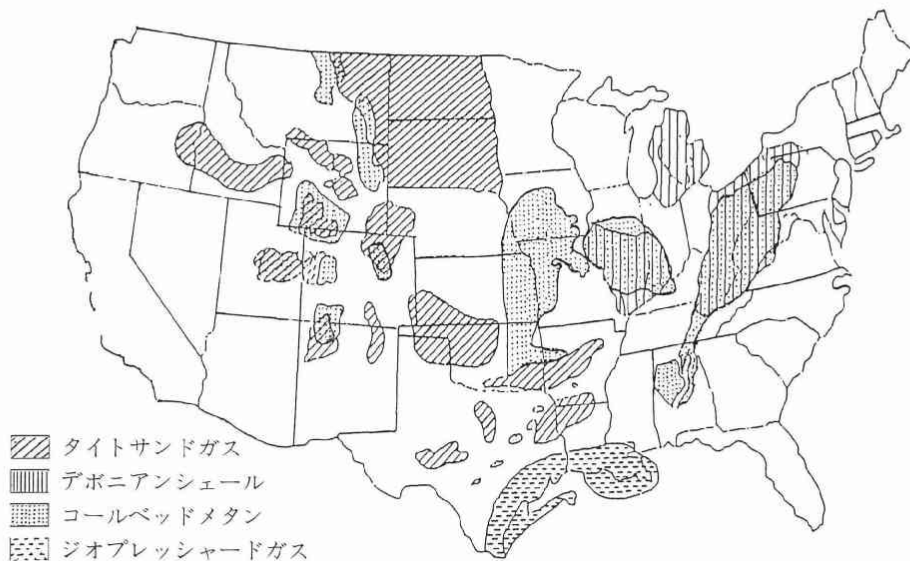


図4 米国における各種非在来型天然ガスの分布

のアルバータ盆地などを中心に分布している浸透性の低い硬質の砂岩層に存在する天然ガスをいう。ガスが存在している砂岩層の浸透率が極めて低いため、フラクチャリング等特殊な採取技術が必要とする。米国では、1978年から非在来型ガスに対する経済的優遇措置がとられており、タイトサンドガスもこの適用を受けている。米国でのタイトガスの可採埋蔵量は14兆 m^3 とされている。1986年には340億 m^3 の生産実績が報告されている。

似たようなタイトサンドガス鉱床は北米以外の堆積盆、例えば、ドイツ、オランダ、イギリスの石炭層に伴う砂岩中にも見られるが開発は行われていない。

(2) シェールガス

シェール（頁岩）は、在来型の天然ガスをトラップさせるシールの役割になるとみなされてるが、有機物の含有量が高いシェールは油や天然ガスのソースとなり得る。米国の東部のアパラチア地域などには有機物の豊富なシェールが存在し、デボニアンシェールと呼ばれている。天然ガスの原始埋蔵量は5～50兆 m^3 、可採埋蔵量は1兆 m^3 とされている。シェールは非常に浸透率の小さい地層であり、タイトサンドガス同様に特殊な採取技術が必要とされてる。このソースから生産され

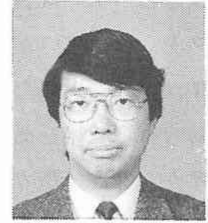
ている量は年当たり28億 m^3 との報告がある。

(3) ジオプレッシャーガス

ジオプレッシャーガス（異常高压帯のガス）は、米国のガルフコーストなどで見られる、上部堆積物の荷重のため、高压下で溶存する水溶性のガスの一種である。全圧力は、普通の静水圧よりも2.5倍ほど高く1 m^3 の水に3～10 m^3 のメタンが溶けていると言われる（静水圧でのメタンの溶解度は、深さ3,500mで2～4 m^3/m^3 の範囲）。米国のDOE/GRIが中心になって1970年代から1980年中頃まで研究開発を実施した。沢山のガスを経済的に生産するためには、大量の水を操作する必要があるが、環境に影響を与えることなく水処理する方法がないため具体的な生産計画はまだ出ていない。しかし、資源量は莫大で米国地質調査所によれば、米国だけで160兆 m^3 が見込まれている。

非在来型天然ガスの生産には、今後の技術開発に待たねばならない面も多々あるが、沢山の非在来型天然ガスが存在しているという事実およびその多くが将来その開発を支持するような場所に存在し得ることを考えると天然ガス産業の将来は明るいものと期待できる。

深層天然ガスとは



浦 辺 徹 郎*

はじめに

「非在来型」という範疇に入れられる天然ガスの中でも、コールベッドメタンやメタンハイドレートはある程度その埋蔵量が推定されている。しかし深層天然ガスはその存在すら確定しておらず、きわめて曖昧模糊としているという特徴がある。深層天然ガスに関してはこれまで様々な成因説が提案され、その存否に関して論争が繰り返されてきた。しかも深層天然ガスはたとえあったとしても上昇の過程で他の起源を持つガスと混合していることが予想され、問題を更に複雑にしている。その成因論争についてはこれまで幾つかのレビューがなされているので、本稿では最近のこの分野の研究に意外な進展をもたらした海底熱水活動の研究を紹介しつつ、地球深層ガスの何が分かっていて、何が分かっていないかを述べて、読者のご参考としたい。

深層天然ガスの区分

深層天然ガスというのは文字通り深いところにある、ないし地下深いところから上昇してくるガスのことであり、その成因を問わな

い言葉である。ただし「深層」という言葉から人々が想起する実際の深度はまちまちで、既存の油田地帯の貯留層の下部に存在する天然ガスのように地下数キロメートルにあるものから、有名なゴールド博士の無機起源地球深層ガスのように地下数千キロメートルのマントルから上昇してきたと考えられるものまで様々な概念の使われ方がなされている(図1)。

地球深層ガスの区分法には成因をもとしたものや産状をもとしたものなど、いろいろのものがあるが、ここではその成因により表1のような分類を用いることにする。このような天然ガスの主な炭化水素はメタンであるところから、以下はメタンのみについて考えていきたい。

表中の(1)の1の微生物起源ガスは発酵と二酸化炭素の還元という2つの主要な経路から生成されることが最近分かってきた。そのうち発酵によるものは、沼の泥をかき回すとブクブク出てくるメタンガスのように、時代の若い堆積物中でしか見られないので、これが大深度の地層中にトラップされることは考えづらい。これに対し、2)の二酸化炭素還元ガスは二酸化炭素という無機物から、無機物

* 通商産業省地質調査所鉱物資源部主任研究官

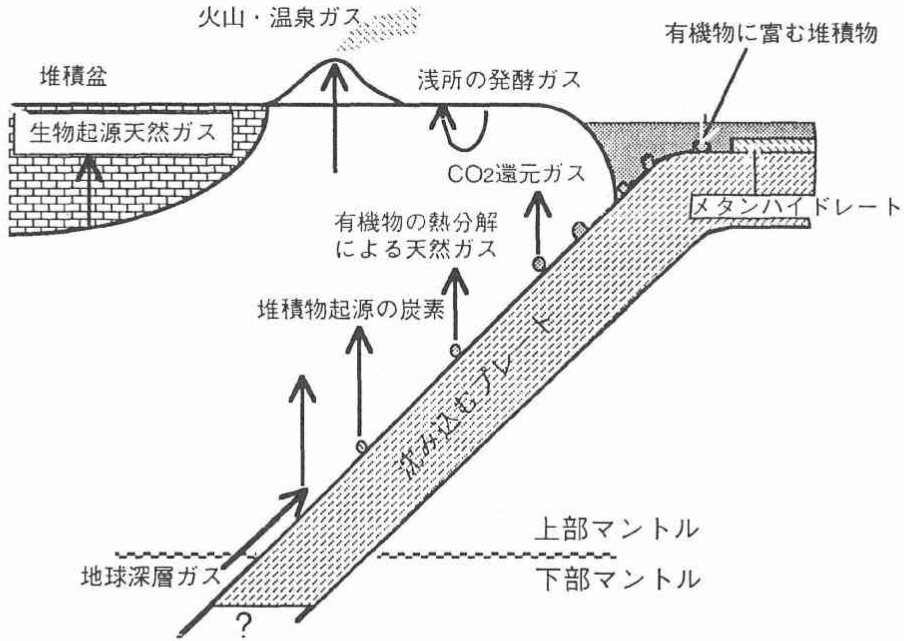
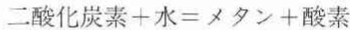


図1 沈み込み帯における様々なガスの起源

と有機物の中間にあるメタンを合成するもので、次のような反応により生成するらしい。



しかしこれまでの熱水合成実験の結果では、二酸化炭素を還元してメタンを作る反応は反応速度が非常に遅く、酸素分圧を十分に低くし、450~500℃という高温に保ってもほとんど進まないことが分かっている。無機的にメタンを合成するには何か特殊な反応機構

なり触媒が必要なのである。しかし微生物の内のあるものは常温でこの反応を右に進めることができる。

このような微生物による還元メタンは、より時代の古い、地温の低い地層中においても生産され続けることが知られている。またこの還元メタンの水素および炭素同位体組成は古い海洋性堆積物中のメタンと類似していることから、深層天然ガスの成因の一つとして微生物による二酸化炭素の還元を考慮にいれておく必要があることが指摘されている。言い換えれば、地殻中のどの深度まで、このような微生物活動がみられるのか今のところ全く分かっていないのである。

表1 深層天然ガスの成因による区分

- | |
|------------------|
| (1) 生物起源ガス |
| 1. 微生物起源ガス |
| 1) 発酵ガス |
| 2) 二酸化炭素還元ガス |
| 2. 熱分解ガス |
| (2) 非生物起源/無機起源ガス |
| 1. 無機反応生成ガス |
| 2. 地球深層天然ガス |

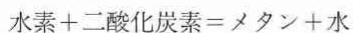
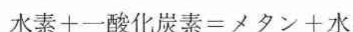
天然ガスの同位体組成

石油が埋没に伴う温度とさまざまな地質的要因により重質油から軽質油へと変化するこ

とを石油の進化と呼んでいる。これは石油を構成する炭化水素が温度と時間因子によってクラッキングを起こし、より小さい分子の炭化水素を形成していく現象である。堆積盆地の下部の高温部にみられる天然ガスはその例で、熱分解ガスと呼ばれている。熱分解ガスは稼行されている天然ガスの内、量的に約80%を占めるであろうと推定されている重要なものである。これの炭素・水素同位体組成を示したのが図2である。興味深いことに、熱分解が進むと天然ガスの同位体比はこれぞマントル起源と言われている東太平洋海膨の熱水の値に近づいて行く。

表1中の(2)の無機起源天然ガスのうちで、1.の無機反応生成ガスは以下のフィッシャー・トロプシュ反応などの無機反応により生成したガスのことである。グリーンタフガスが海底火山活動という特殊な場所で、このメカニズムにより生成したという考え方が東大

の脇田教授より提出されている。



常識的には反応の平衡定数が分かればメタンと二酸化炭素の比が計算できることになる。しかし、メタンと二酸化炭素との平衡は400℃以下では達成されないことが知られている。

表1中の(2)の2.の地球深層ガスは、地球創生期に大量に存在したに違いない炭素が地球内部には残存しており、適当な深部亀裂があればメタンとして脱ガスしてくるはずというものである。ご存じのように現在の地球の大気は固体地球の内部から脱ガスしてきたものがベースになっていると考えられているが、その地球内部からの脱ガスの名残がまだ続いているのかどうか議論の分かれ目である。ゴールド博士は地球深層天然ガス説のなかでこの脱ガスが今も活発に続いていると主張

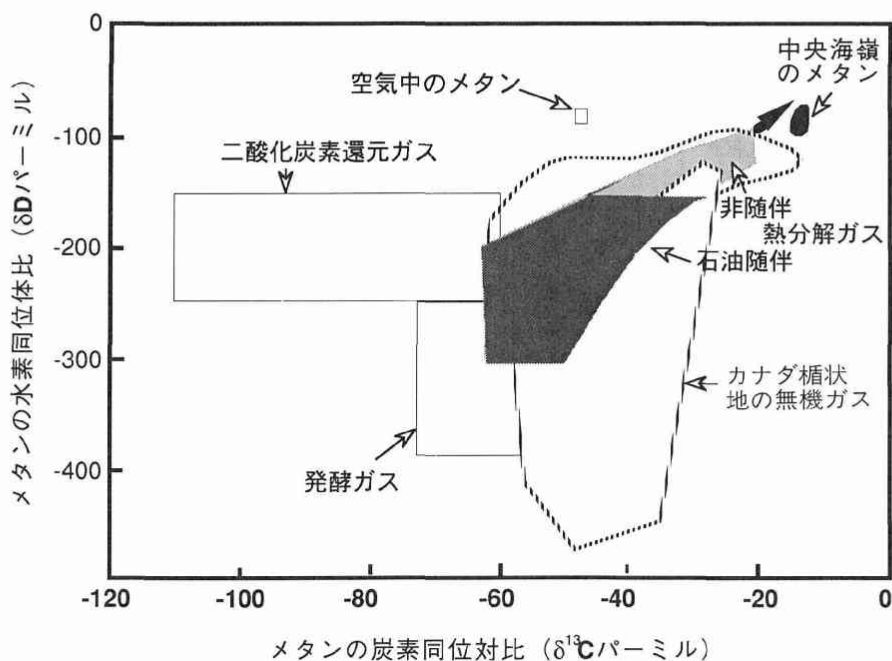


図2 メタンの水素・炭素同位対比。ショール(1988)を簡略化

し、他の人はあっても極く微量であると考えている。

処女炭素と循環炭素

ところで、天然ガスの重要な構成元素である炭素の量から言うと、生物、大気および海洋中に含まれている炭素の総量は微々たるもので、固体地球中にはそれらの総和の10万倍以上の炭素が固定されている。さらに重要な点はこれらの炭素はずっと固体地球の中に留まっているのではなく、地球システムの中で絶えず循環しているということである（図1）。

炭素は地球を巡っている。そのため炭素の究極の起源が生物か非生物かを論ずることはあまり意味が無い。現在我々の体に留まっている炭素も、もともとは星雲ガスだったものが原始太陽系に捉えられ、一旦地球の内部にカルビンや炭酸塩の形で取り込まれ、それが脱ガスして地表に出て二酸化炭素となり、光合成作用で植物の体の一部になり、再び地中に燃料資源として閉じ込められたりしたものである。一方ゴールド博士のいう地球深層天然ガスは地球内部から初めて脱ガスしてきた、つまり今まで一度も大気・海洋中に出たことの無い炭素のことで、そのような炭素を処女炭素（juvenile carbon）と言う。ゴールド博士の説はこの循環する炭素の海の中に処女炭素を見いだそうとする努力に似ているのである。

地球深層ガスを別の側面から述べると、太陽エネルギーによらない、地球の内因エネルギーにより生成した天然ガスということになる。地球深層ガスを生成する無機反応、地球

からの脱ガスをもたらすマントル対流などの機械的エネルギーもまた地球内部の放射性核種の核分裂エネルギーの産物で、地球深層ガスは地球内因エネルギーのかんづめといえるのである。一方生物起源の天然ガスは生物が光合成により作った有機物からできるもので、いわば太陽という巨大な核融合エネルギーのかんづめとみなすことができる。つまり、哲学的に言うと、天然ガスについて、太陽と地球はそれぞれどれほどの寄与をしているのかを明らかにすることが我々の関心事なのである。

海嶺における熱水活動

1979年、深海潜水艇によってメキシコ沖の大洋中央海嶺である東太平洋海膨（EPR 21°N）を調査していた米、仏の研究者たちは、海底の煙突のような物の先から熱水が勢い良く噴出している現象を発見して驚嘆した。これが高温海底熱水活動の最初の発見となった。中央海嶺の海底下約2キロメートル下にはマグマ溜りがあるので、割れ目を通じてしみこんだ海水がその熱で暖められ熱水となって噴出しているのである。しかもその熱水は銅、亜鉛、金、銀といった金属成分を沢山含んでおり、金属硫化物として沈殿している。

この熱水噴出はこの10数年のあいだに地球上でなされた最大の発見という評価がなされている。というのも海底熱水は地球内部からの物質の流れ、つまりフラックスの相当部分を担っており、熱水からもたらされる成分により海水の化学成分の多くが決定されていることも分かりつつある。二酸化炭素、硫化水素、メタン、ヘリウム3などのガス成分につ

いてはさらに確実に、その相当部分が海底熱水活動によりマントルからもたらされていることが明らかになってきた。

海嶺におけるメタン

現在、明らかにマントル起源と断言できるメタンガスは、EPR 21°Nなどの堆積物が全く見られない海底熱水系にのみ知られている。このような熱水活動地帯では生物起源のメタンが混入する可能性は無く、ガス成分は熱水に溶解してマグマ溜りより高速で上昇して来ると考えられることから、少なくとも上部マントル起源であると解釈される。しかもそこで見られるメタンの炭素は処女炭素である可能性が高いものである。中央海嶺の高温海底熱水中のメタン量は世界中でほぼ同様の濃度を示し0.7-2.1ppmの範囲に入る(表2)。

表2 高温海底熱水中に溶存するガス成分の化学組成 (mM=mmol/kg)

場 所	CO ₂ (mM)	CH ₄ (mM)
沖縄トラフ伊是名海穴	209	7.6
東太平洋海嶺		
21N	5.7	0.06
13N	13.8	0.05
ホワンデフカ海嶺	4.2	0.10
グアイマス海盆*	20	4.4
大西洋中央海嶺23N	—	0.06

*ここは東太平洋海嶺が厚さ500mの堆積物に覆われており、堆積物からの寄与があることが分かっている。

これに世界中の海底熱水活動の数と平均熱水噴出量とを推定して掛け算をしてやると世界中の海底熱水活動により地球表面にもたらされるメタンの総量が推定できる。ただ世界中の海底熱水鉱床の総数が分かっているわけではないので、後に述べるヘリウム3の助け

を借りて熱水の総量を求め、それに基づいて計算すると次のようになる。

熱水で運ばれる無機起源メタンの総量は炭素量に換算して年間約6.6万トンと計算される。なお、熱水中に二酸化炭素の形で溶存している炭素はメタンの約100倍程度あるので、これも含めると年間約700万トンの炭素(二酸化炭素にして2600万トン)が海底熱水系によりもたらされていることになる。これは最も控えめな推定で、ちなみに別の推定では二酸化炭素にして年間3,000万~1億1,000万トンとされている。

マントルからのメタンのフラックス

それではこの高温熱水中のメタンの量は地球全体としてのフラックスのどれぐらいを占めているのだろうか?この推定はなかなか難しい。というのもメタンは生物活動によって容易に作られてしまうし、浸みでてきたメタンはすぐに拡散し酸化されてしまうので、測定が困難だからである。そこで地表では決して作られたり消費されたりすることのないヘリウム3を使ってみることにする。ヘリウム3は宇宙創製期に作られて地球の内部に取り込まれた同位体で、地球内部で放射性元素の壊変により作られるヘリウム4と異なり、新しく生成することがない。そこでヘリウム3のフラックスを測定してやり、熱水中のそれとメタンの比を分析することにより、メタンのフラックスを推定するというゲーラックらの方法である。

これまでの推定によると、海底面全体から浸出していると考えられるヘリウム3の量は、高温熱水によりもたらされるヘリウム

3の量の5%程度と考えられている。つまり高温熱水というのは地球内部の物質を地表環境にもたらず上で、非常に重要なものと言うことができるのである。メタンもヘリウムと同様の振る舞いをしてしていると仮定すれば、海洋全域から脱ガスしているメタンのフラックスは高温熱水中のそれにより代表され、年間6万トン程度となる。海洋は全地球表面積の70%以上を占め、海嶺で起こっている火山活動の量をマグマの噴出量と比較すると全地球の80%を占めるので、単純に考えれば、地球全体から脱ガスしているメタンは精々10万トン程度と推定されるのである。

陸上のメタンフラックス

次に陸上からのメタンのフラックスについて考えてみよう。陸上での深層メタンのフラックスは全く分かっていないが、その大部分は火山ガスとして放出されているであろうと推定される。ところで最近火山ガス中の二酸化炭素に関してはデータが少しずつでてきた。陸上火山は地球全体のマグマ噴出量からするとマイナーで、全部合わせても地球全体の1~2割以内と推定されている。しかし陸上火山からは海底火山以上に大きな二酸化炭素の放出が推定されており、全地球の陸上火山を合わせた総排出量は年間8,500万トン~1億4,500万トンと計算される。上にも述べたように海底熱水系からは2,200~6,600万トンの二酸化炭素の放出があるので、地球全体でならずと年間1億3,200~1億7,600万トンという量が推定されている。

メタンは火山ガス中に含まれているものの、その含有量が高い火山は総て厚い堆積物

を貫いている火山で、どれだけがマンテルから来たものかデータが無い。しかし二酸化炭素の放出量から考えて、高いメタン含有量は堆積物中の熱分解ガスによるものと考えられる。いずれにせよ、前節の推定は誤りで、海より陸の方がトータルとしてメタンのフラックスが高いことは間違いなさそうである。その理由は何であろうか。

マグマとして戻ってくる堆積物

陸上の火山のほとんどはプレートの沈み込み帯の上に発達している。沈み込み帯の上にある日本はそのために火山が多いわけだが、日本の地下には太平洋の海底が年間数cmの速度で潜り込んでいる。この沈み込み帯はまた関東大震災のような巨大地震の起こる活断層であり、更に深くなると火山のマグマが発生する溶融帯であり、下部マンテルに向かって開いた巨大割れ目でもある(図1)。

沈み込み帯において沈み込んだ海洋プレートおよびそれに乗っかっている堆積物が、島弧火山マグマないし火山ガスとして地表に再循環してくるかどうかは長い間論争の種であった。もちろんこれは島弧により異なるものであるが、堆積物の寄与とマンテルの不均質性とを有効に区別する手段がなかったため、これまで決定的な証拠は得られていなかった。最近モリスらは宇宙線により酸素と窒素から作られる同位体であるベリリウム10を用いてその寄与の見積を行なった。ベリリウム10は海水中に溶け込むと、堆積物に吸着され易いため、堆積物中の含有量が火山岩中のその10,000倍以上になるという性質を持っている。よって島弧火山岩中のベリリウム10量

は堆積物の寄与に対してはきわめて敏感であるのに対し、マントル源物質の種類には影響を受けないという特徴がある。彼らの結果によると島弧の火山岩は予想以上に高い値を持ち、堆積物がマグマの生成に大きく寄与したことがうかがえる。

現在地球上には37,000kmの沈み込み帯があり、沈み込みの平均速度は年間8cmとされている。そこでプレート上を幅1km、厚さ0.3kmの堆積物が20%の割合で覆っていたとすると、年当たりの沈み込み済みの堆積物量は0.2km³となり、始生代以来総計すると大陸地殻の約7%がこのようにして生成したと計算できる。

秋田大学の北らは、火山ガス中の窒素とアルゴンを測定し、それらがプレートに乗って沈み込んだ堆積物に由来するという非常に興味深い事実を発見した。彼らは東北日本の火山ガスと九州の火山ガスの窒素とアルゴンの比を測定して、空気中のそれと比較してみた。九州の火山ガス中の比はマントルの比に近いのに対し、東北のガスは圧倒的に窒素に富んでいる。これは堆積物中の有機物の窒素が出てきたためと考えられ、火山ガス中の窒素の相当部分が循環窒素であることが考えられる。

循環炭素

炭素も地球システムの中で絶えず循環しており、特に地球上最大の超深部循環が起こっている沈み込み帯において、窒素同様大きな循環をしていると考えてよいだろう。つまり、地球深層ガスの起源として処女炭素のみを考えるのは片手落ちということになる。特に日本のような沈み込み帯においては海底堆積物

中に含まれていた相当量の超深部循環炭素の地表への還流があるはずである。先の推定が妥当とすると、沈み込む堆積物の量は約10億トン/年となり、その中の有機炭素濃度を平均0.5%と仮定すると、沈み込む有機炭素量は全地球で年平均500万トンに達する。これはメタンとして海底熱水活動で放出される有機炭素の75倍（2桁多い量）に相当する。

ではこの循環する有機炭素の行末はどのようなのであろうか？堆積物の一部は海溝付近において付加体となって陸側に付け加わり、マントルへは沈み込まないであろう。しかしその堆積物の一部は確実に100km以深のマントルまで引きずり込まれ、火山マグマとなってもう一度地表に循環してくる。そのまま沈み込んだ炭素の一部は高压条件下でダイヤモンドとなるであろう。実際南アフリカのダイヤモンドには海底堆積物起源であるものが見つかっている。日本列島の地下を舞台に起こっているこの壮大な元素循環のなかで、地球深層ガスの問題も捉え直す必要があるのではないだろうか。このドラマに少しでも近づくために地球システムの理解をさらに進める必要があることを強調したい。

地球を越えてしまった人類の活動

地球全体から年間1億3,200-1億7,600万トンの二酸化炭素の放出量が推定されているのは説明した通りである。話しは少しそれるが、これはどれ位の量なのか考えてみたい？ちなみにこれを人類の活動により放出される二酸化炭素の量と比べてみると、地球自身からの二酸化炭素の放出量は後者の150分の1に過ぎないことが分かる。今後海底熱水活

動からのフラックスの推定が確かになって数字が大きく書き換えられる可能性もないでは無いが、炭素の排出量というスケールでみると、現在の人間の活動が自然の営力の150倍となっているという事実に変更して愕然とさせら

れる。さらにその排出のほとんどが化石燃料の大量の消費によっていることから、今後は地球全体の将来を考えるうえで環境だけでなく資源の立場からも地球自身の許容量を知る努力が必要となってくるであろう。

メタンハイドレートの探査

青 木 豊*



メタンハイドレートとは

メタンハイドレート (Methane Hydrate) とはメタンガス分子と水分子からなる氷もしくは雪状の固体物質で、一般にガスハイドレート (Gas Hydrate) と呼ばれるクラスレート (Clathrates = 包接化合物) の一種である。水分子は大きな内部空隙を持った籠状の格子を作って配列し、この空隙中に気体分子を取り込むことができる。この分子がメタンであるものをメタンハイドレートという。

ガスハイドレートの歴史は約 180 年前までさかのぼる。初期においては、1810 年の Humphry Davy 及び 1823 年の Faraday の塩素ハイドレートの研究に引き続き、Roozeboom, Tamman による研究が行われた。その後も 1888 年の Villard のメタンやエチレンのハイドレート生成の条件の研究等があったが、X 線回折によるハイドレートの分子構造モデルや詳しい温度圧力条件が調べられるようになったのは戦後の事である。

ガスハイドレートは水分子の配列状態と籠の大きさにより、基本的に二つの構造に分けられる。タイプ I の構造の包接格子は 12 \AA の大きさを持ち、46 個の水分子によって構成さ

れる。このタイプ I の水分子の配列の中に取り込まれる分子サイズは、空隙の大きさから 5.1 \AA もしくは 5.8 \AA 以下でなくてはならない。一方、タイプ II の構造の包接格子の大きさは 17 \AA で 136 個の水分子によって構成されており、 6.7 \AA 以下の大きさの分子が空隙中に取り込まれる。 6.7 \AA よりも大きなサイズの分子はもはやガスハイドレートを作ることはできず、また、小さすぎる分子もハイドレートを安定化させることはできない。メタンガスや炭酸ガス分子の大きさは 5.1 \AA よりも小さく、タイプ I のハイドレートの全ての空隙を安定的に充填できる (メタン分子の平均直径は 4.06 \AA)。タイプ I のハイドレート中には 8 個のメタン分子が取り込まれ得るので、空隙が全部充填された時の水分子とメタン分子の比は $46/8 (=5.75:1)$ となるが、これは水 1 リットルに対し、標準状態で約 217 リットルの割合のメタンが含まれることを意味する。理論上からは一部の空隙のみをメタン分子が埋めることも可能であるが、空隙が充填される実際の割合はほぼ 100% に近いといわれている。

メタンハイドレートの生成条件

メタンハイドレートが安定的に存在するた

* (株)地球科学総合研究所研究一部次長

めには水中に過剰なメタンが存在し、且つ一定の温度、圧力条件が満たされなければならない。これは他のガスハイドレートの場合と同じであり、一般に低温ほど、また高压であるほどガスハイドレートが生成し易い。図1はメタン、エタン、プロパン及びイソブタンについてのハイドレート生成のための温度、圧力条件を示したものである。印影を付けた線のそれぞれ左上がハイドレートの安定領域であり、右下側は水及び遊離した気体の共存する領域である。縦線部の右側は液化したガスと水が共存する部分であり、線が分岐している点は、ガス、水、液化ガス、ハイドレートが共存する四重点である。この四重点はメタンについては存在しない。凍土地帯や深海底下ではメタンハイドレートが安定して存在することが図1より分かる。

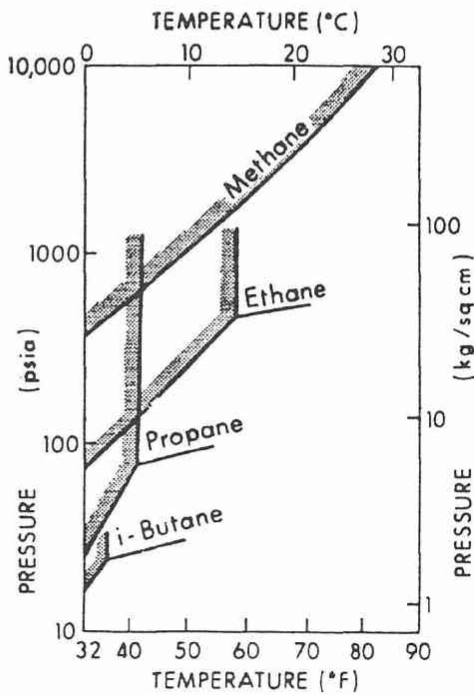


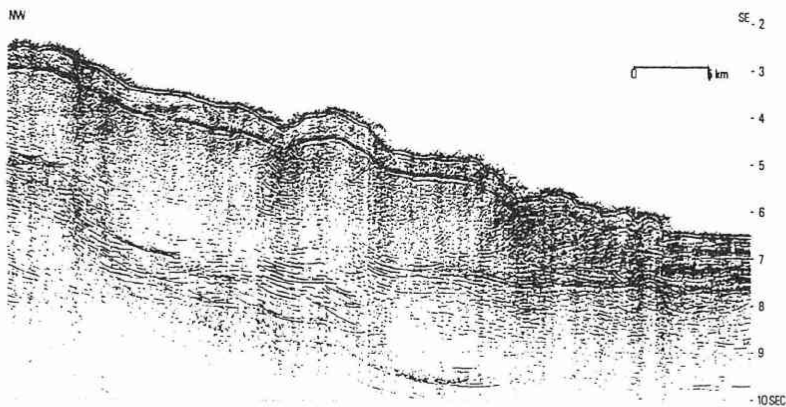
図1 炭化水素ガスハイドレートの安定性 (Hitchon, 1984)

自然界のメタンハイドレートの確認

実験室外においてメタンハイドレートの存在が最初に認められたのは、1930年代天然ガスの輸送パイプライン中であつた。天然ガスはメタンを主成分としているが、その中には一般に水蒸気も含まれている。天然ガスの生産に伴って起こる断熱膨張等による温度降下のためにメタンハイドレートが凝縮し、パイプラインの閉塞障害が引き起こされる。このトラブル自体は脱水、加熱あるいはメタノールの注入等によって対処されたが、これをきっかけとしてメタンハイドレートに関する研究が進んだことも事実である。

陸域における最初のガスハイドレートの存在の発見は、シベリアの凍土の下であつた。実際にガスハイドレートが天然ガス鉱床を形成しているのが見つかったのが1960年代中頃である。引き続き世界の各地においてガスハイドレートの存在が確認されたが、それらの場所は基本的には凍土地帯であつた。代表的なものは、アラスカのノーススロープ、カナダのマッケンジーデルタ、西シベリアのメソヤハ等である。

海域におけるガスハイドレートは地震波速度の異常により発見された。Stoll等ラモントのグループはDSDPの掘削時に回収されるコアが時々非常にガス分に富んでいることと、そのゾーンの地震波速度がガス分を含んでいないコアに比較して異常に高いことから、実験によりガスハイドレートの生成に伴う地震波速度の変化を求め、1971年に海底下におけるガスハイドレートの存在を結論づけた。これらのガスハイドレートの物理的性質及び化学的組成は引き続きDSDP, IPOD,

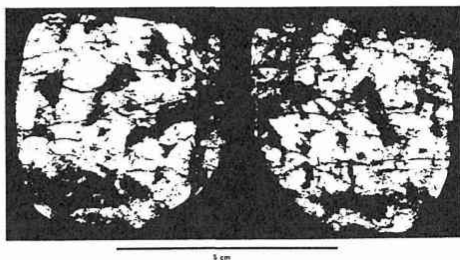
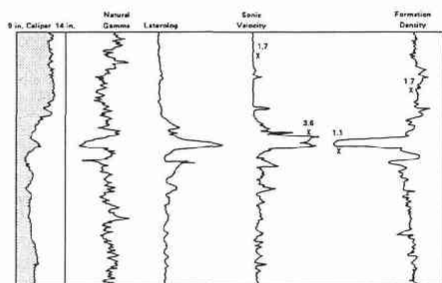


Widespread occurrence of the bottom simulating reflector (BSR), or gas hydrate-free gas boundary, in a subduction complex.

図2 反射地震記録断面とBSR (四国沖) (Tamano et al., 1983)

ODPの掘削を通して詳しく調べられ、海域においては地震探査記録上で非常に特徴ある反射波を伴うこと(図2)、また回収されたガスハイドレート中のガスの主成分は、ほとんどの場合生物起源のメタンであること等

が判明した。このことから以下では全てについてメタンハイドレートの呼称を用いることとする。



Physical properties of gas hydrate obtained during logging at Site 570. Photograph shows a split sample of the massive hydrate at Site 570.

図3 ガスハイドレートと検層記録 (グアテマラ沖) (Leg 84, Scientific Party, 1982)

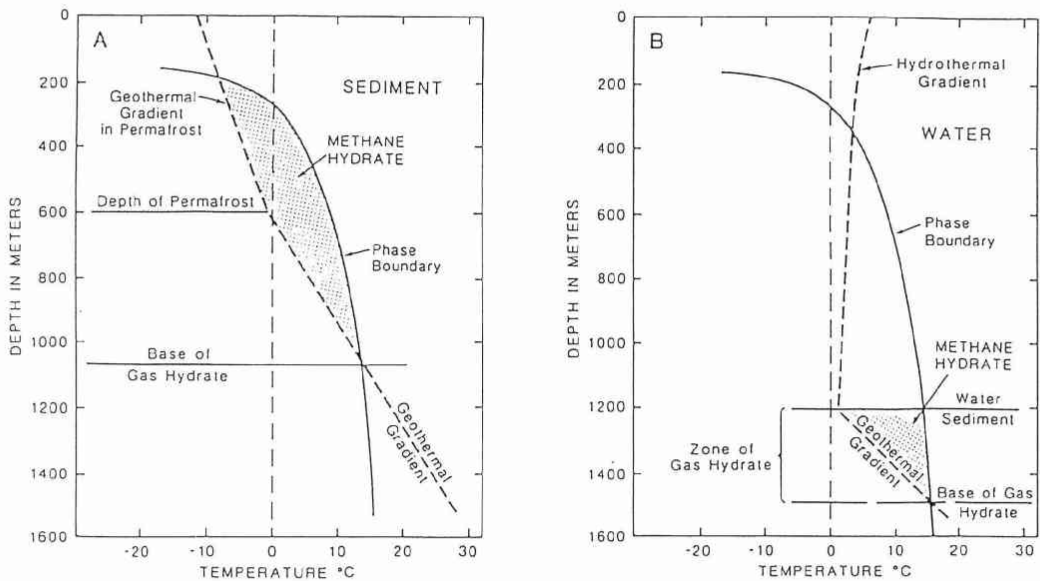
図3はグアテマラ沖の中央アメリカ海溝の水深1,716mのsite 570(Leg 84)で、コア圧力容器により実際にメタンハイドレートが回収された地点での検層記録である。1982年に実施されたこの掘削に際しては、海底下249mの深度において厚さ3~5mのマッシブなメタンハイドレート層が確認された。この部分の密度及び速度検層記録には、メタンハイドレート層が周囲の地層に比較して非常に小さな密度(1.0~1.1g/cm³)を持つことと、比較的早い地震波速度(~3.6km/sec)を持つことが示されている。音響インピーダンスからするとメタンハイドレートは周囲より高い値を持ち、反射記録断面上ではメタンハイドレート層底部から相対振幅の強い反射が起こることが期待される。これはいわゆるブライトスポットと全く同じ現象が起こることを示している。実際に反射地震記録断面上には、ほぼ海底面に平行な強振幅の反射イベントが認め

られることがあり、これがメタンハイドレート層の存在を間接的に示すものとする考え方が1970年代後半に提出されていた。Site 570でのIn situでの計測は、この考え方が正しいことを証明したことになる。この特徴ある反射は、その形状からBSR(Bottom Simulating Reflector)と呼ばれる(図2)。

メタンハイドレートの分布

メタンハイドレートの生成条件と地下の温度及び圧力条件から、自然界のメタンハイドレートの垂直分布は次のようになっていると考えられる。図4は温度、圧力条件を温度及び深度に置き換え、メタンハイドレートの生成曲線及び地温勾配を模式的に示したもので、Aが陸域の凍土地帯に、またBが大陸斜面に対応する。極地方では凍土の下が、また大陸斜面においてほぼ海底直下からメタンハイドレ

ートの安定領域となるが、地温の上昇と共に深部では水及び遊離メタンガスが安定となる。すなわち、凍土地帯においては大略600m以深より1,100m程度までの間がメタンハイドレートの安定領域となり、深海底では海底より水深によって100mないし1,100mまでの間がメタンハイドレートが安定的に存在する領域となる。BSRの現れる海底からの深度を詳しく検討すると、水深が深くなるに従ってBSRの出現深度は増加するが、平均的なメタンハイドレート安定領域の厚さは約500mである。メタンハイドレートの世界的な分布を見ると、永久凍土地域と大陸縁辺の海底下に限られている(図5)。これらは反射地震記録に現れたBSRまたは掘削によりその存在が確認または推定されたところである。図5に示された永久凍土地域のメタンハイドレート分布地は旧ソ連邦内に5ヶ所、アラスカ及び



Arbitrary examples of different depth-temperature zones in which gas hydrates are stable in: (A) a permafrost region; and (B) an outer continental margin setting. The phase boundary is for a methane hydrate in pure water and is developed from Katz et al. (1959) and adapted from Kvenvolden and McMenamin (1980).

図4 陸域及び海域におけるメタンハイドレートの垂直分布模式図 (Kvenvolden, 1988)

カナダの北極海沿岸地方に3ヶ所であるが、永久凍土は全陸域の約23%である3,450万km²を覆っており、温度及び圧力条件からは図5に印された地域の他にも存在している可能性が非常に高い。なお旧ソ連邦内のメソヤハガス田及びピリュイガス田では実際にハイドレート層からのメタンガスの生産が行われた。

海域においてメタンハイドレートの存在が確認もしくは推定されている地域は、図5に示すように30ヶ所にのぼる。大半はBSRによってその存在が推定されているところであるが、グアテマラ沖やコスタリカ沖の中央アメリカ海溝、ペルー沖のペルー・チリ海溝、

フロリダ東方沖のブレイクアウターリッジでは深海掘削により実際にサンプルが採取されている。またコアリングやドレッジによって、メキシコ湾では最も浅い場合海底下1.2mから、黒海では6.5mの所からメタンハイドレートが回収されており、実際に海底直下からメタンハイドレートが分布していることが分かる。

ところでメタンハイドレートの安定領域内にどのような形でハイドレートが存在するのか、必ずしも詳しく分かっているわけではない。海底下の温度圧力条件と、BSRが広範囲に存在することから、BSRの出現深度で浅

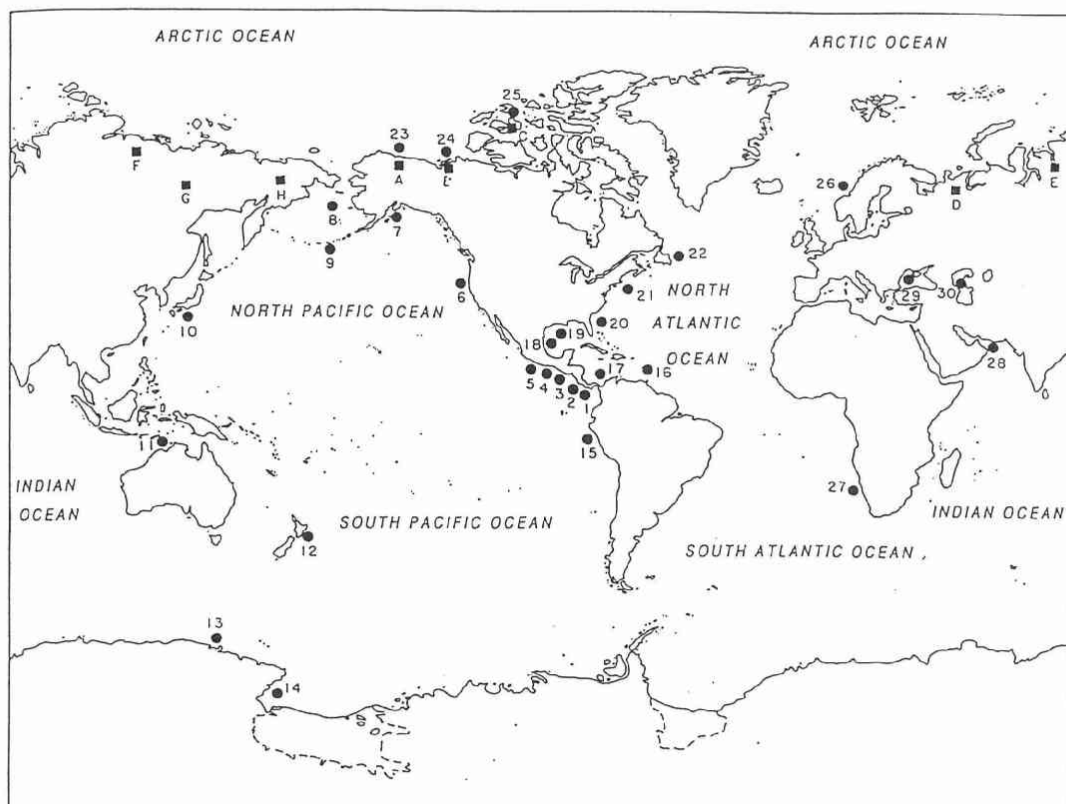


Fig. 2. The Earth showing locations of known and inferred gas hydrates in oceanic sediment of outer continental margins (●), and in permafrost (continental) regions (■). Identification of locations is given in Table II.

図5 メタンハイドレートの世界的な分布 (Kvenvolden, 1988)

においてはメタンハイドレートが、また以深においてはメタンガスと水が孔隙を充填し、しかもBSRの分布に匹敵する相当な範囲においてほぼ一様にこの状態が成り立っているというのが最初のモデルであったが、データが集積すればするほど実体ははるかに複雑であるということが分かってきた。前述したようにグアテマラ沖の中央アメリカ海溝では、海底下249mの深度において3mを越す厚さのほぼ純粋なメタンハイドレート層が存在したが、これはBSRよりもはるかに浅い深度であった。またアラスカのブルドーベイ・クバルックリバー油田では、メタンハイドレート

の安定領域内に3mから31mの厚さのハイドレートを胚胎した複数の砂岩及び礫岩層が存在することが検層記録の詳しい分析から判明しているし(図6)、実際に図中の坑井“2 Northwest Eileen State”からはサンプルも回収されている。さらにODPなどの深海掘削の結果ではメタンハイドレートは岩石中の孔隙を埋めている他、さまざまな割れ目を充填しているケースが観測されている。いずれにせよ実際の坑井データによればメタンハイドレートは、既に存在する地層の空隙を埋める形で存在していると思われるのである。またこのことは地層の状態を考えると非常に

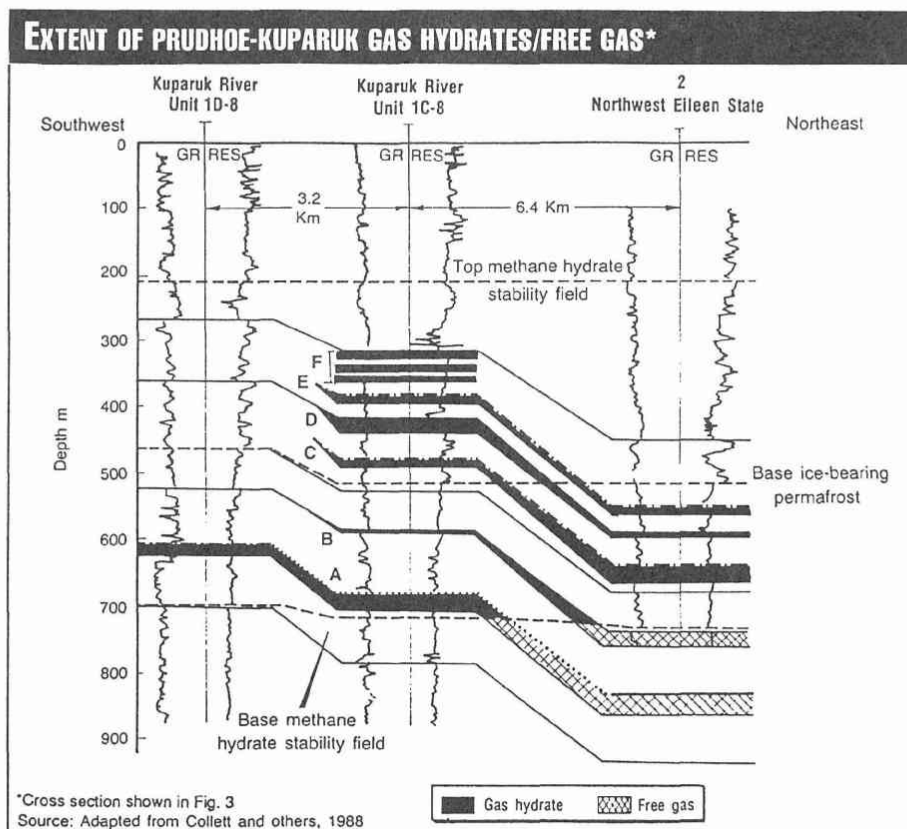


図6 アラスカブルドーベイ・クバルック油田におけるハイドレートの安定領域とメタンハイドレートの分布 (Collett, 1992)

自然な概念とも言える。

しかし一方で海域においてメタンハイドレート存在の指標とも考えられているBSRの現れ方は、形態的にも反射波の強度からもメタンハイドレートの分布がはるかに一様なものであることを示唆している。図7は米国大西洋岸のブレイクアウターリッジにおいて得られた有名な反射地震記録であるが、ここに現れているだけでもBSRの分布は20km以上にわたってほぼ一様であり、さまざまな地層とBSRが斜交していてもBSR自体の振幅・位相等に際立った変化はみられない。このことはBSRの上下の密度及び弾性波速度のコントラストが空間的にあまり変化しないことを示しており、BSRの出現が岩相あるいは孔隙率の変化にはほとんど依存しないことを意味している。明らかにプルドーベイ・クパルックリバー油田で確認されたような砂岩層あるいは礫岩層内に濃集したメタンハイドレートという概念のみではブレイクアウターリッジのBSRを説明することは困難である。

以上述べたとおり、メタンハイドレートについてはその分布の大半がBSRをガイドラインとして議論されながら、前提となるメタンハイドレートとBSRの関係、特にメタンハイドレートの垂直分布に関しては、前述の古典的モデル以上には詳しく分かっていないのが実状である。したがって次に述べるメタンハイドレートの資源量推定など定量的な議論をするためにはいくつかの仮定が必要となってくる。

メタンハイドレートの資源量

メタンハイドレートの資源量評価を精度良く行うための方法は、現段階では確立されていない。資源量を評価するためには、貯留層の容積、孔隙率、水飽和率等が基本的パラメータとなるが、メタンハイドレートは通常の石油・天然ガスの貯留層と異なり、鉱床そのものが地質構造とは直接因果関係を持たず、貯留層の容積1つを取ってみても不明確といわざるを得ない状況だからである。例えば、DSDPのLeg 84(グアテマラ沖)において

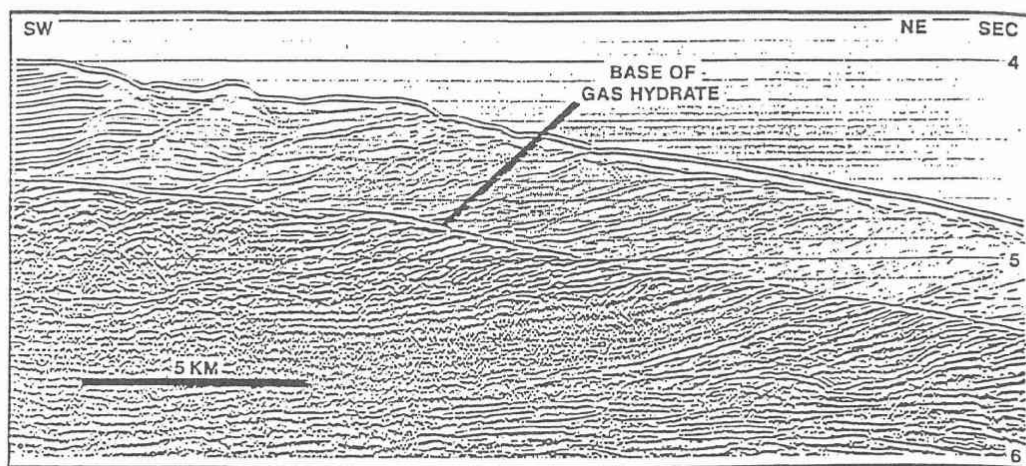


図7 ブレイクアウターリッジにおけるBSR (Shipley et al., 1979)

は、様々な形態のメタンハイドレートの存在が確認されたが、それらのごく細粒の堆積岩中の視認できない孔隙を埋めていたり、多孔質で粗粒な堆積岩中の孔隙中に存在していたり、凝灰岩質泥岩の中のフラクチャーを充填する形で存在していた。また最も大量に存在していた部分では前述のように厚さ3~5mのほとんど純粋なメタンハイドレート層として分布し、音波及び密度検層記録上においてもはっきり現れた。このようにほぼ同一地域内にあっても、メタンハイドレートの出現状況は著しく変化に富んでおり、資源量評価のための単位体積中の平均メタンハイドレート量を定義するには、観測データの蓄積が不十分である。

しかし、既に発見され生産されているシベリアのメソヤハ、ピリユイ両ガス田における生産データや、深海掘削によって得られたメタンハイドレートに関する情報、あるいは一定の有機炭素量を持つ堆積盆の容積等を基に資源量の概括的な試算が旧ソ連邦や米国で行われた例がある(表1)。これらはメタンハイ

ドレートの分布条件を規定するパラメータの相違、あるいは資源量推定の基礎となるデータの差から、陸域と海域に分けて試算されたものであり、得られた数字については前述のように精度の問題が残るが、オーダーとしては妥当なものであろう。

Trofimuk et al. は、海洋のメタンハイドレートの総量を $5 \sim 25 \times 10^{15} \text{ m}^3$ 、また陸域についての総量を $5.7 \times 10^{13} \text{ m}^3$ と推定し、Kvenvolden は地震記録に現れたアラスカでのBSRの分布状況を基礎に、全世界のメタンハイドレート資源量を $20.1 \times 10^{15} \text{ m}^3$ と推定した。Potential Gas Committee によってまとめられているように、更にいくつかの推定量があるが、Trofimuk et al. や Kvenvolden の値は、これまでに発表された中では最も平均的な数字と考えることができる。これらの数字は世界の在来型天然ガスの究極資源量の $2.98 \times 10^{14} \text{ m}^3$ (Masters, 1991) と比較してはるかに大きなものである。

個々の地域の資源量に関しては、平成4年に京都で開催された万国地質学会において、

表1 メタンハイドレートの資源量評価 (Kvenvolden, 1988)

Estimates of the amount of methane in gas hydrates of oceanic and continental margin settings (adapted from Potential Gas Committee, 1981)

(m^3)	(Tcf)* ¹	(Gt)* ²	Reference
<i>Oceanic:</i>			
$3.1 \cdot 10^{15}$	$1.1 \cdot 10^5$	$1.7 \cdot 10^3$	McIver (1981)
$(5-25) \cdot 10^{15}$	$(1.8-8.8) \cdot 10^5$	$(2.7-13.7) \cdot 10^3$	Trofimuk et al. (1977)
$7.6 \cdot 10^{16}$	$2.7 \cdot 10^8$	$4.1 \cdot 10^6$	Dobrynin et al. (1981)
<i>Continental:</i>			
$1.4 \cdot 10^{13}$	$5.0 \cdot 10^2$	$0.75 \cdot 10^1$	Meyer (1981)
$3.1 \cdot 10^{13}$	$1.1 \cdot 10^3$	$1.7 \cdot 10^1$	McIver (1981)
$5.7 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^3$	$3.1 \cdot 10^1$	Trofimuk et al. (1977)
$3.4 \cdot 10^{15}$	$1.2 \cdot 10^6$	$1.8 \cdot 10^4$	Dobrynin et al. (1981)

*¹1 Tcf=1 trillion cubic feet= 10^{12} ft.³= 28.3 km^3 .

*²1 Gt=1 gigaton (10^{15} g) of methane carbon.

堆積盆地の評価に基づくメタンハイドレート中のメタン資源量の推定値を論じた Krason の例がある。これは Geoexplorer International 社が実施した世界の21地域の大陸縁辺域に関するものの一部分で、そもそもは米国のエネルギー省（DOE）の委託によって進められた評価作業と思われる。試算に際しては、ハイドレート層の厚さについての不確定さがあるために、1 mと10mのハイドレート層がある二つのケースを仮定しているが、その評価の結果の一部は表2の通りで、資源量としては $2.1 \times 10^{13} \sim 1.5 \times 10^{14} \text{m}^3$ と膨大なものになっている。10mの場合が1mの場合に比較して10倍となっていないのは、ハイドレート層の厚さがBSRの出現と関連しているからである。日本周辺については、紀伊半島

から四国沖の南海トラフで $0.42 \sim 4.2 \times 10^{12} \text{m}^3$ のメタン資源量を見積もっている。いずれにせよこれらの値は Krason 自身が指摘しているようにかなり控えめにみたもので、実際アラスカの例で3~31mの厚さのハイドレート胚胎層が複数枚存在していることは前述した通りである。Krasonによれば Geoexplorer International 社が評価作業を行った地域は全大陸縁辺域のわずか10%にすぎず、残りの地域についてみれば $2 \times 10^{14} \sim 1.5 \times 10^{16} \text{m}^3$ のメタンハイドレートによるメタン資源量が見込まれると予想している。

資源量評価において、さらにはメタンガスの生産時における効率に大きく影響してくるものとして、メタンハイドレート安定領域下に想定される遊離ガスの問題がある。ブライ

表2 主な大陸縁辺域のメタンハイドレート資源量評価 (Krason, 1992)

ESTIMATED POTENTIAL GAS RESOURCES IN GAS HYDRATES

Study Region	1 m hydrate zone		10 m hydrate zone	
	tcf	m^3	tcf	m^3
Offshore Labrador	25	0.71×10^{12}	250	7.1×10^{12}
Baltimore Canyon	38	1.08×10^{12}	380	10.8×10^{12}
Blake Outer Ridge	66	1.88×10^{12}	660	18.8×10^{12}
Gulf of Mexico	90	2.57×10^{12}	900	25.7×10^{12}
Colombia Basin	120	3.42×10^{12}	1,200	34.2×10^{12}
Panama Basin	30	0.85×10^{12}	300	8.5×10^{12}
Middle America Trench	92	2.62×10^{12}	470	13.4×10^{12}
Northern California	5	0.14×10^{12}	50	1.4×10^{12}
Aleutian Trench	10	0.28×10^{12}	100	2.8×10^{12}
Beaufort Sea	240	6.85×10^{12}	725	20.7×10^{12}
Nankai Trough	15	0.42×10^{12}	150	4.2×10^{12}
Black Sea	3	0.08×10^{12}	30	0.8×10^{12}
TOTAL	730	21.0×10^{12}	5,200	149.0×10^{12}
		2.1×10^{13}		1.5×10^{14}

トスポット現象を最も良く説明する貯留層モデルは、ブライトスポット下にフリーガスがトラップされているもので、事実、一般の炭化水素鉱床ではこのモデルが当てはまる。

メタンハイドレートについては、メタンハイドレートが帽岩となりレザーバが構成されているという考え方と、メタンハイドレート下には高压のフリーガスは存在しないという二つの相反する考え方がある。実際メタンハイドレートの透水率は帽岩となり得るための最低の条件といわれる0.1ミリダシーとほぼ同じであり(図8)、非常に微妙なところである。仮にメタンハイドレート下にフリーガスがトラップされているとすれば、BSRの広がり想定されるレザーバ深度が深いことから、資源量としてはやはり 10^{15} m³オーダーの膨大なものとなる。実際の地層中にメタンハイドレートがどのような形態で存在しているか、あるいはメタンハイドレートが貯留層を

形成し得るかの問題等については、メタンハイドレートが存在する地域に掘削を行い解明するのが最も直接的である。BSRの存在するチリトリプルジャンクション(南米)において最近ODPによるBSRを貫通しての掘削が初めて行われ、また平成4年9月下旬から11月下旬にかけてやはりBSRが認められるカスカディアマージン(バンクーバー沖)における掘削が実施された。坑井掘削による擾乱のため、現在までのところ大量のメタンハイドレートを回収したとの報告はないが、非常にガスに富んだコアが回収され、また化学分析値にもメタンハイドレートの存在を示す証拠が現れている。各種データの解析はこれから行われることとなるが、これらを含む今後の研究を通じて、遠からずメタンハイドレートに関する様々の問題が明確になることが期待される場所である。

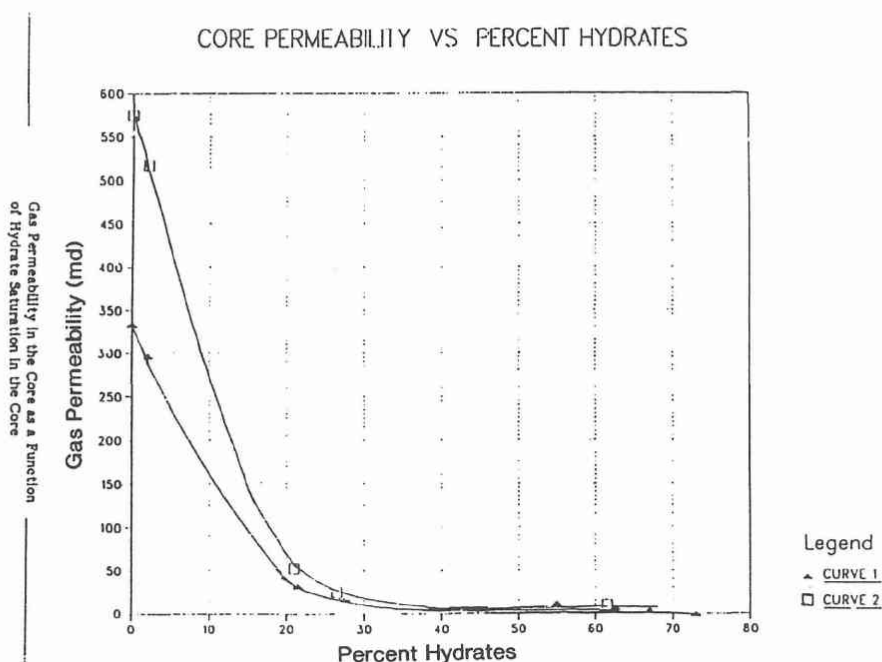


図8 メタンハイドレート飽和率と透水率の変化 (Kamath and Godbole, 1987)

コールベッドメタンの開発状況



大牟田 秀文*

1. コールベッドメタンとは？

コールベッドメタンは、非在来型天然ガスとして現在、商業生産が行われている唯一のものである。しかしその本格的開発は緒に付いたばかりであって、コールベッドメタンの定義についても厳密な狭義の見方と、広義の見方とがある。

狭義な見方によれば次のように定義される。

“石炭層中の石炭生成に伴って生成したメタンを主成分とするガスが、炭層中の石炭に吸着するか、あるいは、石炭中の微細な孔隙や割れ目などに含まれるかして存在するガス”

これに対し、広義な見方によれば次のように定義される。

“石炭層中に含まれているあるいは石炭層中に由来するメタンを主成分とするガス”

つまり、狭義な見方ではコールベッドメタンの成因及び存在場所を石炭層そのもの限定しているのに対し、広義な見方では、石炭層中にあるガスがどこから来たものでもよく、また、石炭層中で生成したガスが移動し、いわゆる貯留層にトラップしたガスも含まれる。

工学的見地からすれば、石炭層中以外の貯

留層にトラップしたガスは在来型の“構造性ガス”として考えるのが自然であり、更に、開発・生産方式に影響を及ぼす物理的特性(即ち、“石炭(層)はコールベッドメタンの根源岩でありかつ貯留岩である。”ということ)をも考慮すれば、狭義な見方がコールベッドメタンの定義として妥当であると考えられる。

コールベッドメタンの存在は古くから知られており、特に18世紀末に始まる産業革命による石炭の大規模採掘に伴って顕在化したガス爆発事故や、ガス突出事故は、その存在を再認識させるとともに、街灯やガス灯として利用もされるようになってきた。

その後、1930年代の石油の発見、利用により石炭の開発、利用は抑制され、それに伴いコールベッドメタンの利用もすっかり影をひそめたが、1973年、1979年のオイルショックに端を発する将来のエネルギー安定供給への不安及び近年の地球自然環境保護への認識等からここ10年来再び脚光を浴びるようになってきた。

コールベッドメタンは天然ガスの一つであり、従って天然ガスの諸特性を持ち合わせるが、在来型天然ガスに比してメタンの含有率が高く(概ね95%以上)、 C_3 以上の重い炭化

* 三菱ガス化学株式会社資源開発部主査

水素を一般に含まず、また硫化水素分を殆ど含まないので、よりクリーンである。発熱量は900~1000BTU/cf と在来型天然ガスより10%程度少ない。

なお、コールベットメタン (Coalbed Methane, Coal-Bed Methane) はコールシームガス (Coal Seam Gas), 石炭層ガス或いは石炭鉱山では炭田ガス、炭坑ガスとも呼ばれ簡単にはCBMと記載、呼称されることも多い。

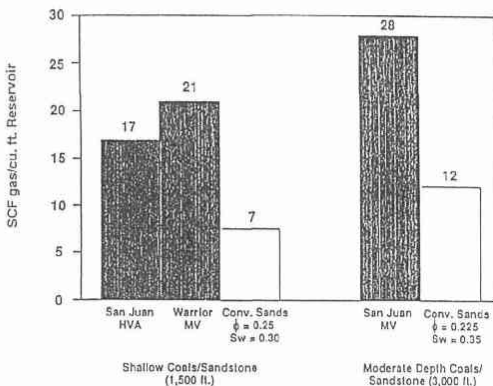
2. CBMの開発条件

天然資源を開発するには、その資源賦存状況を知るとともに、その物理的諸特性を知り、それらを生かした適切な方法を講じる必要がある。

CBMは、次の2つの形態で石炭層中に賦存している。

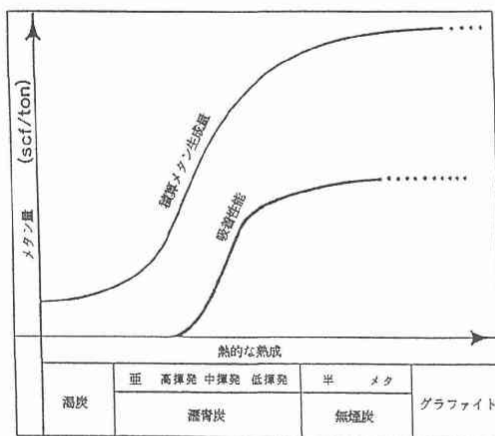
- (a) 在来型ガス貯留：石炭内に存在する微細孔隙あるいは割れ目に含まれる通常の貯留
- (b) 吸着型ガス貯留：石炭ケロゲンの分子構造内部及びその表面での吸着

CBMの生産対象となる石炭は品位の高い中~低揮発分瀝青炭~無煙炭であるが、これらの孔隙率は一般に砂岩より小さく5%以下

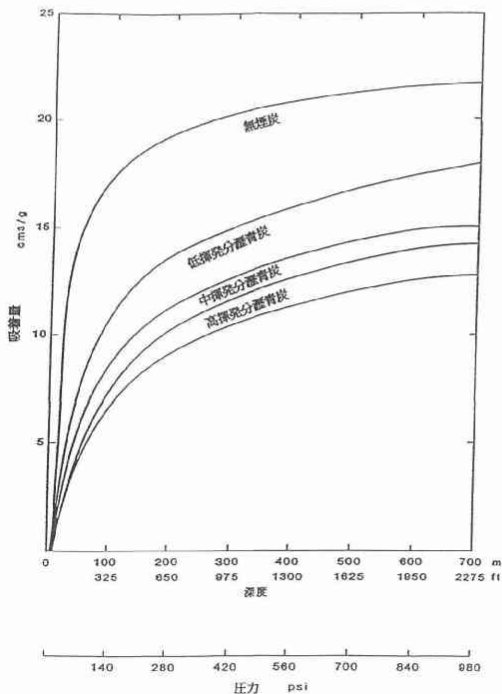


第1図 石炭と砂岩のガス包蔵量の比較例

の場合が多い。また吸着型によるガス貯留は、在来型ガス貯留よりもはるかに多い。第1図に単位体積当たりに含まれるガス量の砂岩と石炭の比較例を示す。石炭に含まれるガス量が砂岩のそれに比して数倍多いことが分かる。また第2図に示すように品位の高い石炭は低い石炭よりも大きなガス吸着能力を有し、



第2図 メタンの生成と吸着性能



第3図 石炭の吸着量の深度による変化

第3図に示すように同品位の石炭でも圧力が高い程、即ち深度が増す程吸着量は多い。しかし一般に1,000m以深では吸着量の増加割合は非常に小さい。また300m以浅では包蔵したガスが亀裂等を通して地表から逸散されている場合がしばしば認められている。したがって掘削費が深度の増加とともに大幅に上昇していくことも考慮すれば、開発対象深度は300~1,000mが適当であろう。

CBMは上述のような貯留形態をとるので、石炭層の大きさ即ちその広がり（炭丈と呼ぶ）も重要な要素となる。

一般に石炭層の包蔵メタン量は次式により算定される。

$$GIP = GC \times \rho \times h \times A$$

ここで

GIP：包蔵メタン量（m³）

GC：単位体積当たりの包蔵量（m³/t）

ρ ：石炭密度（t/m³）

h：石炭層の厚さ、炭丈（m）

A：炭層表面積（m²）

炭丈や互層の程度は生産坑井の仕上げ方法の決定に大きく影響する。

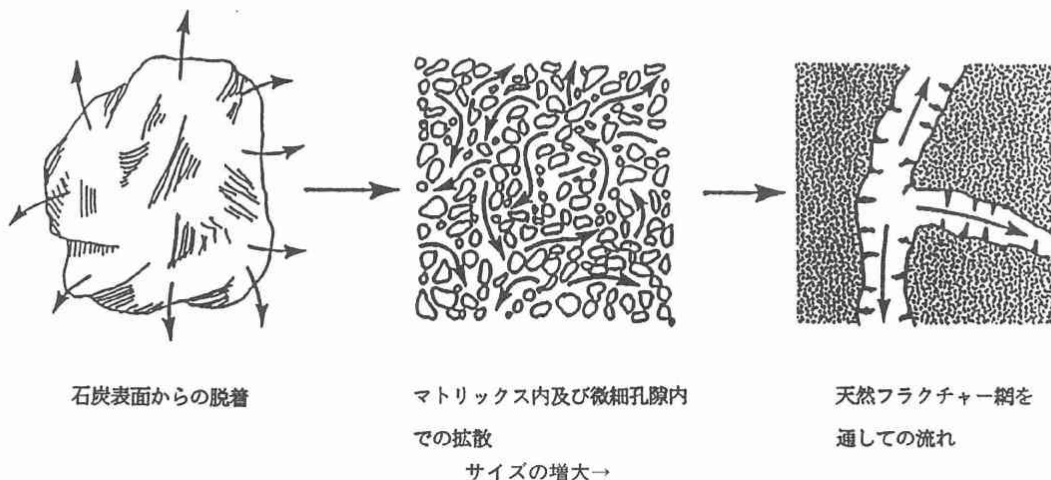
ガス包蔵量（吸着量）とともに、浸透率も開発、生産を左右する大きな要素である。一般に石炭の浸透率は数ミリダルシー以下と小さいので、天然のフラクチャー等の発達している領域を見出すことが大切である。一般にこのようなフラクチャーは背斜構造部あるいはスラスト上盤側に発達しているようである。

3. CBMの開発技術

CBMを開発する場合、さらに考慮することの一つとして、開発以前の石炭層の孔隙は通常水で満たされているということがあげられる。この水の圧力（水頭圧）にみあったCBMが第3図から読み取れる量で石炭に吸着、包蔵されているので、CBMを採取するには、坑井内から水を汲み上げ、生産対象石炭層の圧力を大気圧近くまで下げる必要がある。

CBMの炭層内の移動は以下の3つの段階をとると考えられている（第4図）。

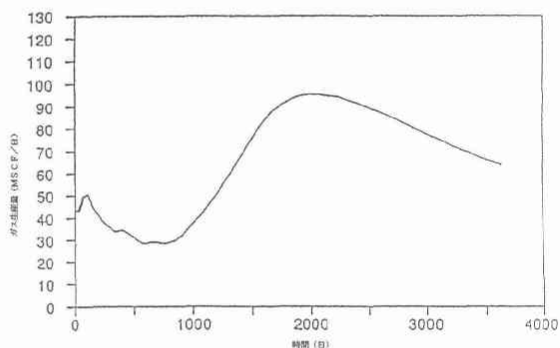
- イ. 石炭内部表面よりの脱着。
- ロ. 石炭の素地の表面及び微細孔隙を通じての拡散。
- ハ. 天然フラクチャー網を通しての流れ。



第4図 コールベッドメタンの移動過程

生産の開始（水の汲み上げ開始）により坑井のまわりの貯留層圧力が下がりフラクチャー内流体の流動がまず始まり、次いでフラクチャーへ通じる微細孔隙内のメタンがメタン濃度の薄くなったフラクチャーへ拡散を始める。これにより微細孔隙を構成する石炭内部表面付近のメタンの濃度平衡が崩れ内部表面よりメタンの脱着が誘起される。

CBMの生産はこのように水の生産と同時に
行われ、フラクチャー内の流体圧の減少は
生産井を中心として徐々に周囲へと広がって
いくが、この圧力の減少とメタンの脱着とは
お互いに影響しあい、またメタンと水とのフ
ラクチャー内の相対的流動も発生するので、
その生産挙動は複雑である（第5図）。



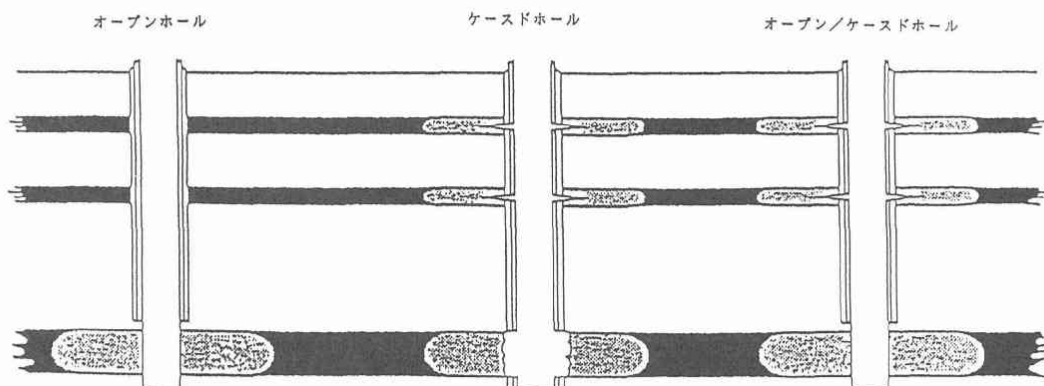
第5図 ガス生産量の推移

CBMの生産は通常地表から坑井を掘削することにより行われる。その仕上げ方法として現在次の3つが用いられている（第6図）。

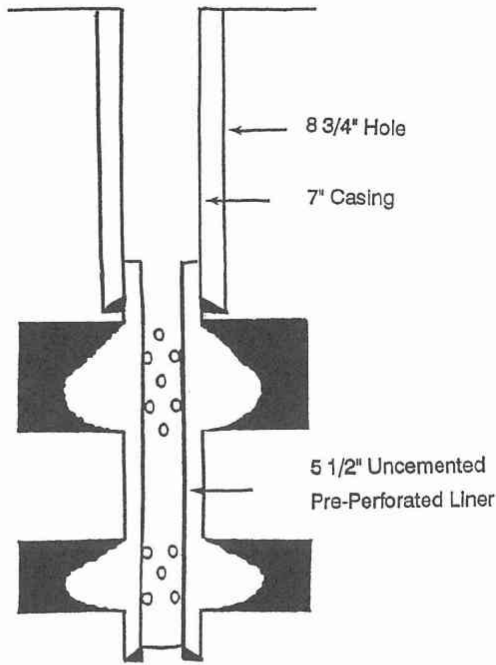
- イ、オープンホール仕上げ。
- ロ、ケースドホール仕上げ。
- ハ、オープン／ケースドホール仕上げ。

オープンホール仕上げは対象層を裸坑で仕上げるもので仕上げ技術上の問題から対象層は坑底部に限られる。ケースドホール仕上げはケーシングにパーフォレーションをすることにより対象層と坑井内の導通を図るものである。オープン／ケースドホール仕上げは両者を組み合わせたものである。これらの方法はそれぞれ地質及び貯留層の条件等により得失を持っているが、オープンホール仕上げは石炭層又は仕上げ対象層が通常1枚であると予測される場合に用いられる。ケースドホール仕上げは水圧破碎を個々に行われなければならない多数の石炭層がある場合に好まれている方法である。

石炭層の浸透率は前述のように小さいので、生産性を高めるために通常坑井刺激が行われる。坑井刺激としては水圧破碎が一般的であるが、オープンホール仕上げには、坑井



第6図 コールベッドメタンの坑井仕上げ方式



第7図 キャビティ応力除去法による仕上げ

周辺に大きな空洞をつくるキャビティ応力除去法（オープンホールキャビティ）もしくは採用される（第7図）。

4. CBMの賦存状況

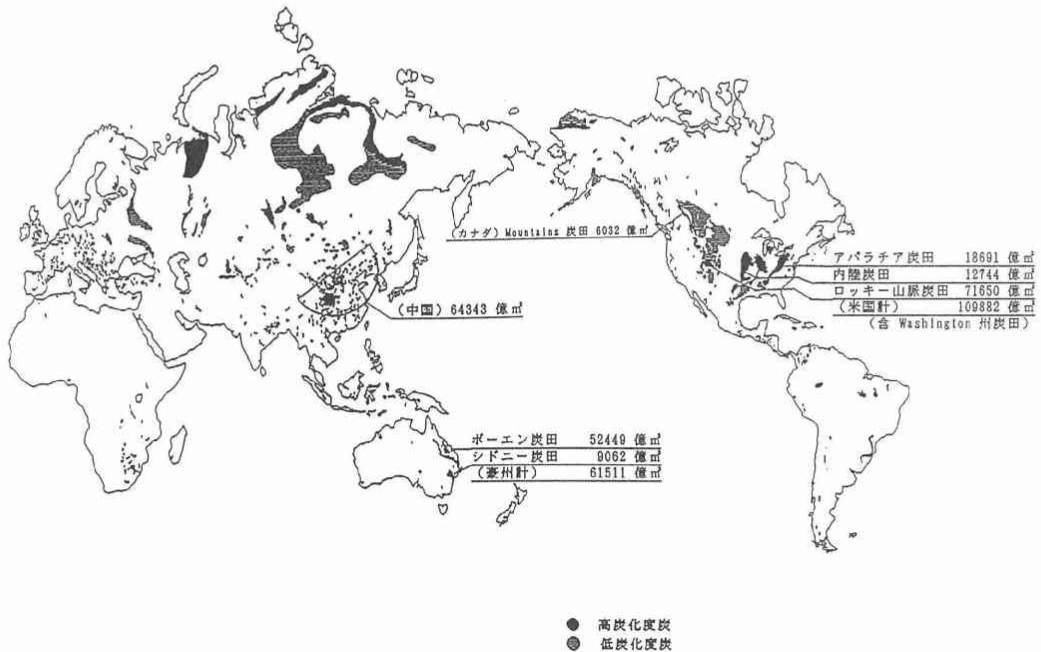
CBMは前述のように瀝青炭～無煙炭に多く包蔵されている。したがってこれらの石炭の分布域がCBMの開発域としてまず候補にあがる。

瀝青炭～無煙炭の全世界の確認可採埋蔵量は、1兆754億トンで、その10大保有国は、

中国、米国、旧ソ連、インド、南アフリカ、オーストラリア、ポーランド、ドイツ、コロンビア、カナダ

で、全世界の確認可採埋蔵量の実に98%を占める。

しかし、CBMの経済的生産を考えると、炭層深度、その広がり、石炭鉱山の影響や、



第8図 コールベッドメタンの資源量分布

地質構造がどのような発達をとげてきたかを考慮する必要がある。例えば南アフリカの石炭は石炭化度は十分に良くメタンの生成もかなりの量に達すると考えられるが、その炭層深度が概ね200mと浅く、ガスは地表から逸散している可能性が高くCBMとしてのポテンシャルは低いと考えられる。

著者らの検討によれば、大雑把にいったってCBMのポテンシャルの高い国は、米国、カナダ、中国、オーストラリアで、その地域は、第1表及び第8図に示す通りである。

第1表 主要4ヶ国のコールベッドメタン賦存ポテンシャル

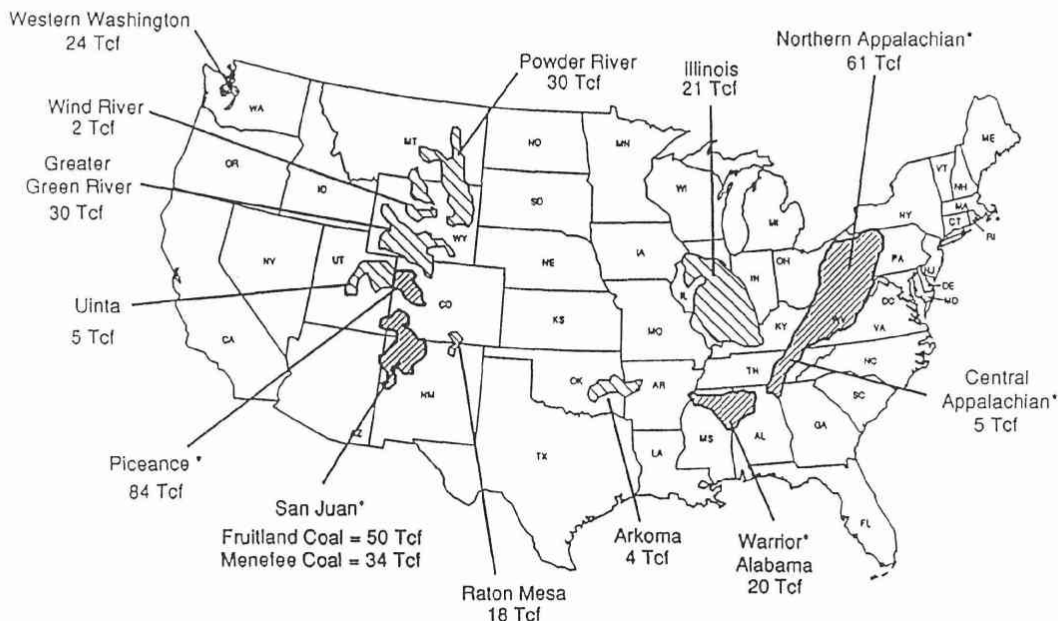
国名	地域	資源量
米国	アパラチア炭田、ロッキー山脈東域	10兆9,900億m ³
カナダ	マウンテンズ炭田（ロッキー炭田）	6,000億m ³
中国	華北の石炭紀～二畳紀の石炭	6兆4,300億m ³
オーストラリア	ボーエン炭田、シドニー炭田	6兆1,500億m ³
	計	24兆1,700億m ³

5. CBMの開発状況

CBMの探鉱開発は、中国、英国、ポーランド、フランス等でも行われているようであるが現在本格的に行われているのは米国およびオーストラリアである。

5-1. 米国（第9図）

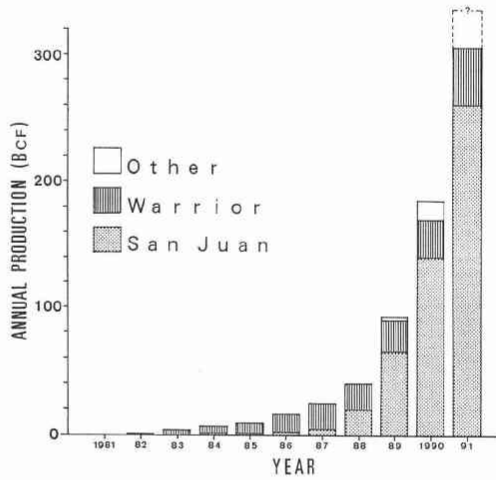
米国でCBMのために掘削された坑井の95%はWarrior堆積盆と、San Juan堆積盆に集中している。これらの地域は既に商業生産が開始されているが、他の地域は探鉱段階



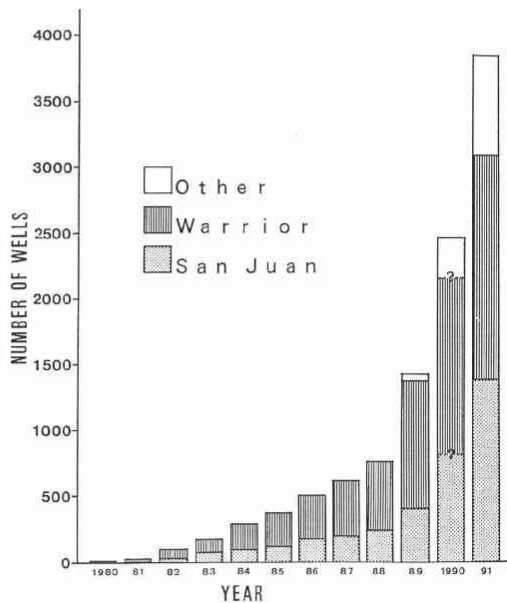
第9図 米国のコールベッドメタンの分布

にある。

第10図及び第11図にここ10年の米国のC BMの年間生産量並びに生産井掘削数の推移をそれぞれ示す。生産量、掘削井数とも急激に増加している様子が見られるが、この背景として米国では国内天然ガス資源開発を奨励するためC BM開発に対しては税制上の優遇策を施行していることがあげられる。



第10図 米国のコールベッドメタン生産量の推移



第11図 米国のコールベッドメタン生産井の推移

第10図に見るように、1991年の年間総生産量は330Bcf (93億 m^3)程度と推定され、そのうちSan Juan堆積盆で259 Bcf (73億 m^3)、Warrior堆積盆で47Bcf (13億 m^3)が生産されている。また第11図に見るように1991年までに掘削された総生産井数は3833本で、そのうち、San Juan堆積盆で1368本が、Warrior堆積盆で1967本がそれぞれ掘削されている。

・Warrior堆積盆 (第2表)

Warrior堆積盆は、アラバマ州及びミシシッピ州にまたがり、ここ5年の間にC BMの開発が活発化してきた。現在同地域のガス供給の10%がC BMでまかなわれている。石炭層は多層で存在するが炭丈は2 m程度のものが多い。ガス含有量は5~15 m^3 /tonである。資源量は5,700億 m^3 と見積られている。

開発は1977年にUSX (前U. S. スティール社) とU. S. 鉱山局により始められ、23坑井がOak Grove フィールドで掘削された。但し、これは石炭採掘に先だって保安上ガス抜きをしようとするものであった。

ガスは始めは大気中に放散されていたが、

第2表 Black Warrior 堆積盆の概要

位置	: アラバマ州, ミシシッピ州
対象層	: Pottsville 層(上部石炭紀)
深度	: ~1200m
面積	: 460億 m^2
炭丈	: 平均 2 m
炭化度	: 高~低揮発分瀝青炭
ガス量	: 5~15 m^3 /Ton (@深度300m)
資源量	: 5700億 m^3 (20Tcf)
坑井数	: 1697 ('91年12月)
オペレーター数	: 14社 ('91年12月)
平均坑井深度	: 460m
生産量('92.10)	: 平均2000 m^3 /day/well
年間生産量('91)	: 13億 m^3 (47Bcf)

1981年に回収され昇圧して販売が開始されるに至り、C BMの商業生産への道が開けた。U S Xはその後も開発を続け、1985年末までに更に25坑井のC BM生産井を掘削している。

Warrior 堆積盆全域では、1981年以来生産井数は年率43%で増えており生産量も1980年約14万m³であったものが1989年には7億m³、1991年には13億m³にも達している。

・San Juan 堆積盆 (第3表)

San Juan 堆積盆はコロラド州及びニューメキシコ州にまたがり、Fruitland 地層の石炭層がC BM開発の主要対象となっている。この層は9~27mの炭丈を持つ多くの石炭層を有しており、ガス含有量は10~16m³/ton である。資源量は1兆4,200億m³と見積られる。商業生産の対象となっている Fruitland 地層の石炭層の深度は150~1,200mである。

探鉱は1970年代中頃に Amoco Production 社により Cedar Hills フィールドで始められ、1977年に Amoco Cahn 1号井が仕上げられ、1979年に生産が開始されている。Cahn 1号井では最初かなりの量の水 (64m³/日) と、

適当量のガス (8,000m³/日) が生産されていたが、1986年以降水の生産量は減少し、反面ガスの生産量は85,000m³/日近くまで達した。この生産挙動は前述のようにC BMの生産挙動として特徴的なものであるが San Juan 堆積盆の多くの坑井でこの挙動がみられる。

Amoco の成功以来 Meridian Oil, Union Texas, Southland Royalty と Mesa Ltd. の共同体など多くの会社が、Cedar Hills フィールドでの探鉱、試掘活動を活発に開始している。最近は Amoco, Meridian あるいは、Union Texas に加えて Arco, Phillips Petroleum, Union Oil, Conoco, BHP Petroleum, Mobil, Texaco 等の主だった石油会社がオペレーターとして名を連ねている。

・その他の地域

第4表に米国の他地域の探鉱状況を示すがこのうち Powder River 堆積盆の探鉱・開発が今後活発化するものと見られる。

5-2. オーストラリア (第12図)

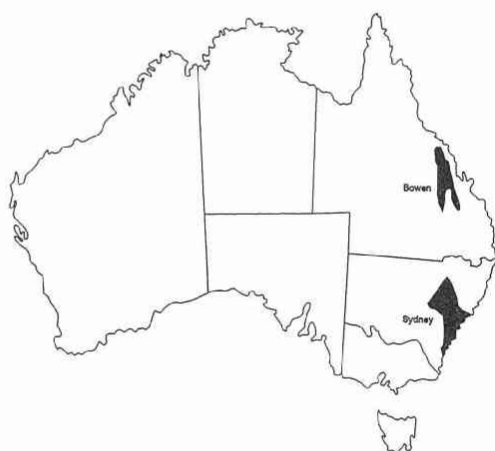
オーストラリアでは近年C BMが新たなエネルギー資源として脚光を浴びている。商業

第3表 San Juan 堆積盆の概要

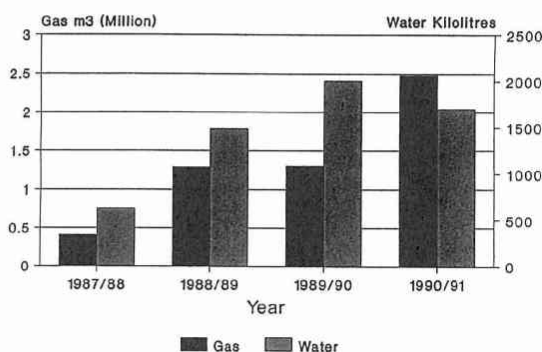
位置	: コロラド州, ニューメキシコ州	
対象層	: Fruitland 層 (上部白亜紀)	: Menefee 層 (上部白亜紀)
深度	: ~1200m	: ~2000m
面積	: 200億m ²	: 300億m ²
炭丈	: 平均 2~5 m (最大10m)	: 平均 1 m (最大5 m)
炭化度	: 高~低揮発分瀝青炭	: 高~低揮発分瀝青炭
ガス量	: 10~16m ³ /Ton (@深度1000m)	: _____
資源量	: 1兆4200億m ³ (50Tcf)	: 6200~9600億m ³ (22~34Tcf)
坑井数	: 1368 ('91年12月)	: _____
オペレーター数	: 40社 ('91年12月)	: _____
平均坑井深度	: 1000m	: _____
生産量('92.10)	: 平均 15000m ³ /day/well	: _____
年間生産量('91)	: 73億m ³ (259Bcf)	: _____

第4表 米国のコールベッドメタンの探鉱状況（'91年12月現在）

堆積盆	ガス包蔵量 (m ³ /Ton)	資源量 (兆m ³ : Tcf)	坑井数	オペレーター数
Appalachian	19 (@ 520m)	1.7 : 61	587	6
Piceance	12 (@ 2300m)	2.4 : 84	103	9
Green River	15 (@ 1100m)	~0.8 : ~30	27	4
Raton	14 (@ 360m)	~0.5 : ~18	14	2
Wind River	N/A	~0.06 : ~2	1	1
Powder River	2 (@ 380m)	0.8 : 30	31	4
Uinta	10 (@ 970m)	~0.14 : ~5	5	1



第12図 豪州のコールベッドメタンの分布



(Production commenced on 1/11/87)

第13図 豪州、クインズランド州のコールベッドメタン生産量の推移

生産には未だ至っておらず、探鉱段階であるが主に Bowen 堆積盆(クインズランド州)と Sydney 堆積盆(ニューサウスウェールズ州)で探鉱計画が立てられている。これまでの探鉱は Bowen 堆積盆で主に行われている。第13図にオーストラリア、クインズランド州でのCBMとその採取に伴う水の生産量の推移を示す。

第5表に Bowen 堆積盆と Sydney 堆積盆の概要を示すが、両堆積盆とも比較的都市に
第5表 豪州のコールベッドメタンの探鉱状況（'91年12月現在）

堆積盆	BOWEN	SYDNEY
位置	クインズランド州	ニューサウスウェールズ州
対象層	二疊紀の4層	二疊紀の6層
深 度	100~1000m	~1000m
面 積	1900億m ²	N/A
全 炭 丈	~100m	~180m
炭 化 度	高~中揮発分瀝青炭	高~中揮発分瀝青炭
ガス包蔵量	~18m ³ /Ton	6~15m ³ /Ton
資 源 量	5兆2400億m ³ (185Tcf)	9000億m ³ (32Tcf)
坑 井 数	40本	N/A
オペレーター数	4社	N/A

近くインフラの点でも比較的恵まれた位置にある。

CBMの資源量はBowen堆積盆で5兆2,400億 m^3 、Sydney堆積盆で9,000億 m^3 と見積られている。ガス含有量は5～18 m^3/ton である。

最初の探鉱は1976年にBowen堆積盆の東南域のMoura市近郊で、Houson Oil and Minerals社により行われ、3坑井が掘削された。その後1980～81年にかけてBroken Hill Proprietary社が、1987～91年にかけてCurtain Brothers社とNorth Queensland Energy社がそれぞれBowen堆積盆で探鉱を行っている。

三菱ガス化学株式会社は1990年4月にMGC Resources Australia社（MGCRA）を設立

し、M. I. M. Holdings社と共同で、Bowen堆積盆のATP364P鉱区で、石油公団の融資を受けて探鉱活動を開始している。現在まで地震探鉱総延長462km、探掘井3坑、構造試錐井7坑を掘削している。なお、現在、石油資源開発株式会社、及び伊藤忠商事株式会社もMGCRAに出資している。

また、M. I. M. Holdings社は、Bowen堆積盆のATP391P、ATP447P鉱区でオーストラリア連邦政府の協力を得て、発電に供するためのCBMの探鉱を1991年より本格的に開始している。

オーストラリアでCBMの探鉱のために掘削された坑井数は、1990年まで約40坑井にすぎないが、今後はかなりの探掘井が掘削される見込みである。

パネル討論会

テーマ：非在来型天然ガス資源の展望

司会	石井 吉徳	(東京大学工学部資源開発工学科教授)
パネラー	脇田 宏	(東京大学理学部地殻化学実験施設教授)
	飯山 敏道	(千葉大学理学部地学科教授)
	小川 克郎	(通商産業省地質調査所長)
	山村 政彦	(石油公団天然ガス・新石油資源室長)
	樹下 明	(電源開発(株)審議役)
	柿原 武	(大阪ガス(株)専務取締役)



司会 これからほぼ2時間の予定でパネル討論会を開催したいと思います。およそ次のように進めたいと思います。まず、パネラーの方々からほぼ10分以内で、それぞれのご専門の立場からのお話をさせていただきたいと思います。それから、先ほどフロアからの質問をいただいておりますので、それについて答えていただき、そして時間が許せば、さらにフロアからご質問を頂戴したいと考えており

ます。次に、5分ぐらいでパネラーの方々から今度はご自分の専門にとらわれず一般的な立場でご意見あるいは提言などを話していただきたいと思います。

まず、先生方のご紹介であります。右端の脇田先生から簡単に自己紹介をしていただければ幸いです。

脇田 東京大学の脇田でございます。天然ガスの起源につきまして、特別の考えを持って

おりますので、今回は、それについてお話ししたいと思っております。



石井吉徳氏 (東京大学工学部資源開発工学科教授)

飯山 千葉大学理学部の飯山でございます。エネルギーとか鉱床とか、そういうことに非常に興味があって、この研究所の会合にも出させていただいておりますが、きょうは私自身が見ることができた海底におけるメタンのマニフェステーションのお話をしたいと思います。

小川 地質調査所の小川でございます。私自身は石油とか地熱とか流体資源を手がけておりますが、調査所としまして石炭も手がけておりますので、その仕事の一部を紹介させていただきたいと思っております。

山村 石油公団の山村でございます。私は天然ガスの開発・輸送をずっと長くやっておりますが、それは科学的な話よりも、むしろ実体的にどうやって天然ガスを開発・輸送して日本に持ってくるかといったことにかかわってまいりました。

樹下 電源開発の樹下でございます。エネルギーの問題は今日では国際的な視野の中でとらえる必要があります、IEA (国際エネルギー機関) を中心とした国際活動に関係いたしております。

柿原 大阪ガスの柿原でございます。私どもは天然ガスを供給しております関係上、この非在来型の天然ガスにも大変関心を持っておりまして、研究所の研究会にもずっと出させていただいております。

司会 ありがとうございます。脇田先生はこのあと所用がおりとのことですので、まず脇田先生にお話をお願いしたいと思います。

脇田 私が選びました演題は、「天然ガスの起源の推定」でございます。これにつきましては、午前中のお話にもありましたように、さまざまな角度から検討されなくてはなりません。これは炭化水素化合物ですから、たとえば同位体比とか化学組成などが起源を推定する際の材料になります。それから、共存する気体や液体の化学組成なども知る必要があります。また、ガス貯留層の物理的性質とか大きさ、あるいはガス貯留層を含めた地質条件、それからガスの貯留層の形成と周辺地域のテクニクな条件、それらをすべて勘案いたしまして起源を論じる必要があると存じます。

きょうお話するのは日本の天然ガスでございます。図1に示しましたようにガス田とい



脇田 宏氏 (東京大学理学部地殻化学実験施設教授)

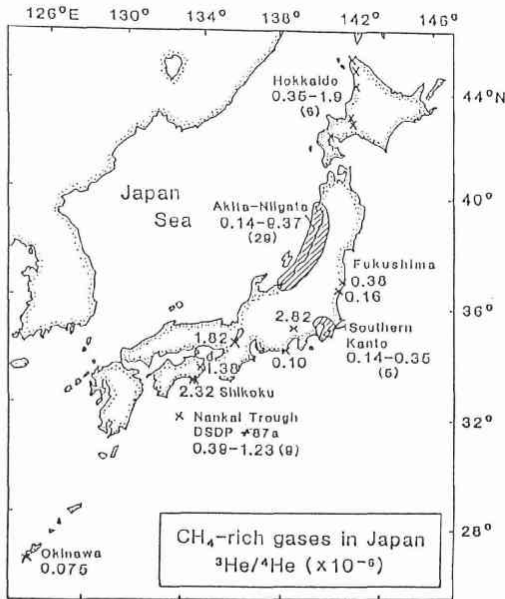


図1 日本の代表的な天然ガス田のヘリウム同位体比の分布

たしましては、南関東にある水溶性のガス田、あるいは秋田、新潟など日本海に面した地域にあります油を伴ったガスあるいは水溶性のガスなどがありまして、これらの起源は何かということを考えていきたいと思ひます。もちろん、天然ガスは生物からつくられるということは当然でございまして、それに全く異存ございませぬ。

図2は秋田、新潟地方の地層の断面図ですが、上の方は堆積層です。堆積岩の地層で、こういうところにも天然ガスが含まれているのですが、そのはるか下のところにグリーンタフと言われる層があり、これは火山岩層です。化学組成あるいは同位体組成を研究いたしますと、この上の地層とグリーンタフ層に含まれている天然ガスは、まるきり違うということがわかるのであります。そしてグリーンタフ層の天然ガスが非常に膨大でして、上の堆積層の天然ガスよりずっと多いと考えら

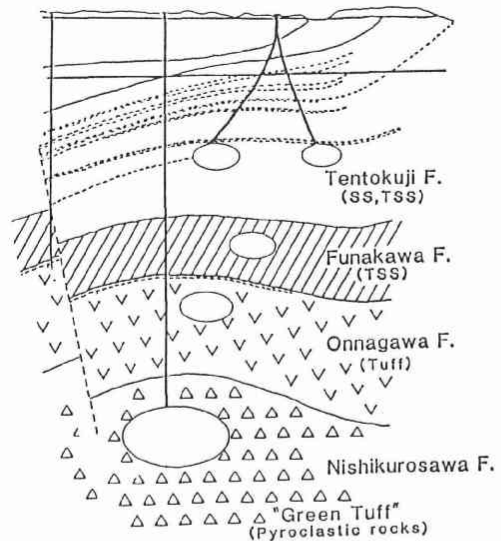


図2 グリーンタフ地域の天然ガスリザーバー

れております。この火山岩層にある天然ガスはどのような起源のものかについて簡単にお話させていただきます。

火山が噴火すると噴煙が上がります。こういったときに出る噴煙はどのような成分かと申しますと、それは火山ガスと言われるものですが、大部分がH₂Oであり、CO₂であるわけです。火山のガスの元はどのようなものかと言ひますと、マグマの中には水素、O₂、CO、あるいはCO₂、あるいはH₂Oなどが含まれておりまして、こういうものが火山の噴火によって地表に大量に吐き出されるわけです。私が考えますのは、これらがある理想的な条件でトラップされたと言ひますと、天然ガスつまりCH₄の材料は全部そろっているわけですから、マグマのガスがメタンに変わる可能性があるのではないかということなんです。

これを検証するのに使ひますが、ヘリウムの同位体比 (³He/⁴He) の結果です。ヘリウムの同位体比について一言でご説明いたしますと、例えばその値が0.1とか0.3×10⁻⁶と

表 1 「G T ガス」の化学的特徴

Gas+yp ^e	³ He/ ⁴ He (10 ⁻⁶)	⁴ He/ ²⁰ Ne	C ₁ (%)	C ₂ (%)	C ₃ (%)	CO ₂ (%)	He (ppm)	H ₂ (ppm)	δ ¹³ CCH ₄ (‰)	ΣC/ ³ He (10 ⁻¹⁰)
"GT"	6.9~8.7	500~>2500	80~90	5~18	2~17	~6	20~60	10~50	~-35	~0.4
"S"	0.1~3.9	20~500	86~99	0.2~7	0.04~3	~1	3~13	3~20	-50~-60	10~200
"biogenic"	0.1~0.4	4~100	97~99	~0.01	n.d.	~1	~2	~3	~-75	~500

"GT" グリーントフ火山岩層中の天然ガス

"S" グリーントフ層の上の堆積岩層中の天然ガス

"biogenic" 典型的な生物起源の天然ガス

というような場合は、これまでの研究から、堆積層でつくられた有機起源の天然ガスと考えることができます。ところが日本海側には9.37というような非常に高い値があります。このように低い値と高い値に大きく分かれております。ここで、先ほど言いましたグリーントフ層にある天然ガスは9.37という高い値を持っておりまして、今大島火山から噴出している火山ガスのヘリウムの値と同程度です。したがってグリーントフ層に存在する天然ガスの起源はマグマに由来するものではないかというのが私の主張でして、日本は火山国ですから、グリーントフ層の開発が今後更に行われることを期待しております。

司会 ありがとうございます。それでは飯山先生にお願いしたいと思います。

飯山 時間が限られていますので、すぐ本論に入りたいと思います。午前中、浦辺さんが海底のかなり温度の高いところでのメタンのお話をなさいました。それから、青木さんはガスハイドレートについてそれがどんな分布をしているかというお話をなさいました。私は幸いにして深海底でメタンがどんなふうに出ているかを見る機会がありましたので、そのお話を少ししようかと思います。

私は1984年から1985年にかけて、フランスの連中と日本の近海の海溝を調査したわけで



飯山敏道氏 (千葉大学理学部地学科教授)

ですが、そのとき、御前崎の沖のいわゆる南海トラフが日本の下に沈み込んでいる場所において見られたのが一番最初であります。ここはどういうところかと申しますと、延々とフィリピン海の海底が日本にやってくる。その上にいろいろな堆積物を乗せてきて沈み込む。そうすると、日本の島のところで、堆積物がかき寄せられるわけです。そのかき寄せられた堆積物がここに積み上がっている。これがいわゆる海溝付加体というものです。ご承知のように南海トラフの地域は、南海地震とかが考えられるように、今でもそのプレートの沈み込みによってこの辺り一帯にかなり強い圧縮場ができています。

そこに潜水して行きましたところが、大体海底2,000メートルから下に行きますと、ほとんど生物が住んでいないのですが、そこに忽

然と現れたのが、「シロウリガイ」という長さが7センチ、幅が3センチぐらいの貝類の群落であって、それと一緒にナマコが這いずり回っていたわけです。この群落は、命が長いのか短いのかよくわかりませんが、死んでしまうこともしばしばあって、縦に立っているのは生きているわけです。一体、この群落はどうしてできたのか。こういうところですから非常に強い圧縮場があって、そこで断層がかなりたくさん生じているわけで、断層に沿って、海底のかなり深いところから水が上がってくる。堆積物に含まれていた水が押し出され絞り出されてくる。その中にメタンを含んでいますので、そのメタンを食べるバクテリアが繁殖する。そのバクテリアを食べて「シロウリガイ」が生育する。大体直径が80センチぐらいの「シロウリガイ」の群落がずっと並んでいるのが見られたわけです。

しかも、そのメタンとメタン以上の C_2H_6 などとの比をとってみますとかなり小さな値になり、群落が出ているところでみますと、5とか13というようになかなか低い値になっている。普通のところではかなり高くして石油関係の方がよくご存じのような値になる。(表2)したがって、このメタンは少なくとも60度ぐ

表2 南海トラフ底 (HY4~HY3)および日本海溝陸側斜面 (HY14~HY16)で見られた生物群落で採取された海水中の炭化水素組成 (nl/l)
(C_1 =メタン C_2 =エタン C_3 =プロパン)

試料	HY4	HY7	HY3	HY14	HY15	HY16
C_1	111	72	72	60	112	82
C_2	20	<1	5	12	18	13
C_3	3	<1	<1	<1	<1	<1
$C_1/(C_2+C_3)$	5		13	5	6	6

らくの温度のところ、——海底の温度は大体1.4度ぐらいの温度ですから、それよりもはるかに高い温度のところ——を通ってきているものと考えられるわけです。

そういうわけで、その生物の生き方や生物のエラなどを分析してみますと、そういう深いところからくるメタンを餌にして、要するにバクテリアを経由して餌を得ているということがわかってきたわけです。(表3)

表3 海溝計画で採取されたしろウリガイのえらの組成とフランス大西洋岸産二枚貝のえらの組成比較

	しろウリガイ	大西洋岸産二枚貝
Fe	680 (ppm)	212 (ppm)
Cu	72	20
Zn	320	682
Mo	90	0.33
Cd	209	1.35
Ba	68	156
$\delta^{13}C$	-40.1 (per mille)	-15.7 (per mille)

その後、1989年に再び私もは潜りました。もうそのころになりますと、どういうところでメタンを含んだ水が出てくるかということが、シービームの海底の地形の調査や弾性波のデータなどからわかってきましたので、1カ月間ほど潜ってみたわけです。

そうしますと狙いもだんだんよくなって、群落の分布の非常に多いところにぶつかることが多くなりました。そういうところでは、生物のポピュレーションがそれ以外のところの3万倍ぐらいもある。

そこはやはり御前崎沖なんですけど、一般的に言いまして、褶曲をしているところで逆断層を生じているところとか、褶曲の頂部のところに断層があるときもあるのです。私が目

撃しましたのでは、先祖代々の「シロウリガイ」のお墓の固まった殻の上に住んでいる「シロウリガイ」の群落だったということと、それと共にこのような管虫類つまり管になった生物も生きているということもわかってきたわけですよ。

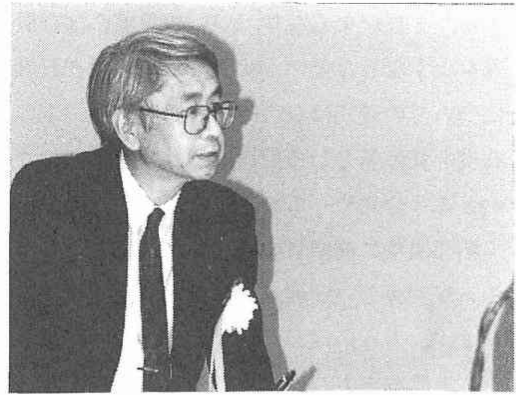
そういうことで、メタンは生物起源には違いないのですが、それがどういうところからきたのか。いろいろ想像はされているのですが、まだ今のところはっきりしたことは言えない。つまり堆積物中にあった有機物がメタンになって出てくることは確かなのですが、それが一体ガスハイドレートとどういう関係があるのか。関係があるかもしれないし、ないかもしれないがよくわからない。

それからもう一つ、どれくらいの流量で出てきているかということもいろいろ推定するのですが、なかなか難しいのです。

司会 ありがとうございます。深海で目撃された貴重な映像をありがとうございます。

それでは次に、小川先生をお願いします。小川 私に与えられましたテーマは、コールベッドメタンについてであります。先ほど、大牟田さんのほうから世界のコールベッドメタンについての開発状況及びその賦存状況について非常に詳しいお話がありましたので、私はそれを補足する意味で、国内資源としてのコールベッドメタンについて若干お話をさせていただきます。

コールベッドメタンの資源量を出すには、コールベッドメタンが石炭に随伴するというので、まず石炭の資源量を出す。次に、ある単位の量の石炭に含まれていますコールベッドメタンの量を計る。それを掛け合わせ



小川克郎氏（通商産業省地質調査所長）

ればおよその資源量がわかるわけです。

昨年の秋だったでしょうか。エネルギー総合工学研究所の勉強会で私どもの名取主席研究員が、資源量の推定を引き受けました。まず最初に、石炭の資源量であります。日本では皆さんよくご存じのように北海道と九州に集中しています。本州には常磐炭田のようにごく一部に炭田があるだけです。（図3）

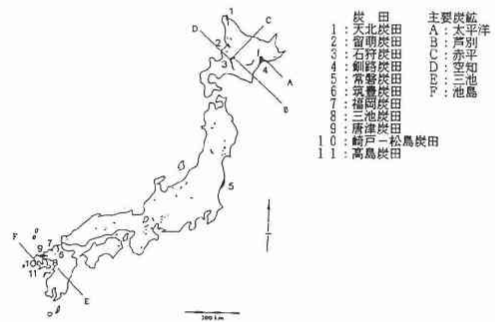


図3 炭田分布図

実は、私どもの地質調査所では、昭和20年代に日本の炭量炭質調査を大変積極的にやりました。それは昭和35年に出版した日本鉱産史（全12冊）の1冊としてまとめられています。それ以降、ご存じのように石炭と石油の役代わりがありまして、地質調査所でも、石炭についての研究をだんだんやらなくなりました。戦後は石炭部というのがあったので

すが、それがなくなり、つい数年前には石炭課もなくなったという状況でして、現在石炭についての研究は石炭組織の研究だけです。石炭を資源量として把握するという研究はこのところ全然やっておりません。

昭和31年に通産省の石炭局が作成した日本の石炭資源という埋蔵炭量炭質調査概要があります。どういうわけかマル秘となっておりますけれども、内容を見ますと昭和30年3月までの調査に基づいて埋蔵量が計算されています。当時は非常に多くの石炭山が稼働しておりました。私どもが昭和20年代にやった炭量炭質に対する非常に精力的な調査結果を合わせてこの報告書は書かれたというふうに理解しております。

それ以後、各石炭山の炭量については出ているのですが、全国規模という形ではどうも出ていないようでありまして、もし会場の方がご存じであれば教えていただきたいと思えます。

さて次には単位量の石炭にどのくらいのメタンガスがあるかということですが、これについても私ども調査所は残念ながら全然研究を進めていません。私はこの4月にワシントンにあるアメリカの地質調査所に行ったのですが、そのときに聞いた話では、アメリカの地質調査所ではコールベッドメタンに大変力を入れていまして、いろいろな炭田から石炭を採ってきて、その中に入っているガス量を細かく分析して、データベースを今作成中だということでした。

残念ながら日本にはそういうデータはありませんが、いろいろと資料を調べてみますと、一つは鉱山保安の立場から、坑道の中のメタンガスを出炭量当たりで表わしたものがあり

ます。これはきちんとした統計として残っております。昭和36年度、これは日本で一番石炭の出炭量が多かった年でありまして、22m³/トンという数字が出ております。先ほどの大牟田さんの話では、だいたいアメリカでは10から15という数字を使っているようではありますが、それよりも若干上回っています。

これを使おうということにしたわけですが、よく考えてみますと、この量は必ずしも石炭中のメタンガスを表しているわけではありません。坑内全体のメタンガスでありますので、その他の起源のものがあるかもしれないし、あるいは出炭していないもつとずっと地下の方の石炭から上がってきたものもあるかもしれません。したがって、これを係数として使うのは乱暴な話でありまして、ひょっとしたら原理的にも間違っているかもしれないと思われまます。

しかしとにかく今のところデータがありませんので、それで計算してみました。31年の資料に若干の最近のデータを加えますと石炭の推定埋蔵量として約100億トンという数字が得られます。それに先ほどのメタンガスの量22m³/トンをかけますと大体2200億m³となります。これは品位のいい炭質も悪い炭質も全部合わせた量なわけでありまして、最大限の値と考えればいいかもしれません。これは日本の天然ガスの究極可採埋蔵量の試算値の約20%に相当することになります。先ほど大牟田さんの話を聞いていましたら、同じように18%という数字が出ておりましたが、この一致は偶然なのかもしれません。わが国の天然ガスの究極可採埋蔵量の20%という数字が大きい数字か小さい数字か、その辺は判断の分かれるところであろうと思えます。(表4)

表 4 我が国の石炭埋蔵量

(単位：百万トン)

	北海道	本州	九州	全国
理論可採埋蔵炭量 ¹⁾ (合計)	10,067	2,188	7,991	20,246
(確定)	2,592	808	2,458	5,859
(推定)	1,484	444	1,007	2,937
(予想)	5,989	934	4,525	11,448
実収炭量 ¹⁾	1,329	500	1,349	3,178
昭和30—62年度生産量	497	109	494	1,101
残存理論可採埋蔵炭量 (確定) ²⁾	1,612	630	1,556	3,798
世界エネルギー会議 可採埋蔵量 ³⁾				856
世界エネルギー会議 確認埋蔵量 ³⁾				8,348

注1) 通産省：全国埋蔵炭量炭質調査 昭和30年4月1日現在

注2) 理論可採埋蔵炭量¹⁾(確定)から、実収率を考慮して生産量(昭和30—62年度)を割増し(1.62~1.95倍)して、差引いた炭量

注3) 世界エネルギー会議 1989年

そういうわけで、日本ではこの分野の研究は大変遅れています。今まで、石炭に伴うメタンは保安上の問題というふうに位置づけていまして、資源の問題としては見てこなかったということでもあります。地質調査所としましては、今後、コールベッドメタンについて何をやらなければならないかを9つのテーマに分けて考えてみました。その内容は先ほどの大牟田さんの話とかなり重複いたしますので、細かい説明は省略いたしますが、石炭層におけるガスの浸透率の問題とか、日本のどこいうところにあるかとか、ガスの埋蔵量はいくらとかの問題の最後に環境への問題があります。このようなことを1つ1つ積み上げながら対応していかなければならないと思っている次第でございます。

司会 ありがとうございます。小川さんは地質調査所の所長さんですが、東京大学の工学部の私の資源開発工学科で非常勤の講師もしておられます。そういうことで、これまで話された3人のパネラーは大学の先生方でいらっしゃると思います。これからお話しいただく3

人の方は、実際にエネルギー供給の仕事をなさっておられる方々でして、最初に石油公団の山村さんをお願いしたいと思います。

山村 石油公団の山村でございます。私に与えられましたテーマは非在来型天然ガスの開発ということですので、思ったままに開発のための考え方について述べてみたいと思います。それは全部で12項目でございます。

まず、開発サイドからみますと、非在来型天然ガス資源と在来型天然ガス資源は、開発の立場からは採取方法による区分であって、それもほとんど区分していません。例えば、先ほど大牟田さんがいわれたように、炭層ガスは在来型の延長でございます。その採取方法は技術の進歩にともなって進歩していて、従来の天然ガス採取法とは異なり、De-Gasificationつまり剥ぎ取りと称するもので、従来の方法と若干異なっておりますが、天然ガス採取法の一つの変形と言えます。

次に、これは今まで議論されてきたことですが、根元ソースが石炭であって、集積場所(トラップ)が一般の天然ガスと同様なもの、



山村政彦氏（石油公団天然ガス・新石油資源室長）

例えば基調講演で石井先生がおっしゃっていたように、オランダのフローニンゲンガス田、北海のソウルガス田、南北海のカス田群およびニュージーランドのカス田などは、いろいろ定義があるのですが、定義によっては炭田ガスと呼ばれています。この場合は特徴としましては窒素が多い事です。炭酸ガスが多い場合には処理法は若干異なりますけれども、採取法については従来と全く同じです。従って開発サイドはあまり区別していないということであります。

私は天然ガスの生成およびトラップを理論立てて解析し、解明していく科学者のことをISTと呼んでいるのですが、一方、経済的に存在するものをどのように経済的に採取するかを仕事にしているものをERと呼んでおりまして、おのずとアプローチの方法は異なると思います。

私はよく新入社員などに申すのですが、あくまでも我々の仕事は輸送技術の変形である。ですから、常に費用節約を考えねばならない。石油資源開発(株)の中山一夫さんによると、地質的思考法は、帰納法を応用しており、また物理探査的思考法は、先ほどハイドレートでご説明がありましたけれども演繹的な思

考法を応用していると説明しています。これを参考にすれば開発は若干物理探査思考法に近く、その中に安全率の思考法が入っているかなという感じでとらえております。

それから、生産コストとしましては、これは先ほどもどなたかご説明されていましたが、1978年のアメリカのNGPA法、日本語では「天然ガス政策法」とか訳しておりますが、これに基づく107条ガスでハイコストガスとして定義されています。これが一応アメリカで定義されている非在来型とみて私はいいのではないかと思います。107条のハイコストガスは、Geopressured brine gas、それから先ほどもちょっとご説明がありました炭層ガス、それから Devonian shale gas、これはアパラチアのほうで生産されています。それから Tight formation gas、これが吉江さんからもご説明がありましたけれども、1ミリダージ以下のタイトフォーメーションから生産されるガスです。

さらに1万5,000フィートよりも深いところにあるガス——この辺が学術的な区分と開発の立場にあるものの違いだと思います。

それから、先ほど大牟田さんがご説明されましたが、政策上タックスクレジットが与えられているもの。例えば炭層ガスにつきましては百万Btu当たり40~80セントのタックスクレジットがついています。

ここでちょっと話題を変えますが、ドイツとか日本などでは鉱業権として一つの独立した権利として認められており、天然ガスについては排他的に採取の権利が与えられておりまして、地上に出た瞬間に所有権を持つようになります。このような権利の場合、他の鉱物と共存する場合には、例えば一番問題にな

と思うのが炭層ガスですが、石炭と天然ガスとの鉱業権を同時に別々の人に設定されたらどうなるかといった問題が発生する可能性があります。

アメリカなどでは地上所有権者が天然ガスの所有権を持ち、採取はその所有者からのリースの形で取得しています。テキサス州などの一部の州ではミネラルライトといって所有権が残っていますが、一般的にはリースの形で与えられています。他の鉱物との共存の問題はありますが、リースそのものが交渉によって取得しますので、うまく解決しています。

それから、探鉱のための開発資金などについては、可燃性天然ガスとして定義されており、可燃性であればそれ以上の区別はしておりません。

さらに、天然ガスは利便性が悪く、これはいつも私がいろいろなところで申し上げているんですが、現在確認されている中東、僻地の埋蔵量の開発はまだほとんどなされていない。したがって、いろいろな理論づけはいいとして、既発見埋蔵量4,200 Tcf に対して年間消費量が約70兆ぐらいでして、 $R/P=55$ 年ぐらいという結果になってしまいます。したがって開発例としてはまずそのほうの開発利用をもっと進めたいという考えが頭にあるということを申し上げたいと思います。

また私がアメリカにいるころよく言われたものの考え方をご紹介したいと思います。

まず、新地域つまりフロンティアベーズンを従来の考え方で探鉱を行う。これは妥当であって、間違っていないでしょう。

また既開発地域を、新しい理論、例えばきょう午前中お話しのあった非在来型についての

いろいろな科学的な考え方で探鉱を行う。これもまた新しい発見の可能性がある。

次に、新地域つまりフロンティア地域を新しい非在来型の考え方で探鉱することもリスクはあるけれども、資源確保のためにはやらざるを得ないだろう。

最後に一番とぼけているのが、既開発地域を従来の考え方で探鉱しても何も見つからず、無意味であります。こういう考え方が天然ガスの探鉱開発にも必要だとよく聞かされました。

我々はあくまでも天然ガスを探すのが仕事でありまして、天然ガスの蓄積がどこに起きているかというのが大事であり、どこに溜っているかを見つけることが非常に大事だということです。

最後に、我々が現実のプロジェクトでよく頭を痛めることは、ガス成分の問題です。北海とかオランダの炭層ガスには窒素が多いと先ほど申しました。在来型でも石灰岩のリザーバーでは炭酸ガスが多くて利用できないという残念な結果が出たこともありまして、我々は常に埋蔵量とともにその成分のことも常に頭に置かなければいけない。

炭層ガスの場合、我々が探鉱の時に一番頭に置くのは、火成岩の貫入によって炭酸ガスが発生する問題であります。したがって、炭層ガスの場合はなるべく火成岩の入っていないところを探鉱していくということ、先ほどの大牟田さんの説明に追加させていただきたいと思います。

それから、ハイドレートにつきましてはよくわからないんですが、物性的には炭酸ガスによる代替が工学的に行われる。これについてはいろいろ研究される方がいて、例えば回

収炭酸ガスの廃棄のためにメタンハイドレート層を利用しようという方もおられるようです。温度が高い場合は炭酸ガスになる場合がありますが、採取の方法によってはメタンのほうが先にフリーガスになって出てきますので、現実にはあまり問題ないと思います。しかし成分の問題は常に頭に入れておく必要があると思います。

これは今までにハイドレートについてどういふ分析があるかを示したのですが、ソ連の例ではメタンが多いようです。プルドーベイのものでは、若干窒素が多くなっています。この程度であれば開発にとりましては、何もトラブルはないと思いますが、やはり成分については常に注意しておく必要があると思います。

司会 ありがとうございます。

それでは次に、樹下さんをお願いします。

樹下 私に与えられましたテーマは電力の立場からこの問題について話すようにということであります。私がトーマス・ゴールドを知ったのはたしか1980年でしたが大変なショックを受けましたし、印象的でした。我々は足元を知らないで世界を論ずる場合が多いわけですが、我々は宇宙を知っているのに我々の足元を知らないということだろうと思います。

最近、地球環境問題が大きなテーマになっておりますが、地球環境問題からの副産物の一つは、長期的な観点から資源の保障をどう考えるかという問題だろうと思います。その場合に、従来は効率と公正という局面から考えてきたと思うのですが、今や、生存という問題が出てまいったわけです。

効率の問題は、とかく環境の問題と対立するように考えられますけれども、資源が限ら

れている中では、ますます効率を高めて資源を使わなければならないということが一つの大きな命題です。

それから、公正の問題では、現在、大きく問題になっているのは、貧困との対立であります。

更にこの問題で難しいのは、超長期的に考えなければならず、2100年というような将来まで考えるということです。2100年の前に資源がなくなってしまうかもしれないという問題があります。

生存の問題の中にはいろいろな局面があるわけですが、紛争の可能性は重要な局面です。紛争が始まりますと、我々は生存の基盤をなくします。我々が資源の確保をどう考えるかというのが大変大きなテーマになります。

世界のエネルギーを長期的に考えますときには、今までと同じような発想では立ちゆかないわけでした、人口は2050年には相当の確度で100億人に達するだろうと見通されています。2020年まではかなり精密に、——精密といってもかなりラフですが——計算されておりまして、商業ベースのエネルギーですけれども、石油換算ベースで現在の年83億トンから2020年には143億トンが使われよう。更に2050年に向かっては、多分1人当たりの需要量を増すことはできないだろう。そうしましても、やはり相当のエネルギーが2050年にはいることになります。もちろん途上国の所得水準を将来どう考えるかという問題もございまして、資源の逼迫がきつくなってまいりますと、当然価格上昇がある。価格上昇が起これば、資源の確保に対する努力も増えるでしょう。それから技術進歩もあるでしょうけれども、しかし世界のエネルギーを確保する

ということが、2100年の前に大変重要な問題になってくるだろうと思われます。

化石燃料に注目いたしますと、BP統計によれば、石油は現在の生産量で使っていったら43年、天然ガスが58年という程度でして、2100年より前になくなっていくという問題があるわけです。

一方、電力につきましては、今までの光熱とか冷暖房とか、動力とか在来型の需要に加えまして、社会システムの発達とともに情報化、自動化とともに需要が増大します。特に労働力の不足問題や高齢化も関係してくるかもしれません。また快適に生活したいという欲求の中で、電力化はかなり進行すると思われます。

この場合、特に輸送部門における電力化のことを考えておく必要があります。全体のエネルギー需要の中で大きく伸びておりますのは輸送の部門でして、OECDでも輸送部門の伸びは、1973年では25%だったのが、1990年には31%に伸びております。わが国の場合も16.5%から23%に高まっております。その中で電力化率に注目しますと、OECDの平均ではまだ0.7%です。日本は比較的マス・トランスポーターションが発達しておりますので、2.5%と比較的高いとはいうものの、依然として電力化率は低い。そこでこの分野では将来環境問題との関連で電力化率が相当大きく伸びる可能性があります。

1次エネルギーに占める電力の割合については、OECDで現在36%に達しております。日本はすでに約40%であります。2000年での予想としましてはOECD全体で約38%に増え、日本では46%、さらに2010年には多分50%を越すだろうと思われます。



樹下 明氏（電源開発(株)審議役）

そういたしますと、電力部門は大変重要な役割を持っているわけでして、転換効率を向上させなければいけません。

最終エネルギー消費に占める電力については、今後は、デマンドサイド・マネジメントといったことが言われていますように、消費効率の向上をはかる必要があります。

現在、電力部門におきましては、やはり石炭が大きなウエイトを占めております。なお、旧ソ連を中心といたしまして天然ガスがかなりのウエイトを持っております。

今後は特に脱石油ということでOECDの国でも日本でも天然ガスのウエイトが増すであろうという見通しになっております。天然ガスにつきましては、低コストで環境効果が高く、ガスタービンが比較的簡単に使えるということで魅力です。またリード・タイムも短く、コージェネレーションにも比較的向いています。

けれどもみんなが天然ガスに傾斜すれば、当然将来価格上昇があろうし、供給制約も顕在化するかも知れません。それから、メタンリークによる温室効果の問題も心配されます。

実はトーマス・ゴールドを私どもの会社に

招きまして話を聞いたときに、日本は地球深層ガスに対するポテンシャルエリアであり、何とかアプローチを図りたいと申しました。

我々は地球環境の制約が大きくなればなるほど、資源問題をクローズアップして考えなくてはいけない。その場合、全体の自然システムと、人間の社会システムとをシステム連関的に考えて解析していかなくてはいけないわけです。我々がいろいろなエネルギーオプションを考える場合にも、探査に始まり、開発、加工、転換、輸送、燃焼、排出、廃棄等の全局面について総合的な評価があって初めて地球に対する全体的評価ができるということでもあります。この場合に、実務上大切なこととしましてコストがあります。

2100年というような長期的なスパンを考え、石炭からの転換を考えるようなことになれば、それはとりもなおさず天然ガスと石油の利用拡大を意味します。ここでもし地球深層ガスのような新しい資源がないとするならば、石油・ガスの枯渇化が加速されます。そうしますと、次の時代は、合成燃料に頼らねばならず、この合成燃料への転換によってCO₂がかなり増えるということになります。

具体的な問題提起は後ほど申し上げるとして一応終らせていただきます。

司会 ありがとうございます。

それでは最後になりますが、ガス業界のお立場で、柿原さんをお願いしたいと思います。

柿原 大阪ガスの柿原でございます。「非在来型の天然ガス資源の展望」という報告書をきょう頂戴しましたが、朝のご紹介にもありましたようにこれには電力4社と都市ガス会社3社が応援をさせていただいたということで、立派なものできて私どもうれしく存じ

ております。もちろんこれは、第1ステップではあろうかと思えますけれども、ご存じのように資源のない日本でこれだけエネルギーの需要が増えていくときに、主として化石燃料を使っている者の立場から、今後どういうエネルギー資源の確保に向かったらいいだろうかということかと思えます。

きょうはしかしパネラーとして、そういう立場を離れて、個人として意見を述べるようにということですので、私自身がどうしてこの問題に興味を持ったかについてお話をしたいと思えます。

私が話そうと思いましたが、樹下さんがほとんどお話しになりました。

私は3つのコメントをしようと思っておりましたが、一つは、エネルギー消費が非常に増大している。それに対する資源に制約がある。今朝の石井先生のお話や今のお話にもございましたように、2050年には人口が100億になる。エネルギーの需要は、世界的には2020～30年頃の段階で恐らく倍になろうし、更に30年後には、今の4倍ぐらいになるだろう。一方、石油あるいは天然ガスはあと50年前後だろう。ただし、これは確認埋蔵量ですから、究極埋蔵量といえはその倍ぐらいございますけれども、年々の使用量が増えていけば、恐らく、人口100億ぐらいになったころには、石炭はともかく石油や天然ガスはあまり残っていないのではないかというふうに思えます。(図4、図5)

環境問題がなければ石炭に頼るという方法がありますけれども、日本は2000年には1990年並の1人当たりの炭酸ガス排出量にするとすれば、石炭の利用も制限を受けることでしょう。

地域別エネルギー需要展望

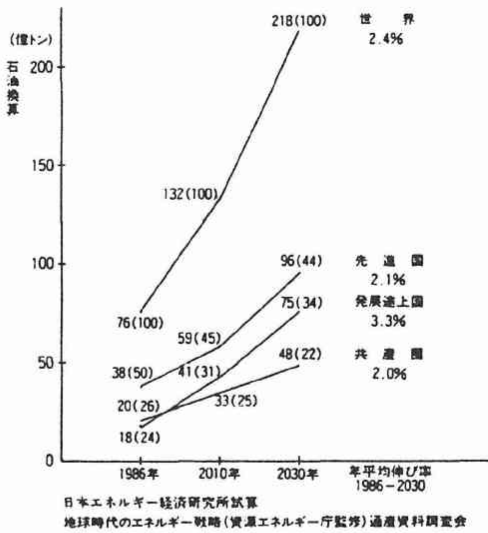


図 4 地域別エネルギー需要展望

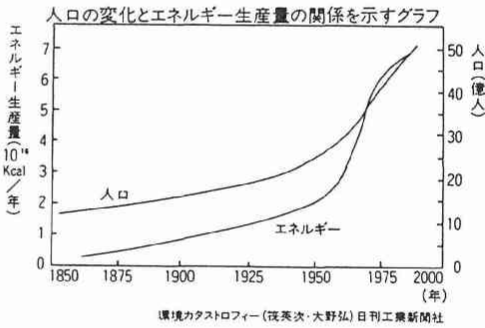


図 5 人口の変化とエネルギー生産量の関係を示すグラフ

電力につきましては、日本の電力化傾向はすさまじいものがありますけれども、原子力にも多分制約がくるかもしれない。そうしますと、やはり天然ガスが、自然エネルギーが本当に実用化されるまでのある意味で中期的なロング・リリーフとして浮かび上がってくるのではないだろうかと思えます。

ただ、天然ガスの弱点といいますのは、ご存じのとおり特に日本ではインフラが弱い。それはLNGとして入れておりますから、港湾設備がいりますし、しかもほとんどがその



柿原 武氏 (大阪ガス(株)専務取締役)

周辺だけで使われています。アメリカとかヨーロッパ、最近では韓国や台湾にもナショナルパイプラインができておりますけれども、日本にはパイプラインがありません。最近ようやくナショナルパイプラインをつくらうという気運がガス業界でも出てきて、大きな運動にはなりつつありますけれども、まだまだインフラが弱いということがあります。

図 6 は、アジア・太平洋エネルギー共同体構想というもので、元東京大学の平田教授が提案されました。先ほどの石井先生のお話にもありましたように、天然ガスはアジアにたくさんありますので、サハリン、あるいは西シベリア、東シベリアのヤクーツクから日本列島を縦断する。1本はハルピンから北京を経て朝鮮半島から日本へくる。それが中国沿海を南下する。そのパイプラインと、オーストラリアからインドネシア、マレーシアを経て上がっていくパイプラインがドッキングする。これは2万7千キロあって長いなと思われるかも知れませんが、アメリカには40万キロぐらいの幹線がありますし、ECでも、ソ連、イランからパリへいっております。フランスの国内だけでも2万6千キロぐらいありますから、大して長くない。費用もおおよそ数

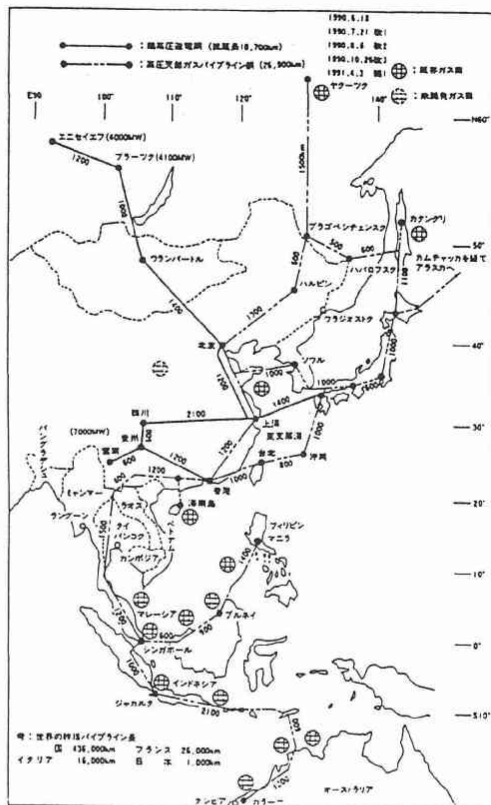


図6 アジア・太平洋エネルギー共同体構想

兆円ですむだろう。こういったものができていけば、日本でも先ほどから申しているロング・リリーフ役として天然ガスが利用できるのではないかと。

しかし、インフラができて、資源の確保がありませんとどうにもなりませんので、私も世界中の天然ガスの情報を集めております。そうしたときにトーマス・ゴールドさんのいわゆる深層ガス説というものを見て、先ほどお話になった脇田先生にお願いして、シルヤンリングに行って調べていただいたり、東京ガスさんと一緒にこのプロジェクトに協力をさせていただいていろいろな情報をいただいたりしました。また脇田先生はゴールドさんと別の意味のグリーンタフ層の

天然ガス説を唱えておられます。日本に無機起源の天然ガスがもし本当に出ましたら、こんなありがたいことはない。そういったことから、私も是非在来型の天然ガスの研究に大変関心を持ちました。「そんなことは夢ではないか」という声も社内ではずいぶんありましたけれども、夢でもいい、何とか我々の豊でゆとりのある生活をもたらすためのエネルギーというものに、日頃はいろいろな仕事がありますけれども、こうした学問的な研究にぜひ協力させていただこうということでやってきたわけでございます。

司会 ありがとうございます。以上で、パネラーの方々からお話を伺いました。その間、大変貴重なデータを拝見させていただきましたし、また、いろいろと有益なお話を伺うことができました。

冒頭に申し上げましたように、フロアからすでに3人の方から質問をいただいておりますが、実はパネラーの方々のお話のなかに、既に回答が含まれているものもかなりあります。そこで、質問状を出された方のお名前を申し上げさせていただきますので、今の時点でご質問をしていただきたいと思います。

質問状が手もとに参りました順に取り上げさせていただきますと、大阪ガスの佐野さん、おいででしょうか。

佐野 一つは、炭層ガスの問題がかなり出ておりましたが、例えば現在の天然ガスの資源量に対してかなり寄与できる程度の量に実際なるのだろうか。あるいは、あまり大したことがないのだろうか、その辺のところをお伺いしたいと思います。

司会 小川先生、お答えいただけますでしょうか。

小川 大牟田さんがお答えされたほうがいいのではないかと思います。大牟田さんの資料の中程に、4カ国で24兆なにかしという数字があります。石油随伴型のガス、いわゆる天然ガスの18%ということだと思います。私は先ほど日本の場合もたまたま20%と申し上げましたが、つまり今までの資源量に20%上積みされるというふうに考えたらいいのではないかと思います。

佐野 ありがとうございます。もう一つ質問をさせていただきますが、ハイドレートからメタンを採るためには、水との結合を解除しなくてはいけないのですが、普通は減圧はできないと思いますので加熱することになるかと思うのですが、そうするとかなりのエネルギーがいる。それで引き合うのだろうか。その辺りを飯山先生にお伺いしたいと思います。

飯山 私はよく知りませんが、いきなり海底のところから1気圧まで減圧することになると問題があるかもしれないのですが、徐々に上げていくということをやれば、つまり、どれくらいの時間で減圧するかが問題になるので、それを静水圧を利用してやっていくのであれば、だいぶ楽になるのではないかと、そして、それにはあまり金もかからないのではないかと。それよりも、ひょっとするとその間で凝固が起きるのではないかとということのほうが問題かもしれないです。

あと補足的に青木さんのほうからお願いします。

青木 加熱した熱量に対して、どれだけ熱量が取り出せるかというご質問に対して直接的な数字は持ち合わせていませんが、一つ参考になるかと思われるのは、実際に非常に似

た状態で、石油ガスの生産が行われている地域がございます。それはアメリカのカリフォルニアで、サンフォアキンベーズンと言われるところですが、非常に重質油が分布しております。通常の状態では生産できない。これに流動性をもたせてポンピングするために、蒸気注入によって熱を加えております。その深度は、このメタンハイドレートに比べるとだいぶ浅いのですが、このような例を考えますと、可能性ありという気がしております。

それから先ほども申し上げましたが、メタンハイドレート層からメタンを生産するときに、そのメタン量が非常に多く、水1リットルに対して217リットルもあります。

それから、更にその下にフリーガスがある場合には、その深度は通常の石油ガスに比べて3,000mとか4,000mというように非常に深くなっております。そこでの圧力は静水圧だけを見ましても300気圧とか400気圧ですから、地上に持ってきたときの量は非常に大量なものです。その辺からしますと、エネルギーを投入して汲み上げるという方式をとっても採算がとれるのではないかと気がいたします。

司会 ありがとうございます。

では次の質問者に移りたいと思いますが、日本鋼管の加藤さん、どうぞ。

加藤 非在来型のガスについて、きょう、三つほどご紹介があったわけですが、公団か国ではそのうちのどれを早く開発するといったスケジュールとか考えをお持ちなのかおたずねしたいと思います。

山村 国の考え方は国に聞いていただきたいのですが、私どもは先ほどから申しているよ

うに、プロジェクトとして成り立つものは既に手がけておまして、先ほど大牟田さんがいわれた三菱ガス化学のオーストラリアのもは一緒にやっています。私どもは先ほども申し上げましたように、在来型とか非在来型ということは全然区別していません。

司会 それでは、フローから今の時点でご質問されたい方がいらっしゃいますでしょうか。どうぞ。

星野 清水建設におります星野です。細かなことで恐縮ですが、飯山先生にお伺いしたいのですが、先生がお話になったアクリエーション（付加体）のガス、あるいはサブダクション（沈み込み帯）ガスは、最近外国のいろいろな学会に出ても、非常に海外の関心を呼んでいますし、国内でもこの手のガスは、多分脇田先生がお話になったグリーンタフを除いては、日本の一番可能性のあるタイプではないかと思うのです。それにつきまして先生の資料の中で、大西洋と日本の2つの「シロウリガイ」の分析が出ておりますが、おもしろいと思ったのは、互いにかなり成分が違います。特に一番最後の炭素同位体の数字にかなり差があります。これについては今まで議論がなされているのでしょうか。

飯山 これは私自身が分析したり、資料をつくったわけではなくて、フランスの連中がやった仕事ですが、「シロウリガイ」のほうは確かに南海トラフで採ったものですが、こちらは南海トラフではなくて日本海溝のほうで採ったものでして、その比較対照として出しているのは、全く普通の大西洋の普通の沿岸の貝を採って分析しているので、ご質問のことは当然だと思います。

星野 それは現在の海底ということですか。

飯山 はい。

星野 そうですか。私は誤解しておりました。

司会 それでは、地質調査所の浦辺さん、あらかじめいろいろなパネルに非常に長い質問を出しておられますが、時間があまりありませんので、ポイントを絞ってお願い致します。

浦辺 多分、深層ガスの場合には、いろいろなガスの混合物ということが基本的な性格になると思うのです。つまり、メタンガスだけではなくて、CO₂も入っていれば、窒素もアルゴンも、ヘリウムも入っている。そうすると、どの程度メタンが入っていれば、それは資源となるのか。そういう品位の話は今回は全然出ませんでしたけれども、コストとの関係になるのですが、どういうものなのか、山村さんにおうかがい致します。

山村 例えばニュージーランドなどでは、ご存じのように40何%が炭酸ガスです。ただし、メタノールプラントに持っていくときは、若干炭酸ガスがあってもべつにこだわりません。しかし将来炭酸ガスを空中放散してはしけないという話になりますと別な問題が出てきます。私は今でもそのまま放散していいと思っているのですが、世論として許されない立場になって参りますと、実際に80何%の不純物が含まれている場合などでは非常に難しい問題になると思います。例えばあるところで計画されているものでは、回収した炭酸ガスを全部またアキュファー（帯水層）に戻す。そのためのコストは倍以上かかりますので、開発しにくくなるという問題が出てくると思います。つまり環境問題の動きで答えが変わってくると思うのです。

司会 パネルの残り時間があと30分になりま

した。そこでパネラーの方々は今度は専門の立場から離れて、先ほどとは逆の順番で5分以内でご意見を述べていただこうと思います。それではよろしく。

柿原 先程ご質問された地質調査所の浦辺さんは「エネルギーと環境という問題を考えるときには、地球のシステムとか歴史、そういうものをもっと勉強する必要がある」とおっしゃったことがあります、それが私には非常に強い印象を与えました。私どもは天然ガスを供給し、いわゆる化石燃料を供給しておりますが、化石燃料はいつごろできたのかを調べますと、例えば石炭は地質年代表の古生代の中の石炭期、3億年前後昔のところが中心になっている。石油は1～2億年前の中生代。天然ガスもそれを中心にそれ以降にできています。当時の地球は非常に火山活動が盛んなために濃い炭酸ガスが地球を覆っていた。そのため地球は非常に高温で大森林があったのが、炭化して今の石炭、石油、天然ガスになった。人類はそれを200年ぐらい前から使い出して、炭酸ガスをどんどん空中に放出させている。地球の歴史からみると、ひょっとすると今の環境問題というのは、数億年前の昔にプレイバックしただけではないだろうかなどと考えております。時間があれば、現代文明はこれからどうなるのだということを議論することになるのですが、私自身は、ちょっと解決の道はこのままではないのではないか、何か文明に新しいことを考えないと、西洋文明の基本を継続している限り、国家制度を踏襲する限り解決がないというふうに思っていますが、今日のところはこの辺で話を終えたいと思います。

樹下 今、わが国のエネルギー効率世界的

にみて大変高いものです。それを裏返していえば、エネルギー当たりどれだけのGDPを生み出すかについて見てみますと、石油換算のトン当たりでOECDの平均では4,037ドルであるのに対し、日本は6,873ドルです(1990年)。それから電力量のほうでは、kWh当たりOECDでは2.38ドルのGDPをつくっておりますが、日本は3.43ドルのGDPをつくっていることになります。

総務庁のエネルギー研究調査報告によりますと、日本はエネルギー研究開発に対しては、世界的に比較的多くの資金を投入しています。現在、年間9,140億円、それはGNPの約0.2%に当たります。このうち基礎的研究にどのくらい当てられているかは、この資料だけでは申し上げられないのですが、やはりそれほど大きくないのではなかろうかと思われま

す。最近、民間でも基礎的な研究はかなり増えておりますが、未知への挑戦の分野を今後どう考えるかが重要な問題だと思います。

政府の開発研究支出についてはIEAベースでデータがございます。それによりますと日本は比較的大きな研究開発をやっております。IEAの平均が現在石油換算トン当たり2ドルですが、日本は5.9ドル。絶対額でもアメリカとほぼ肩を並べて25億ドルとなっております。ただ、ほとんど大部分が原子力に使われているわけで、今日ここで話しております分野に対する研究開発は、相対的には低いということがわかりいただけると思います。

我々は世界のパートナーシップを担うために、何とかこれを強化していかなければいけません。地球深層ガスに対するシリアンプロジェクトはご承知のように、バットンフォー

ルというスウェーデンの電力会社が進めておりますが、その当時は国営でしたが、今は民営化され、まだ株式の大部分を政府が持っておりますけれども、そんなに大きい会社ではございません。設備規模は約1,600万キロワットぐらいで、売上高も3,200億円ぐらいの会社でしたが、そういう中から40億円の半分を拠出して、こういうプロジェクトを進めています。我々はこういう問題を国と民間レベルでどういうふうに分担しながらやっていくかという問題に迫っていかなければならないと思います。

未知への挑戦のためには大変難しい問題がいろいろとあるわけで、どういうふうの研究開発をやっていくかという管理体制の問題が大変重要だろうと思います。特に、ある程度の知見が蓄積した段階で、転進なり撤退を含めて意思決定をどう行えるかという保証が重要だろうと思います。

数年前 I E A の地球深層ガスのワークショップがありまして、私も脇田先生と一緒に参加したことがあるのですが、まだまだこの分野では本当に学際的な国際研究協力はほとんどないに等しいという感じがいたしました。このためには単に地質学者だけではなく幅広い研究が重要ですので、それをどう組織するかが大切だし、それに対して日本もある程度のリーダーシップをとればという感じがいたします。

この地球データベースにつきましては、もちろん進められているわけではありますが、企業の知的所有権に属する問題もあるのかもわかりませんが、次の世代のための国際的な公共財として何とか強化することが重要だろうと思います。

日本の電気事業の場合、現在電気事業収益の1.3%を研究開発に当てておりますが、これは世界の電気事業者の中でも大変高い比率ですけれども、一方、これは消費者が負担をするわけですから、消費者の理解と支援がなければできないわけで、そのあり方をめぐって、どう考えるかも重要な視点だろうと思います。

山村 先ほどのご質問に対して簡単に補足したいと思います。まず、炭層ガスの資源量のことのでていましたが、現在炭層ガスは、コストの関係で浅いところを掘っているわけです。例えば、石炭の埋蔵量にしても採掘の限度ということがありまして、全部の石炭を埋蔵量として勘定しているわけではなく、現在経済的に掘れる石炭の埋蔵量を考えているわけですから、その辺は今後の技術進歩によって変わってくると思います。

それから、ハイドレートですが、これは現実に回収しているのは、メタノールとカスチームを注入して回収していますが、パーマフロスト等の凍結地層の掘削に問題があります。私はその辺は専門ではないのですが、もしハイドレートがガスキャップになっているのであれば、その下のフリーガスから先に採っていけばいいのではないかなどと考えております。

小川 先ほど調査所の浦辺さんの話にもありましたが、この問題を地球科学という立場でもう一度整理してみたいと思います。例えば石炭や石油というのは、エネルギー源としては太陽のエネルギー、さらには地熱のエネルギーをもらいながら何億年かけて徐々に熟成して資源として今眠っているわけです。それをただか100年か200年で地上に取り出し

たわけですから、事が大きくなってしまった。これは、誰かが言っていましたけれども、電気回路をショートさせたようなもので、そこでスパークがとんだというふうを考えられると思います。本来なら、何億年もかかって循環するものを、100年ぐらいで戻したわけですから。問題は、地球システムのメカニズムそのものがまだ十分にはわかっていないということなのですが、そういうメカニズムをきちんとわからすということは、21世紀に向けて大変重要だと思います。

21世紀は、先ほど石井先生の話がありましたように、資源・エネルギーと環境問題とが、紙の表と裏である時代ということでありませう。多分、私も石井先生と同じ事を考えているのですが、環境と資源と、どちらがより人間にとってボトルネックかという、やはり資源の問題だろうと思います。環境の問題というのは、対応の仕方があるけれども、資源の問題は対応の仕方がないのではないかと、いうふうに感じられます。そういう意味で、できるだけ省資源が重要でありますし、それから資源を多様化する、例えば地熱であるとか太陽であるとか、多様化するということは重要だろうと思います。

先ほど、コールベットメタンの資源量はどうかという話がありましたが、例えば20%というのは、小さくて何だという話になるだろうと思うのですが、20%であっても、少しずつ落葉拾いをしながら全体としてエネルギーを確保するという事は、大変重要なのではないかと思います。したがって例えば、炭酸ガスを石油を使って固定するなんていうのはとんでもない話でして、炭酸ガスの固定であれば、太陽熱と地球の熱を使って固定する。

もう少し地球そのものが持っている摂理といひますか、自然そのものを考えながら資源と環境というものを考えていくべきではないかというふうに日頃思っているわけです。

飯山 きょうのシンポジウムで扱われた問題は、いずれも割りに新しいエネルギー源の問題であって、これから探査・開発をやっているかなくてはならない。その場合に、私はいつも非常に思うのですが、日本の場合には諸外国で行われている方法をまずお勉強なさって、そこから考えていくという形が多いのです。しかし諸外国の場合、アメリカとかヨーロッパでやるときに、最初にやった人はどうするのかということを考えていただきたいと思うのです。自分でもってまず考えてみるということ、それから後で、それが果してどうかということを経験の例を調べてみるということのほうが、新しい難問解決の方法が出てくるのではないかと、私はよく思うのです。

また同時に為政者の側でもそういうことでして、まず外国の例を引いてみると、割りと簡単に実際に試してみたりできるけれども、全く新しいことをやってみようとするとき非常に抵抗を受ける。なるべくそういう体質から脱却していただきたいと私は思うのです。

それから、環境問題に関して話が出てきたので、私の考え方として申し上げたいのは、人間という存在は、環境に全然影響を与えないで生きていくということはほとんど不可能な存在であるということの認識をまず一般人に徹底することが必要だということ。そのことをちっとも言わないで、あたかも環境に影響を与えることが悪いようにいう。そうではなくて、人間はみな環境に対してある程度のダメージを与えているのです。ただ、それ

がリバーシブル（もとに戻りうる）か、イリバーシブルのところでいっているかを認識することが非常に大事だと思います。

司会 私自身は本日は冒頭に1時間ほど頂戴して既に講演をしましたので繰り返す気はありませんが、人間が50億人、それから21世紀には100億人になるかもしれないといえます。私は、個人的な感想ですが、エネルギーと資源から考え地球には100億人の収容能力が本当にあるのかという疑問を持っています。私はエネルギーの供給サイドに10数年いた経験から、石油を探すエネルギーを供給するという仕事は生易しい仕事ではないのです。

幸いに、今まで日本は比較的安いエネルギー源を、選びながら買うことができました。それが日本の高度成長の最大の力であったわけです。

しかし、エネルギーというのはやはり有限ですし、自然エネルギーは地球に優しいエネルギーといわれますが、その本格的な利用は非常に難しいわけです。

世界の人口が100億人に本当に到達するかということは、私は21世紀の半ばには生きておりませんのでそれを見ることはできませんが、私は毎日東京大学で若い学生を相手に教育をしている立場から学生の若いあどけない顔を見ながらいつも思うことは、本当に彼らはどうすれば生きていけるのかと本気で気になります。

そういうことで、地球の環境保全についても、本当に保全できるものと、人間が大量に生きていく以上、地球にやはり何かの影響を与えざるを得ない部分とがあると思います。

私は、いろいろな機会に多くの国を訪問します。例えば、ニュージーランドですが、こ

れは非常に美しい国であります。日本のほぼ3分の2の面積ですが、人口はたった350万人しかいない。ところが、羊が6,000万頭もいるのです。首都から国際空港がありますオークランドに飛ぶとわかりますが、山にほとんど木がありません。羊の放牧のための牧草地になっています。非常に美しい環境保全の先進国と我々が思っているニュージーランドでも、やはり人間が生きていくため山に木がないという状態が来ているわけです。

そういうことで、人間がどうすればこれからも生き続けられるか本気で考える必要があります。またいま大量のゴミを捨てていますが。これは資源エネルギーの大量な浪費だと思います。私の専門は自然科学系ですが、それではその大量消費をしなくなったときに、経済はどのようになるのだろうと思います。私は経済はわかりませんので、そういうふうな疑問をしばしばいろいろな経済学者に聞いてみても、なかなかよく理解できる答えは返ってまいりません。

私は、午前中「21世紀を支える天然ガス」ということで話をさせていただきましたが、実は私の本当のモットーは、「21世紀は地球の世紀」ということであります。地球の将来を考える場合に、非常に大量の人口が大量の資源エネルギーを使い、それでも環境を守って行かなければならない。自然科学、工学、技術、あるいは人文社会科学のような細分化された学問体系はもう何もできなくなってるのではないだろうか、というような気持ちを強く持ちます。「21世紀は地球の世紀である」、これからは新しい広い意味の地球学が必要であるということを常日頃考えているわけです。

私事になりますが、私は最近、石油公団の『石油の開発と備蓄』というジャーナルに「エネルギーと地球環境」という題で数回にわたって論文を書いています。これからは単眼思考では人類の問題は解決できないということで、いろいろな方がフリーに意見が言えるような社会にならなければいけないと考えています。

日本という国は、なんとなくある種の空気ができ上がりますと、その空気に浸っているのが一番安易で誰からも、怒られないですみます。しかしもうそういうことでは済まなく

なっていると思います。先ほど飯山先生がおっしゃっておられましたが、外国でこうやっているから日本でも、という発想ではなく、我々が何をすべきかという主体的な発想がこれから必要なのではないかと考えております。

今日は非常に長時間にわたり、大勢の方にご参集いただきました。講演者の方々パネラーの方々からは大変に有益なお話をさせていただくことができました。本当にありがとうございました。

(終 了)

閉会の挨拶

吉澤 均 (勸エネルギー総合工学研究所専務理事)



本日は、皆さま極めてご多用中のところ第11回エネルギー総合工学シンポジウムに出席され、午後の部までご熱心に参加していただきましたことに対しまして、厚く御礼申し上げる次第でございます。

このエネルギー総合工学シンポジウムは、当研究所の調査研究事業の内容を、賛助会員となつていただいております企業や各団体の方々ならびに関係方面の有識者の方々にお知らせするという主旨で、毎年開催しているものでございます。

今回のテーマ「非在来型天然ガス資源の展望」は、ガス3社ならびに電力4社からのマルチ・クライアント・プロジェクトとして受託しました調査研究事業に関連して開かせていただいたところでございます。

午前中のご来賓、通商産業省末廣審議官殿のご挨拶にもありましたように、21世紀のエネルギー安定供給と地球環境保全の達成のためには、炭酸ガスを発生しないエネルギー源として原子力の開発、それから水力、太陽、風力などの再生可能エネルギーの開発を進めることの他、当面の対応措置としてはCO₂発生量の少ない天然ガスの利用の拡大を図ることが世界共通の傾向でございます。

この石油系天然ガスの可採埋蔵量につきましては、約54年という評価がなされており、資源枯渇に対する強い危機感が本日のパネラーの方々からも示されたところでございます。天然ガス資源量の拡大を図ることが極めて強い社会の要請となっているわけでございます。

本日のシンポジウムでは、このような非在来型天然ガスのうち、コールベットメタン、メタンハイドレートおよび深層天然ガスを取り上げ、内外の研究開発の動向と今後の展望を議論していただきました。

本日の議論の対象にならなかった事項として、これらメタンの輸送の問題がございます。従来のように液化してLNGの形で輸送する場合と、メタノールに転換して輸送する場合が考えられるわけでございますけれども、従来のLNGに加え、メタノールサイクルの我が国の本格的導入が数年のうちに近づいているように思われま

す。

今後我が国としては、官民の力を結集して中長期的観点からこれら非在来型天然ガス資源の開発、輸送システムの開発等の推進が強く要請されるところです。

本日ご出席の皆さま方の今後の事業活動あるいは研究活動に対し、本日の議論がご参考になれば大変幸いです。

最後に石井先生をはじめ各パネラーの皆様方、それから講師の方々に対しまして、長時間のご討論、それから場内からのご質問に対するご熱心なご回答説明を賜りましたこと、事務局より厚く御礼申し上げる次第でございます。

どうか会場の皆さま方、これらの諸先生方に盛大な拍手をもって感謝の意を表したいと思いますが、いかがでございましょうか。(拍手)

どうも皆さま御協力ありがとうございました。

私どもエネルギー総合工学研究所では、来年もまた、ちょうど時期は今頃でございますけども、第12回のエネルギー総合工学シンポジウムを開催したいと考えております。引き続き私どもの研究所に対し皆様方の力強いご指導とご支援をお願い致しまして、終わりの挨拶と致します。

それではこれをもって本日のシンポジウムを終了させていただきます

どうもありがとうございました。

研究所のうごき

(平成4年10月1日～12月31日)

いて

(通商産業省大臣官房企画室 企画主任
根井寿規氏)

◇ 第13回評議員会開催

日 時：11月17日(火) 15:00～17:45

場 所：経団連会館(9階)901号室

議事次第

1. 平成3年度 事業報告および収支決算
2. 平成4年度 事業計画および収支予算
3. 講演「ニュー・サンシャイン計画について」

(通商産業省 工業技術院 総務部
サンシャイン計画推進本部 技術審
議官(技術開発担当) 小林博行氏)

◇ 月例研究会開催

第96回月例研究会

日 時：10月30日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館6階 中ホール

議 題

1. 我が国の宇宙開発計画と環境監視
(宇宙開発事業団 企画室主幹
稲田伊彦氏)
2. 海水揚水発電技術開発について
(電源開発株式会社 建設部建設業務室
課長(新技術担当)川島由生雄氏)

第97回月例研究会

日 時：11月27日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館6階 中ホール

議 題

1. 原子力発電の安全を巡る国際的動向について
(通商産業省資源エネルギー庁公益事業
部 原子力発電安全企画官 古賀陽一氏)
2. 原子力発電に対する公衆の意識分析
(主任研究員 下岡 浩)

第98回月例研究会

日 時：12月18日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館6階 中ホール

議 題

今後のエネルギー環境対策のあり方につ

◇ 主なできごと

10月2日(金)・第2回中規模都市における未利用エネルギーを利用した高効率エネルギー供給システムモデル調査・WG開催

5日(月)・第1回分解軽油の利用拡大に伴うA重油品質のあり方に関する調査委員会開催

6日(火)・メタノール火力発電所の環境影響評価実証調査・東京電力(株)横須賀発電所 メタノール燃焼ガスタービン設備視察

・第1回高度負荷集中制御システム検討委員会・ロードマネジメント分科会

・低品位炭の低温乾留についてWG開催

9日(金)・第1回メタノール火力発電所の環境影響評価実証調査・ワーキンググループ

12日(月)・第1回分解軽油の利用拡大に伴うA重油品質のあり方に関する調査・システム分科会開催

・第3回軽水炉技術開発の方向に関する調査委員会開催

13日(火)・第3回原子力総合数値解析システム実用化調査委員会開催

15日(木)・第3回FBR F/Sプラント概念評価検討WG開催

16日(金)・第2回日本における原子力発電のマネジメントカルチャーに関する調査委員会開催

19日(月)・第3回FBR F/S要素技術評価検討WG開催

・第2回中規模都市における未利用エネルギーを利用した高効率エネルギー供給システムモデル調査分科会開催

・第1回高度負荷集中制御システム検討委員会・専門部会

・第6回21世紀の技術とエネルギー

- 一委員会
- 10月21日(水)・第2回高効率発電技術調査委員会
 ・第1回分解軽油の利用拡大に伴うA重油品質のあり方に関する調査・システム分科会WG開催
- 23日(金)・第1回分解軽油の利用拡大に伴うA重油品質のあり方に関する調査・エンジン分科会開催
- 26日(月)・第1回高効率発電技術調査・A-P-F-B-C発電システム打合せ
- 27日(火)・第3回エネルギー環境予測検討委員会開催
- 29日(木)・第1回コールベッドメタン利用に関する技術開発課題調査委員会
- 30日(金)・第2回地熱技術開発用高温高压実験装置検討委員会
 ・第2回実用発電用原子炉廃炉技術調査廃止措置物量等分科会開催
- 11月2日(月)・第2回地層処分研究会開催
- 4日(水)・第2回実用発電用原子炉廃炉技術調査廃棄物再利用分科会開催
- 5日(木)・第1回天然ガス技術に関する調査委員会開催
- 9日(月)・第2回FBR新技術フィージビリティスタディ調査評価検討委員会開催
- 10日(火)・第2回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会開催
 ・第2回自動車用CGTハイブリッドシステム検討委員会
- 11日(水)・第2回分解軽油の利用拡大に伴うA重油品質のあり方に関する調査・システム分科会開催
 ・第2回廃棄物発電に係る技術検討会
- 13日(金)・第3回原子炉安全数値解析高度化委員会開催
- 16日(月)・第1回火力発電プラントからのCO₂回収システムに関する調査委員会
- 17日(火)・第2回中規模都市における未利用エネルギーを利用した高効率エネルギー供給システムモデル調査委員会開催
- 18日(水)・第1回国際ウェイト・フォーラム'93準備委員会開催
- 20日(金)・第2回分解軽油の利用拡大に伴うA重油品質のあり方に関する調査・システム分科会WG開催
- 25日(水)・第1回HLW制度調査検討委員会開催
 ・第4回軽水炉技術開発の方向に関する調査委員会開催
 ・第1回天然ガス技術に関する調査・合同WG開催
 ・第2回分解軽油の利用拡大に伴うA重油品質のあり方に関する調査・エンジン分科会開催
 ・第2回分散型新発電技術実用化実証研究に関する調査委員会・幹事会
- 26日(木)・第7回21世紀の技術とエネルギー委員会
- 27日(金)・第2回メタノール火力発電所の環境影響評価実証調査・ワーキンググループ
- 12月1日(火)・第2回高度負荷集中制御システム検討委員会・ロードマネジメント分科会
- 2日(水)・第2回高度負荷集中制御システム検討委員会・システム分科会
- 10日(木)・第4回原子炉総合数値解析システム実用化調査委員会開催
- 11日(金)・第1回都市エネルギーセンター導入にかかわる調査・検討ワーキンググループ
- 14日(月)・第3回中規模都市における未利用エネルギーを利用した高効率エネルギー供給システムモデル調査分科会開催
- 14日(月)～15日(火)・第3回高効率発電技術調査委員会
- 16日(水)・第2回火力発電プラントからのCO₂回収システムに関する調査委員会
 ・第2回レーザー濃縮新技術経済性調査委員会開催
 ・第3回地層処分研究会開催

- 12月17日(木)・第2回天然ガス技術に関する調査委員会(WG合同会議)開催
 ・第1回電力需要対策推進可能性調査委員会
 ・第4回FBR F/Sプラント概念評価検討W/G開催
- 22日(火)・第4回原子炉安全数値解析高度化委員会開催
 ・第2回HLW制度調査検討委員会開催
- 24日(木)・第8回21世紀の技術とエネルギー委員会
- 25日(金)・第3回日本における原子力発電のマネジメントカルチャーに関する調査委員会開催

◇ 人事異動

○10月1日付

(採用)

佃 豊 副主席研究員・プロジェクト試験研究部部长に任命

11月1日付

(採用)

杉本雄二 主任研究員に任命
 プロジェクト試験研究部に配属

12月1日付

(採用)

中丸寿男 副主席研究員に任命
 プロジェクト試験研究部に配属

◇ その他

新型原子炉プラントの設計と安全に関する国際会議 (ANP'92)

日 時：平成4年10月25日(日)～29日(木)

場 所：京王プラザホテル

主 催：日本原子力学会

(事務局 勸エネルギー総合工学研究所)

原子炉サブチャンネル解析に関する国際セミナー (ISSCA'92)

日 時：平成4年10月30日(金)

場 所：T I S グリーンフォーラム

主 催：勸エネルギー総合工学研究所

◇ 海外出張

- (1) 村野 徹専門役は、ストリパ計画国際シンポジウム出席のため、10月12日から10月20日の間、スウェーデンに出張した。
- (2) 原田義也主任研究員は、軽水炉の技術開発の方向に関する調査のため、11月12日から11月23日の間、アメリカ合衆国に出張した。
- (3) 樽本芳秀主任研究員は、次世代エネルギー供給利用システムの研究のため、11月15日から11月27日の間、イギリス、ドイツ、フランスに出張した。
- (4) 黒沢厚志研究員は、「第3回国際人口知能学会」参加および人工知能シミュレーション関連動向調査のため、11月15日から12月3日の間、アメリカ合衆国、スイスに出張した。
- (5) 楠野貞夫副主席研究員は、BWRサブチャンネル解析手法の高度化研究のため、11月16日から11月27日の間、イギリス、ベルギー、ドイツ、フランスに出張した。
- (6) 大塚益比古エネルギー技術情報センター長は、「APEC新エネルギーセミナー」参加のため、11月17日から11月19日の間、インドネシアに出張した。
- (7) 高倉 毅副主席研究員は、1992 FUEL CELL SEMINAR 調査団事務局として、11月28日から12月6日の間、アメリカ合衆国に出張した。
- (8) 津久井豊主管研究員は、FBR新技術フィージビリティ調査のため11月29日から12月11日の間、フランス、イギリスに出張した。
- (9) 敷地 明主管研究員は、リスク評価の調査のため11月29日から12月11日の間、フランス、イギリスに出張した。
- (10) 松沢忠弘副主席研究員は、コールベッドメタン利用に関する技術開発課題調査のため、11月30日から12月11日の間、オーストラリアに出張した。
- (11) 福井康博主任研究員は、高度負荷集中制御システムに関する調査研究のため、12月5日から12月19日の間、カナダ、アメリカ合衆国に出張した。
- (12) 石丸利道副主席研究員は、エネルギー将来技術・新規課題策定調査のため、12月13日から12月24日の間、イギリス、ドイツ、オランダ

ダ、フランスに出張した。

- (13) 原田義也主任研究員は、IAEA国際会議「新型原子力システムシンポジウム '93」ア

ジア地域準備会議出席のため、12月14日から12月16日の間、韓国に出張した。

編集後記

本号は1月号とはいいいながら、これがお手もとに届くころには正月気分はすでに消えていて新年のご挨拶というわけには参りませんが、本年もまた当研究所を宜しく願い申しあげます。

ところで来る4月には当研究所は創立15周年を迎える。山本寛理事長をはじめ所員および関係者一同、創立時の精神に立ち帰って頑張りたいといっており、その辺の事情については、15周年記念特集号となる次号をご期待いただきたい。

さて、本号は、非在来型天然ガスに関する特集号であり、昨年7月に開催した「第11回エネルギー総合工学シンポジウム—非在来型天然ガス資源の展望—」の記録である。

このテーマに関しては目下エネルギー関係者の多くが強い関心を寄せつつあって、おかげでシンポジウムは盛会裡に終了することができたのであるが、さらにシンポジウムの全容を資料として残すよう希望される声が多かった。その要望に応えるべく、本号をその特集号とした次第である。

基調講演の石井吉徳氏（東大）には、21世

紀における天然ガスの重要性について極めて広い視野からのお話をいただいた。

つぎに非在来型天然ガスの研究開発動向についての概要紹介のあと、非在来型天然ガスのうちの主な3種類のガス、つまり深層天然ガスとメタンハイドレートとコールベッドメタンについて三人の講師からそれぞれお話をいただいた。お三方には、その後に本号のためにあらためて執筆をお願いした次第であって、重ねてお礼を申しあげる。

そして最後にパネル討論会がもたれたのであるが、この部分については、編集の段階で、全体を読み易くする趣旨で若干手を加えたことをおことわりしておきたい。

天然ガスは二酸化炭素の放出割合の点で化石燃料中もっとも優れた燃料資源であり、したがって今後その需要量は世界的に目だって増加するものと予想される。そうなれば、これまで技術的あるいは経済的理由からあまり注目されることのなかった非在来型天然ガスに熱い視線が注がれるのも時間の問題かもしれない。（大塚益比古記）

季報エネルギー総合工学 第15巻第4号

平成5年1月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区西新橋1-14-2

新橋S Yビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷)和光堂印刷株式会社