

第9回 技術フォーラム

主催：先端エネルギー変換工学寄付研究部門 (AECE)

共催：エネルギー工学連携研究センター (CEE)

エネルギー・資源フロンティアセンター (FRCER)

日本のエネルギーの50年と今後

---過去の経験に学び確かな未来を---

日本の石油エネルギー資源の50年

- I フレッシュワード：石油との出会い(1963～)
- II 2度の石油危機との遭遇(1973～)
- III 原油価格低迷の失われた15年(1986～)
- IV ピークオイル論と近年の油価高騰(1999～)
- V まとめ：「江戸しぐさ」でわが国の
エネルギー安定供給のベストミックスを！

藤田 和男

東京大学名誉教授、芝浦工業大学客員教授

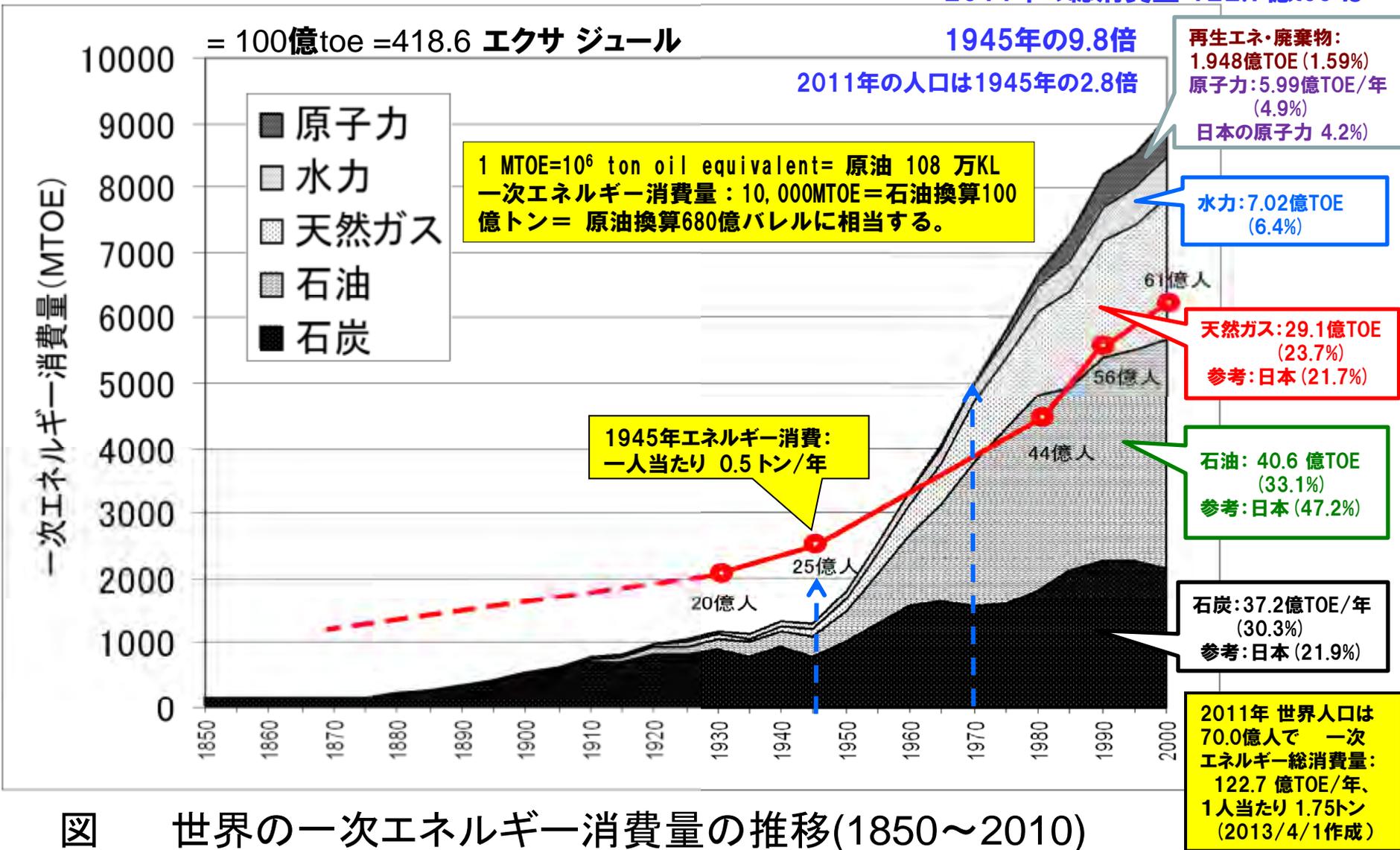
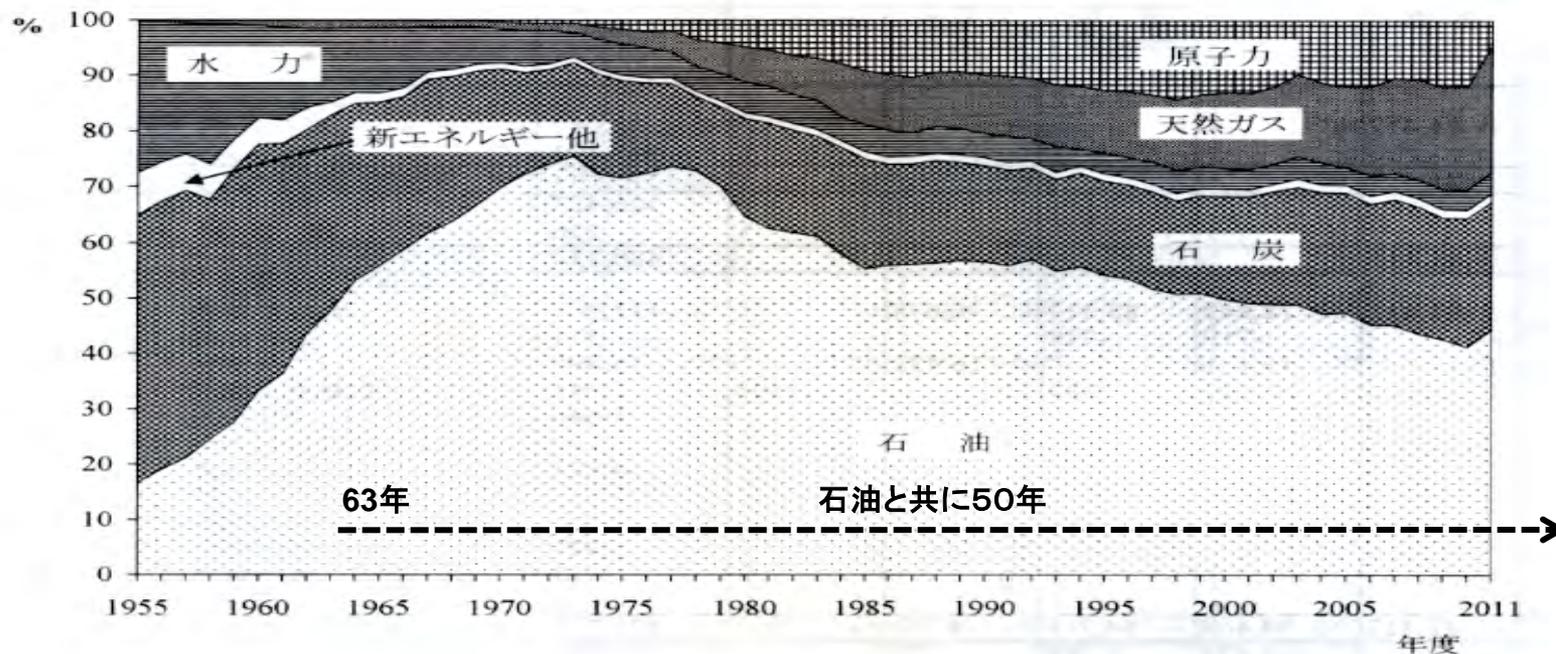


図 世界の一次エネルギー消費量の推移(1850~2010)

$1 \text{ MTOE} = 10^6 \text{ toe} = 10^{13} \text{ kcal} = 4,186 \times 10^{13} \text{ J} = 41.86 \text{ PJ}$

Source: BP Statistics 2011

わが国の1次エネルギー国内総供給構成の推移



年 度		1960	1970	1973	1979	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011
一次エネルギー国内供給 (10 ¹³ kcal)		95	297	358	386	393	466	521	535	541	513	489
構 成 比 %	石 油	33.4	69.9	75.5	70.1	55.4	56.6	54.3	49.9	47.5	41.3	44.5
	石 炭	44.2	21.3	16.9	14.2	19.6	17.3	16.9	18.4	21.5	23.2	23.0
	天 然 ガ ス	1.0	1.3	1.6	5.6	9.7	10.6	11.3	13.7	14.6	18.6	22.9
	原 子 力	0.0	0.4	0.6	4.1	9.1	9.8	12.6	12.9	11.9	11.8	4.4
	水 力	16.6	6.0	4.4	4.9	4.9	4.4	3.6	3.6	3.2	3.5	3.8
	新エネルギー他	4.9	1.1	1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5

出所: 経済産業省/EDMC「総合エネルギー統計」、EDMC推計

わが国の石油資源開発の略史

- 1873年（明治6年）長野県の石原周造氏がアメリカから機械掘りリグを輸入し善光寺、新潟県尼瀬で石油掘削がスタート（米国ドレーク井の14年後）
- 1877年（明治10年）工部大学校に採鉱・冶金学科創立
- 1933年（昭和8年）石油技術協会（学会）が創立
- 1941年（昭和16年）石油開発国策会社帝国石油が創立
- 1942年（昭和17年）帝大に石油学科[製油・採油]が新設
- 1945年 敗戦後、1950年帝国石油が民営化
- 1955年（昭和30年）石油資源開発(株) 半官半民創立
- 1958年（昭和33年）アラビア石油設立、石油学会創立
- 1961年（昭和36年）石油鉱業連盟が設立、
- 1962年 石油業法が制定、1962年 石油開発公団設立

わが国の石油資源開発の略史 (つづき)

- ・ 1964年（昭和39年） 鉱山学科が**資源開発工学科**に改称
[石油工学、鉱物工学、開発機械学コース]
(学徒藤田は第1回卒業生として1965年にアラビア石油へ入社)
- ・ 1966年（昭和41年）北スマトラ海洋石油開発が設立
- ・ 1973年（昭和48年）第一次石油危機、為替360¥/\$から
変動相場制に移行、その後円高基調のトレンド
- ・ 1975年に「インドネシア石油」(INPEX)に社名変更
- ・ 1979年（昭和54年）第二次石油危機
- ・ 1986年（昭和61年）原油価格低迷が1999年迄続く
- ・ 1994年（平成6年）**地球システム工学科**、大学院同専攻
の誕生 (この年の12月、藤田が母校に招聘される)
- ・ 2002年（平成14年）7月に石油公団廃止、代わって
- ・ 2004年2月に石油天然ガス・金属鉱物資源機(JOGMEC)

日本の中東石油開発の創業者



カフジ油田を発見した東大教授



日の丸原油の利権交渉はここから始まった！

1957年：サウジアラビア王国

1958年：クウェート首長国と

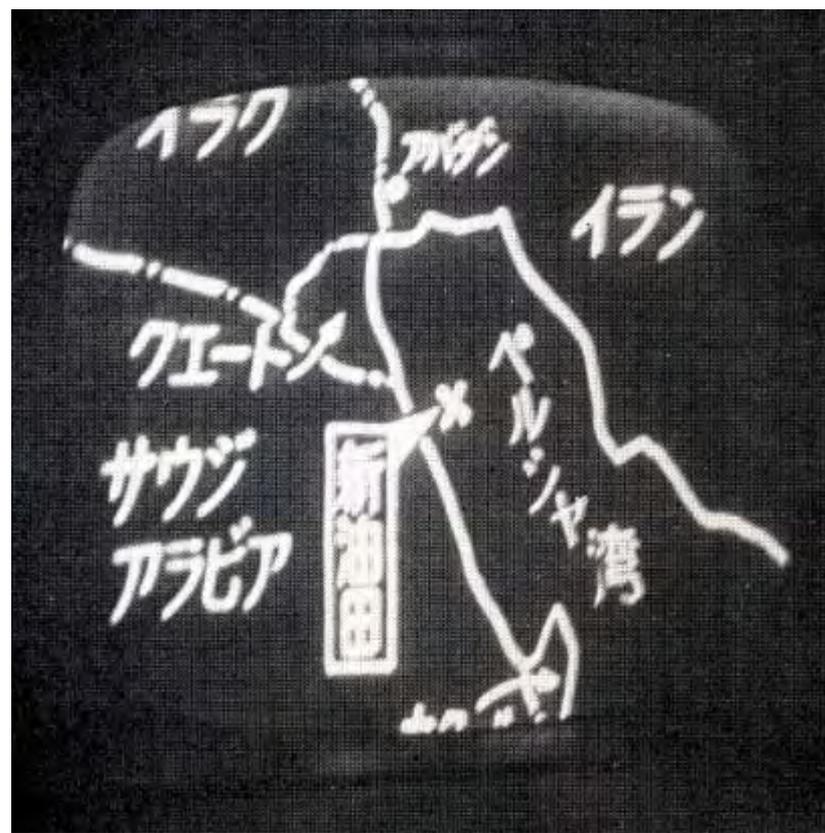
★1960年中東アラビア湾に世界有数の巨大カフジ油田を発見！翌年臨時生産施設から原油搬出開始、東証一部上場、アラビア石油が脚光浴びる。

★最盛期は日本の石油消費量の約5%に当たる日量27万B/Dを日本に持ち込み、石油危機の時代にエネルギーの安定供給に貢献した。

★2000年のサウジとの権益更新交渉に日本政府の後押しが得られず、決裂！43年の「日の丸油田」に幕。その後の原油価格4倍に急騰することとなることも知らずに！



今から50年余り前、アラビア石油の中東の巨大油田
発見を報じたNHKの白黒テレビ（1960年ごろ）

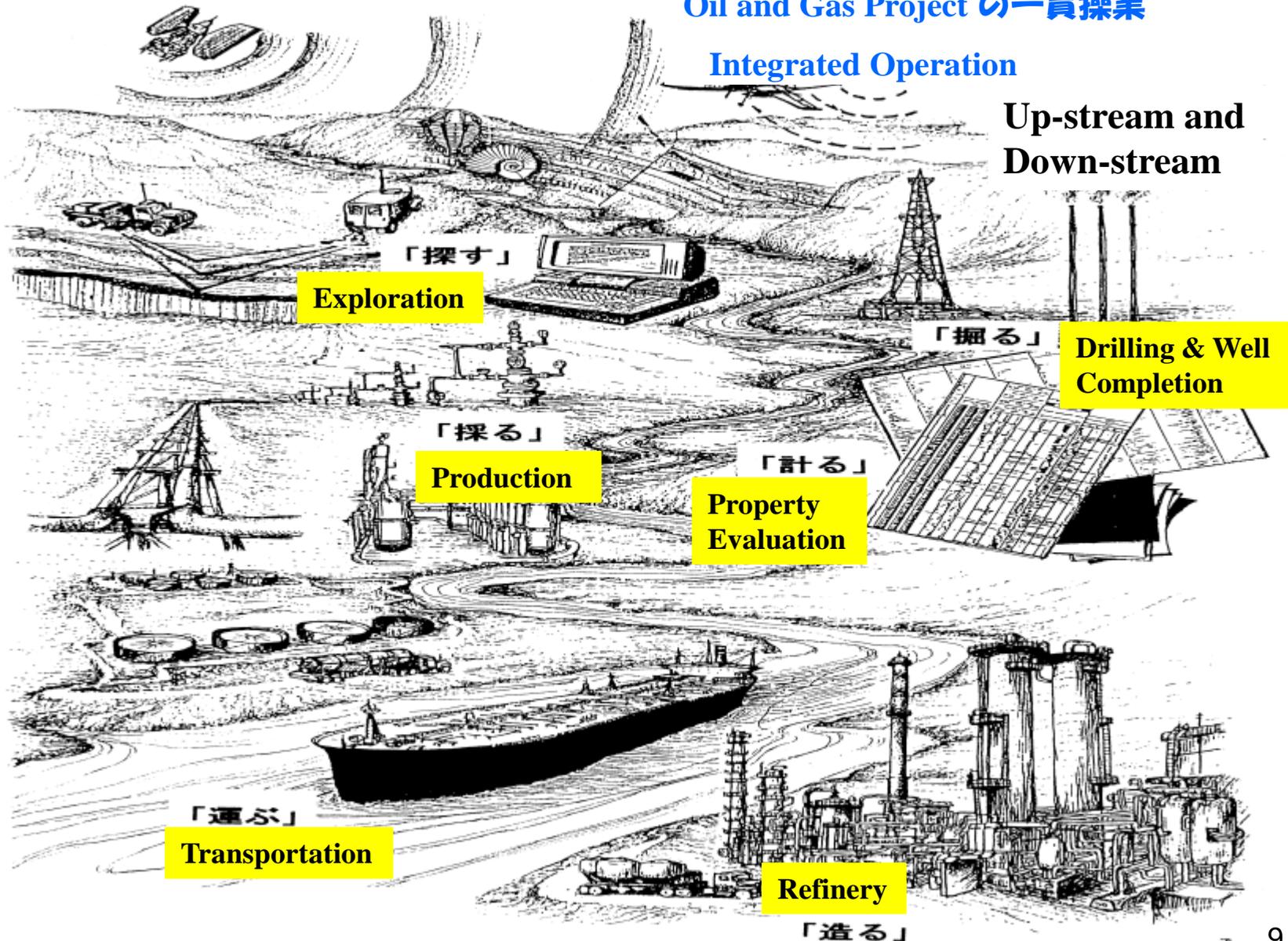


石油の“川の流れ”

Oil and Gas Project の一貫操業

Integrated Operation

Up-stream and Down-stream





شركة الزيت العربية المحدودة
ARABIAN OIL COMPANY, LTD

AOCは1980年代のピーク生産時代は日量35万バレルを誇り、一時は日本の自主開発原油の5割を担った。にも拘らず……2000年のサウジとの利権更新交渉に日本政府の支援が得られず、2003年にクウェートとの利権交渉にも失敗し貴重な利権を失う！



1961年2月のカフジ油田の生産開始以来40年間に累計約4億3,600万KL(約27億バレル)もの石油を日本へ安定的に供給した。この量は東京ドーム350杯分に相当。



一説ではアラ石の総可採埋蔵量は少なくとも80億バレル以上と推定、今までわが国に送った量とブラジル他の海外へ販売した約8億バレルを差し引いても、**残存可採埋蔵量は約45億バレルもの油**を棒に振ったのだ！



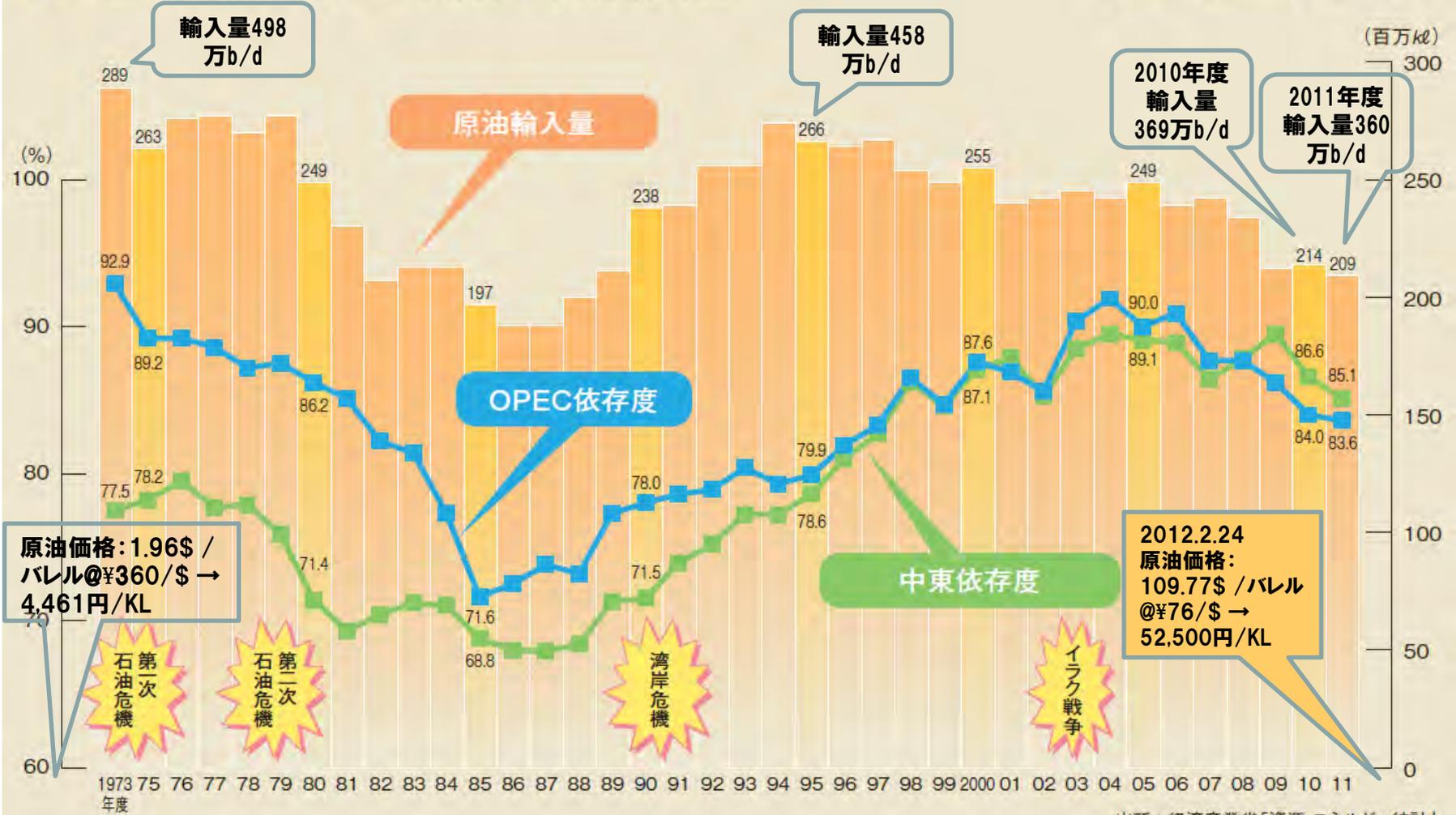
★ その後の4倍の油価高騰を思えば何たる失政を時の日本政府は犯したのか！
これこそ「油断」だ！

「石油と共に50年」

- I フレッシュロード：石油との出会い
- II 2度の石油危機との遭遇(1973～)
- III 原油価格低迷の失われた15年
- IV 近年の油価高騰とピークオイル論
- V まとめ：「江戸しぐさ」でエネルギー安定供給のベストミックスを！

わが国の原油輸入量とOPEC依存度・中東依存度の推移

単位：折線グラフは%、棒グラフは百万kl



原油価格: 1.96\$ / バレル @ ¥360/\$ → 4.461円/KL

2012.2.24
原油価格: 109.77\$ / バレル @ ¥76/\$ → 52,500円/KL

1965・72 就職 留学 帰国
74 アラビア カジ'油田赴任
82 渤海湾赴任
84 マレーシア駐在代表
89/90 東京大学工学部資源開発
95 芝浦工大大学院MOT
03
10

----- アラビア石油に30年 (内海外勤務15年) ----- ➔

出所：経済産業省「資源・エネルギー統計」

表 - 過去の緊急時における対応

出典: 今日の石油産業2011 石油連盟

危機から何を学んだ!

	第一次石油危機	第二次石油危機	湾岸戦争	ハリケーン「カトリーナ」被害
時 期	1973年10月～1974年8月	1978年10月～1982年4月	1990年8月～1991年2月	2005年8月～2005年12月
危機の経緯	第四次中東戦争を契機にアラブ石油輸出諸国の原油供給削減	イラン革命の進展によりイラン原油供給中断と湾岸におけるタンカー一輸送の途絶	イラクによるクウェート侵攻。イラクに経済制裁。湾岸戦争へ発展	大型ハリケーン「カトリーナ」による米国メキシコ湾岸エリアの石油関連施設への被害
一次エネルギー供給に占める石油の割合	77.4%(73年度)	71.5%(79年度)	58.3%(90年度)	50.0%(03年度) ※熱量換算による比較
原油価格上昇幅 〔危機直前とピーク時の比較(ドル/バレル)〕	アラビアンライト公示価格 3.9倍 $\frac{73年10月}{3.0} \rightarrow \frac{74年1月}{11.6}$	アラビアンライト・スポット (当用買い)3.3倍 $\frac{78年9月}{12.8} \rightarrow \frac{80年11月}{42.8}$	ドバイ・スポット 2.2倍 $\frac{90年7月}{17.1} \rightarrow \frac{90年9月}{37.0}$	ドバイ・スポット 1.1倍 $\frac{05年7月}{52.83} \rightarrow \frac{05年9月}{56.54}$
原油輸入価格 期中最高値 (CIF、円/ℓ)	21.5円(74年8月)	55.2円(81年8月)	27.6円(90年11月)	42.7円(05年10月)
ガソリン小売価格 期中最高値 (円/ℓ)	114円(75年5月) (注1)	177円(82年12月) (注1)	142円(90年11月) (注2)	131円(05年10月) (注2)
備 蓄 水 準	67日分(73年10月末) 民間備蓄:67日分 国家備蓄:ゼロ	92日分(78年12月末) 民間備蓄:85日分 国家備蓄:7日分	142日分(90年12月末) 民間備蓄:88日分 国家備蓄:54日分	170日分(05年9月末) 民間備蓄:80日分 国家備蓄:90日分
原油輸入量	2億8,861万kl(73年度)	2億7,714万kl(79年度)	2億3,848万kl(90年度)	2億4,181万kl(04年度)
わが国総輸入額に占める原油輸入金額のシェア(%)	23%(73年度)	43%(80年度)	19%(90年度)	20%(05年)
原油の中東依存度	77.5%(73年度)	75.9%(79年度)	71.5%(90年度)	89.5%(04年度)
為替レート (円/ドル)	298円(74年8月)	246円(82年4月)	128円(90年11月)	113円(05年10月)

石油代替エネ

石油埋蔵量の不確実性要因（山師の由縁）

(Uncertain and Ambiguous Petroleum Resources and Reserves)

1. 地下数千メートルの未知（Virtual Reality）なる間接的計量
2. 油田操業段階に採用できる鉱量評価手法の評価精度が高まり
探掘段階の評価報告値の誤りを生産段階に評価替え
3. 産油国の資源政策による恣意的評価報告が多々在りうる。
4. 評価対象原油の集計上の混同と誤解（NGL,LPG,超重質原油等）
5. 革新的技術進歩と有限枯渇の懸念からエネルギー価格が向上
することにより新たな確認埋蔵量の追加が期待される。

石油の埋蔵量の定義

確認埋蔵量 (Proved Reserves) : 地質学的、工学的データの解析により、ある時点以降に既知の貯留層から、現状の経済条件、開発技術および操業規制の下で、商業的に回収されることが「**合理的確実さをもって**」予測される石油の量。決定論的手法が用いられる場合、「合理的確実さをもって」とは、その量が回収される信頼度が90%程度と高いことを意味する。

推定埋蔵量 (Probable Reserves) : 地質学的、工学的データの解析により、「**おそらく(*more likely than not*)回収できる**」と考えられる**未確認埋蔵量**。地震探査ではっきりした油田の構造内部で井戸の排油半径の外縁に存在していると推定される埋蔵量。また、将来の技術開発計画の実施により期待される埋蔵量成長分はこの範疇に入る。その量の信頼度は50%程度(はなし半分)と思えば良い。

予想埋蔵量 (Possible Reserves) : 地質学的、工学的データの解析により、推定埋蔵量よりも回収量の信頼度は10%程度と小さい**近隣の延長上の構造内や、未探鉱地域に「あるかもしれない」未確認埋蔵量**。

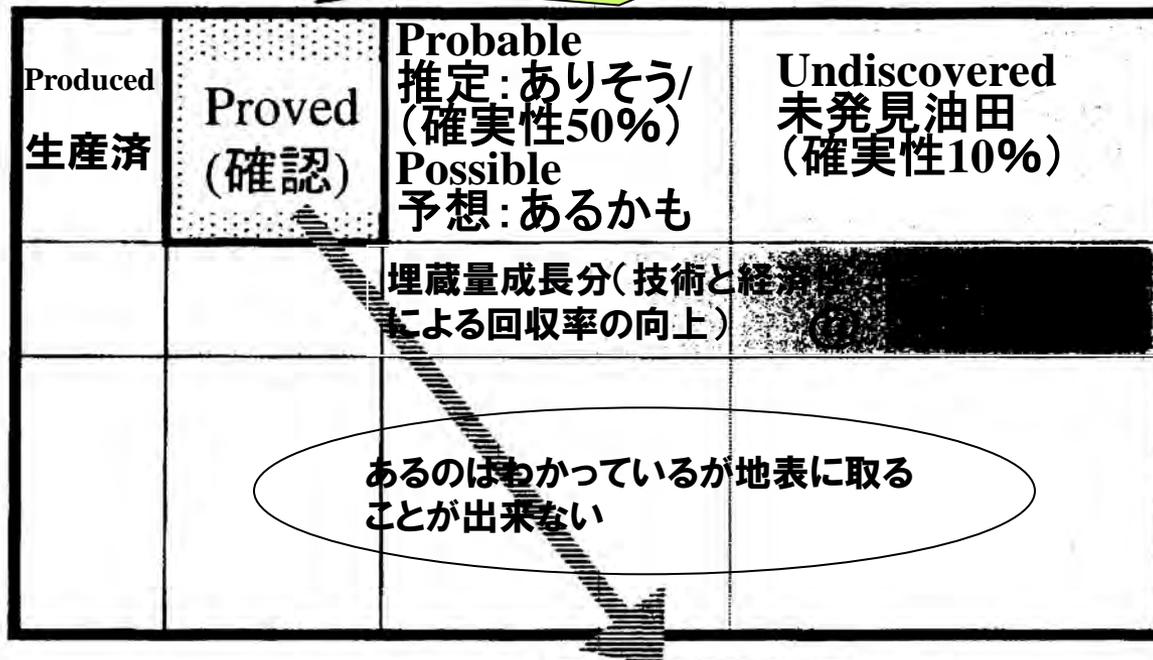
近年各種の資料等で **2P Reserves**, **3P Reserves** 等の表現を見かける。これは上記の確認埋蔵量(Proved Reserves)、推定(Probable)、予想(Possible)の頭文字がいずれもPであることに由来する表現で、**1 P** = Proved Reserves、**2 P** = Proved + Probable Reserves、**3 P** = Proved + Probable + Possible Reservesを意味する。予想埋蔵量を3Pと呼ぶのは誤用である。

原油の可採年数とは！ McKelvey Diagram

2010年末の世界石油の確認埋蔵量は1.20兆バレル～

地球上の過去の累計総生産量は約1.17兆バレル、究極資源量は約3.3兆バレル

究極資源量 = 生産済 + 確認埋蔵量 + 推定/予想 + 埋蔵量成長 + 未発見資源量



原始埋蔵量はUSGSの推定で約8.61兆バレル、回収不能油量は61.7%である。

2010年の原油生産量は約293億バレルであるから
(含むNGLが11.8%)
= 1兆2018億 / 293億
= 41.0年分

$$\text{可採年数(年)} = \frac{\text{確認埋蔵量(R)}}{\text{その年の供給量(P)}}$$

石油はあと何年使えるの(可採年数)?

$$\frac{\text{[前年末のR} \pm \Delta R \text{(埋蔵量の増減分)]}}{\text{[前年次のP} \pm \Delta P \text{(生産量の増減分)]}} = \frac{\text{Reserves(埋蔵量)}}{\text{Production(生産量)}} = r : \text{[R/P Ratio、可採年数]}$$

(例)

この他に埋蔵量成長分として
16.6年分が期待される。

この他に埋蔵量成長分として
14.0年分が期待される。

1979 年末 (石油危機当時)	2005 年末 (前回の石油鉱業連盟スタディ 2007)	2010 年末 (今回の石油鉱業連盟スタディ 2012)
R=6,500 億バレル	**) 11,138 億バレル(原油 10204+NGL 934)	12,018 億バレル (原油+NGL)
r = $\frac{R}{P}$ = 29 年	r = $\frac{R}{P}$ = 37.6 年	r = $\frac{R}{P}$ = 41.0 年
P= 228 億バレル (約 6,250 万 b/d)	*) 296 億バレル(原油 263 + NGL 33) (約 8,109 万 b/d) NGL 11.3%	293 億バレル(原油 258.4 + NGL 34.6) (約 8,027 万 b/d) NGL 11.8%

内訳: 原油 7,195 万 b/d , NGL 914 万 b/d	原油 7,079 万 b/d , NGL 948 万 b/d
(原油の内訳: 在来型 6,853 万 b/d	(原油の内訳: 在来型 6,628 万 b/d
EOR 174 万 b/d	EOR 179 万 b/d

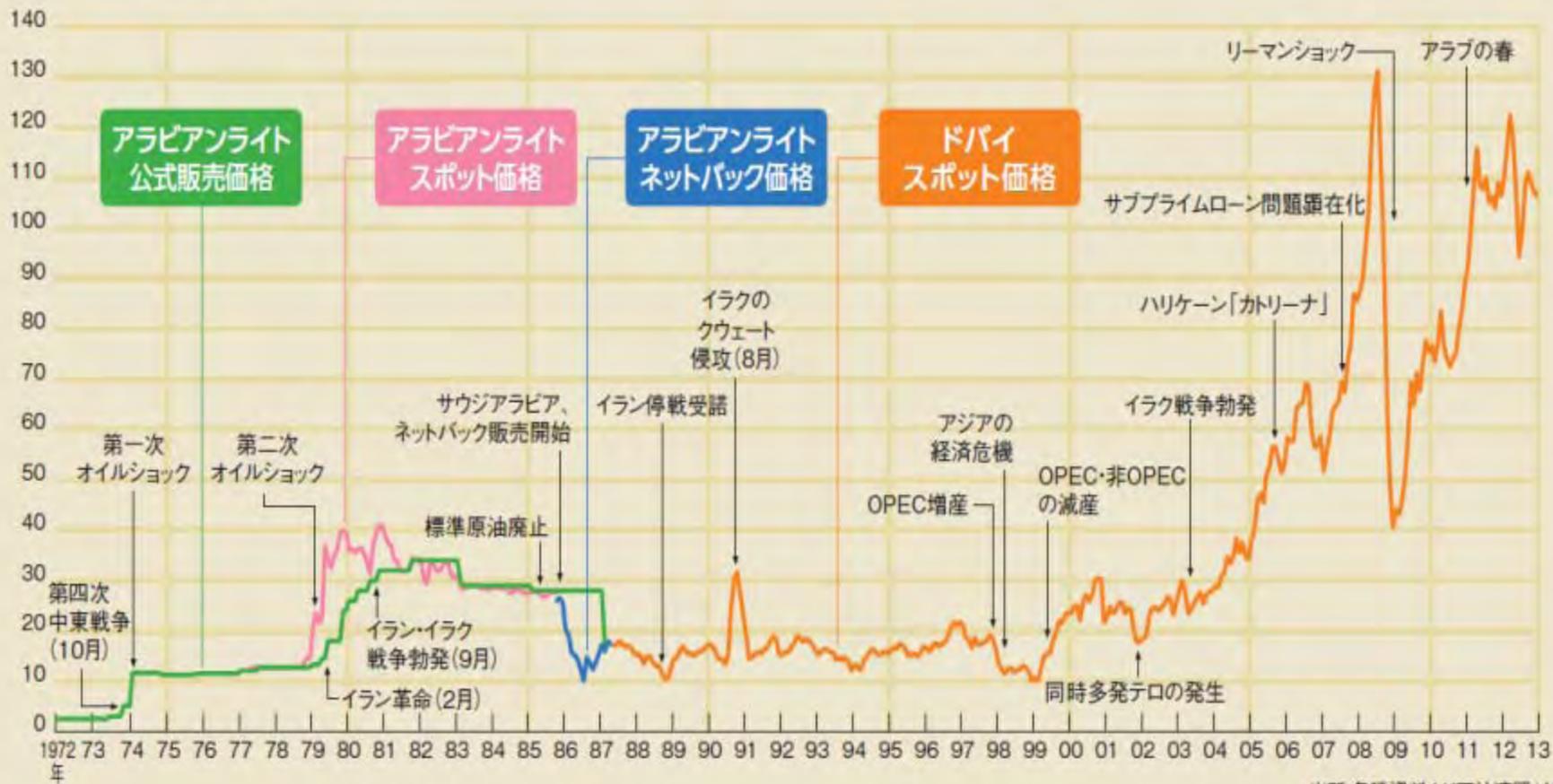
(注) **) 琵琶湖の満水量の6杯分	超重質油 オイルサント` 106 万 b/d	超重質油 オイルサント` 150 万 b/d
(注) *) 東京ドームの3,000杯分	オリノタール 62 万 b/d)	オリノタール 122 万 b/d)

「石油と共に50年」

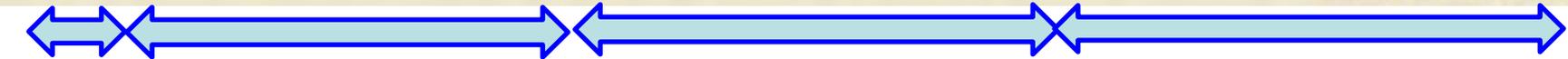
- I フレッシュリユード：石油との出会い
- II 2度の石油危機との遭遇
- III 原油価格低迷の失われた15年(1986～)
- IV 近年の油価高騰とピークオイル論
- V まとめ：「江戸しぐさ」でエネルギー安定供給のベストミックスを！

原油価格の推移(月平均)

単位:ドル/バレル



出所:各種資料より石油連盟が作成



低油価時代 **第一次構造変化時代**
 1~2ドル/バレル 2度の石油危機

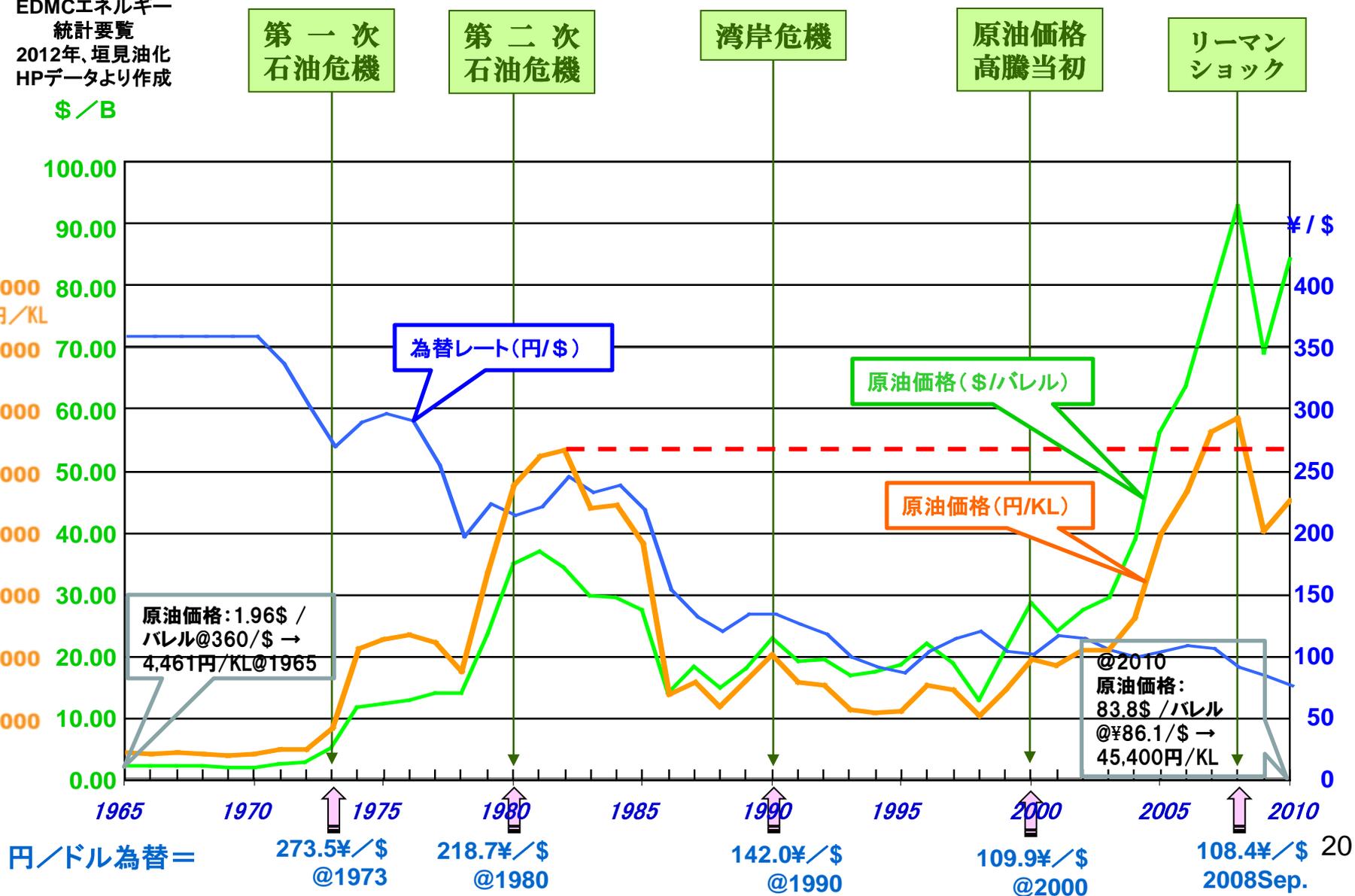
原油価格低迷時代
 13~19ドル/バレル

第二次構造変化
 構造的需給逼迫、油価高騰

図- わが国輸入原油CIF価格の推移

(CIF: Cost, Insurance and Freight)

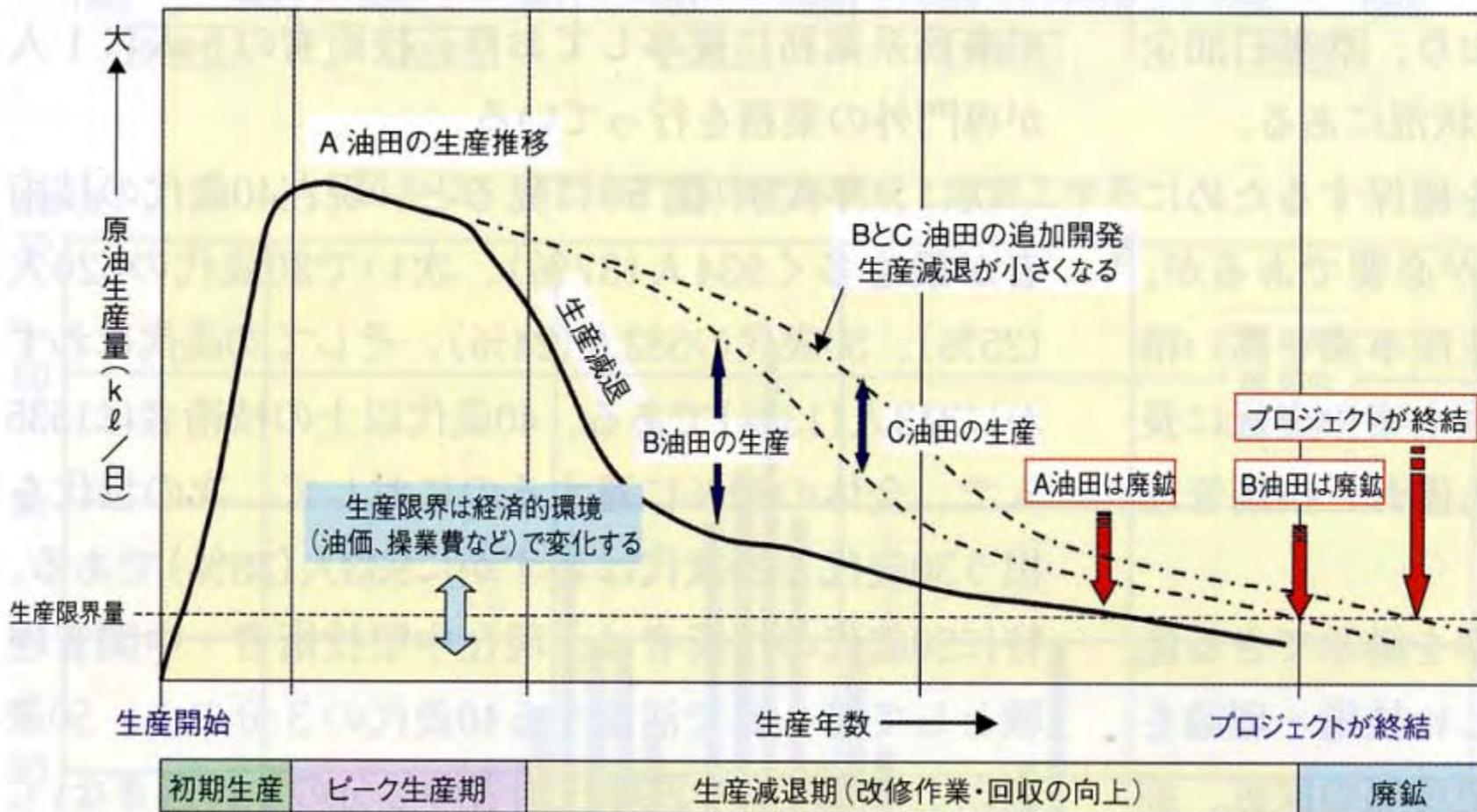
EDMCエネルギー
統計要覧
2012年、垣見油化
HPデータより作成

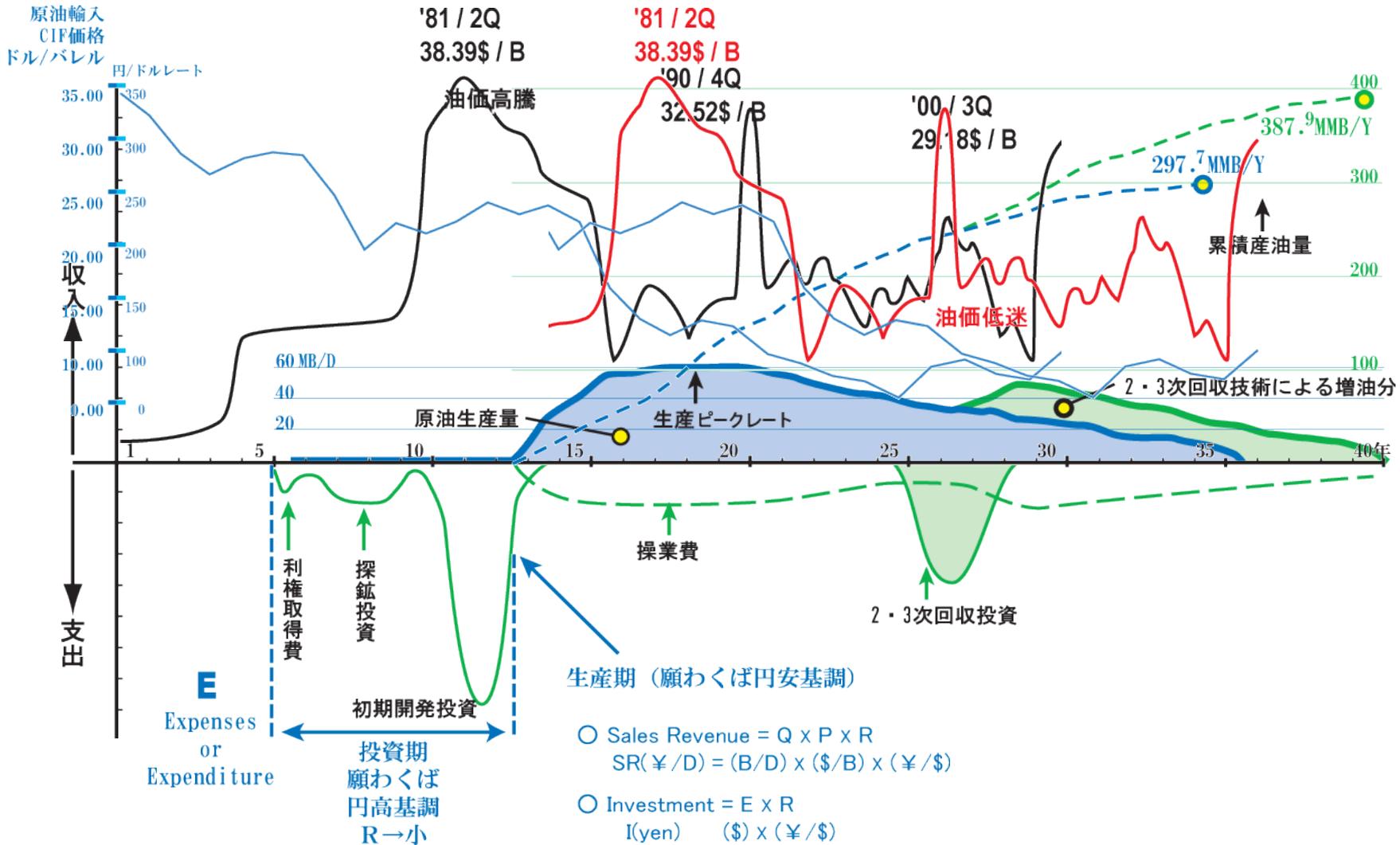


石油・ガス開発事業の特性

- ① 数億～数10億ドル規模の巨額な資金を要し、出油しても売り上げキャッシュフローが入るまでのリードタイムが5～10年と長い。
- ② 商業量発見の確率が低く、経済的リスク、カントリーリスクが高い事業。市中銀行から融資は難しい。
- ③ 資産である埋蔵量(Reserves)は毎年の生産販売により枯渇するので、新規の探鉱・開発投資なくして企業の存続なし。
- ④ 石油・天然ガス商品は国家・社会・産業の原動力である。事業は国策的使命をもつ。政府間の国際協調なくして安全生産や安定供給は不可能。
…… ここが通常の企業の新規プロジェクトとの違いです。

生産油・ガス田の生産量推移(概念)





「石油と共に50年」

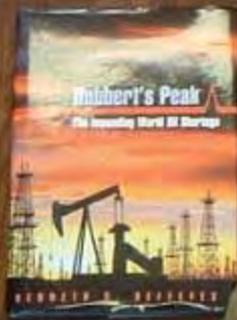
- I フレッシュロード：石油との出会い
- II 2度の石油危機との遭遇
- III 原油価格低迷の失われた15年
- IV ピークオイル論と近年の油価高騰(1999～)
- V まとめ：「江戸しぐさ」でエネルギー安定供給のベストミックスを！

恩師
淵田隆門先生



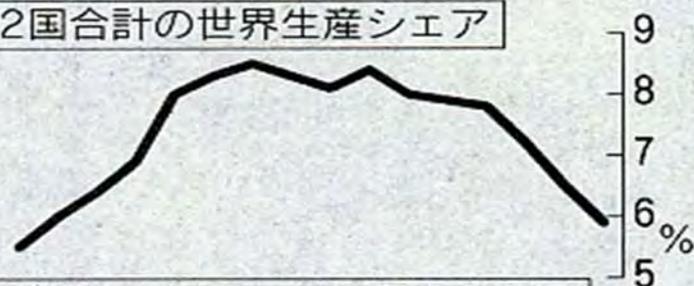
年度末の桃の節句のご多忙な折に、皆様ようこそ本郷までおこしいただき誠にありがとうございました。皆様のご支援のお陰でどうにかこの日を迎えられるまし。本当にありがとうございます。

2003年 春

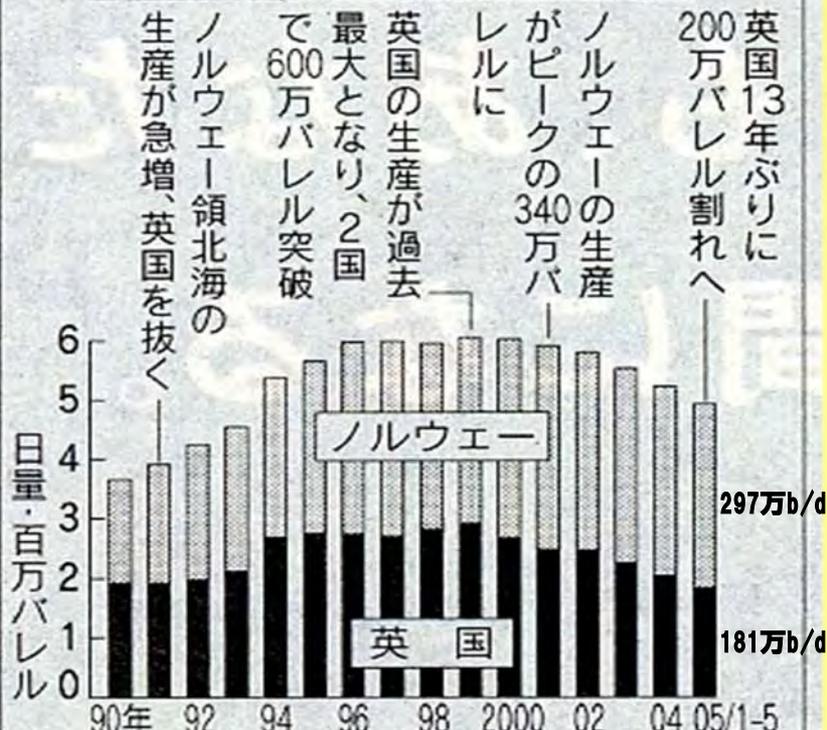


欧州2大産油国、英国とノルウェーの原油生産量

2国合計の世界生産シェア



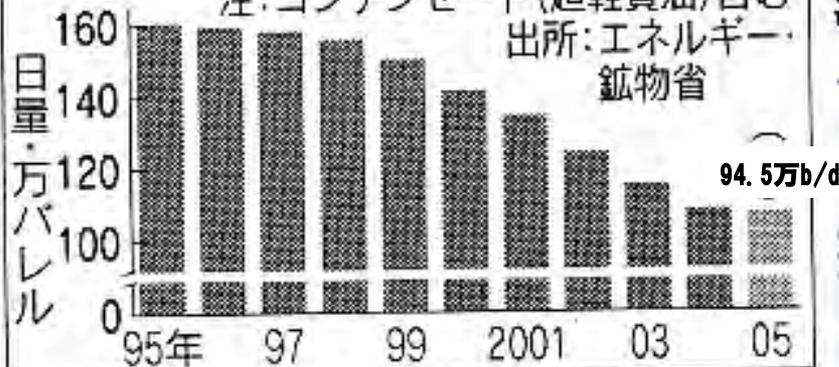
英国、ノルウェーの原油生産量



(注) BP統計などから作成。05年1-5月は英、ノルウェー政府発表の速報値

インドネシアの原油生産量

注: コンデンサート(超軽質油)含む
出所: エネルギー・鉱物省



インドネシアの主な原油・ガス田



▶ 北海の石油生産量推移 (英国とノルウェー2カ国合算)



▶ アラスカの石油生産量推移



表1 ●主要産油国の残存埋蔵量・既探掘量・生産ピーク年

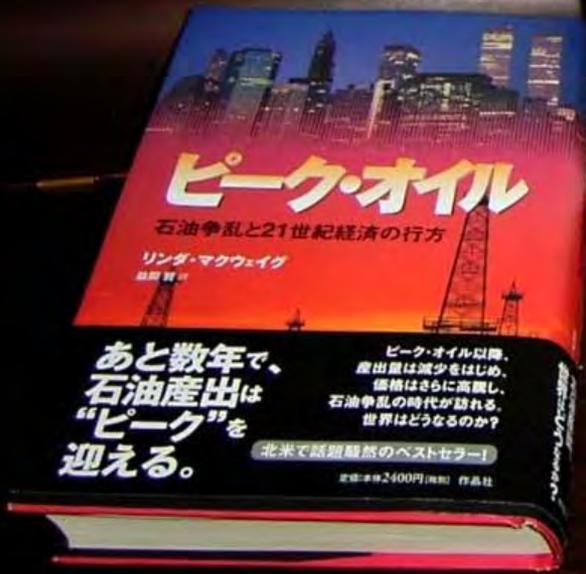
単位は十億バレル
シェール油とタール・サンドは含まれていない

国名	残存埋蔵量	既探掘量	生産ピーク年				
サウジアラビア	262	97	2008年	カナダ	7	19	1973年
イラク	112	28	2017年	オマーン	5	7	2001年
アブダビ	98	19	2011年	アンゴラ	5	5	1998年
クウェート	96	32	2015年	インドネシア	5	20	1977年
イラン	90	56	1974年	英国	5	20	1999年
ベネズエラ	78	47	1970年	エクアドル	5	3	2004年
ロシア	60	127	1987年	インド	5	6	1997年
アメリカ合州国	30	172	1971年	イエメン	4	2	1999年
リビア	29	23	1970年	エジプト	4	9	1995年
ナイジェリア	24	23	2006年	オーストラリア	3	6	2000年
中国	18	30	2003年	マレーシア	3	6	2003年
カタール	15	7	2000年	アルゼンチン	3	9	1998年
メキシコ	13	31	2003年	シリア	2	4	1995年
ノルウェイ	10	17	2001年	ガボン	2	3	1996年
カザフスタン	9	6	2033年	コロンビア	2	6	1999年
アルジェリア	9	13	1978年	コンゴ	1	2	2001年
ブラジル	8	5	1986年	ブルネイ	1	3	1978年

Sonia Shah, *Crude: The Study of Oil*. London: Verso, 2004. p.177-178. より。

② ポール・ロバーツ著、久保恵美子訳
「石油の終焉 (The End of Oil)」
(初版 2005.5.30)

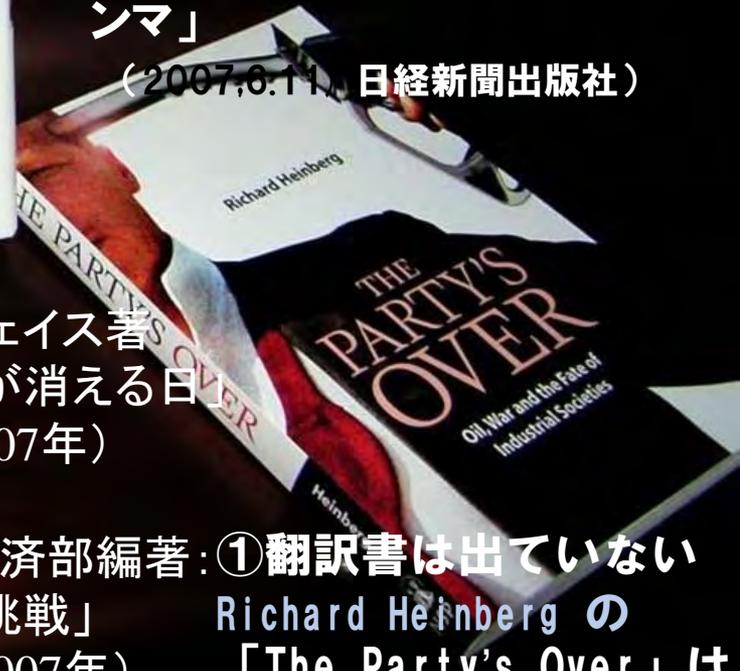
③ リンダ・マクウェイグ著、
益岡賢 訳「ピーク・オイル
ー石油争乱と21世紀経済の行方
(IT'S THE CRUDE, DUDE War,
Big Oil and the Fight for the
Planet)」(初版 2005.9.1)



④ピーター・ターツァキアン著、
東方雅美他 訳「石油最後の
1バレル (A Thousand
Barrels A Second)」

⑤ マーシュ・R・シモンズ著、
月沢李歌子訳「投資銀行家
が見たサウジ石油の真実
(Twilight in the Desert)

⑥ 山下真一著「オイル・ジ
レンマ」
(2007.6.11) 日経新聞出版社)



⑦ケネス・S・ディフェイス著
秋山淑子訳「石油が消える日」
ぱんろーりんぐ (2007年)

⑧産経新聞東京経済部編著：
「資源小国日本の挑戦」
産経新聞社出版(2007年)

①翻訳書は出ていない
Richard Heinberg の
「The Party's Over」は
石油の世紀の終焉を
暗示している。

⑨ 石井 彰著「石油 もう一つの危機」
(2007.7.30) 日経BP社

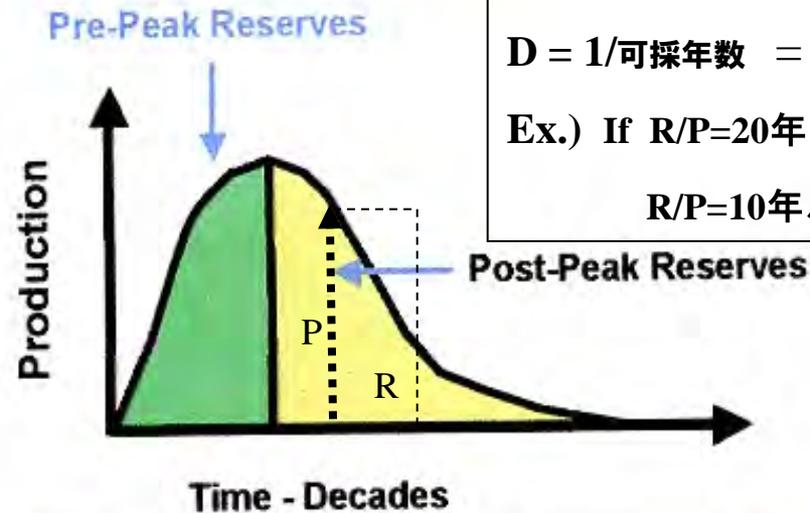
Peak Oil : Oil Peaking とは？

- 世界の**在来型石油**の供給が限界に達し、下り坂に転じ、石油需要の増加に追いつかなくなる状態を指す。(需給の逼迫が起こる時期)
- **在来型石油**とは現在の市場に販売されている原油の90%程度で、通常の開発・生産技術で供給される、100cp以下の低粘性の石油。
- 地質、油層工学上のOil Peakingは物理的には最大生産が可能であるが、産業界での枯渇の時期Oil Peakingはより低い生産レートで起こる。

“Understanding Peak Oil: Concept & Misconceptions” by Dr.R.H.Hirsch

Reserves Before & After Peaking Differ in Value

(Notional Oil Field)



Depletion Rate: D

$$D = 1/\text{可採年数} = 1/(R/P) = P/R$$

Ex.) If $R/P=20$ 年、 $D=1/20=0.05=5\%$,
 $R/P=10$ 年、 $D=1/10=0.10=10\%$

- Let us designate the reserves that exist in an oil field up to the production peak as **Pre-Peak Reserves**. Reserves after peak call **Post-Peak Reserves**.
- **Pre-Peak Reserves** are of greatest importance because they can contribute to growing world oil demand.
- **Post-Peak Reserves** are important but they represent a decrease from total world oil production.

資源枯渇説に基づくハバート (M. King Hubbert) 曲線

ベルギーの数学者Verhulstが1845年に人口増加則として導入したロジスティック曲線に基づいており、次の式で表される。

* Logistic population growth: $(dN/dt)/N = r (k - N)/k \dots \dots \dots \textcircled{1}$

N: 現在までの累計人口、 k : 究極的に地球上に発生する人口、 r: 変化率

* 油田の供給量の場合: $(dQ_p(t)/dt)/ Q_p(t) = D (Q_T - Q_p(t))/ Q_T \dots \textcircled{2}$

累計生産量: $Q_p(t) = Q_T / [1 + \text{Exp} \{-D (t - t_m)\}] \dots \dots \textcircled{3}$

Q_T : 究極可採資源量, D : 生産量の減退率, t_m : 生産量のピーク時点

生産量: $q(t) = dQ_p(t)/dt$

$$= Q_T \cdot D \cdot \text{Exp} \{-D (t - t_m)\} / [1 + \text{Exp} \{-D (t - t_m)\}]^2$$

(いわゆる $q(t)$ vs. t は **Bell Shape Curve** になる) ④

* 発見資源量レート(dQ_n/dt)のピークにT年遅れて生産量(dQ_p/dt)のピークが訪れると見られる。(ハバート曲線に乗る米国の実績推移)

$$\text{New Reserves} = \text{Old Reserves} - \text{Production} + \text{new Discovery}$$

$$R_n = R_{n-1} - \Delta Q_{p_n} + \Delta Q_{n_n} \dots \dots \textcircled{5}$$

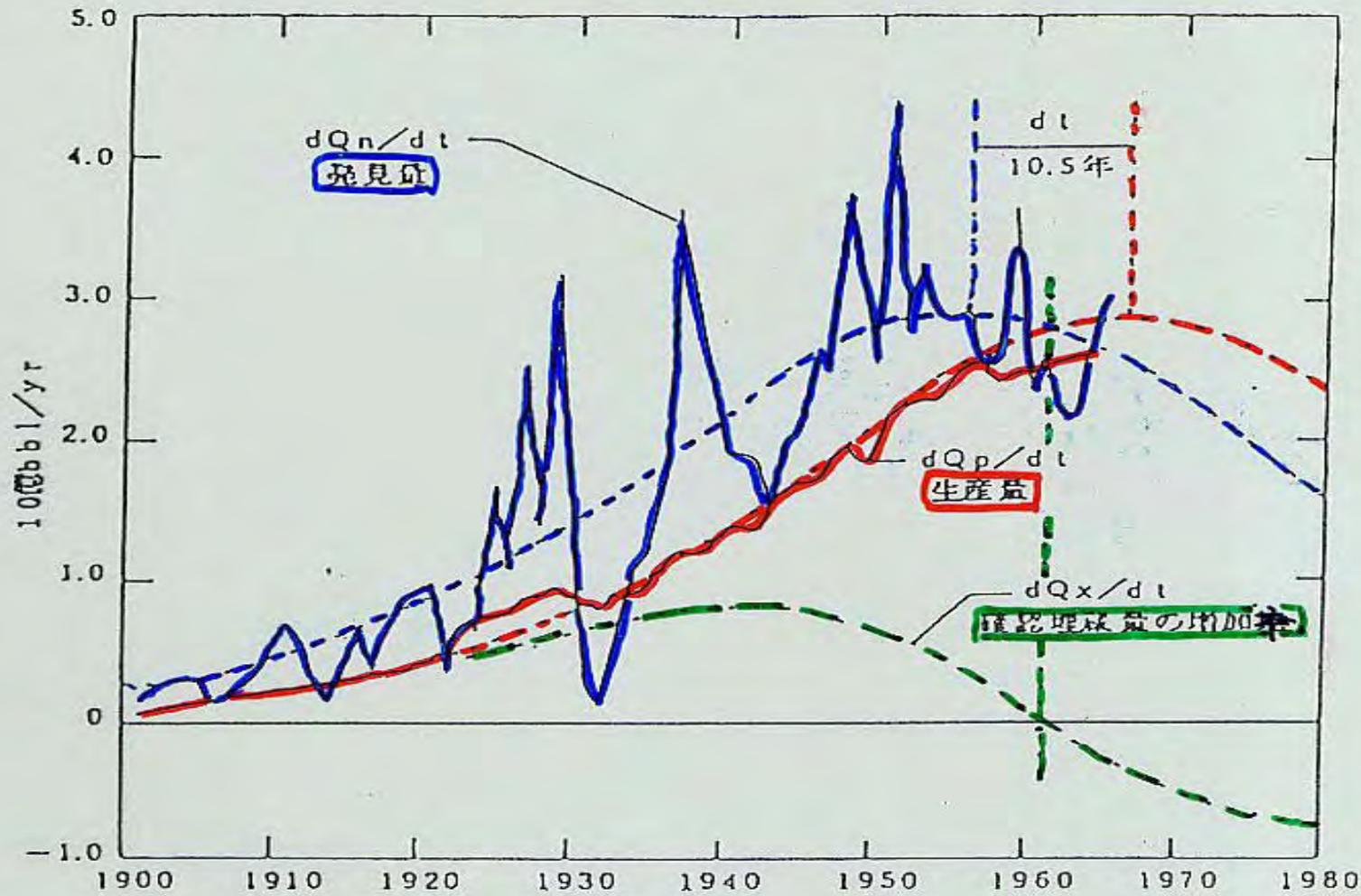
$$[R_n - R_{n-1}]/\Delta t = \Delta Q_{n_n}/\Delta t - \Delta Q_{p_n}/\Delta t \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

残存埋蔵量の年次変化率 = 発見資源量の年次変化率
 - 生産量の年次変化率

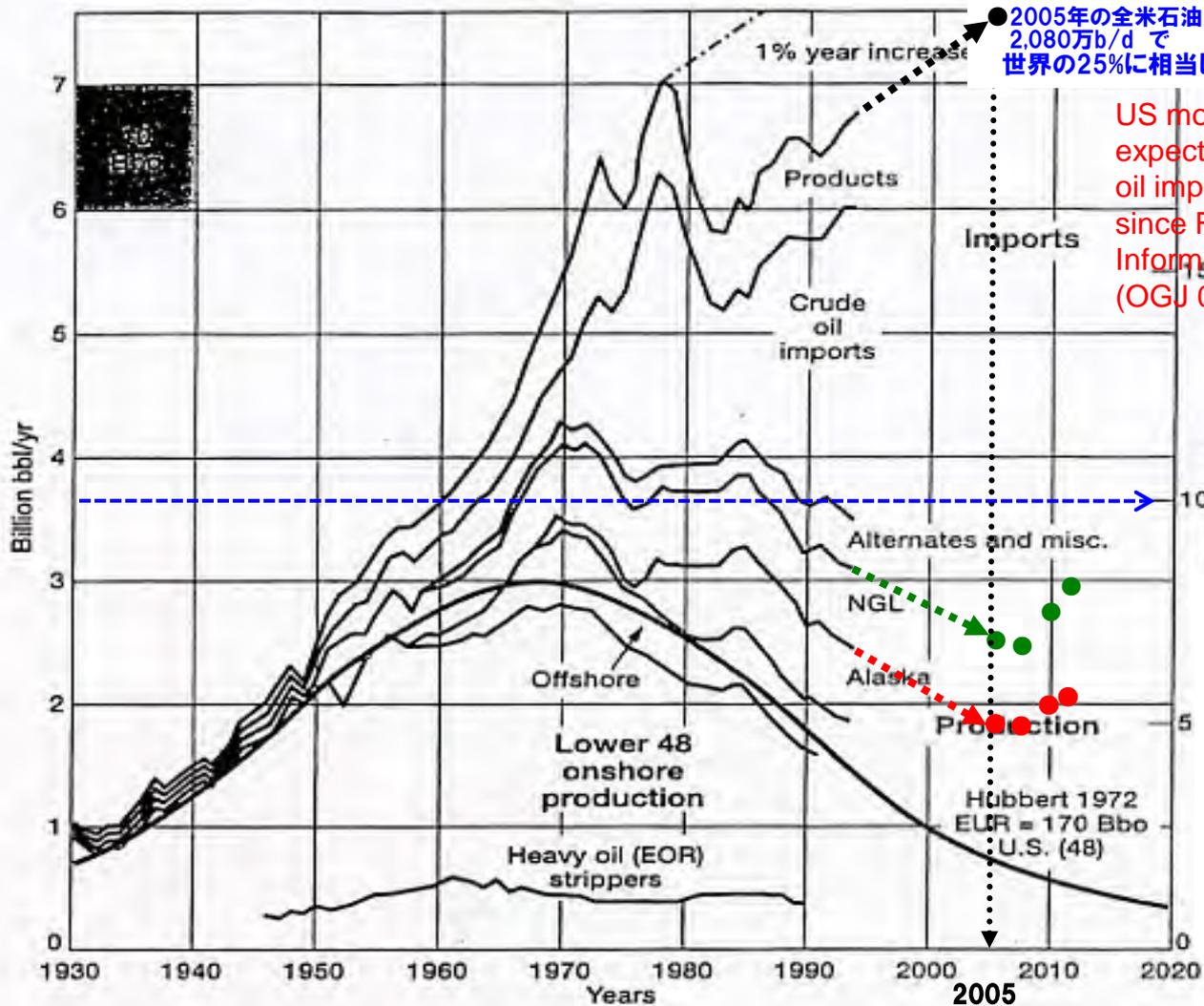
$$dR/dt = dQ_n/dt - dQ_p/dt \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

すなわち、Max. R は $d^2R/dt^2 = 0$ の 時点である。

第5図 米国の原油発見量と生産量の実績推移に乗るヒューバート曲線
 1956年地質学者M.King Hubbert博士が提唱。



確認埋蔵量
 の年次増加率 $\frac{dQ_x}{dt} = \frac{dQ_n}{dt} - \frac{dQ_p}{dt}$



● 2005年の全米石油消費
2,080万b/d で
世界の25%に相当していた。

US monthly crude oil production is expected to exceed the amount of crude oil imports later in 2013 for the first time since February 1995, the Energy Information Administration projected. (OGJ 03/20/2013)

● 2011年の全米石油消費
1,884万b/d で
世界の20.5%に相当
原油輸入量: 894万b/d
原油輸出量: 2万b/d
製品輸入量: 240万b/d
製品輸出量: 255万b/d

U.S. 国内原油生産量(万バレル/日)

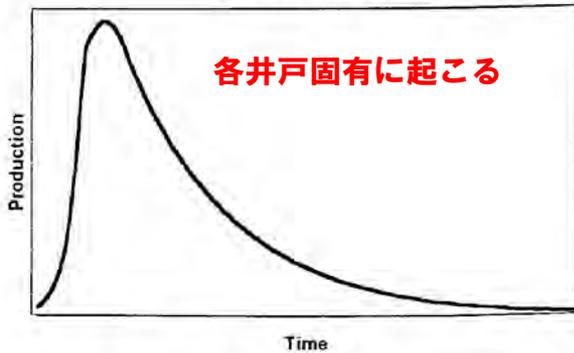
	2005年	2011年
● 原油+NGL生産	690	784
内 NGL生産量	172	218
(シェア)	(25%)	(28%)
● 原油生産量	518	566

米国の国内原油生産量が2008年をボトムに急増している。これは確かにシェール革命のインパクトだ！！

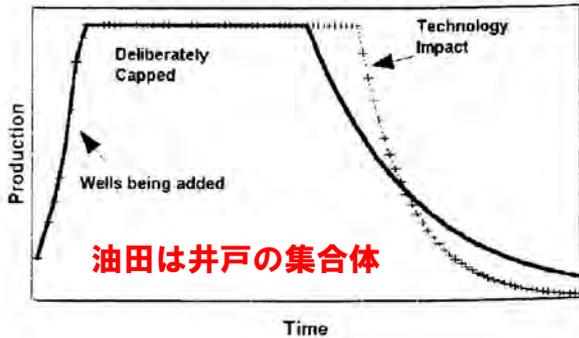
U.S. oil supply from production and imports, including crude, NGLs and products.

出典： オイルアンドガスジャーナル誌および BP統計をもとに藤田作成(2013.4.9)

ピークオイルは油田固有の現象
BLOWOUT



OILFIELD DEPLETION



BASIN & COUNTRY

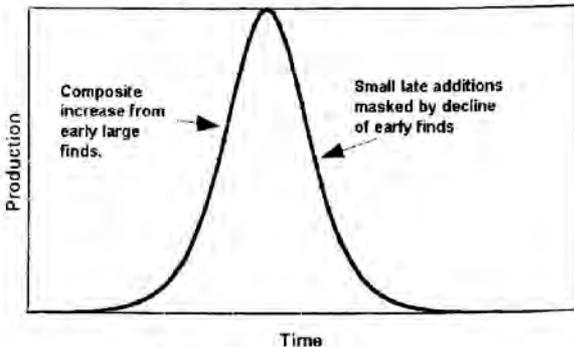


Fig. 6-1. Depletion profiles.

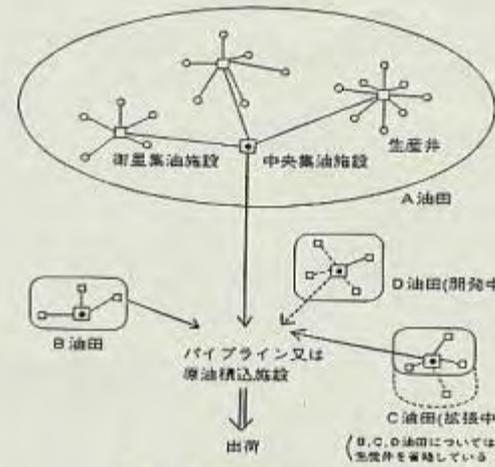


図4 原油の生産集油システム

モデルケース

<p>Single Oilfield</p> <p>Reserves 32 Unit × 4 fields</p> <p>Produced 50% @ decline</p> <p>R/P = 8</p>	<p>時期をずらして</p> <p>生産</p>	<p>Group of Oilfields</p> <p>Reserves 128 Unit</p> <p>Produced 63% @ decline</p> <p>R/P = 14</p>
---	--------------------------	---

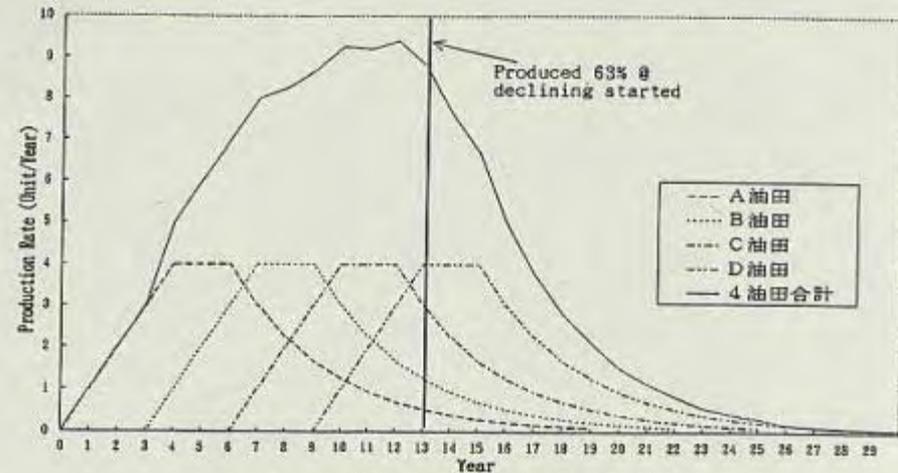


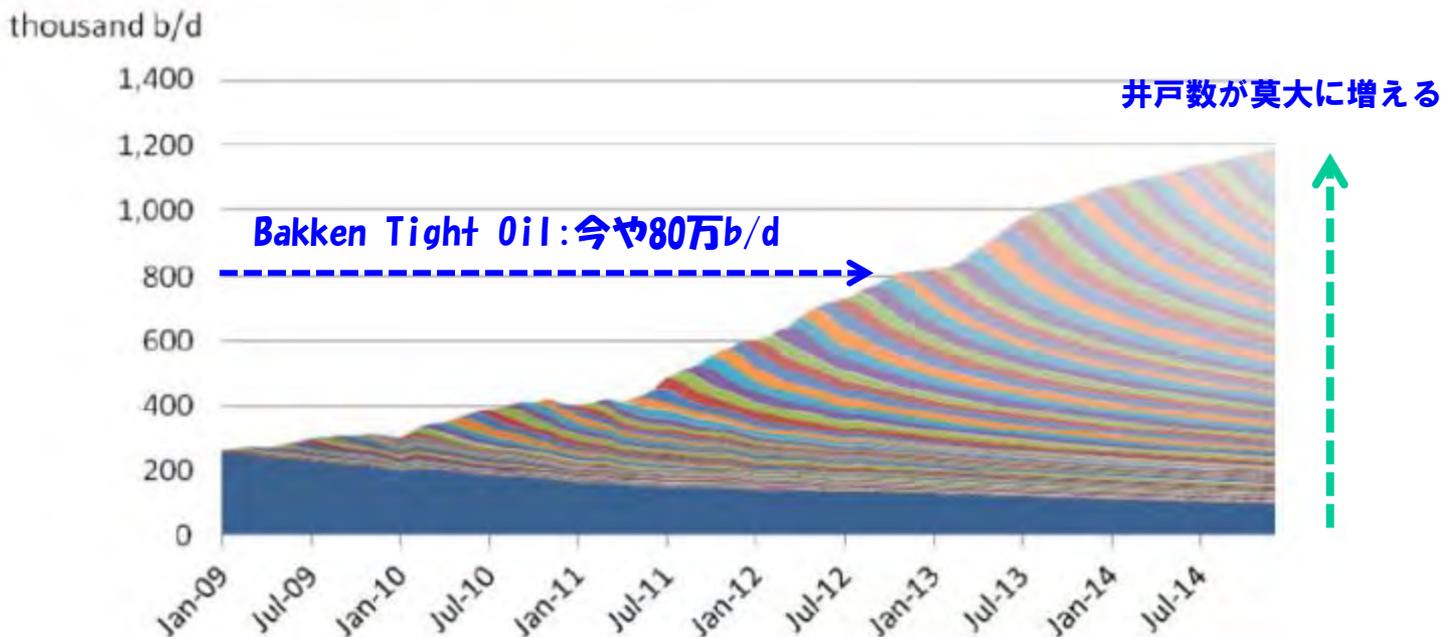
図5 油田の生産プロファイル積み重ね現象

- 単独油田の減退時期は既生産率50%の時点であるが、油田群では63%に達するまで減退しない。
- R/Pが大きくなり、油田群のプラトーレートは油田のピークレートの和の約60%と小さくなる。

油田生産プロファイルの積み重ね現象

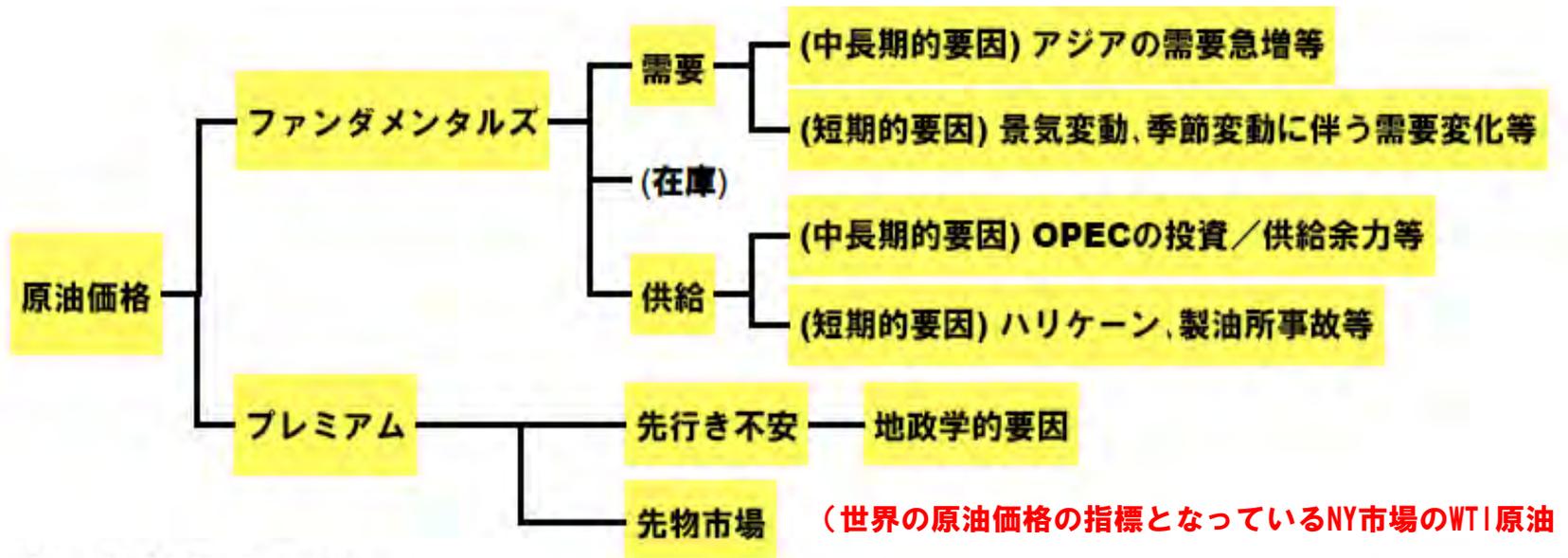
シェールオイル井の生産減退は激しいので数多くの井戸を重ね合わせて生産量の維持を図っている。

Another view - rapid decline



Source: DrillingInfo history through August 2012, EIA Short-Term Energy Outlook, February 2013 forecast

原油価格高騰の要因分析



* 1)ファンダメンタルズ

ファンダメンタルズは、アジアを中心とする需要の急増やOPEC等産油国の供給余力の制約等の「趨勢的要因」と、ハリケーンや事故に伴う製油所精製能力等の増減、産油国におけるアクシデントや地政学的紛争、国家管理の強化等による供給制限等の「非趨勢的要因」、及びこれらを踏まえた「需給バランス」や「在庫水準」の変動を主たる要素とする。

* 2)プレミアム

プレミアムは、地政学的紛争やアクシデントを背景とした「先行き供給不安」や、投資資金による裁定取引、その他を主たる要素とする。

原油価格の高価格シフトが現出した8年間の推移

原油価格＝ファンダメンタル(需給要因)＋プレミアム(投機、ジオポリ)

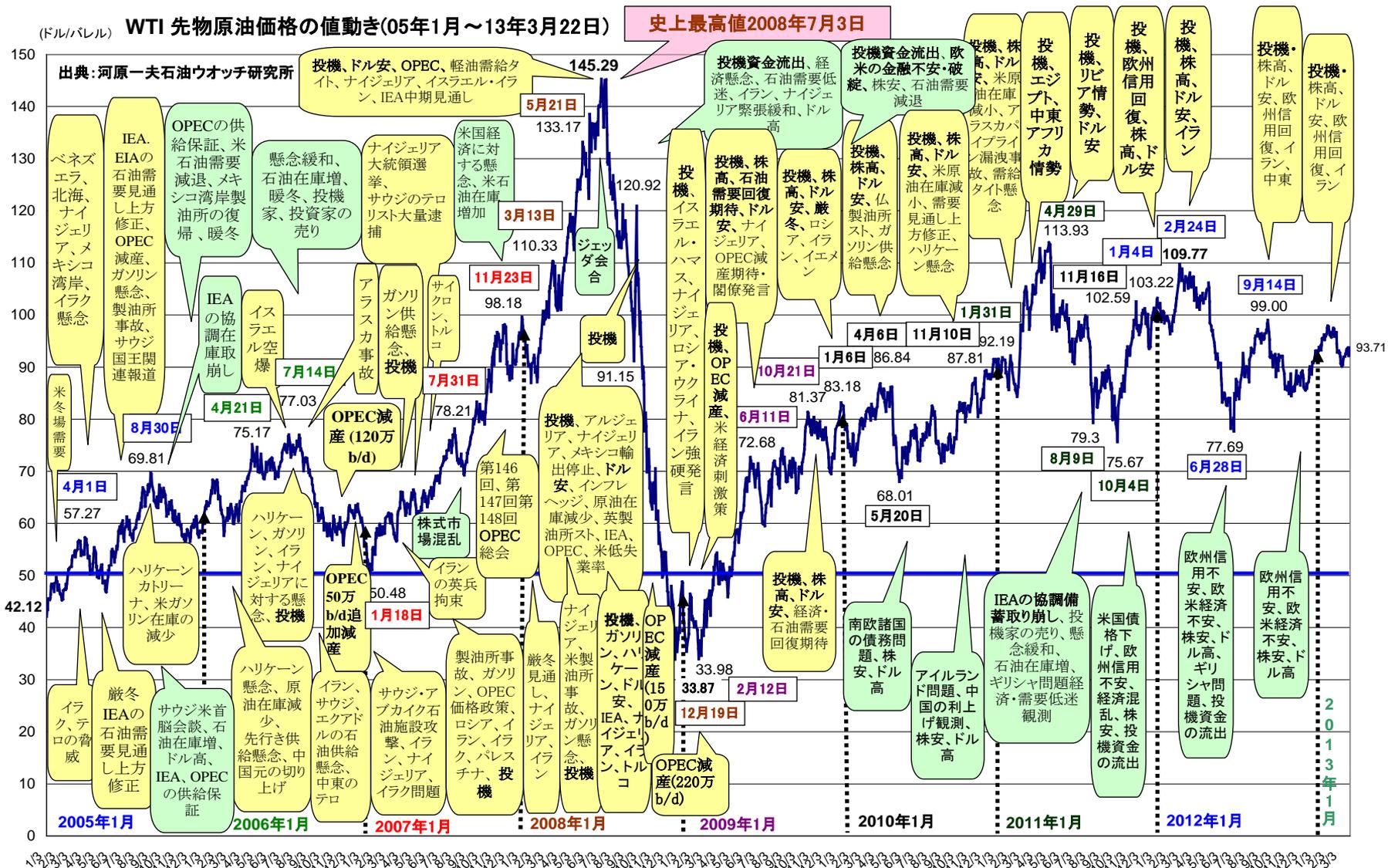


図 WTI 先物原油価格の2005年以来の値動き

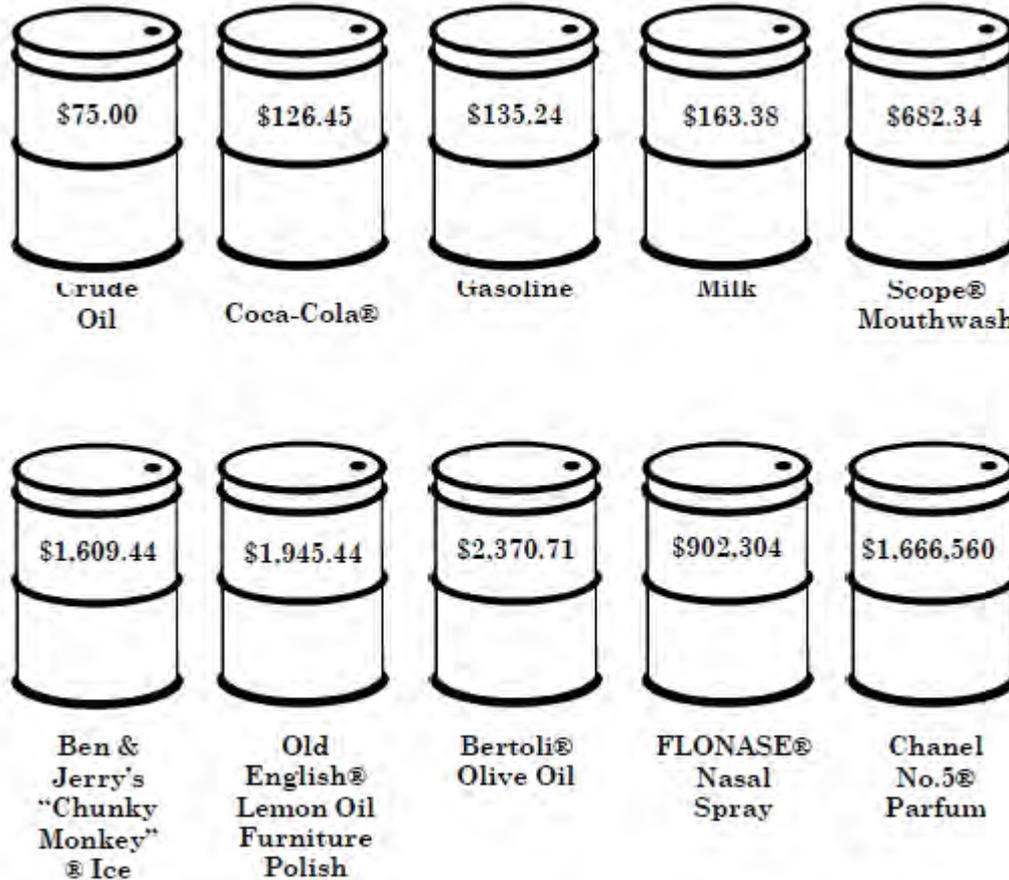
21世紀初頭の世界の石油情勢の変貌：

資源インフレと金融資本主義化

- ① **旺盛な石油需要** (2004年に始まる中国、インドなど)
原油価格高騰 (2008.7.3 NYMEX 先物市場、史上最高値: WTI 145.29\$/bbl)
- ② **OPEC産油国の供給不安と北海油田のピークオイルの顕在化**
- ③ **ピークオイル論の再熱** (2005年以降の多数の著作)
- ④ **地政学的リスクの高まり**
(イラクの治安不安、パレスチナ問題、サウジの民主化、イランの核開発など...)
- ⑤ **産油国の資源ナショナリズム台頭** (ベネズエラ、メキシコ、ナイジェリア、ロシア)
- ⑥ **アメリカ国内の石油精製能力の限界と低い石油製品在庫の顕在化**
(ハリケーンによる製油所の稼働休止)
- ⑦ **WTI原油の先物商品市場への投機や投資：カジノ化？**
(ヘッジファンドや年金ファンドの投資資金の乱入、石油商品市場を攪乱)
- ⑧ **2008年1月2日に WTI原油の先物市場が急騰し一時100ドル/バレル！**
サブプライムローン問題で米国の景気減速、株式安と米ドル急落で
投機筋マネーが原油や金、穀物の国際商品市場に流入した。
一時108円代の円高と波乱の新年の幕開けが年末は90円台に円高！
2008年7月3日に145.29\$/B と史上最高値を記録して、40ドル台に沈静化！

私のアメリカの友達から聞いた話！

いったい石油ってそんなに高いのかな？

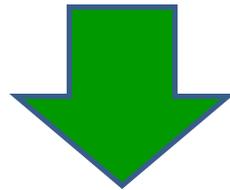


ついでに日本ではペットボトルの飲み水は150円/500ml
これは、1バレル当たり
¥47,770です。これは
約560ドルにもなります。
東京ではペットボトルの
水は原油の7.5倍もするのか！
驚いた。

近年2004年来の原油価格高騰により エネルギー高価格時代の到来



- ◎ エネルギー供給側の選択肢が多様化
2011年3.11東日本大震災&原発事故



- ◎ 日本のエネルギー戦略の抜本的再構築
需要者側の省エネ・省資源、環境対策
のグリーン・イノベーションのチャンス!

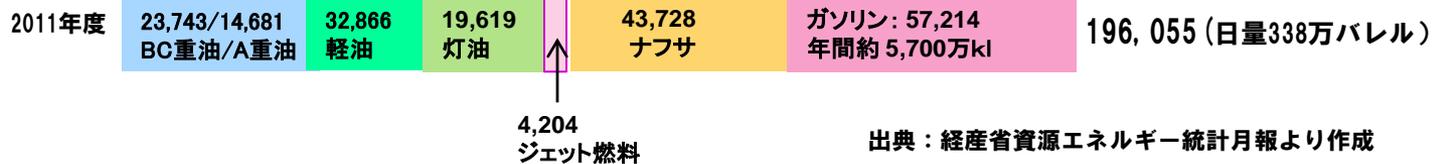
わが国の石油製品(燃料油)の需要減少推移

■わが国の石油製品別(燃料油)需要の推移

単位:千t



東日本大震災勃発:2011.3.11



出典: 経産省資源エネルギー統計月報より作成

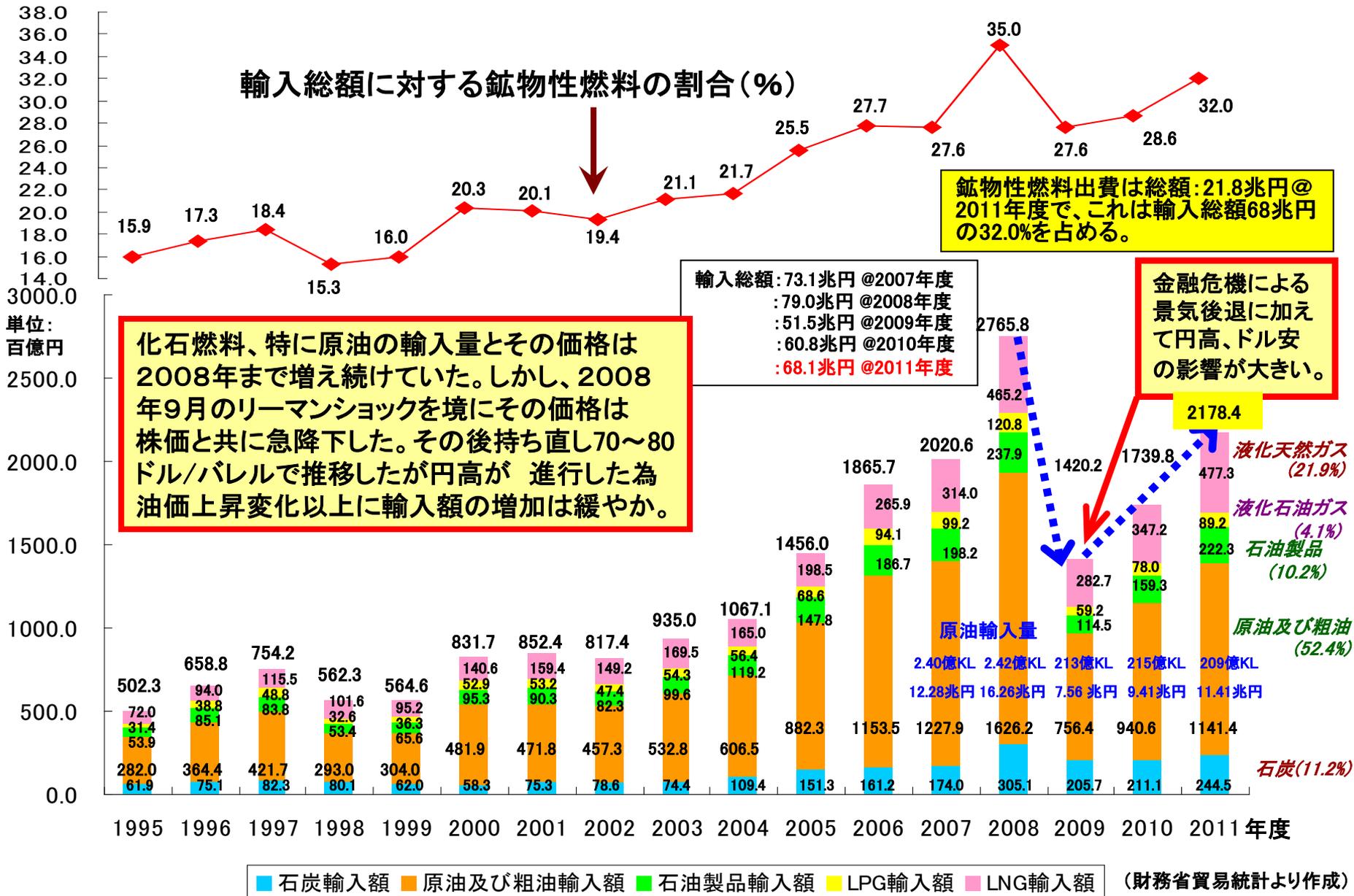
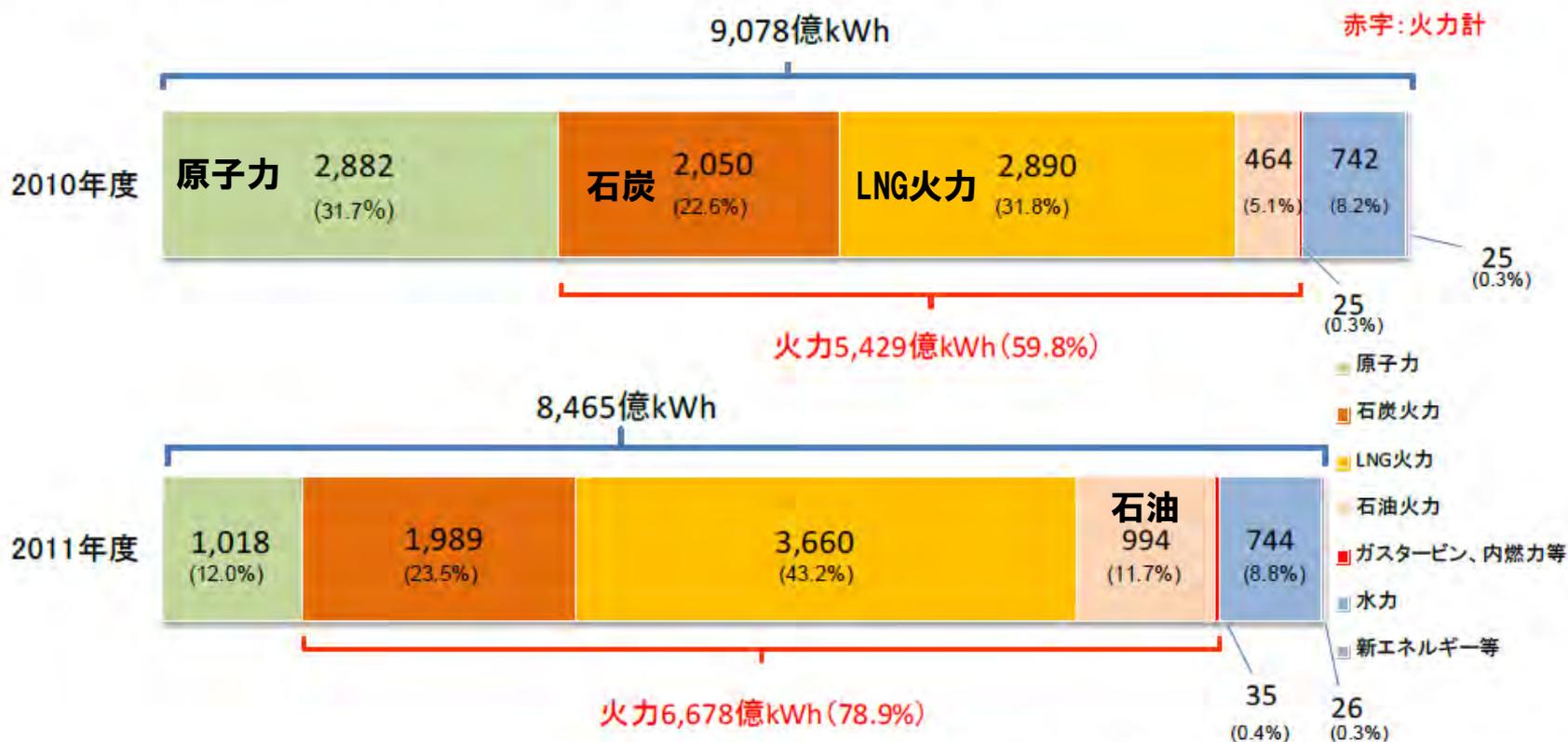


図 -2 わが国の鉱物性燃料の輸入額推移 (各年度変動)

東北大震災前後のわが国電力構成の変化

震災後の経済需要の縮小や国民の節電等の協力により**2011年の発電電力量は約7%減少した。**

電気事業者（一般・卸）の電源別発電電力量実績の比較



(出所) 電力調査統計及び事業者からのヒアリングにより作成

V まとめ：「江戸しぐさ」でエネルギー安定供給のベストミックスを！

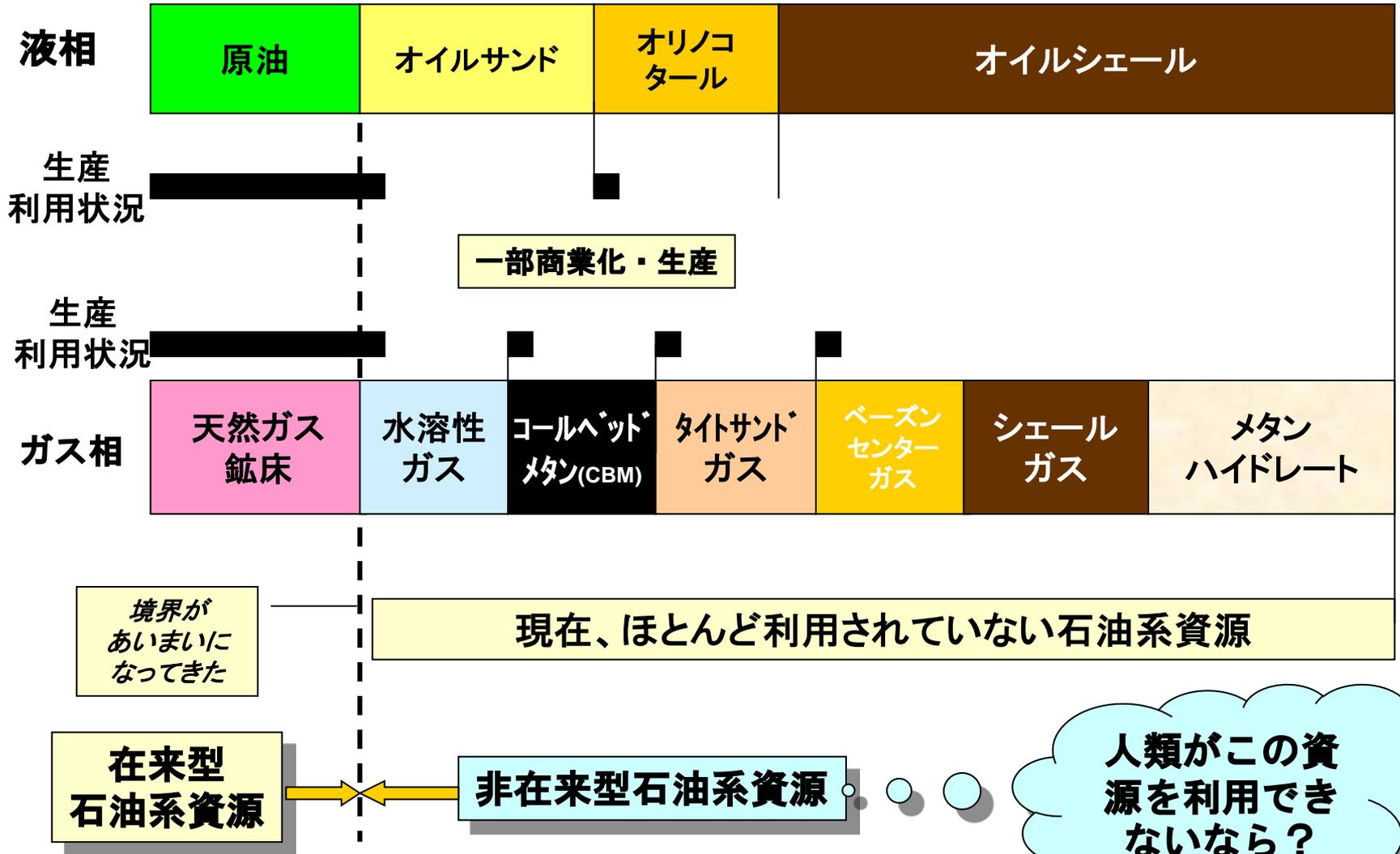
芝浦工大MOT(技術経営)大学院で(2003～10年)

「江戸しぐさ」の妙は上下関係の縦割り社会の中に人間としての人情や思いやり、へりくだり、うかつ謝り、軽妙洒脱、洒落、粋なしぐさなどの横系を通してゆく人間関係の処世術であるのです。

要は異業種エネルギー業界の垣根を外し「江戸しぐさ」でエネルギーのベストミックスを模索すべきでしょう！

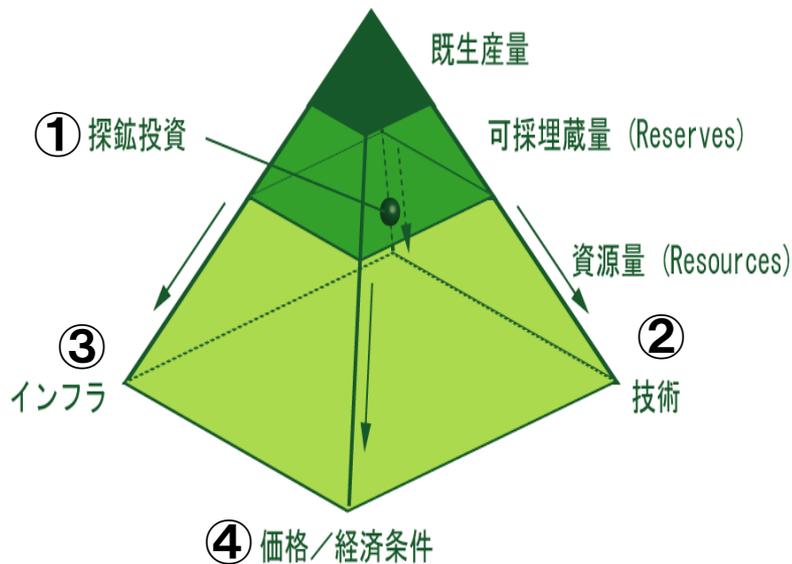


図 地球上の石油系炭化水素資源量



石油の資源量と埋蔵量のピラミッドモデル (McCabe Model)

「四つの軸の矢印に向かい今後、①探鉱投資、②技術革新(回収率向上)、
③インフラ投資、④価格/経済状況の好転等の改善で、未知なる資源
量が確認可採埋蔵量へと格上げされる」



最上位

既生産分

高品位の鉱床、好アクセス、浅い
鉱床、貯留岩性状良い、採取容易

中位

確認可採
埋蔵量

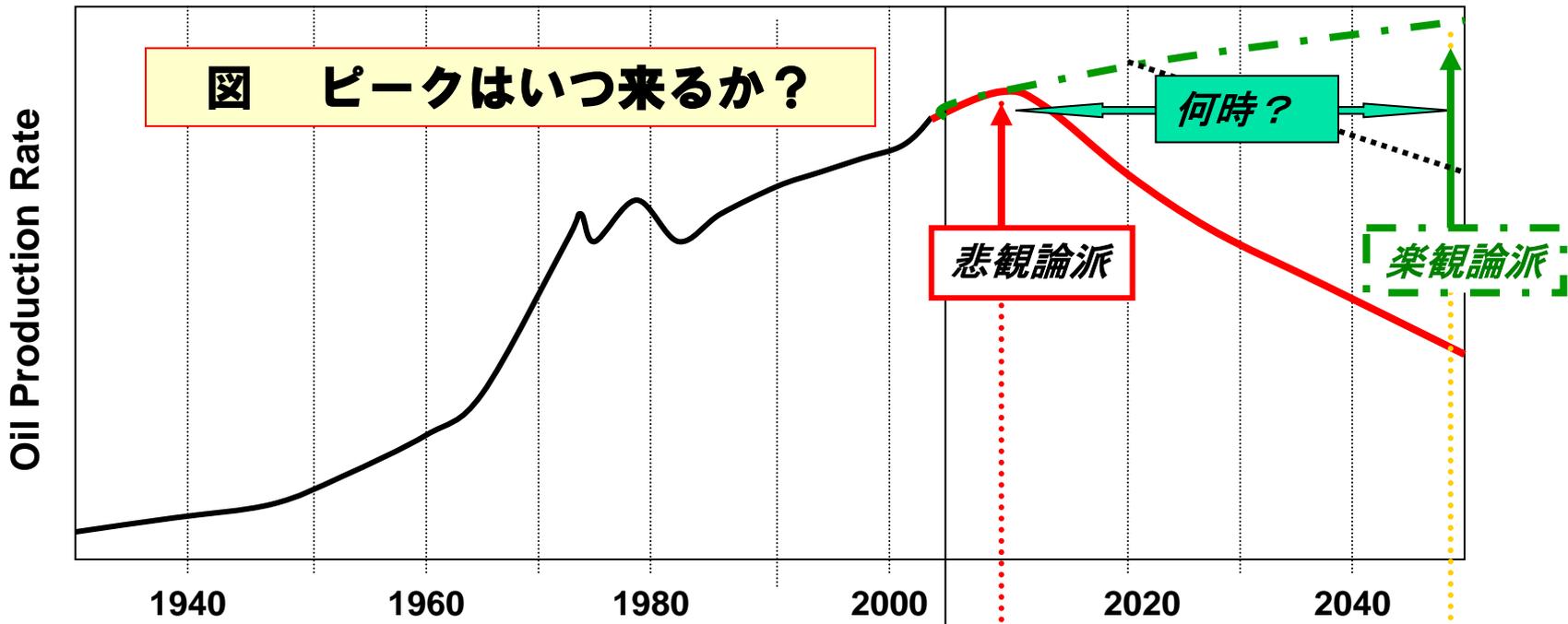
現在、このカテゴリーの残存する
埋蔵量から生産が行われている

①探鉱投資、 ②技術革新による回収率向上
③インフラ整備の投資、 ④価格/経済条件

下位

EOR/IOR、埋蔵量成長分及び
今後発見されるであろう新規油田の資源量

カナダのオイルサンドやベネズエラのオリノコータル
シェールオイルなどの非在来型資源



ピークオイルの時期を振らせる7つの要因

- 探鉱活動
- 非在来型資源
- 開発・回収
- 原油価格
- インフラ
- 代替エネルギー
- 人的資源

- 停滞
- 未利用
- 未進歩
- 安値
- 未整備
- あり
- 少数

- 活発
- 開発
- 向上
- 高値
- 整備
- なし
- 豊富

石油会社
産油国・消費国
の行動次第

日本国内の石油・ガス資源量評価(2010年現在)

表 1-14 日本の国産原油・天然ガス資源量評価 (平成 22 年度、2010 年度末埋蔵量)

原油 (千キロリットル)				天然ガス (億立方メートル)			
累計生産量	年間生産量	残存埋蔵量	可採年数	累計生産量	年間生産量	残存埋蔵量	可採年数
58,082	853 (前年度減 -65)	10,930	12.8 年	1230.77 [*])	33.43 [*]) (前年度減 -2.12)	503.0	15.0 年
約 3.65 億 バレル	約 14,700 b/d	約 6,874 万 バレル		約 4.34tcf	約 323 [*]) MMSCFD	約 1.78tcf	
(原油換算 : 原油 1 バレル = 5,390 cf of Natural Gas)			原油換算量	(約 8.06 億 バレル)	(約 59,900 b/d [*])	(約 3.29 億バレル)	

*) 水溶性ガス 4.92 億 m³ (全体の 14.7%相当) を含む

出典 : 天然ガス鉱業会編 : 天然ガス資料年報 (含 石油、LNG) 平成 23 年版、およびわが国の石油・天然ガスノート (2012.1) を参照

平成 22 年度のをが国の原油輸入量は 2 億 1,436 万キロリットル、石油製品純輸入量は 212 万キロリットルの規模 (= 輸入 3,325 万 - 輸出 3,113 万) である。2010 年度のをが国土の原油生産量は 85.3 万キロリットル (日産約 14,700 バレル) なので日本の国産原油自給率は 0.39% に過ぎない。

一方、わが国の天然ガス消費量は平成 22 年度に約 1,007 億立方メートル、即ち 3.55 兆 cf の規模であった。この内訳は、輸入 LNG は 7,056 万トン = 約 974 億立方メートルと国内の天然ガス生産量 33.43 億立方メートルであった。従って、天然ガスの自給率は 3.32% と原油の 10 倍良好である。

2010年の世界の原油生産量: 約8,000万b/d, 1位サウジ: 1,000万b/d,
25位マレーシア: 72万b/dです。日本は14,700b/d

次世代のエネルギー資源

「燃える氷」の開発に挑戦！

平成25年3月12日

資源エネルギー庁

海底面下のメタンハイドレートから天然ガスの生産を確認しました

～メタンハイドレートの世界初海洋産出試験を開始～

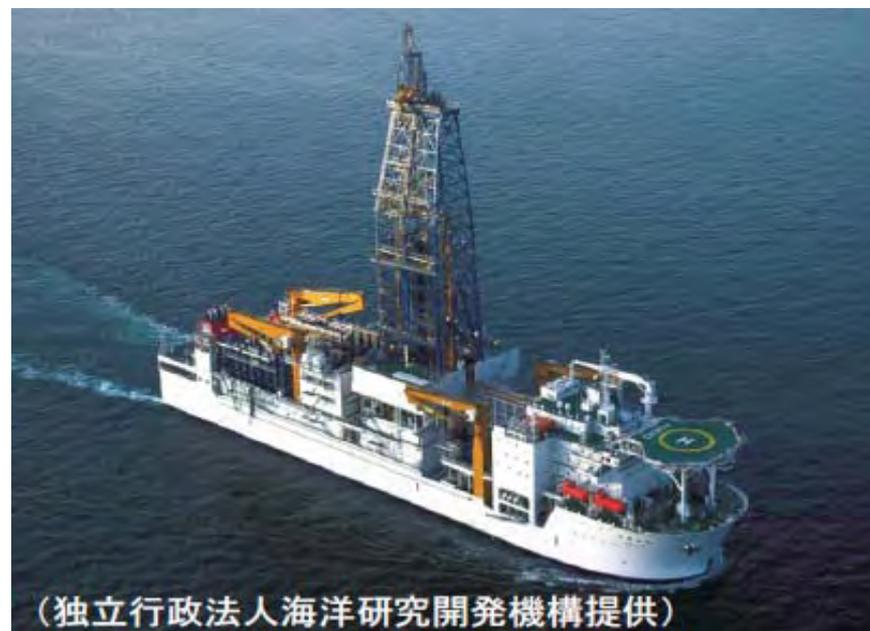
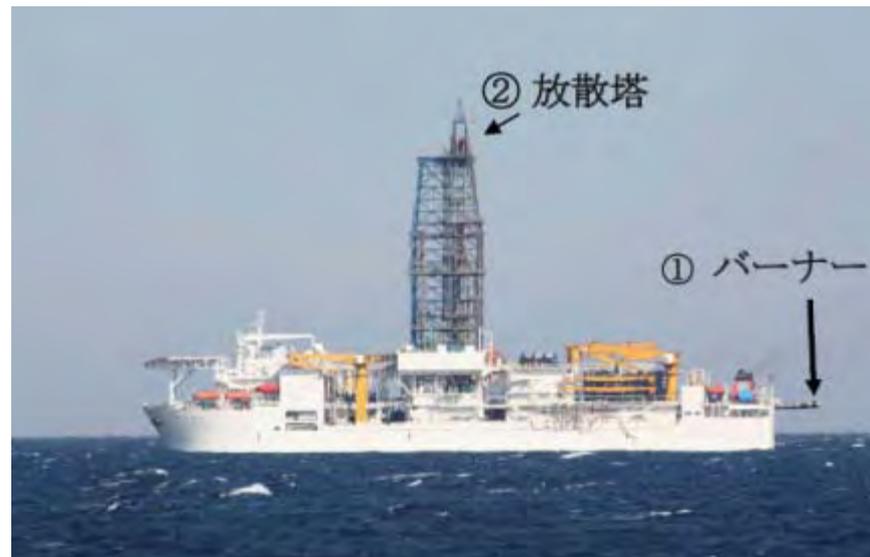
資源エネルギー庁は、本年3月12日に渥美半島から志摩半島の沖合（第二渥美海丘）において、メタンハイドレートを分解し天然ガスを取り出す、世界初の海洋産出試験を開始し、ガスの生産を確認しました。

1. 背景

メタンハイドレートは、メタンと水が低温・高圧の状態では結晶化した物質です。我が国周辺海域において相当の量が存在していることが見込まれており、将来の天然ガス資源として期待されています。

2. 第1回メタンハイドレート海洋産出試験の概要

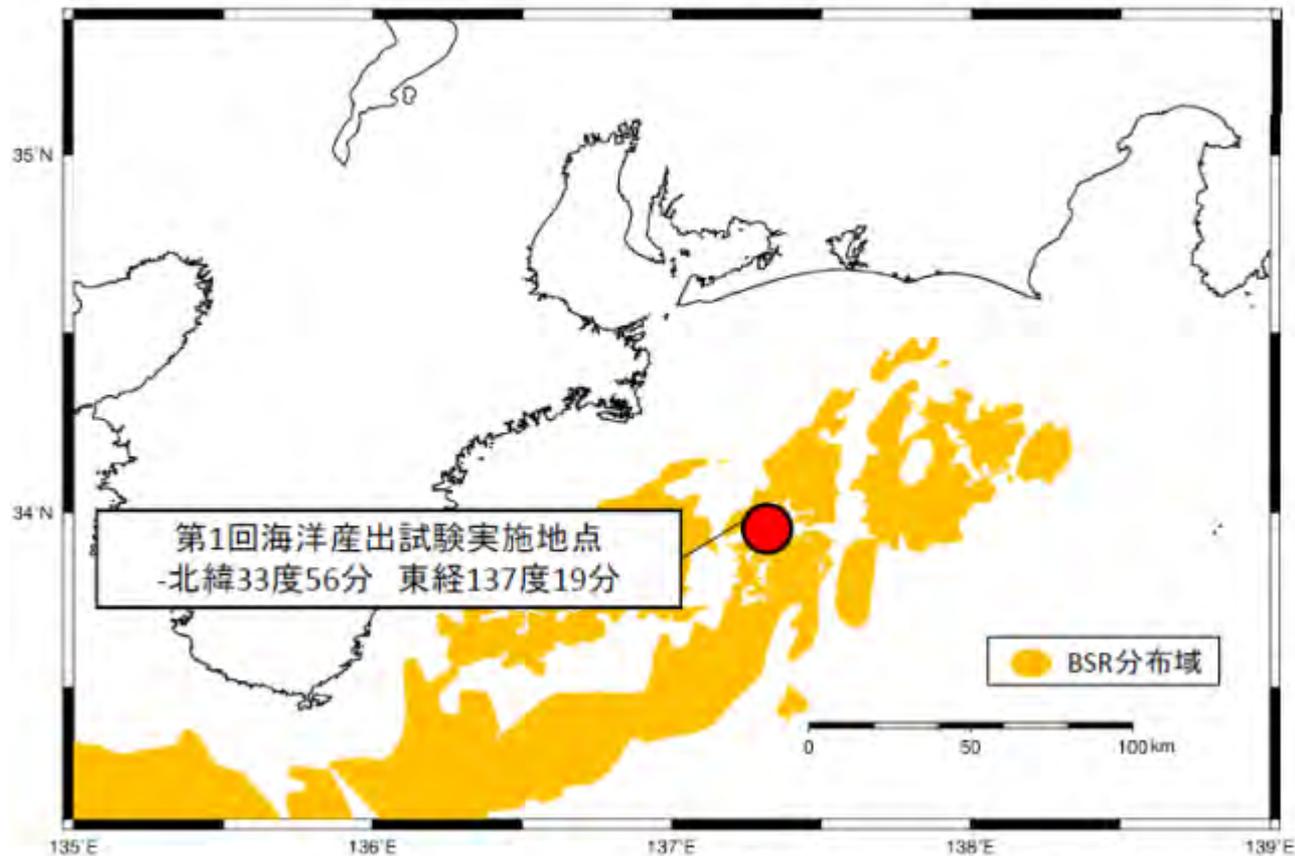
メタンハイドレートの商業化に必要な技術整備の一環として、平成25年1月下旬から渥美半島～志摩半島の沖合（別添参照）にて、メタンハイドレートを分解し天然ガスを取り出す試験の準備を始め、本年3月12日に、世界初となるガスの生産実験を開始しました。



世界初のメタンハイドレート海洋産出試験に選ばれた地点

(別添資料)

第1回海洋産出試験実施地点



※渥美半島から約80km、志摩半島から約50kmの地点

ガス生産実験の様子



<船尾に設置したバーナーでのフレア処理>

第1回海洋産出試験の概要:

平成25年1月下旬から渥美半島～志摩半島の沖合にてメタンハイドレートを地殻内で分解し天然ガスを取り出す海洋試験の準備を始め、本年3月12日未明に水中ポンプで水をくみ上げ減圧を開始、午前中には世界で初めてとなるガス生産状況を掘削船「ちきゆ」の船尾に設置したバーナーで左図のように確認した。

その後、ガス生産実験を概ね計画通り一週間弱続けたが、①3月18日早朝から、減圧の為に水をくみ上げるポンプが不調となり、生産井の坑底内に砂が混入するなどガスの生産が正常に続けられなくなった。②試験海域は例の低気圧による暴風が吹き荒れ、天候の大幅な悪化が見込まれたことから、

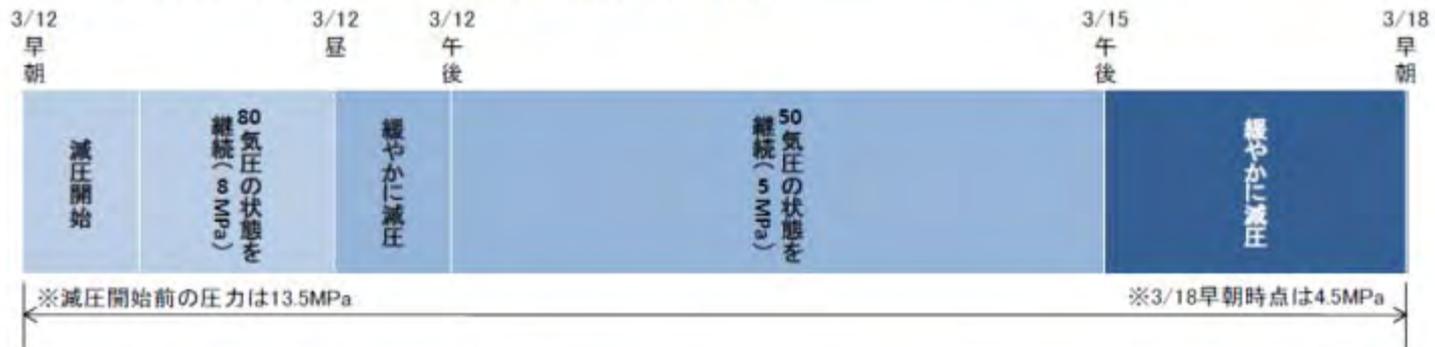
3月18日午後2時ごろ、ガス生産実験を終了せざるを得ず実験を終了した。

※JOGMEC 提供

1. 海洋産出試験の実施 ①第1回海洋産出試験（ガス生産実験の速報）

●減圧作業の経緯

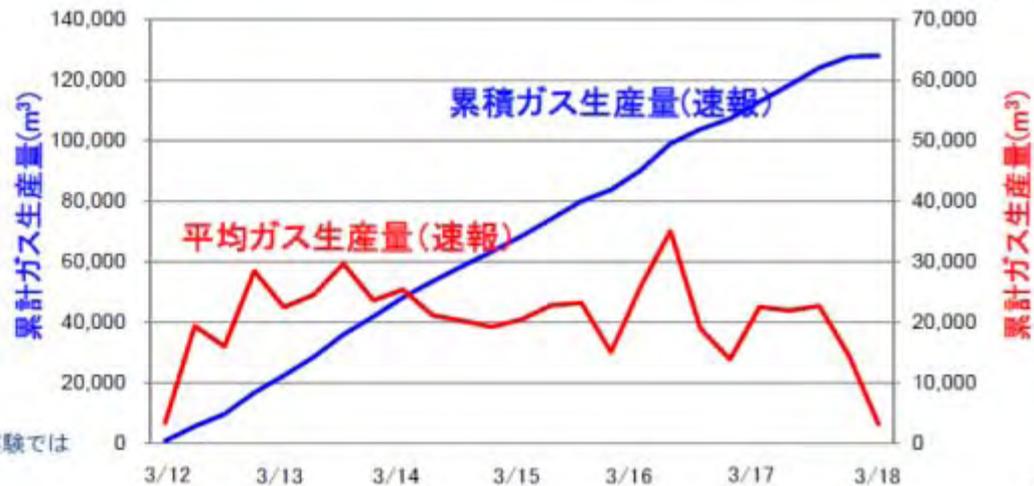
- ・3月12日早朝からガス生産実験を開始し、減圧開始前の13.5MPa（約135気圧）から4.5MPa（約45気圧）まで段階的に減圧を実施。



●ガス生産量（速報値）

- ・生産日数：
約6日間
- ・累積ガス生産量：
約12万m³
- ・平均ガス生産量：
約2万m³

（参考）カナダで実施した減圧法による陸上実験では1日約2,400m³を生産。



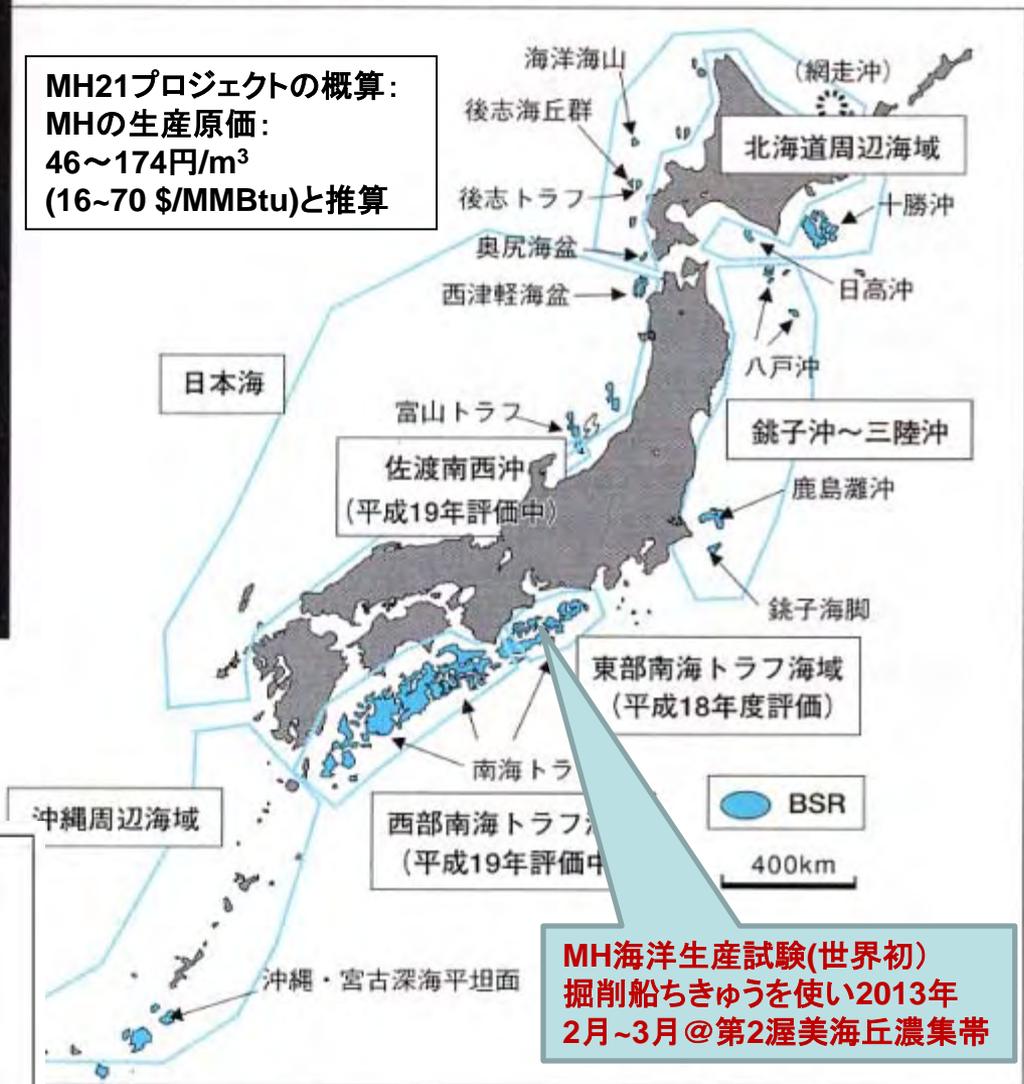
日本周辺海域のメタンハイドレート賦存状況



燃えるメタンハイドレート

図-

MH21プロジェクトの概算:
MHの生産原価:
46~174円/m³
(16~70 \$/MMBtu)と推算



【我が国のメタンハイドレート原始資源量試算例】

○東部南海トラフで1.1兆m³ (JOGMEC (2007))
(我が国天然ガス消費量の14年分に相当)

<参考> 日本周辺で7.4兆m³ (産総研 佐藤(1996))
(我が国天然ガス消費量の90~100年分に相当)

注) 原始資源量⇒経済、技術的に回収不可能なものも含む賦存量

出所: 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

日産・ゴーン社長、エアバス・フォルジャーCEO…

主な鉱山学校出身者



ブランタン
ダノン社長



エアバス
フォルジャーCEO



PSA
フォルス会長



トタルフィナ・エルフ
ドゥマレ会長



サンゴバン
ブファ会長

Ecole des Mines
コード・ミーヌ

パリの文教地区カルチエラタン
近くにあるリュクサンブール公
園に隣接する仏国立鉱山学校
「コード・ミーヌ」



メール
財務相



ローズ
対外貿易担当相



日産自動車
ゴーン社長

仏「国立鉱山学校」卒

優れた指導者続出

日経新聞
2003.2.17



フランス経済を支えるのは鉱山技師……。エアバスのフォルジャー最高経営責任者（CEO）やアジエリートロエンゲループ（PSA）のフォルス会長ら、業績好調な仏企業の経営者には、仏国立鉱山学校の出身者という共通項がある。日産

「鉱山学校について聞きたいのかい？」
「エアバス本社の会長は、インタビューの途中で身を乗り出した。フォルジャー会長は、インタビューの途中」
「名前は鉱山学校だが、ビジネス全般に通じた人だ。」
「パリ」柴山重久

材の育成が柱になっている。私の一つ下の学年にフォルス君がいたな。（防衛機器大手）タレスのラック君もそうだ」。普段は無口なフォルジャー会長だが口調は滑らかな。

まとめ

- ① **化石エネルギー資源の有限枯渇の運命！** 石油確認埋蔵量のほぼ半分近くを取りつくした現段階で世界の在来型原油の供給量はアメリカのように確実に減退期に入る。供給の減退枯渇期が近づけば原油価格の上昇を呼び高エネルギー価格時代に入る。在来型原油以外の流体エネルギー資源(LPG、NGL、超重質原油、中小マージナル油・ガス田、GTL、CBM、Methane Hydrate等)の開発実用化に拍車が掛かる！しかし、これらのエネルギー供給レートはいずれも遅く更にコスト高！コスト競争の時代到来！このためには先端的技術の実用化が前提条件。いよいよ日本の出番であるのだが？
- ② **一次エネルギー供給のベストミックスを探求！** 化石燃料の大量消費に起因する地球環境負荷コストの追加は化石燃料供給コストをさらに高める。したがって他の一次エネルギー（**原子力**、水力、地熱や太陽光、風力、海洋エネルギー等の再生可能エネルギーやごみ発電、バイオマス発電の各種コストと競合せざるを得ないため必然的に化石燃料の需要が抑えられるであろう。石炭・石油業界の連携は必須、そして早急に天然ガス利用にシフトすべき。一方、フランス手本として**原子力発電の安心安全利用維持が必須！** **これが日本エネルギー政策です。**
- ③ 大切なことは、わが国は世界第2位の経済大国、世界第4位のエネルギー大消費国の責務として、**ナショナルセキュリティの視点からエネルギー開発、地球環境分野にわが国は積極的な投資が責務です。！** わが国の若い世代が資源・エネルギー分野離れしないよう、夢と希望を持ち取り組める次世代クリーンエネルギー研究および新産業界の創成を行い学問・技術・現場経験の伝承を期待したい。

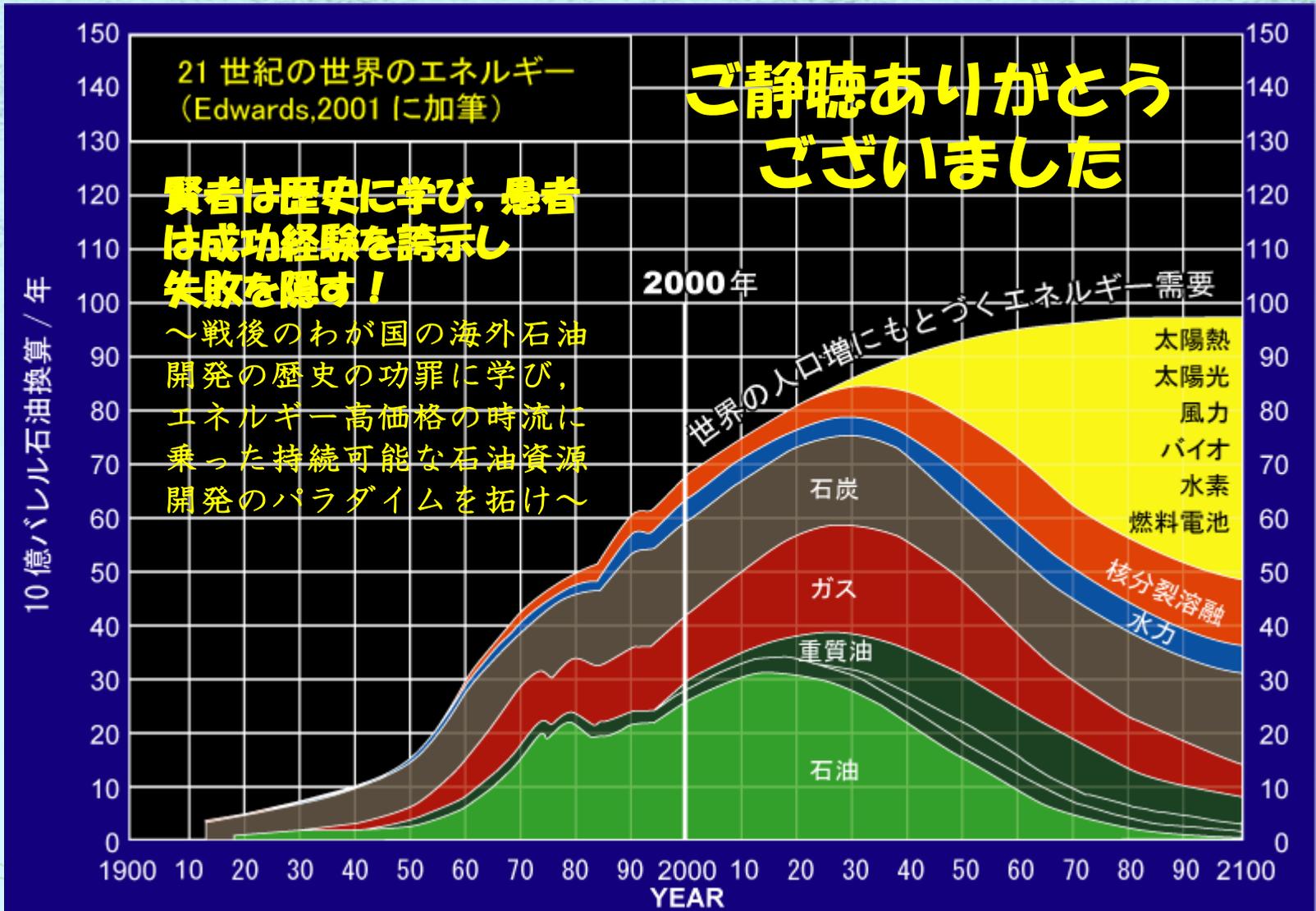


図 21世紀を通じての化石燃料と再生可能エネルギー供給予測(Edwards, 2001)

● 藤田 和男 (ふじた かずお)

(2013. 4. 1現在)

- ・ 東京大学名誉教授、 Geo3 REScue Forum 代表
- ・ 芝浦工業大学MOT大学院工学マネジメント研究科 客員教授

プロフィール：

1941年東京生まれ。'65年東京大学工学部資源開発工学科を卒業してアラビア石油に入社30年勤務する。'69年から4年間テキサス大学石油工学大学院に留学し石油工学博士号(PhD)取得し、石油危機到来の'73年に帰国。'74年アラビア湾のカフジ油田に赴任、8年4ヶ月中東油田開発勤務、その後'84年 中国渤海湾石油開発の現場に2年間、またマレーシアの駐在代表など足掛け 15年の油田開発のため海外勤務を経験する。

'94年11月アラビア石油を退職し、'94年東京大学工学部教授に招聘される。大学院常務委員、専攻長(学科長)を歴任し、8年間奉職して2003年退官し、東京大学名誉教授の称号を授与される。

2003年4月芝浦工業大学に新設されたMOT(技術経営)大学院の教授に就任、7年間奉職して2010年3月退任する。現在同大学客員教授、 **Geo3 REScue Forum**代表



専門分野： 油層工学、石油資源評価、地球環境・エネルギー論、プロジェクト評価、国際開発マネジメント、エネルギー・ジオポリティクスなど。

団体活動： 日本エネルギー学会天然ガス部会顧問、石油学界事業推進委員、日本工学アカデミー会員
資源エネルギー庁 メタンハイドレート開発実施検討会委員など

主な受賞： 平成17年2月：日本エネルギー学会平成16年度学会賞(学術部門)

「世界の石油・天然ガス資源量評価と供給予測に関する研究」

平成17年2月：論文賞受賞「海域メタンハイドレートガス開発の経済性及び

CO₂ 排出量評価」日本エネルギー学会誌 第82巻第4号、(2003年5月) など

著 書： ①「石油危機から30年：第7章石油開発と石油の安定供給を巡って」を執筆

(株)エネルギーフォーラム(2003年12年)

②「トコトやさしい石油の本」2007年3月、「トコトやさしい天然ガスの本」2008年3月、

「トコトやさしい石炭の本」2009年4月発行、監修および執筆、日刊工業新聞社

③「世界の石油・天然ガス等の資源に関するスタディ」石油鉱業連盟

第6回石鉱連資源評価WG報告書の座長および総論1, 2章執筆 (2012年11月) pp.351

など多数

Contact: Tel : 090-8302-6803 **E-mail** < k-fujita@vega.ocn.ne.jp >

Geo3 REScue Forum Home Page : < http://www.fujitak.net/>