

エネルギー資源と埋蔵量

- 埋蔵量の概念と現実の意味 -

2008年 1月 7日

独立行政法人経済産業研究所 研究員 兼
国立大学法人大阪大学サステイナブルサイエンス
研究機構 特任教授 戒能一成 (C)



大阪大学サステイナブルサイエンス研究機構制度設計WS
- エネルギー資源と埋蔵量 -

- 1- 埋蔵量の定義・分類と意味
- 2- 確認埋蔵量の現状
- 3- 確認埋蔵量とエネルギー需給
- 4- 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら？ -

注意) 本資料の分析・試算結果等は筆者個人の見解を示すものであって、
筆者が現在所属する独立行政法人経済産業研究所、IPCC、大阪大学
などの組織の見解を示すものではないことに御注意下さい。



大阪大学サステイナブルサイエンス研究機構制度設計WS
- エネルギー資源と埋蔵量 -

1- 埋蔵量の定義・分類と意味

- 1-1. 資源量と埋蔵量 - 発見された量と採れる量 -
- 1-2. 埋蔵量の定義と意味 - 採取の確からしさ -
- 1-3. 埋蔵量評価の問題 - R. D. Shell 社の事例 -

2- 確認埋蔵量の現状

3- 確認埋蔵量とエネルギー需給

4- 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら？ -



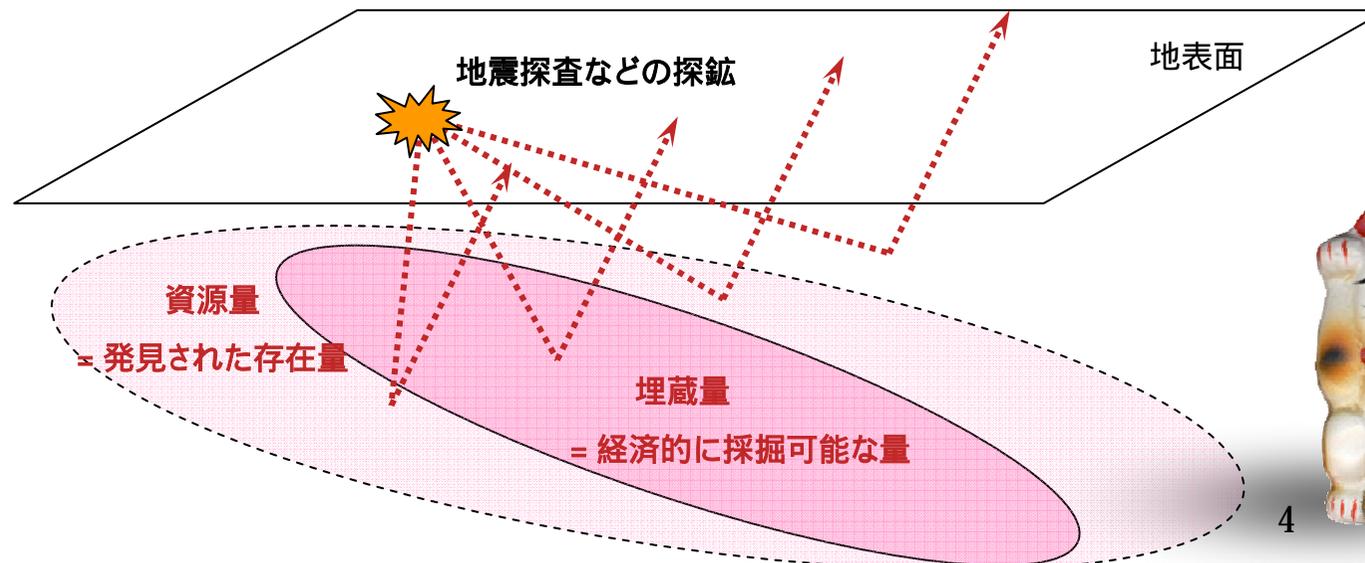
1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-1. 資源量と埋蔵量 - 発見された量と採れる量 -

資源量 resources; 発見された鉱物の存在量

埋蔵量 reserves; 資源量のうち、将来にわたり
商業的に採取可能(可採)と見込ま
れる量 (可採埋蔵量ともいう)

埋蔵量 資源量、埋蔵量 = $f(\text{市況, 技術, } \dots)$
発見しても商業的に採取可能とは限らない

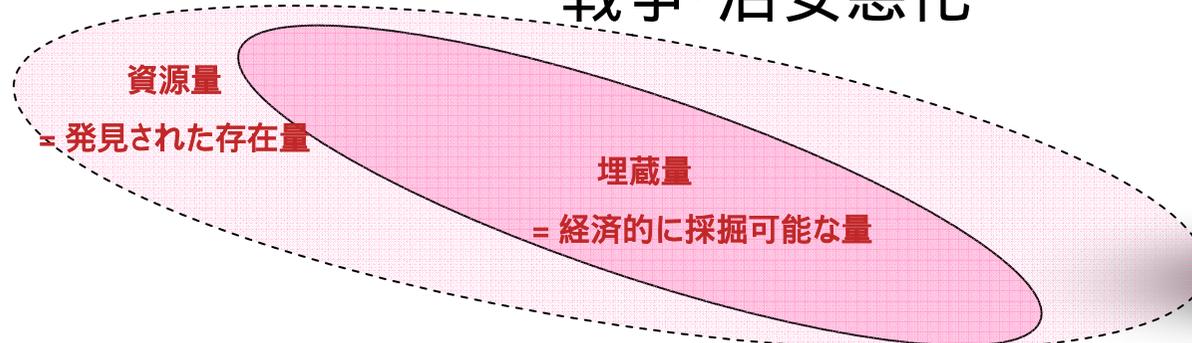


1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-1. 資源量と埋蔵量 - 発見された量と採れる量 -

商業的に採取不能な資源量が生じる場合;

- 1: 技術的理由 低品位(鉱物濃集度低)・捕集不能
不純物濃度大(腐食性・有害物質)
大深度・大水深(採掘費用過大)
過酷自然条件(極地・砂漠奥地など)
- 2: 経済的理由 市況低迷(原油安)
過大鉱産税(現地政府の資源政策)
- 3: 社会的理由 国立公園・原住民保護区・(南極)
戦争・治安悪化



1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-1. 資源量と埋蔵量 - 発見された量と採れる量 -

Mckelveyの分類(1972)

探査段階/ 商業性

商業性有(可採)

商業性無(非可採)

既発見

確実性大

(可採)埋蔵量

(条件付)資源量

確認埋蔵量

確実性小

推定埋蔵量

予想(埋蔵量)

未発見

(不確実)

期待資源量



1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-1. 資源量と埋蔵量 - 発見された量と採れる量 -

SPE/WPCの分類(2000)

探査・商業性段階/ 確実性分類

	確認	推定	予想
既発見	[(可採)埋蔵量]		
商業性有 (可採)	確認埋蔵量	推定埋蔵量	予想(埋蔵量)
商業性無 (非可採)	[条件付(既発見)資源量]		
	悲観資源量	最適資源量	楽観資源量
未発見	[期待(未発見)資源量]		
商業性有	(可採)		
商業性無	(非可採)		



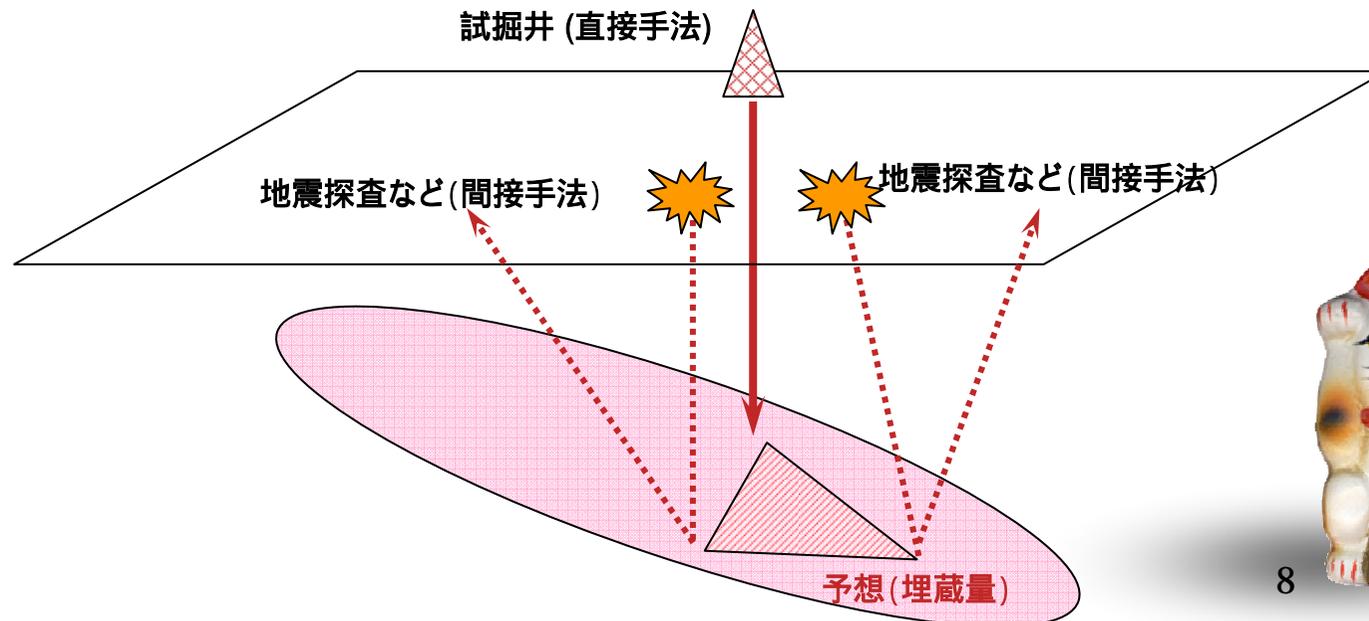
1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-2. 埋蔵量の定義 - 採取の確からしさ (1) -

確認埋蔵量 Proved ;

推定埋蔵量 Probable;

予想(埋蔵量) Possible; 単一の坑道・坑井と探鉱結果
で地質学的に予想される可採量
埋蔵量とみなさない場合多



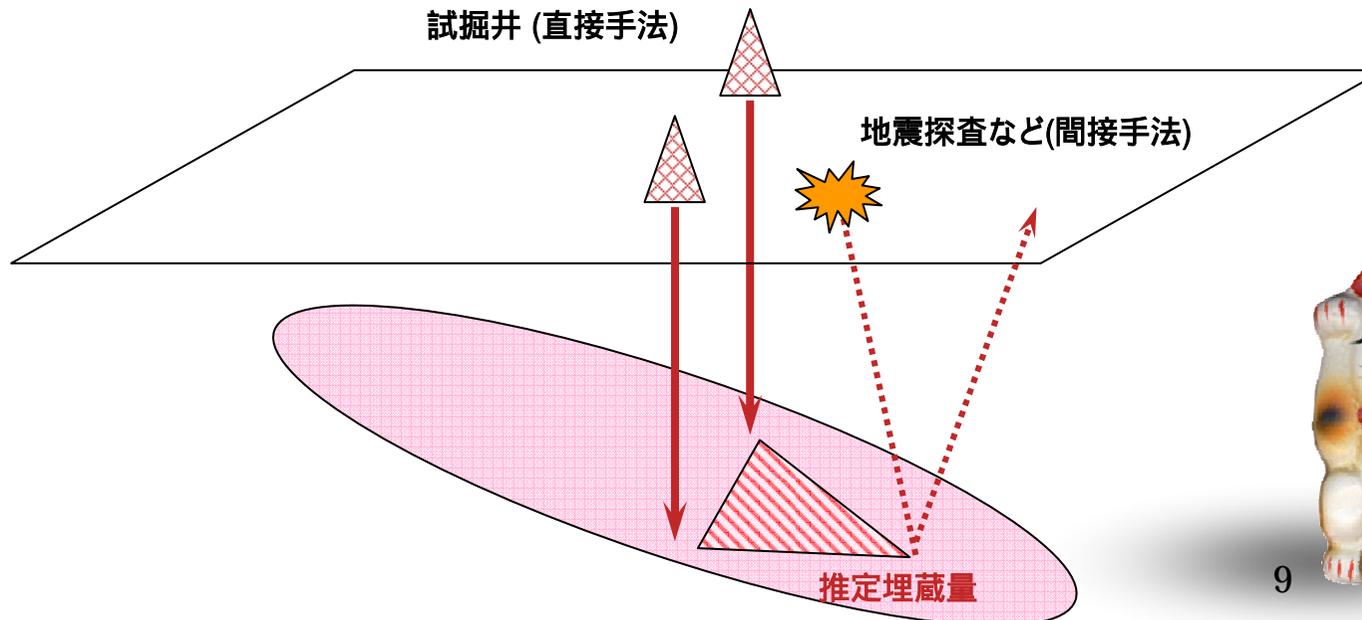
1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-2. 埋蔵量の定義 - 採取の確からしさ (2) -

確認埋蔵量 Proved ;

推定埋蔵量 Probable; 複数の坑道・坑井と探鉱結果で
存在・品位が推定された可採量

予想(埋蔵量) Possible; 単一の坑道・坑井と探鉱結果
で地質学的に予想される可採量



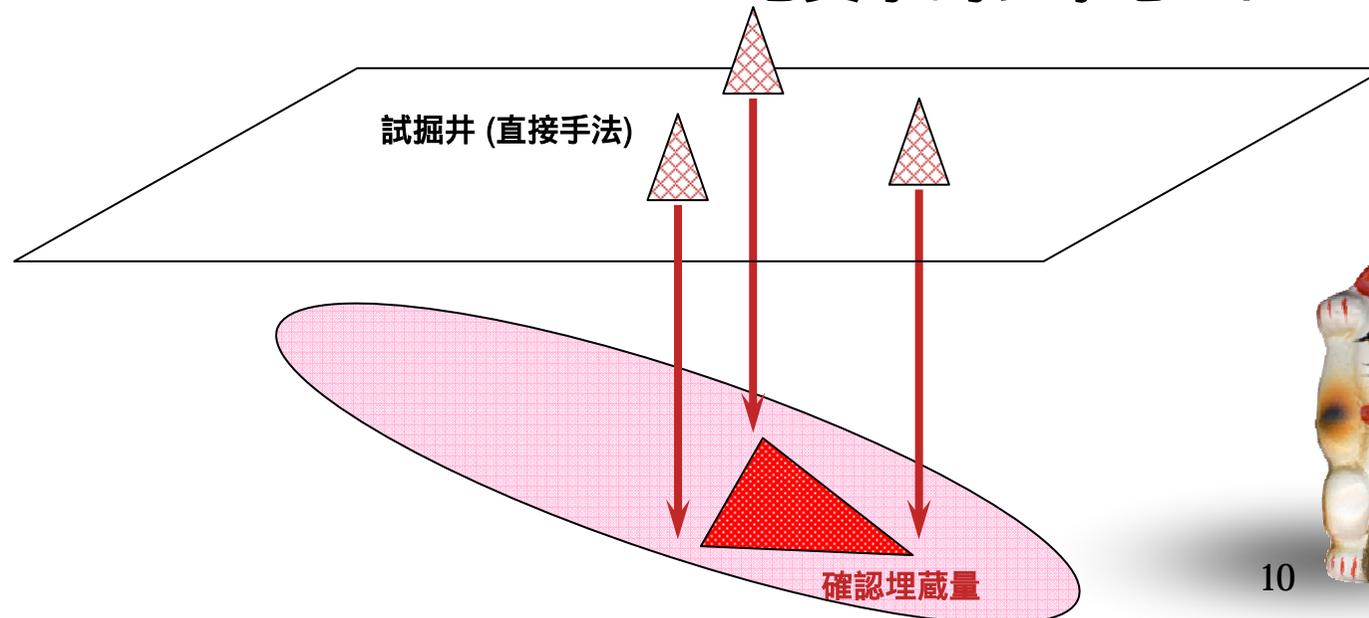
1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-2. 埋蔵量の定義 - 採取の確からしさ (3) -

確認埋蔵量 Proved ; 複数の坑道・坑井で鉱床容積・品位が直接確認された可採量

推定埋蔵量 Probable; 複数の坑道・坑井と探鉱結果で存在・品位が推定された可採量

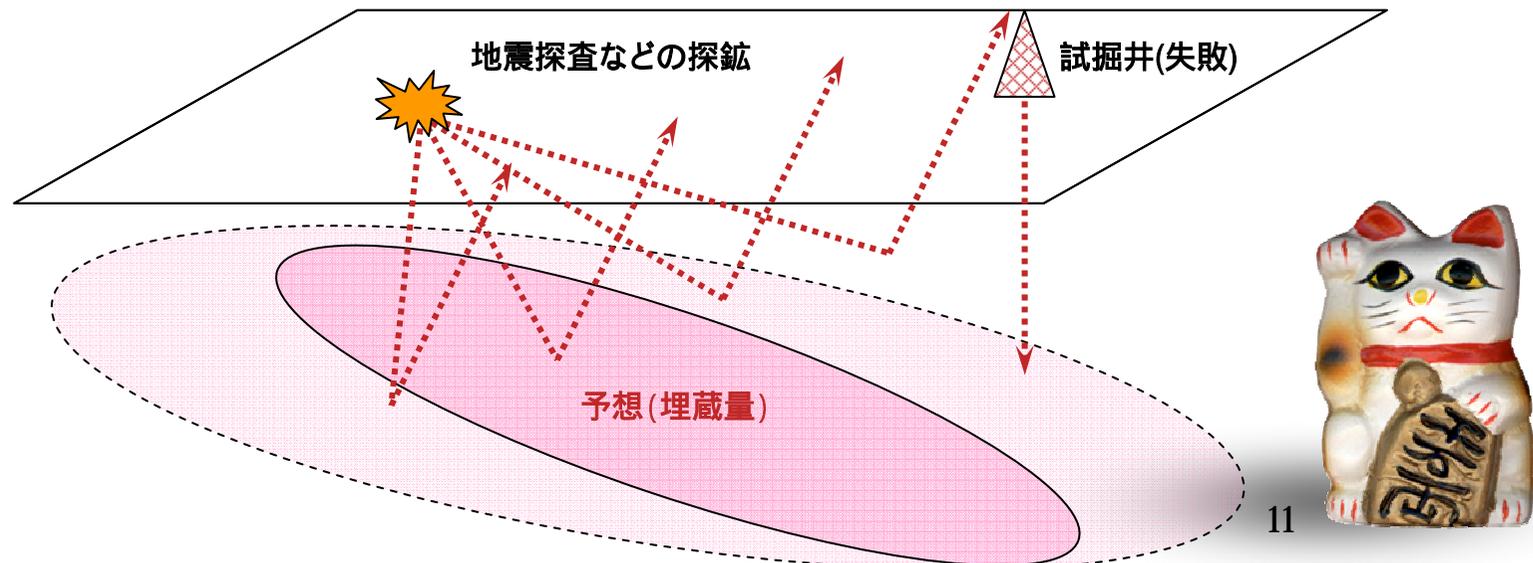
予想(埋蔵量) Possible; 単一の坑道・坑井と探鉱結果で地質学的に予想される可採量



1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-3. 埋蔵量評価の問題 - R. D. Shell 社の事例 -

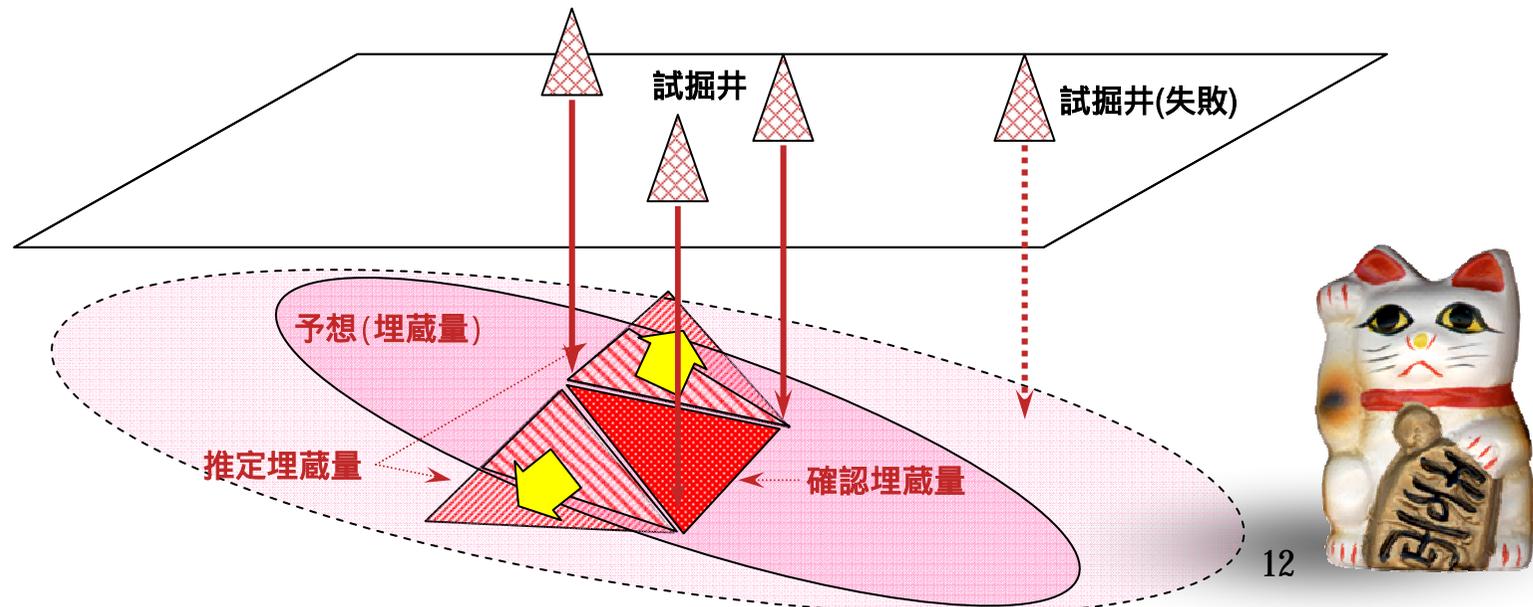
- 現実の資源開発の手順では、探鉱の各段階で随時埋蔵量を評価しながらプロジェクトを進めることになるので、(予想) 推定 確認の各段階の埋蔵量は、鉱床が有望と判明し探鉱が進むにつれて徐々に拡大し一定量に収束していくことになる。



1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-3. 埋蔵量評価の問題 - R. D. Shell 社の事例 -

- しかし、探鉱が進むと同時にどの範囲までを推定・確認埋蔵量とするかの**個別の判断・解釈により、埋蔵量が変化してしまう**問題が生じる。
- 企業としては、プロジェクトが成功し資源を獲得することが業績・株価に好影響なので、常に埋蔵量を「**過大評価**」する傾向がある。



1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-3. 埋蔵量評価の問題 - R. D. Shell 社の事例 -

- 当該問題を防ぐため、石油分野では学会・国際機関
S P E: Society of Petroleum Engineers
WPC: World Petroleum Congress
が共同で国際基準を策定・普及する努力を実施中。
(1997, 2007(新))
- 実際に、2003年末に R. D. Shell 社が独自基準での埋蔵量評価を国際基準準拠としたところ、2002年末から埋蔵量が 2/3 に激減するという問題が発生し、同社の株価に大きな影響を与え投資家から非難を浴びる事件が発生している。



1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

1-3. 埋蔵量評価の問題 - R. D. Shell 社の事例 -

- 最近の動向として、主観の入込みやすい物理的な探鉱段階のみによる定義を改め、確率論的手法による定義を併用する方向へ。(SPE/WPC(2007))

確認埋蔵量 = 商業的回収確率 90%以上

確認+推定埋蔵量 = 同 50%以上

確認+推定+予想埋蔵量 = 同 10%以上

“**Proved reserves** are those quantities of petroleum which, by analysis of geological and engineering data, can be **estimated with reasonable certainty to be commercially recoverable** from known reservoirs, and under current economic conditions, operating methods, and government regulations.” (SPE/WPC(2007))



1 - 埋蔵量の定義・分類と意味

(まとめ)

- 埋蔵量とは、発見された鉱物のうち、将来において商業的に採取可能(可採)と見込まれる量をいう。従って、埋蔵量は、エネルギー価格・採取技術水準・社会的制約などによって決定される変数である。
- 埋蔵量は、確認埋蔵量と推定埋蔵量の合計をいう。
確認埋蔵量とは、鉱床容積・品位が複数の坑道・坑井により直接確認された量をいう。
推定埋蔵量とは、鉱床の存在と品位が複数の坑道・坑井と探鉱により推定された量をいう。
- 国際基準の策定努力が行われているが埋蔵量の評価・解釈の手法についてはなお企業毎に相違があり「過大評価」の傾向にある。



大阪大学サステイナブルサイエンス研究機構制度設計WS
- エネルギー資源と埋蔵量 -

1- 埋蔵量の定義・分類と意味

2- 確認埋蔵量の現状

2-1. 確認埋蔵量の時系列変化

- 「ピークオイル説」 & 「石油安泰説」 -

2-2. 確認埋蔵量の評価 - 問題は潜在的追加量 -

3- 確認埋蔵量とエネルギー需給

4- 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら？ -

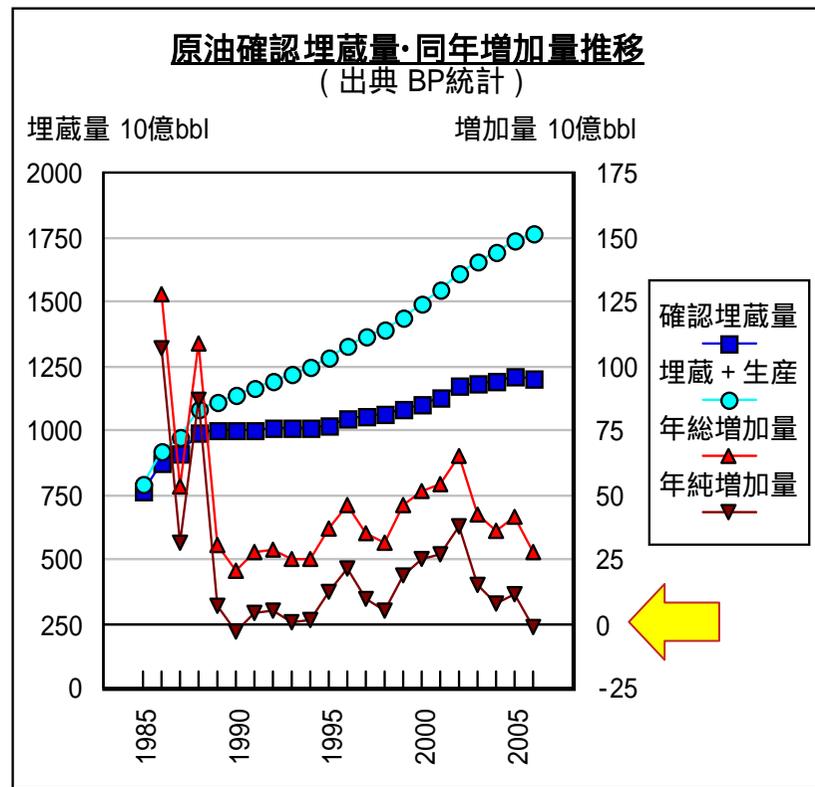


2 - 確認埋蔵量の現状

2-1. 確認埋蔵量の時系列変化

- 原油確認埋蔵量推移(BP統計)

確認埋蔵量の**純増加量**(総増加量 - 生産量)は
微増 ~ 停滞で推移している

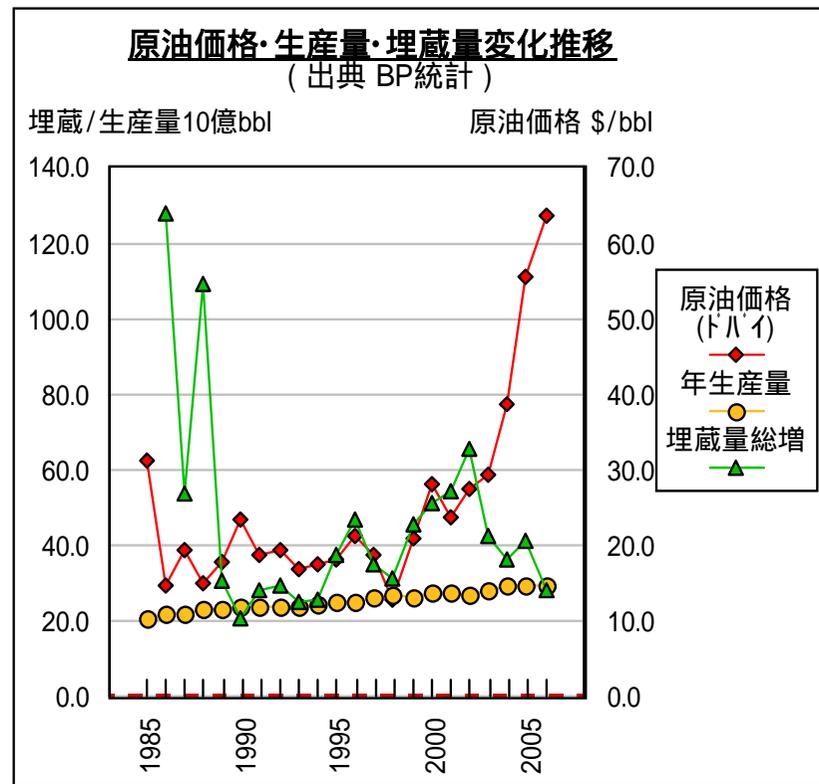


2 - 確認埋蔵量の現状

2-1. 確認埋蔵量の時系列変化

- 原油確認埋蔵量推移(BP統計)

確認埋蔵量の**総増加量**は必ずしも直近の原油価格や生産量と直接関連していない



2 - 確認埋蔵量の現状

2-1. 確認埋蔵量の時系列変化

- 原油確認埋蔵量についてのよくある誤解(1)

ピークオイル説 (Hubert, 1969)

- 世界における原油の生産はロジスティック曲線に従い「ベル型」の曲線上で減退に向かうと予想
価格変化・技術進歩がない条件下では経験則として妥当 (ex 既開発の老朽油田)
- 問題は「ピークオイル」の意味や該当条件を正しく吟味せずに、生産量の推移が停滞気味になると「世界的ピークオイル」の到来を予想(?)してしまうこと

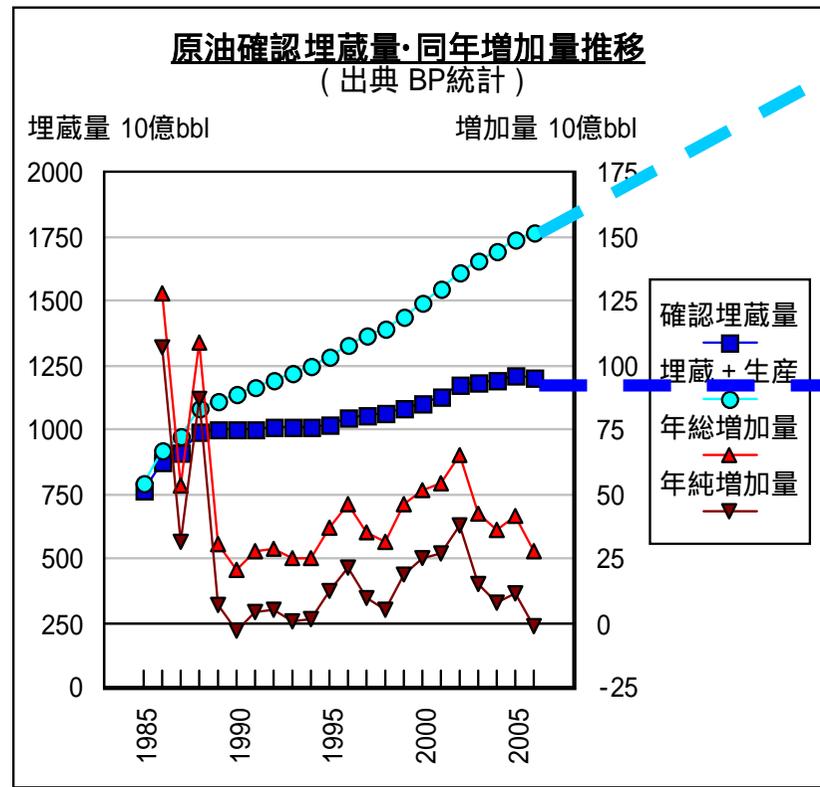


2 - 確認埋蔵量の現状

2-1. 確認埋蔵量の時系列変化

- 原油確認埋蔵量についてのよくある誤解(2)

確認埋蔵量は近年「ずっと40年分くらい」なので
実際には**石油資源は安泰**なのではないか ???



?



2 - 確認埋蔵量の現状

2-2. 確認埋蔵量の評価

- 資源エネルギー庁公式採用値(2004: 現在は公表中止)
(既)確認埋蔵量のみを調査・公表 「誤解の元」
本来こうした数値には定義・解説を付すべき！

エネルギー資源	確認埋蔵量(R)	年生産量(P)	R/P (年)
石油	1.189兆bbl	0.029兆bbl	40.5
天然ガス	180兆m ³	2.7兆m ³	66.7
石炭	9,091億t	55.4億t	164
ウラン	459万t	3.6万t	85

出典: 石油～石炭- BP(British Petroleum)統計

ウラン - OECD/NEA & IAEA資料

ウラン R/Pは高速増殖炉での増殖を考慮せず



2 - 確認埋蔵量の現状

2-2. 確認埋蔵量の評価

- 石油鉱業連盟調査値(2007最新, 5年毎更新)

可採資源量全体を、既生産量、既/追加確認埋蔵量、未発見可採資源量に**区別**して調査

エネルギー資源 可採資源量(R') 生産量(P) R'/P (年)

石油	3.380兆bbl	0.030兆bbl	(45年)+ 68年
既生産量			(45年)
既確認埋蔵量			37.6年分
採掘技術による埋蔵量追加			16.6年分
探査による埋蔵量追加(未発見分)			13.9年分

- 同様の調査により天然ガス R'/Pを + 98年と推計
- 既確認埋蔵量が資源エネルギー庁値より小さい理由は「統一基準」を適用し再評価したため

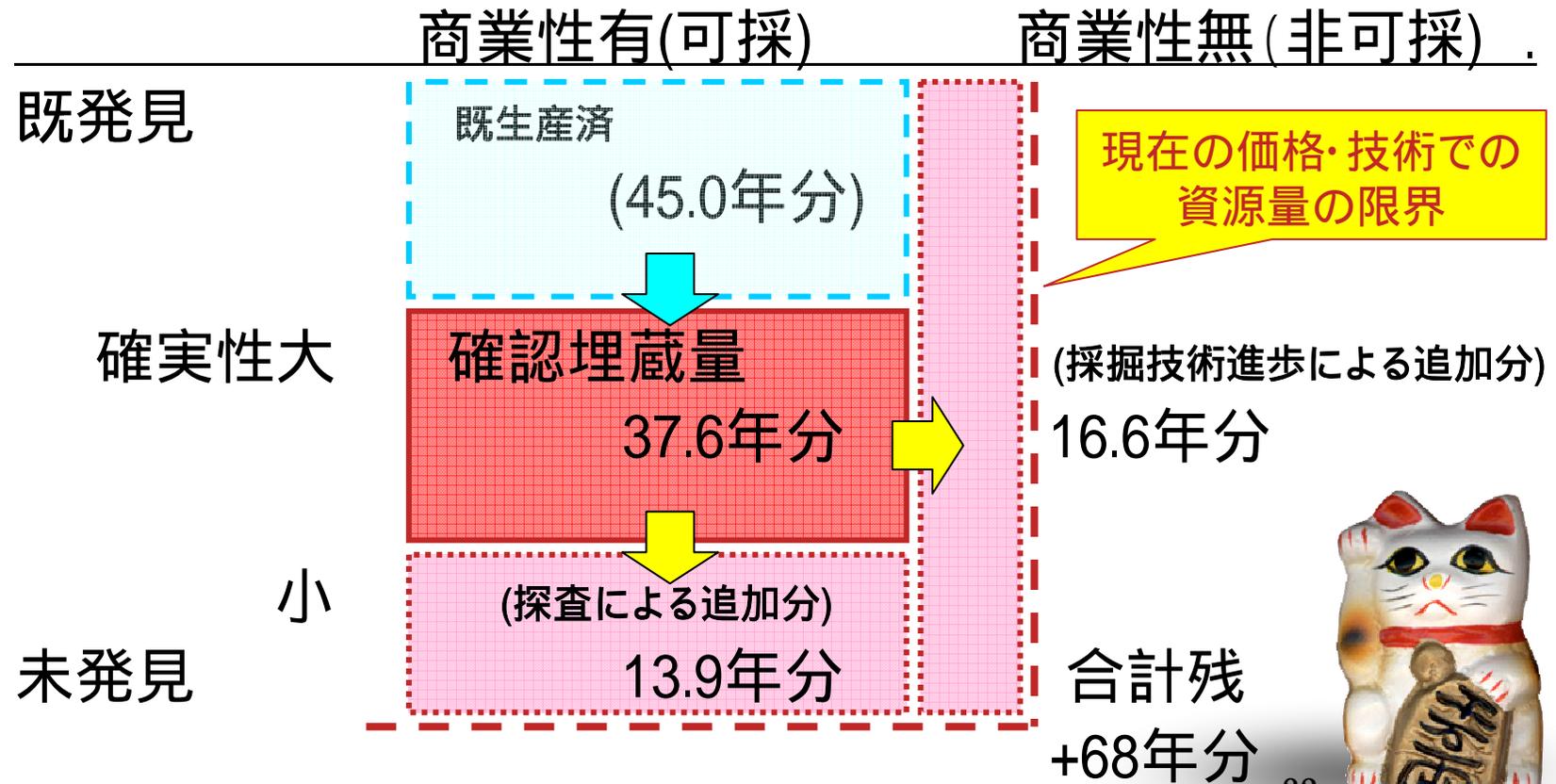


2 - 確認埋蔵量の現状

2-2. 確認埋蔵量の評価

- 石油埋蔵量の定量評価 (石油鉱業連盟/Mckelvey分類)

探査段階/ 商業性

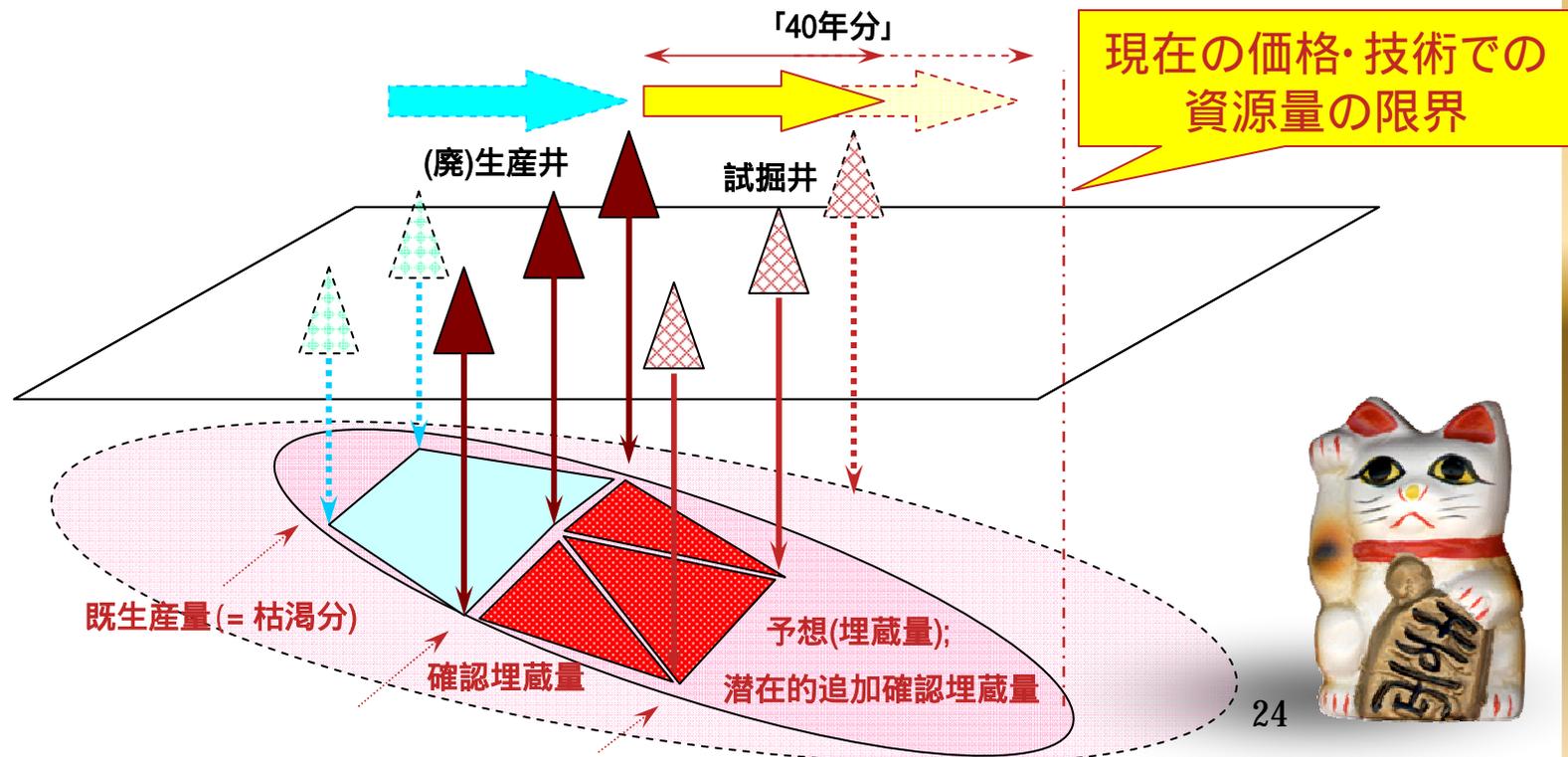


3 - 確認埋蔵量の現状

2-2. 確認埋蔵量の評価

- 原油確認埋蔵量の変化

確認埋蔵量自体が近年「ずっと40年くらい」でも
価格の継続的高騰や採掘技術の進歩がなければ
潜在的な追加確認埋蔵量は確実に減っていく



2 - 確認埋蔵量の現状

(まとめ)

- 化石燃料・核燃料において、最も確認埋蔵量が小さいのは原油であり、天然ガス・ウラン(軽水炉)・石炭の順に現在の生産量に対する確認埋蔵量が多い
(現在の生産量が基準であることに注意！)
- 近年の原油の確認埋蔵量は40年分程度であり、微増～停滞の状況で推移している
- 2005年現在での今後の原油の**潜在的追加確認埋蔵量は30年分弱程度**と見込まれる
- 原油の確認埋蔵量の総増加量(生産量+純増加量)は、直近の原油価格・生産量と直接の関連はない

現状では確認埋蔵量自体ではなく**潜在的追加確認埋蔵量が毎年1年分ずつ減少**



大阪大学サステイナブルサイエンス研究機構制度設計WS
- エネルギー資源と埋蔵量 -

1- 埋蔵量の定義・分類と意味

2- 確認埋蔵量の現状

3- 確認埋蔵量とエネルギー需給

3-1. 確認埋蔵量変化の分析(1) - 因果性判定 -

3-2. 確認埋蔵量変化の分析(2) - モデル分析 -

4- 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら？ -



3 - 確認埋蔵量とエネルギー需給

3-1. 確認埋蔵量変化の分析(1) - 因果性分析 -

- Granger の因果性 (1969, 2003 Nobel Prize)

$$Y(t) = F(Y(t-1), \dots, Y(0))$$

$$F(Y(t-1), \dots, Y(0), X(t-1), \dots, X(0))$$

X は Y に Granger の意味での因果性あり
; X の過去の時系列が Y に有意な影響あり

$$= F(Y(t-1), \dots, Y(0), X(t-1), \dots, X(0))$$

X は Y に Granger の意味での因果性なし
; X の過去の時系列は Y に殆ど影響なし

- 時系列でのデータを用いて Granger の因果性の有無を判定することにより、原因と結果の方向性(関係)を推察できる。



3 - 確認埋蔵量とエネルギー需給

3-1. 確認埋蔵量変化の分析(1) - 因果性分析 -

- 原油の**確認埋蔵量(R)**、年生産量(X)、国際価格(P)の間の Granger 因果性はどうなっているか？

(1) 直接比較

(1985-2006, Lag 6, Pair wise Granger Test, P値)

R	X	埋蔵量	生産量	0.875	因果性無
X	R	生産量	埋蔵量	0.042	因果性有
R	P	埋蔵量	価格	0.175	因果性無
P	R	価格	埋蔵量	0.133	因果性無
X	P	生産量	価格	0.475	因果性無
P	X	価格	生産量	0.599	因果性無



3 - 確認埋蔵量とエネルギー需給

3-1. 確認埋蔵量変化の分析(1) - 因果性分析 -

- 原油の**確認埋蔵量(R)**、年生産量(X)、国際価格(P)の間の Granger 因果性はどうなっているか？

(2) 変化量(階差)比較

(1985-2006, Lag 6, Pair wise Granger Test, P値)

R	X	埋蔵量	生産量	0.905	因果性無
X	R	生産量	埋蔵量	0.073	因果性有
R	² P	埋蔵量	価格	0.476	因果性無
² P	R	価格	埋蔵量	0.371	因果性無
X	² P	生産量	価格	0.013	因果性有
² P	X	価格	生産量	0.892	因果性無



3 - 確認埋蔵量とエネルギー需給

3-2. 確認埋蔵量変化の分析(2) - モデル分析 -

- 原油の**確認埋蔵量(R)**は年生産量(X)で決定される関数 (Granger因果性判定結果より)
時系列モデル分析(ARMAX)を試行

$$R(t) = -1.22 * X(t) - 3.24 * X(t-1) - 9.63 * X(t-3)$$

(0.77) (0.39) (0.01)***

$$+ 6.32 * X(t-5) + 40.45$$

(0.06)* (0.00)***

$$+ 0.65 * R(t-1) + e(t) + 2.22 * e(t-1)$$

(0.04)** (0.05)*

$$R^2 = 0.902, AIC = 5.70 BIC = 6.03$$



2 - 確認埋蔵量の現状

(まとめ(1))

- 原油の確認埋蔵量(R)を Granger 因果性分析した結果、確認埋蔵量(R)及びその変化(ΔR) は年生産量(X)及びその変化(ΔX)で決定されている従属変数と判明
原油の潜在的追加確認埋蔵量の減少とは無関係に
確認埋蔵量は生産量に応じ一定に維持されている！
- 原油の確認埋蔵量(R) を年生産量の関数として時系列モデル分析を行った結果以下のとおり:
 - 3年程度の短期生産量変化は埋蔵量減少要因
 - 5年程度の中期生産量変化は埋蔵量増加要因
確認埋蔵量が年生産量の変化に追従するためには **5年程度の遅延(ラグ)**が存在
(ex 追加試掘準備、資金調達、許認可他)



2 - 確認埋蔵量の現状

(まとめ(2))

- つまり、原油があと何年程度の資源寿命を持つかということを考える上では、確認埋蔵量(R)には意味はなく、石油鉱業連盟が実施したような「可採資源量」(R')の分析を行い、**潜在的追加確認埋蔵量**を考える必要あり
- 勿論、仮に原油の潜在的追加確認埋蔵量が顕著に減少を始めたならば、確認埋蔵量も減少し始めると推察される (=「経済的枯渇」の開始)
- しかし、確認埋蔵量が減少を始めてしまったからエネルギー転換対策を行ったのでは間に合わない(= 不要な調整費用が掛かる)
- **従って「可採資源量」に関する不断の調査と先行的なエネルギー転換対策が必要！**



大阪大学サステイナブルサイエンス研究機構制度設計WS
- エネルギー資源と埋蔵量 -

- 1- 埋蔵量の定義・分類と意味
- 2- 確認埋蔵量の現状
- 3- 確認埋蔵量とエネルギー需給
- 4- 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら？ -



4 - 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら? -

4-1. 「経済的枯渇」の時期

- 2005年現在での今後の原油の**潜在的追加確認埋蔵量**は**30年分弱程度**であり、当該潜在的追加確認埋蔵量を使い切った後は「確認埋蔵量」が減少

現状の価格水準・採掘技術では 2040年前後に「確認埋蔵量」のカウントダウンが始まる

「経済的枯渇」の開始

- 「確認埋蔵量」が減少を始めたら…… ?

価格上昇 & 需要減少による調整

需要側: 原油利用の節減(省エネルギー)

+ 代替液体エネルギーへの転換

供給側: 可採埋蔵量の若干の追加

+ 「退蔵」行動 ?



4 - 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら? -

4-2. 「経済的枯渇」と供給側の「退蔵」(?)

- 現状では多くの産油国(公社)が自国利用分の「退蔵」を宣言
- しかし、産油国もいずれ原油から代替エネルギー源へ転換が必要

原油を「退蔵」することは明らかに不合理
原油を最大限の価格で売却し収益を代替
エネルギー開発普及に投入すべき

- 従って供給側の「退蔵」宣言は「価格交渉」のための口上 - 少なくとも転売可能なら無意味な政策
- 実際にはウランやシリコンが高騰する反面、高くても原油は手に入る可能性大
(ex 悪貨は良貨を駆逐する)



4 - 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら? -

4-3. 「経済的枯渇」と需要側の最適手

- 「経済的枯渇」に対処するには・・・ ?
- 基本は供給側に「価格支配力」を行使させないこと
 - 原油調達先の分散・多様化
 - 代替液体エネルギー源への転換
(GTL/CTL, バイオエタノール)
 - 輸送エネルギー源の転換
(電気自動車, 原子力船, 合成ジェット燃料)
- 多くの場合、エネルギー源の転換には大規模なインフラの再整備を伴うため時間がかかる
2020年頃に向け、短期的な原油価格動向と無関係に「淡々と」対策を進める必要有
政府による政策措置の重要性



4 - 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら? -

4-4. 「経済的枯渇」と需要側の最適手

- 「経済的枯渇」に対処するには・・・ ?
- 最も避けるべきは**将来性のないインフラ整備への投資**
 - 天然ガスへの転換 (!)
 - ・ 天然ガスの R/P が 98年なのは現在の生産量が前提
 - ・ 代替液体エネルギー源として GTL が本格化すれば天然ガスもすぐに「経済的枯渇」へ
- 供給側においては、**石炭・原子力発電などを「中継」として合理的に活用しつつ、着実に再生可能エネルギーの開発を進めるべき**
需要側においては、エネルギー源の選択性の高い電力化が賢明か



4 - 考 察 - 「埋蔵量」が減り始めたら? -

4-5. 「水素社会」というやっかいな問題

- 何から水素を作るのかが第一の問題

「汚い水素」の存在

- 石炭乾留ガス (!)
- 天然ガス改質ガス (!)

- 水素にするメリットは何かが第二の問題

電力や合成燃料が使える分野でわざわざ水素を使う意味は？

- 電気自動車 / 合成ガソリン
- 合成ジェット燃料

- 対処すべき課題を明確化して費用対効果を評価していけば、殆どの場合水素が選択肢に残ることはないはず！



エネルギー資源と埋蔵量

- 埋蔵量の概念と現実の意味 -

- 以上 -

2008年 1月 7日

独立行政法人経済産業研究所 研究員 兼
国立大学法人大阪大学サステイナブルサイエンス
研究機構 特任教授 戒能一成 (C)

