

シェールガス革命 【その実態とインパクト】

平成24年11月21日

牧エネルギー工学研究所(MIE)

代表 牧 武志

経歴

昭和36年	3月	大阪府立北野高校卒
昭和42年	3月	京都大学工学部鉱山学科卒
昭和42年	4月	帝国石油株式会社入社 新潟鉱業所配属(5年間)
昭和47年	6月	ナイジェリア石油開発(株)出向(3年間)
昭和51年	12月	石油公団出向(中国渤海湾、インドネシア)(3.5年間)
昭和55年	5月	帝国石油(株) 新潟鉱業所(6年間)
平成 2年	3月	帝国石油(株) 長岡鉱場長
平成 3年	8月	テイコク・オイル(U.S.A.)社長(1.5年間)
平成 7年	3月	帝国石油(株) 取締役新潟鉱業所長(通算6年間)
平成14年	3月	帝国石油(株) 専務取締役国内本部長
平成17年	4月	帝国石油(株) 代表取締役副社長
平成18年	4月	兼国際石油開発帝石ホールディング(株) 取締役技術本部長
平成19年	4月	深田地質研究所 監事
平成20年	10月	磐城沖石油開発(株) 代表取締役社長
平成22年	12月	同退任
平成23年	1月	牧エネルギー工学研究所代表

石油・天然ガスの需要と供給(1)

2011年末国別 原油可採埋蔵量

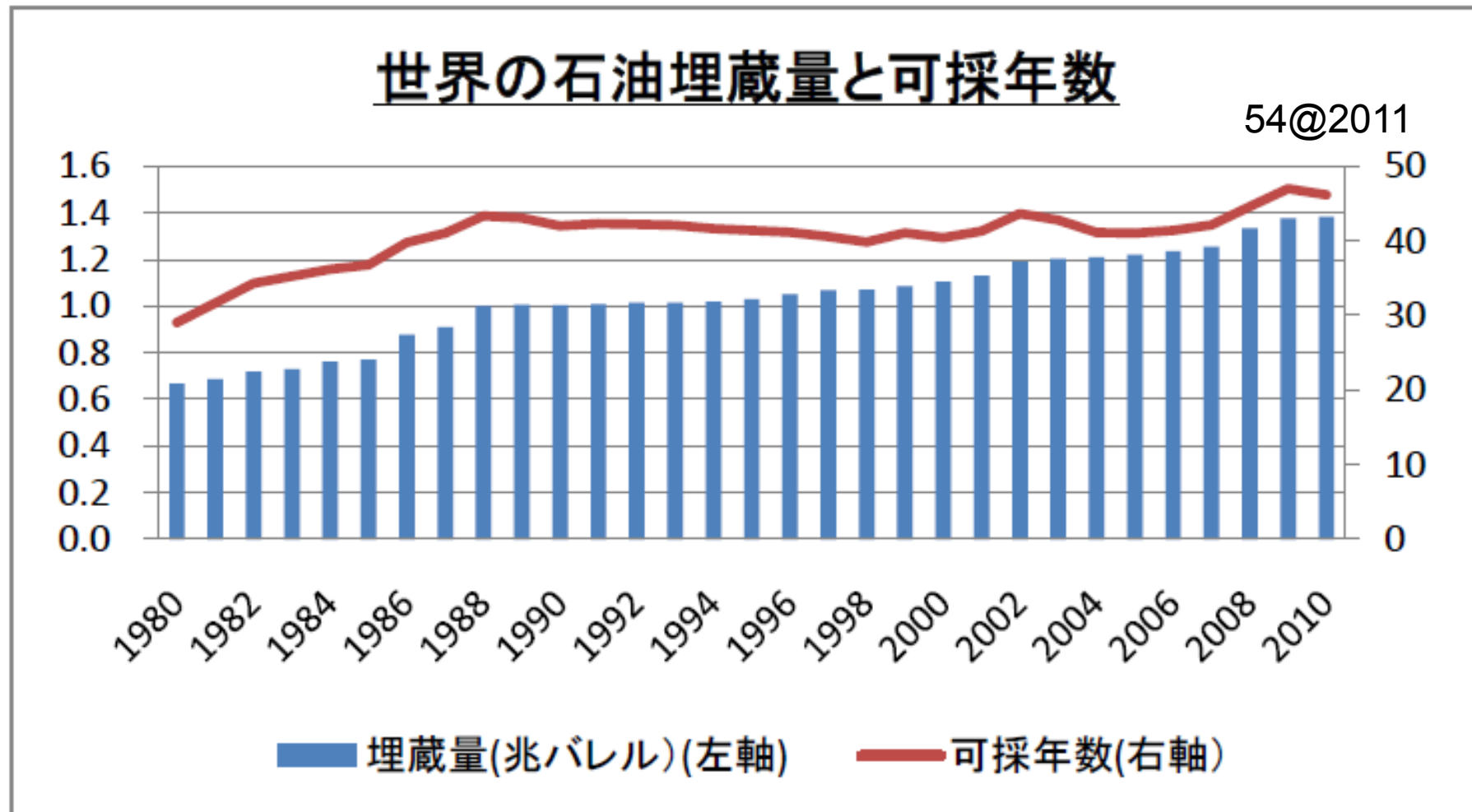
＊全世界で19%増
 合計 1.65兆バレル
 R/P=54年
 ＊Tar Sand、Oil Sandを除くと
 合計 1.26兆バレル、2.1%増
 R/P=41年

＊2007年末と比較すると
 全世界 +4147億バレル
 ベネズエラ +2095億バレル
 イラク + 281億バレル
 カナダオイルサンド
 +170億バレル

＊Source:BP Statistical Review
 of World Energy 2012(BP SR
 2012)

順位	国名	2007年末	2011年末	
		億バレル	億バレル	%
1	ベネズエラ (Tar Sand)	870	2965 (2200)	17.9
2	サウジアラビア	2642	2654	16.1
3	カナダ (Oil Sand)	1799 (1522)	1752 (1692)	10.6
4	イラン	1384	1512	9.1
5	イラク	1150	1431	8.7
6	クウェイト	1015	1015	6.1
7	アブダビ	978	978	5.9
8	ロシア	794	882	5.3
9	リビア	415	471	2.9
10	ナイジェリア	362	372	2.3
11	米国	294	309	1.9
	全世界合計	13,901	16,526	
	OPEC	9347	11,963	72.4

石油の可採年数の推移



石油・天然ガスの需要と供給(3)

2011年
国別石油生産量

*全世界で2.2%の増加
年間生産量305億バレル
米国 +994千バレル/日
サウジ+790 //
イラク +655 //

2,721@2000年

3,346@2000年

3,239@2000年

1,268@2000年

*Source:BP SR2012⁵

順位	国名	2007年	2011年	
		千バレル/日	千バレル/日	%
1	サウジアラビア	10,371	11,161	13.2
2	ロシア	9,869	10,280	12.8
3	米国	6,847	7,841	8.8
4	イラン	4,303	4,321	5.2
5	中国	3,742	4,090	5.1
6	カナダ	3,305	3,522	4.3
7	アブダビ	3,053	3,322	3.8
8	メキシコ	3,479	2,938	3.6
9	クウェイト	2,647	2,867	3.5
10	ベネズエラ	2,960	2,720	3.5
11	イラク	2,143	2,798	3.4
12	ブラジル	1,833	2,193	2.9
	全世界合計	81,729	83,576	
	OPEC	35,067	35,830	42.4

石油・天然ガスの需要と供給(4)

2011年
国別石油消費量

* 全世界2.0%の増加
年間 319億バレル

* 2007年との比較
全世界 +1713千バレル/日

米国 △1845千バレル/日
日本 △ 589 "
英独仏伊△ 633 "

Bric's +3310千バレル/日
中国 1941 "
インド 638 "
ロシア 313 "
ブラジル 418 "

*Source:BP SR2012⁶

順位	国名	2007年	2011年	
		千バレル/日	千バレル/日	%
1	米国	20,680	18,835	20.5
2	中国	7,817	9,758	11.4
3	日本	5,007	4,418	5.0
4	インド	2,835	3,473	4.0
5	ロシア	2,648	2,961	3.4
6	サウジアラビア	2,163	2,856	3.1
7	ブラジル	2,235	2,653	3.0
8	ドイツ	2,380	2,362	2.7
9	韓国	2,399	2,397	2.6
10	カナダ	2,323	2,293	2.5
	全世界合計	86,321	88,034	
	OECD	49,632	45,924	51.5

石油・天然ガスの需要と供給(5)

2011年末
国別天然ガス埋蔵量

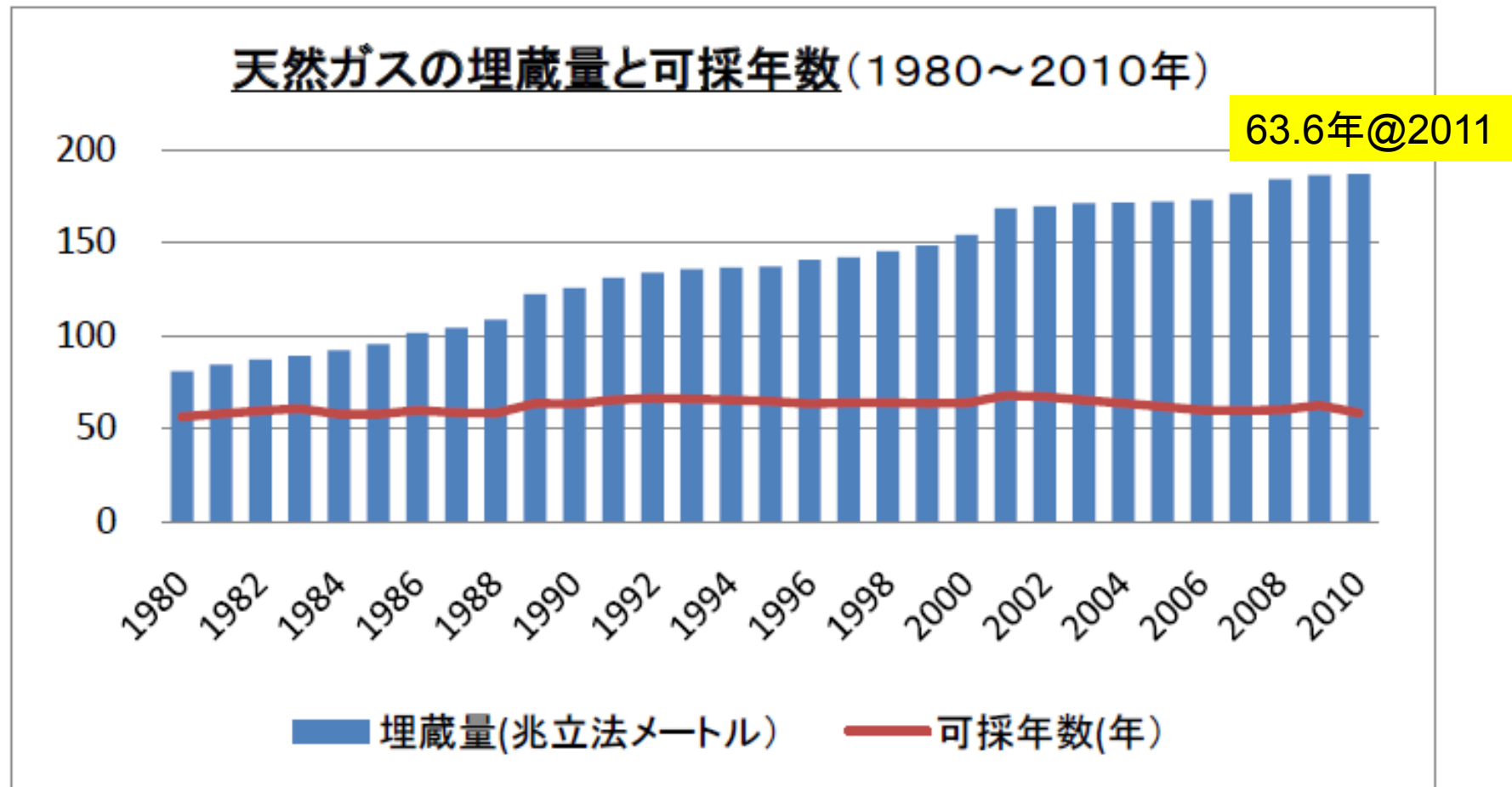
* 全世界で18%の増加
合計 208Tm3、7361Tcf
R/P = 63.6年
* 2007年末との比較
全世界 +31.9Tm3
トルク +21.7Tm3

* トルクメニスタンの南ヨロテ
ンーオスマンガス田の推定
埋蔵量は13~21Tm3。世界
最大ガス田のカタールのノー
スフィールド・ガス田(究極
可採埋蔵量900Tcf、25Tm3)
に 次ぐ大ガス田。
* 西豪州のNorth West
Shelfの可採鉱量;
約130Tcf、3.7Tm3

*Source:BP SR2012⁷

順位	国名	2007年末	2011年末	
		兆m3	兆m3	%
1	ロシア	43.3	44.6	21.4
2	イラン	28.1	33.1	15.9
3	カタール	25.5	25.0	12.0
4	トルクメニスタン	2.6	24.3	11.7
5	米国	6.7	8.5	4.1
6	サウジアラビア	7.3	8.2	3.9
7	アブダビ	6.4	6.1	2.2
8	ベネズエラ	4.8	5.5	2.7
9	ナイジェリア	5.3	5.1	2.5
10	アルジェリア	4.5	4.5	2.2
11	オーストラリア	2.3	3.8	1.8
	全世界合計	176.5	208.4	

石油・天然ガスの需要と供給(6)



石油・天然ガスの需要と供給(7)

2011年国別 天然ガス生産量

順位	国名	2007年末	2011年末	
		億m3	億m3	%
1	米国	5456	6513	20.0
2	ロシア	5920	6070	18.5
3	カナダ	1827	1605	4.9
4	イラン	1119	1518	4.6
5	カタール	632	1468	4.5
6	中国	692	1025	3.1
7	ノルウェー	897	1014	3.1
8	サウジアラビア	744	992	3.0
9	アルジェリア	848	780	2.4
10	インドネシア	676	756	2.3
11	マレーシア	646	618	1.9
12	エジプト	557	613	1.9
	全世界合計	29,393	32,762	

- * 全世界で11%増
合計 3.28Tm3、116 Tcf
- * 米国はシェールガスで
20%増、世界一に返り咲き
- * カタールがLNG輸出増で
大幅増
- * イラン、中国、20%以上の
増産
- * 英国が北海生産量減に
より大幅減も、ノルウェー
は逆に増加
- * カナダは米国への輸出減
で減産

*Source:BP SR2012⁹

石油・天然ガスの需要と供給(8)

2011年国別 天然ガス消費量

順位	国名	2007年末	2011年末	
		億m3	億m3	%
1	米国	6542	6901	21.5
2	ロシア	4221	4246	13.2
3	イラン	1130	1533	4.7
4	中国	705	1307	4.0
5	日本	902	1055	3.3
6	カナダ	962	1048	3.2
7	サウジアラビア	744	992	3.1
8	英国	911	802	2.5
9	ドイツ	829	725	2.2
10	イタリア	778	713	2.2
11	メキシコ	632	689	2.1
12	インド	401	611	1.9
	全世界合計	29,304	32,229	

- *全世界で10%増
- ・イラン、中国、サウジ、インドで30%以上の増
- ・日本17%、カナダ9%
米国5%増
- ・西欧は景気後退で大幅減

*Source:BP SR2012¹⁰

石油・天然ガスの
需要と供給(9)

2011年国別天然ガス
輸出量(NET)

2007年との比較

*PIPFINE

- ・全世界 +1003億m3
- ・ロシア +294
- ・トルクメ +285
- ・カタール +192
- ・ノルウェー +67
- ・オランダ +56
- ・カナダ ▲327

*LNG

- ・全世界+1036億m3(7670万t)
- ・カタール +641(4740)
- ・ロシア +144(1070)
- ・オーストラリア +57(420)
- ・ナイジェリア +47(350)
- ・アルジェリア ▲76(560)

順位	国名	PIPELINE	LNG		合計
		億m3	億m3	万トン	億m3
1	ロシア	1769	144	1070	1913
2	カタール	192	1026	7590	1218
3	ノルウェー	928	40	300	968
4	カナダ	614	△33	240	581
5	アルジェリア	344	171	1270	515
6	マレーシア	66	333	2460	399
7	インドネシア	87	292	2160	379
8	オランダ	368	△8	60	360
9	トルクメニスタン	346			346
10	ナイジェリア		259	1920	259
11	オーストラリア		259	1920	259
12	トリニダード		189	1400	
	全世界合計	5568	3281	24,280	8849

*Source:BP SR2012 ¹¹

石油・天然ガスの
需要と供給(10)

2011年国別天然ガス 輸入量(NET)

2007年との比較

*PIPELINE

- ・全世界 +1003億m3
- ・旧ソ連 +709
- ・東アジア +261
- ・トルコ +43
- ・ロシア⇒西欧▲69
- ・米国 ▲395

*LNG

- ・全世界+1029億m3(7610万t)
- ・英国 +238(1760)
- ・日本 +182(1350)
- ・韓国 +149(1100)
- ・中国 +127(940)
- ・インド +71(530)
- ・フランス +63(470)
- ・米国 ▲206(1520)

順位	国名	PIPELINE	LNG		合計
		億m3	億m3	万トン	億m3
1	日本		1070	7920	1070
2	ドイツ	723			723
3	イタリア	607	87	640	694
4	米国	474	80	590	554
5	韓国		493	3650	493
6	フランス	301	146	1080	447
7	トルコ	349	62	460	411
8	ウクライナ	405			405
9	英国	118	253	1870	371
10	スペイン	120	248	1840	348
11	中国	143	166	1230	309
12	インド		171	1270	171
	全世界合計	5568	3281	24,280	8849

*Source:BP SR2012 ¹²

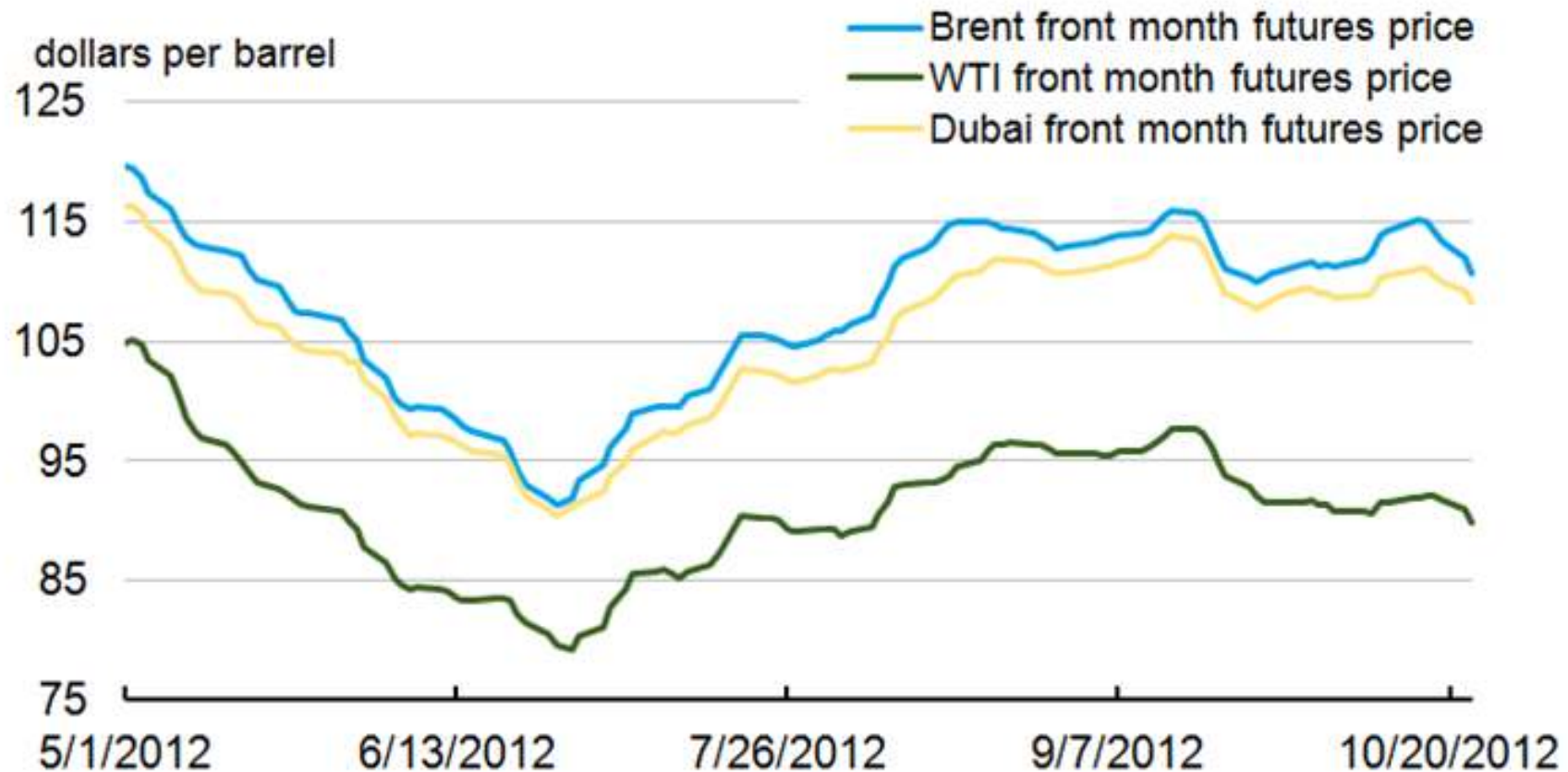
油価・ガス価の推移(1)

世界の原油価格の推移



世界の原油価格の最近の推移

Figure 3. Front Month Crude Oil Futures Prices



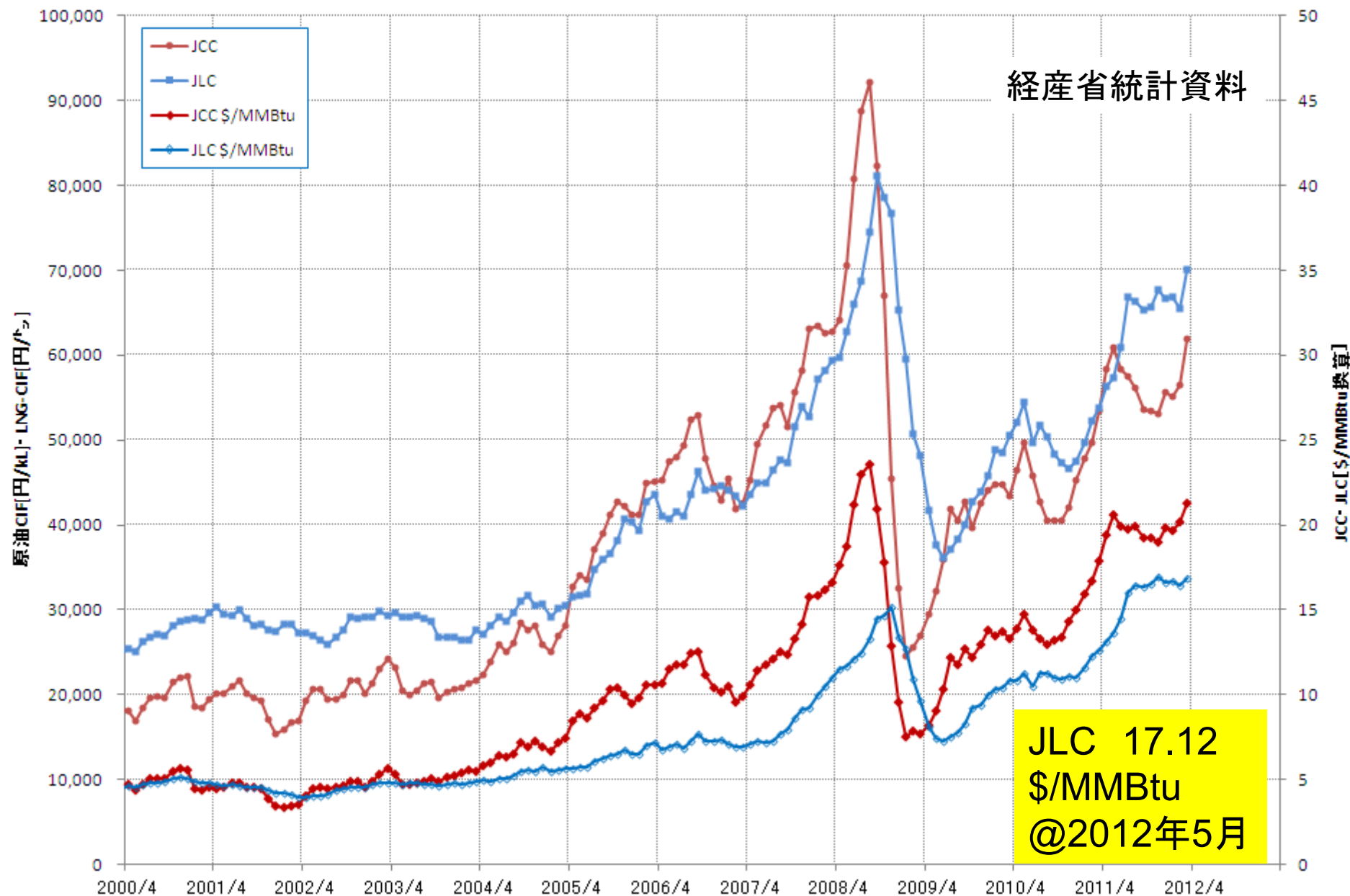
Note: All prices represent rolling 5-day averages.



Source: U.S. Energy Information Administration, based on Chicago Mercantile Exchange (CME), Intercontinental Exchange (ICE) and Dubai Mercantile Exchange (DME).

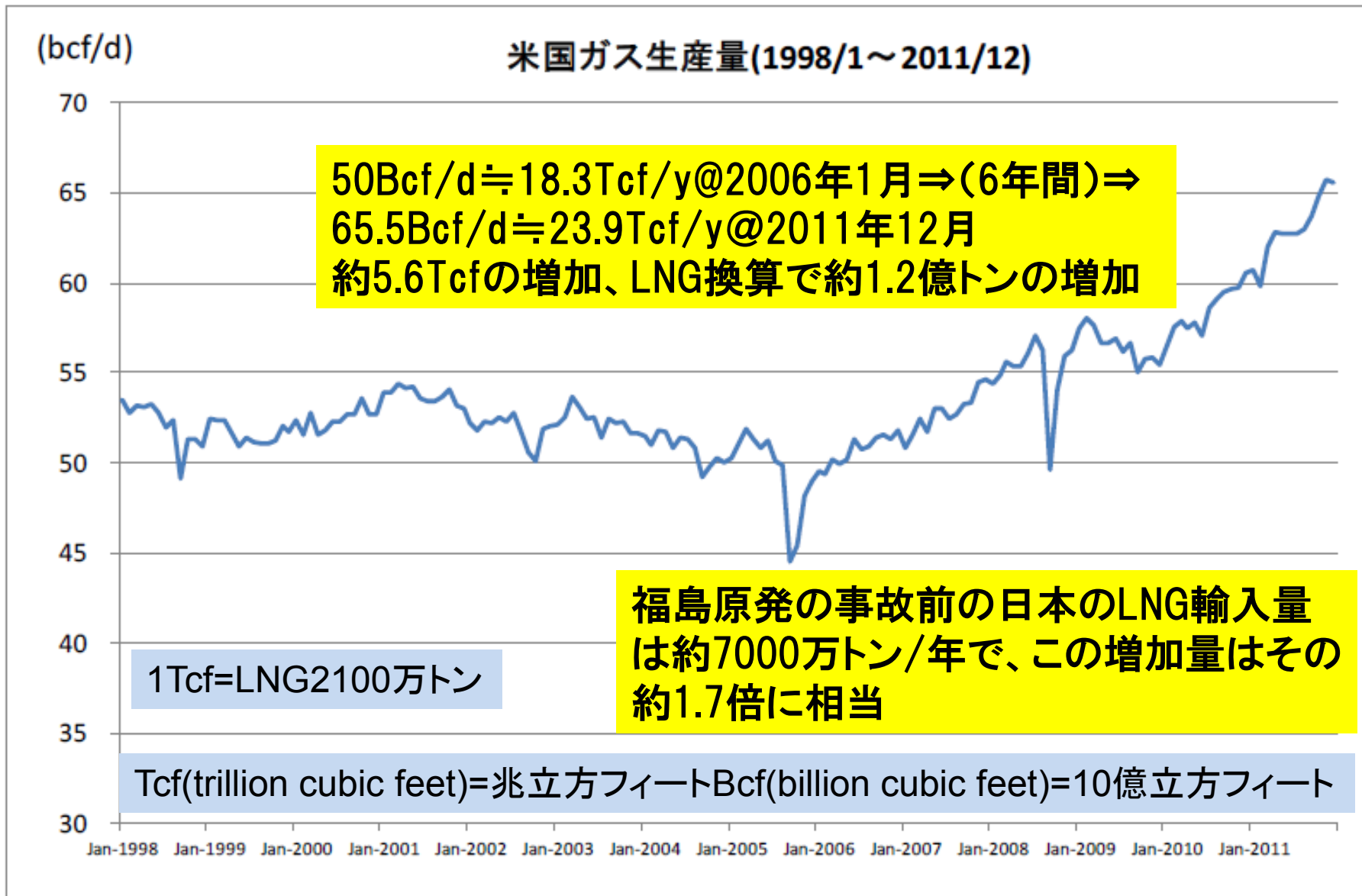
油価・ガス価の推移(2)

原油価格とLNG価格の比較(等価熱量ベース)



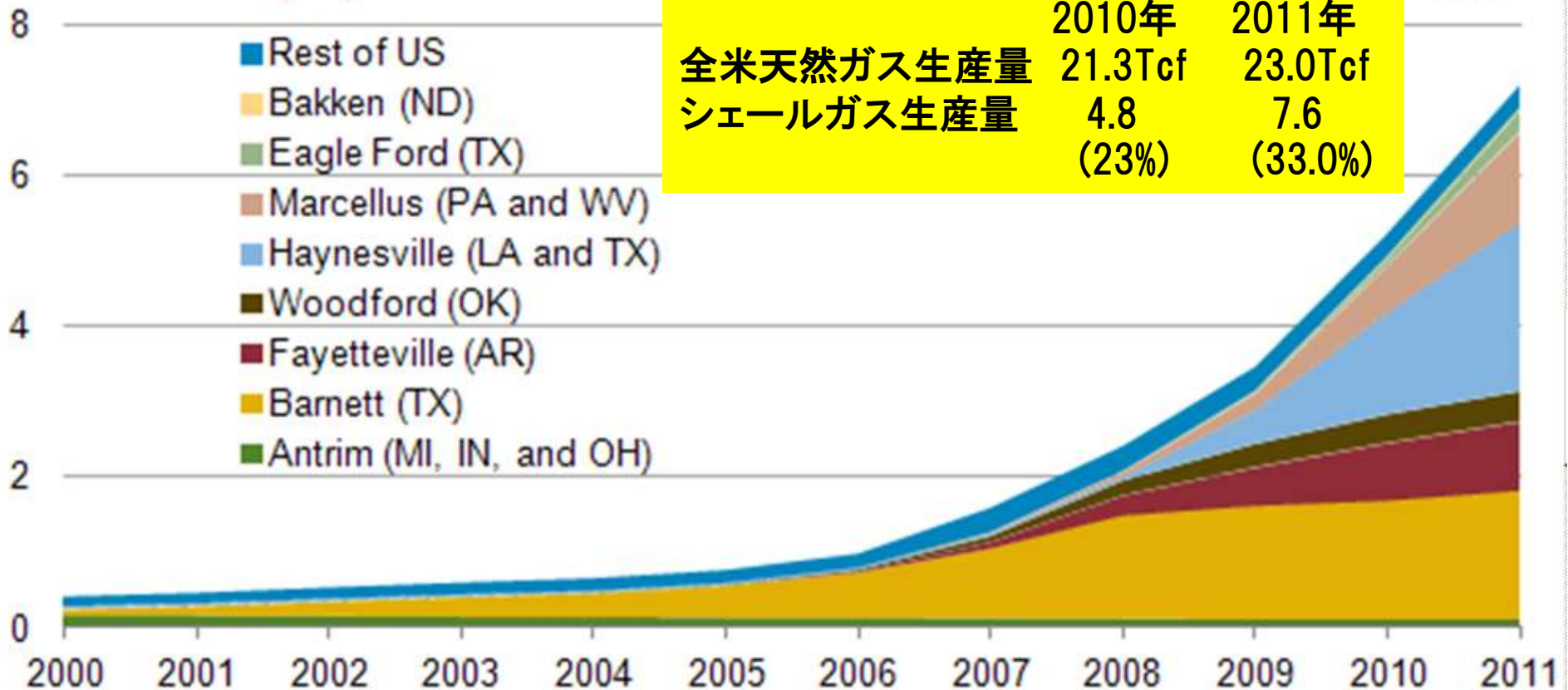
シェールガス革命の実態 (1)

米国の天然ガス生産量の最近の推移 (Bcf/日) by EIA



米国シェールガス生産量の推移 (Tcf/年)

Estimated annual U.S. dry shale natural gas production, 2000-2011
trillion cubic feet per year

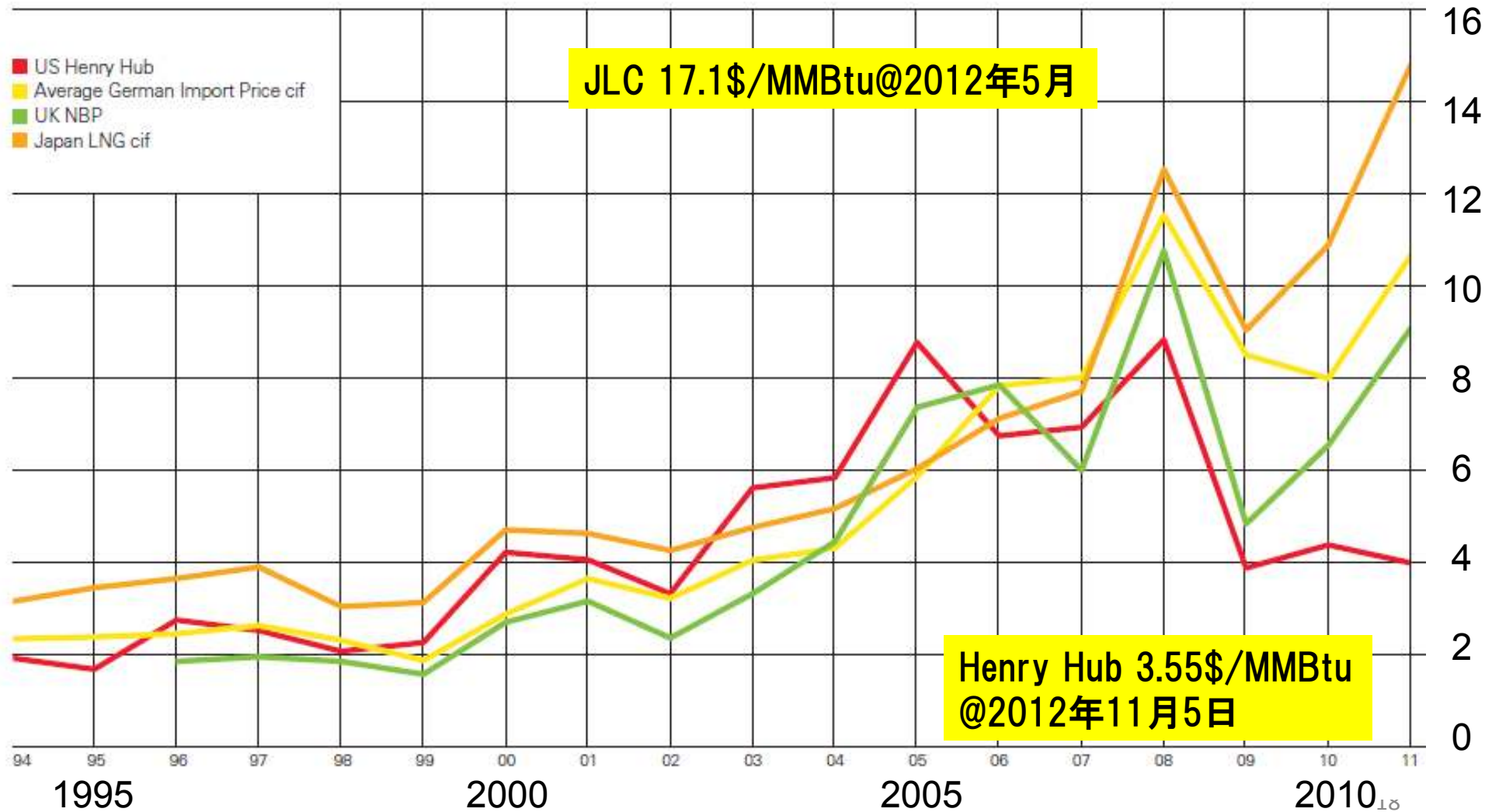


シェールガス革命の実態 (3)

世界の地域別の天然ガス価格の推移

by BP2012

\$/MMBtu



シェールガス 革命の実態 (4)

北米大陸のシェールガス田

カナダ:
4~5ヶ所
米国:
約20ヶ所
主要7ヶ所

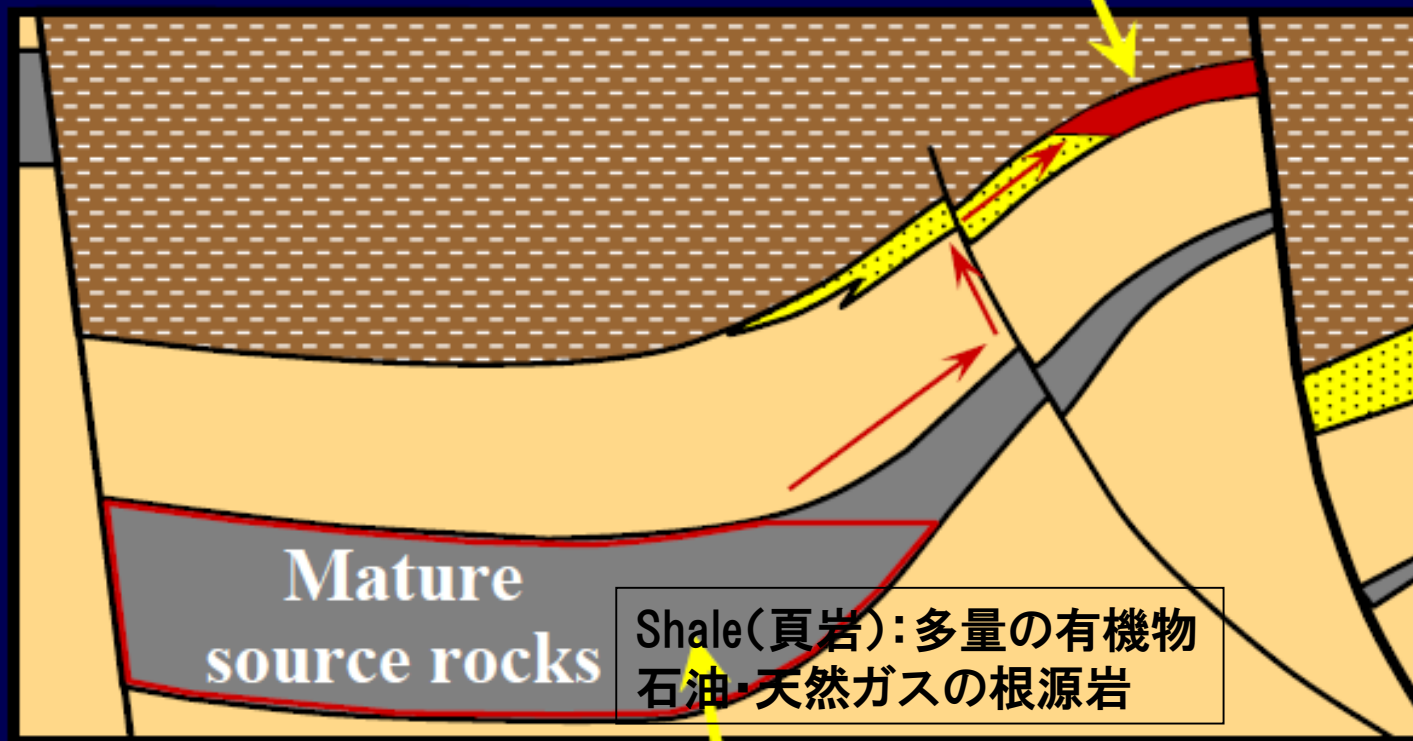


シェールガスとは？①

Conventional Type
在来型ガス田

**The Migrated
Hydrocarbons Prize**

from Shale Gas Exploration
and Production : Eagle Ford
Case Study by ConocoPhillips



Unconventional Type
非在来型ガス田

The Shale Gas Prize

シェールガスとは？②

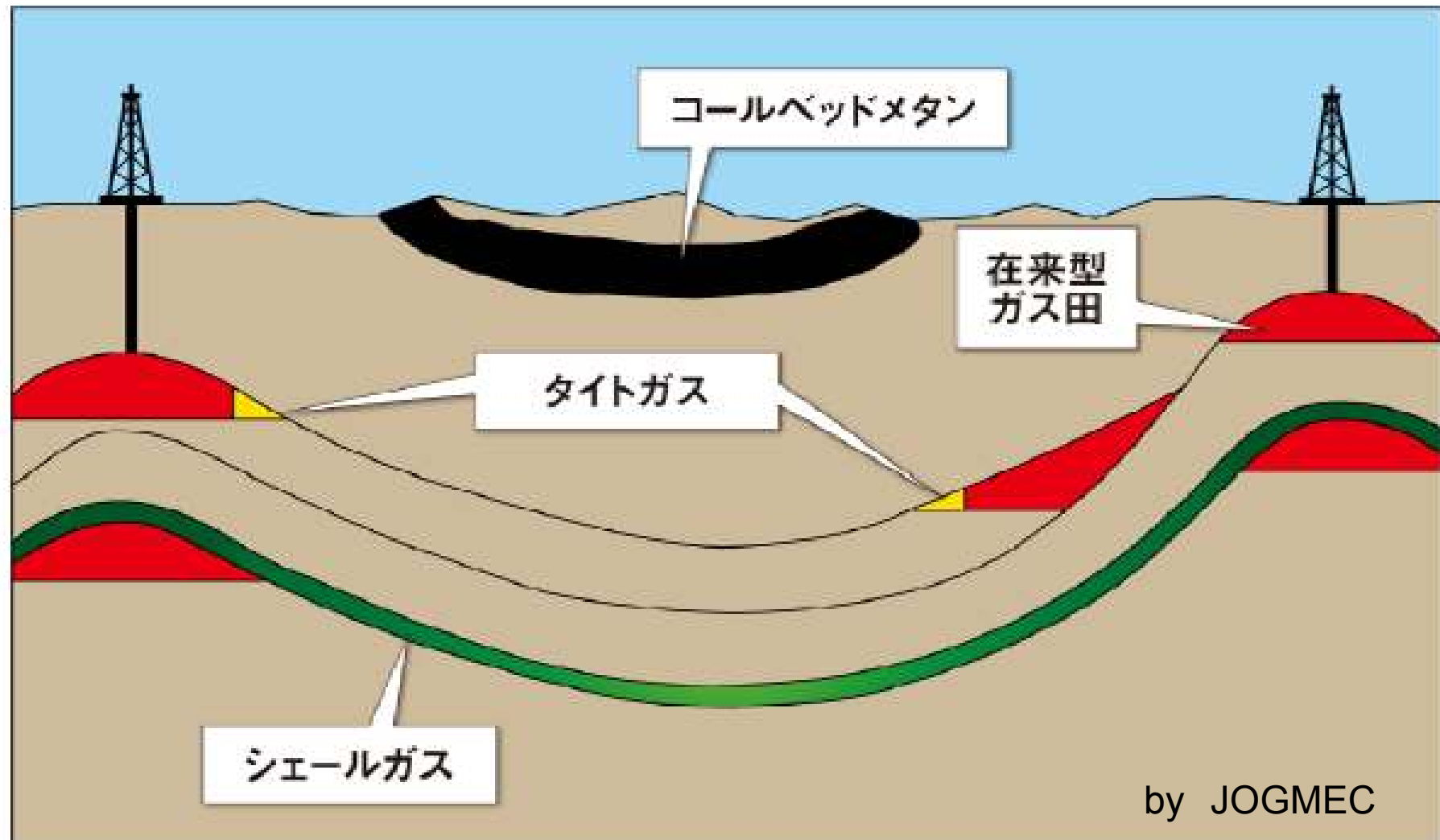
EXHIBIT 10: MARCELLUS SHALE OUTCROP



米国北東部(ニューヨーク州、ペンシルベニア州、オハイオ州、ウェストバージニア州)に、9.5万平方マイル(25万Km²、日本の本州よりやや広い)に亘って広がる広大な Marcellus Shaleの路頭。
小さな割れ目、フラクチャーが多数見られる。

- ・頁岩(シェール)は泥岩の一種で、有機物(プランクトンや藻類の死骸)に富み地下深くで、高圧・高温の環境下、長い地質年代を経て、石油・天然ガスを生む。そしてこの地下深部生まれた石油や天然ガスが地層中のすき間を移動し、空隙に富み、かつ浸透性の高い砂岩や炭酸塩岩などの貯留層に集積したものが在来型の石油や天然ガスです。このような地層に存在する石油・天然ガスは生産性に優れているため、従来の石油・天然ガス開発の主流となってきました。
- ・非在来型と呼ばれる資源は、石油・天然ガスが地下の固い岩石中などにそのまま閉じ込められているなど、在来型よりも空隙が小さく、浸透性も低く“開発しにくい状態”で自然界に存在しています。そのため、**在来型のように油・ガスを逃がさない特有な地質構造(トラップ)を必要としません**。しかし開発には余分なコストと新たな開発技術が必要とし、以前からその存在は認識されながらも開発はあまり進んでいませんでした。非在来型資源の大きな魅力は豊富な資源量です。
- ・シェールは地下深くで、圧密作用を受け、空隙は殆んど無くなるが、そこで生まれた石油・天然ガスの一部を、そのまま蓄えている。シェールによっては、**長い地質年代を経て圧密作用により微細な割れ目、フラクチャーを生じ、剥がれ易い状態となり、その結果、小さいながら孔隙率、浸透性が生まれ、貯留岩としての性状をもつに至る。これがシェールガスである。**

米国における在来型と非在来型ガス田の実例

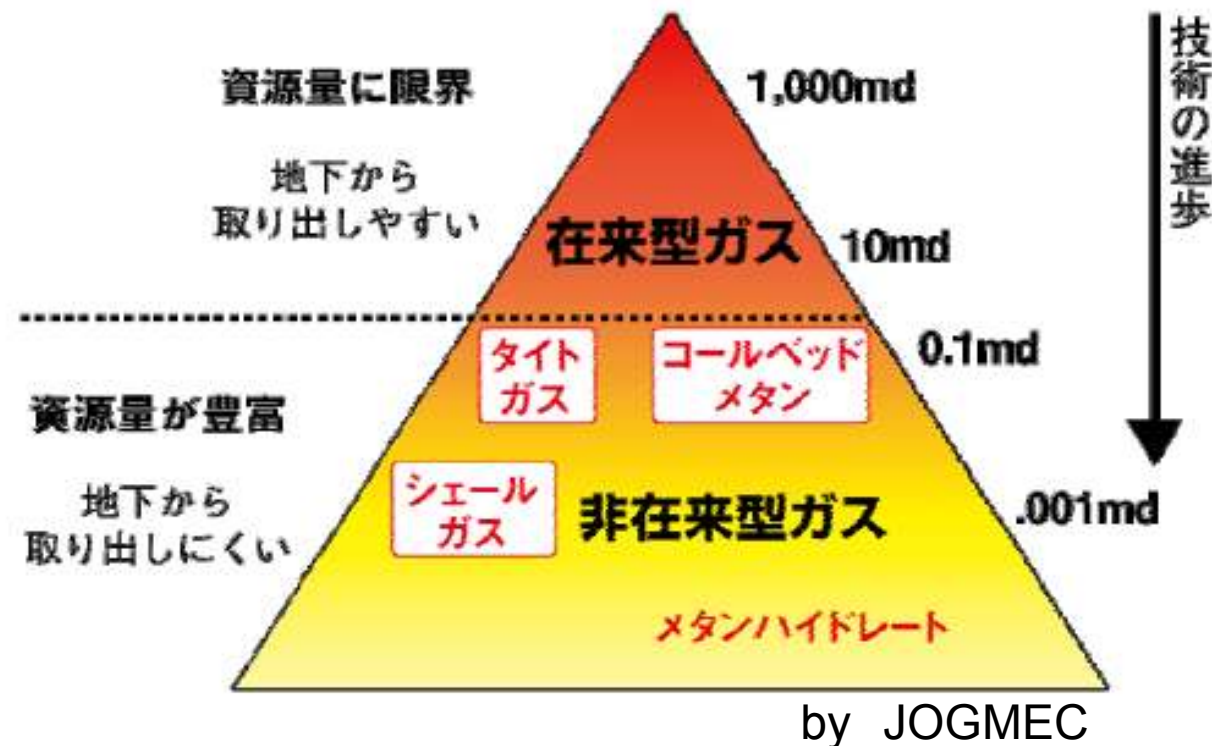


出所:米国地質調査所

(テネシー州とアラバマ州に跨る)

図2 非在来型天然ガス資源の賦存環境(米国のチャタヌーガ堆積盆地)

在来型ガス田と非在来型ガス田の比較



1md=9.87×10¹⁶m³ ※「浸透率」の単位(岩石中のガスの流れやすさを示す)
出所: SPE 103356論文を基に作成

図1 天然ガスの資源量トライアングル

* 非在来型として
商業的に生産されて
いるのは、

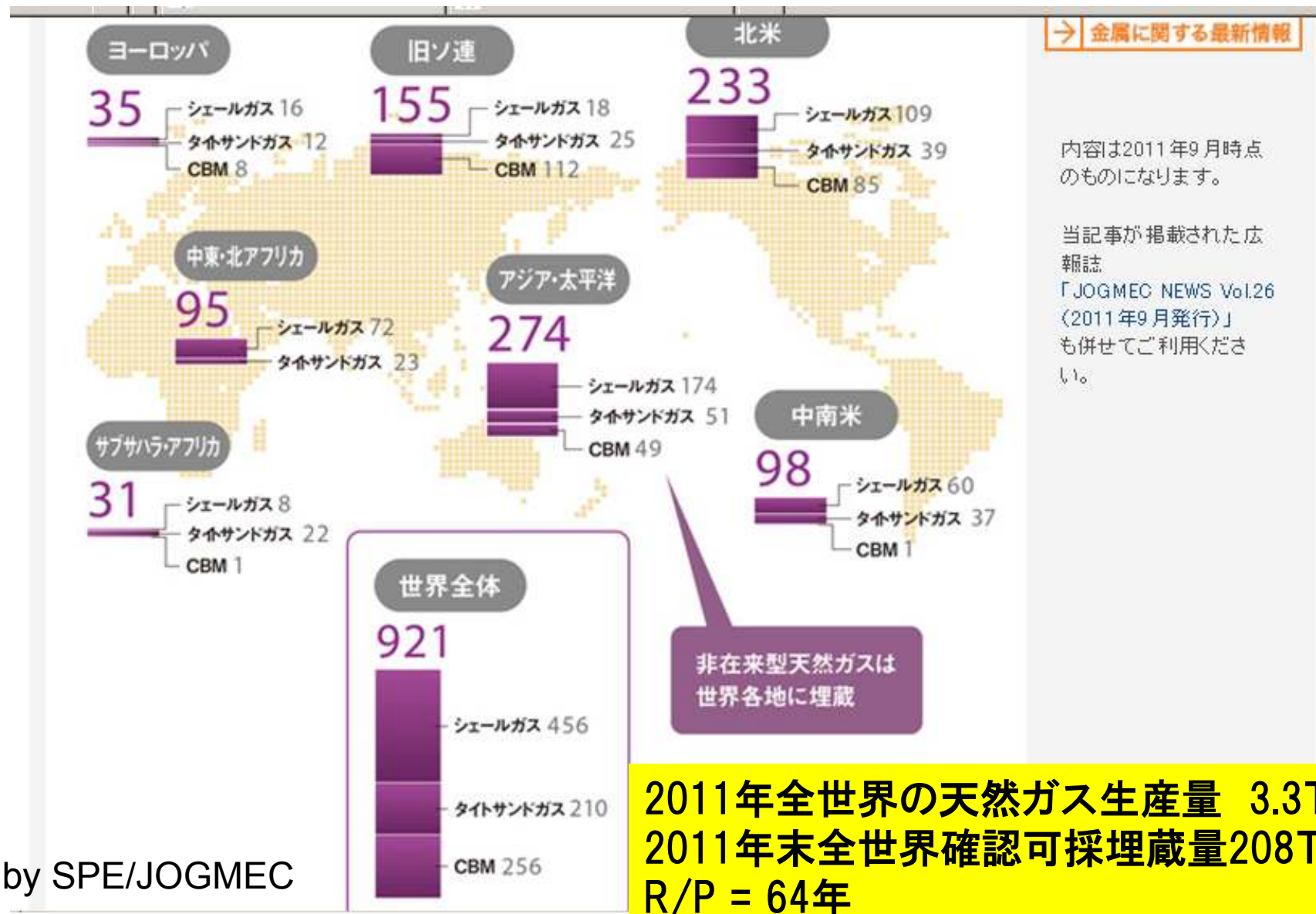
- ・タイトサンドガス
- ・コールベッドメタン
- ・シェールガス
- ・水溶性ガス

* メタンハイドレートの
資源量は膨大で
全世界で1000～
5000兆m³と言われ
ているが、現状では
開発は難しい。

	孔隙率	浸透率	生産性	回収率	トラップ	賦存範囲	資源量
非在来型	10%以下	低	低	30%以下	不要	広範囲	膨大
在来型	20－30%	高	高	70%以上	必須	限定	限定

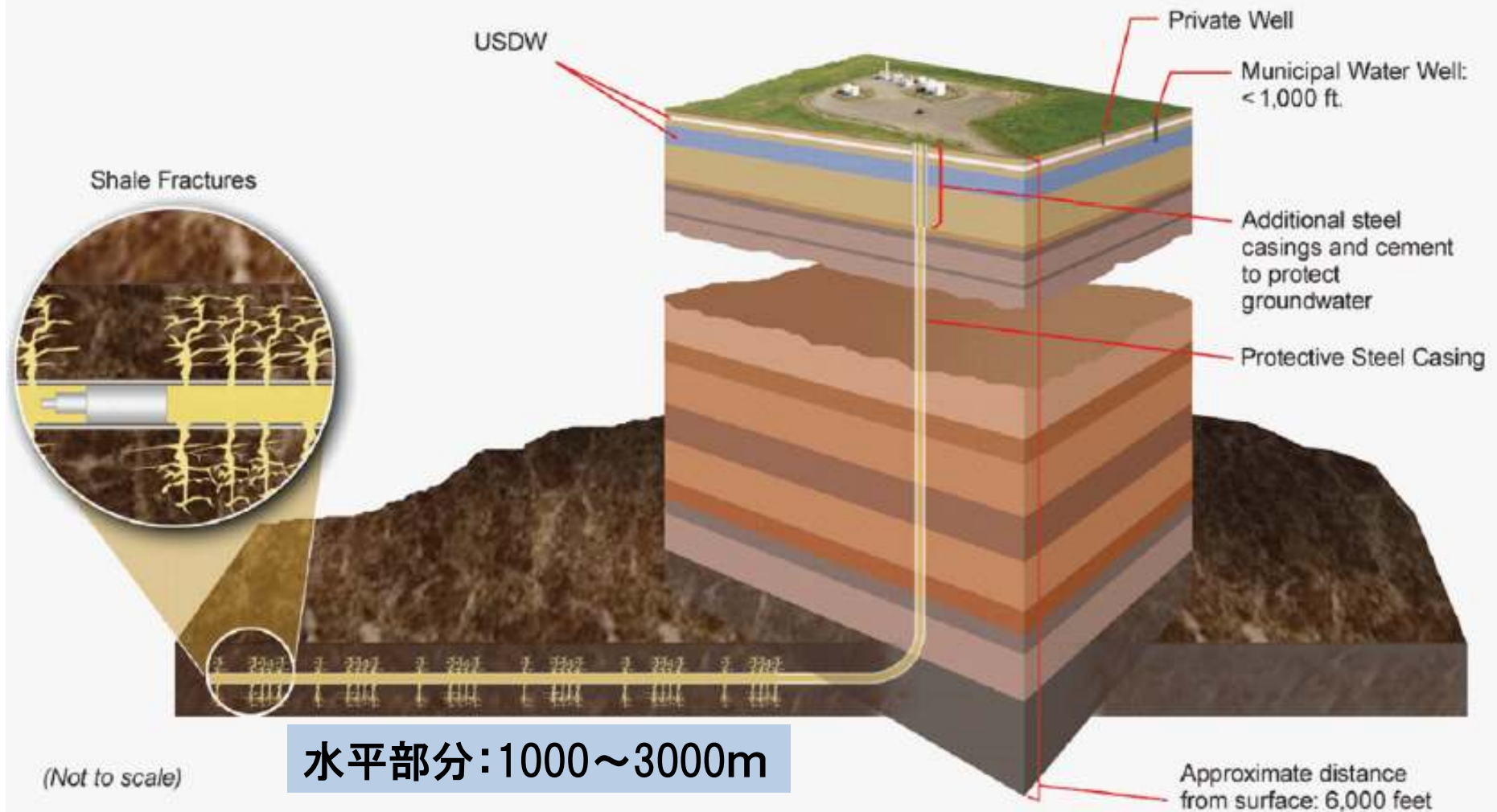
全世界の非在来型ガスの資源量

非在来型天然ガスの原始埋蔵量(2009年)単位:兆 m^3



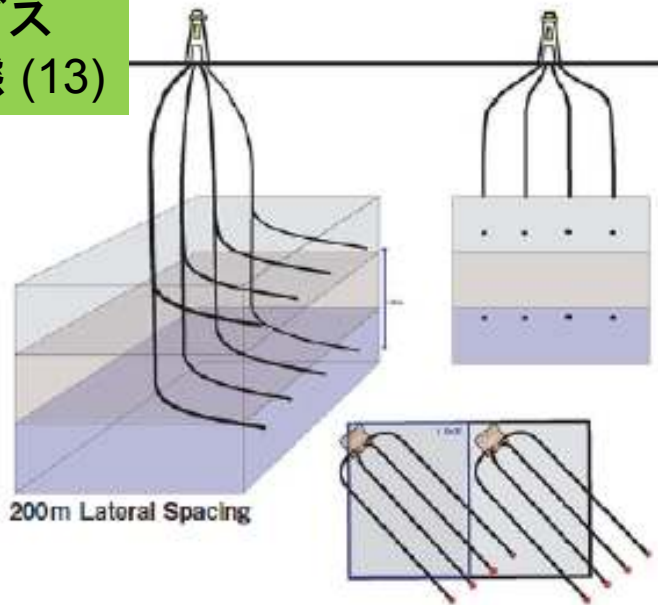
1. 米国の最初の商業的シェールガス坑井は1821年ニューヨーク郊外の浅い深度の古生代デボン紀のシェールからのガス生産で、ガス燈として利用。
2. 比較的浅い深度で、自然のフラクチャーが発達しているシェールが開発対象となった。これが東部から西部に伝播し、**1980年代にはテキサス州ダラス周辺のBarnett堆積盆地で急激な発展**を遂げた。
3. Barnett堆積盆地で急激な発展をもたらしたのは、1986年に在来型石油・ガス開発で用いられていた**水圧破碎法**(Hydraulic fracturing)の技術改良と大規模な適用によるもので、加えて1992年に行われた**水平掘削**で、シェール中に賦存するガスを効率よく生産する技術が開発されたことによる。
4. 開発技術の改善・改良に加え、2002年頃からの**天然ガス価格の上昇**が相俟って、Barnettでの開発が本格化し、2000年の90Bcf/年から、2010年に1,900Bcf/年(約LNG4000万トン)にもなった。2008年の年間掘削坑井は約3000坑にも達した。これには200基近い掘削装置(RIG)を要した。なお、**2008年のリーマンショック後**は、**ガス価低下**で開発はスローダウンしている。
5. これらの開発を主導したのは、**Mitchell(Devonが買収)**、Chesapeake、XTO Energyなどの中堅石油会社で、決してExxonMobilなどのメジャーでなく、米国のベンチャースピリット健在を示している。

水平掘りと多段階水圧破碎: Horizontal Drilling & Multi-stage Hydraulic Fracturing



Steel casing lines the well and is cemented in place to prevent any communication up the wellbore as the fracturing job is pumped or the well is produced. Shallow formations holding fresh water that may be useful for farming or public consumption are separated from the fractured shale by thousands of feet of rock.

シェールガス 革命の実態 (13)

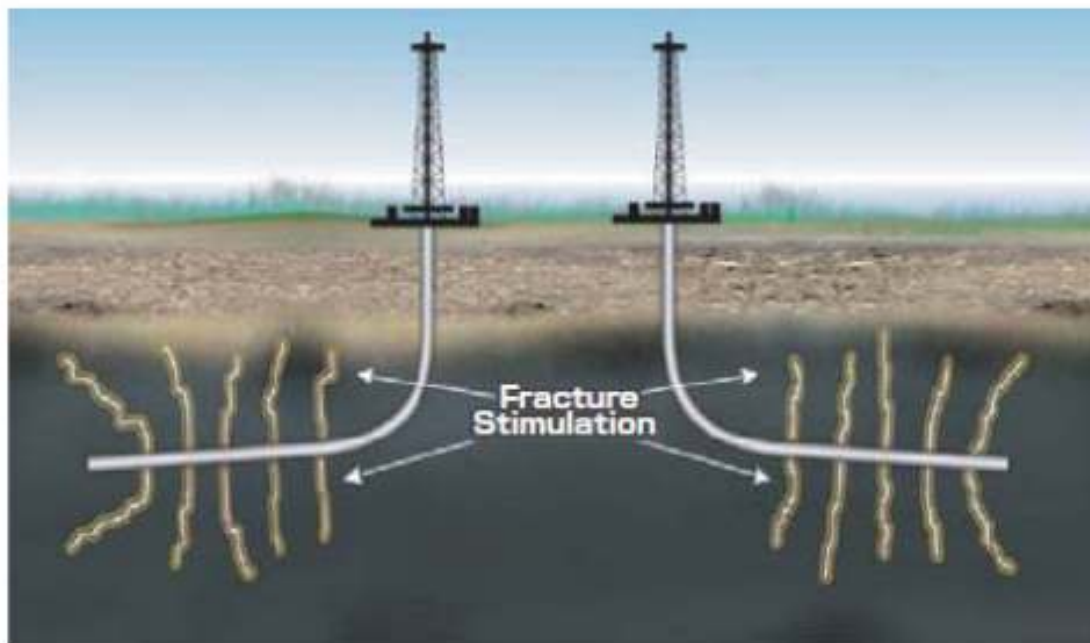


出所：カナダ National Energy Board

付図3 シェールガスの開発技術

開発技術の進展：水平坑井と 多段階水圧破碎のイメージ

- * 1つの地上基地から4～5坑の水平坑井を掘削する
- * 1平方マイル(640エーカー)当たり、4～16坑(40～160エーカーのスペーシング)の採掘井が必要
- * 水平部分だけで、3000mにも達する坑井もある



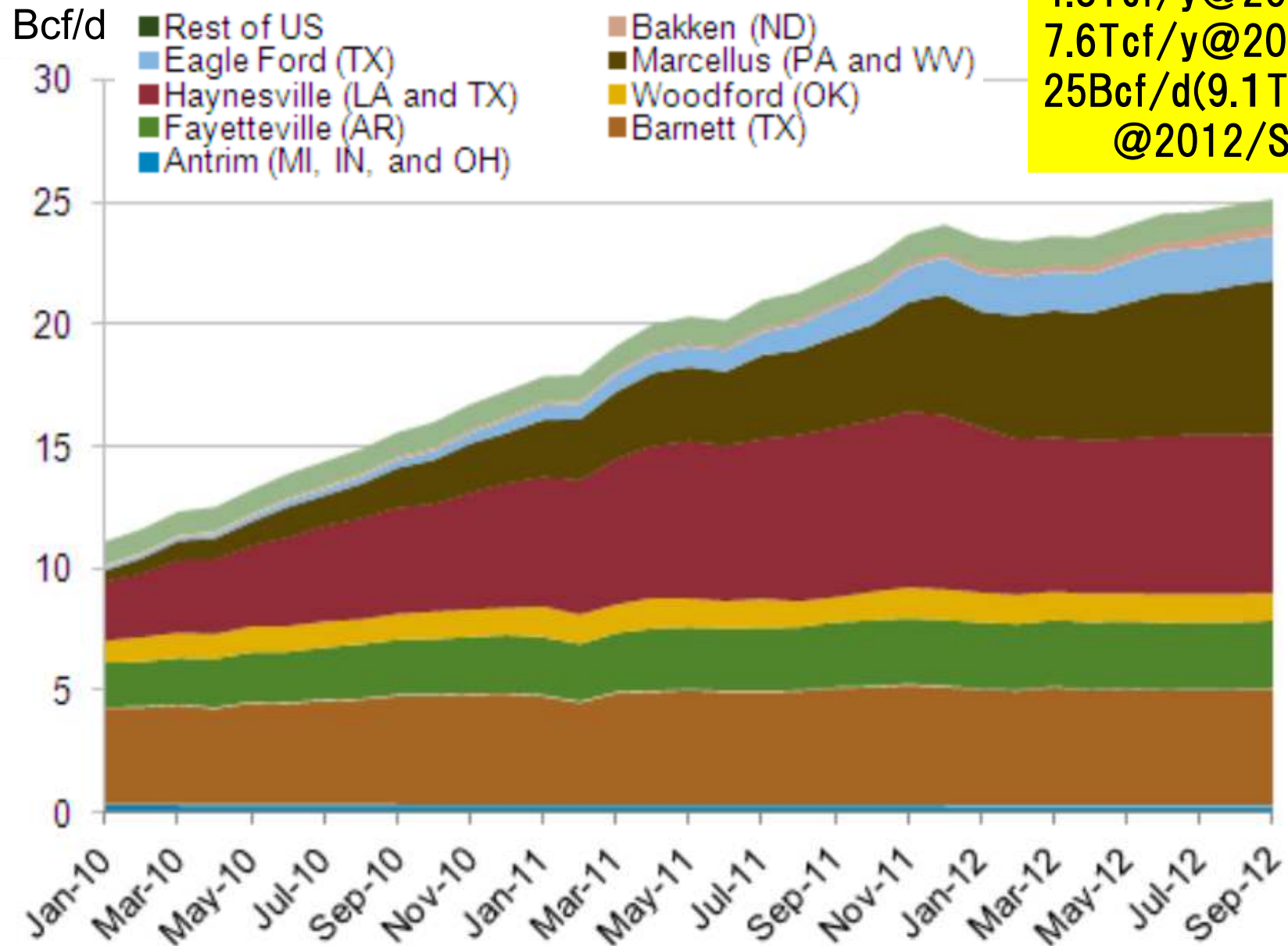
- * シェール岩層に500～1000気圧の圧力を加えて、岩石を破碎し、フラクチャーを形成
- * 最近では1坑井で20回(Stage、段)以上実施することも珍しくはない
- * 1坑井当たり2～4百万ガロン(7～15千KL、50m競泳プールの4～8杯分)の水を使用

米国(Henry Hub)の天然ガス価格の推移 by EIA



ガス価は2012年に入り2～3\$で推移し、生産量の伸びが止まる

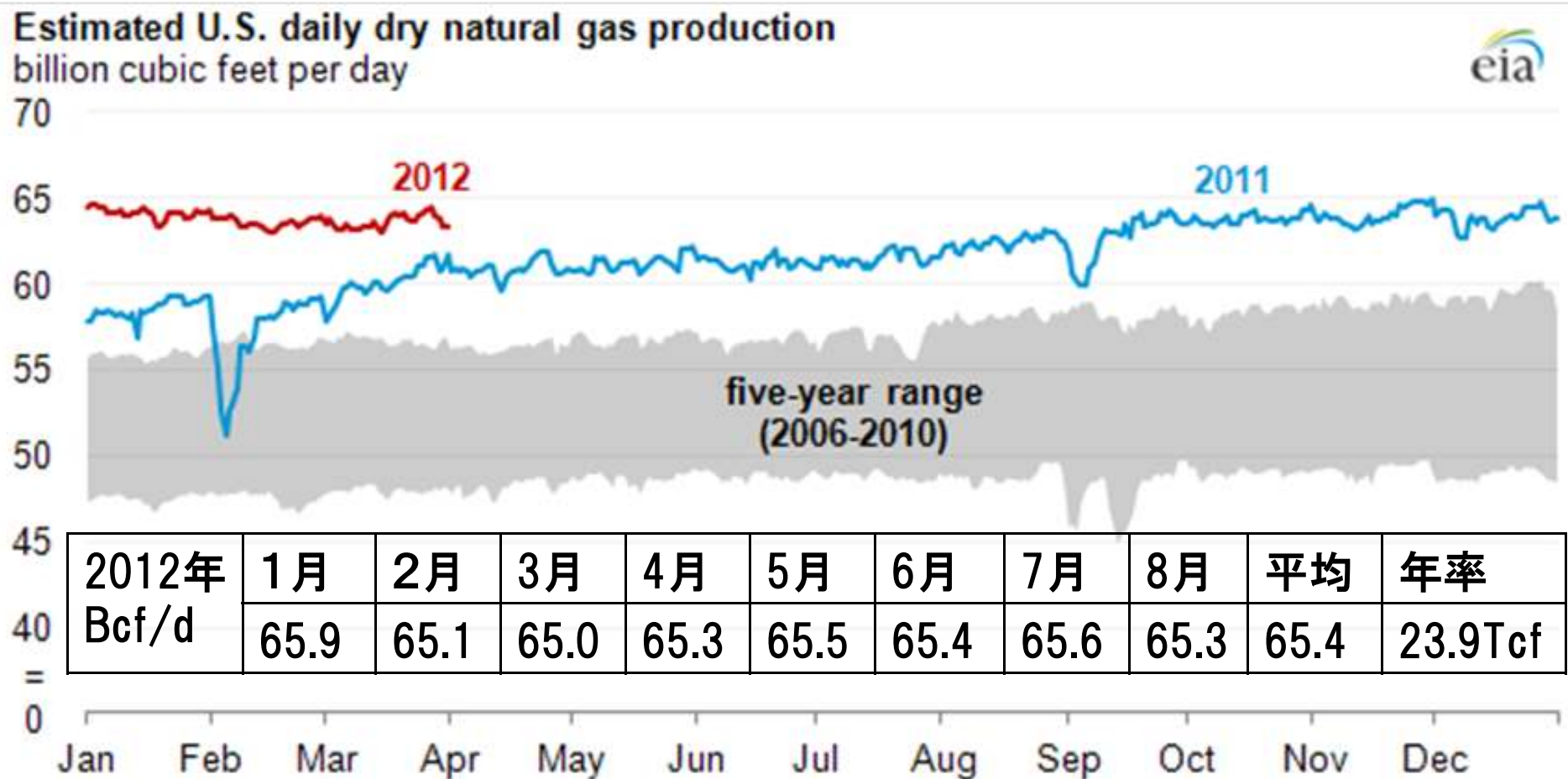
Monthly dry shale gas production by EIA



4.8Tcf/y@2010
7.6Tcf/y@2011
25Bcf/d(9.1Tcf)
@2012/Sep.

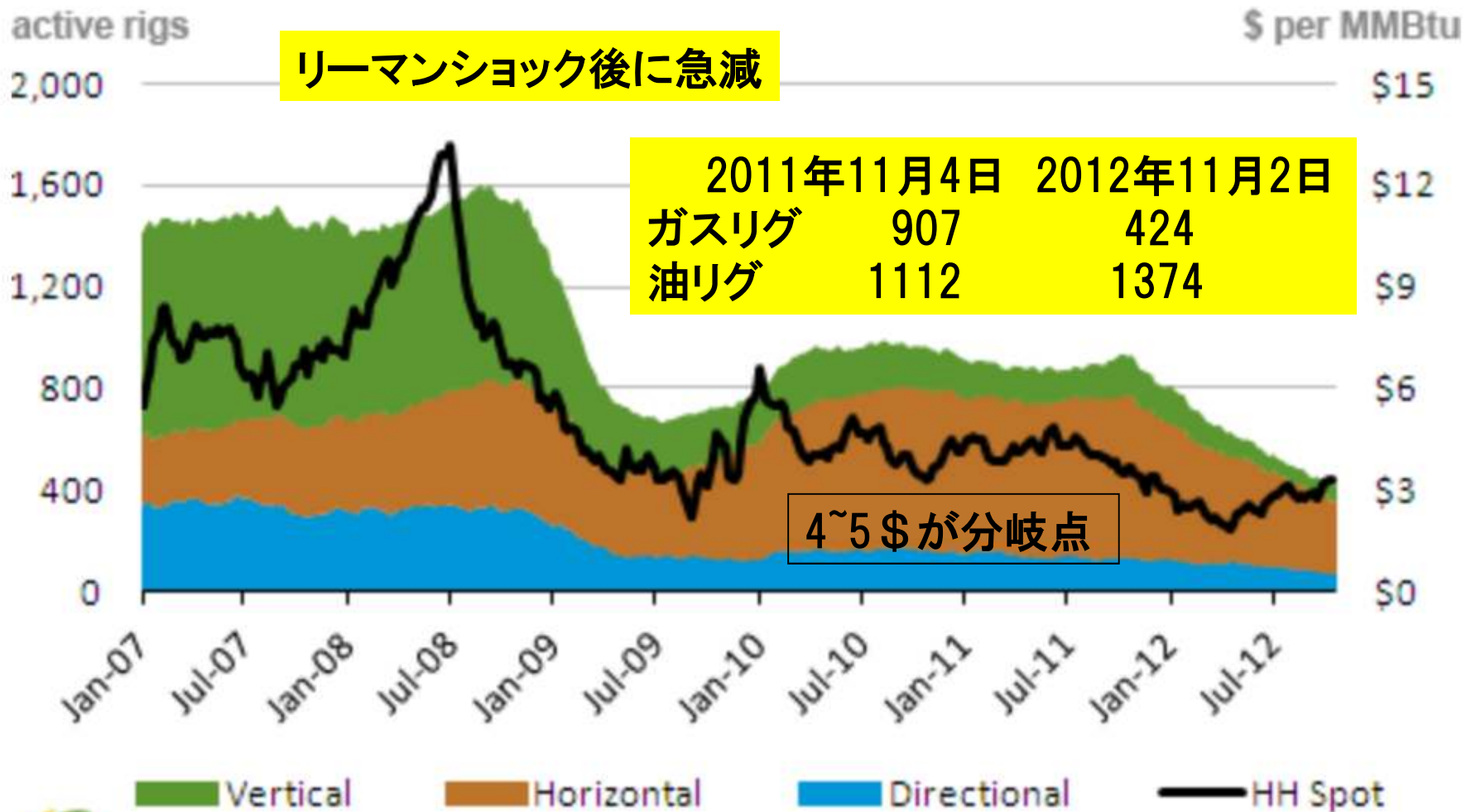
米国の直近の天然ガス生産量の推移 (Bcf/日)

2011年7月からのガス価格の低下(4~5 ⇒ 2~3\$/MMBtu)で
2012年に入り生産量の伸びが止まる



米国天然ガス井用の掘削リグ稼働数

Weekly natural gas rig count and average spot Henry Hub



シェールガス革命の実態 (18)

Barnett Shale

- 存在範囲
(6500平方マイル)
- 地下構造図
- 等層厚線図
- Gas Generation Window
- 水圧破碎障壁



Barnett Shale Drilling From 1981 to 2010 Ft. Worth Basin, Texas

2010

シェールガス
革命の実態 (19)

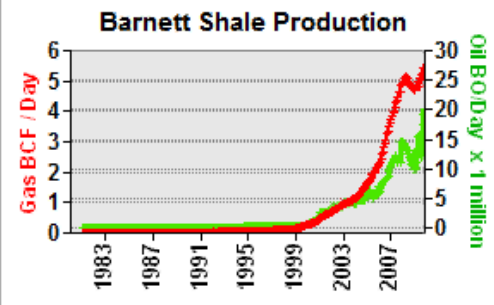
Barnett Shale: 坑井位置図

Barnett Shale Producers

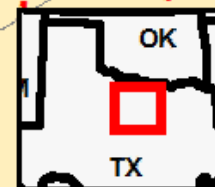
- Horizontal (red)
- Vertical (black)
- Urban Areas
- Barnett Shale Limit

Barnett Shale Events

1981- 1st production; foam fracs
1985- Massive gel fracs
1997- Core analysis: gas-in-place = 3 x previous estimates
1997- Water fracs lower costs
1999- Refracs restore production
2003- Horizontal drilling expands



Miles
0 5 10



eia

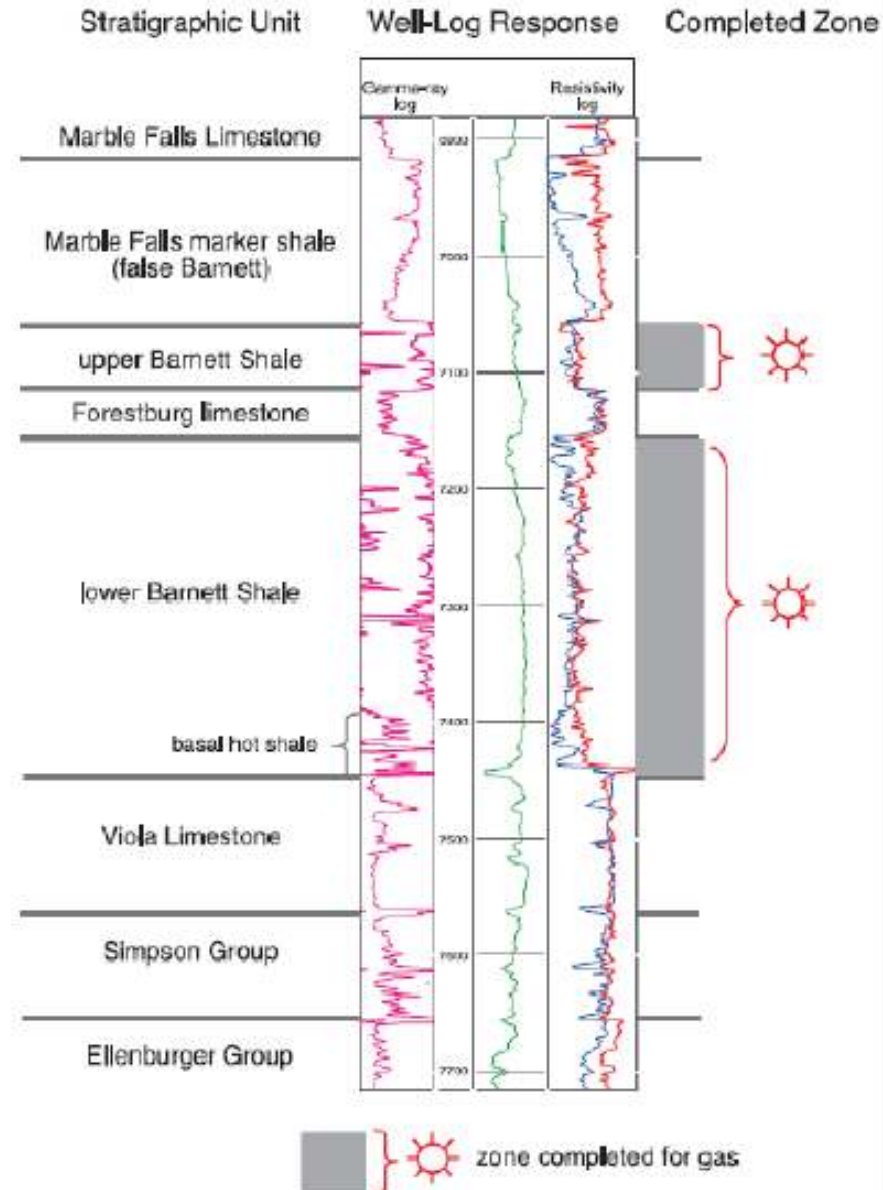
- * 坑井数
14,000以上
- * 黒: 垂直井
赤: 水平井
- * 1981年生産
開始
- * 1997年コア
採取⇒ガス
原始鉱量3倍
- * 1997年
スリック
ウォーター
フラック
- * 2003年から
水平井

Ft. Worth Basin Stratigraphy

SYSTEM AND SERIES		STAGE	GROUP or FORMATION
CRETACEOUS	LOWER	COMANCHEAN	
PERMIAN		OCHOAN - GUADALUPIAN	
		LEONARDIAN	
		WOLF CAMPIAN	
		VIRGILIAN	CISCO GROUP
PENNSYLVANIAN			
		MISSOURIAN	CANYON GROUP
		DESMOINESIAN	STRAWN GROUP
		ATOKAN	BEND GROUP
		MORROWAN	MARBLE FALLS LIMESTONE
MISSISSIPPIAN		CHESTERIAN - MERAMEICAN	BARNETT SHALE
		OSAGEAN	CHAPPEL LIMESTONE
DEVONIAN	U M L		VIOLET LIMESTONE
			SIMPSON GROUP
			ELLENBURGER GROUP
CARB.	UPPER		WILBERNS - RILEY - HICKORY FORMATIONS
PRE-CAMB.			GRANITE - DIORITE - METASEDIMENTS

■ Source rock □ Seal rock
 ○ Reservoir rock (gas) ● Reservoir rock (oil)

Typical well log through Barnett Shale and adjacent units (depth in feet).



Modified from Pollastro, Jarvie, Hill and Adams (2007)

シェールガス革命の実態 (20)

Barnett Shale:
坑井柱状図

コアエリアのガス層性状

Reservoir Properties: Barnett Shale

Depth	7,500'
• Gross Thickness	430'
• Net Thickness	390'
Porosity	6%
Pressure	3,500 psi
Total Gas In-Place (Bcf/mi ²)	±150
• Adsorbed Gas (Bcf/mi ²)	60
• "Free" (Porosity) Gas (Bcf/mi ²)	90

The Barnett Shale was the first deep gas shale (7,000 to 8,000 feet deep) to be commercially developed.

The gas shale is in two intervals, a thick, rich Lower Barnett and a leaner Upper Barnett.

The gas in-place, in the Core Area is ±150 Bcf/mi², with about 40% from adsorbed gas and 60% from "free" gas.

在来型ガス田との比較

深度2000m、孔隙率25%、水飽和率40%、
有効層厚55m、原始鉱量43億m³/mi²=150Bcf/mi²

$$\begin{aligned} 3500/7500 &= 0.467 \text{ psi/ft} \\ &= 1.075 \text{ ksc/10m} \end{aligned}$$

Prepared By:

Vello A. Kuuskraa, President

ADVANCED RESOURCES INTERNATIONAL, INC.

Barnett Shale: 近年の開発井の生産実績

Case Study #1. Barnett Shale: The Start of the Gas Shale Revolution

Barnett Shale Core Area: Modern Day Well Performance

The introduction of horizontal wells increased well performance by about three-fold. Recent well performance has been declining as operators are “stepping out” into lower quality portions of the maturing Core Area.

	Successful Vertical Wells		Successful Horizontal Wells	
	(# Wells)	(Bcf/w)	(# Wells)	(Bcf/w)
1990-1995	215	2.3*	1	5.1
1996-2000	500	1.7*	3	1.2
2001-2003	2,001	1.3	76	3.2
2004-2006	904	1.0	1,008	2.8
2007-2008	131	0.6	1,810	2.4

*Includes improved performance from refracs.

Prepared By:

Vello A. Kuuskraa, President

ADVANCED RESOURCES INTERNATIONAL, INC.



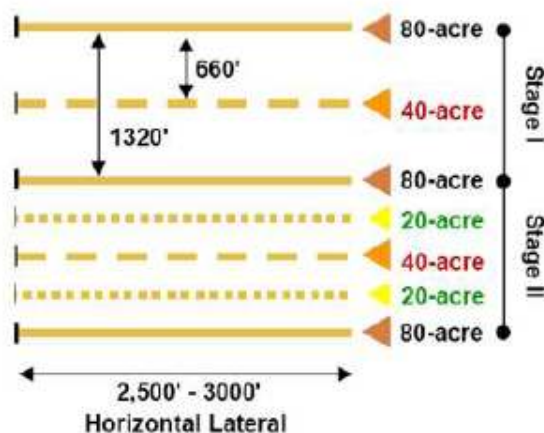
Barnett Shale: 最適スペーシング

Case Study #1. Barnett Shale: The Start of the Gas Shale Revolution

Optimum Well Spacing (Operator B)

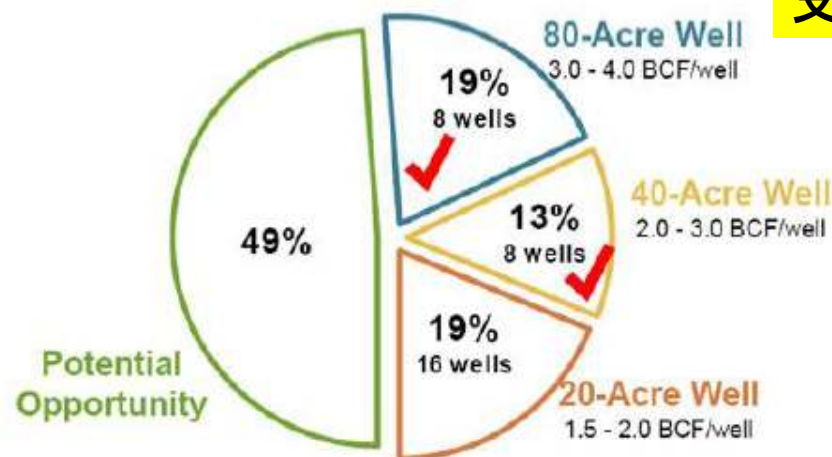
- Initial development on 80 acre well spacing will recover only a modest (19%) fraction of gas in-place.
- Downspacing to 40- and 20-acre would increase the recovery of gas in-place to over 50%, although well performance would decline.

Drilling Spacing Diagram



Source: XTO (2009)

Recovery of Natural gas GIP 150 Bcfe per 640-acre section



可採鉱量は
生産原価と
価格によって
支配される

Prepared By:

Vello A. Kuuskraa, President

ADVANCED RESOURCES INTERNATIONAL, INC.



Barnett Shale: 坑井タイプカーブ

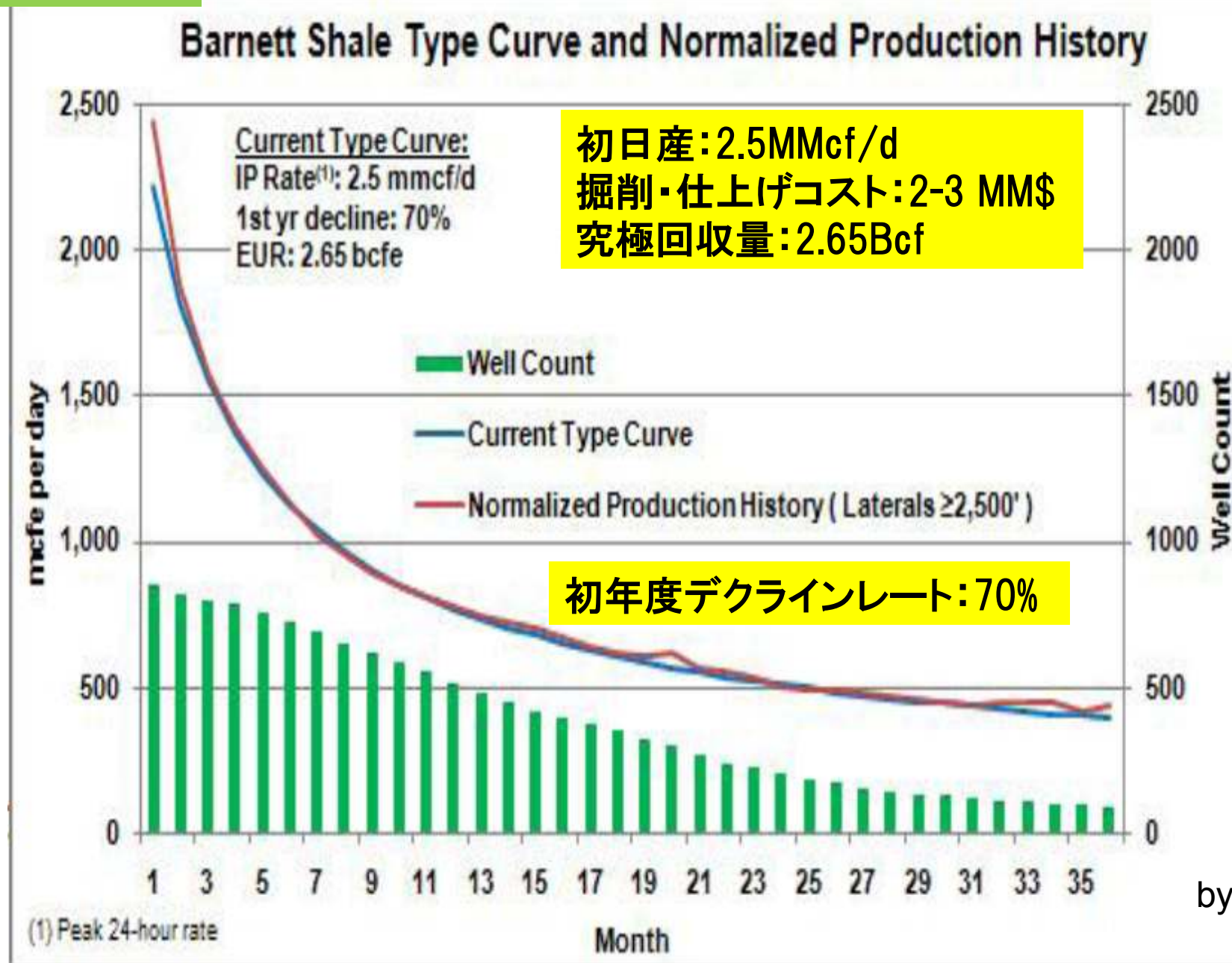


Table 37 Average General Properties for the Barnett Shale Play

Depth (ft)	7,500
Thickness (ft)	300
Porosity (%)	5

	Active	Undeveloped
Area (sq. miles)	4,075	2,383
EUR (Bcf/ well)	1.6	1.2
Well Spacing (wells/ sq. mile)	5.5	8
TRR (Tcf)	23.81	19.56

**TOTAL
43.37Tcf**

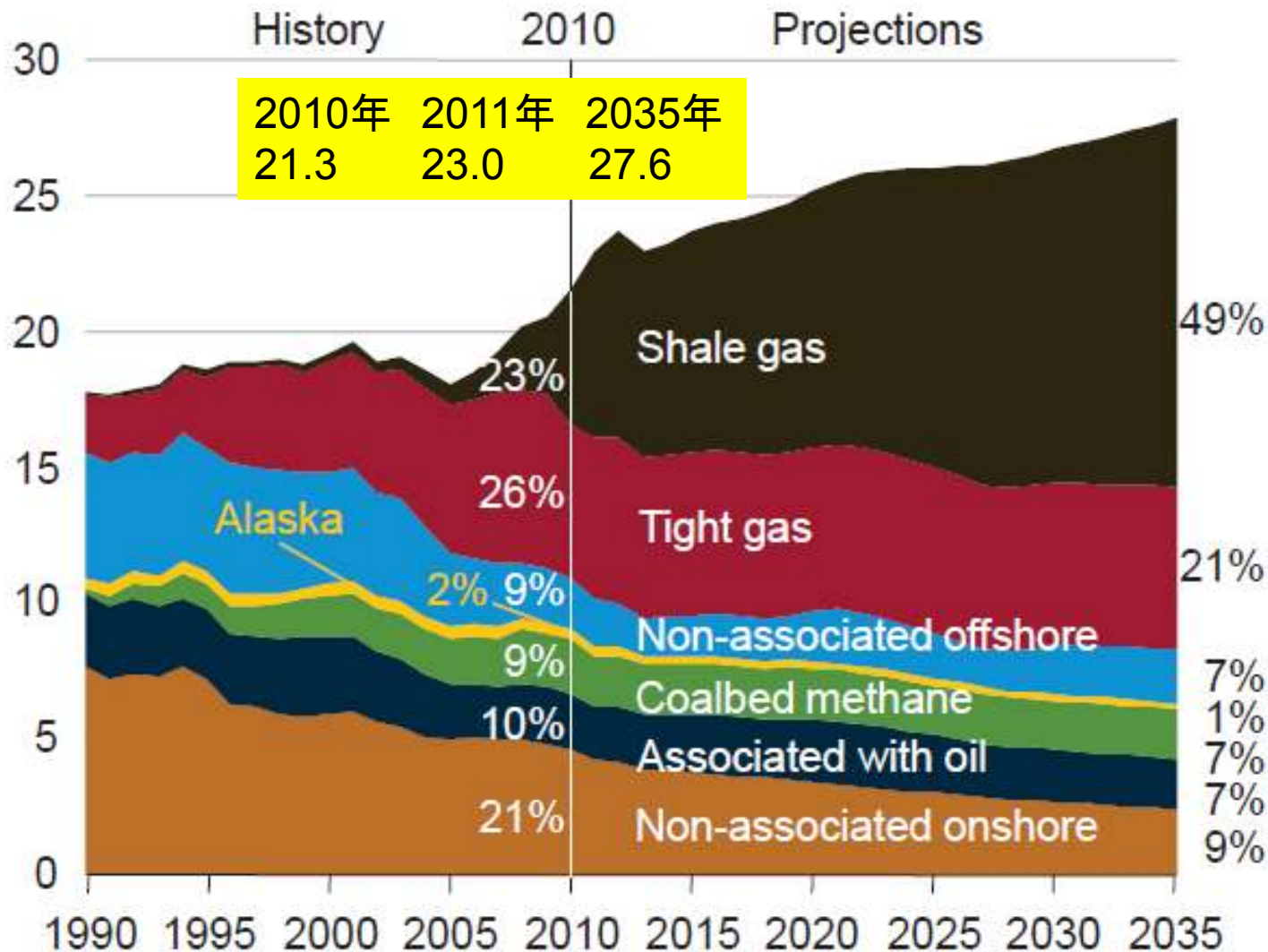
Percent of area with potential 66% 86%

原始埋蔵量	回収可能量	回収率
327Tcf	43. 4Tcf	13. 3%

Chesapeake社の評価 75Tcf

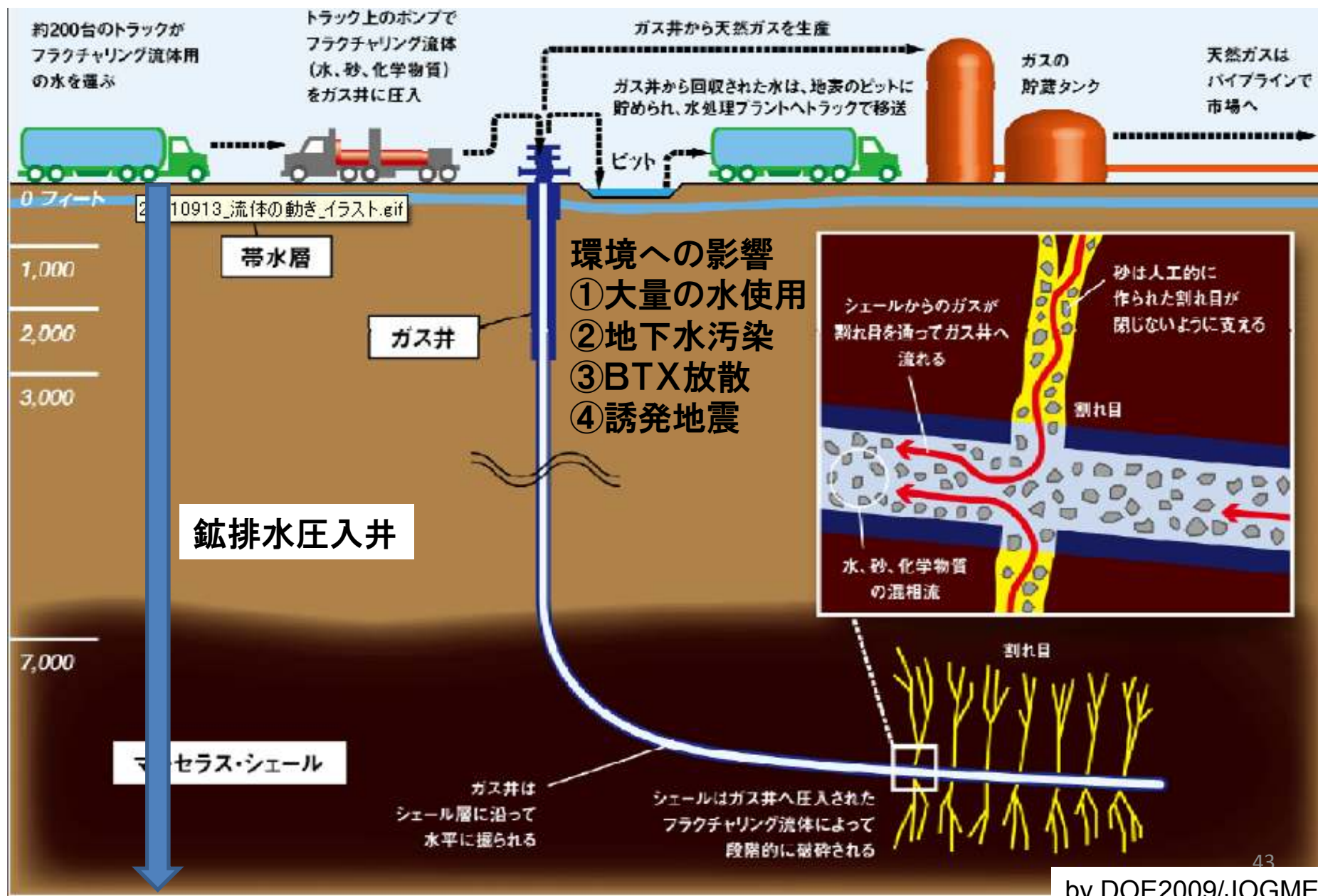
by EIA

Figure 2. U.S. natural gas production, 1990-2035
(trillion cubic feet)



2035年には
シェールガス
生産量は全体
の約半分
(13.6Tcf)を
占める。
2020年代初
めに輸入国か
ら輸出国へ。

環境・地元問題①:シェールガス井の作業状況



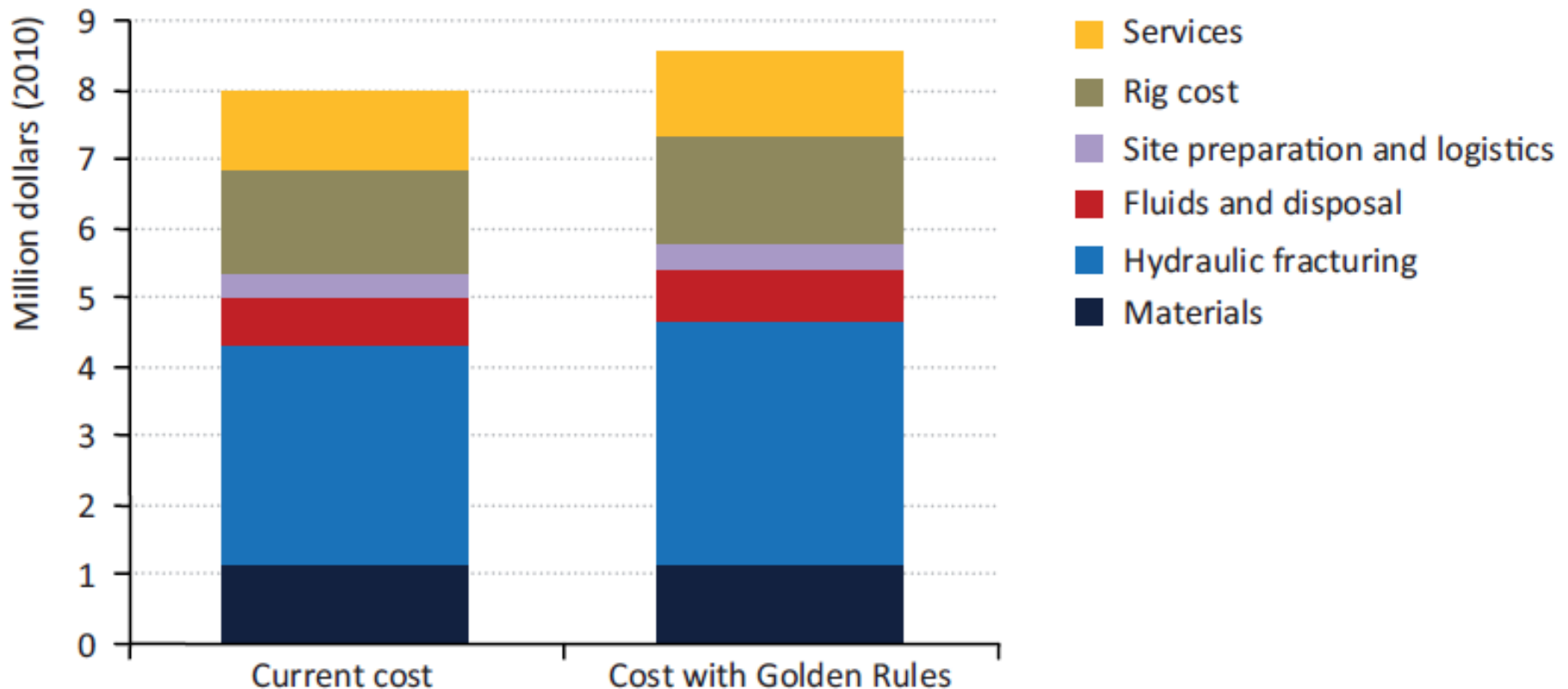
1. 州政府が、掘削・水圧破碎作業、生産操業、坑排水管理、廃坑作業など、すべての活動を規制し、許可を与え、実行させる広範な権限を有する。
2. 在来型の石油ガス開発に適用されるすべての法律、規則、許可制度が、シェールガス開発にも同じように適用される。
3. シェールガス開発に特徴的な、**水平掘りと水圧破碎技術**(フラクチャリング)は、**長い歴史と十分な実績を有する確立された技術**である。
4. シェールガス開発による**地下水汚染の懸念**が、重要な環境問題として浮上してきている。但し、今まで100万回以上のフラクチャリングが行なわれているが、地下水にダメージを与えたり、**汚染が生じた事例は過去にない**とIOGCC(The Interstate Oil and Gas Compact Commission)2009で報告されている。
5. 一方で一部マスメディアは、**飲料水に天然ガスが混入した事例**、掘削・生産時に排出されるメタンやベンゼン・トルエンなどの**揮発性有機化合物による健康被害**事例、地表への泥水などのリーク事例などを報道している。
NHK-BS1 世界のドキュメンタリー 2010年12月14日「ガスランド アメリカ 水汚染の実態」がその一つで再放送を繰り返し、2012年11月14日にも実施。

6. 環境への影響としては、①フラクチャリングに**大量の水**使用、②坑廃水の処理、③生産水中のNORM、④フラクチャリングによる**小規模地震**の誘発、⑤フラック液の添加物の情報解除、⑥**地下水、飲料水の汚染**、⑦坑井仕上げの不備、⑧ディーゼルエンジンからの排ガス、⑨**メタン、ベンゼン**などのベント、リーク、⑩騒音、悪臭、交通量増大による近隣住民への影響、⑪動植物への影響、が挙げられている。フラクチャリングによる地震の誘発は小規模で実害はないが、**坑排水の地下深部への圧入は、時に被害をもたらすことがある。**
7. 米国で環境面で大きな注目を集めているのは、ニューヨーク州やペンシルベニア州など石油ガス開発に馴染みがないところである。
8. 経済不況に苦しむ地域では雇用創出を優先させるべしとの意見が多い。
9. ExxonMobilとXTO Energyの両社長を呼んだ下院エネルギー委員会では総じて**シェールガス開発投資を支持**する雰囲気であった。
10. NPC2011-09-15は、policymaking on issues affecting access should reflect **a balance of economics, energy security, and environmental protection**とし、開発会社には**prudent development**(慎重で、分別をわきまえた開発)が求められるとしている。

IEA World Energy Outlook 2012 : Special Report on Unconventional Gas
【Golden Rules for a Golden Age of Gas】②

Golden Rules could increase the overall financial cost of development a typical shale-gas well by an estimated 7%.

Figure 1.7 ▶ Impact of the Golden Rules on the cost of a single deep shale-gas well



＊**ダウ・ケミカル**は**50億ドル**を投じ、メキシコ湾岸で天然ガスを原料に**エチレン**増産計画を発表。同社フィッティング副社長「ほんの数年前まで、米国でこのような投資をするとは、社内でだれも想像していなかった。米国から製品輸出をするとは思ってみなかった。シェールガス革命が本物と判断したのが**2010年暮れ**」。

2017年の稼働を目差す。新工場の生産能力は**年150万トン**で住友化学のサウジアラビアの合併工場(年130万トン)を抜き世界最大となる。

＊**ロイヤル・ダッチ・シェル**もエチレン工場を新設する方針で、**ペンシルベニア州**を建設候補に選んだ。投資総額は数十億ドルで、**1万人の雇用創出**を見込める

＊**エクソンモービル**、**シェブロン・フィリップス**もそれぞれ**年150万トン**のエチレンプラントをテキサス州に建設、2016年～2017年稼働開始予定。

(日経2012年3月1日、4月21日、7月29日)

米国中西部の「ラスト・ベルト(rust belt=錆びた地帯)」にある**オハイオ州**のヤングスタウンでは、鉄の町が息を吹き返しつつある。仏鉄鋼大手**バローレック**が、シェールガス用に巨大な**シームレスパイプ工場**を12億ドル投資し、10月下旬に稼働開始し、**350人の新たな雇用**が生まれた。2010年に底を打った米国製造業の雇用者数は2011年から2年連続で20万人以上増える勢い。(日経2012年11月15日)
同町にはゼネラル・モーターズも主力小型車の工場への追加投資を決定し、「30年続いた不況は終わった」と町は沸く。このヤングスタウンは、オバマ政権が米製造業復活のモデルとしている町で、金融危機時は13%を超えた失業率が全米平均以下の7.6%に急降下した。

鉄鋼会社の**ヌーコア**は天然ガスを利用する「**直接還元鉄**」を米国内で生産する計画で7億5千万ドルを投じて新工場を建設する(日経2012年4月21日)

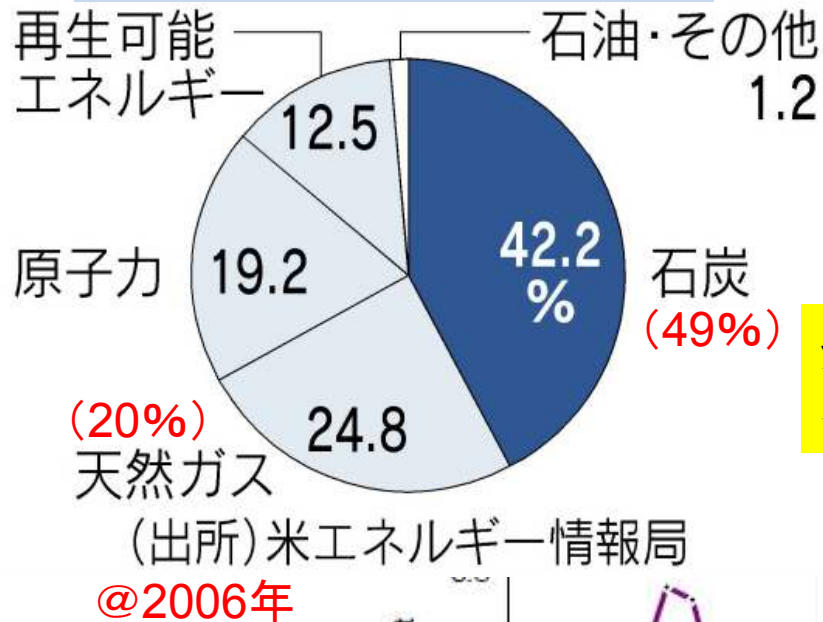
ルイジアナ州のHaynesville Shaleでは一時払いリース料が**2万ドル/エーカー**、**ロイヤリティ25%**。この収益をもとに、教会、学校等の整備が進み、町の再興につながっている。(National Geographic Channel 2012年3月放映)

最近発刊されたペンシルベニア州立大学の報告書によると、シェールガス開発により、2009年に同州に**4万8千人の雇用**を生み、州・地方政府に**4億ドル**以上の収入をもたらした。

シェールガスの登場で、**競争力のあるガス**、**電力が潤沢**となり、加えて安い労働力、安い金利、ドル安で米国の競争力が上がり、コストの安いアジアへ生産拠点を移していた**米国製造業の自国回帰の誘因**となっている。
シェールガス革命は、米国には天からの恵みの雨なるぬ、地下から噴き出た神様からの賜物。(日経2012年2月28日、住友商事理事 高井裕之)

シェールガス開発による経済的な波及効果③

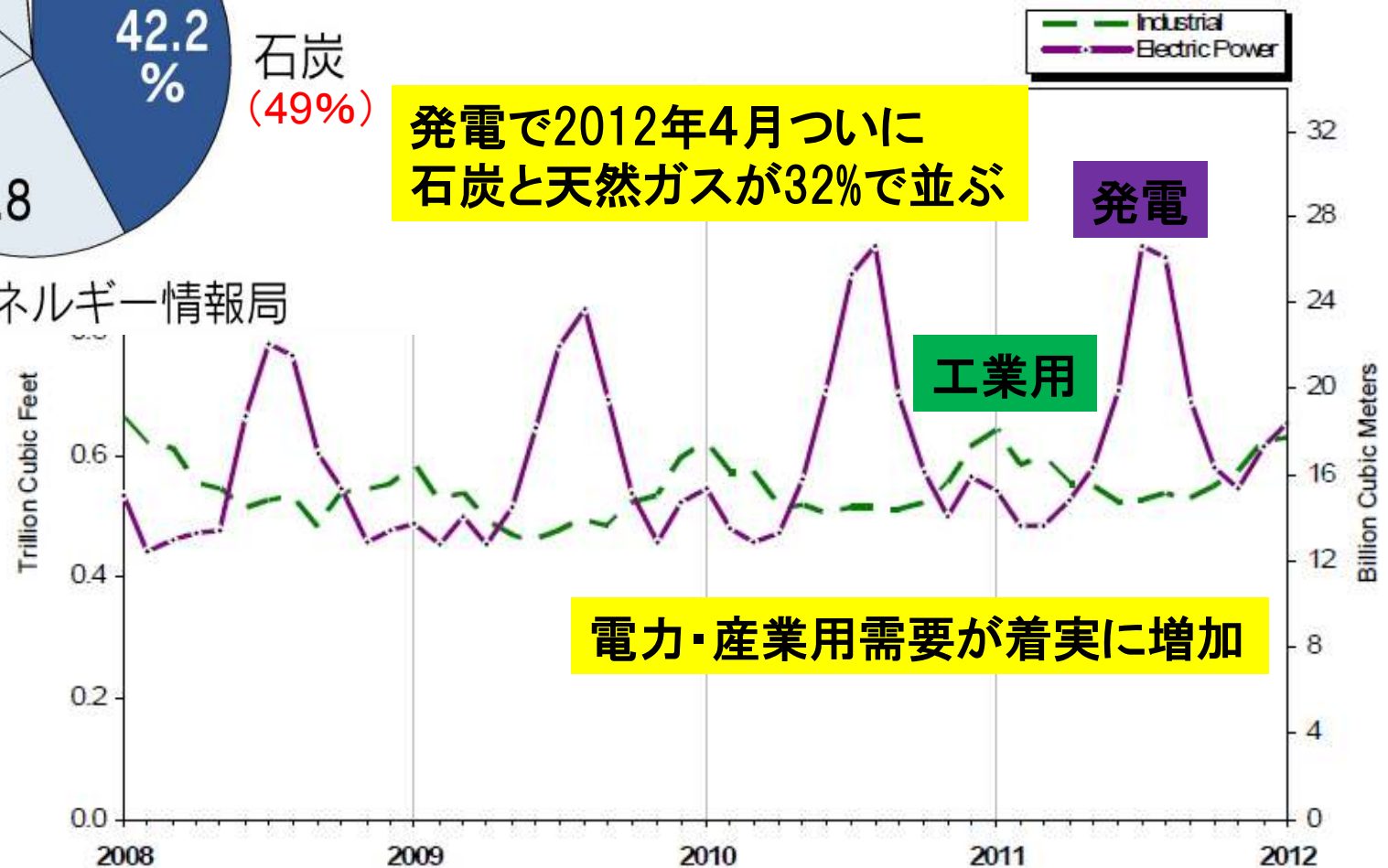
米国の発電構成@2011年



(出所) 米エネルギー情報局
@2006年

Natural Gas Deliveries to Consumers in the United States, 2008-2012

by EIA



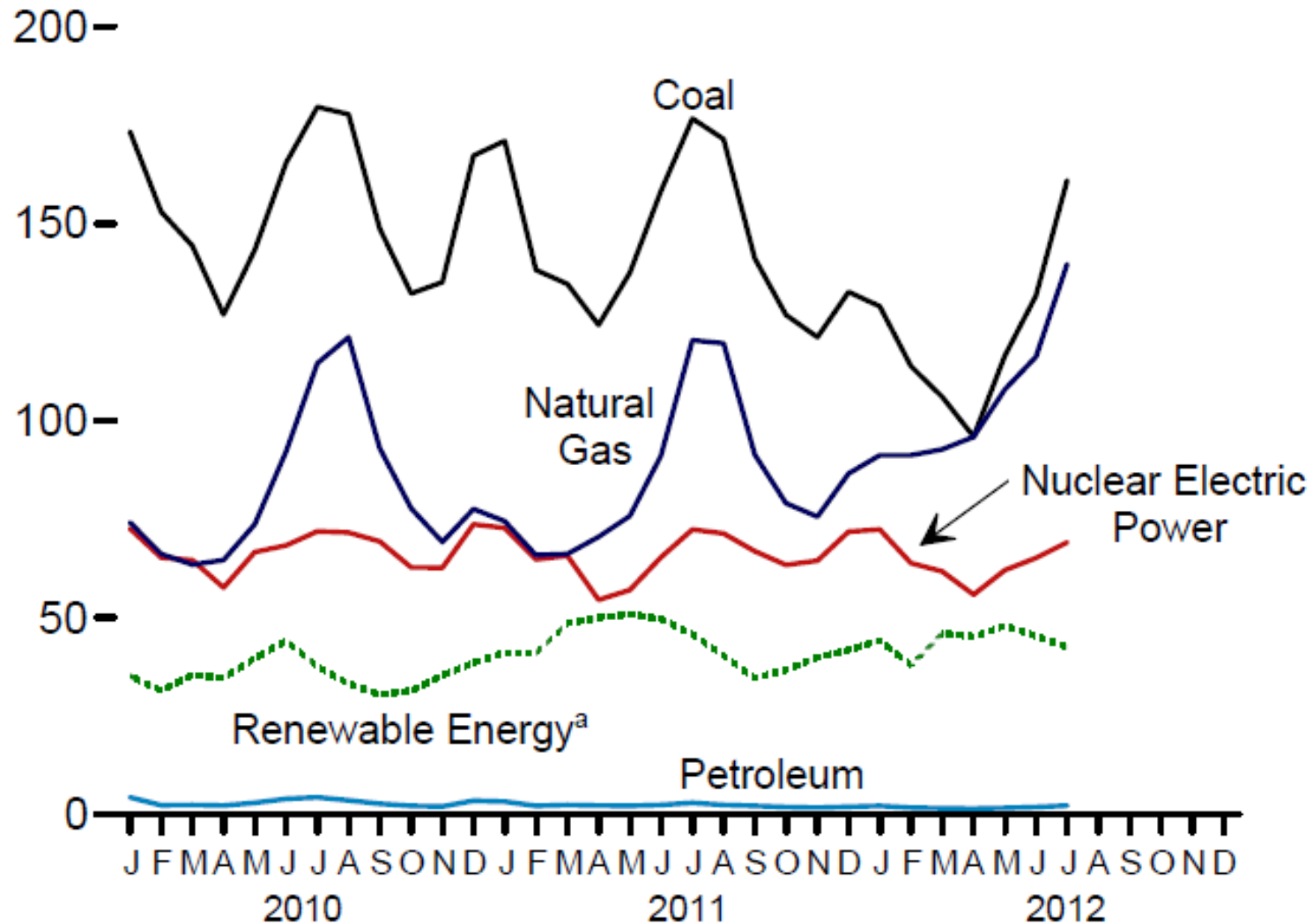
発電で2012年4月ついに
石炭と天然ガスが32%で並ぶ

発電

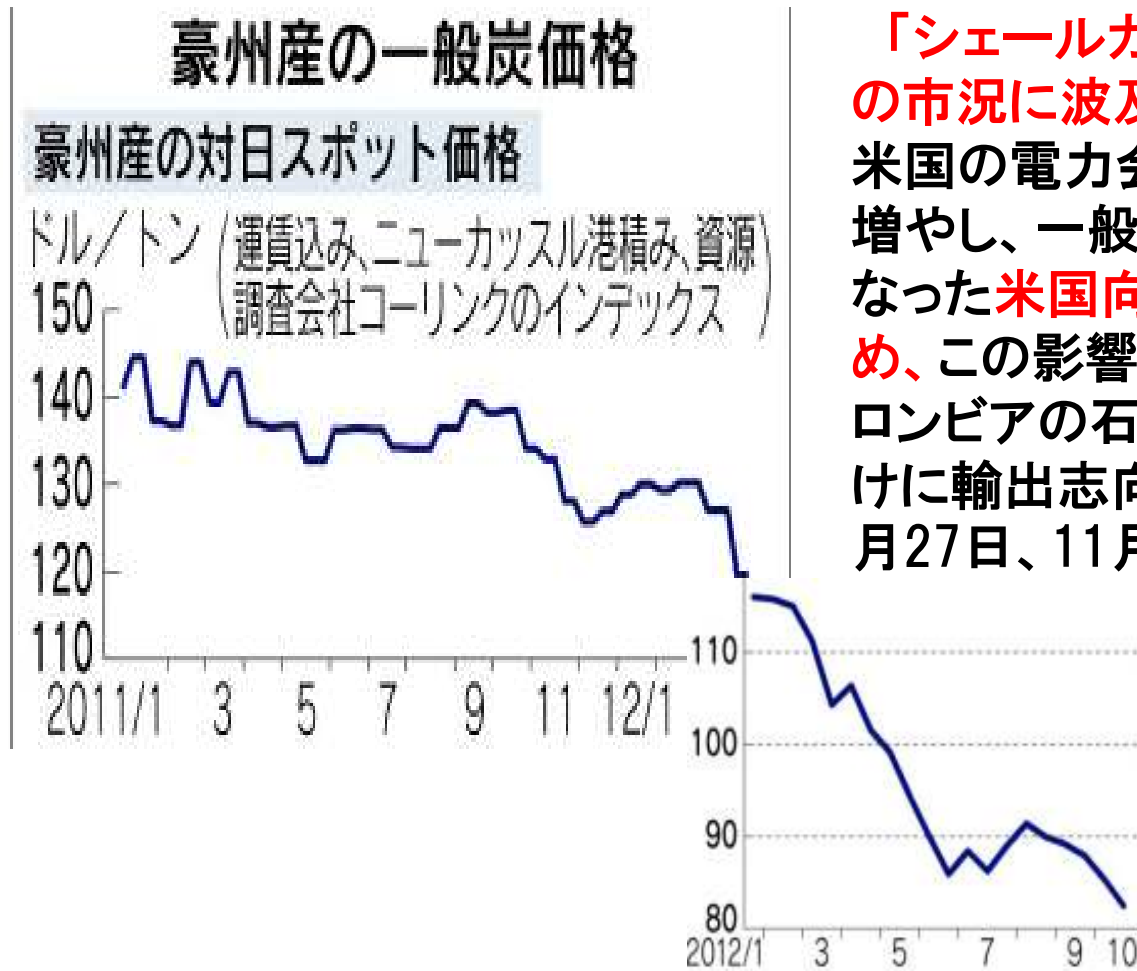
工業用

電力・産業用需要が着実に増加

Electricity Net Generation by EIA
(Billion Kilowatthours)



シェールガス開発による経済的な波及効果④



「シェールガス革命」が発電用石炭(一般炭)の市況に波及。

米国の電力会社は安値の天然ガスの調達を増やし、一般炭を削減。石炭会社は売れなくなった**米国向けをアジアに安値で振り向け始め**、この影響でアジア価格が下落。米国やコロンビアの石炭会社が、需要堅調なアジア向けに輸出志向を強めている。(日経2012年6月27日、11月17日)

現在の米国の石炭価格は、急落した天然ガス価格の後を追うように下がり、中国向け輸出価格は70ドル台@6月。

豪州産日本向けスポット価格(運賃込み)は86ドル@6月。**豪州産のスポット価格も割安な米大陸産に引きずられる形で下落。現在の86ドル程度は直近の高値である昨年9月比で約40%安い。**豪州鉱山の採算限界は90ドル程度。日本勢も米大陸産に関心を示す。

出光など米産LPG輸入 日経2012年7月6日

- ・JX日鉱日石エネルギーや出光興産は**2014年までに**米国から割安な液化石油ガス**(LPG)の輸入**を始める。米国では「シェールガス」の開発が活発になっており、LPGも生産量が増加。日本が9割を依存する中東産より輸入価格が**約2割安い**。
- ・JXエネルギーは三井物産、丸紅と共同出資するENEOSグローブ(東京・千代田)を通じ、米ガス会社と14年から**年約20万トン**を輸入する契約を結んだ。
- ・出光と三菱商事の共同出資会社アストモスエネルギーは同じ米社と売買契約を締結、13～15年に年**10万～20万トン**を輸入する。今後輸入をさらに増やす方針である。
- ・日本の11年度の**LPG需要は1600万トン**。中東産はサウジアラビア国営石油会社が通告する価格が基準で、足元の日本の輸入価格は**1トン約700ドル(約1,000ドル@11月)**。米国の取引市場では**1トン430ドル**程度。輸送費を加えても約2割安くなる。米国は液化天然ガス(LNG)の輸出先を自由貿易協定(FTA)締結国に原則限っているが、LPGは民間契約だけで輸出ができる。

1. 内外からの活発な**シェールガス・オイル開発投資**
2. 他国と異なり、私的契約に基づく石油・ガス開発ビジネスが基盤
3. **充実した開発インフラと高い競争性**
4. 全土的なガス輸送網と**透明な価格システム**が整う取引市場
5. DOEによる**750Tcf(LNG約160億トン、米国内需要の約30年分)**の埋蔵量評価が大きく上振れの可能性も十分あり
6. 産業振興、雇用創出など**経済的波及効果**が大きい
7. 環境対策に向け、行政は法整備を急ぐ。環境問題は一部市街地を除き大きな障害にはならない
8. 工業用、発電用のガス需要が拡大している
9. シェールガスによる**LNG輸出**事業化進む
10. シェールガス井の生産量の減退は急激で、その生産量の維持・拡大には、**膨大な数の坑井を掘削**し続ける必要がある。そのための掘削・水圧破碎装置と水圧破碎用の水の確保がネックとならないか？
11. 2012年に入り、ガス価格は2.0～3.0\$/MMBtuと低迷、経済性が悪化、シェールガスから**シェールオイル**へのシフトが起こっている

IEA World Energy Outlook 2011 Special Report
 “ARE WE ENTERING A GOLDEN AGE OF GAS?”

在来型、および非在来型の天然ガスの技術的に回収可能な埋蔵量
 2011年末現在(兆立方メートル、Tm3)

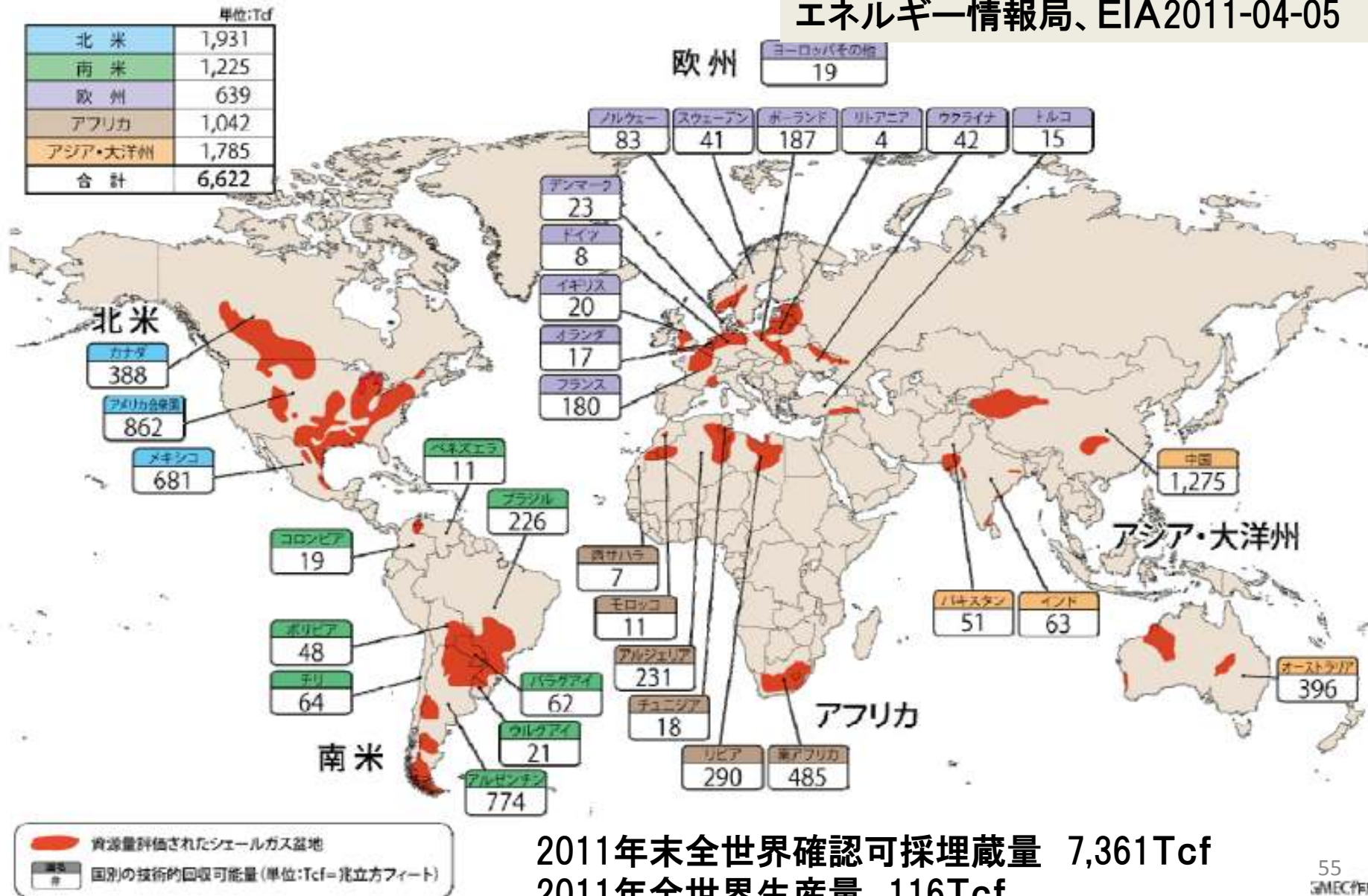
	Total		Unconventional		
	Conventional	Unconventional	Tight Gas	Shale Gas	Coalbed methane
E. Europe/Eurasia	131	43	10	12	20
Middle East	125	12	8	4	-
Asia/Pacific	35	93	20	57	16
OECD Americas	45	77	12	56	9
Africa	37	37	7	30	0
Latin America	23	48	15	33	-
OECD Europe	24	21	3	16	2
World	421	331	76	208	47

商業的に開発可能量を上記の1/2とすると可採年数= $\{(421+331) \div 2\} / 3.3 = 114$ 年

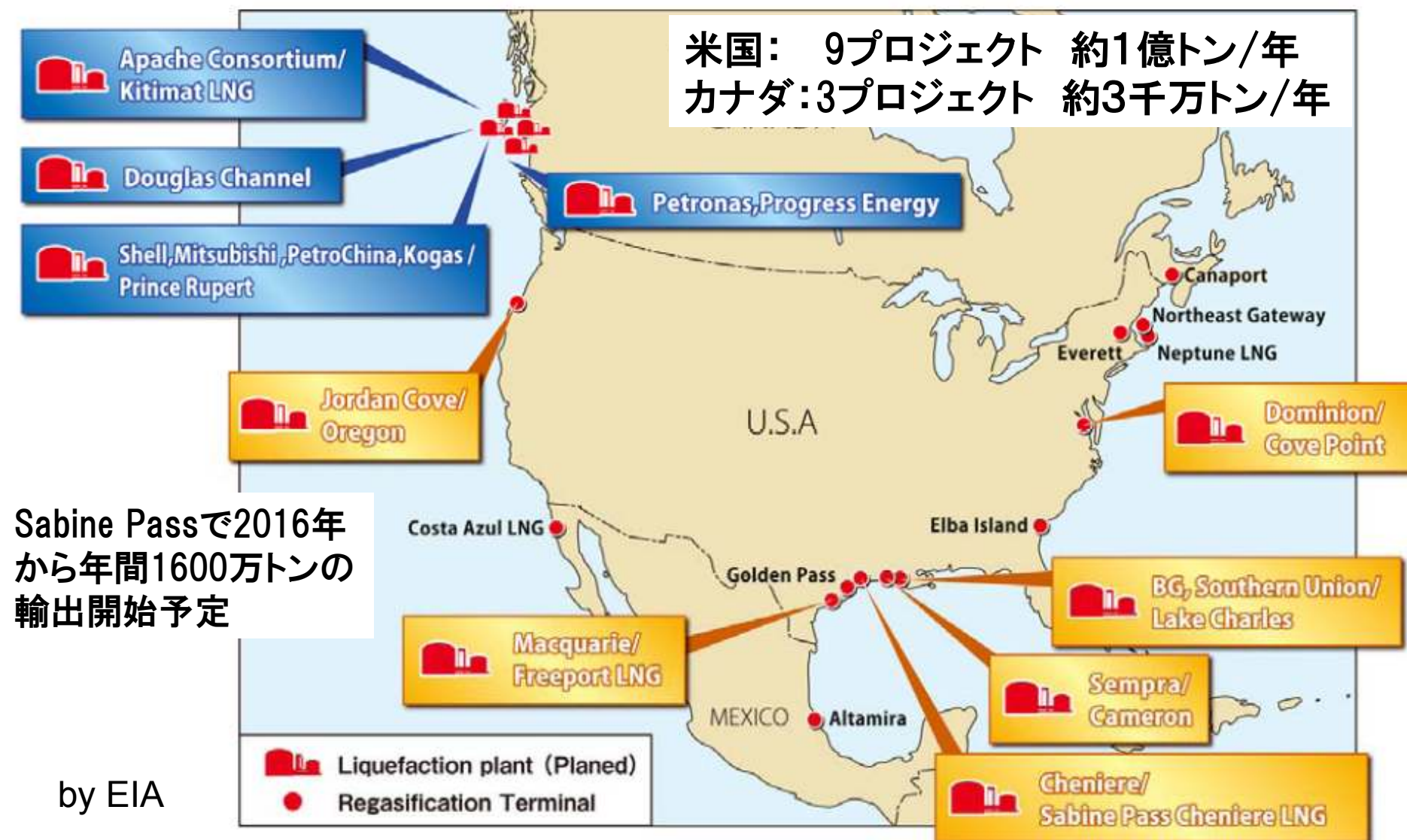
世界のシェールガス資源量評価(技術的回収可能量※)

Source: 米国エネルギー省

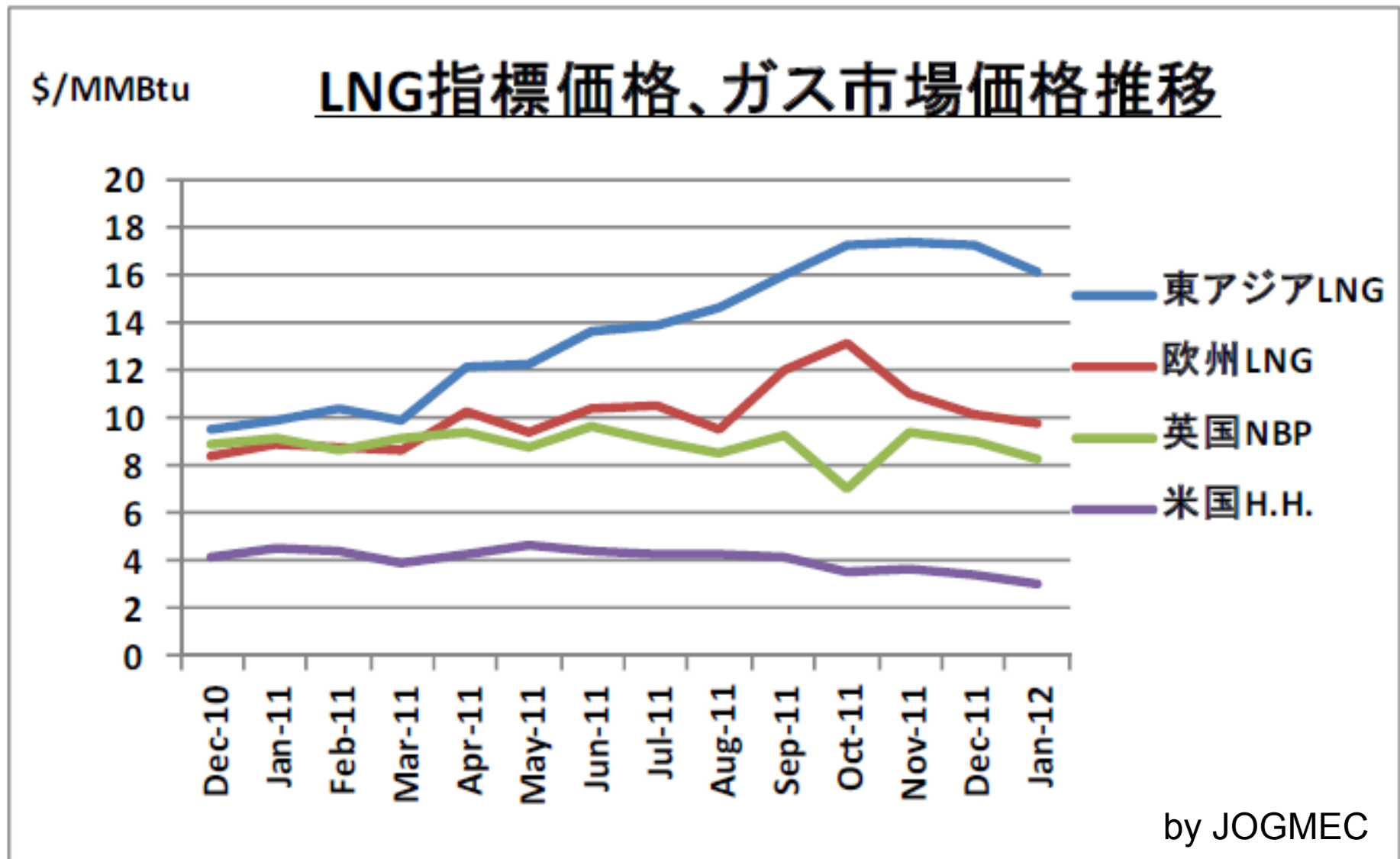
エネルギー情報局、EIA2011-04-05



シェールガスによる北米からのLNG輸出



世界の地域別の天然ガス価格の推移



Chiniere EnergyのLNG売買契約(2011年10月～2012年1月締結)

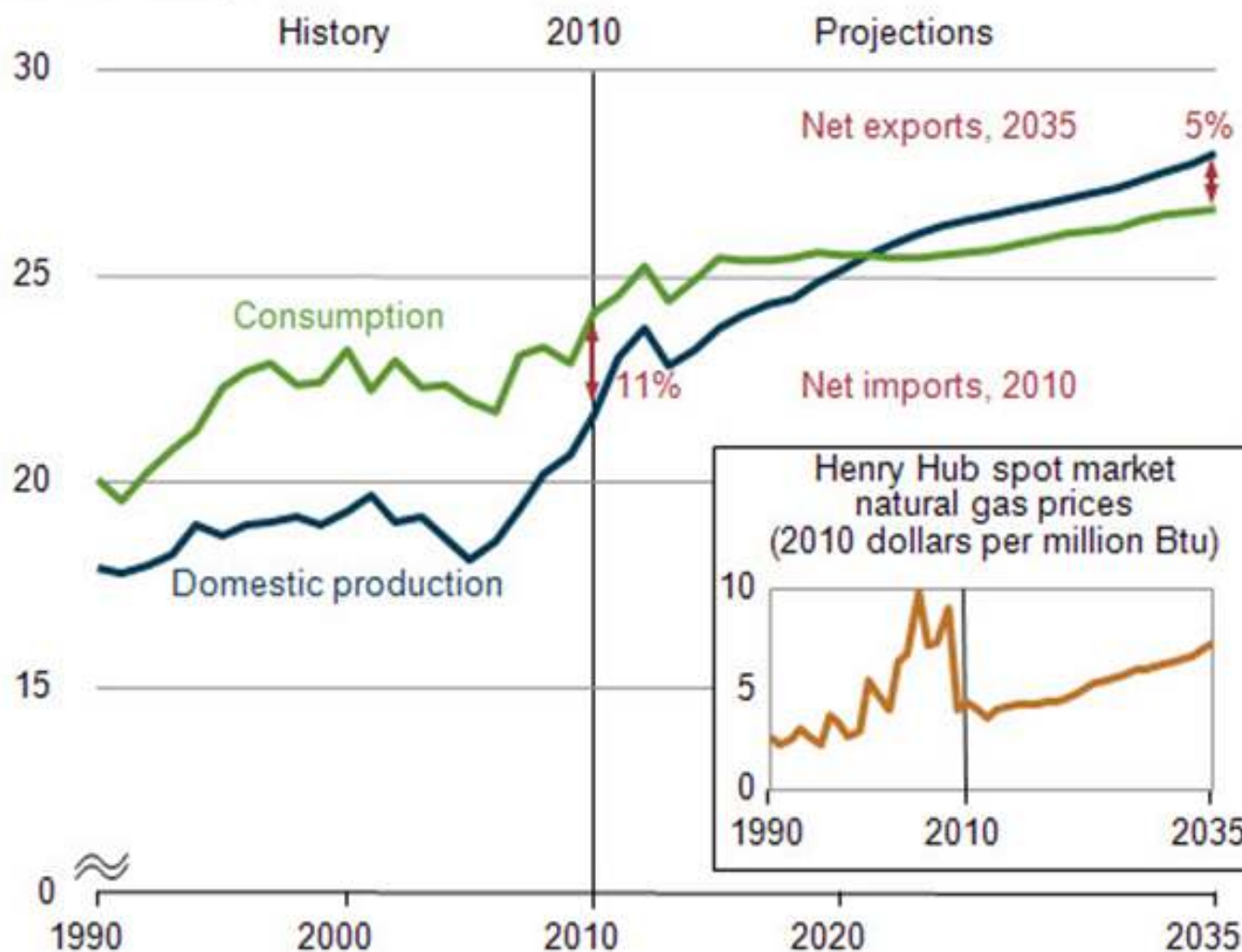
by JOGMEC

販売先	数量	供給開始	契約期間	fixed capacity charge	該当トレイン
	万トン/年			\$/MMBtu	
BGグループ	350	2016年	20年間	\$2.25	第1フェース*(No.1,2)
Gas Natural	350	2016年	20年間	\$2.59	第1フェース*(No.1,2)
GAIL India	350	2017年	20年間	\$3.00	第2フェース*(No.4)
BG Gr.追加	200	2016年	20年間	\$3.00	第1フェース*(No.1,2)
Kogas	350	2014年	20年間	\$3.00	第2フェース*(No.3)
合計	1,600				

購入者は液化設備渡しで購入後、自社手配船で輸送する。例えば、GAIL IndiaがH.H.ガス価格=\$4/MMBtu(6)で購入するLNG価格は、次の通りとなる。

$\$4/\text{MMBtu}(6) * 115\% + \$3/\text{MMBtu} = \$7.6/\text{MMBtu}(9.9) + \text{輸送費}\$1/\text{MMBtu}$

Figure 4. Total U.S. natural gas production, consumption, and net imports, 1990-2035
(trillion cubic feet)



シェールガス生産量
2010年

5.0Tcf/年 23%

2035年

13.6Tcf/年 49%

2020年代始めに輸入
国から輸出国へ。
ガス価格次第で早ま
る可能性ある。

天然ガスの先物価格
は原油先物価格
(100\$/バレル)
の約4割＝
約7\$/MMBtu

シェールガス革命のインパクト(7)

1Tcf=2100万トン

世界の地域別LNG需要予測

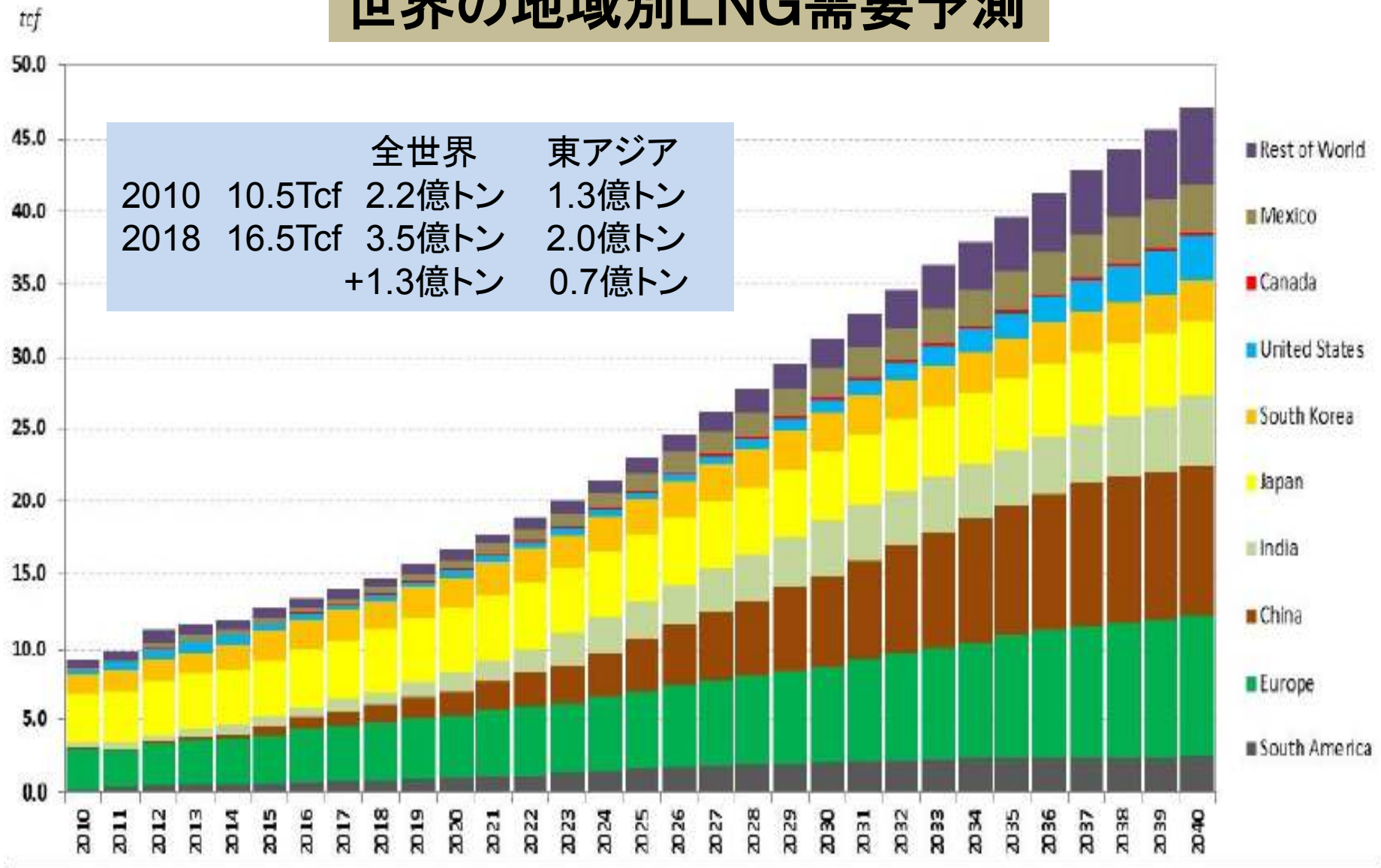
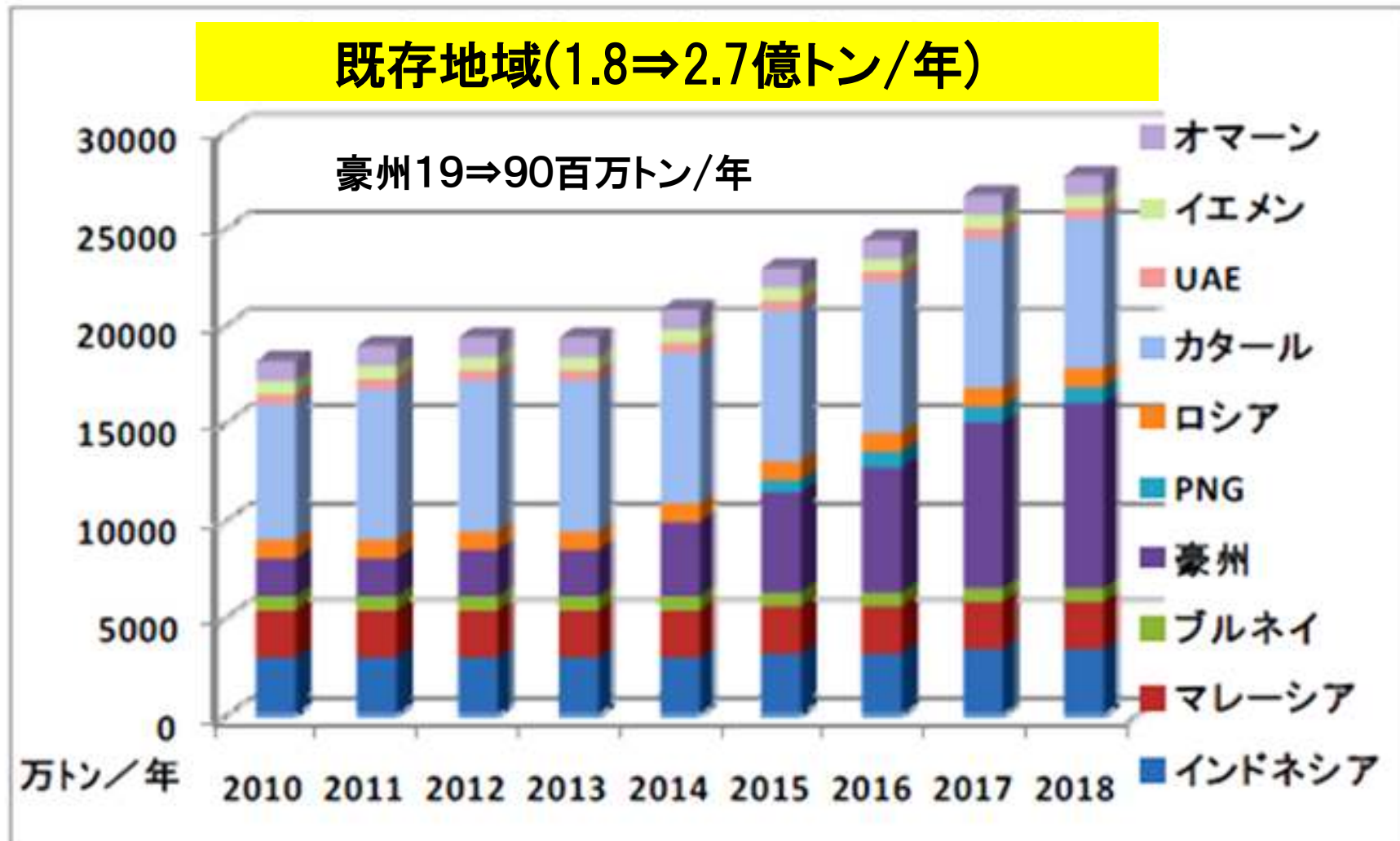


図9 地域別LNG需要想定 (出所) ライス大学 2010年12月

中東・東アフリカ・環太平洋のLNG出荷能力予測①



中東・東アフリカ・環太平洋のLNG出荷能力予測②

新地域

- ・アラスカ ノースロープ
- ・カナダ ブリティッシュ・コロンビア
- ・アメリカ 太平洋岸・メキシコ湾岸
- ・ロシア サハリン2増強(含むサハリン3)
ウラジオストック(1～2.5千万トン/年)

(2012年6月24日に建設実現へ日ロ両政府が協力する覚書に署名)

- ・オーストラリア 北西大陸棚大水深、CBM(6千万トン/年)
 - ・イラン
 - ・イラク
 - ・タンザニア
 - ・モザンビーク
- 3千万トン/年以上

これらは、全て
ガス源は確保
されており、
すべてが実現す
ると2億トン/年
近くなる

1997年		2011年	
輸出国	輸入国	輸出国	輸入国
米国、アルジェリア、リビア、アブダビ、カタール、ブルネイ、マレーシア、インドネシア、オーストラリア	米国、ベルギー、フランス、イタリア、スペイン、トルコ、日本、韓国、台湾	米国、トリニダード・トバゴ、ペルー、ノルウェー、ロシア、エジプト、アルジェリア、アブダビ、カタール、イエーメン、ナイジェリア、赤道ギニア、ブルネイ、マレーシア、インドネシア、オーストラリア	米国、カナダ、メキシコ、ドミニカ、プエルトリコ、アルゼンチン、チリー、英国、ベルギー、フランス、イタリア、スペイン、トルコ、ポルトガル、ギリシャ、日本、韓国、台湾、中国、インド、タイ
9ヶ国	9ヶ国	16ヶ国	21ヶ国

日本の直近輸入量(万トン/年 \$/MMBtu)

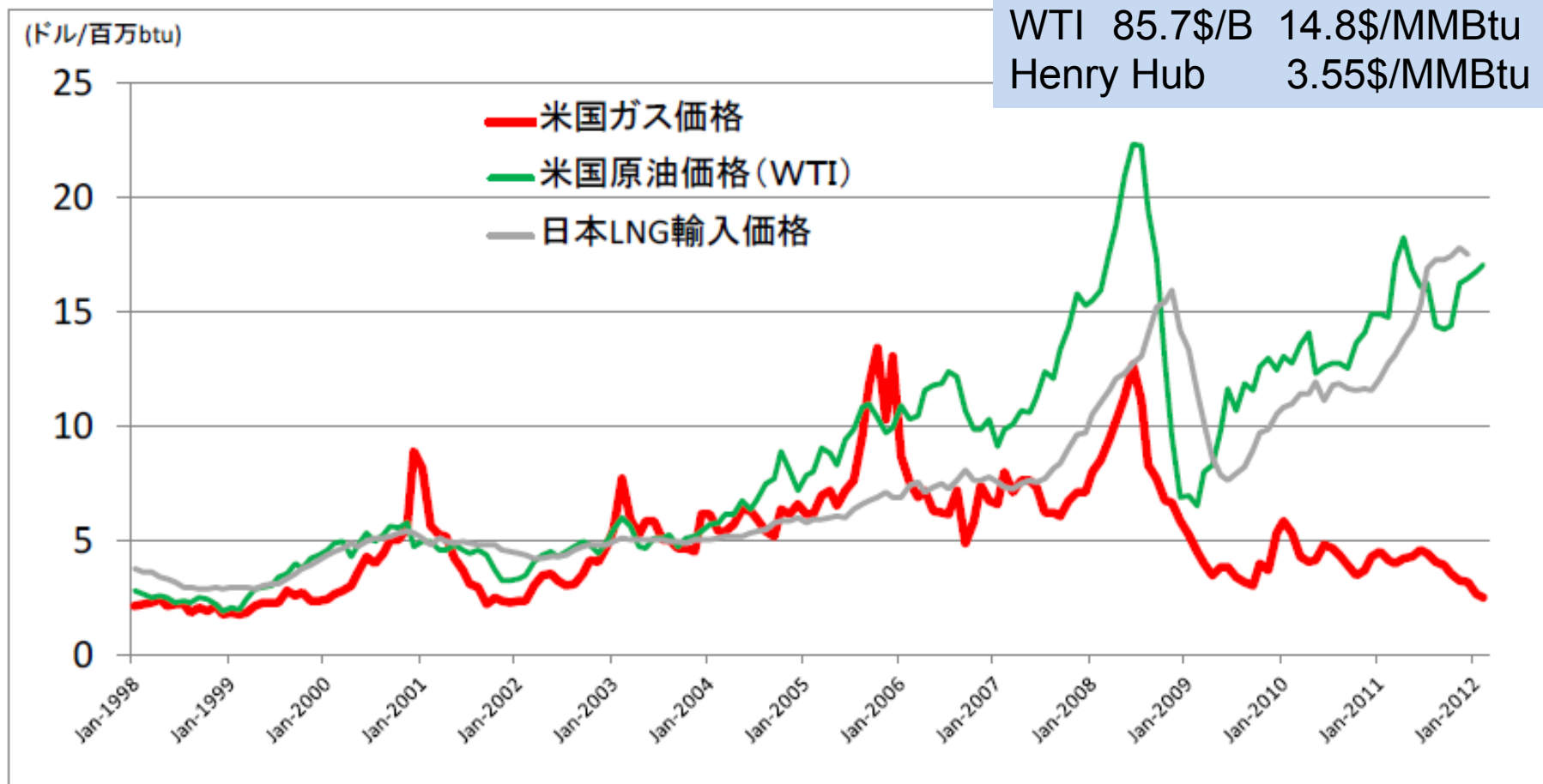
2008年	6813	12.3
2009年	6635	
2010年	7000	
2011年	7853	14.6
2012年(エネ研予想)	原発再稼働	7700
	原発停止	9000

油価の上昇に伴い2002年頃から天然ガス価格も上昇し、シェールガス開発に弾みがついた。2006年から価格差が拡大するもガス価は7～8\$と高水準でシェールガス開発が更に進む。**2008年のリーマンショック**後はガス価が低迷、シェールガス開発にブレーキかかり、シェールオイル開発にシフト。

2012年11月5日

WTI 85.7\$/B 14.8\$/MMBtu

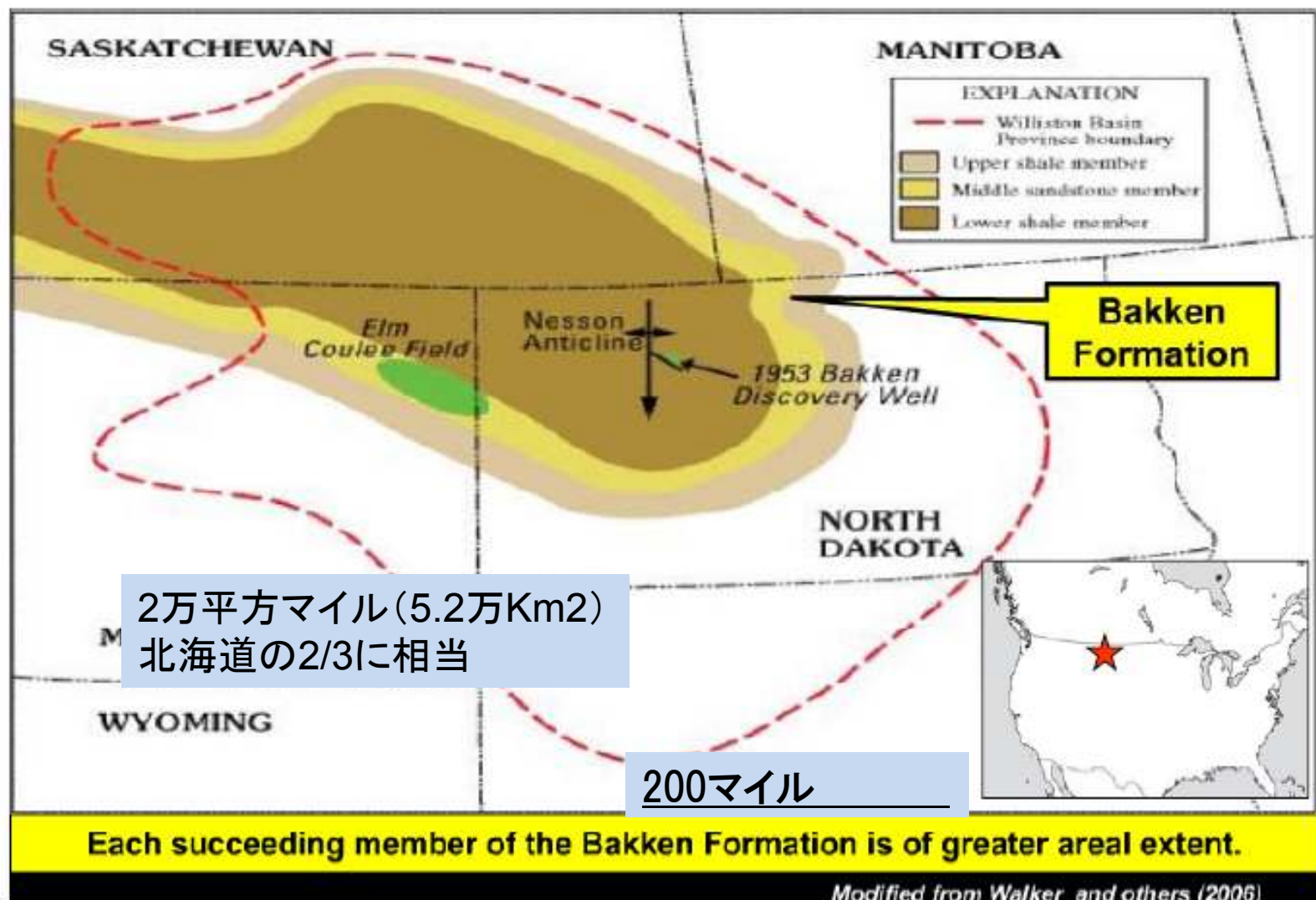
Henry Hub 3.55\$/MMBtu



シェールオイル開発：北米のBAKKEN層①

カナダとアメリカに跨って広がるBakken層

USGS資料より

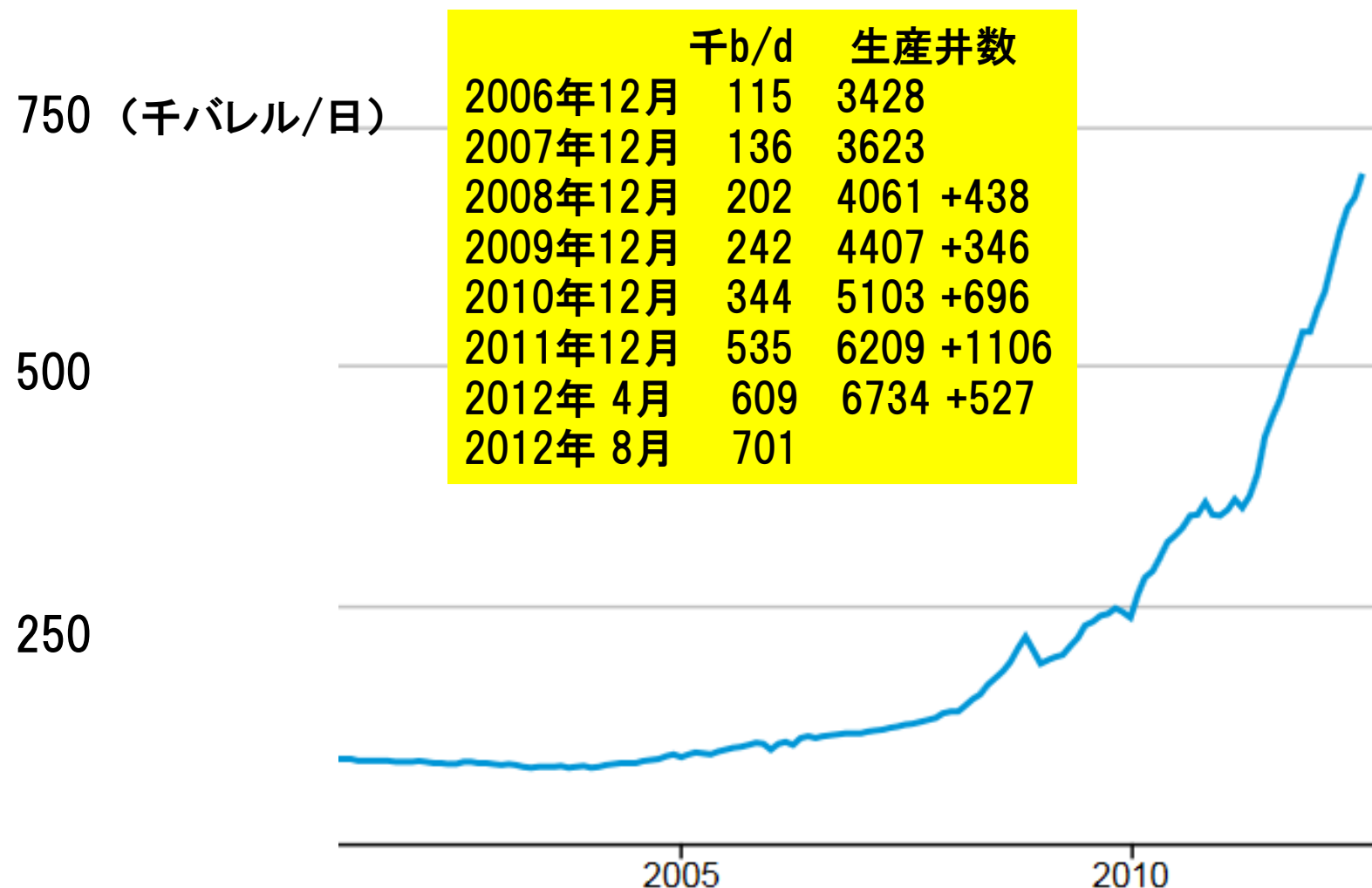


シェールオイル開発：北米のBAKKEN層②

- ・米国ノースダコタ州とカナダ・サスカチュワン州にまたがるWilliston堆積盆地の52万Km²にも亘るBakken構造
- ・深度9-10千ft(約3,000m) 対象層厚 平均80ft(約24m)
- ・2006～2007年までは、1坑井当たり200b/dで高油価の時代でも魅力なく、Barnettなどでのシェールガス開発技術の適用により、2008年には800～1,000B/d、2009年に入って2,000b/dを超える結果が得られている。
- ・開発・生産コストは40～60\$/バレル
- ・2008年には、Bakken層下位にあるThree Forks層にも同程度の石油が賦存していることが確認されている。
- ・原始埋蔵量(USGS調べ):4,140億バレル
- ・可採埋蔵量 米国側のみ:1999年評価 1.51億バレル ⇒
2008年USGS評価 原油36.5億バレル(全体43億バレル)、随伴ガス 1.848Tcf
- ・米ノースダコタ州の生産量: 115千b/d@Dec.2006→242千b/d@Dec.2009
→535千b/d@Dec.2011→660千@June2012⇒80万b/d@2012年末
- ・米モンタナ州生産量6.5万b/d、カナダ生産量 6万b/d
- ・ノースダコタ州全体の稼動リグ数 164基@2010年12月、215基@2012年4月

シェールオイル開発：北米のBAKKEN層③

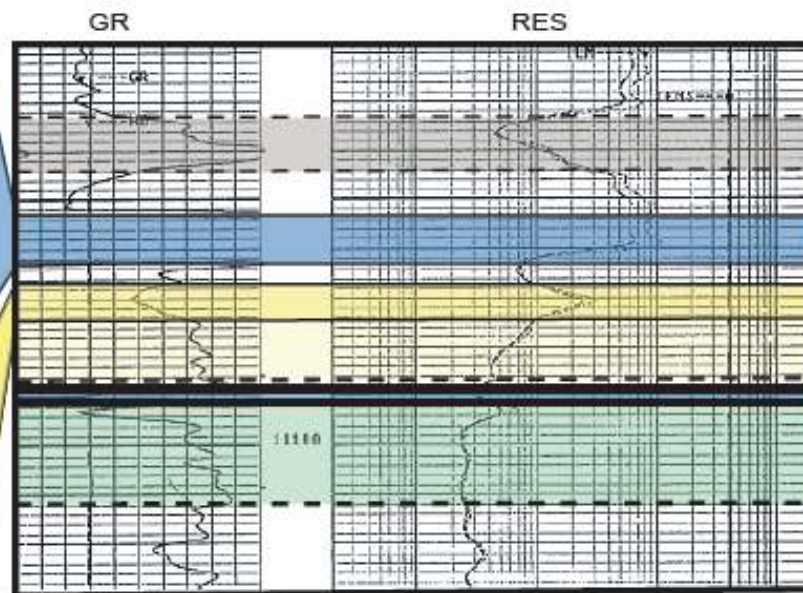
ノース・ダコタ州の原油生産量の推移 by EIA



モンタナ州の生産量は65千b/dで変わらず



33-007-01185
SWSW Sec. 5, T.143N., R.99W.
Texaco USA - #5-1 Thompson



by Julie A. LeFever, 2005
*Log Response
& Representative
Core Samples*

シェールオイル開発：北米のBAKKEN層⑤

by EIA

ガス層性状と技術的回収可能量(米国側)

Depth (ft)	6,000
Thickness (ft)	22
Porosity (%)	8
Initial Oil Saturation (%)	68

	Active
Area (sq. miles)	6,522
EUR (MBO/ well)	550
Well Spacing (wells/ sq. mile)	1
TRR (BBO)	3.59

回収率0.87%

Percent of area with potential 100%

Brigham Explorationによると可採鉱量は50～240億バレル(回収率1.2～5.8%)に達する可能性があるとのこと。

米国の原油生産量の推移

by EIA

(千バレル/日)

7,500

5,000

2,500

千B/d	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012/1-9
原油生産量	5,077	5,000	5,353	5,479	5,658	6,209
NGL生産量	1,783	1,784	1,910	2,074	2,216	2,305
合計	6,860	6,784	7,263	7,773	7,874	8,514
輸入	12,036	11,114	9,667	9,441	8,518	7,749

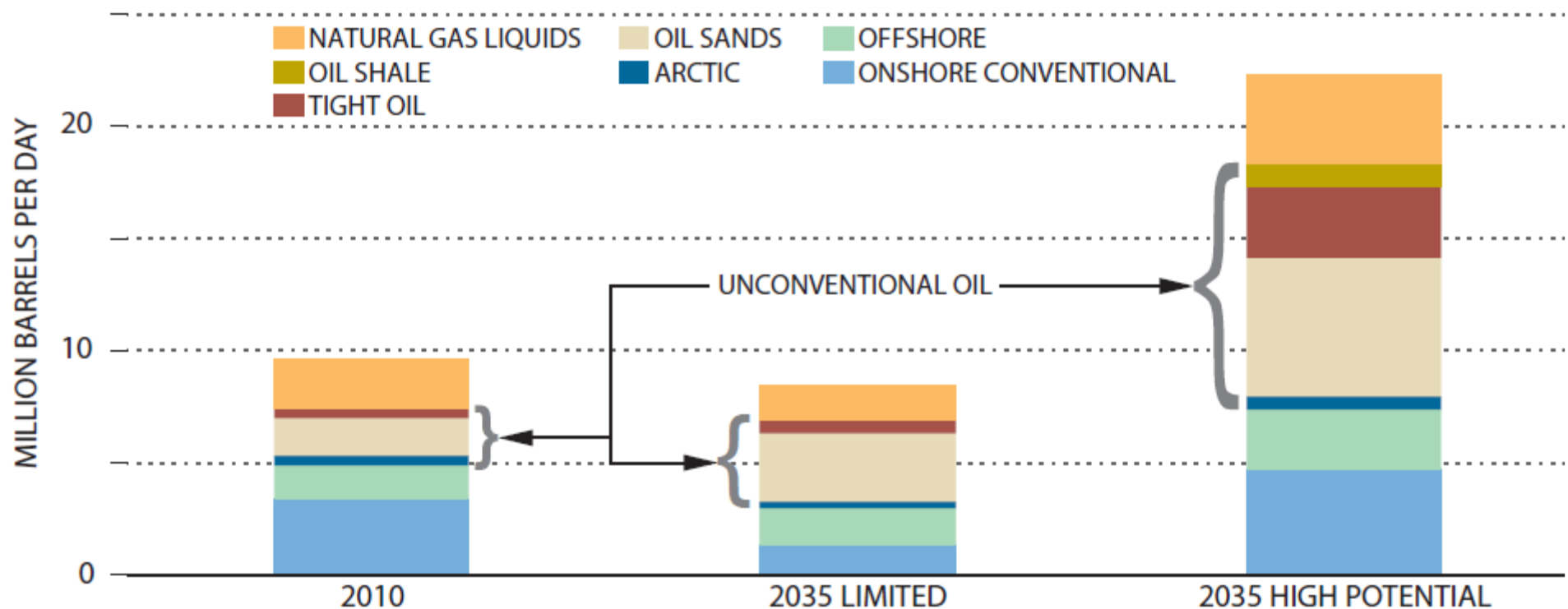
2000

2010

北米の石油生産見通し: 【米国+カナダ】の石油生産ポテンシャル

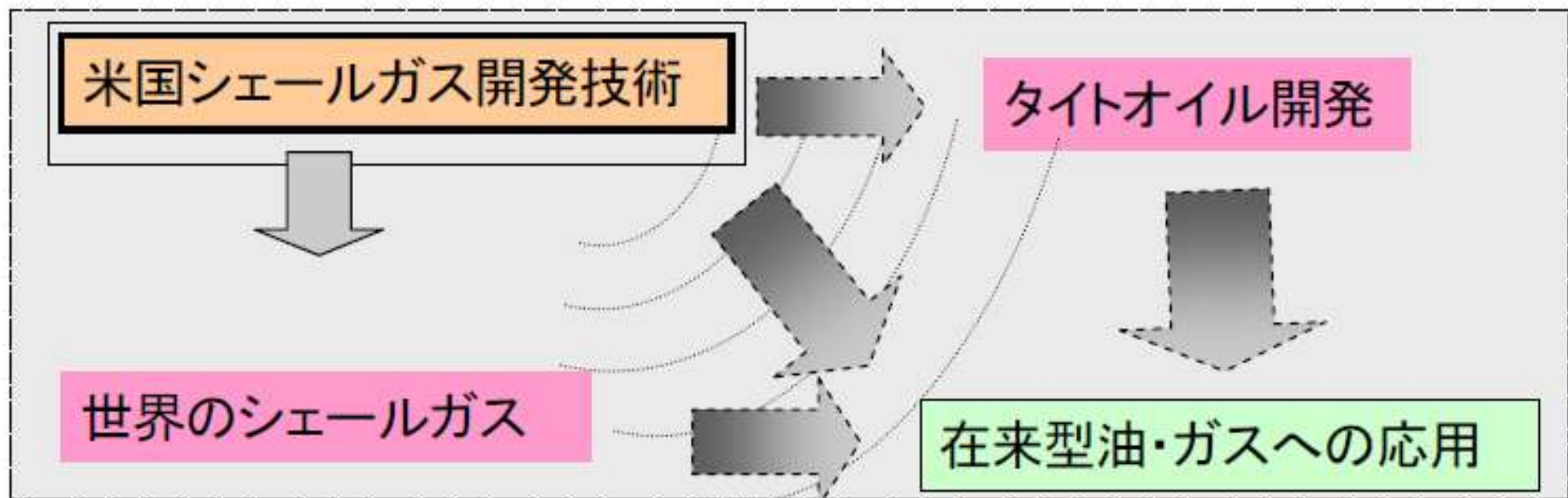
by NPC 2011-09-15

Figure ES-6. More Resource Access and Technology Innovation
Could Substantially Increase North American Oil Production



まとめ①:シェールガス開発技術の波及効果

シェールガス開発技術の登場は、世界のシェールガス評価に繋がったのみならず、シェールや在来型でも浸透性の悪い油層(砂岩、シルト、石灰質泥岩)への開発の一手法として利用され、今後の石油・ガス埋蔵量の増加及び生産に大きく貢献するのは間違いない



1. 天然ガスのR/Pは約110年と示したが、今後の開発の進展で更に大幅に増える可能性が高く、また石油についてもシェールオイル、重質油などの非在来型の埋蔵量が今後、大幅に増えると考えられる。
2. 石油・天然ガスの埋蔵量の大幅な増加と、今後の各方面での科学技術発展の可能性を考え合わせると、実質的にその枯渇を議論の前提とする必要はなくなったと言える。

「石器時代は石がなくなって終わったのではない。鉄が出てきたから終わったのだ。」(ロイヤル・ダッチ・シェル社CEO? 談)

3. 天然ガスは、他の化石エネルギーに比べCO2発生量が少なく、また実質的に枯渇の恐れもなく、次世代の再生可能エネルギーへのブリッジの役割を担うことができる。米国ではガス火力発電シフトが急速に進んでいる。
4. (日経2012年3月16日)3月15日のHenry Hubはシェールガス増産の影響で2.27\$/MMBtuまで下落。WTI原油価格とはエネルギー等価で約8倍の価格差が生じている。このためシェールガスからシェールオイルへのシフトが起こっている。米国では、工場などでは重油から天然ガスへの切り替えが進む。エチレン生産の原料・燃料としての需要も拡大。

4. (続き)米家庭の約半分は天然ガスを暖房などに使い「ガソリン高の影響の3分の一は相殺される。
5. シェールガスの登場で、競争力のあるガス、電力が潤沢となり、加えて安い労働力、安い金利、ドル安で米国の競争力が上がり、コストの安いアジアへ生産拠点を移していた米国製造業の自国回帰の誘因となっている。
6. 米国内でのガス火力発電シフトにより、石炭が余剰となりアジアの石炭価格の低下が見られる。シェールガス増産に伴う米国でのプロパンの生産増でアジアのプロパン価格低下の見通しが出てきた。
7. 米国内での天然ガスの増産により、北米からのLNG輸出の計画が出てたが、これにより現行のアジアでの原油リンクのLNG価格体系が見直され、価格が下がる可能性が考えられる。2012年3月の国内輸入価格は16.7\$/MMBtuで過去最高値圏で推移。
8. 米国内の天然ガス価格は、透明な市場で需給によって決定され、開発・生産コストがそのベースとなり、長期的にも6~7\$/MMBtuは大きく超えないと考えられ、その場合、日本着のLNG価格は10~12/MMBtu程度となるだろう。

9. 石油輸出国機構(OPEC)をまねたガス輸出国フォーラム(GECF)がこの11月にドーハで首脳級会合を開催し、天然ガス価格の維持を目差したが、天然ガスは特定の国、地域に偏在せず、特に米国、カナダ、豪州など先進国で豊富であり、GECFの機能は限定的となるだろう。
10. IHS-CERAの代表のDaniel Yargin氏*は2010年5月26日のFinancial Timesで「シェールガスの台頭は21世紀に入って最大のエネルギー技術革新/革命」と位置づけたが、今後この勢いは、石油や天然ガスを巡る世界地図を塗り替え、エネルギー市場全体に大きな変化をもたらす力を秘めている。
11. 米国では、シェールガス、シェールオイルの開発の進展で、石油・天然ガスの輸入が減り、その分の費用が国内投資に回り、石油・天然ガス開発だけでなく関連産業の振興ももたらし、直接・間接の雇用を増やすと共に、経常収支の改善、エネルギーセキュリティの改善にも貢献し、米国の世界戦略に影響を与えることも考慮に入れておくべきだろう。

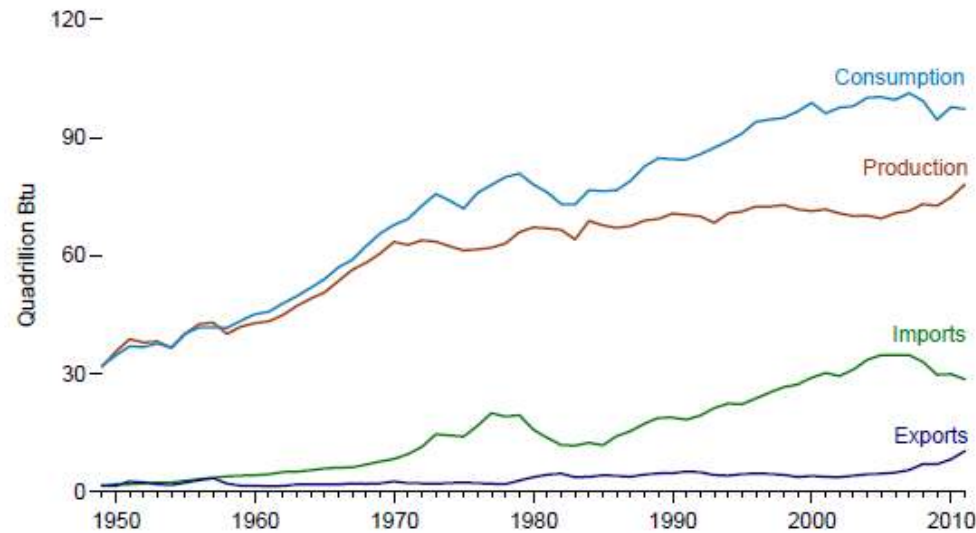
*CERA(Cambridge Energy Research Associate)の代表で、「石油の世紀」でピューリッツアー賞を受賞

補足資料(1)

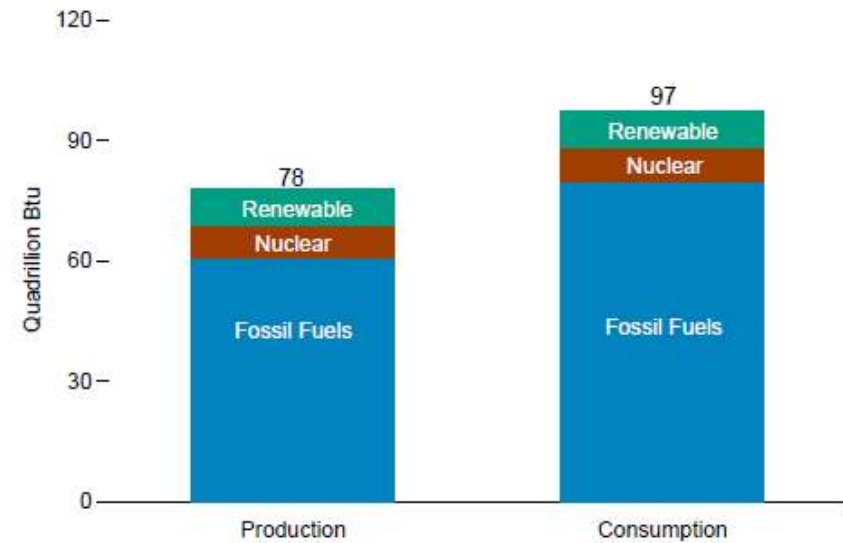
Primary Energy Overview

by EIA

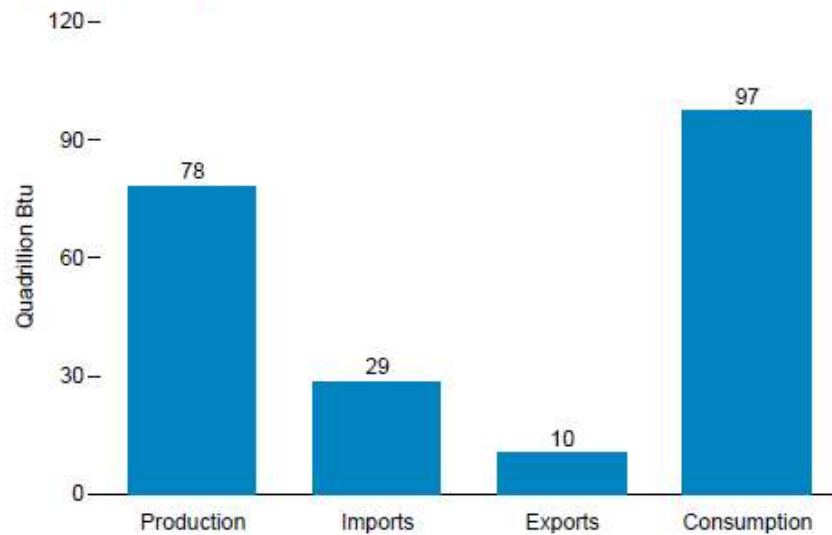
Overview, 1949-2011



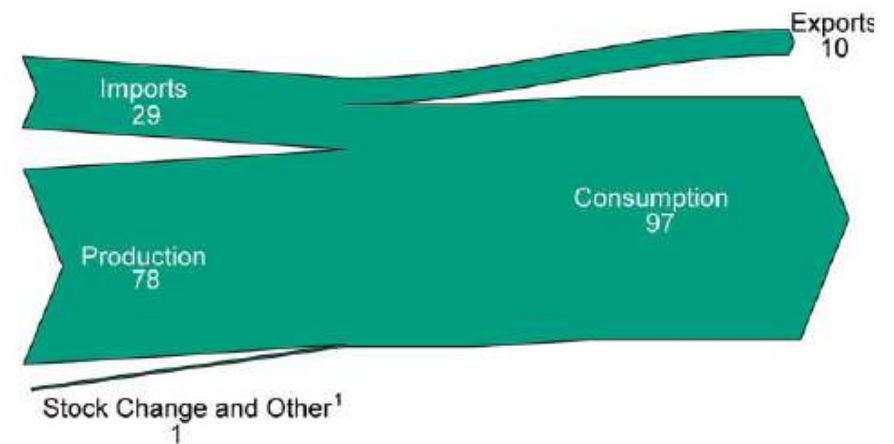
Production and Consumption, 2011



Overview, 2011



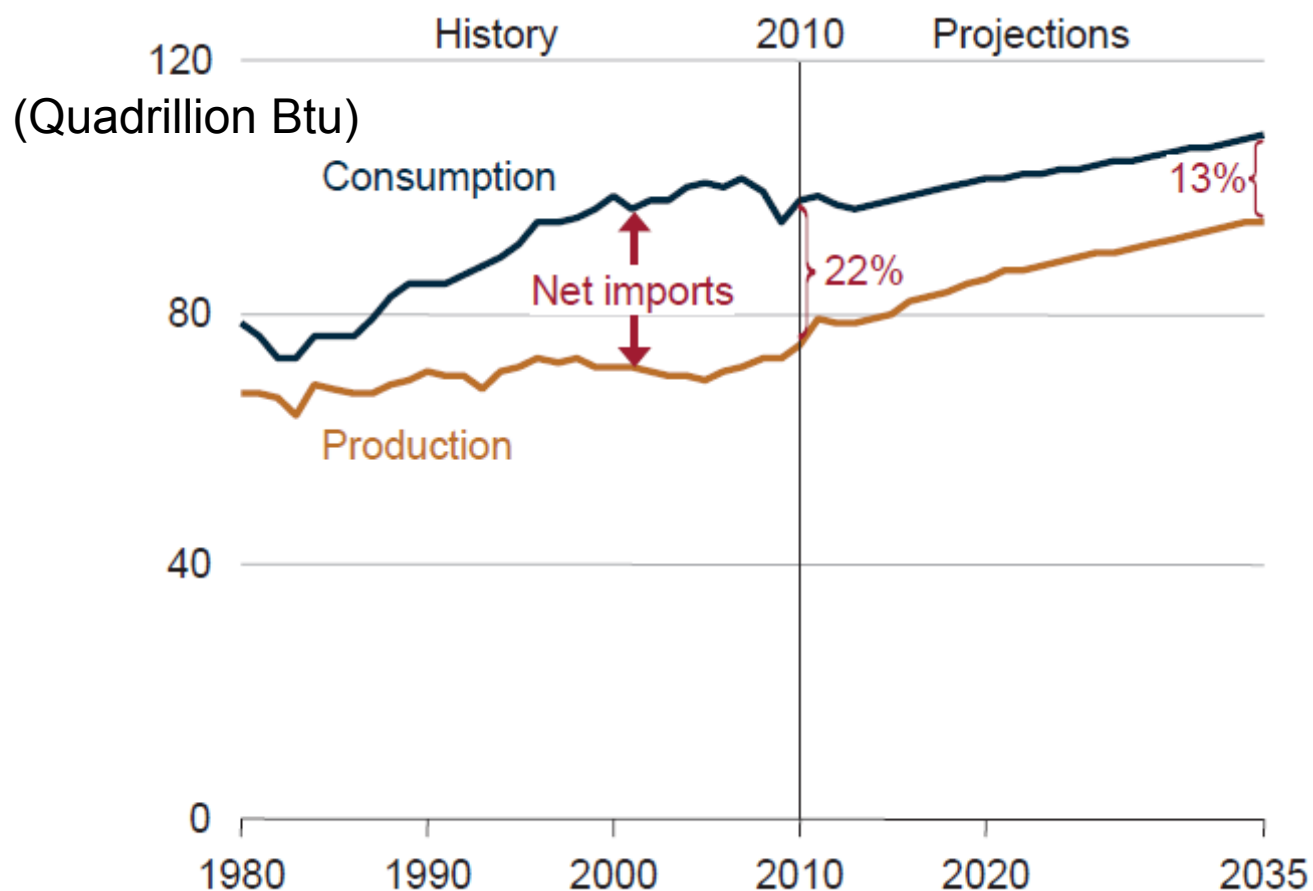
Energy Flow, 2011
(Quadrillion Btu)



補足資料(2)

米国のエネルギー対外依存度

by EIA

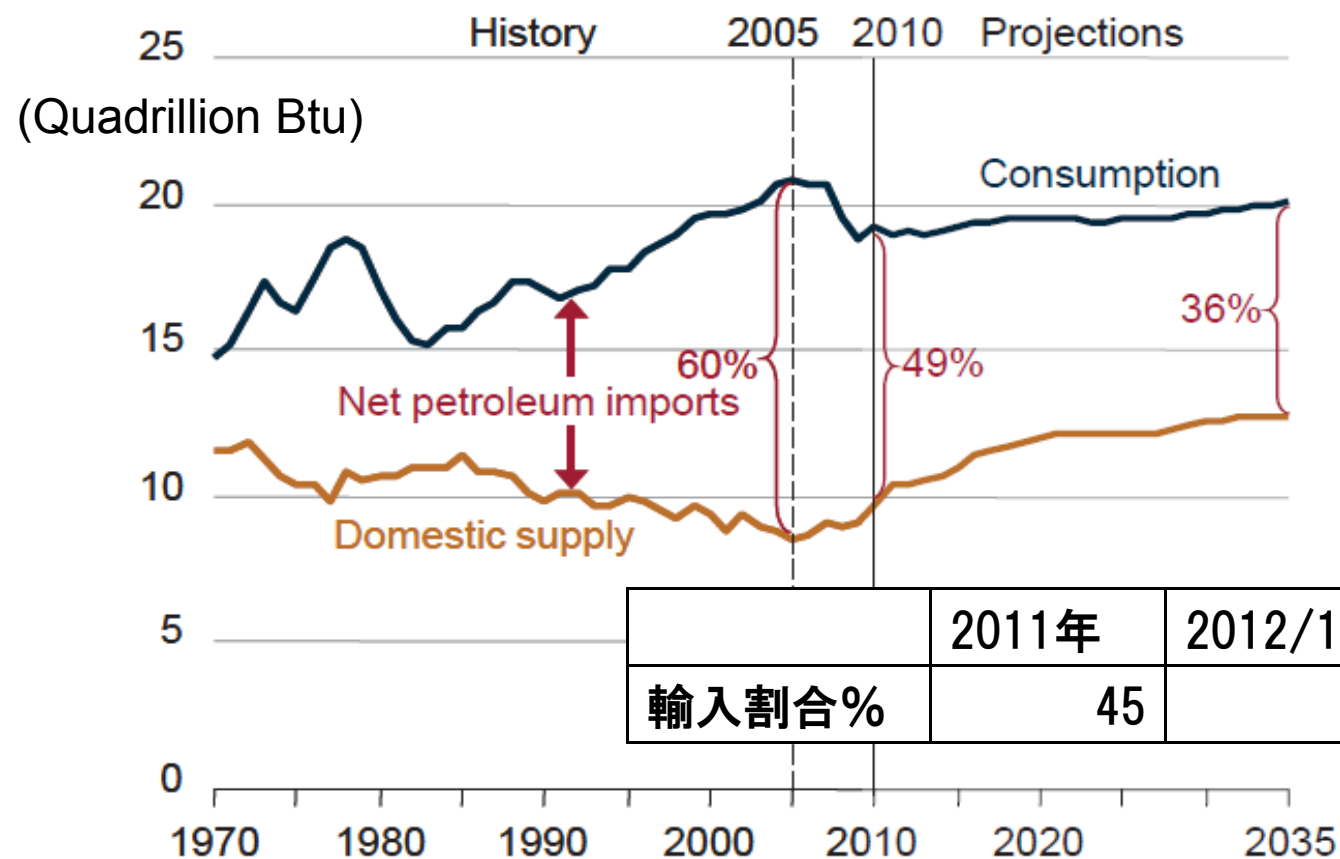


Quadrillion Btu	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年
生産量	71,373	73,111	72,657	74,806	78,096
輸入量	29,221	25,932	22,741	21,643	18,232
同 %	29	26	24	22	19
消費量	101,296	99,275	94,559	97,772	97,301
同 百万B/d	47.8	46.9	44.7	46.4	45.9

補足資料(3)

米国の外国 産石油への 依存度

by EIA



千B/d	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012/1-9
原油生産量	5,077	5,000	5,353	5,479	5,658	6,209
NGL生産量	1,783	1,784	1,910	2,074	2,216	2,305
Bio Fuel	NA	NA	746	907	1,016	975
プロセスゲイン	996	993	979	1,068	1,076	1,070
合計			8,988	9,748	9,966	10,559
輸入	12,036	11,114	9,667	9,441	8,518	7,749
石油供給量合計	20,680	19,498	18,771	19,180	18,949	18,594

Primary Energy Consumption by Source and Sector, 2011

by EIA

