

# 地球環境問題と再生可能エネルギー

世界経済 I

2019年5月26日

丸川知雄(社会科学研究所)

## 訂正

前回の講義で、日本は中国、タイ、インドに対して一般特惠関税制度(GSP)を適用していると言いましたが、2019年4月に中国、タイ、ブラジル、メキシコ、マレーシアがGSPから全面卒業となりました。

なぜなら、2019年4月から日本が新たな基準を採用し、世界銀行で「高所得国」に3年連続でなった国だけでなく、「高位中所得国」に3年連続でなり、かつ世界の総輸出の1%を超えて輸出している国もGSPから全面卒業とすることにしたからです。

# 1. 気候変動問題の基礎

気候変動は温室効果ガスの大気中濃度の増加によって生じる。

温室効果ガス(GHG)には二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )、メタン( $\text{CH}_4$ )、亜酸化窒素( $\text{N}_2\text{O}$ )、一部のフロンガスなどがある。GHGの68%はエネルギー、11%は農業、7%は工業、14%はその他(焼き畑等)から出ている。

地球表面の平均気温が上昇し、大気循環の変化が起き、豪雨や干ばつ、熱波や寒波などの異常気象が増えている。

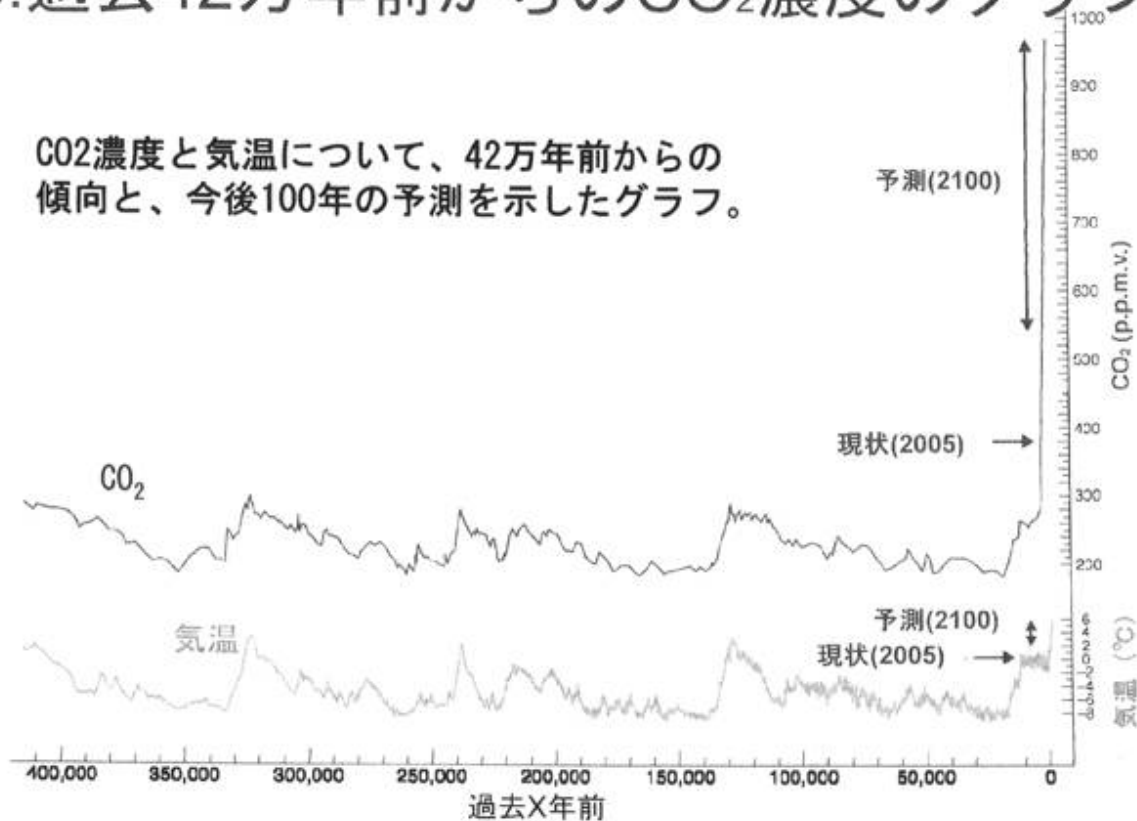
予想される悪影響を最小限にとどめるためには産業革命以前と比べて気温上昇幅を2度以内に抑えることが必要と言われているが、現時点ですでに0.7度ほど上昇している。

# 気候変動問題



## 3. 過去42万年前からのCO<sub>2</sub>濃度のグラフ

CO<sub>2</sub>濃度と気温について、42万年前からの傾向と、今後100年の予測を示したグラフ。



出典：Nature Vol. 399 (3 JUNE 1999, Macmillan Publishers Ltd) 及びIPCC第3次評価報告書より作成

産業革命以前は280ppmだったのが2015年には399ppmで、毎年2ppmずつ増加している。

# 気候変動に対する国際的取り組み

1988年に国連環境計画(UNEP)と世界気象機関(WMO)が気候変動に関する政府間パネル(IPCC)を設置。

1992年にリオで開催された国連環境開発会議(地球サミット)で「気候変動枠組条約」が採択された。この条約ですべての締約国が出席する締約国会議(Conference of the Parties, COP)を最高意志決定機関と定めた。

COPは1995年以来、毎年1回開催されている。

この条約では先進国と旧ソ連・東欧諸国を附属書 I 国、その他の開発途上国を非附属書 I 国とし、前者により重い責任を課している。

# 気候変動に対する国際的取り組み

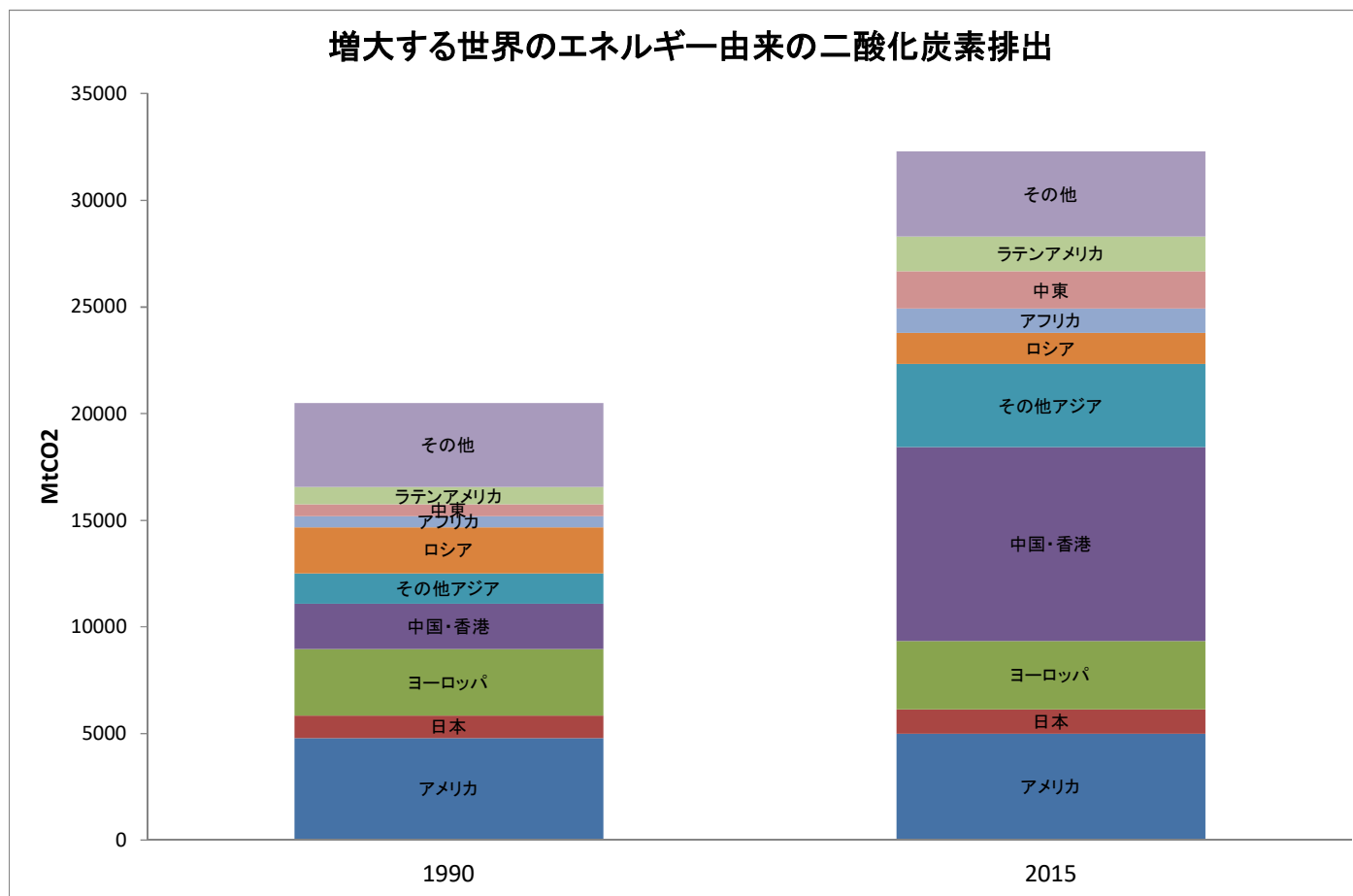
1997年のCOP3で京都議定書が採択され、附属書I国は2008～2012年の排出削減目標を設定した。日本は1990年に比べて-6%、EU(15カ国)は-8%、アメリカは-7%、ロシアは0%

しかしアメリカの離脱、新興国の成長により、2005年に京都議定書が発効した時には規制対象国の排出量は世界の3割程度に落ち、有効性が乏しかった。

そこで2007年のCOP13では途上国を含めた包括的な枠組み作りを決めた(バリ行動計画)が、COP15で合意できなかった。2010年のCOP16でアメリカ、中国が参加した2020年までの枠組が決まるが、それは各国が自主的に目標を約束するというもの。

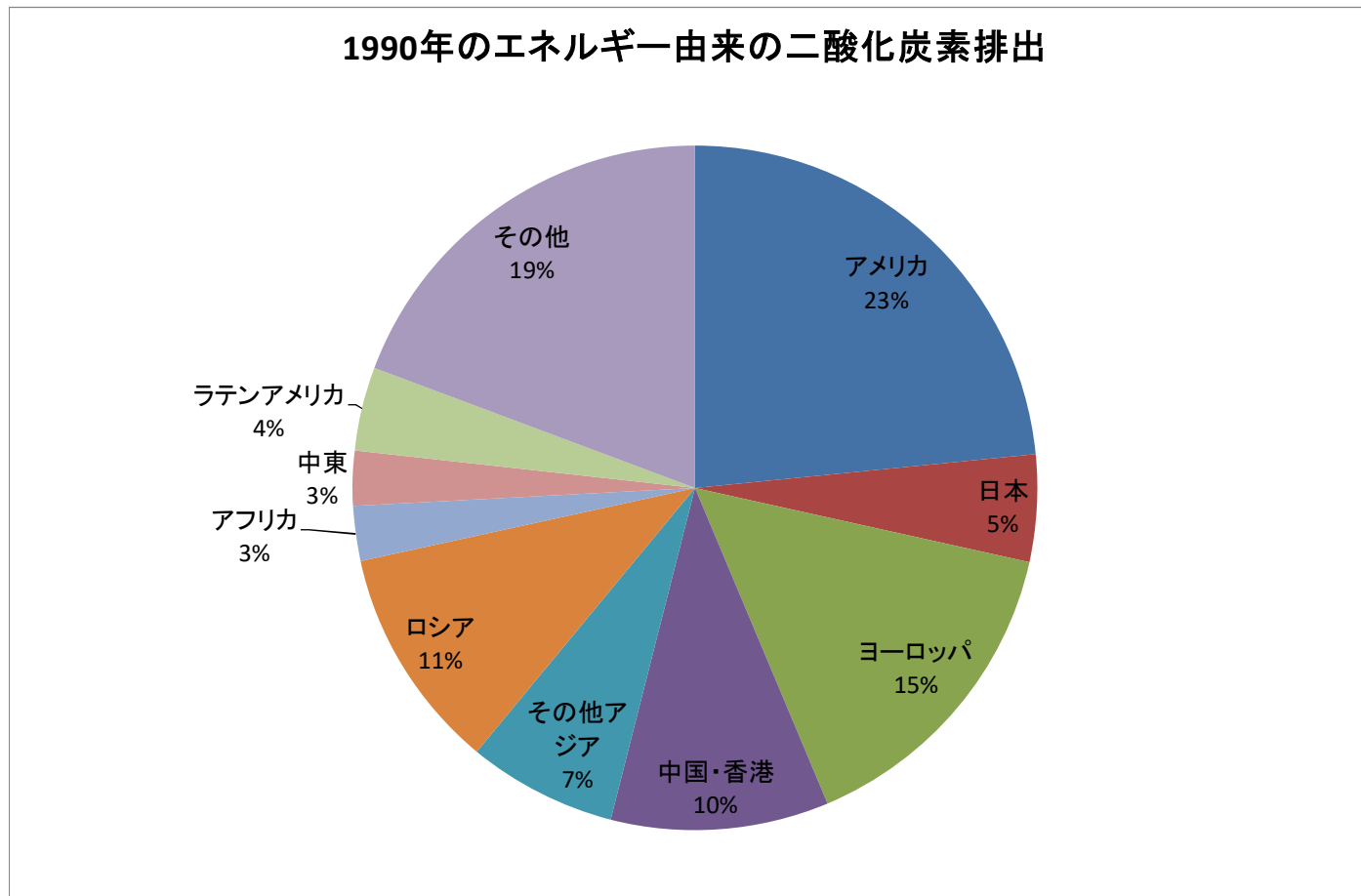
2013年9月IPCCが報告書を公表し、「気候変動に人為的活動が影響している確率は95%以上」として懐疑論を一蹴。21世紀末には海面は26～82センチ、平均気温は0.3～4.8度上昇すると予測。

# 新興国からの排出拡大



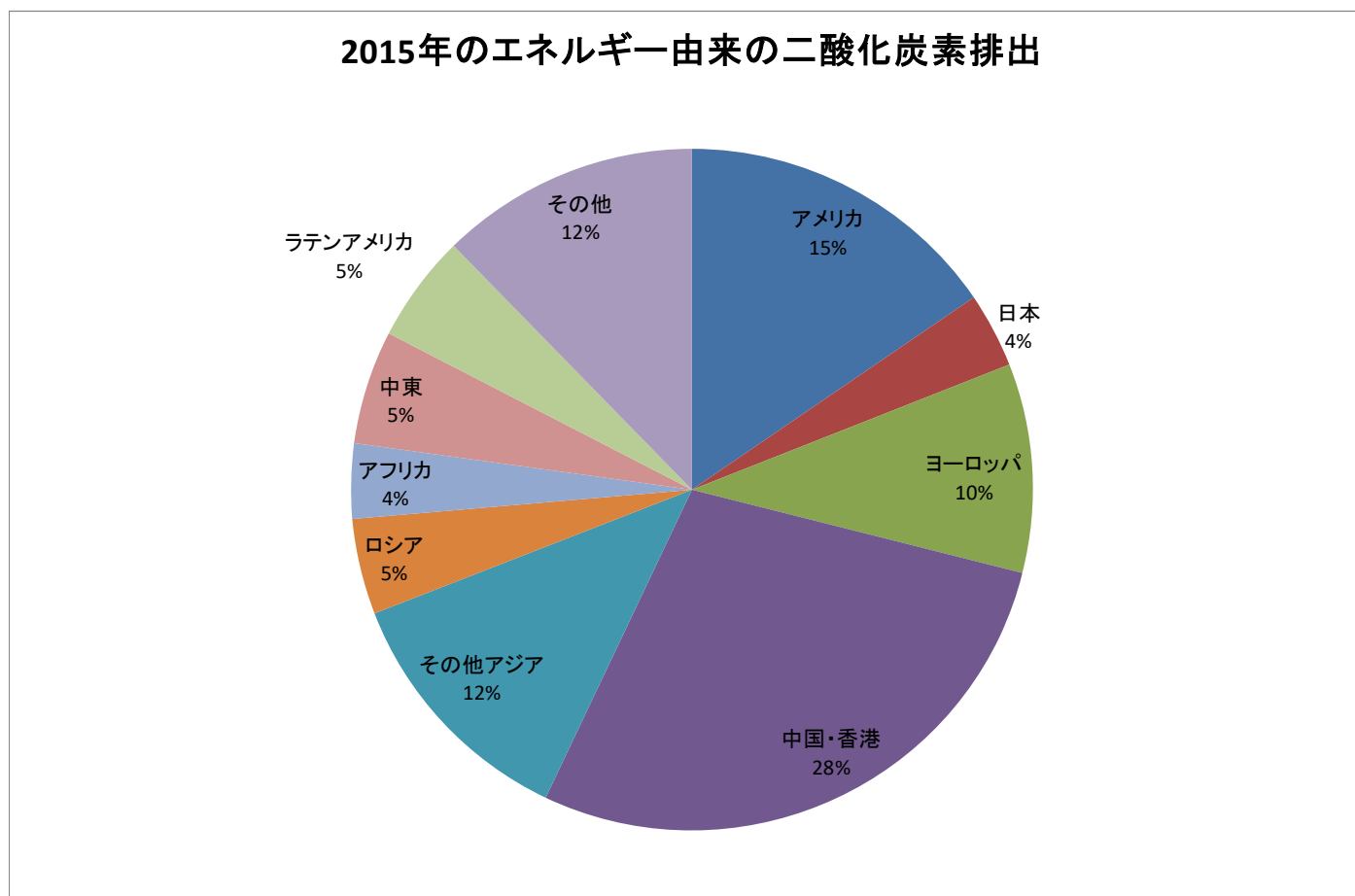
出所: IEA

# 1990年の主要国による CO2排出





# 2015年の主要国の排出



# 豊かさとCO2排出削減を両立させるためには

- 実質的豊かさを手にするためのCO2排出を減らす (CO2/GDP(PPP)のためには:
  - 実質的豊かさを手にするためのエネルギー消費を減らす (TPES/GDP(PPP)を下げる) 省エネ
  - 同じエネルギーを生み出すのに必要なCO2を減らす (CO2/TPESを下げる) 低炭素化

エネルギー効率、二酸化排出に関わる指標 (2015)

	CO2/TPES	CO2/人口	CO2/GDP	CO2/GDP (PPP)	TPES/GDP (PPP)
アメリカ	2.28	15.53	0.30	0.30	0.13
中国	3.04	6.59	1.01	0.50	0.16
ドイツ	2.37	8.93	0.20	0.21	0.09
フランス	1.18	4.37	0.10	0.12	0.10
日本	2.66	8.99	0.19	0.26	0.10
インド	2.43	1.58	0.90	0.28	0.12

(出所) IEA, Key World Energy Statistics 2017

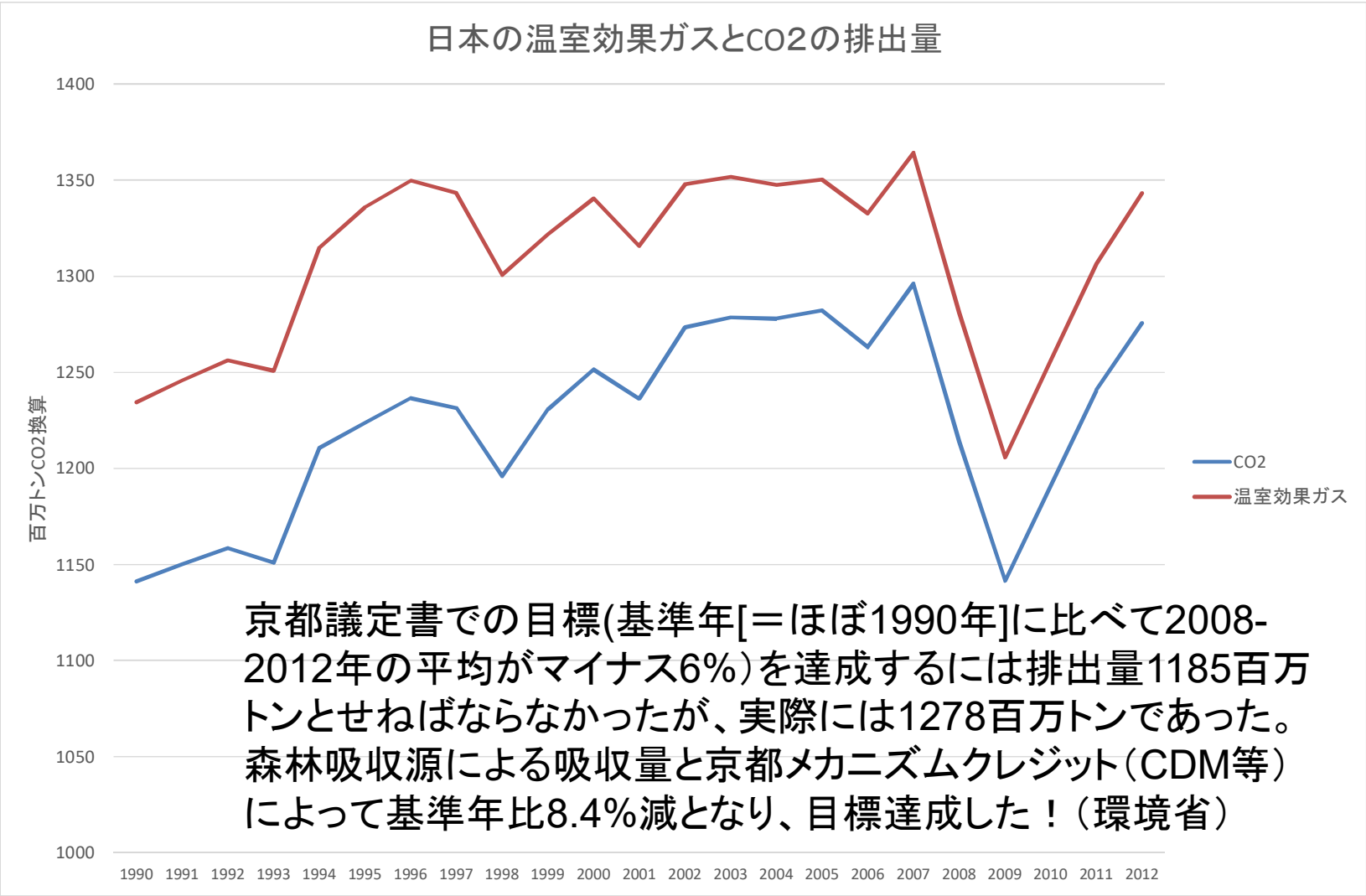
TPES= Total Primary Energy Supply

同じエネルギーを生み出すためにどれだけ二酸化炭素を出しているか

重視すべき数字

同じ豊かさを生み出すためにどれだけ一次エネルギーを使っているか

# 日本政府の取り組み(1)



## 日本政府の取り組み(2)

2009年6月麻生首相が2020年までに1990年比8%削減の中期目標を立てる。原発の設備利用率の引き上げ(60%→80%)、9基の新設による排出削減も盛りこまれていた。

民主党は2009年総選挙のマニフェストのなかで2020年までに1990年比25%削減を公約し、政権についてから地球温暖化対策基本法案を作成し、その中にこの目標を盛りこんだ。なおこれは京都議定書締約国会議の場で先進国は2020年までに25-40%、2050年までに80%削減が必要との合意を受けたもの。

しかし、東日本大震災後に民主党政権が2030年代に原発ゼロに舵を切ったため、目標達成が難しくなった。日本は京都議定書の第2約束期間(2013年～2020年)には数値目標なしとなった。

安倍政権は2030年度に2013年度に比べて26%削減するという目標を作成した。

## 中国と気候変動(国際政治)

気候変動問題が国際政治の場に登場した1980年代後半、中国は途上国の代表として、この問題は先進国の過去のツケであるとし、途上国は先進国の一人あたり排出量の水準に至るまで排出する権利があると主張。

京都議定書発効後、EUや日本は、排出削減を約束していないアメリカや中国も含んだ国際制度が必要だと主張したが、アメリカと中国は手を組んで反対。

2006-2010年の第11次5カ年計画でエネルギー原単位(GDPあたりエネルギー消費量)の20%削減を目標に定める。2007年には「気候変動に関する指導小組」を国務院のなかに作るとともに、再生可能エネルギー中長期計画を作成。

## 中国と気候変動

途上国グループ(G77+中国)のリーダーというスタンスを変え、2009年11月には2020年までにGDPあたりCO2排出量を2005年比で40-45%削減という目標を打ち出した。

2011-2015年の第12次5カ年計画ではこれにあわせてGDPあたりCO2排出量を2010年比で2015年には17%削減するという目標も掲げた。実際には20%削減を達成。

2016-2020年の第13次5か年計画ではGDPあたりCO2排出量を18%削減、非化石燃料による一次エネルギーを12%から15%に引き上げることを目指している。

2018年から国内で排出量取引も始まった。

## 中国の姿勢転換の背景

1. 省エネの推進力として気候変動問題を利用できる。
2. 大気汚染問題解決の推進力として。
3. 産業育成の観点。2010年9月に「戦略的新興産業」として省エネ・環境保護、新世代情報技術、バイオ、ハイエンド装置製造、新エネルギー、新材料、新エネルギー自動車の7分野を提起。3分野は気候変動問題とリンク。
4. 森林保全の推進。(先進国から植林に対する援助を引き出す)
5. 途上国の支持を取り付け、米国に対抗

## 中国にとって重要な“**EMBODIED EMISSION**”の問題

途上国で製造され、そのプロセスでCO<sub>2</sub>を排出した製品を、先進国が輸入して消費する場合、現状では排出を削減する責任はもっぱら途上国が負うことになってしまう。

中国の2014年刊行のレポートによれば、炭素の消費では中国は世界の20%を占めるに過ぎず、北米が23%だという。また中国の炭素排出の29%は輸出由来だともいう。

生産者にだけでなく、消費者にも排出削減のインセンティブを与えるような仕組みを特に先進国で導入していく必要がある。



# 気候変動問題に対する具体的対策

省エネ機器の導入(エコカー、LEDなど)

大規模事業所に排出上限枠を設けて余剰分の取引を認める排出量取引制度(キャップ&トレード)

炭素税の導入

Clean Development Mechanism(CDM)

メタンの二酸化炭素への置き換え

森林減少への対策

再生可能エネルギーの利用促進

# ゴミ集積場からメタンを取り出して焼却 (ジャカルタ郊外) **CDM**を利用



## **COP21 (パリ協定)**

2015年11～12月、パリでCOP21が開催され、パリ協定 (Paris Agreement) を結ぶ。

すべての国が参加して合意した。すべての国が5年ごとに自主的に削減目標を提示・更新。

世界共通の長期目標として産業革命以前より+2度以内に抑え、1.5度に抑える努力を追求。今世紀後半に温室効果ガスの人為的な排出と吸収をバランスさせる。

先進国から途上国に対して排出削減のための資金支援をする。

日本は二国間クレジットができるような協定にすることを主張し、それが可能であるように読める。

# パリ協定に出された各国の排出削減目標

パリ協定に向けて各国が約束した排出目標

	1990	2005	2014	2025	2030	1990年比
先進国(付属書 I 国)						
日本	1041	1178	1189		879	-16%
アメリカ	4802	5702	5176	4105- 4219		-12%~-15%
ロシア	2163	1482	1468		1514- 1622	-25%~-30%
EU	4024	3920	3160		2414.4	-40%
カナダ	420	535	555		374.5	-11%
オーストラリア	260	372	374		260.4	0%
スイス	41	44	38		20.5	-50%
ノルウェー	27	34	35		16.2	-40%
ニュージーランド	22	34	31		23.8	8%
途上国(非付属書 I 国)						
中国	2109	5399	9135		11733- 13409	456%~536%
インド	530	1080	2020		3437- 3543	548%~568%

日本の目標はEUを大幅に下回る。アメリカの目標も下回る可能性がある。中国の目標は2030年にGDPあたりCO2排出量を2005年に比べて60-65%削減するというものだが、中国のGDP成長を考えたら、他国の削減意欲を削ぐような結果になる恐れがある。

## 2. 再生可能エネルギー利用の現状

Table 9 Prospects of Primary Energy Supply in the 2010 Energy Plan

	2007	2030
Renewable	5.8%	13%
Nuclear	10.0%	24%
Coal	21.9%	17%
Natural Gas	17.8%	16%
LPG		3%
Petroleum	44.5%	27%

Table 10 Prospects of Electricity Resources in the 2010 Energy Plan

	2007	2030
Renewable	8.6%	21%
Nuclear	25.6%	53%
Coal	25.3%	11%
Natural Gas	27.4%	13%
Petroleum etc	13.2%	2%

(Source) 2007: エネルギー白書2015年版  
2030: 橘川、2013

2010年の日本のエネルギー基本計画では、2030年に原子力発電の比率を発電全体の53%に高める計画であった。

再生可能エネルギーよりも原子力こそが日本の二酸化炭素排出削減の切り札であった。

この計画の実現のために14基の原子炉を新設する予定であった。

# 東日本大震災と福島第1原発の事故

Table 11 Prospects of Primary Energy Supply in the 2014 Energy Plan

Renewable	13-14%
Nuclear	11-10%
Natural Gas	18%
Coal	25%
LPG	3%
Petroleum	30%

Table 12 Prospects of Electricity Resources in the 2014 Energy Plan

Renewables	22-24%
Geothermal	1.0-1.1%
Biomass	3.7-4.6%
Wind	1.7%
Solar	7.0%
Hydro	8.8-9.2%
Nuclear	22-20%
Natural Gas	27%
Coal	26%
Petroleum	3%

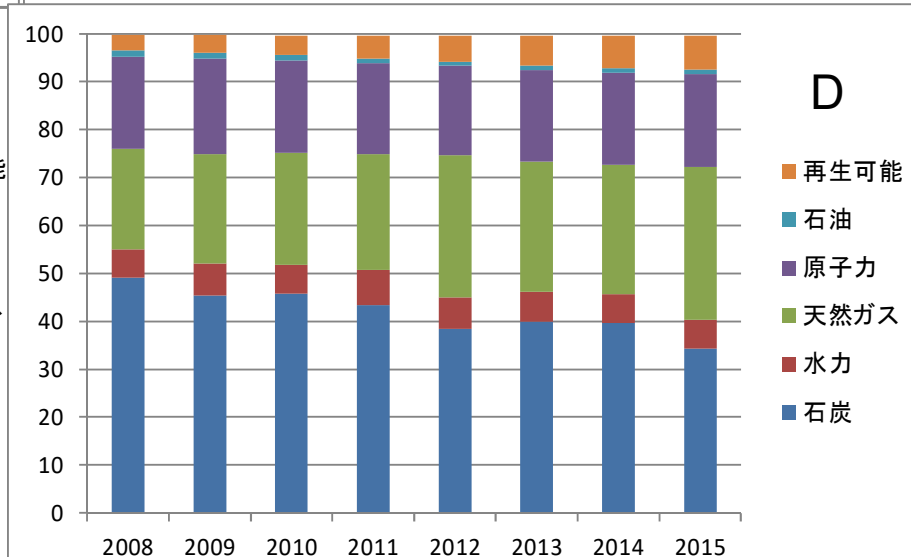
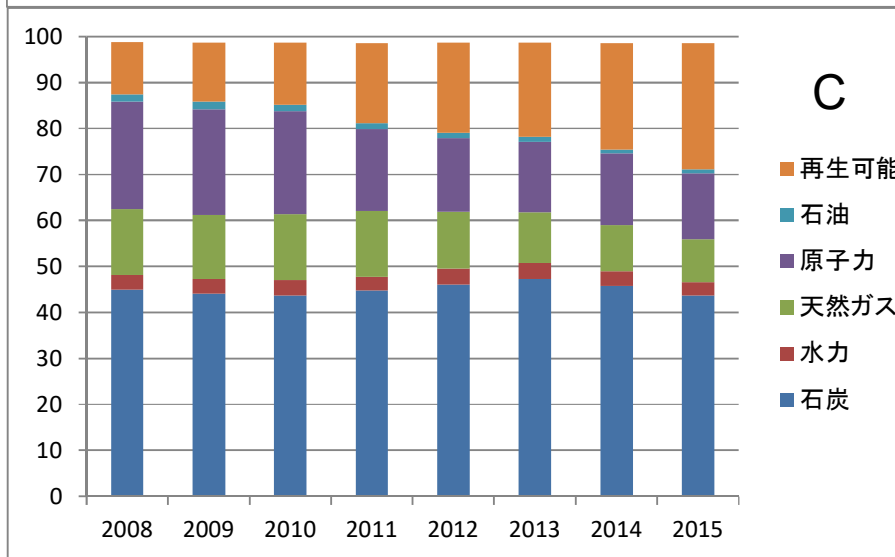
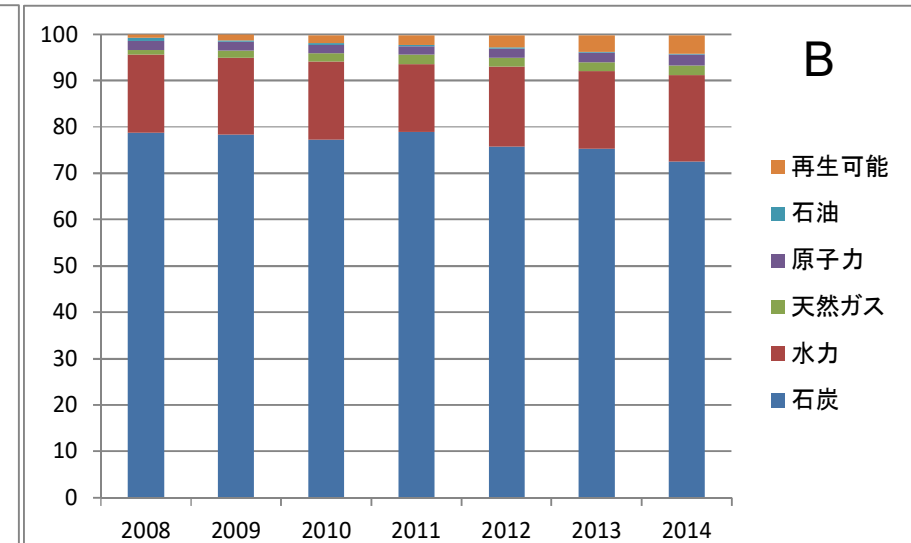
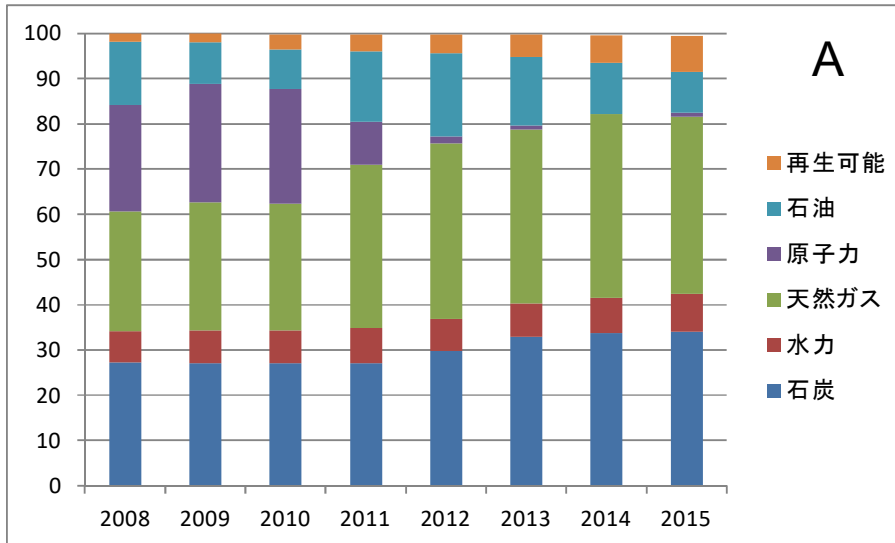
(Source) 経済産業省「長期エネルギー需給見通し」(2015年7月)

福島第1原発の事故により、  
原発の新設は政治的に不可能になった。

安全審査を強化した結果、  
2019年2月現在、日本の原発の原子炉39基のうち、27基について審査の申請が行われ、うち15基は許可が出され、うち稼働しているのは9基。  
(原子力安全推進協会ウェブサイトより)

原発再稼働が前提のエネルギー計画でも原発の比率は20-22%に留まる。再生可能エネルギーもわずかに上乘せされたのみ。

# アメリカ、中国、日本、ドイツの電源構成：どれがどの国か当ててみよう



# 風力発電が急成長する中国・インド、盛り上がらない日本

風力発電の設備容量(MW)													
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
中国	2,599	5,912	12,210	26,010	44,733	62,364	75,324	91,324	114,763	145,362	168,730	188,392	211,392
アメリカ	11,575	16,823	25,237	35,159	40,180	46,919	59,882	61,108	65,879	74,471	82,033	89,047	96,665
ドイツ	20,622	22,247	23,897	25,777	27,215	29,075	31,308	34,660	40,468	44,947	50,019	56,190	59,560
インド	6,270	7,850	9,587	10,925	13,066	15,880	18,321	20,150	22,464	25,088	28,279	32,938	35,129
スペイン	11,630	15,145	16,689	19,149	20,676	21,673	22,796	22,959	22,987	23,025	23,020	23,026	
日本	1,309	1,528	1,880	2,056	2,304	2,501	2,614	2,661	2,794	3,038	3,234	3,399	3,661

出所: WWEA, World Wind Energy Report; Global Wind Report

なぜ日本では風力発電が盛り上がらないのか？

日本には風が吹かない？

日本には有力なメーカーがない？



# 太陽光発電は**2003**年まで日本が先導、**2004-2012**年はヨーロッパ、**2013-15**年は中国・日本・

Table 1 Annual Installations of Photovoltaic Power by Selected Countries									MW				
Country\Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Germany	951	1,274	1,955	3,799	7,440	7,910	8,160	2,633	1,190	1,324	1,492	1,776	3,000
Japan	287	210	225	483	991	1,296	2,000	6,968	9,740	10,811	7,890	7,459	6,500
United States	145	207	338	448	829	1,920	3,193	4,946	6,245	7,500	15,135	10,682	10,600
Spain	110	563	2,989	49	486	463	330	86	23	39	18	148	
Korea	22	45	276	167	131	157	252	445	909	1,010	850	1,200	2,000
Italy	13	50	396	781	2,328	9,536	3,655	1,402	409	308	368	400	
China	10	20	40	160	500	2,700	3,560	10,680	10,640	15,150	34,550	53,068	45,000
IEA PVPS member total	1,432	2,425	6,474	7,571	14,736	28,529	25,401	31,665	34,639	41,292	66,409	83,430	

(Source) International Energy Agency, Trends in Photovoltaic Applications: Survey Report of Selected IEA Countries, various years



### 3. 再生可能エネルギー買取政策の枠組

再生可能エネルギーによる電力を買い上げる方法として:

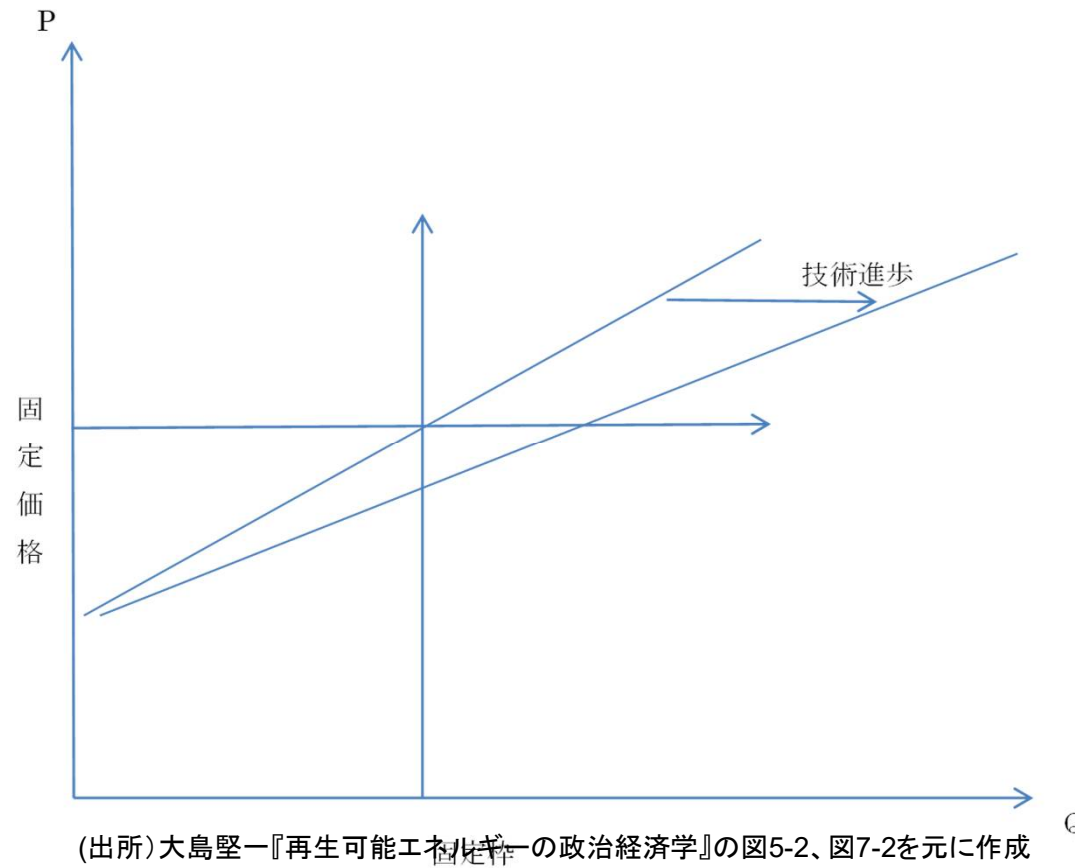
固定枠制(2011年夏までの日本、米テキサス州)

競争入札制(イギリス、中国で一部)

固定価格制(ドイツ、スペイン、2012年以降の日本)

再生可能エネルギーへの投資に対する補助・減税

# 固定枠制と固定価格制の比較



## ドイツとスペインの政策

ドイツ:2000年に再生可能エネルギー法。

電力会社に太陽光、風力によって発電された電気を**すべて**高価格で買い取ることを義務づける。

(フィード・イン・タリフFIT制度) 2006年時点では太陽光電力の買い取り価格は0.518ユーロ/kWhだった。通常の電力料金は0.18ユーロ/kWh。

2009年以降、太陽電池価格に応じてFITを引き下げる制度を導入 2017年には0.122ユーロ/kWh

・スペインは2007年からフィード・イン・タリフ制度を開始。予想外に太陽電池導入が進んだことから07年秋から政策変更を検討。検討している間に駆け込みで大量の導入が行われ、市場の爆発をもたらす。2008年9月に制度を変更し、市場規模は2008年の2.5GWから2009年に大幅に縮小。2012年1月にはフィード・イン・タリフを停止

## 日本の制度

2002年までは電力会社による自主的取り組みとして家庭用太陽電池から余剰電力を買い取り。また2005年までは家庭用太陽電池の設置に対して補助金

2003-2011年は「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法)

義務者(電力会社)は販売電力量に対して一定割合を「新エネルギー等電気」で賄わなくてはならない。(2010年には電気供給量の約1.35%以上) **固定枠制**

新エネルギーを使ったという属性だけ証書化されるので、電力会社はそれを購入して義務を果たすことも可能。

# RPS法のもとでの再生可能電力 買上

実際には証書(「新エネRPS相当量」)だけの取引は低調で、新エネルギー供給量の0.49%にすぎない(2003年度)。

テキサス州では固定枠制のもとで証書が盛んに取り引きされ、5000MWの風力発電が導入された。

日本RPS法では再生可能エネルギーによる発電所を作っても、**電力網への優先接続が保証されていないのが問題。**

## 固定価格買い取り制度(2012年7月～)

2011年8月、再生可能エネルギー全量買取法(電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法)が成立。2012年7月から施行され、太陽光発電に対しては1kWh40円という有利な値段が決められた。

大規模な太陽光発電所計画が特に北海道を中心に急増し、政府に設備認定を求めた。2013年10月までに住宅用2GW、非住宅用22.5GWの設備認定が行われ、特に1MW以上のものが1.4GWと、これまで住宅用中心だった日本も、ヨーロッパのようにメガソーラーが主流になった。

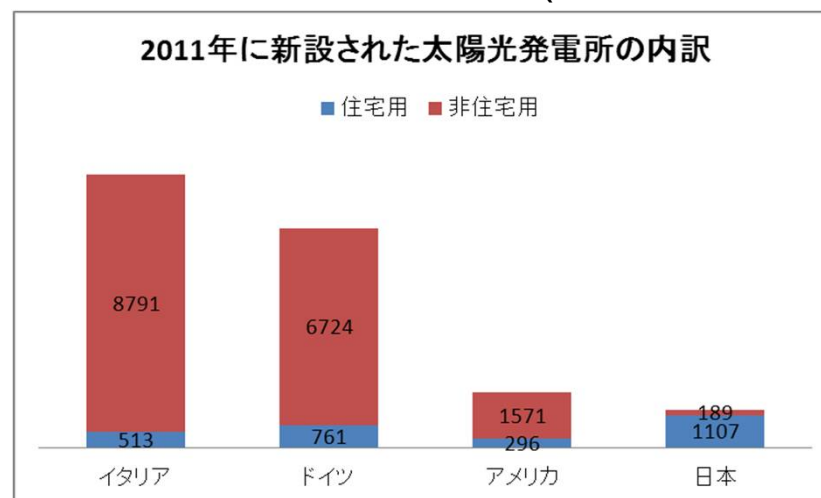
# 大小の太陽光発電所



タイ・ロップリーの太陽光発電所(55MW)



丸川太陽光発電所(5.2kW)





## その問題点

ところが、認定を受けておけば、いつ発電を始めても認定を受けた年の価格で電気を買って上げてもらえるため、太陽電池の値下がり待ちをしている業者が多数いた。

2017年4月に認定を受けながら発電を始めない業者に対して認定を取り消す法律が施行され、28GW分が取り消された。

発電を始めない理由は値下がり待ち以外に工事コストが意外に高かったということもある。

2018年度には大型太陽光発電は18円、住宅用は28円（出力制限あり）、26円に。

2019年10月から「卒FIT」が始まる。その後は8円/kWhが現在の相場！

# 太陽光発電にこだわり、敗れた日本

自然エネルギーのなかで風力が太陽光よりも低コストなので、一般には風力>太陽光となる。そうしたなか日本は異様に見える。

1974年、通産省工業技術院はサンシャイン計画を開始。新エネルギー開発によるエネルギー安全保障を目指した。その予算は工業技術院予算の半分を占める。

石炭液化・ガス化が最重要課題だったが、太陽熱発電も当初の課題。1980年代から太陽光発電にシフト

	風力	太陽光
中国	188,392	131,140
アメリカ	89,047	51,638
ドイツ	56,190	42,492
インド	32,938	18,000
スペイン	23,026	5,331
日本	3,399	49,500

# 太陽光発電システム

1994年にシャープが住宅用太陽光発電システムを発売。

2003年までは日本が世界の太陽光発電設備の半分前後を占め、世界をリード。

2004年には世界の太陽電池メーカートップ5社のうち4社(シャープ、京セラ、三菱電機、三洋電機)が日本勢で、世界生産の半分を占めていた。日本政府が太陽光発電に熱心だったのはこの事情と関係あるだろう。

しかし、2004年以降、ドイツを皮切りに、スペイン、イタリアなどで太陽電池の需要が急拡大→急縮小の激しい変動のなか、日本メーカーは対応できなかった。

2007-08年にトップになったQ-Cells(ドイツ)、2010-11年にトップだったSuntech(中国)もほどなく倒産。

2017年時点ではセルの生産量で見ると、中国が69%、台湾12%、マレーシア7%、韓国5%、日本2%、ヨーロッパ1%、アメリカ0%

## 4. 再生可能エネルギー振興政策の制度設計

**RPS法の下での日本:** 電力会社に課される固定枠が小さすぎ、再生可能エネルギー産業を大きく拡大する刺激に乏しかった。異なる再生可能エネルギーに配慮しなかったため、廃棄物発電に傾斜し、メガソーラーはほとんどできなかった。

**2009年のスペイン:** 固定価格買取制度で、メガソーラー拡大の勢いが強すぎたので政策の調整をしようとしたら、かえって駆け込み需要を生んでしまった。

**2012年までのドイツ:** 固定価格制度で再生可能エネルギーを優遇しすぎ、電力価格の上昇を招き、政策の持続性がなくなった。

**2012～2013年の日本:** 発電所の稼働開始時期に制限を設けないというミスにより、値下がり待ちをもたらしてしまった。また国内産業振興を考慮した買取価格は高すぎ、中国産太陽電池を使う発電者は大きな利潤が保障された。

## 再生可能エネルギー振興政策はなぜ必要だったか

この政策は一種の幼稚産業保護政策であり、優遇することで産業の急速な拡大とコスト低下を促し、他の発電手段(火力、原子力等)と平等な条件で競争できる状況を早く作り出すことを目的としている。

ところが、太陽光発電振興政策はしばしば大きな変化を伴い、そのたびに有力企業数社が倒産している。

コスト低下をもたらすのは企業の研究開発や生産効率向上だとすると、企業を倒産させてしまうような政策は本末転倒だった。

# 固定価格買取が数年で行き詰まる理由

固定価格買取 (feed-in tariff) という政策には大きな変動が必然的に伴うと思われる。

なぜなら固定価格のもとでは、太陽光発電はきわめてリスクが小さい事業なので、有利な価格が設定されると資金がいくらでも流入してくる。

思いがけない資金の大量流入と太陽光発電建設ラッシュに対して政府は慌てて買取制度を縮小せざるを得なくなる。

ある産業に対する投資が過剰に行われると、製品の価格が下落して企業収益が悪化する。このことが投資に対するブレーキとなる。

再生可能エネルギーに関しても、供給が過剰になれば価格が下落するというメカニズムを導入できればよい。

そのためには再生可能エネルギーの種類ごとの積極的な固定枠制度はどうだろうか。

日本の余剰買取制度(太陽光発電をまず自宅で利用し、余剰分を電力会社が買い取る)は、意識の高い消費者に高コストを負担させる意味を持っていた。意識の高い消費者全体が高コストを負担する仕組みを考案することもできる。「グリーン電力プラン」など)

日本に関していえば、電力会社の地域独占の打破、電源開発促進税(=原発育成税)の廃止、地熱開発に対する規制の緩和など掃き清めるべき問題も数多い。

# 参考文献

諸富徹・浅岡美恵『低酸素経済への道』岩波新書、2010年

亀山康子「気候変動問題」(上垣彰・田畑伸一郎編『ユーラシア地域大国の持続的経済発展』ミネルヴァ書房、2013年)

秋元圭吾「発電コストの推計」地球環境産業技術研究機構、2011年5月

大島堅一『再生可能エネルギーの政治経済学』東洋経済新報社、2010年

中国可再生能源発展項目弁公室等『中国光伏産業発展研究報告(2006～2007)』2008年

資源エネルギー庁新エネルギー対策課新エネルギー等電気利用推進室「風力発電の系統連系について」2004年

井田均「風力発電建設に電力会社がブレーキ」『地球号の危機ニュースレター』No.322(2007年4月)

「全量買取法案成立めど立たず “空白期間” 生じる恐れ」『電気新聞』2011年6月10日

飯田哲也編『自然エネルギー市場』築地書館、2005年

WWEA, World Wind Energy Report 2010.

「原子力施設新規制基準適合性審査状況」原子力安全推進協会ウェブサイト

島本実『計画の創発』有斐閣、2014年

産業タイムズ社『太陽電池産業総覧2007』産業タイムズ社、2007年

産業タイムズ社『太陽電池産業総覧2010』産業タイムズ社、2009年

PV News, 『21世紀経済報道』、『経済参考報』