



キャノングローバル戦略研究所 国内ワークショップ



地球温暖化緩和における世界で共有できるエネルギー・ビジョン



2011年6月30日(木) 13:00-18:00



キャノングローバル戦略研究所



キャノングローバル戦略研究所(CIGS) 国内ワークショップ

「地球温暖化緩和における世界で共有できるエネルギー・ビジョン」

【プログラム】

※このプログラムは予告なく変更する可能性があります。

13:00 ~ 13:15	理事長挨拶	福井 俊彦	CIGS理事長
13:15 ~ 14:00	「地球温暖化への長期的総合的な対応の必要性」	松野 太郎	東京大学 名誉教授 独)海洋研究開発機構 特任上席研究員
14:00 ~ 14:30	「新たなる枠組み作りの提言について」	湯原 哲夫	CIGS 研究主幹
14:30 ~ 15:00	「工学モデルの可能性と限界」	藤井 康正	東京大学大学院工学系研究 科原子力国際専攻 教授
15:00 ~ 15:15	休憩		
15:15 ~ 15:45	「GRAPEによる長期エネルギー構成の予測と考察」	都筑 和泰* 新藤 紀一* 黒沢 厚志**	財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 主管研究員*/部長**
15:45 ~ 16:00	「オーバシュートシナリオによる排出曲線の工学的実現性の検討」	氏田 博士	東京工業大学 大学院理工学研究科 原子核工学専攻 特任教授
16:00 ~ 16:15	「シミュレーション結果の検討と評価」	田下 正宣	CIGS研究員
16:15 ~ 16:30	「国際協力と費用の分担」	段 烽軍	CIGS主任研究員
16:30 ~ 16:45	「国際協カスキームのあり方」	横山 隆寿	CIGS研究員
16:45 ~ 18:00	ディスカッション・総括・閉会		



地球温暖化への 長期的総合的な 対応の必要性

松野 太郎

MATSUNO Taroh

東京大学 名誉教授
(独)海洋研究開発機構
特任上席研究員



地球温暖化への長期的総合的な 対応の必要性

(独)海洋研究開発機構
松野 太郎

「安定化」の概念の再検討

ゼロ・エミッション安定化の提案

長期的観点に立つ総合的取り組みの必要性

気候変動枠組条約

第二条 目的

この条約及び締約国会議が採択する法的文書には、この条約の関連規定に従い、気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととされない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極的な目的とする。そのような水準は、生態系が気候変動に自然に適応し、食糧の生産が脅かされず、かつ、経済開発が持続可能な態様で進行することができるような期間内に達成されるべきである。

Article 2

OBJECTIVE

The ultimate objective of this Convention and any related legal instruments that the Conference of the Parties may adopt is to achieve, in accordance with the relevant provisions of the Convention, stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system. Such a level should be achieved within a time frame sufficient to allow ecosystems to adapt naturally to climate change, to ensure that food production is not threatened and to enable economic development to proceed in a sustainable manner.

3

通常の「安定化」概念 IPCC TAR 統合報告書

安定化後長期にわたる海面水位上昇

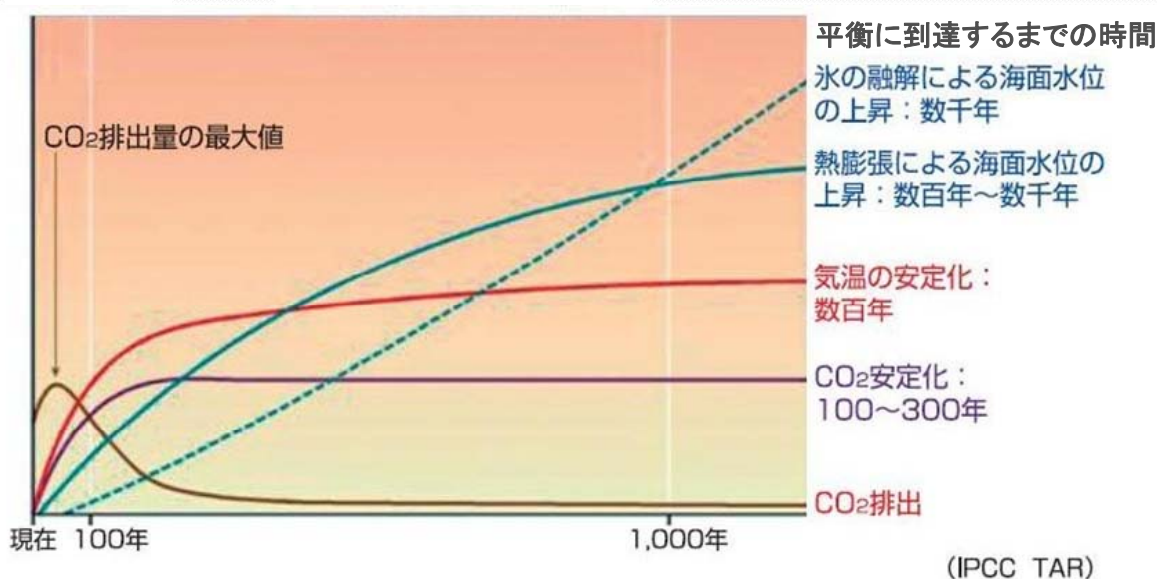
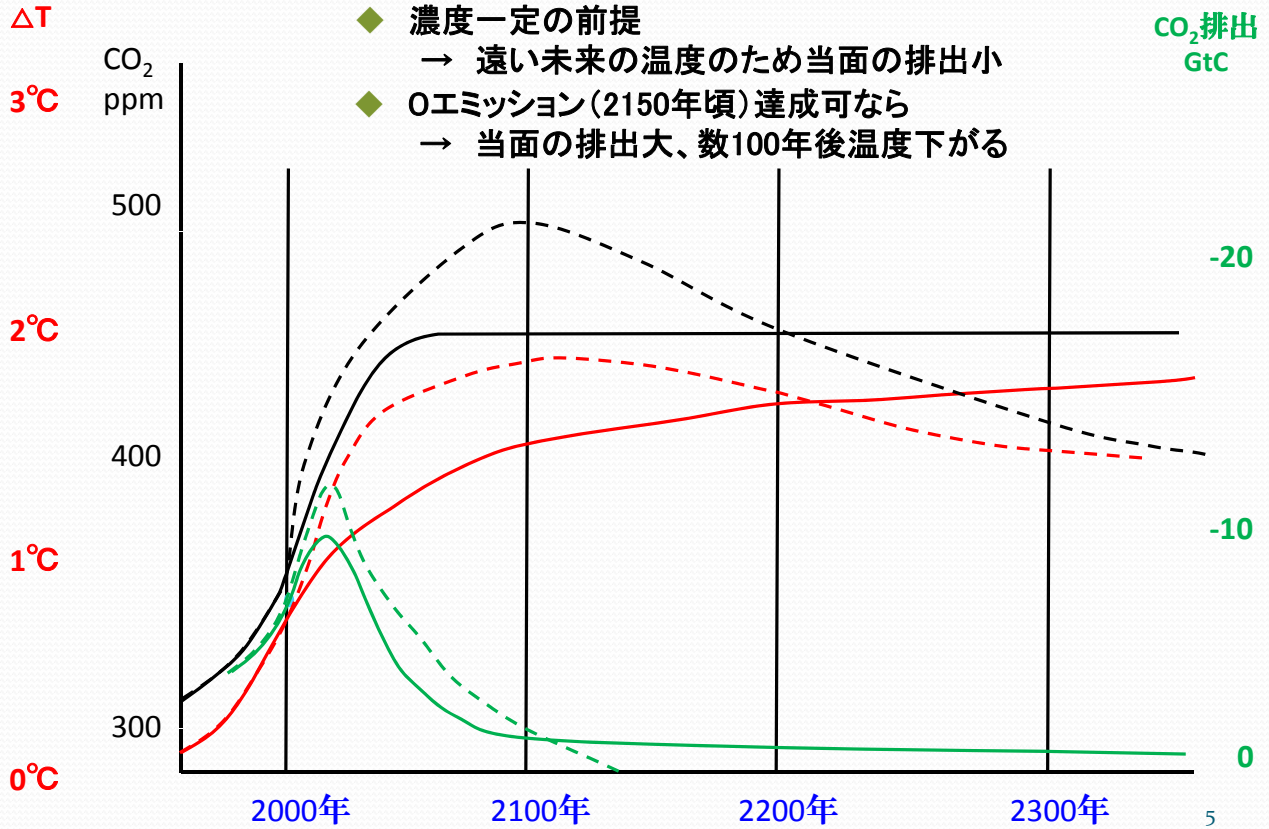


図9 200年後に大気中CO₂濃度を安定化させた場合に予測される気温と海面水位の変化の模式図 (IPCC TAR)。海面水位上昇、とりわけ氷床融解によるものはCO₂濃度と気温が安定化した後も数千年間続く

4

濃度安定化 vs ゼロ・エミッション安定化

(— 実線) (- - - 破線)



炭素循環と安定化についてのこれまでの考え (IPCC)

3-2 二酸化炭素循環のモデリング

田 中 正 之

4. 将来の二酸化炭素濃度の予測

大気中の CO₂ 濃度の将来予測については、Machta (1973b), Cramer and Myers (1972), Bacastow and Keeling (1973), Hoffert (1974), Keeling and Bacastow (1977), Pearman (1978) など多くの評価が出されている。その最も単純なものは、まず将来の化石燃料の消費量のシナリオを設定し、次にそれによって大気に加えられる CO₂ のうちの一定量 (約 1/2) が大気に残留するとして、大気中の CO₂ 濃度を予測するものである (Pearman, 1978)。しかし、多くの予測は 2 で述べたような各種の CO₂ 循環モデルに化石燃料消費のシナリオを導入して行なわれている。とはいえ、それぞれのモデルは、ふつう大気残留率 (γ_{af}) の観測値を用いて検定されているので、モデルを用いた予測と上の単純な予測の間には大きな差はないと見てよい。特にたかだか数十年先までの短期予測の場合はそうである。

将来の CO₂ 濃度の定量的な予測に際しての困難の一つは、化石燃料の消費や森林破壊によって将来大気に加えられる CO₂ 量の正確な見積りが極めて難しいことにある。化石燃料については、将来の経済活動の進展と代替エネルギーを含むエネルギー需給を予測しなければならないが、それに必要な将来の科学技術の発展や国際的な経済政策などの見通しを立てることは、少なくとも現時点では、大変に難しい問題である。森林破壊の問題については、まず現時点で生物圏が sink であるか source であるかという問題に定量的な答えを出すことが先決である。それができない限り将来の予測などはおこがましいと言わなければならない。もう一つは、かくして大気に加えられた CO₂ が、大気、海洋、生物圏にどのように配分されるかを正確に評価することがそう容易ではないことである。これは 3 で述べた CO₂ 循環モデルの問題に他ならない。

ここでは、3 で述べた各モデルによる将来の CO₂ 濃度の予測結果を概観し、問題点を指摘することしよう。

7

4. 将来の二酸化炭素濃度の予測

4.1 化石燃料消費のシナリオ

地球上に埋蔵されている化石燃料の総量や経済的に利用可能な量については、まだ大いに議論の余地があるが、ここでは、大方の意見に従って、人類が利用する化石燃料の総炭素量が、工業化以前の大気中の炭素量 615.6 Gt (濃度 290 ppm に対応) の10倍であると仮定する。すなわち、化石燃料消費によって大気に加えられる炭素の総量 Q_T は 6156 Gt (Gt=10¹² t) であるとする。現在の極く粗い見通しによって、この化石燃料が、早ければ今後 150 年程度、おそくとも今後 250 年程度で消費され尽すと考えられている。年々の消費量は、はじめは年毎に増加するが、利用可能量の約半分が消費された以後は、コストの割高や代替エネルギーへの切り換えによって、逆に年毎に減少する傾向をたどるであろう。このような仮定のもとに作られた化石燃料消費のシナリオが図10に示されている。図10は、化石燃料の消費量を、それによって年々大気に加えられる炭素量 $\gamma_a(t)$ で示しているが、 $\gamma_a(t)$ は次式によって与えられている。

$$\gamma_a(t) = \frac{dQ}{dt} = \mu \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_T} \right)^n \right] Q \quad (54)$$

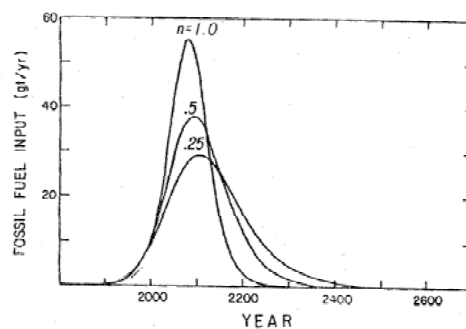


図10 化石燃料の消費に関する3つのシナリオ

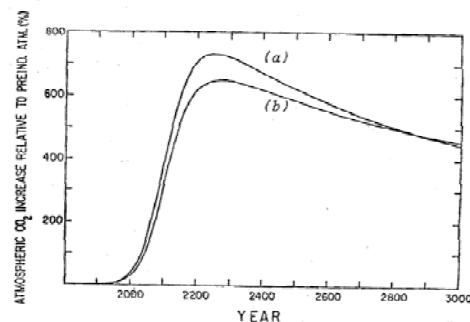


図15 Advective-diffusive model による予測結果 ($n=0.5$)

(a)は $h_m=75$ m, $h_u=1000$ m, $w=1$ m/yr, $K=2350$ m²/yr; $\rho'_{m0}=0.95$, $\rho'_{i0}=0.84$ の場合、(b)は $h_m=675$ m, $h_u=1000$ m, $w=1$ m/yr, $K=1400$ m²/yr; $\rho'_{m0}=0.95$, $\rho'_{i0}=0.84$, $\gamma_{af}=0.35$ の場合である。

8

簡略炭素循環モデル概念図

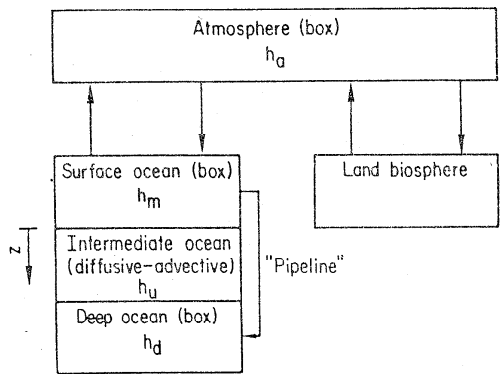
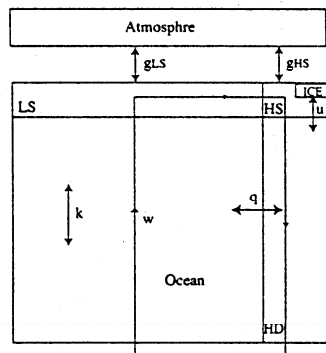


図 3 Advective-diffusive model



HILDAモデル
(Bernモデル
の原型)

2層湧昇拡散モデル(松野)

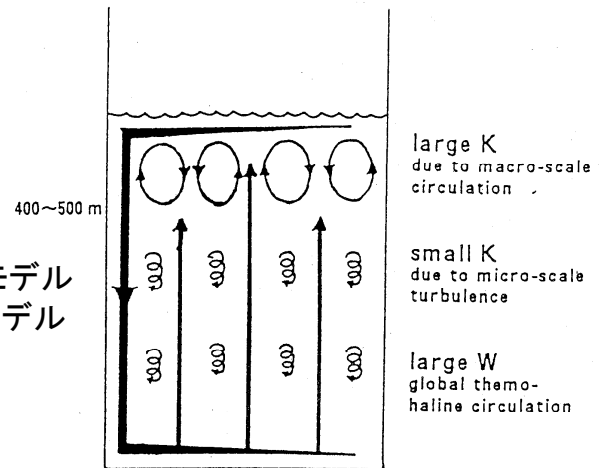
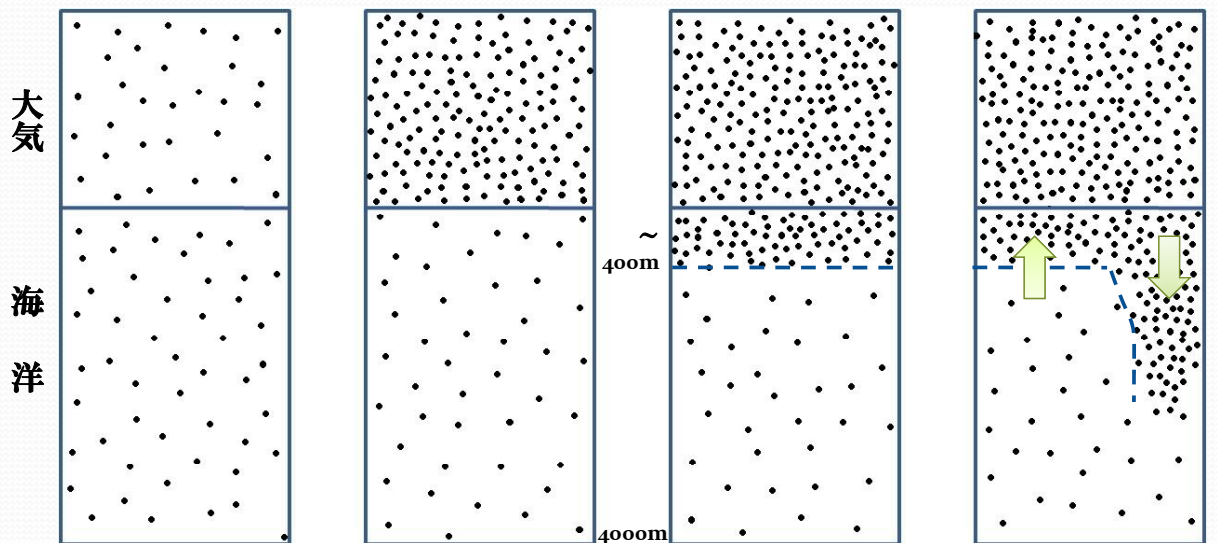


Figure 1. Schematic view of HILDA model [modified in Shaffer and Sarmiento, 1995].

Figure 1. Schematic picture of the proposed two-layer upwelling-diffusion model.

海洋によるCO₂吸収の模式図



自然の
平衡状態

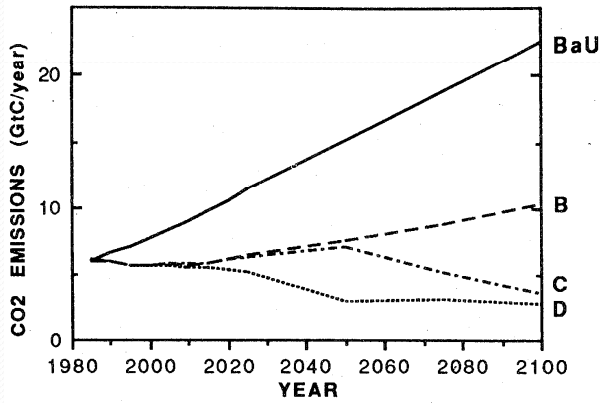
大気中
濃度増加

約20年後
表層海洋は
大気と平衡状態
深層は昔のまま

1000年(以上)後
深層循環によって
全海洋の水が混合
新しい平衡状態に

IPCC 第1次報告 (First Assessment Report, FAR) 1990

CO2排出シナリオ



CO2濃度

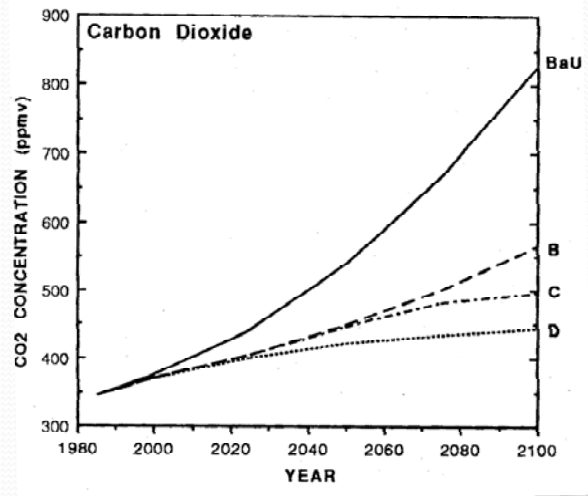
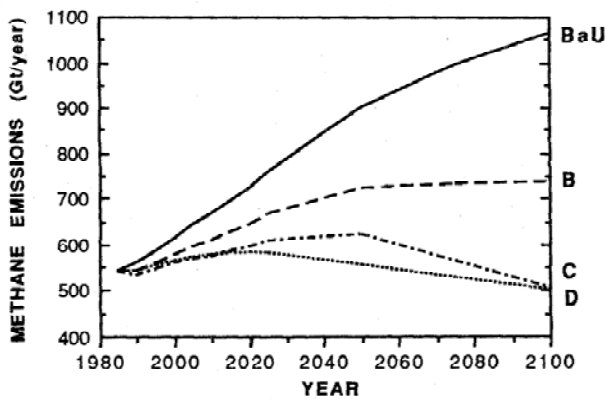


Figure A.2(a): Emissions of carbon dioxide (as an example) in the four "policy" scenarios generated by IPCC Working Group III.

IPCC FAR, 1990

CH4 排出シナリオ



CH4濃度

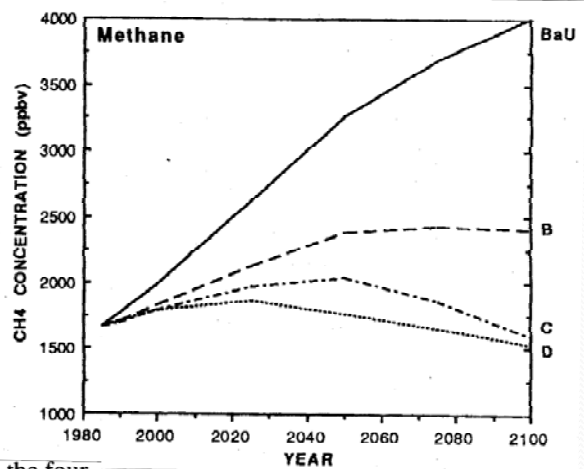


Figure A.2(b): Emissions of methane (as an example) in the four "policy" scenarios generated by IPCC Working Group III.

IPCC 第1次報告(FAR) における全球平均気温上昇

海洋の湧昇拡散(UD)モデルによる

混合層深さ $h = 60\text{m}$
 湧昇流速 $w = 4\text{m/年}$
 鉛直熱拡散係数 $k = 0.66\text{m}^2/\text{s} = 2000\text{m}^2/\text{年}$

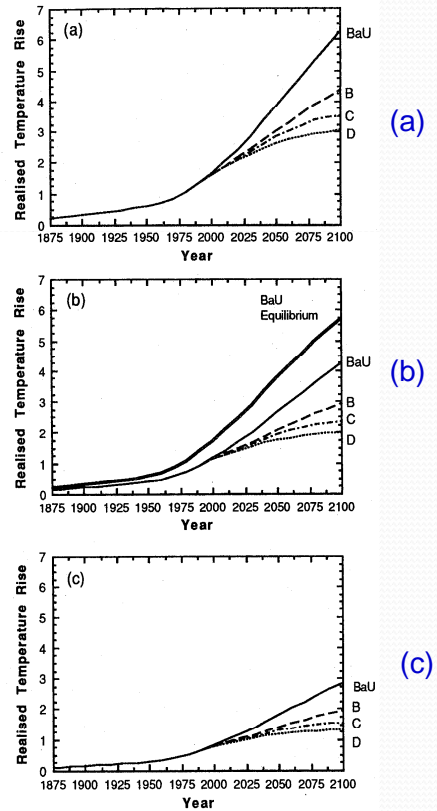
↑ 矛盾

CO2循環モデルでは $w=0.7\text{m/年}$ $k = 5340 \text{ m}^2/\text{年}$

ΔT_{2x} : CO2 2倍時の平衡昇温

- (a) 4.5°C
- (b) 2.5°C
- (c) 1.5°C

Figure 6.11: The contribution of the change in greenhouse-gas concentrations to the change in global-mean surface air temperature ($^\circ\text{C}$) during 1875 to 1985, together with projections from 1985 to 2100 for IPCC Scenarios BaU-D. The temperature rise is from 1765 (pre-industrial). The simulation was performed with an energy-balance climate/upwelling-diffusion ocean model with an upwelling velocity w of 4 m y^{-1} , mixed layer depth h of 70 m , vertical diffusivity k of $0.66 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, and a π parameter of 1. The three diagrams are for ΔT_{2x} -values of (a) 4.5°C , (b) 2.5°C and (c) 1.5°C . The equilibrium temperature is also shown for the BaU emissions and 2.5°C climate sensitivity.



CO2が漸増する実験(1%/年)での温度上昇の遅れ

海洋・湧昇拡散モデル

GFDL 3次元結合大気海洋モデルの結果
 X印: CO2 2倍時の平衡値

Time-Dependent Greenhouse-Gas-Induced Climate Change 6

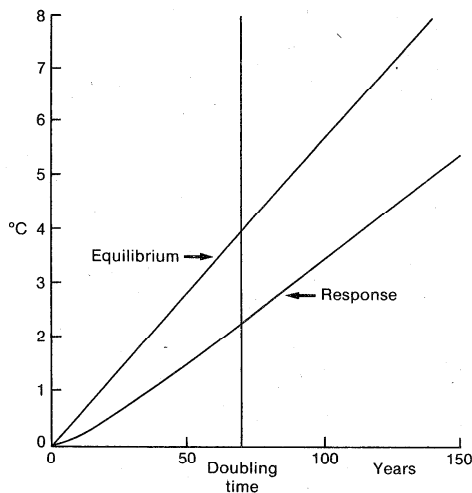
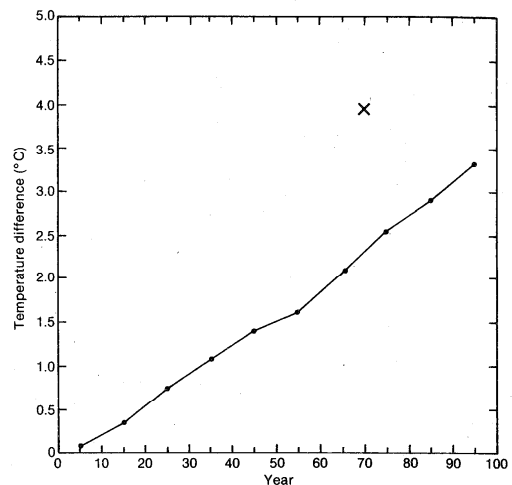


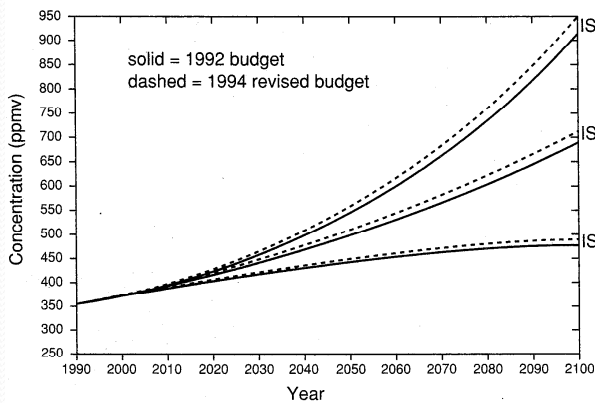
Figure 6.7: The change in surface temperature for a linear increase in greenhouse gas forcing, with an equivalent CO₂ doubling time of 70 years. The simulations were performed with an energy balance/upwelling diffusion ocean model with $\Delta T_{2x} = 4^\circ\text{C}$, an upwelling velocity w of 4 m y^{-1} , a mixed layer depth h of 70 m , a vertical diffusivity k of $0.66 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, and a π parameter of 1.



実現温度 $\approx 0.68 \times$ 平衡値 (10年前濃度)

Figure 6.4: The temporal variation of the difference in globally averaged, decadal mean surface air temperature ($^\circ\text{C}$) between the perturbation run (with $1\%/\text{year}$ increase of atmospheric CO₂) and the control run of the coupled ocean-atmosphere model. For comparison, the equilibrium response of global mean surface air temperature of the atmosphere-mixed layer ocean model to the doubling of atmospheric CO₂ is also indicated by x-symbol at 70th year when the gradually increasing CO₂ doubles.

Figure 2.3: CO₂ concentrations resulting from emission scenarios IS92a, c, and e plotted using both the 1992 budget and the 1994 budget. Solid lines represent model results based on the 1992 budget calibration, dashed lines, calibration with the 1994 budget. The differences between results is small (of order 20 ppmv change in projected concentration by the year 2100). The changes from revising the budget result in changes in radiative forcing of approximately 0.2 Wm⁻².



CO₂排出シナリオIS92a,c,eに応じるCO₂濃度シナリオ(左)と全球平均昇温(右) 気候感度 $\Delta T_{2x} = 2.5^{\circ}\text{C}$

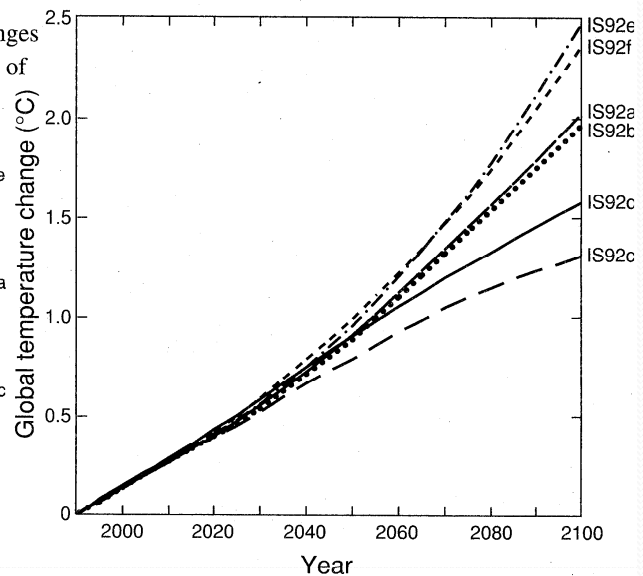


Figure 18: Projected global mean surface temperature changes from 1990 to 2100 for the full set of IS92 emission scenarios. A climate sensitivity of 2.5°C is assumed.

3-D気候モデルによる1%/年漸増実験 点線:UD/EB簡略モデル $\Delta T_{2x} = 2.5^{\circ}\text{C}$

3-D気候モデルによるシナリオ実験 IS92a

Figure 6.5: Simulated global annual mean warming from 1880 in two simulations with greenhouse gas forcing only, MPI (x) and UKMO (w), and two simulations which include both greenhouse gas and direct sulphate aerosol forcing, MPI (y) and UKMO (z) (Hasselmann *et al.*, 1995; Mitchell *et al.*, 1995a). The control runs for each model are also shown. Experiment details are given in Table 6.3.

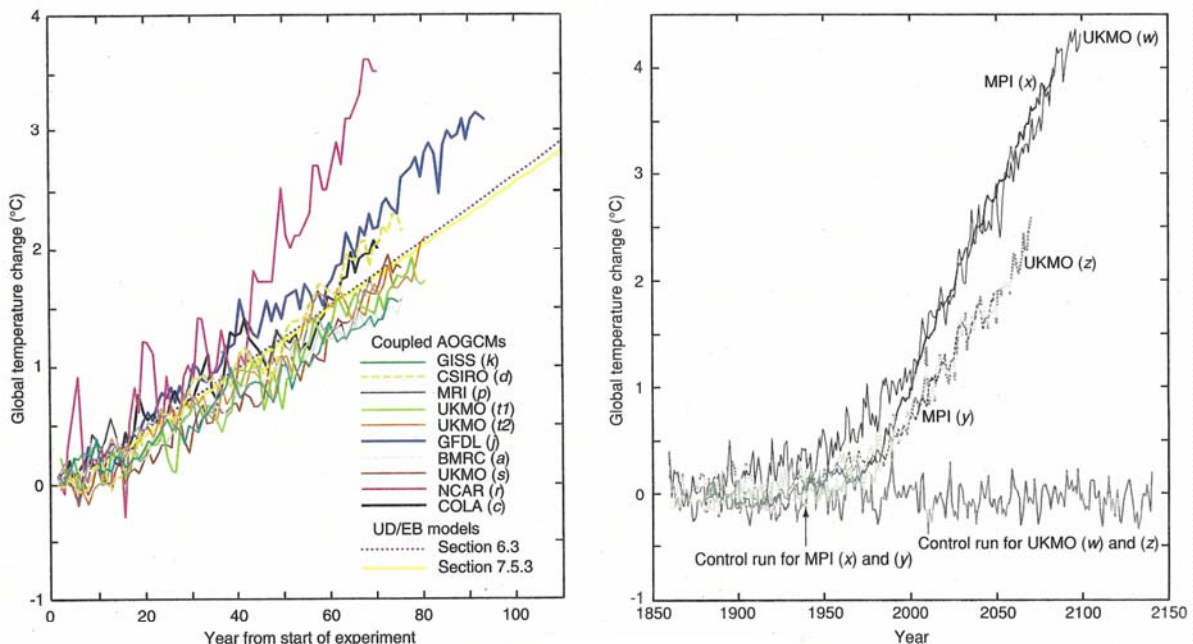


Figure 6.4: Comparison between several AOGCM simulations (climate sensitivities between 2.1 and 4.6°C), the UD/EB model of Section 6.3 (climate sensitivity 2.5°C) and the simple climate model of Section 7.5.3 (climate sensitivity of about 2.2°C). All models were forced with 1%/yr (compound) increase of atmospheric CO₂ concentration from equilibrium or near-equilibrium in 1990.

IPCC第2次報告(SAR、1995)におけるCO₂濃度安定化(左)とそれぞれに対応する排出量パス(右)

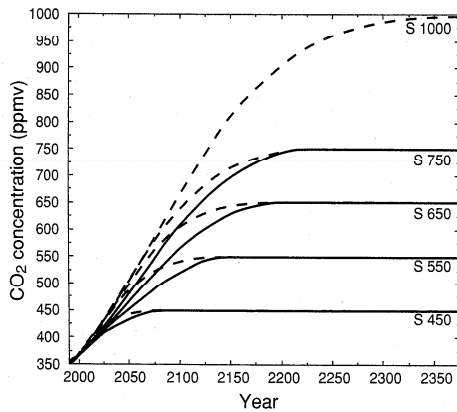


Figure 2.5: Stabilisation pathways used to illustrate sensitivity of allowed emissions to choice of pathway. The solid curves are based on the revised versions of the original S450 to S750 stabilisation profiles, incorporating minor changes to account for the revised concentration history. The dashed curves show slower approaches to stabilisation and are from Wigley *et al.* (1995). Stabilisation at 1000 ppmv is plotted for comparison (S1000).

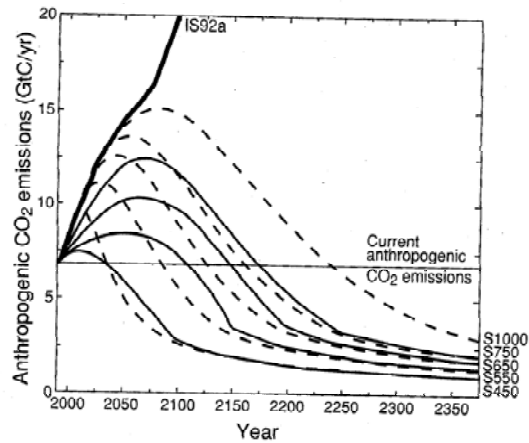


Figure 2.6: Sensitivity of emissions to the pathway to stabilisation. The pathways, which stabilise at 450 ppmv to 750 ppmv, are shown in Figure 2.5. Results for stabilisation at 1000 ppmv (also from Figure 2.5) are shown for comparison. (The results shown are calculated using the Bern model.)

「CO₂ 2倍濃度で安定化するとすれば排出量を現在より70%程度減少させねばならない」との認識確立 (それ以前からも知られていた)

IPCC 第3次報告(TAR) 2001で用いられたSRES排出シナリオ、第4次(AR4)2007でも同じ

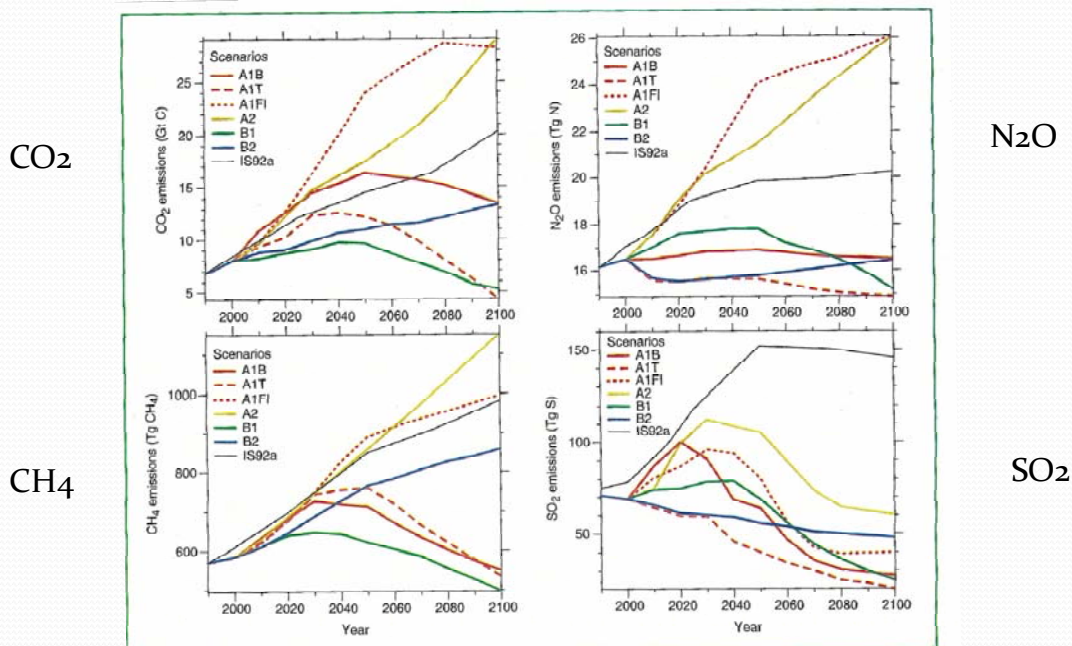
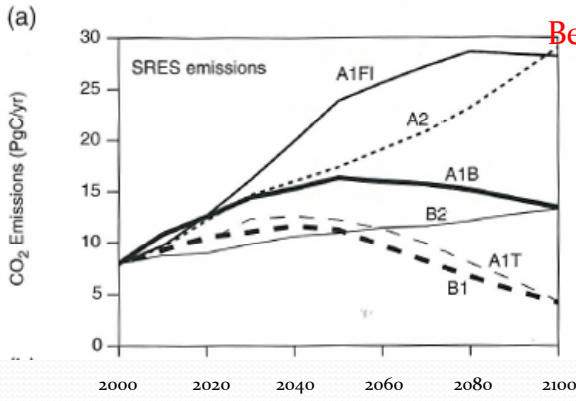


Figure 17: Anthropogenic emissions of CO₂, CH₄, N₂O and sulphur dioxide for the six illustrative SRES scenarios, A1B, A2, B1 and B2, A1FI and A1T. For comparison the IS92a scenario is also shown. [Based on IPCC Special Report on Emissions Scenarios.]

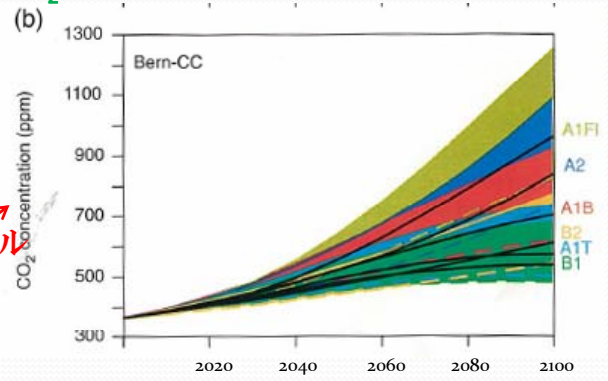
第3次・第4次報告におけるCO₂排出と濃度シナリオ (SRESシナリオ)

CO₂排出量(10億tC/年)



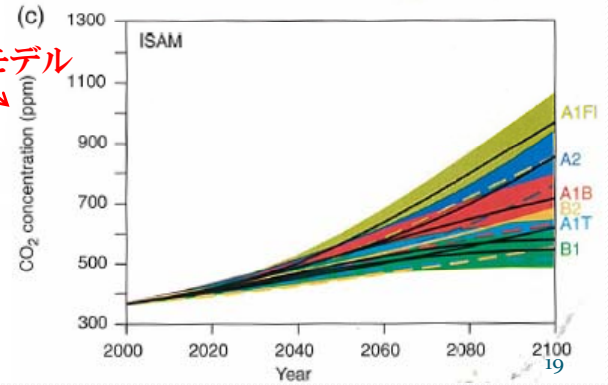
Bernモデル

CO₂濃度

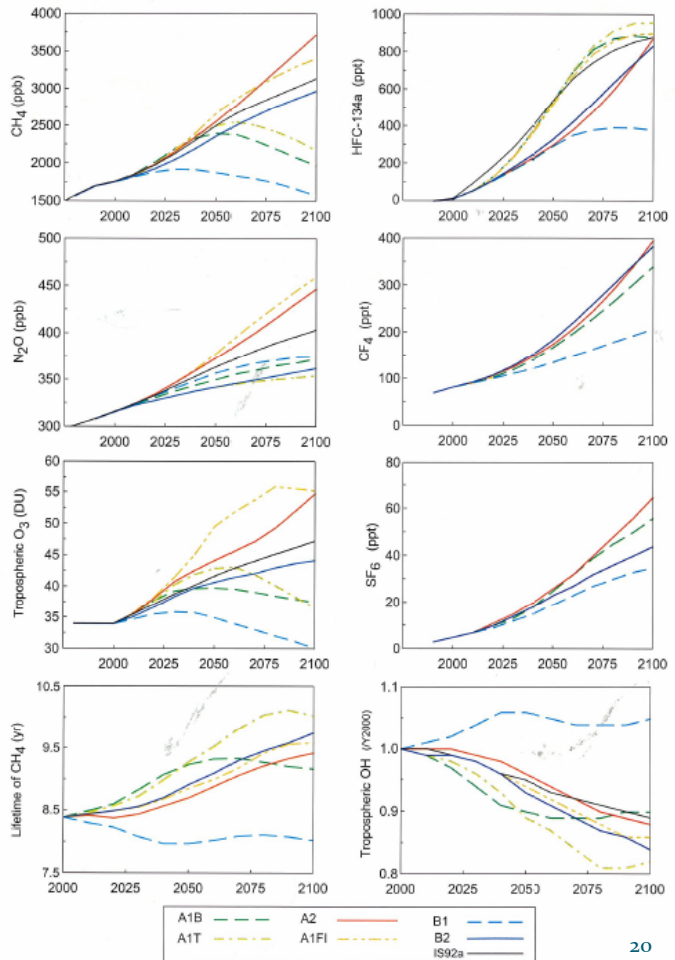


CO₂濃度

ISAMモデル



SRESシナリオに含まれるCO₂以外の温室効果ガス濃度



IPCC 第3次報告(TAR)2001におけるGHG濃度シナリオ(左) 3-Dモデルに合わせチューニングした簡略モデルでの昇温(右)

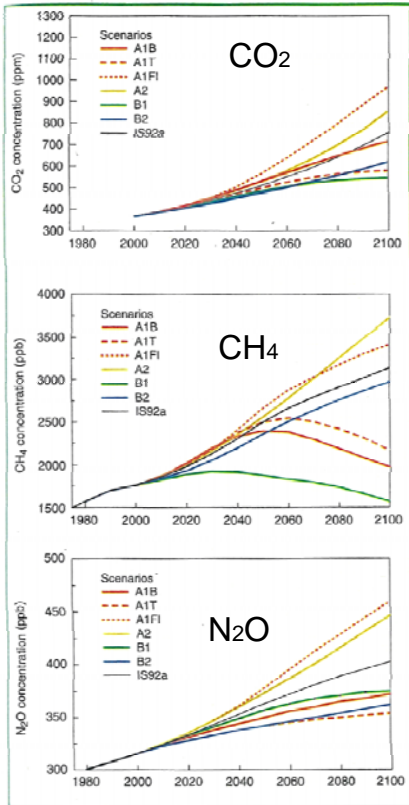


Figure 18: Atmospheric concentrations of CO₂, CH₄, and N₂O resulting from the six SRES scenarios and from the IS92a scenario computed with current methodology. (Based on Figures 3.12 and 4.14)

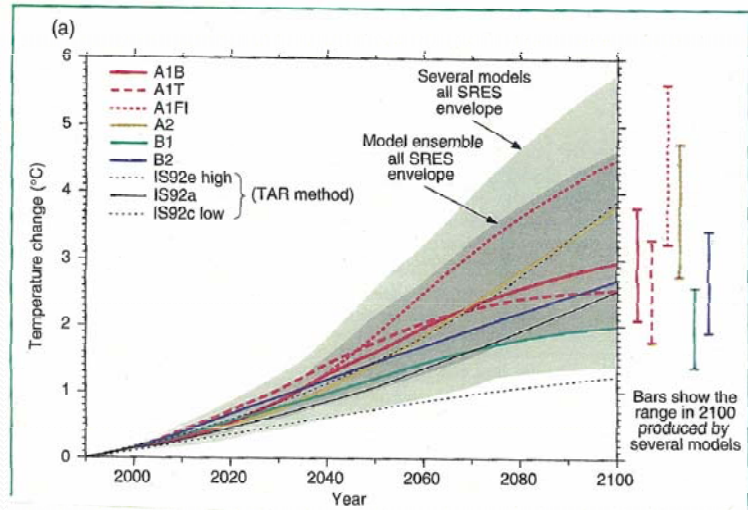


Figure 22: Simple model results: (a) global mean temperature projections for the six illustrative SRES scenarios using a simple climate model tuned to a number of complex models with a range of climate sensitivities. Also for comparison, following the same method, results are shown for IS92a. The darker shading

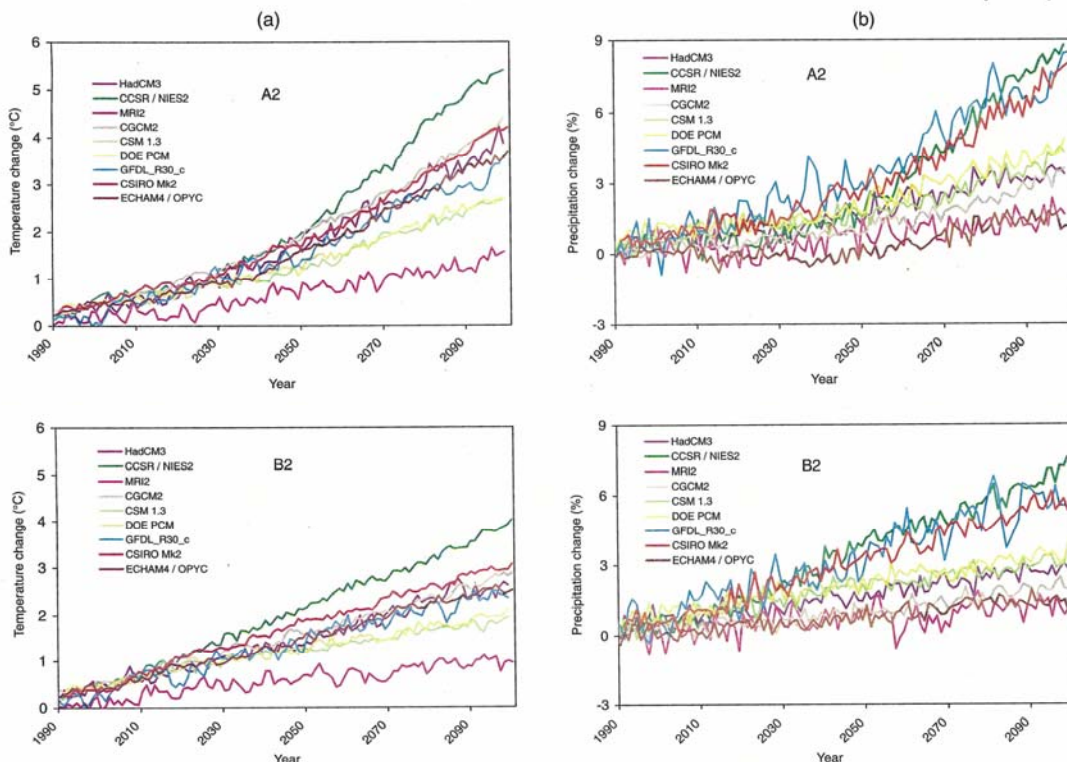
represents the envelope of the full set of thirty-five SRES scenarios using the average of the model results (mean climate sensitivity is 2.8°C). The lighter shading is the envelope based on all seven model projections (with climate sensitivity in the range 1.7 to 4.2°C). The bars show, for each of the six

illustrative SRES scenarios, the range of simple model results in 2100 for the seven AOGCM model tunings. (b) Same as (a) but results using estimated historical anthropogenic forcing are also used. (Based on Figures 9.14 and 9.13b)

IPCC TAR (2001)

フル気候モデルで計算したA2,B2シナリオによる温度、降水量変化

Projections of Future Climate Change



IPCC第3次報告(TAR)2001での安定化経路(WREシナリオ)

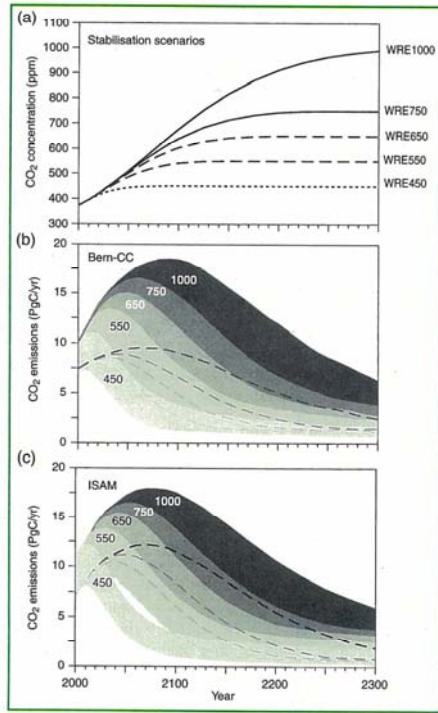


Figure 25: Projected CO₂ emissions permitting stabilisation of atmospheric CO₂ concentrations at different final values. Panel (a) shows the assumed trajectories of CO₂ concentration (WRE scenarios) and panels (b) and (c) show the implied CO₂ emissions, as projected with two fast carbon cycle models, Bern-CC and ISAM. The model ranges for ISAM were obtained by tuning the model to approximate the range of responses to CO₂ and climate from model inter-comparisons. This approach yields a lower bound

on uncertainties in the carbon cycle response. The model ranges for Bern-CC were obtained by combining different bounding assumptions about the behaviour of the CO₂ fertilisation effect, the response of heterotrophic respiration to temperature and the turnover time of the ocean, thus approaching an upper bound on uncertainties in the carbon cycle response. For each model, the upper and lower bounds are indicated by the top and bottom of the shaded area. Alternatively, the lower bound (where hidden) is indicated by a hatched line. [Based on Figure 3.13]

SARのWREシナリオと同じ排出パスに不確定の幅をつけた

温度上昇

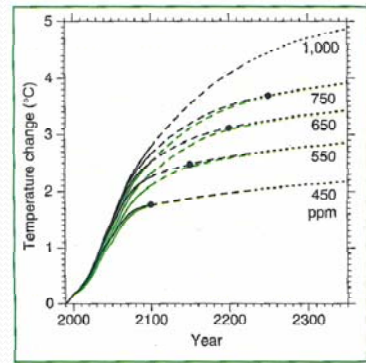
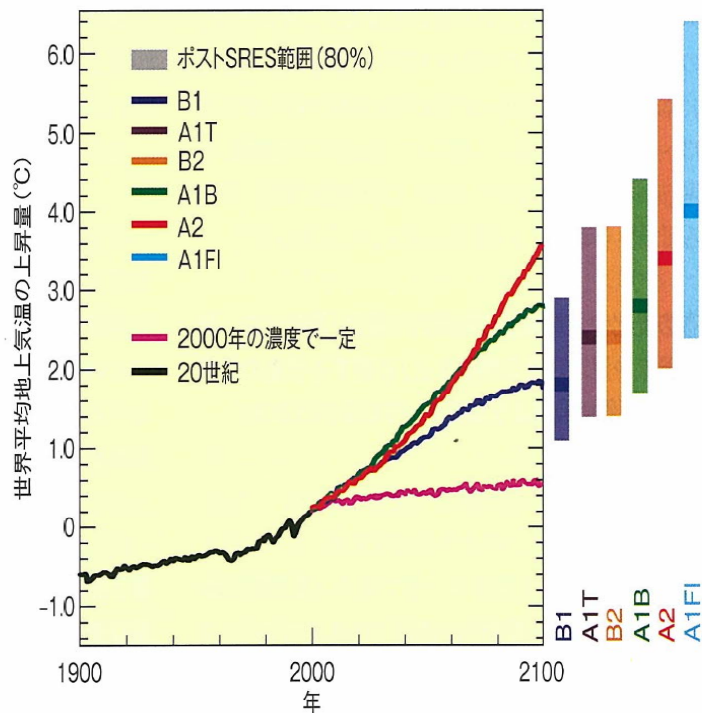
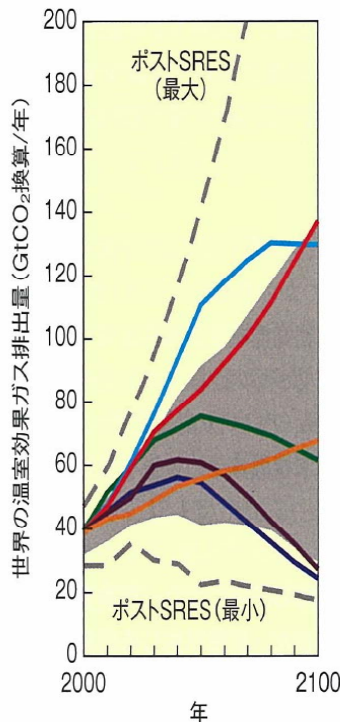


Figure 26: Simple model results: Projected global mean temperature changes when the concentration of CO₂ is stabilised following the WRE profiles (see Chapter 9 Section 9.3.3). For comparison, results based on the S profiles in the SAR are also shown in green (S1000 not available). The results are the average produced by a simple climate model tuned to seven AOGCMs. The baseline scenario is scenario A1B, this is specified only to 2100. After 2100, the emissions of gases other than CO₂ are assumed to remain constant at their A1B 2100 values. The projections are labelled according to the level of CO₂ stabilisation. The broken lines after 2100 indicate increased uncertainty in the simple climate model results beyond 2100. The black dots indicate the time of CO₂ stabilisation. The stabilisation year for the WRE1000 profile is 2375. [Based on Figure 9.16]

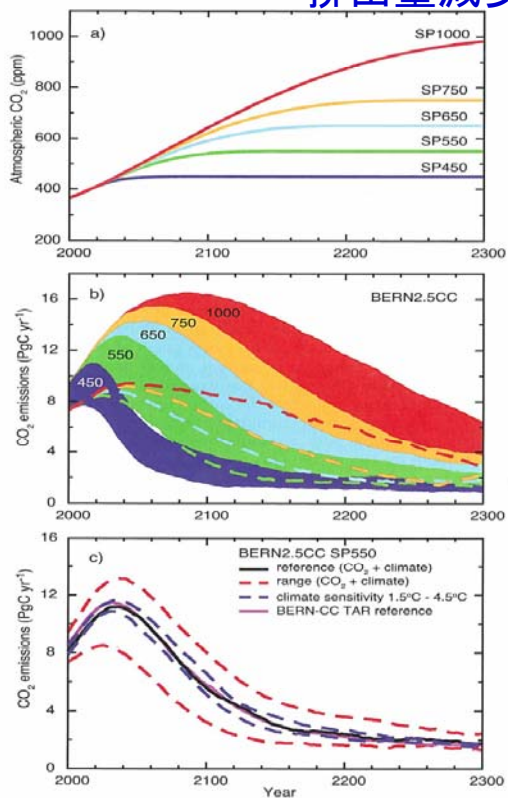
IPCC第4次報告(AR4) 2007年

2000～2100年の温室効果ガス排出シナリオ(追加的な気候政策を含まない)及び地上気温の予測



IPCC AR4での簡略モデルによる安定化パス対応 CO₂排出量計算

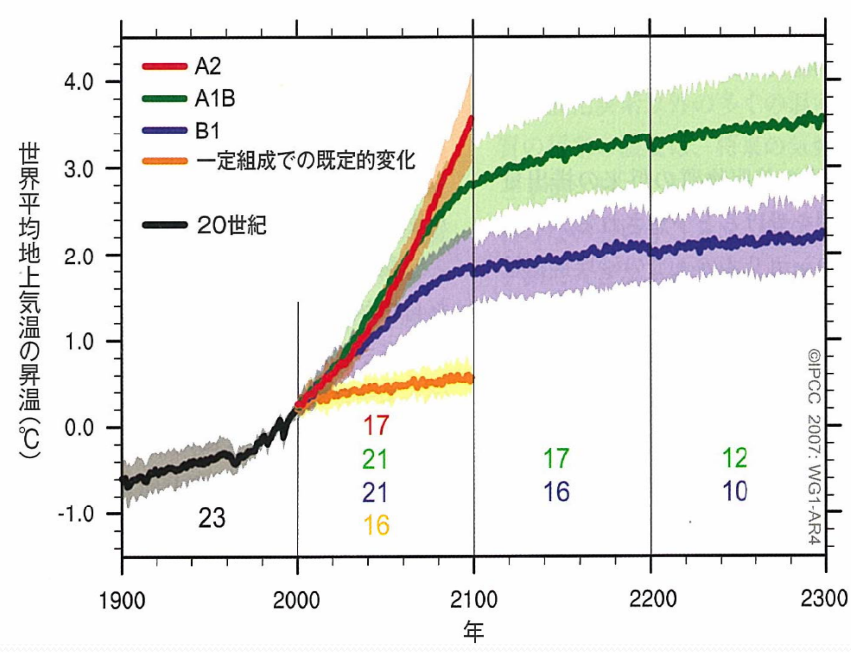
炭素循環に対する気候フィードバックにより排出量減少し不確定拡大。



SP550安定化に対応する排出量の幅
炭素循環の変化により拡大

IPCC AR4でのフル気候モデルによる「安定化」実験 2100年以降濃度一定として計算

SRESシナリオに基づく地上気温の昇温予測



2100における各シナリオごとの昇温と海水位上昇 (IPCC 第4次報告、2007)

表 SPM.3. 21世紀末における世界平均地上気温の昇温予測及び海面水位上昇予測 [10.5、10.6、表10.7]

シナリオ	気温変化 (1980～1999年を基準とした2090～2099年の差(°C))				海面水位上昇 (1980～1999年を基準とした2090～2099年の差(m))	
	最良の推定値		可能性が高い予測値		モデルによる予測値 (急速な水の流れの力学的な変化を除く)	
2000年の濃度で一定		0.6		0.3 - 0.9	資料なし	
B1シナリオ	550	3.3	1.8	2.3	1.1 - 2.9	0.18 - 0.38
A1シナリオ			2.4		1.4 - 3.8	0.20 - 0.45
B2シナリオ			2.4		1.4 - 3.8	0.20 - 0.43
A1Bシナリオ	715	4.8	2.8	3.3	1.7 - 4.4	0.20 - 0.48
A2シナリオ			3.4		2.0 - 5.4	0.23 - 0.51
A1F1シナリオ			4.0		2.4 - 6.4	0.26 - 0.59

↑ GHG濃度
↑ 平衡昇温
↑ 産業化後昇温

B1、A1Bシナリオについて3次元気候モデルで計算した結果：
2100年安定時には最終平衡昇温の65-70%、2200年には80%

AR5向けRCPシナリオ(安定化を想定)の問題点と ゼロ・エミッション シナリオZ650の提案

松野 太郎 (JAMSTEC)
丸山 康樹 (電力中央研)
筒井 純一 (電力中央研)

- IPCC AR4(2007)以後に現れた削減策 (G8サミットなど)の科学的根拠のあいまいさ
- AR5に向けたRCP(排出と濃度)シナリオの奇妙さ
- [低い濃度での「安定化」を目指すシナリオでは排出量がマイナスとなっている]

29

ラウイラG8サミット宣言(2009)より

65. 我々は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の作業、特に、最も包括的な科学評価を構成するその第4次評価報告書の重要性を再確認する。我々は、産業化以前の水準からの世界全体の平均気温の上昇が摂氏2度を超えないようにすべきとの広範な科学的見解を認識する。この世界的な課題は世界全体の対応によってのみ対応可能であることから、我々は、2050年までに世界全体の排出量の少なくとも50%の削減を達成するとの目標を全ての国と共有することを改めて表明する。その際、我々は、このことが、世界全体の排出量を可能な限り早くピークアウトさせ、その後減少させる必要があることを含意していることを認識する。この一部として、我々は、先進国全体で温室効果ガスの排出を、1990年又はより最近の複数の年と比して2050年までに80%またはそれ以上削減するとの目標を支持する。

この野心的な長期目標に沿って、我々は、基準年が異なり得ること、努力が比較可能である必要があることを考慮に入れ、先進国全体及び各国別の中期における力強い削減を行う。同様に、主要新興経済国は、特定の年までに、対策をとらないシナリオから全体として大幅に排出量を削減するため、数量化可能な行動をとる必要がある。

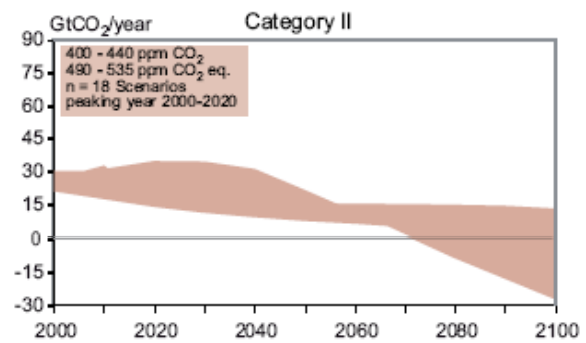
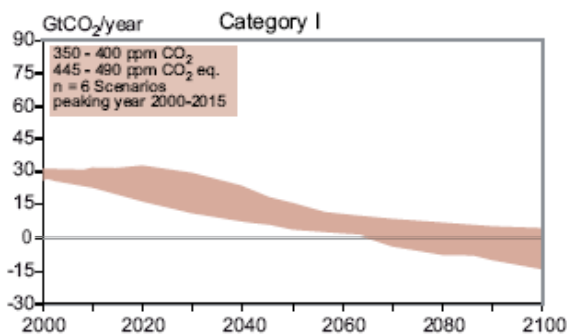
30

Scientific basis of the 50% emissions reduction by 2050

IPCC WG III AR4(2007):Category I Scenarios

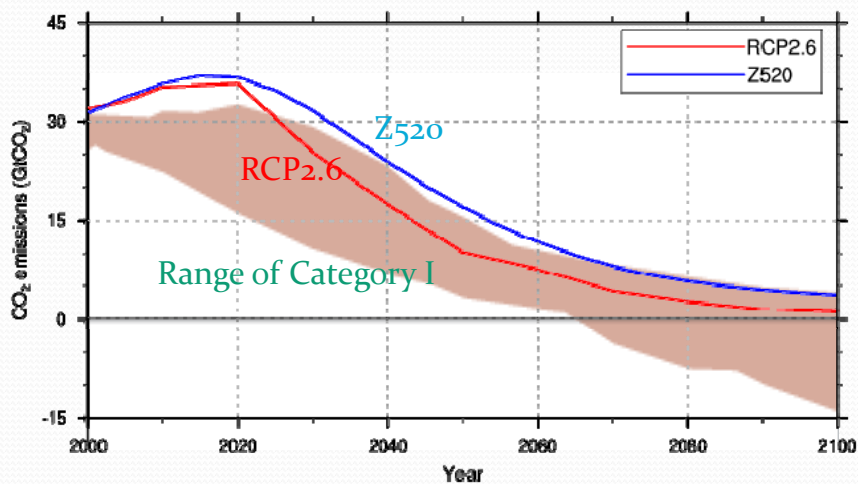
Table SPM.5: Characteristics of post-TAR stabilization scenarios [Table TS 2, 3.10]¹⁾

Category	Radiative forcing (W/m ²)	CO ₂ concentration ^{c)} (ppm)	CO ₂ -eq concentration ^{c)} (ppm)	Global mean temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity ^{b), c)} (°C)	Peaking year for CO ₂ emissions ^{d)}	Change in global CO ₂ emissions in 2050 (% of 2000 emissions) ^{d)}	No. of assessed scenarios
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85 to -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60 to -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30 to +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10 to +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25 to +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90 to +140	5
Total							177



31

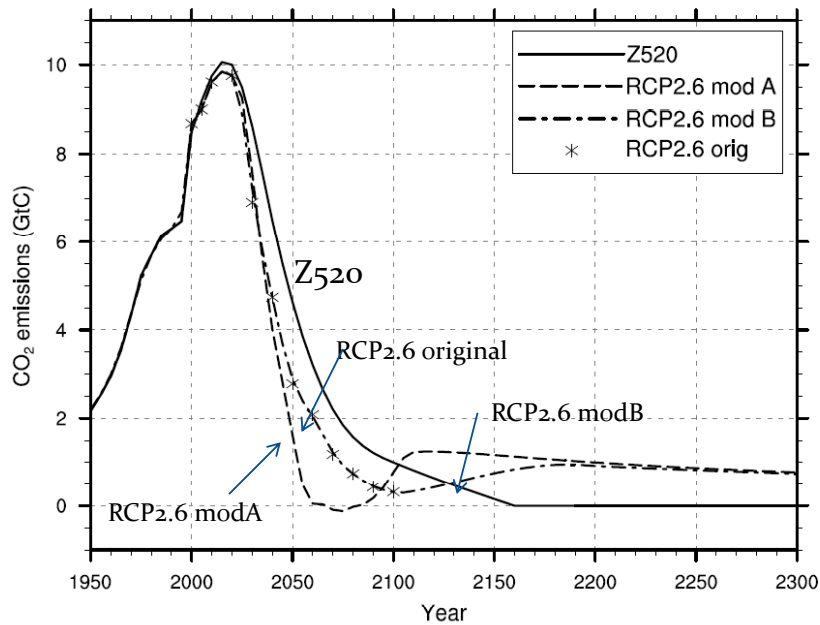
Comparison of Z520 and RCP2.6 emissions with Category I



32

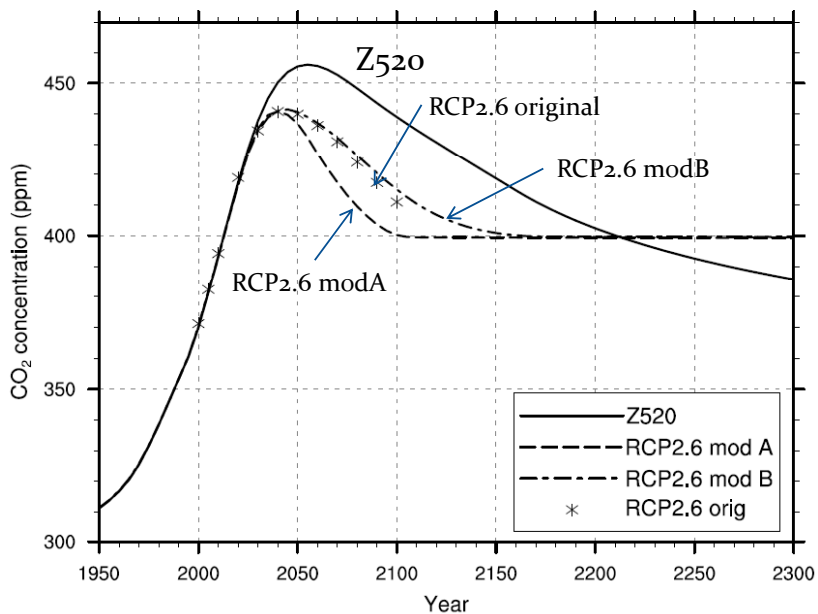
Z520とRCP2.6の排出パス比較

昇温を2°C以下に保ち2160年に排出ゼロとなるシナリオZ520を作成。
RCPの中の2°C目標安定化シナリオと比較

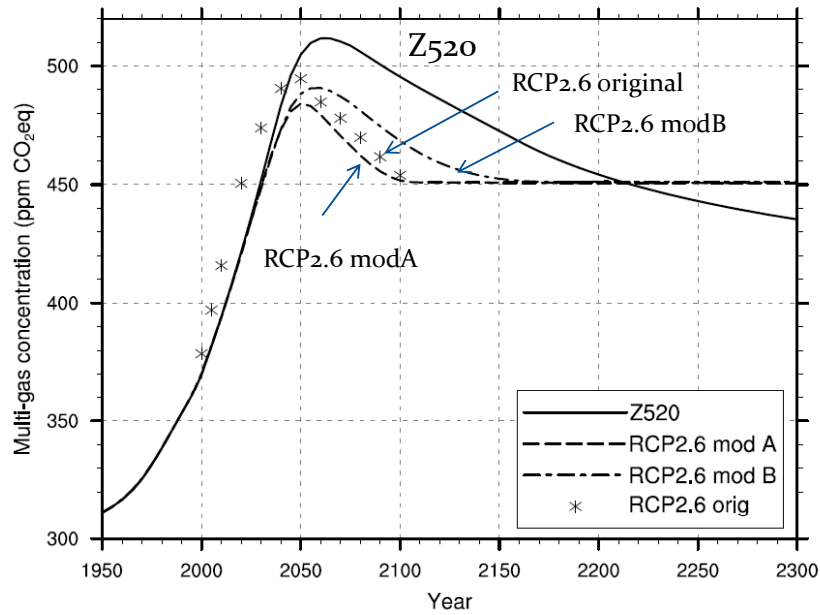


RCP安定化シナリオでは一旦排出ゼロの後再びプラスになる！

CO₂ concentration pathways of Z520 and RCP 2.6

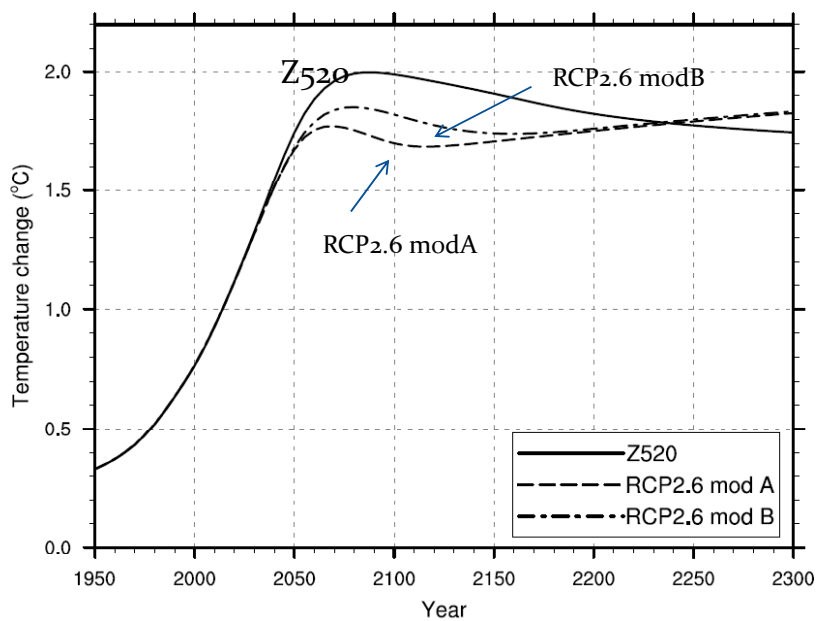


Total CO2 equivalent concentration pathways



35

Temperature rises for Z520 and RCP 2.6

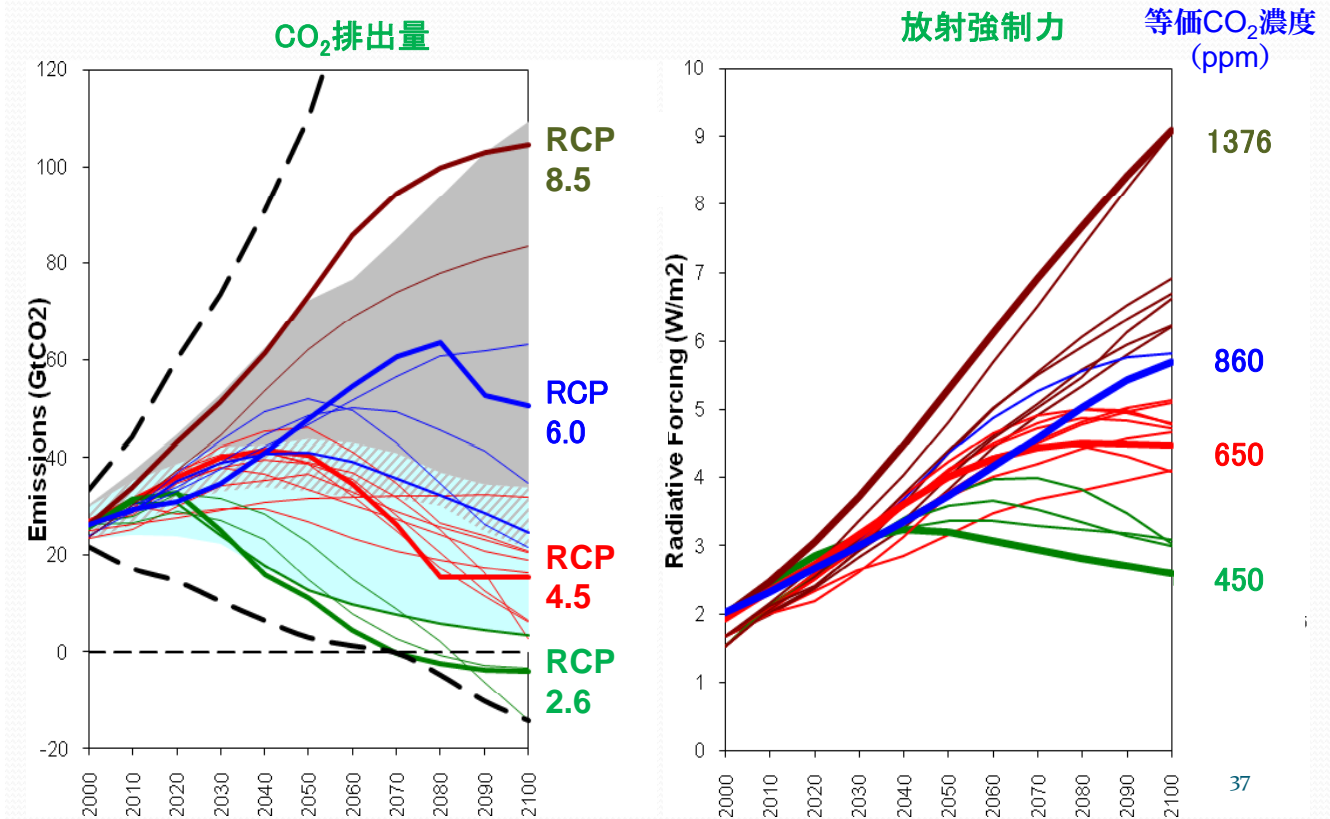


長期にわたる濃度安定化を目指すシナリオ(RCP2.6)では、
当面200年くらいは目標温度にとどかないレベルを強いられる

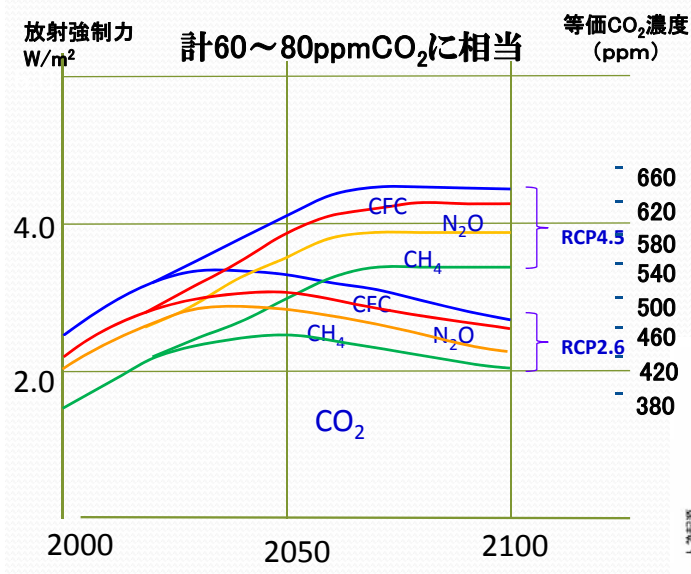
36

AR5での気候変動予測のためのRCPシナリオ(2100年まで)

太線で示す4段階



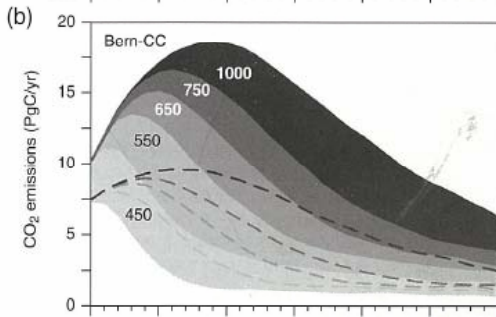
RCP2.6、RCP4.5シナリオにおける各長寿命GHGの等価CO₂濃度への寄与



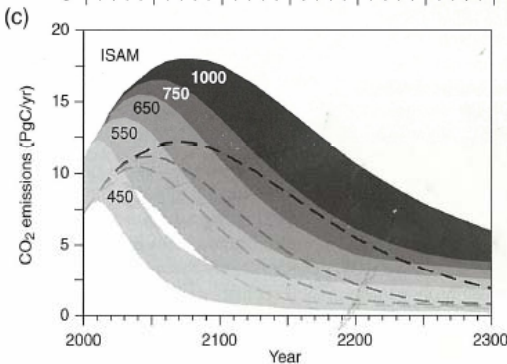
放射強制力要素	放射強制力 (W/m ²)	空間的広がり	LOGU
長期間滞留する温室効果ガス			
CO ₂	1.66 [1.49 ~ 1.83]	地球規模	高い
N ₂ O	0.48 [0.43 ~ 0.53]	地球規模	高い
CH ₄ (1+ハロカーボン類)	0.16 [0.14 ~ 0.18]	地球規模	高い
CH ₄	0.34 [0.31 ~ 0.37]	地球規模	高い
オゾン			
成層圏	-0.05 [-0.15 ~ 0.05]	大陸~地球規模	中規模
対流圏	0.35 [0.25 ~ 0.65]	大陸~地球規模	中規模
CH ₄ から発生した成層圏の水蒸気	0.07 [0.02 ~ 0.12]	地球規模	低い
地表面アルベド			
土地利用	-0.2 [-0.4 ~ 0.0]	局地的~大陸規模	中程度~低い
陸面上の植林効果	0.1 [0.0 ~ 0.2]	局地的~大陸規模	中程度~低い
エアロゾル			
直接的効果	-0.5 [-0.9 ~ -0.1]	大陸~地球規模	中程度~低い
雲アルベド効果	-0.7 [-1.8 ~ -0.3]	大陸~地球規模	低い
飛行機雲	0.01 [0.003 ~ 0.03]	大陸規模	低い
太陽放射	0.12 [0.06 ~ 0.20]	地球規模	低い
人為起源合計	1.6 [0.6 ~ 2.4]		

濃度安定化シナリオをもとにそれに見合う排出を逆算 (第3次報告書、WREシナリオ)

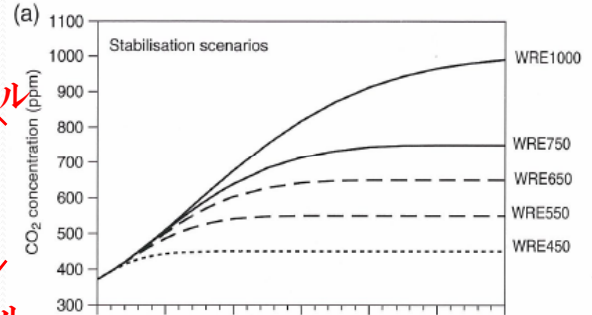
CO₂排出量(10億tC/年)



CO₂排出量(10億tC/年)



CO₂濃度(安定化経路)



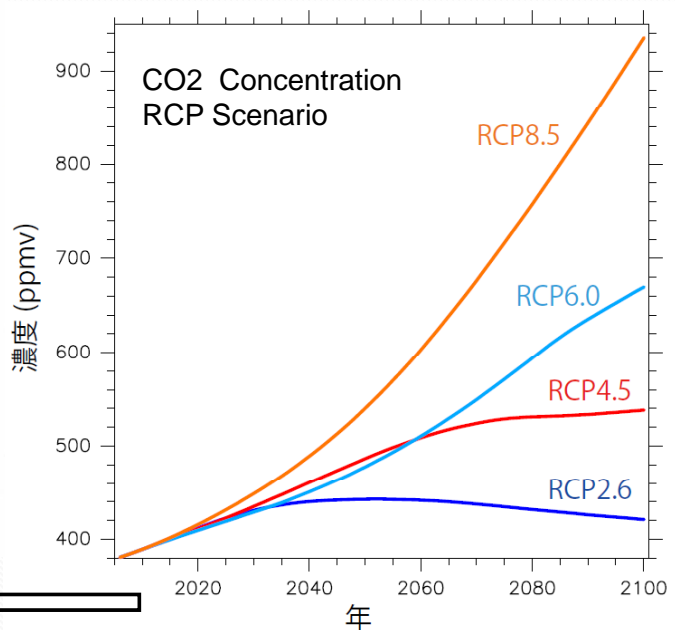
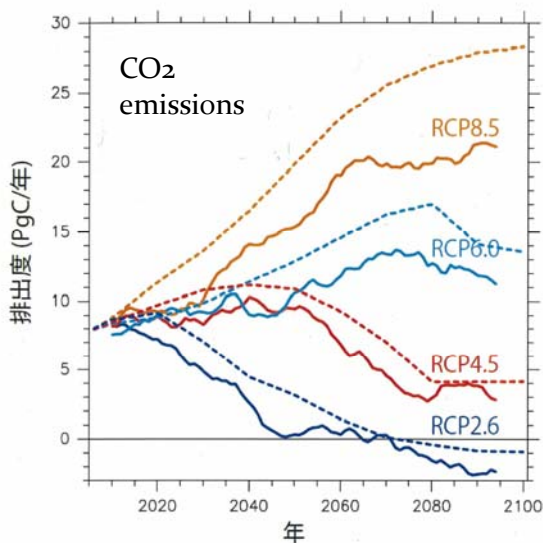
Bernモデル
(逆算)

ISAMモデル
(逆算)

年間排出量 = 海洋吸収量
+ 陸域生態系吸収量 } モデルより計算
+ 大気中の年間増加量
(濃度変化から決まる)

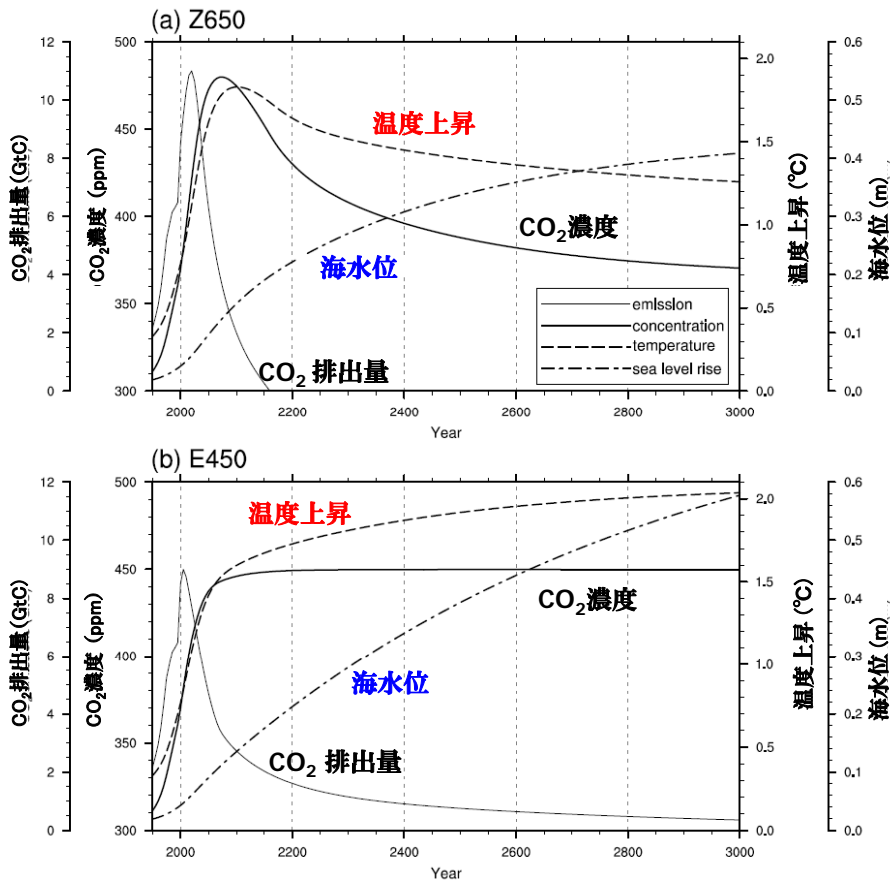
RCP濃度シナリオ(右)に対応するもの排出シナリオ(左、破線)と濃度からフルESMで逆算した排出量(左、実線)の比較

革新プログラム、長期チーム



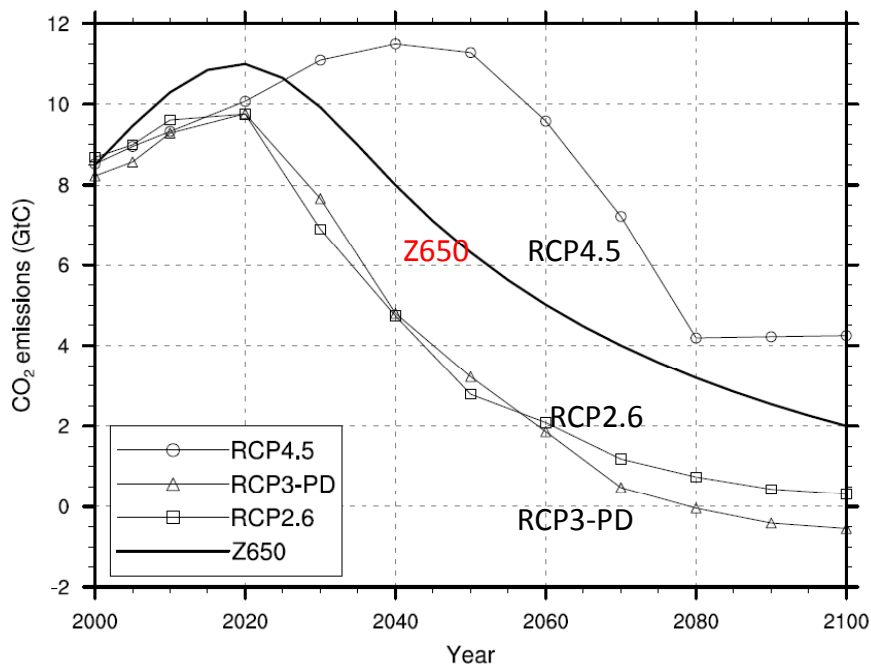
逆算 ←

「ゼロ・エミッション安定化」を考えるべき



41

AR5用RCP排出パス群と提案するZ650の排出パス

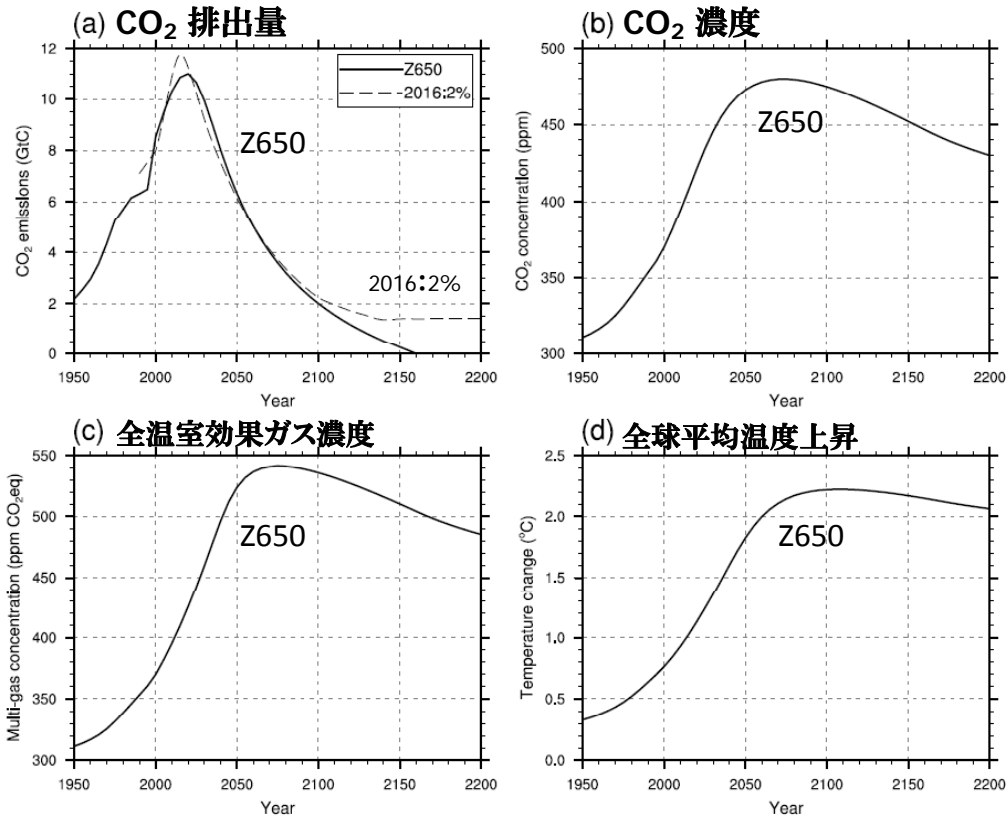


(Source) RCP Database (version1.0)
 IIASA Homepage (<http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb>)

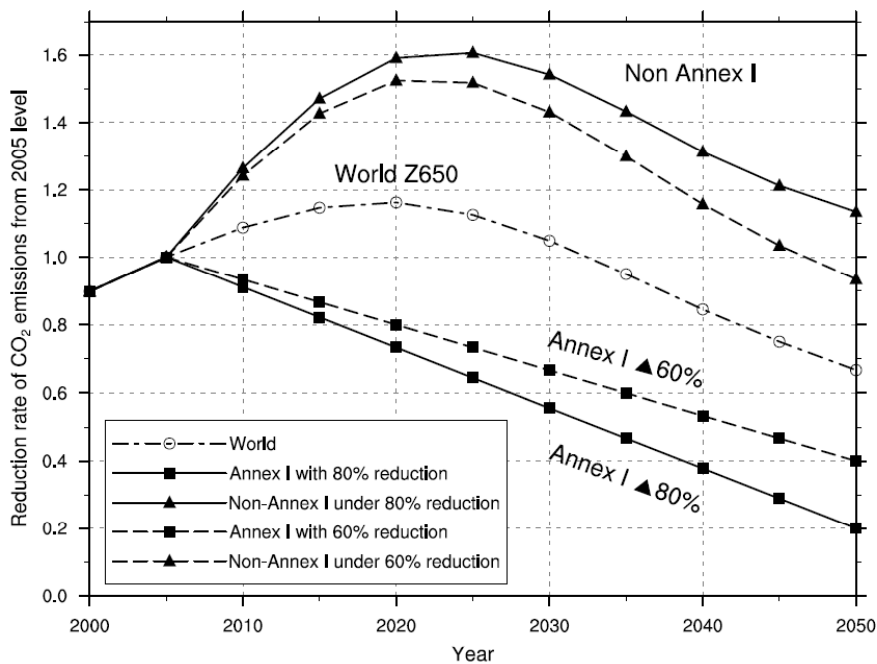
提案するZ650シナリオによる21世紀中CO₂排出パスを他のRCPシナリオと比べる。
 Z650は21世紀中の総排出量が650GtC、RCP2.6は420GtCぐらい。

42

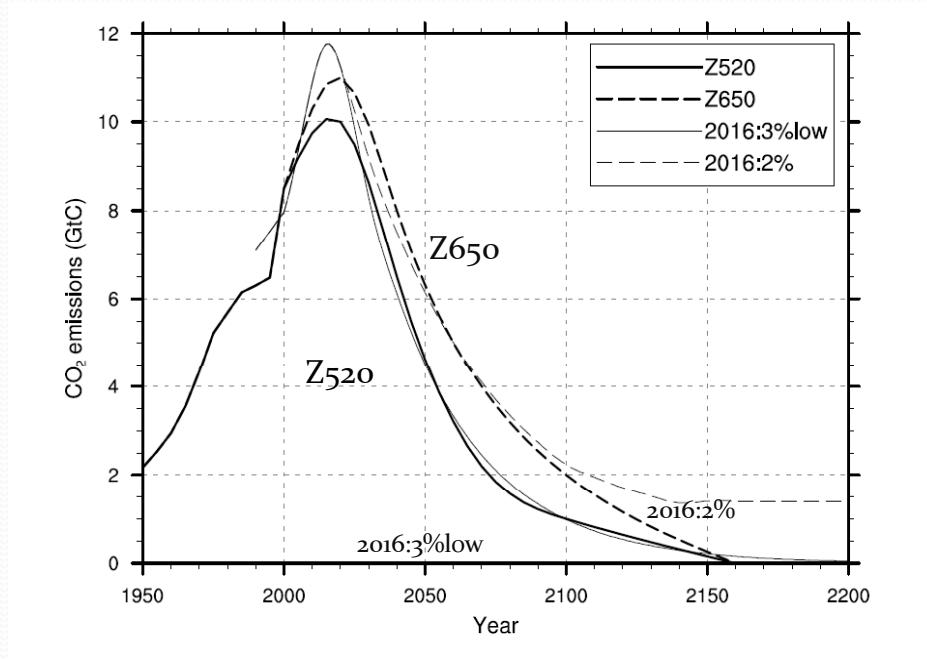
温度上昇ピークが2°Cを少し越えるZ650シナリオ (他のGHGを含む場合)



Z650におけるCO₂排出パスの社会・経済的意義 (新興国・途上国での排出量を大きくできる)



Z520、Z650とUKCCGで検討したシナリオとの比較



45

- 現在の知見では低い温度上昇(2°C)で安定化を目指せばマイナス・エミッションが必要となる。これは非現実的である。
- この状況を考えると、150年後くらいにゼロ・エミッションを想定した安定化シナリオは現実的な代案として考慮する必要がある
- 世紀をまたぐオーバーシュート・シナリオであり、数100年先に低濃度、低昇温にもどることを前提としているので、その間の気候変化を多様な面で検討する必要がある。

46

世紀を超えるオーバーシュートシナリオ(電力中央研究所) IPCC AR4 (Fig10.36)

N. Nakashiki et al. / Ocean Modelling 15 (2006) 200–217

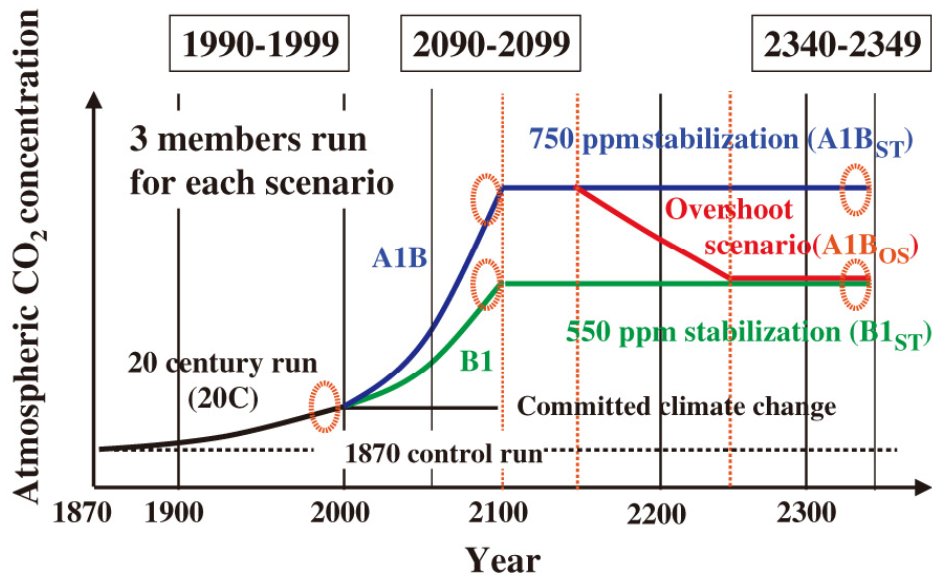


Fig. 1. Schematic temporal variation of atmospheric CO₂ concentration in the 20th century and in the SRES scenarios A₁B and B₁ and their respective stabilization scenarios. In the overshoot scenario, CO₂ and other GHGs are reduced from A₁B levels to B₁ levels over 2150–2250. The three dashed lines in the plate denote the end of A₁B and B₁ scenario, the start of A₁B overshoot scenario and the end of A₁B overshoot scenario, respectively. The dashed ovals indicate the periods used for analysis in this study.

47

電中研オーバーシュートシナリオの場合の海面温度(上) と全海水平均温度(下)の変化

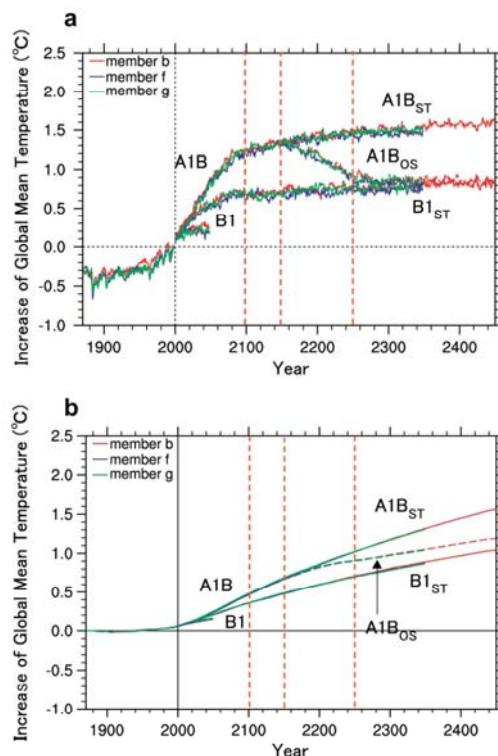
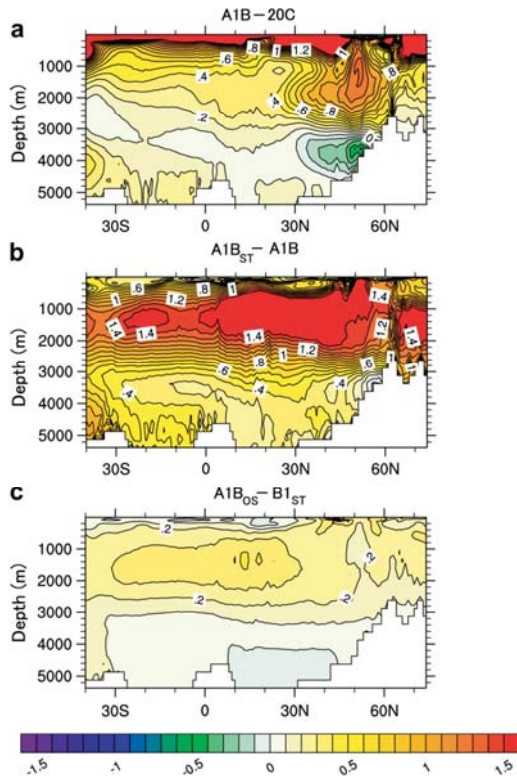


Fig. 2. Temporal change of global mean ocean temperature of three ensemble members; (a) sea surface temperature (SST), (b) mean temperature averaged over total ocean volume.

48

大西洋の海水温変化(鉛直断面)



A1Bシナリオ 21世紀末での昇温

A1B安定化後250年間の変化

A1Bにオーバーシュートの後B1に降りた場合とB1安定化の差
(安定化後250年、降下後100年)

Fig. 3. Ensemble, zonal mean latitude–depth distribution of potential temperature change in the Atlantic Ocean; (a) difference between A1B (averaged over years 2090–2099) and present (20C, 1990–1999), (b) difference between A1B stabilization (2340–2349) and A1B (2090–2099), (c) difference between A1B overshoot (2340–2349) and B1 stabilization (2340–2349).

49

大西洋の子午面循環(深層循環)の強さ(流量)の変化 A1B,B1各安定化シナリオとA1B→B1オーバーシュートの比較

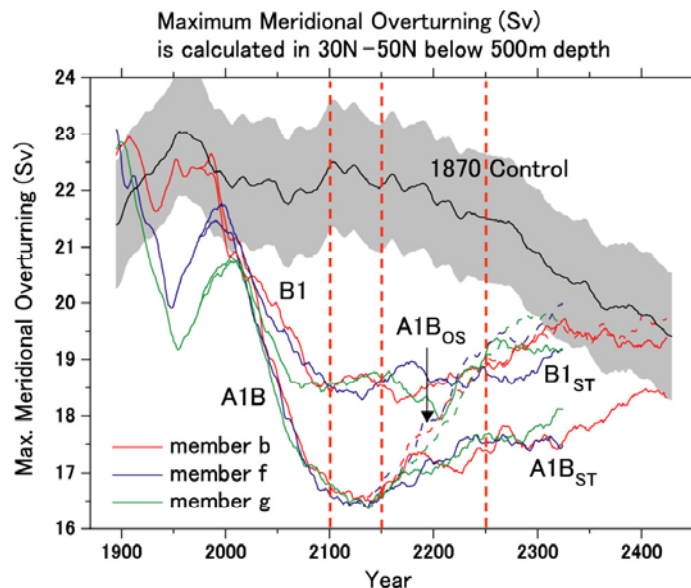


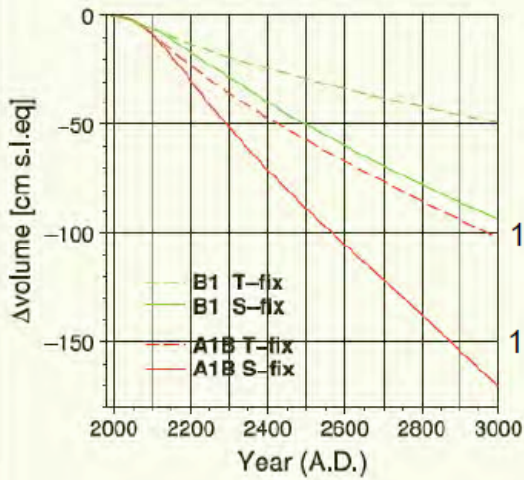
Fig. 4. Temporal variation of maximum North Atlantic meridional overturning (Sv); Transport is calculated in 30N–50N below 500 m depth. The timeseries for the control is smoothed with a 101 year running mean (the shaded area is the standard deviation within the 1010 year window). The timeseries for each ensemble member are smoothed with a 51 year running mean.

50

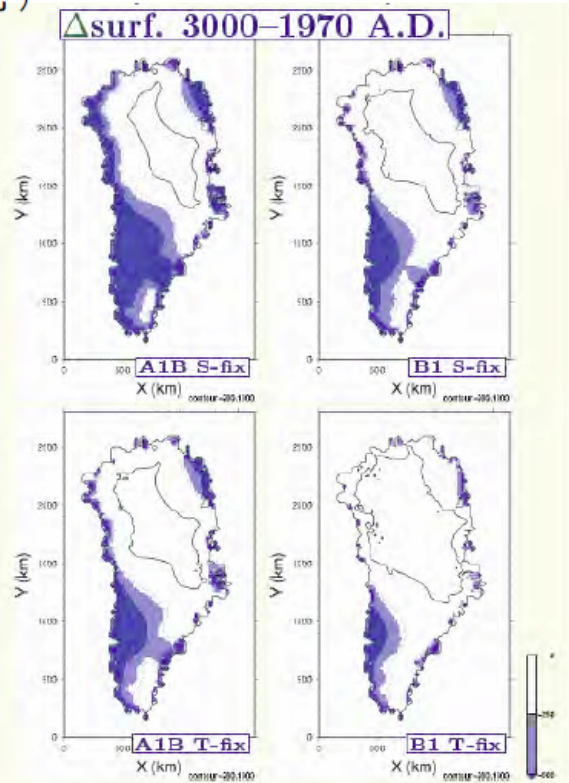
1000年後のグリーンランド氷床予見

(流動を含む)

海水位熱膨張分は 0.5~0.8 m



21世紀末にガス濃度をA1Bシナリオに安定化させても、千年後に2メートル近く海面上昇(長期的負の遺産)

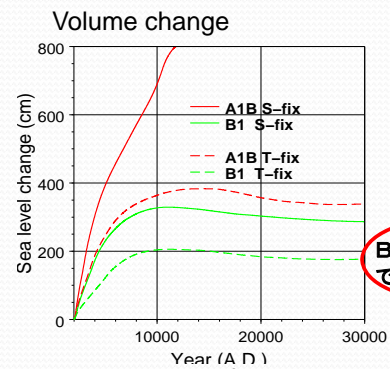
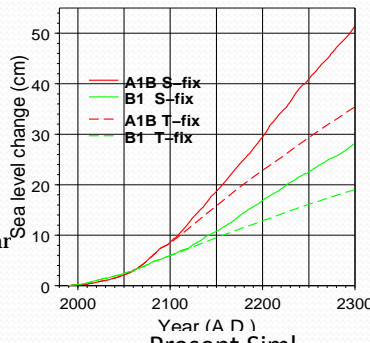
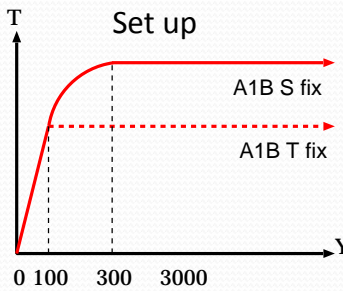


(阿部と斎藤による)

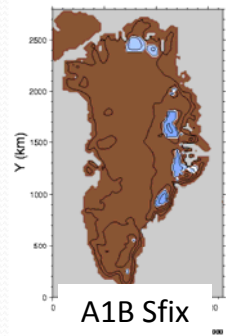
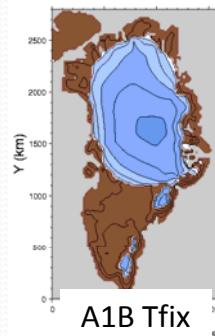
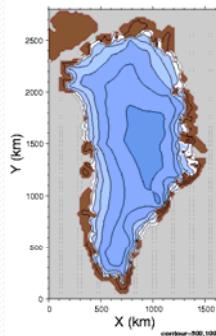
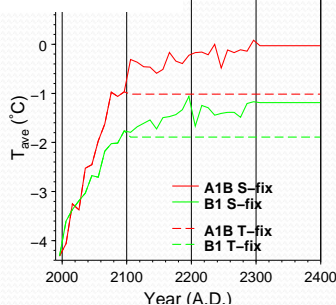
Global Warming Experiment on Greenland

- MIROC mid → IcIES 20km (off line)

IPCC AR4 run result → Input on ice sheet model → Contribution to sea level rise



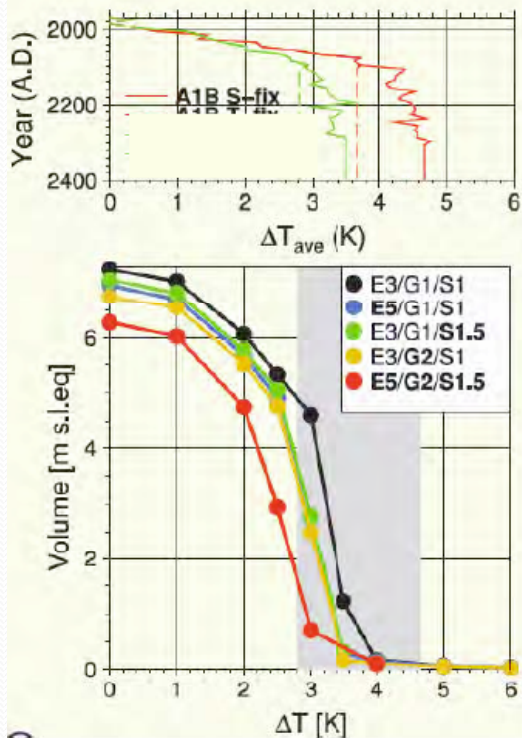
Summer Temp. over Greenland



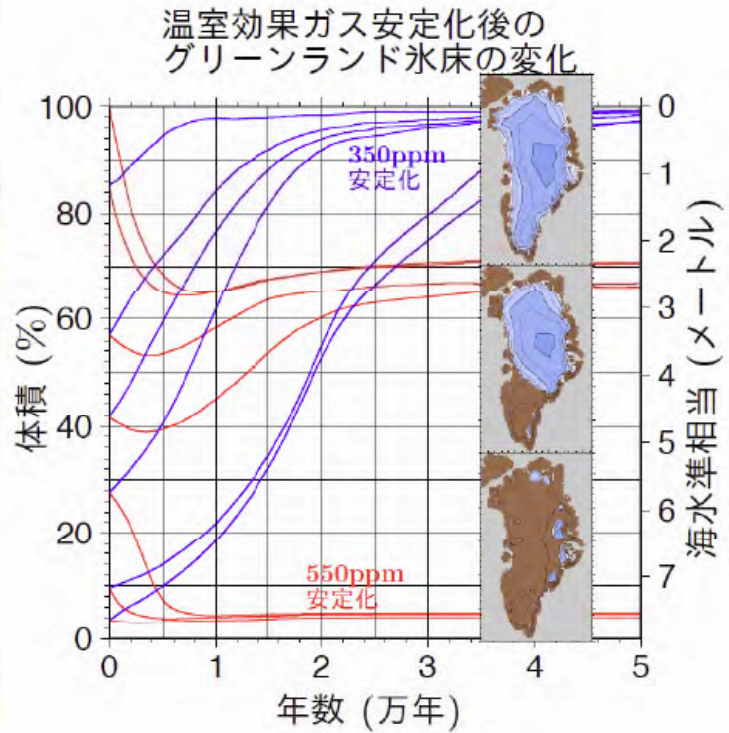
(阿部と斎藤による)

氷床の感度と安定化シナリオ

全球平均昇温 2.3°Cで2mより1.5°Cで1.5mと推定

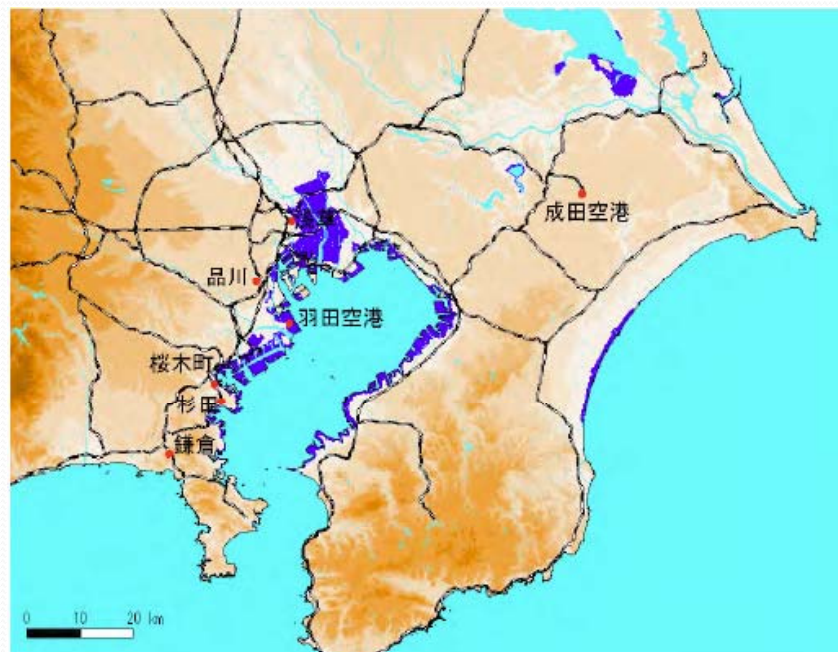


(Saito and Abe-Ouchi, 2006, 2008)



(阿部と齋藤による)

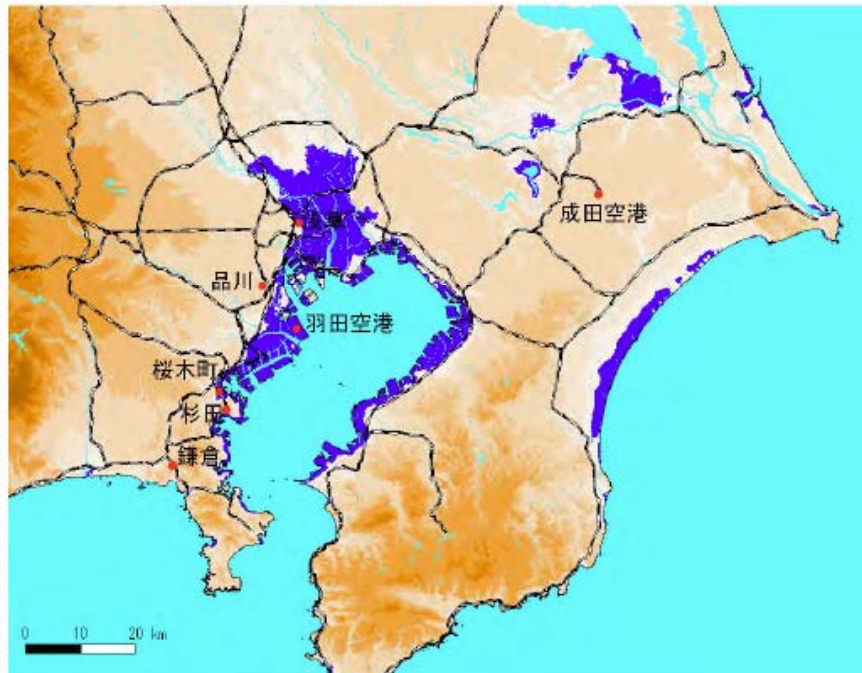
Sea level influence of 1m 海水位1m上昇の浸水域



北海道地図株式会社のGISMAPを使用

(阿部による)

Sea level influence of 3m 海水位3m上昇の浸水域



北海道地図株式会社GISMAPを使用

(阿部による)

55

メタンの人為的削減方法探索 → CO₂削減緩和、同時に将来のカタスト ロフ(永久凍土融解)に備える

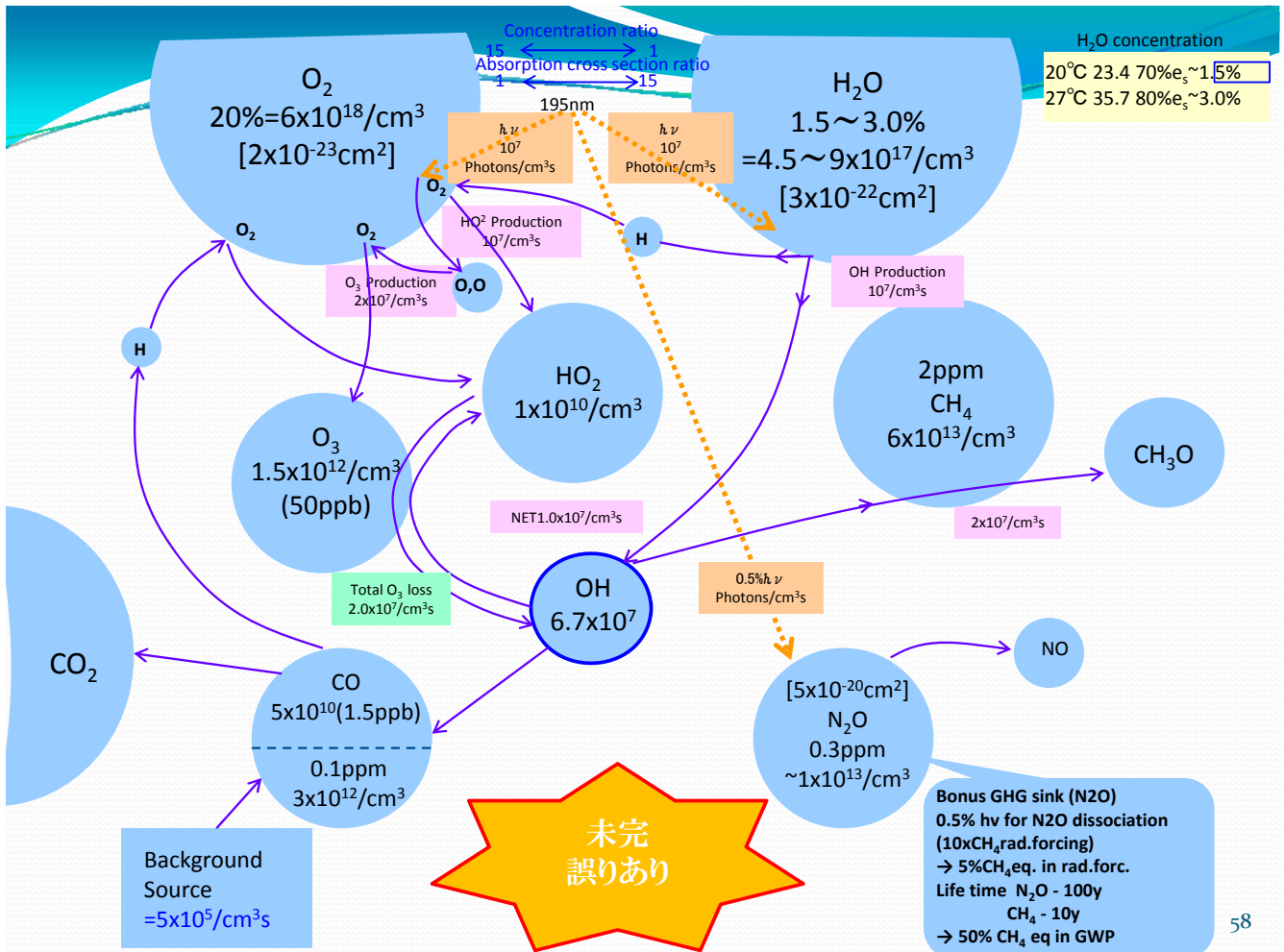
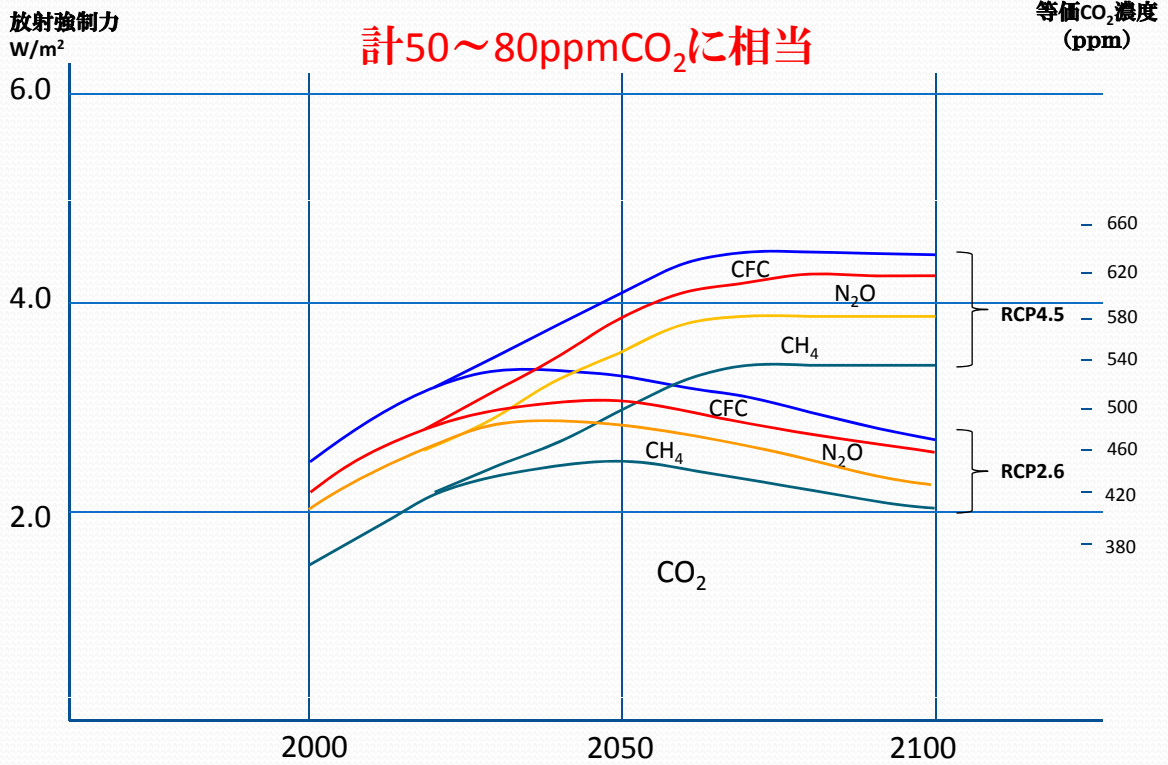
一方法の検討

紫外線(195nm)照射によりH₂OからOH基生成

局所的に自然状態の100倍のOH濃度を作りCH₄分解

化学プロセスとしては自然に生じているCH₄除去過程

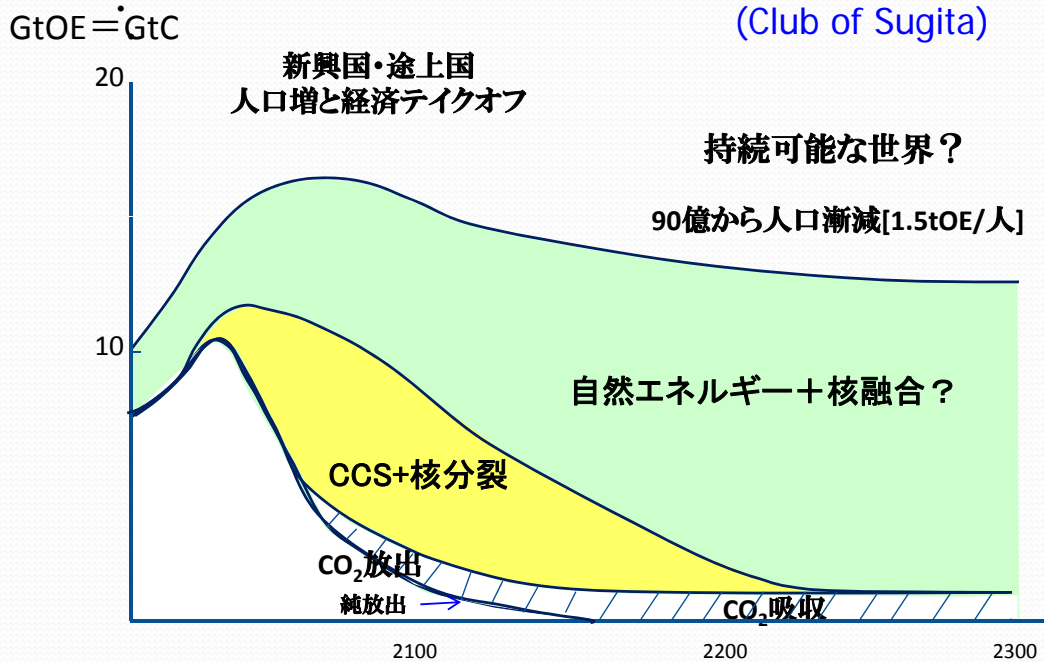
RCP2.6、RCP4.5シナリオにおける各長寿命GHGの等価CO₂濃度への寄与



CO₂ゼロ・エミッションの可能性検討

超々長期的エネルギー見通し

(Club of Sugita)



- CO₂の大気への放出を避けられない用途と量
強力・軽便なエネルギーを必要とするもの → 戦争!? → 航空機ほか、1.5GtC?
- CCSの限界容量は? 1000GtC?
- CO₂のゼロ放出と吸収の可能性 → バイオ燃料、化石燃料とバイオCCS

59

まとめ

完新世 (Holocene) から人新世 (Anthropocene) へ
長期的、総合的視点での検討が必要

将来エネルギー計画

来世紀中に正味でCO₂ゼロ・エミッションを目指す

(現在のEU主唱の削減より現実的)

→ 新しい主エネルギーと移行プロセス

不可避のCO₂放出 (essential use) と大気からの吸収 (技術と量)

気候変動科学・影響評価

→ ゼロ・エミッション安定化に伴う気候と海水位変化

昇温ピーク時の気候とそのリスク

最終平衡状態での気候と海水位とそのリスク

(1.5°C、1.5mならよい?)

[何はともあれ+2°C限界と気候感度3°Cの再検討!]

60



新たなる枠組み作りの 提言について

湯原 哲夫
YUHARA Tetsuo

キヤノングローバル戦略研究所
研究主幹



CIGS 国内ワークショップ
「地球温暖化緩和における世界で共有できるエネルギービジョン」
2011年6月30日

新たな枠組み作りの提案について

キヤノングローバル戦略研究所
湯原哲夫

1

キヤノングローバル戦略研究所(CIGS) エネルギー研究会

- 目的: 地球温暖化抑制のためのエネルギービジョン2050年

- メンバー

湯原哲夫 CIGS
田下正宣 CIGS
段烽軍 CIGS
横山隆寿 CIGS
青柳由里子 CIGS

氏田博士 東京工業大学(前エネルギー総合工学研究所)
新藤紀一 エネルギー総合工学研究所
都筑和康 エネルギー総合工学研究所
松井一秋 エネルギー総合工学研究所
大山 健 エナジス
藤井康正 東京大学
小宮山涼一 東京大学

(アドバイザー)

松野太郎教授 海洋研究開発機構
日下一正 CIGS

2

要約

1. 福島第一事故の評価と原子力エネルギー利用について
2. 「COP17&18へ向けた新しい枠組み」への基盤的考え方

3

福島第一の事故原因

外的事象のハザード:マグニチュード9の地震と15m高さの津波

1. 全電源喪失事故
 - A) 地震による外部電源喪失
 - ・送電線の耐震性の不足
 - B) 津波による浸水によって非常用電源を喪失し、全電源喪失事故へ
 - ・設備設計の不適切さ(非常用電源や電源盤の位置)と防水性等の不備
 - ・非常用ディーゼルの多様性不足
2. 緊急炉心冷却機能の喪失
 - A) 無電源下での残留熱除去機能の不足(短時間)により、燃料損傷し水素が発生し、屋内に漏洩し爆発。
 - ・全電源喪失下の熱除去システムが 電源復旧まで持たず、多重性・多様性がない。電源回復の遅れ(電源盤の浸水など)
 - ・原子炉への海水・真水注入などの緊急手段(消防車)の迅速な適用が不十分
3. シビアアクシデントに対する防護の不足
水素漏洩や水素爆発への対策がなく、水素爆発に対する建屋の防護機能のない。

4

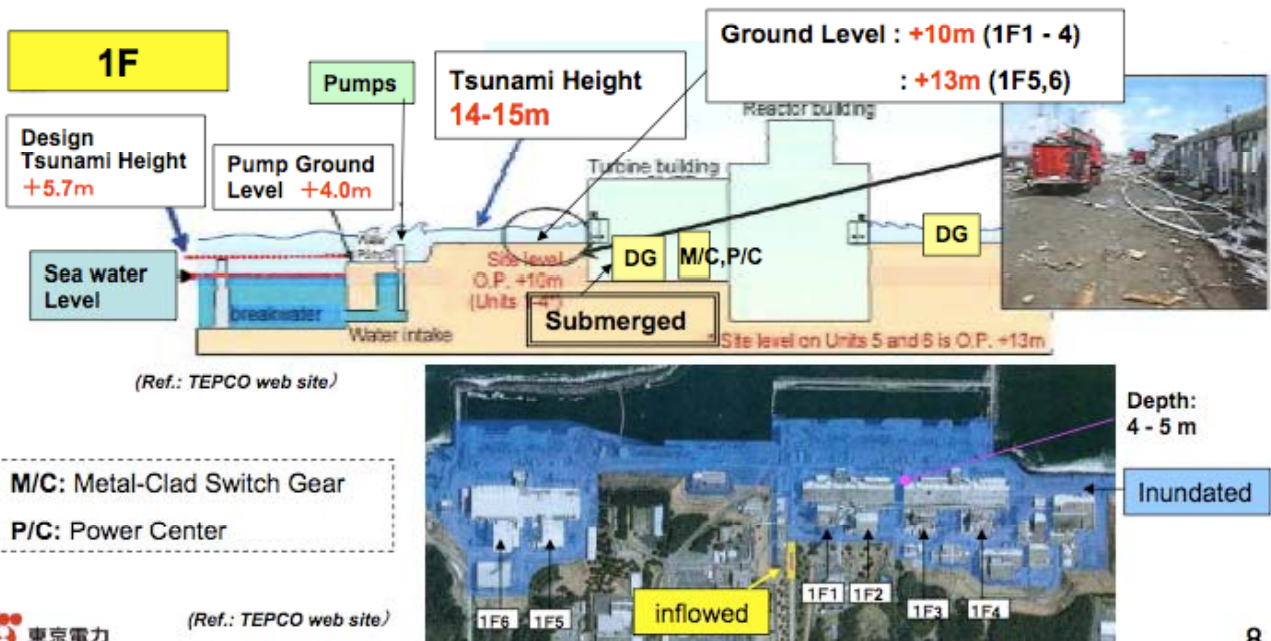


3. Status of the Nuclear Power Stations (NPSs) hit by the quake and the tsunami

NPS	Unit	Type	MWe	Before Quake	After Quake	After Tsunami	Acceleration ⁽¹⁾ (gal)	Tsunami Height
HigashiDori	1	BWR-5	1,100	Outage	Cold Shutdown	Cold Shutdown	---	---
Onagawa	1	BWR-4	524	Operating	Automatic Scram	Cold Shutdown	587 [529]	Design: 9.1m Ground level: 13.8m (Observed: 13m)
	2	BWR-5	825	Reactor Start	Automatic Scram	Cold Shutdown	607 [594]	
	3	BWR-5	825	Operating	Automatic Scram	Cold Shutdown	573 [512]	
Fukushima Daiichi (1F)	1	BWR-3	460	Operating	Automatic Scram	Loss of cooling	447 [489]	Design: 5.7m Ground level: 10m (1F1-4) 13m (1F5&6) (Observed: 14-15m)
	2	BWR-4	784	Operating	Automatic Scram	Loss of cooling	550 [438]	
	3	BWR-4	784	Operating	Automatic Scram	Loss of cooling	507 [441]	
	4	BWR-4	784	Outage	Cold Shutdown	Cold Shutdown	319 [445]	
	5	BWR-4	784	Outage	Cold Shutdown	Cold Shutdown	548 [452]	
	6	BWR-5	1,100	Outage	Cold Shutdown	Cold Shutdown	444 [448]	
Fukushima Daini (2F)	1	BWR-5	1,100	Operating	Automatic Scram	Cold Shutdown	254 [434]	Design: 5.2m Ground level: 12m (Observed: 6.5-7m, Locally >14m)
	2	BWR-5	1,100	Operating	Automatic Scram	Cold Shutdown	243 [428]	
	3	BWR-5	1,100	Operating	Automatic Scram	Cold Shutdown	277 [428]	
	4	BWR-5	1,100	Operating	Automatic Scram	Cold Shutdown	210 [415]	
Tokai Daini	—	BWR-5	1,100	Operating	Automatic Scram	Cold Shutdown	225 [400]	Ground level: 8m (Observed: 5.4m)

⁽¹⁾ Observed maximum response acceleration (horizontal) on the basement of Reactor Building. The design response acceleration (horizontal) is in square brackets. SFP ⁽²⁾ : Spent Fuel Pool

福島第一 非常用ディーゼル, 電源盤の位置と高さ



既存炉原子力発電所への安全確保

1. 耐浸水対策の実施(配置室の水密性)設備の機能追加
2. 非常用電源の多様性と独立性(発電機、電源盤とも) 機器の追加、配置の変更
3. ヒートシンク(熱吸収源、空冷・水冷による熱除去システム)の多様性、独立性の確保、系統の追加
4. シビアアクシデントに対するアクシデントマネジメント-全電源喪失時のプラント運転手順の徹底

7

米ネブラスカ州の原発一帯が豪雨で浸水

2011年06月23日



↑オマハ電力会社の
フォートカルフーン原発
(燃料補充のため運転停止中)

↓ネブラスカ電力会社の
クーパー原発(運転中)



8

原子力発電の安全設計の進化

1. 福島第一は第2世代炉の初期(1960年代の設計)
2. 第3世代炉(1990~ ABWR, APWR)
3. 第3世代+ (2005~ 受動的安全炉AP1000など、自然循環による炉心冷却)
4. 第3世代++(2010~, Small modular reactor、TVAなど)
5. 第4世代(2030年~) SMR(TWA)、高速増殖炉、高温ガス炉などを開発中
 - ・方向性: 受動的安全性、燃料交換(少ないか、なし)、低出力密度(残留熱除去を少なくする)、新型燃料、熱電供給
 - ・開発主体: 民間資金による民間主体の開発(SMR 政府がこれをバックアップする)、新興国の積極的な開発

9

ターニングポイント 2010-2011

- ビル・ゲーツ資金、グーグル資金の次世代中小型炉開発
- Green Nuclear Power イニシアティブと SMALL MODULAR REACTOR
- COSCOの原子力商船開発公表
- 中国の原子力産業輸出戦略
- インドのトリウム戦略
- ロシアのベトナムからの受注と原発輸出戦略
- 韓国のUAEからの受注と輸出戦略
- 日本の電力・メーカーによるアジア市場への戦略展開
- 東北大震災による福島第一原発のシビアアクシデント
- 米口中印仏は推進を表明、独伊は撤退

10

TVA plans six mPower units at Clinch River

16 June 2011 Nuclear Engineering International

- Tennessee Valley Authority (TVA) has signed a letter of intent with Generation mPower (GmP) outlining plans for the design, licensing and construction of up to six mPower small modular reactors (SMRs) at the Clinch River site in Roane County, Tennessee.
- TVA has also advised the Nuclear Regulatory Commission that it plans to submit a related construction permit application (CPA) in the fourth quarter of FY2012. TVA is developing the CPA with support from Generation mPower (B&W and Bechtel), according to a 23 March letter to the NRC.
- “GmP remains on track to deploy the first B&W mPower reactor by 2020 at TVA’s Clinch River site,” B&W said, adding that it expects to submit a Design Certification Application (DCA) to the NRC in 2013.
- In the 23 March letter to the NRC, TVA said its CPA is expected to be the lead licensing application for the mPower design.
- The mPower reactor is a 125 MW passively safe advanced light water reactor, with a below ground containment structure. On its launch in the summer of 2009, B&W described the mPower as ‘game-changing,’ saying that it would be cheaper and more flexible than the larger designs currently on offer.

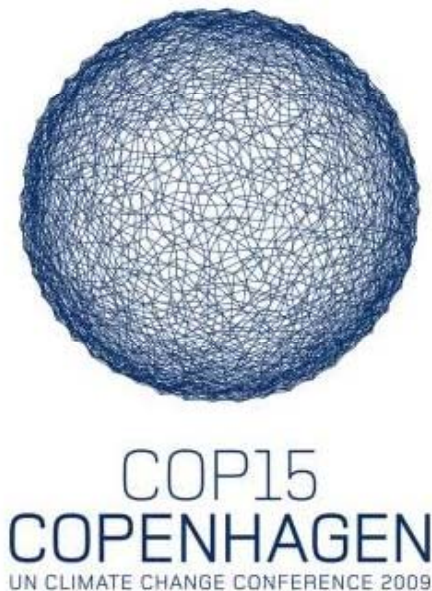
It has also contracted Worley Parsons to provide project management assistance, Burns and Roe to provide owner’s engineer services, as well as other contractors to provide site characterization, facility and licensing support services, the letter said. The B&W mPower Integrated System Test facility in Virginia is expected to begin a three-year project later this summer to collect data to verify the reactor design and safety performance in support of licensing activities, B&W, majority owners of GmP said in a 16 June statement.

- The project could later include engineering, procurement and construction (EPC) activities, ‘assuming certain preconditions are met.’



<http://www.neimagazine.com/story.asp?sectioncode=132&storyCode=2059894>

11



12

COP 17 へ向けて

- 「GHG450ppm濃度一定、2°C以内」に代わる現実に達成可能な目標の再設定が必要
 - 京都議定書の延長されても日本は参加しない公算大で、代案を示す必要ある。
 - CDM、キャップ&トレードとカーボンクレジット市場など
 - CDMの追加性の緩和とカーボンマーケットの投機性の排除が懸案の課題。
 - 自主的な目標設定(2020年まで)するも、世界全体で共有する目標の不在(世界で2050年50%削減、先進国80%削減は受け入れられない)。
 - 先進国による途上国支援の合意
 - ・2010～12300億ドル　・2020年まで毎年1000億ドル
 - 具体的な進め方、内容が決まらない。
- 世界が共有する長期的な排出目標、先進国と途上国の排出分担、温暖化対策の途上国支援への枠組みと目標(途上国の成長と環境両立)

13

シンポジウムのシナリオ #2地球温暖化対策で世界が共有するエネルギービジョン」 へ向けた国内シンポジウム

目的:

地球温暖化対策を話し合う国連気候変動枠組み条約の締約国会議(COP17)に向けて、京都議定書に代わる新たな枠組みづくりに向けた提言を行う。

内容:

1. 温室効果ガス(主としてエネルギー起源二酸化炭素)の総排出量の設定
2. これを満たす世界全体で最適化するエネルギー構成と各国の排出分担
3. このエネルギー構成に対する追加削減費用と省エネメリットのバランス(投資と省エネメリットによる回収)
4. 低炭素エネルギー技術普及のメカニズム(途上国支援のための技術移転とその在り方、京都議定書における追加性とカーボン市場における投機性の排除)。

14

エネルギー・インフラのパラダイムシフト

供給

- ・ 原子力の見直し
一時的停滞し推進体制の立て直し
安全性の進化した第三世代+、
++へのシフト
- ・ 化石燃料の転換(原油から天然ガス)
原油のピークアウト
シェールガス革命と天然ガスの
需給緩和(天然ガスの時代)
- ・ バッテリーと再生可能エネルギー
太陽、風力の安定化(蓄電併設)
海洋エネルギーの普及
バイオ燃料の拡大

転換と最終需要

- ・ 転換部門
 - 高効率発電
 - 天然ガス複合発電 40%から60%が実現
さらに70%へ
 - 石炭ガス化発電の実現 石炭発電は30%
から40%(USC)がさらに50%超(IGCC)へ
 - バッテリー革命とスマートグリッドによる大規模導入
- ・ 産業部門・民生部門
 - 革新的省エネ: 直接還元製鉄、
新燃焼技術
 - エネルギー自立住宅
(太陽光蓄電、電気自動車)
- ・ 運輸部門
 - 電気自動車の導入
 - バイオディーゼル燃料の普及
 - 国際海運での燃料転換(LNG.GTL)

15

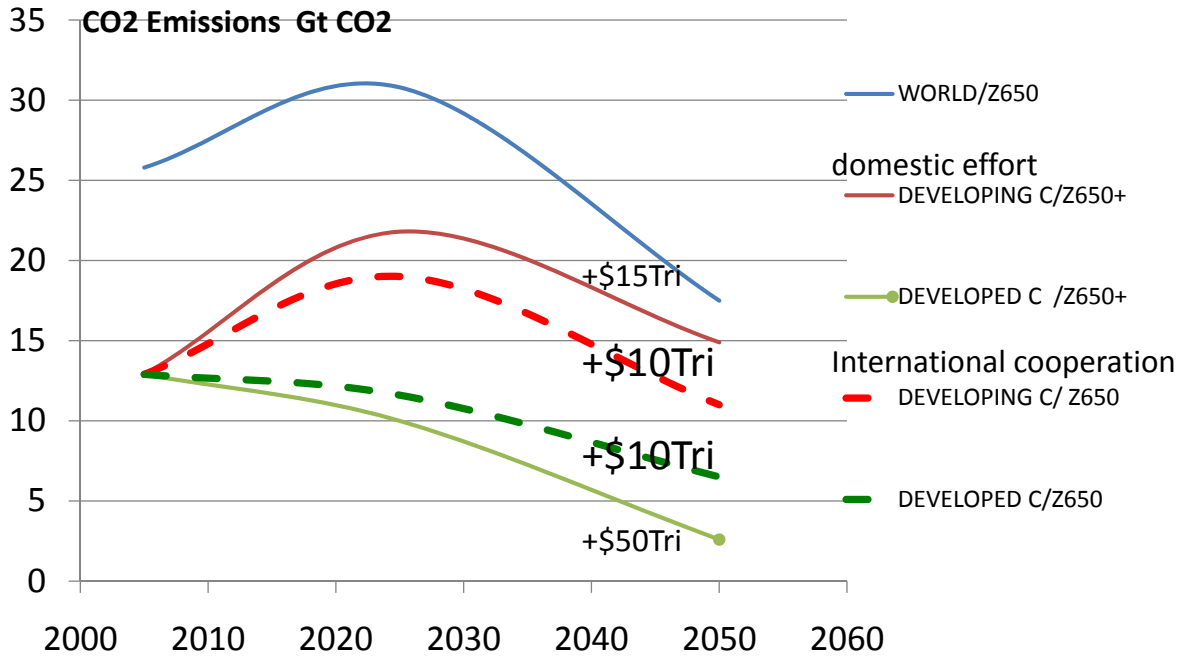
シナリオ(2) 低炭素技術のロイヤリティと カーボンクレジットの買取

- ・ 途上国への支援は主として技術移転によって行う。投資と省エネメリットがバランスする低炭素技術を中心に、先進国から途上国へ技術移転する。
- ・ 低炭素技術によって途上国で削減された二酸化炭素の量に応じて、ロイヤリティ所持者また知的所有権者に炭素クレジットが与えられる。先進国政府がそのクレジットを買取する。買取価格は国際的な炭素クレジット価格に相当させる。
- ・ その費用は先進国から途上国への温暖化対策支援に対する拠出金(2020年まで年間1000億ドル----COP15合意)をあてる。
- ・ 低炭素技術を有するエネルギープラントプロジェクトは採算性を重視した有償援助(ODA), もしくは世界銀行によって行われることが前提である。

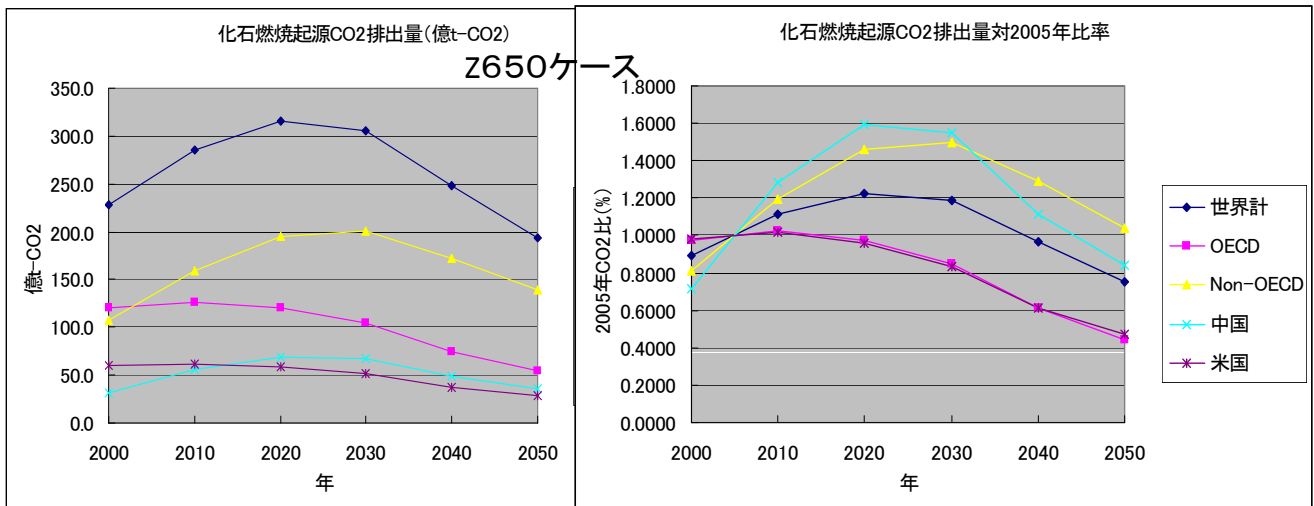
16

累積削減費用(2010~2050) 世界全体最適化と 先進国2050年80%削減計画の比較
 Accumulative additional abatement costs*(2010~2050); Trillion US \$
 International cooperation and Domestic effort

* ABATEMENT COST=INVESTMENT – FUEL SAVING COST



2050年までのCO2排出量Z650 と2005年比率 -世界、OECDとNon-OECD、中国と米国



エネルギー起源二酸化炭素の排出比 (2005年を1.0)

	2030年	2050年
世界	1.2	0.75
先進国	0.9	0.5
US	0.9	0.4
EU	0.85	0.5
日本	0.8	0.4
途上国	1.6	1.1
中国	1.6	0.9
インド	1.9	1.7

削減コストAbatement cost

ACCUMURATED ADDITIONAL ABATEMENT COST (2010~2030)

JAPANESE CASE: 30%reduction(500Mt CO₂ in 2030) -----2010 OUTLOOK by METI

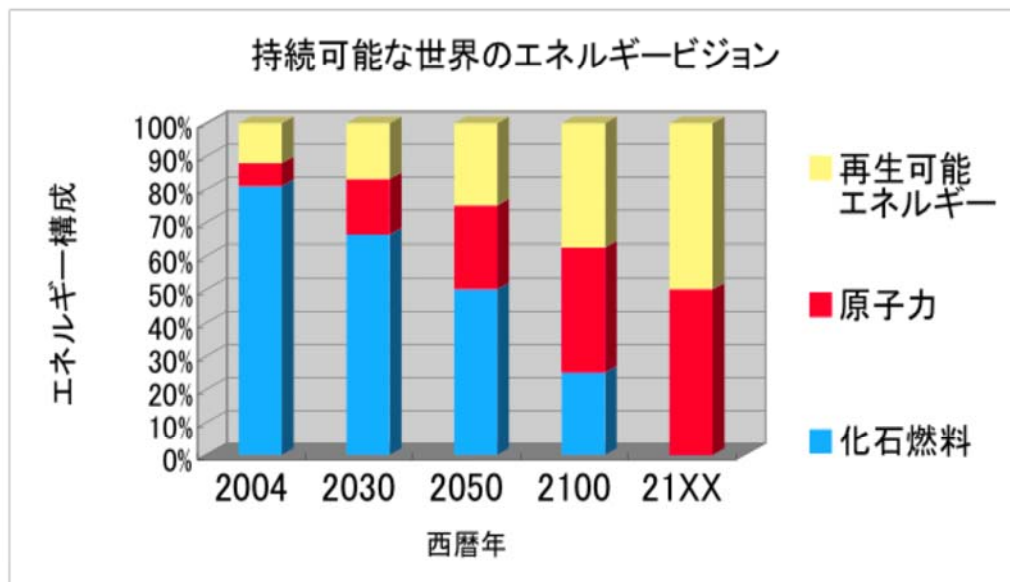
	INVESTMENT	MERIT OF ENERGY SAVING (fuel)	NET COST
Total accumulative COST (2010~2030)	JP¥131 Tri (US \$ 1.6 Tri)	JP¥69 Tri (US\$0.9 Tri)	JP¥62 Tri (US\$0.8 Tri) \$155/tCO ₂
Annual(mean)	¥6.6Tri (\$ 83B)	¥3.5Tri (\$ 44B)	¥3.1Tri (\$ 39B)

\$10Trillion /40years (2010~2050) in Developed countries

US\$10Tri for 40years(US\$250B/year, ¥ 20兆) reduces 130GtCO₂ by 2050

→ \$ 77/tCO₂ in developed countries

19



エネルギー・サステナビリティの3条件

- (1) 化石燃料燃焼によるCO₂排出量を地球の自然吸収能力以下にすること。
- (2) 再生可能エネルギー利用を安定化し、持続可能な利用を行うこと。
- (3) 原子燃料を枯渇性燃料から持続可能な燃料へ転換すること。

20

化石燃料の資源量

(世界エネルギー会議1997)

	①確認埋蔵量 (可採年数)	②資源量 (可採年数)	計 ①+② (可採年数)	年間消費量 (2002)
石油 在来	150(41年)	145(39)	295(80)	3.68
非在来	183(50)	336(91)	519(141)	
ガス 在来	141(64)	279(127)	420(192)	2.19
非在来	192(87)	258(118)	450(205)	
石炭	1003(419)	2397(1002)	3400(1422)	2.39
化石燃料総計	1669(202)	3415(414)	5084(615)	8.26

IIASA-WEC "Global energy perspective"(1997), IEA-WEO2004から作成

21

2007.12.27 湯原

1. 21世紀後半に世界人口は100億人に達し、皆先進国入りすると一人当りのエネルギー消費4ト/年(OECD平均、石油換算)として世界のエネルギー需要⇒400億ト/年⇔現在125億ト/年

2. 全資源量と枯渇年数

	全化石燃料 (石炭+石油 +ガス)	メタンハ イドレー ト	ウラン (高速増殖 炉)	総計
埋蔵量+資源量 -石油換算ト- (IIASA-WEC)	5兆ト	19兆ト	16兆ト	40兆ト
枯渇する年数 (400億ト/年)	125年	475年	400年	1000年

3. 世界の再生可能エネルギーの賦存量

	水力・地熱	風力	太陽光	バイオマス
発電量 kWh/年	15兆 kWh/y	8兆 kWh/y	290兆 kWh/y	—
石油換算ト/年	32億ト/y	17億ト/y	620億ト/y	40億ト/y

RITE 統合評価モデル DNE21 による分析例等から作成

結論 「人生百年に満たざれども、千年後を憂う」

小平浪平 (日立の創設者)

人生は100年にも満たないけれども、技術者たるものは1000年後の社会を考えてものづくりに励め。

22



工学モデルの可能性と限界

藤井 康正

FUJII Yasumasa

東京大学大学院工学系研究科
原子力国際専攻 教授



工学モデルの可能性と限界

キャノングローバル戦略研究所(CIGS)
国内ワークショップ
「地球温暖化緩和における世界で共有できる
エネルギー・ビジョン」
2011年6月30日

東京大学 大学院工学系研究科
原子力国際専攻 教授
藤井康正

発表の概要

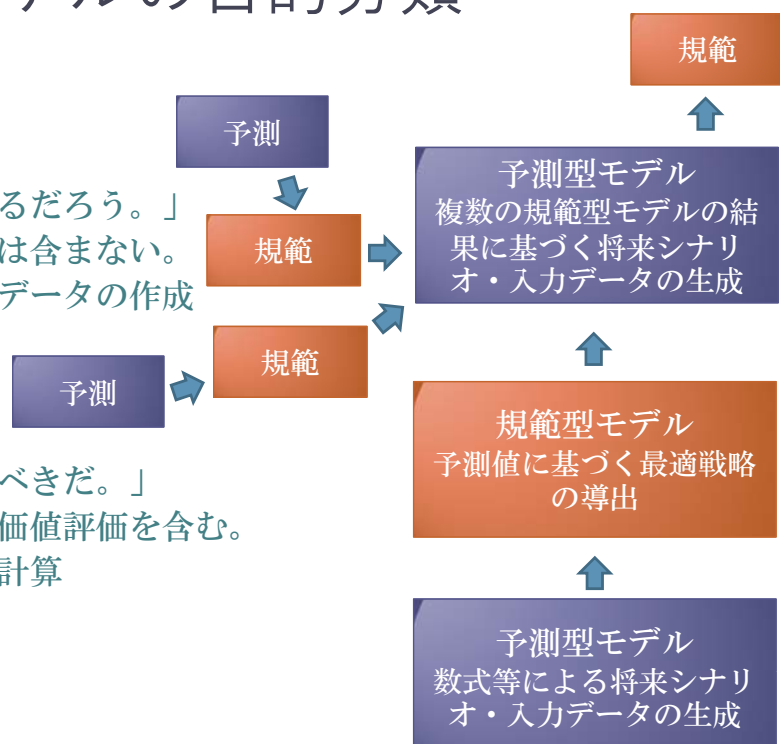
- エネルギーモデルの分類
- 工学モデルに関する課題
- 世界地域細分化エネルギーシステムモデル
- まとめ

エネルギーモデルとは

- エネルギーシステムの構成要素間の相互の関係を数式で抽象的に記述、コンピュータ上に一連のプログラムとして実現したもの
- 構築の目的（一般論）
 - 複雑なシステムを大規模な連立方程式で記述し、定量的に評価できる。
 - 対象システムに対するモデル作成者の理解を深める。
 - 対象システムを理解するための共通の枠組みを提供できる。意識合わせ、議論のたたき台の提供する。

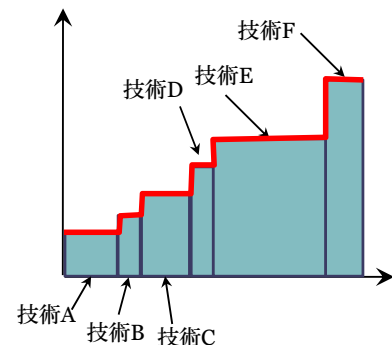
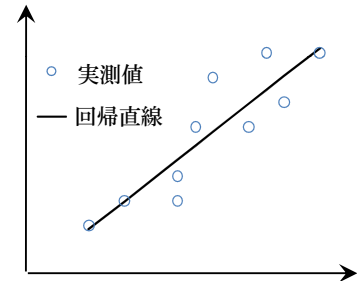
エネルギーモデルの目的分類

- 予測型
 - 将来は「・・・となるだろう。」
 - 価値評価は明示的には含まない。
 - 規範型モデルの入力データの作成
 - ・ シナリオの作成
- 規範型
 - 将来は「・・・とすべきだ。」
 - コスト最小化などの価値評価を含む。
 - 予測データに基づく計算
 - ・ 最適化計算



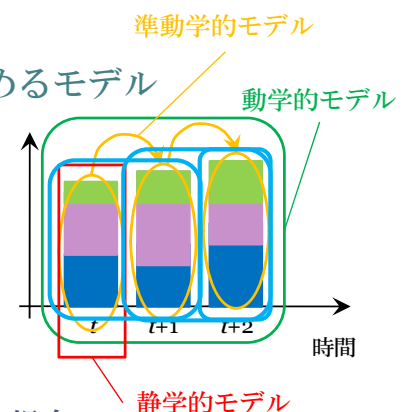
エネルギーモデルの定式化手法の分類

- **トップダウン型**
 - 帰納的、経験的、マクロ的
 - ・ 対象要素が多い場合に有効
 - ・ 構築し易いが、結果の解釈は困難
 - ・ 過去に実績がないものは基本的には取り扱い不可
- **ボトムアップ型**
 - 演繹的、合理的、ミクロ的
 - ・ 対象要素が少ない場合に有効
 - ・ 大量のデータが必要だが、結果は明瞭
 - ・ 既知新技術の過大評価の傾向と未知技術の欠落



エネルギーモデルの時間構造分類

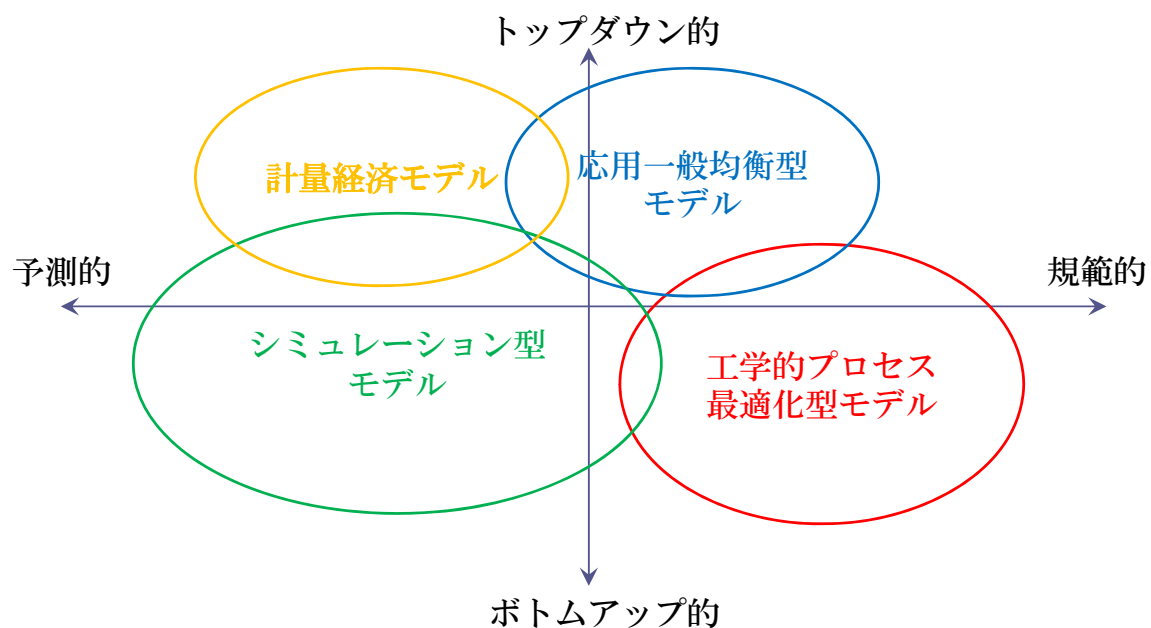
- **静学的モデル**
 - 単一時点を対象にしたモデル
- **準動学的モデル**
 - 期間中の複数の時点を時間順に逐次評価を進めるモデル
 - ・ 基本的には静学的モデルを逐次複数回
 - ・ 関連設備の寿命が比較的小さい場合
 - ・ エネルギー需要モデルに多い
- **動学的モデル**
 - 期間中の複数の時点を同時に評価するモデル
 - ・ エネルギー供給モデルに多い
 - ・ 関連設備が複数時点にまたがって存在するような場合
 - ・ バックキャストイング



エネルギーモデルの構造分類

- 工学的プロセス最適化型モデル
 - 線形計画法などによる最適化
- 応用一般均衡型モデル
 - 家計や企業の最適化行動を想定した多部門需給均衡
- 計量経済モデル
 - マクロ経済の統計データのトレンド
- シミュレーション型モデル
 - フィードバック系の時間順方向のシミュレーション

エネルギーモデルの構造分類



工学モデルに関する課題 1

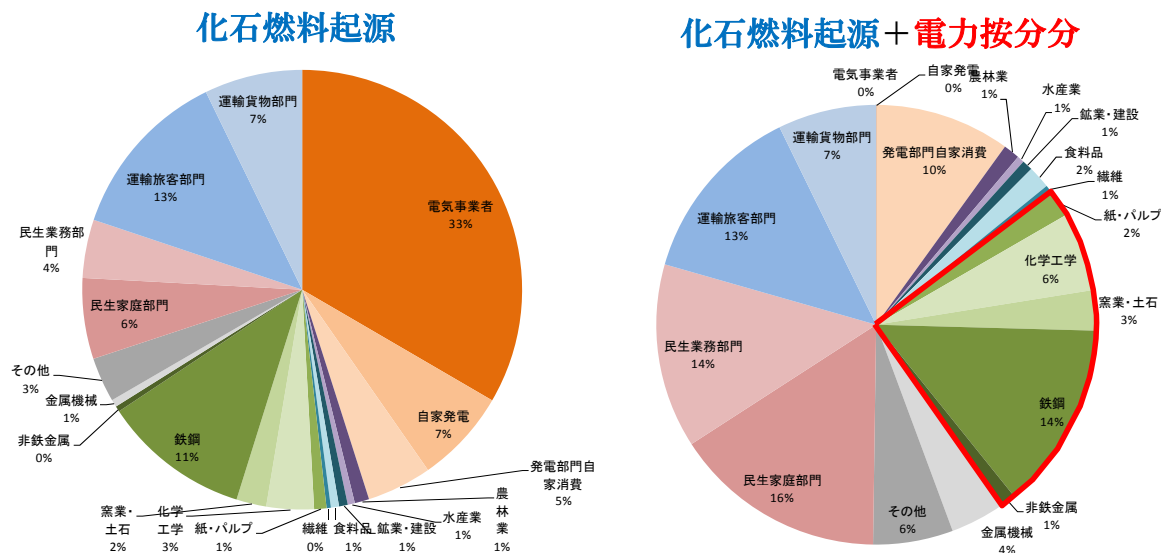
- 経済モデルとの統合
 - エネルギーシステム総コストを最小化することが、社会全体として最善であるとは限らない。
 - エネルギーシステムが支払ったコストは、誰かの収入となっている。
 - エネルギーシステム総コストが増えても、必ずしもお金をドブに捨てることにはならない。
 - 生産関数などを用いたマクロ経済モデルの問題
 - マクロ的生産関数のパラメータ推計の問題
 - 技術選択を明示的に考慮できない。
 - 計算結果からは具体的な対策を読み取ることができない。
 - 質量保存則が保障されない。

工学モデルに関する課題 2

- エネルギー以外の物質バランス
 - 大幅な省エネルギーが促進される一方で、新規設備や新規インフラの大規模建設が想定される場合、具体的な物質バランスの整合性をチェックし、物理的な実現可能性を確認する必要がある。
 - 基礎素材も燃料と同レベルでのモデル化すべき
 - 各種リサイクル技術・材料間代替技術も選択肢として考慮すべき
 - レアメタルや貴金属などの希少資源を使用する新技術の大量普及が想定される場合は、その資源制約を考慮する必要がある。
 - 太陽電池、蓄電池、燃料電池、永久磁石などの原材料
 - 国内バイオマスも希少資源？
 - 物質バランスの考慮は、モデルの多部門化が必須となる。
 - 物質ごとに生産業種や消費業種が異なる。
 - 多部門一般均衡モデルの工学モデル化

参考データ 1

- 日本の化石燃料起源CO₂排出量（2007年）



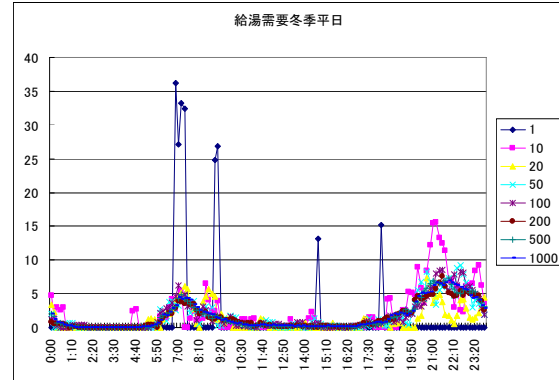
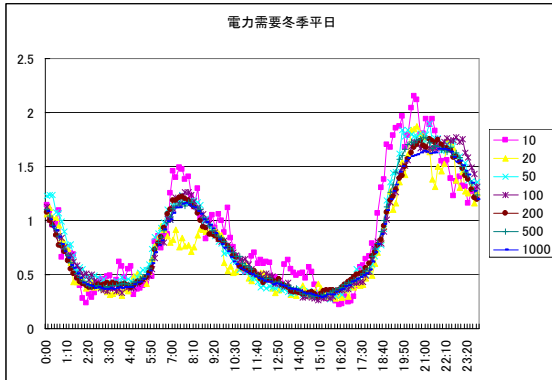
工学モデルに関する課題 3

- 重要性が高まった対策技術の本格的なモデル化
 - 革新的省エネルギー技術
 - 製造業における各種の新生産プロセス
 - 民生・運輸のCGS、EHP、LED、EV
 - 不特定多数の消費者のモデル化
 - 風力・太陽光発電のモデル化
 - 出力の不安定性
 - 核燃料サイクルのモデル化
 - ウラン資源の上限、使用済み燃料の再処理、高速増殖炉の考慮

参考データ 2

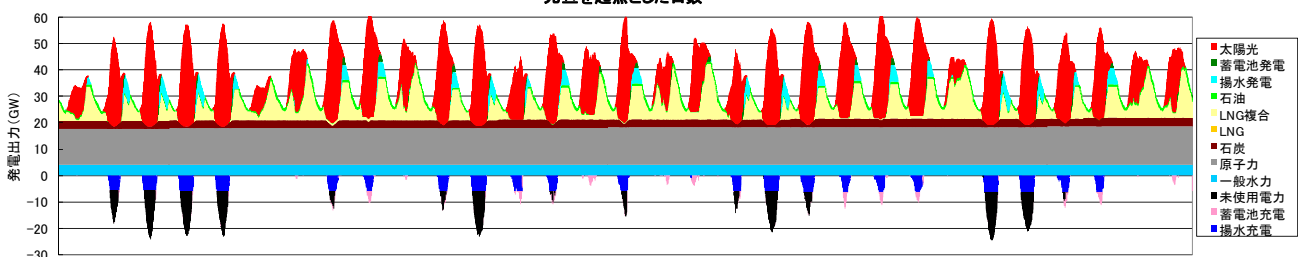
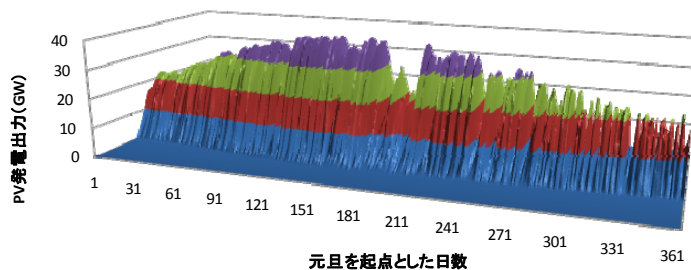
- 家庭の電力・熱負荷の時間変動

- NHK生活時間調査等に基づく乱数シミュレーション
- 適用可能な国や時点が限定される。



参考データ 3

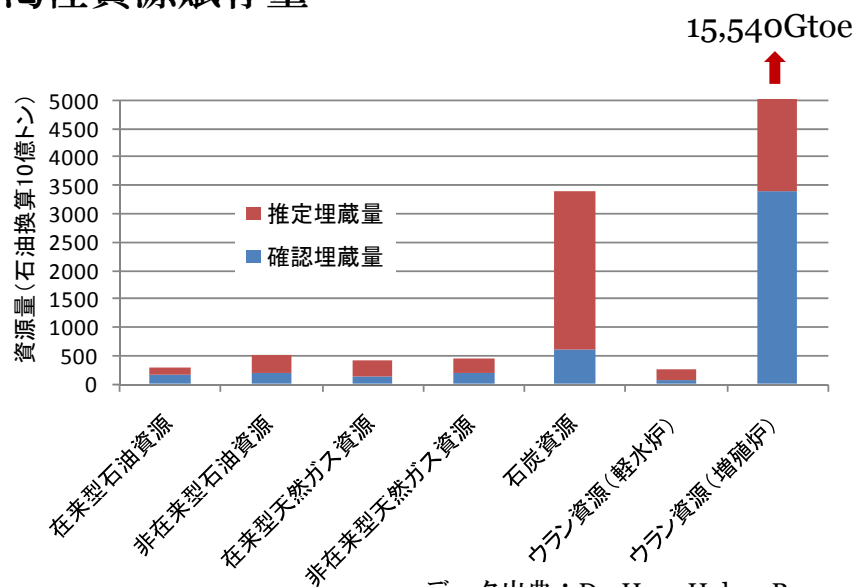
- 太陽光発電の出力変動を考慮した最適電源構成モデル



電力需給の計算結果の例（2007年の5月に対応した箇所）

参考データ 4

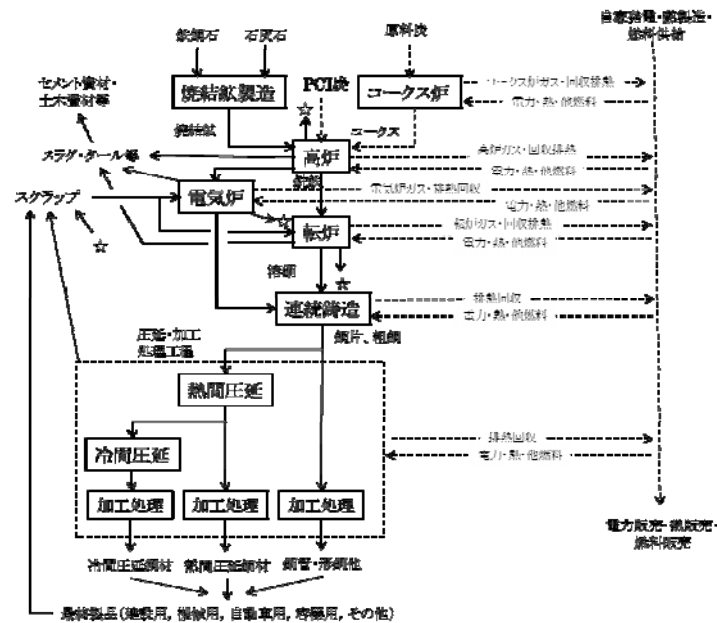
・ 枯渇性資源賦存量



工学モデルの限界克服に向けた取り組み

- ・ 多部門経済モデルへのエネルギーシステムモデルの埋め込み（課題1、課題2）
 - ボトムアップ型の多部門一般均衡モデルの構築
 - ・ 鉄鋼業モデルなどの構築
 - ・ 製造業での各種新技術の考慮
 - ・ 生産関数を用いない定式化手法の構築
- ・ エネルギーシステムモデルの改良（課題3）
 - 地理的・時間的解像度の詳細化
 - ・ 出力が不規則な再生可能エネルギーへの対応
 - 核燃料サイクルの考慮

多部門経済モデルへのエネルギーシステムモデルの埋め込み 鉄鋼業モデルなどの構築



多部門経済モデルへのエネルギーシステムモデルの埋め込み 生産関数を用いない定式化手法の構築

- 主な課題
 - 生産プロセスの技術ベースでの明示的な記述
 - ボトムアップによる演繹的モデルの計算結果と、実社会における統計データ（産業連関表）との整合性の確保
 - 市場における価格要因
 - 設備や労働力による物的制約要因

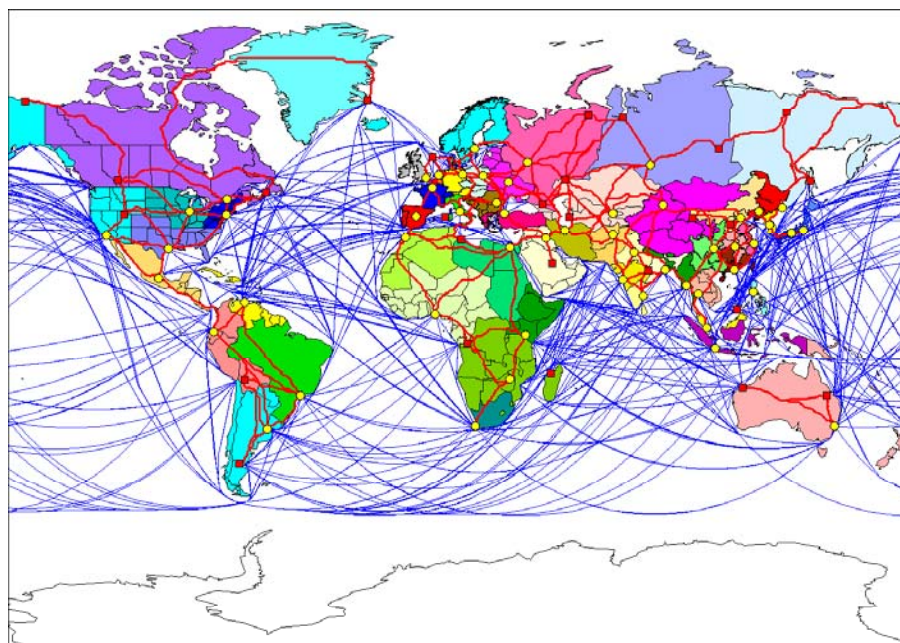
多部門経済モデルへのエネルギーシステムモデルの埋め込み 生産関数を用いない定式化手法の構築

GTAP 7 Data Base

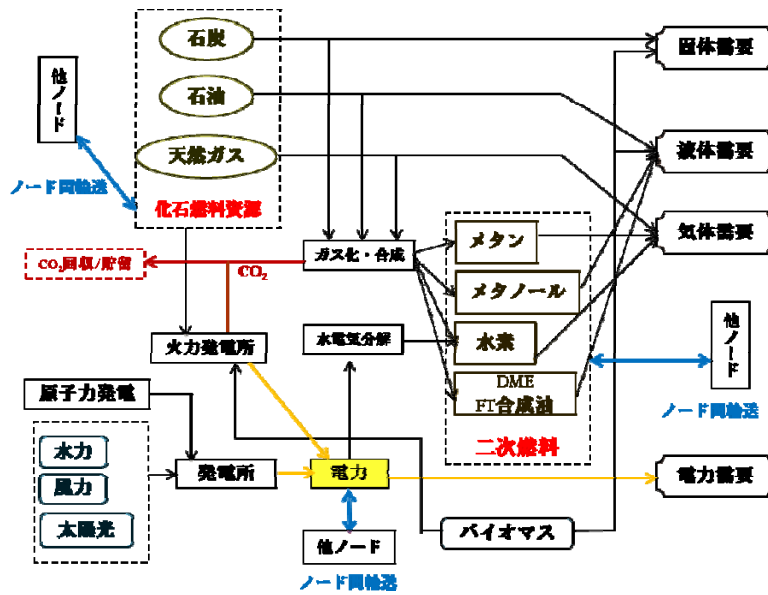
地域分割：113 部門分割：57

No	Code	Description	No	Code	Description	No	Code	Description
1	PDR	Paddy rice	20	OMT	Meat products nec	39	OTN	Transport equipment nec
2	WHT	Wheat	21	VOL	Vegetable oils and fats	40	ELE	Electronic equipment
3	GRO	Cereal grains nec	22	MIL	Dairy products	41	OME	Machinery and equipment nec
4	V.F	Vegetables, fruit, nuts	23	PCR	Processed rice	42	OMF	Manufactures nec
5	OSD	Oil seeds	24	SGR	Sugar	43	ELY	Electricity
6	C.B	Sugar cane, sugar beet	25	OFD	Food products nec	44	GDT	Gas manufacture, distribution
7	PFB	Plant-based fibers	26	B.T	Beverages and tobacco products	45	WTR	Water
8	OCR	Crops nec	27	TEX	Textiles	46	CNS	Construction
9	CTL	Bovine cattle, sheep and goats, horses	28	WAP	Wearing apparel	47	TRD	Trade
10	OAP	Animal products nec	29	LEA	Leather products	48	OTP	Transport nec
11	RMK	Raw milk	30	LUM	Wood products	49	WTP	Water transport
12	WOL	Wool, silk-worm cocoons	31	PPP	Paper products, publishing	50	ATP	Air transport
13	FRS	Forestry	32	P.C	Petroleum, coal products	51	CMN	Communication
14	FSH	Fishing	33	CRP	Chemical, rubber, plastic products	52	OFI	Financial services nec
15	COA	Coal	34	NMM	Mineral products nec	53	ISR	Insurance
16	OIL	Oil	35	I.S	Ferrous metals	54	OBS	Business services nec
17	GAS	Gas	36	NFM	Metals nec	55	ROS	Recreational and other services
18	OMN	Minerals nec	37	FMP	Metal products	56	OSG	Public Administration, Defense, Education, Health
19	CMT	Bovine meat products	38	MVH	Motor vehicles and parts	57	DWE	Dwellings

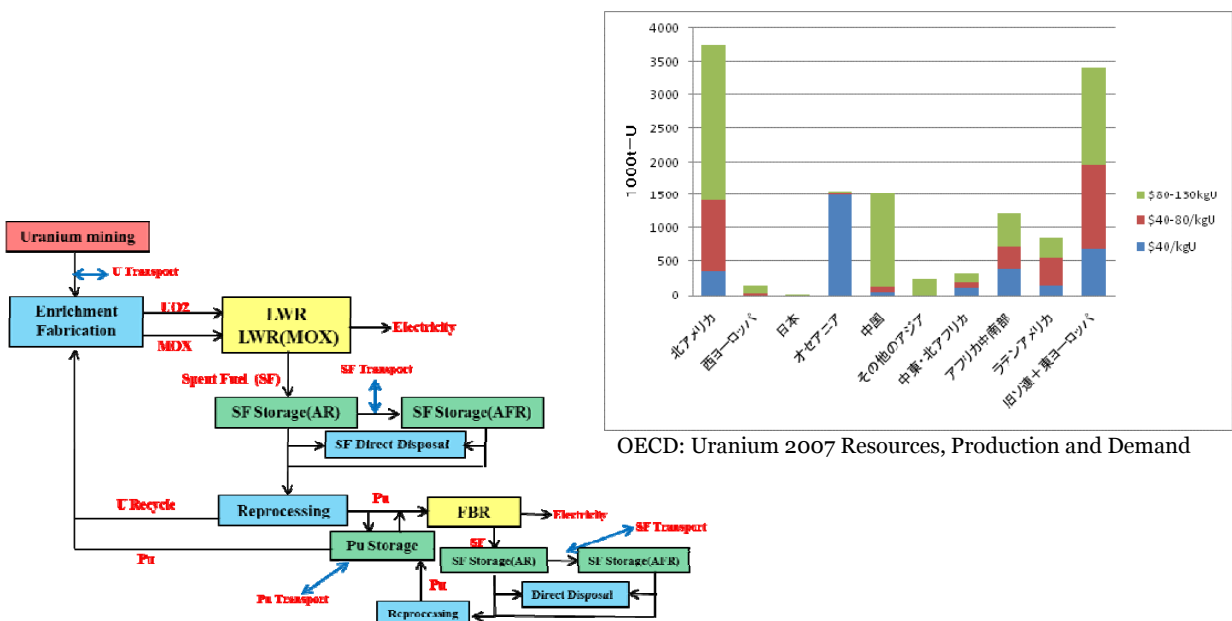
エネルギーシステムモデルの改良 地域分割



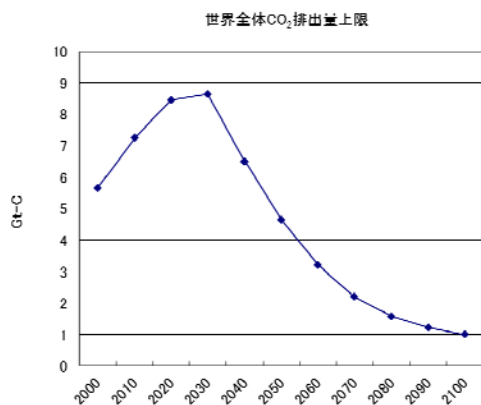
エネルギーシステムモデルの改良 システム構成



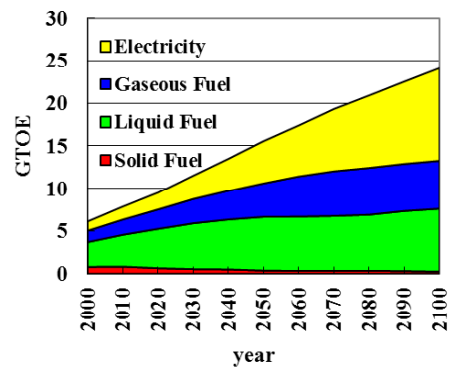
エネルギーシステムモデルの改良 核燃料サイクルモデルとウラン資源



エネルギーシステムモデルの改良 CO₂排出上限と基準エネルギー需要

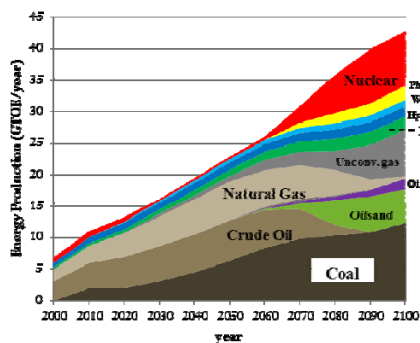


想定した世界全体のCO₂排出上限
(先進国には2000年比80%削減制約も追加)

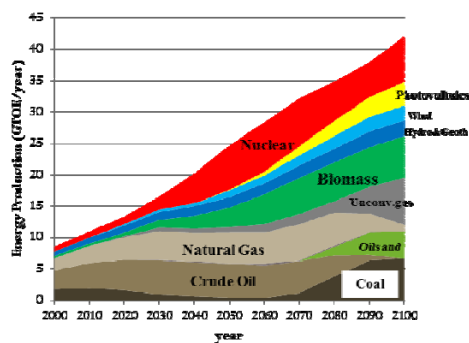


基準エネルギー需要シナリオ
IPCC B2準拠

エネルギーシステムモデルの改良 一次エネルギー生産（世界全体）

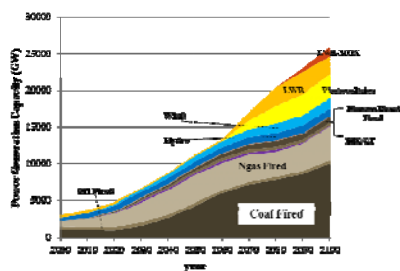


ベースケース

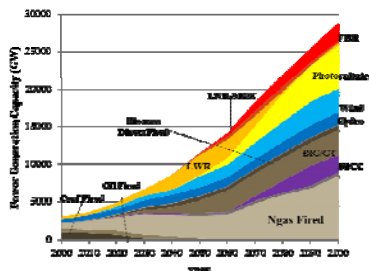


排出制約ケース

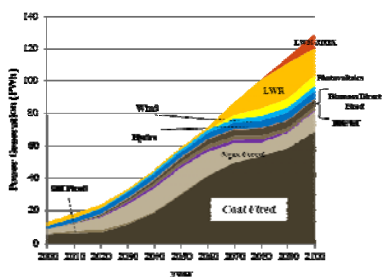
エネルギーシステムモデルの改良 電源構成と発電電力量（世界全体）



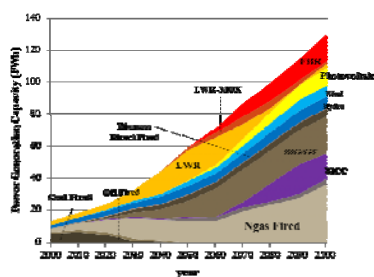
ベースケース発電構成



排出制約ケース発電構成

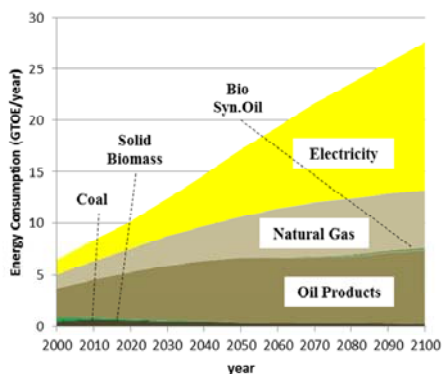


ベースケース発電電力量

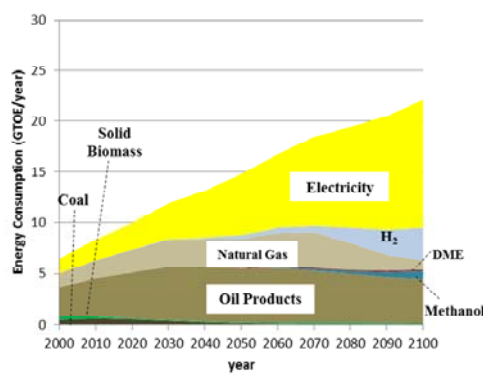


排出制約ケース発電電力量

エネルギーシステムモデルの改良 最終エネルギー消費（世界全体）

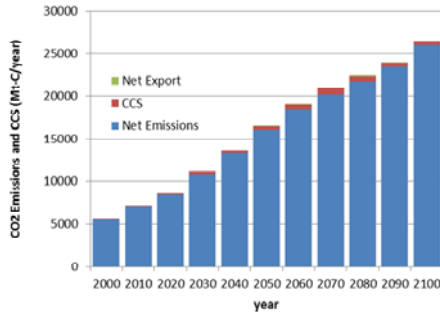


ベースケース

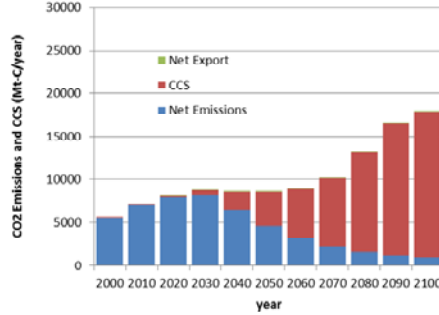


排出制約ケース

エネルギーシステムモデルの改良 CO₂排出量・貯留量（世界全体）



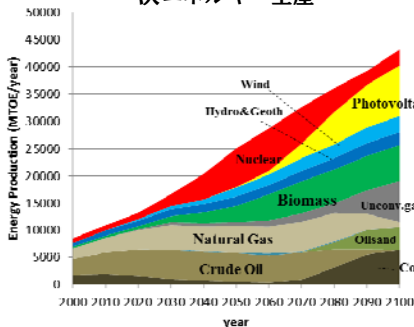
ベースケース



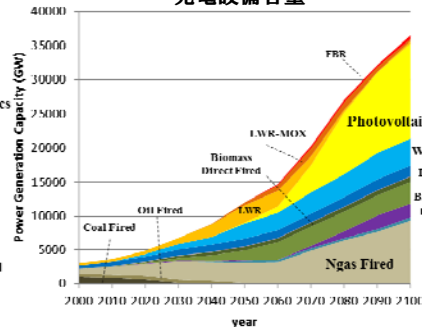
排出制約ケース

エネルギーシステムモデルの改良 PVの系統内上限制約を解消した場合(排出抑制)

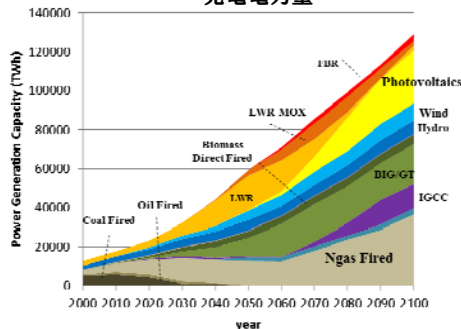
一次エネルギー生産



発電設備容量



発電電力量



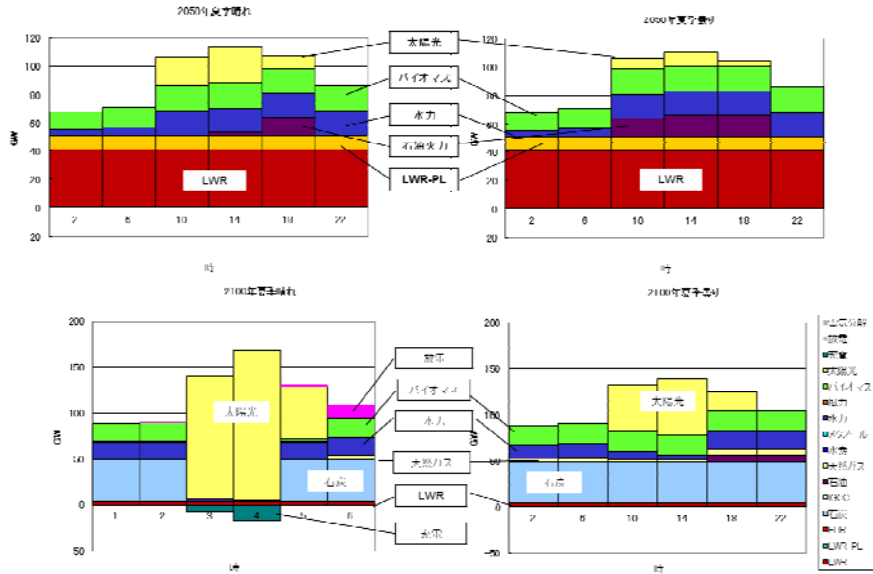
PVの系統内15%上限制約をはずすと、PVの割合が増大し、原子力が減少、FBRの導入はほとんど行われなくなる
(ただしPV単価は現状の2割程度まで低減されると仮定。悪天候時のバックアップ電源のコストは考慮)

発電は、昼間のピーク時はほとんど太陽光発電でまかなわれる
曇りの日の予備電源として、天然ガス火力を多くもっている

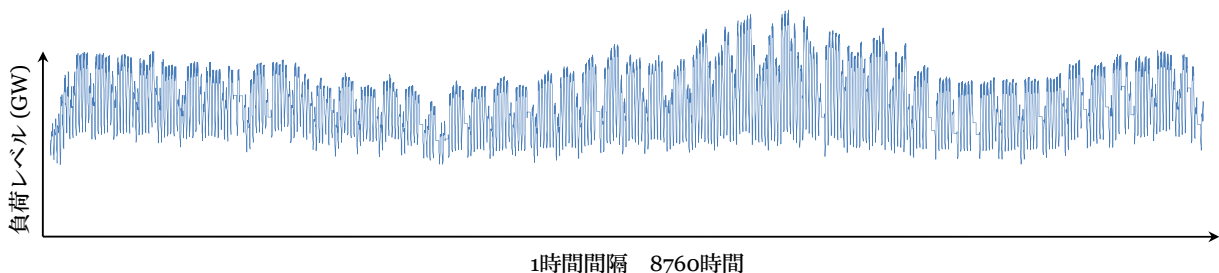
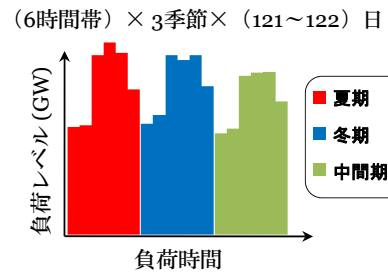
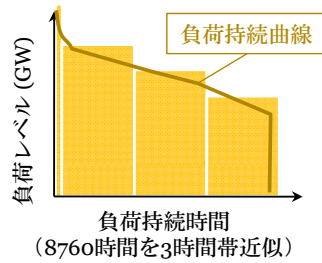
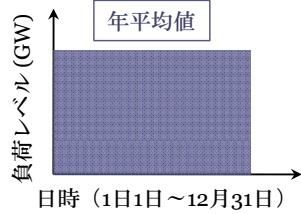
原子力が減少する理由として、負荷追従性能が挙げられる

エネルギーシステムモデルの改良 PVの系統内上限制約を解消した場合(排出抑制)

東京（東日本）の発電の様子



エネルギーシステムモデルの改良 時間的解像度



まとめ

- 多部門経済モデルへのエネルギーシステムモデルの埋め込み
 - 温暖化対策に関する「負担増加論」対「成長戦略論」についてのより詳細イメージの提供
 - ・ 国家財政赤字や国債の議論にも関係してくる。
 - 数学的手法の構築から検討しなくてはならない。
 - ・ 研究室では試作モデルは構築中

- エネルギーシステムモデルの改良について
 - 更なる地理的・時間的解像度の詳細化は必要
 - 民生・運輸部門のモデル化（需要シナリオとも関連）
 - エネルギー供給のオプションの増加



GRAPEによる 長期エネルギー構成の 予測と考察

都筑 和泰

TSUZUKI Kazuhiro*

新藤 紀一

SHINDO Toshikazu**

黒沢 厚志

KUROSAWA Atsushi***

財)エネルギー総合工学研究所

*プロジェクト試験研究部 兼 原子力工学センター 主管研究員

**プロジェクト試験研究部 主管研究員

***プロジェクト試験研究部 部長



GRAPEによる長期エネルギー 構成の予測と考察

(財)エネルギー総合工学研究所
都筑 和泰、新藤 紀一、黒沢 厚志

本発表の内容

- はじめに
- GRAPEについて
- 一次エネルギー構成の計算結果
- Z650を実現するための技術・コスト
- 先進国と途上国の比較
- 技術選択と感度解析
- 社会・政治的観点からの感度解析
- まとめ

はじめに

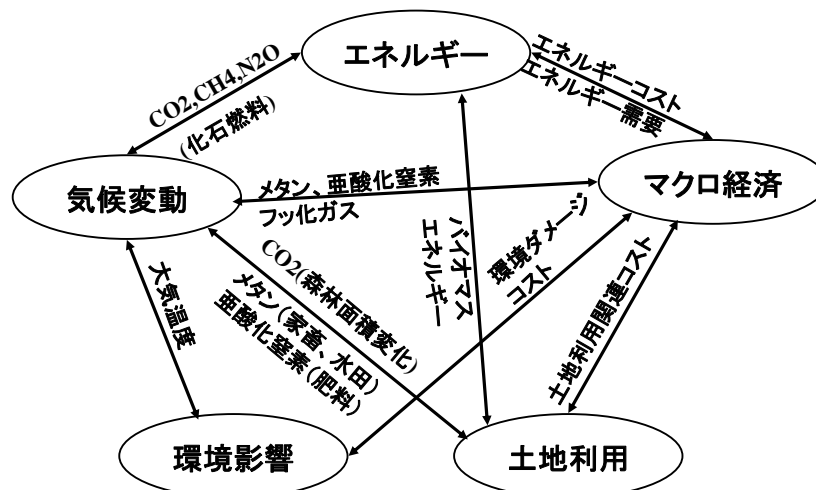
- 目的
 - ・ Z650を実現するための**エネルギー需給構造をモデル計算により試算し、提示する。**
 - ・ 計算結果について感度分析等を実施することにより、当該需給構造が選択された根拠を明らかにし、**実現に向けた技術課題を抽出する。**
- 前提条件・内容
 - ・ CO2制限は**Z650**とする。
 - ・ **発展途上国が着実に発展し、エネルギー消費が急増していく世界を想定する。**
 - ・ **省エネ技術、CO2削減技術**(原子力、再生可能エネ、電気自動車など)が着実に導入されていくことを前提に、その最適配分をGRAPEで計算。

2

1. GRAPEについて

1.1 GRAPEの概要

- GRAPEとは気候変動、エネルギー、マクロ経済、土地利用、環境影響をリンクした統合評価モデル
- Cool Earthの検討や、IPCCに利用された実績あり
- 本検討ではエネルギーモジュールのみを利用



3

1.2 GRAPEエネルギーモジュールフレームワーク

● 基本概念: エネルギーシステム最適化モデル

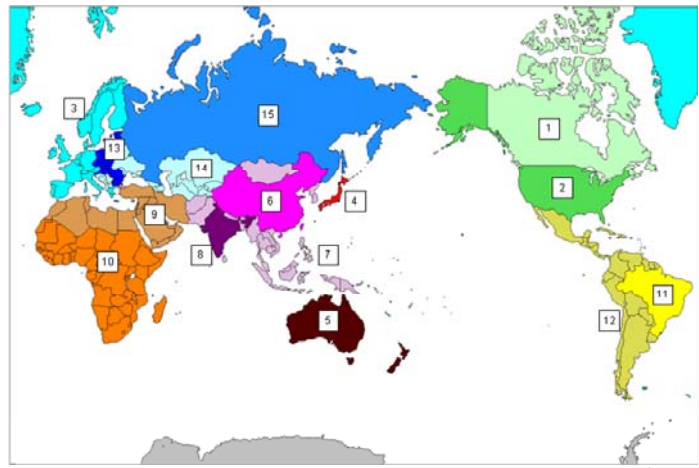
- ・ エネルギー最終需要(またはサービス)についてはシナリオで与える。
- ・ CO2排出制約を条件として与える。
- ・ 世界エネルギーシステムコストを最小化するようにエネ供給、転換構造を求める。(割引率を5%とする)

● 人口・GDP

国連中位推計、IMFなど比較的一般的な推計に基づき設定。

● 地域分割

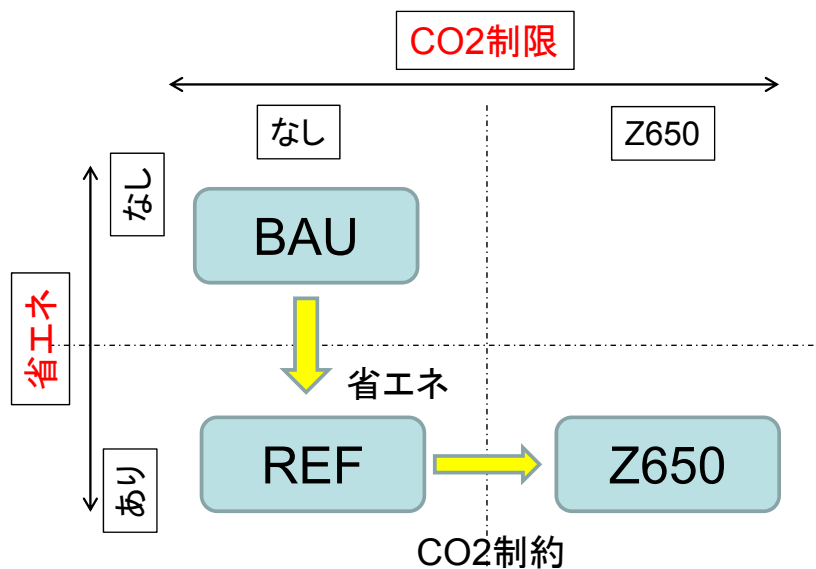
カナダ、アメリカ、西欧、日本、オセアニア、中国、その他東南アジア、インド、中東北アフリカ、サハラ以南アフリカ、ブラジル、その他ラテンアメリカ、中欧、東欧、ロシア



4

1.4 今回検討におけるシナリオ設定

下記のように、BAU、REF、Z650の3通りの主シナリオ設定

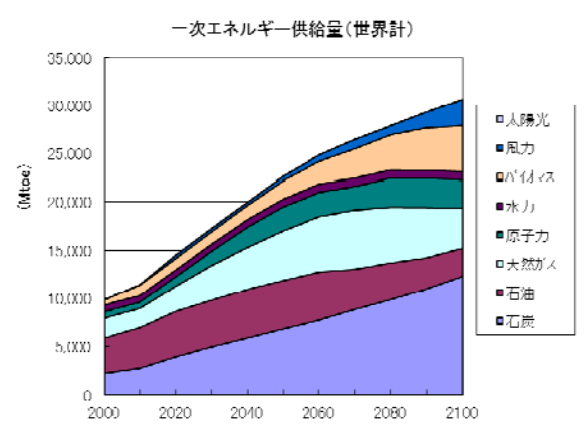


本発表においては、CO2対策に関わる技術・コストを評価するため、主にREFとZ650の比較を実施する。

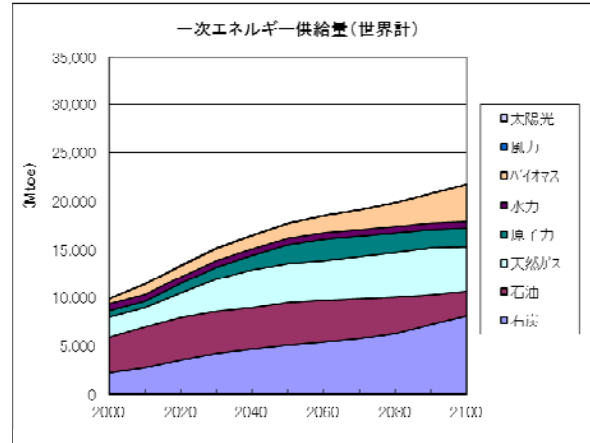
2. 一次エネルギー構成の計算結果

2.1 省エネの効果(BAUとREF)

- ◆ REFはBAUと比べて一次エネルギーが大幅に減(約2/3)
- ◆ いずれのシナリオも化石中心のエネルギー構成であり、構成比に大差はない
- ◆ BAUの方が再生可能のシェアは若干多い(BAUは化石使用量が多いため、化石燃料の採掘コストが上がる)



BAU(省エネなし)

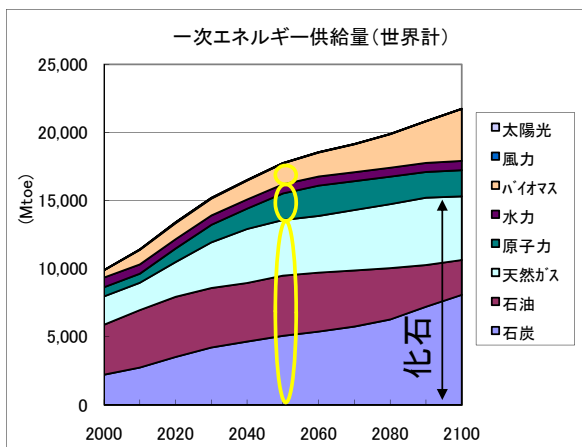


REF(省エネなし)

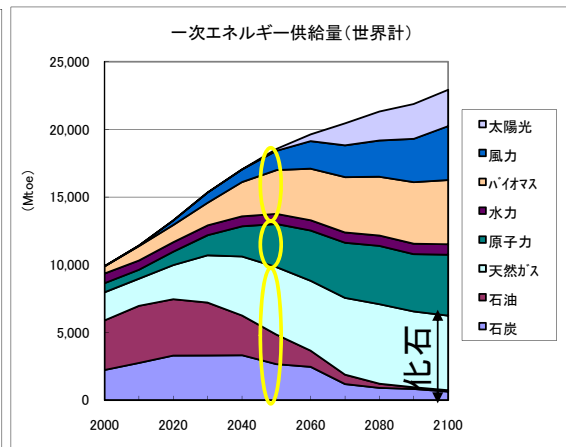
6

2.2 CO2削減(REFとZ650)

- ◆ CO2制約をかけると、原子力、風力、太陽光、バイオが大幅に増加する。
- ◆ 化石のシェアは2030年以降着実に減少し、2050年で約1/2、2100年で約1/4となる。



REF(CO2制限無し)



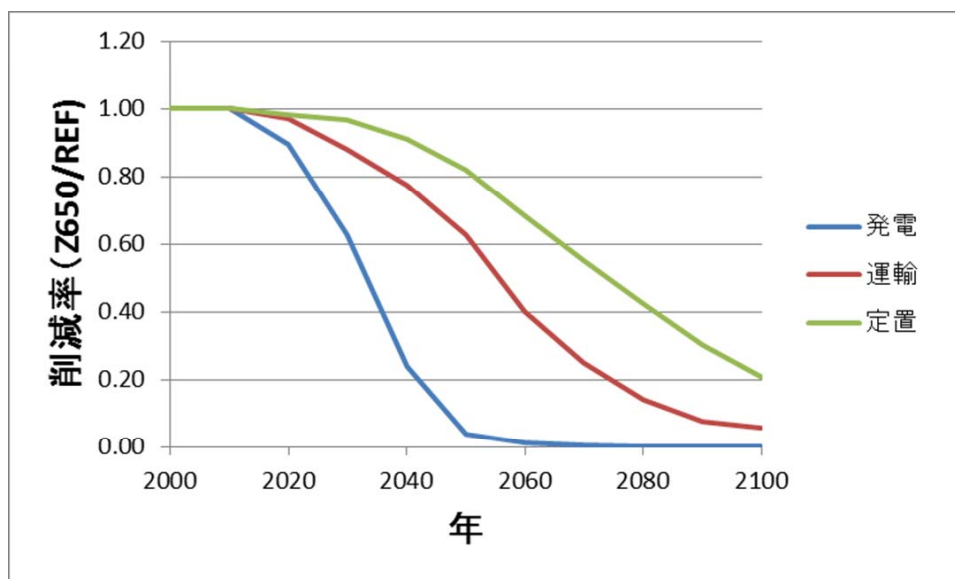
Z650(CO2制限あり)

7

3. Z650を実現するための技術・コスト

3.1 CO2削減技術導入時期(部門ごと)

まず、発電部門のCO2削減が進んでいく。その後、運輸、定置(産業・民生用非電力(主に熱利用))の順に進んでいく。



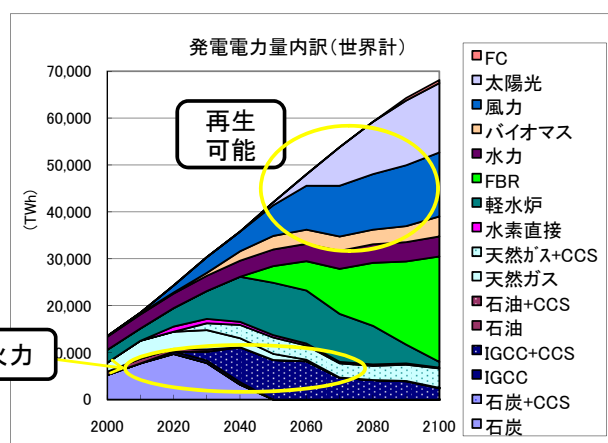
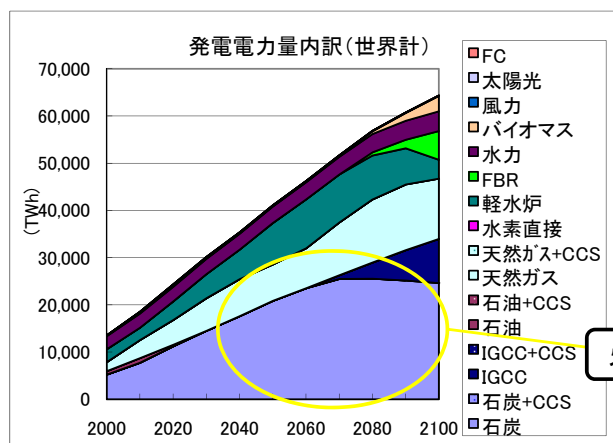
3.2 発電部門のCO2対策

◆ 2050年頃の発電部門のCO2対策

- 原子力、再生可能(主に風力)、CCS火力がほぼ同量ずつ
- 2050年でほぼゼロエミッション達成

◆ 2100年頃までの発電部門のCO2対策

- 軽水炉はFBRリプレイス
- 太陽光・風力大規模導入
- 火力は漸減



REF (CO2制限無し)

Z650 (CO2制限)

3.3 運輸と定置のCO2対策技術

(1) 運輸

◆2050年頃まで

- 自動車の燃費向上とプラグインハイブリッド車の普及

◆2050年～2100年頃まで

- 電気自動車の本格的普及
- トラックやバスの燃料はバイオ燃料で代替

(2) 定置＝産業・民生の非電力需要(主に熱需要)

◆2050年頃まで

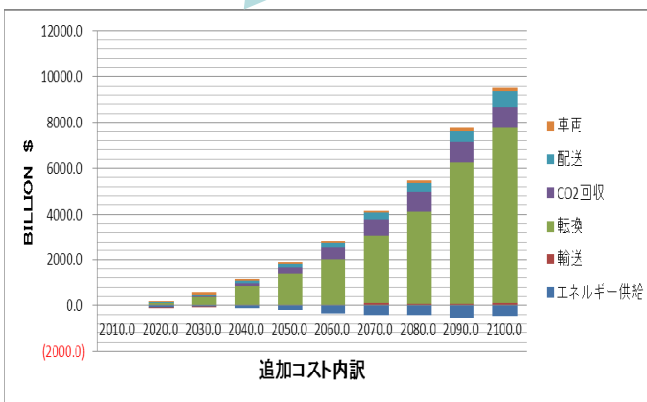
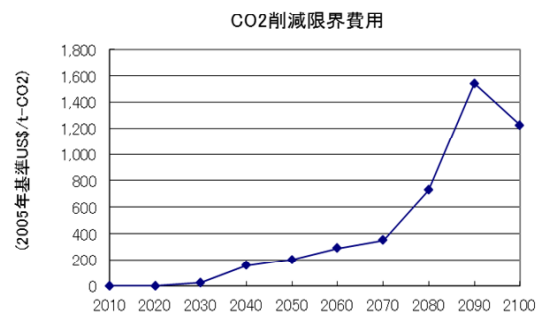
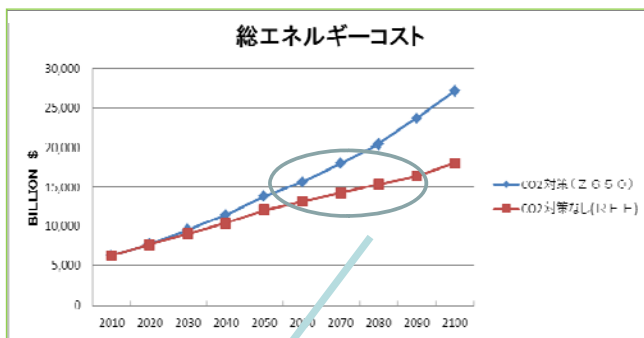
- 石炭、石油のシェア減少、**天然ガスのシェア増**(原単位の差によるCO2排出削減)
- バイオはポテンシャルの大部分を利用
- 産業CCSの導入

◆2050年～2100年頃まで

- ヒートポンプ(HP)と燃料電池、水素燃焼の導入が進展

10

3.4 追加コスト



増加は主に転換部門

- 発電量の増加
- 発電単価等の増加
 - 原子力、CCS付き火力、再生可能などの比率増大
 - 後半は水素製造も

11

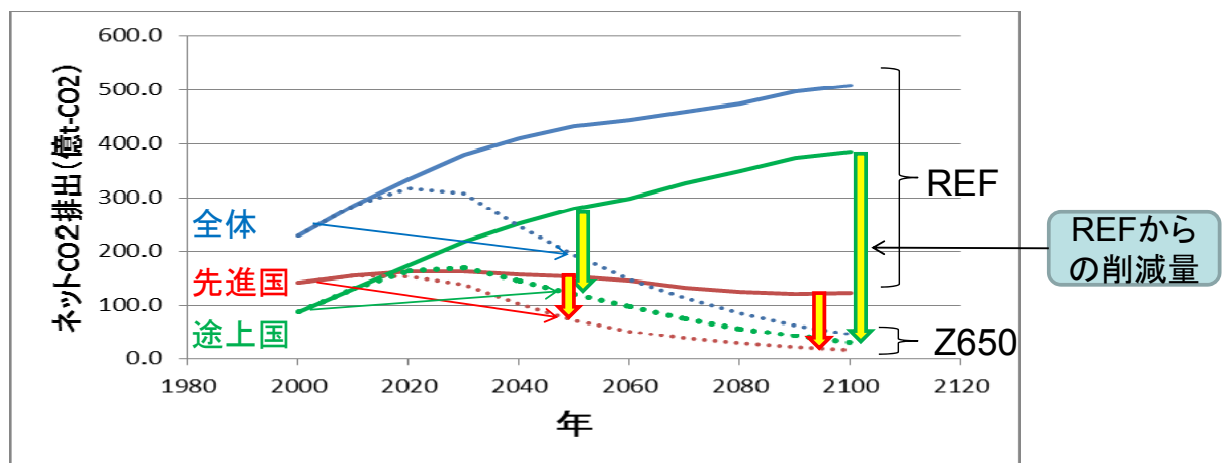
3.5 Z650を実現する技術シナリオのまとめ

- Z650は、2050年くらいまでは、発電部門を中心とした**比較的现实性の高い技術の組み合わせで実現可能**
 - 発電：原子力、風力、CCS火力（概ね同量ずつ導入されればゼロエミッション達成）
 - 運輸：燃費向上、プラグインハイブリッド車の導入（REFに対して約40%減）
 - 定置：CO2排出原単位が低い天然ガスの利用増（REFに対して約20%減）
- 追加のエネルギーコストは、**2050年時点ではCO2制限がない場合（REF）の14%程度に抑えられる**。このコストは、省エネによるエネルギーコスト削減分と同程度であり、現実的な範囲に抑えられているといえる。
- **2050年以降については、FBR、太陽光、バイオエネルギーなどが大規模に導入されることにより、解は得られている**。ただし、**技術的・経済的に不確実性が大きい**。

12

4. 先進国と途上国の比較

4.1 地域別CO2削減量および削減率



2050年の状況

- CO2排出量：世界で25%減、先進国50%減、途上国10%増
- REFからの削減率：途上国、先進国とも約50%
- REFからの削減量：途上国は先進国の約1.5倍

注 先進国:AnnexI、途上国:non-AnnexIと定義

13

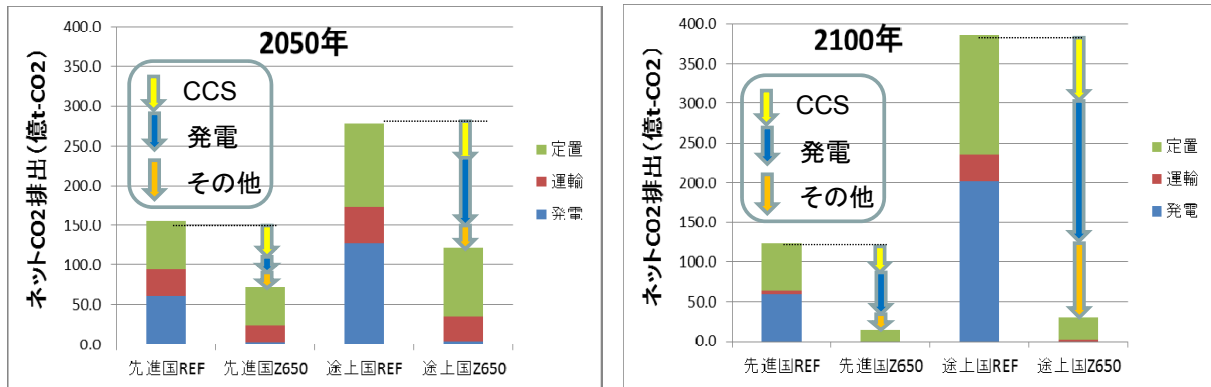
4. 2 地域別削減量・削減技術

◆ 2050年頃

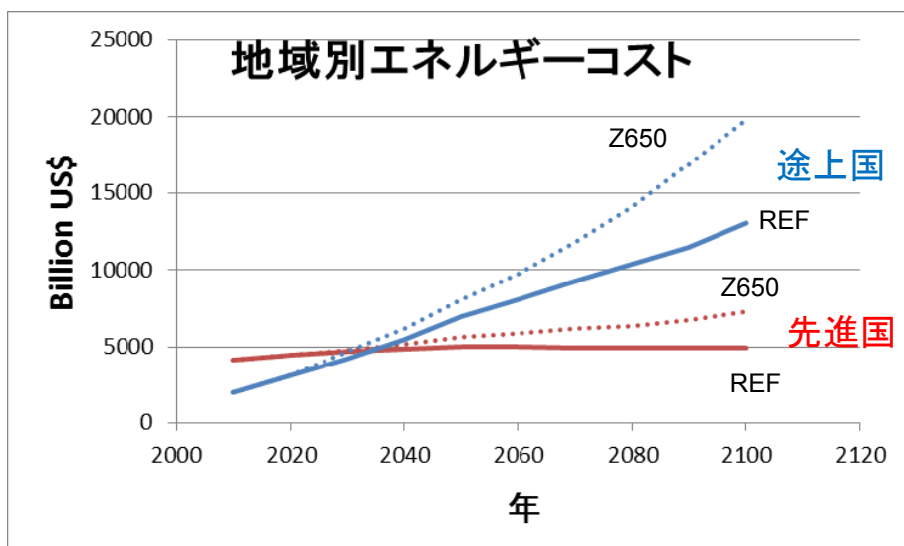
- 途上国は、電力需要が大きく伸び、発電所の新設が多数あるため、原子力発電や風力発電導入によるCO2削減効果が相対的に大きい。

◆ 2100年頃

- 先進国と途上国では、絶対量以外に大きな差はない。



4. 3. 地域別コスト負担



- 2030年以降は途上国の方がエネルギーコスト、CO2対策の追加コストとも先進国より大きくなっている。
 - 主要な削減技術(∞削減単価)はほぼ同一。
 - エネルギー消費量が多い分途上国のコストが大きい。

世界協調したバランスのよい取り組みが必要

5. 技術選択と感度解析

5.1 検討方針について

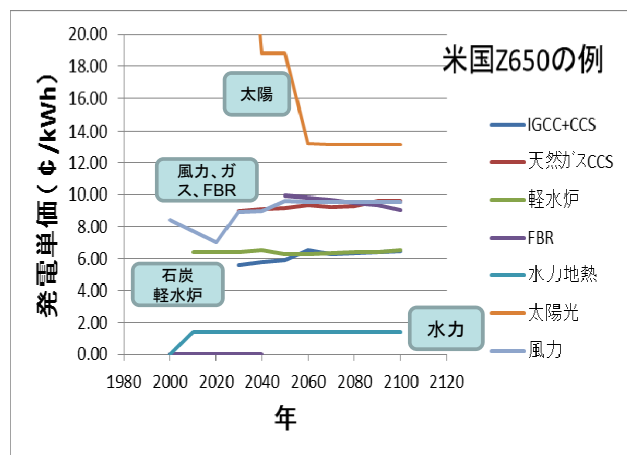
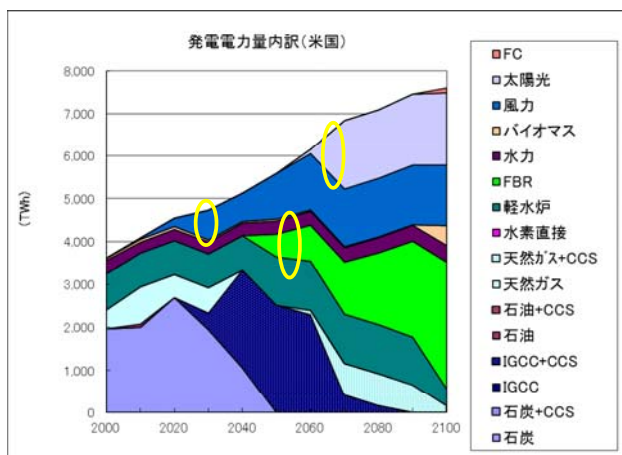
- 最適化の基本的な考え方
 - CO2制約がなければ、低コストの技術が優先的に選択される。
 - CO2制約がかけられた場合、CO2を削減する目的で割高の技術を選択することになる。この場合「CO2削減単価＝追加コスト/CO2削減量」が低い技術が優先的に選択される。
 - 各年度における単純なコスト比較だけではなく、2150年までのすべてのエネルギー需給構成が考慮される。
- 分析の方針
 - 計算結果と、前提条件との対応整理
 - 高いのに選択されている技術、安いのに入っていない技術を抽出し、その理由を分析することで、技術普及の分岐点を明らかにする。
 - 感度解析
 - 上記で抽出した重要な技術オプションの制約条件を変更し、エネルギー需給構造を再計算し、どのような変化が起こるかを解析¹⁶する。

5.2 発電コストと技術選択(例示)

コスト以外の制約要因により導入が制限される場合がある

- 水力は低単価である地域もあるが、環境要因を考慮した伸び率制約を仮定しているため、導入はそれほど進まない。
- 2030年頃の風力コストはまだ高いが、CO2削減のため導入。
- 2060年以降、かなり割高である太陽光が大量に導入。
- FBR発電も高価であるが、2050年以降導入。

※なお、上記はいずれもCO2ネット排出0であり削減効果は同等である。



5.3 感度解析と結果の分析

- 感度解析の内容
 - 再生可能上限増(シェア上限30%→50%)
 - バイオポテンシャル増(4GTOE→9GTOE)
 - CCSポテンシャル増(409Gt-C→818Gt-C)
- 結果と解釈
 - 標準ケースでは、CO₂累積貯留量がポテンシャル上限に達しているため、若干のコスト高であれば、太陽光、風力、原子力の方が、火力+CCSより優先される。
 - 上記感度解析は、いずれもCO₂貯留ポテンシャルに対して、相対的に発生量を小さくするものであり、いずれのケースにおいても2050年前後の火力発電(CCSつき)が増加した。
 - 再生可能(太陽光、風力)の導入開始時期は、コスト低下と上記全体バランスに強く依存する。
 - 価格がある程度以下になれば、導入ポテンシャル(シェア上限を含む)の設定値を上限として急速に導入が進む。

18

5.4 感度解析に関するまとめ

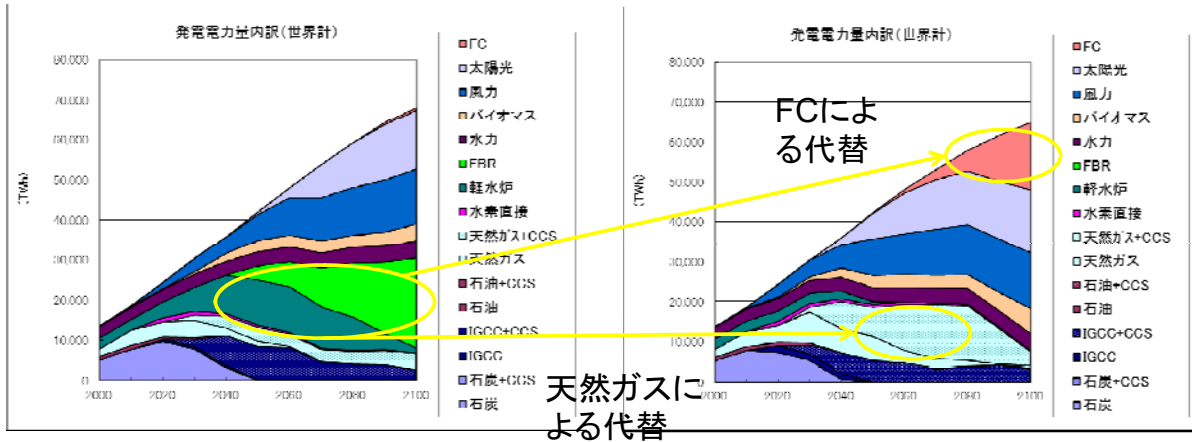
- Z650ケースを中心にした感度解析から、CO₂制約のもとでは、以下の技術オプションの組み合わせが重要であることがわかった。
 - 再生可能エネルギー導入の促進
 - 社会合意のもとでの軽水炉導入促進と、適切なタイミングでのFBRサイクル確立
 - 天然ガスの導入促進
 - CO₂貯留ポテンシャルの評価と量的確保
- 計算結果に影響を与え得る下記パラメータについては、今後も慎重に値を設定していく必要がある
 - CO₂貯留のポテンシャル
 - 太陽光・風力のポテンシャル
 - バイオエネルギーポテンシャル。
 - 原子力の動向とFBRサイクル移行の方

19

6. 社会・政治的観点からの感度解析

(1) 原子力フェーズアウト(2020年以降新設なし)

- 2050年頃までは主に天然ガス火力で代替
- 2080年以降火力の寄与急減、FCの大規模な導入が進展。



(2) 先進国2050年80%減

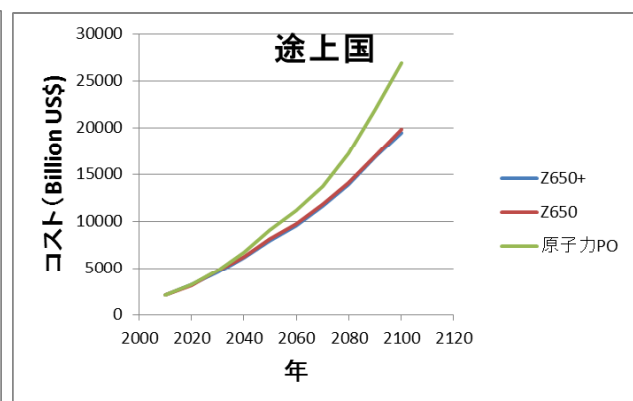
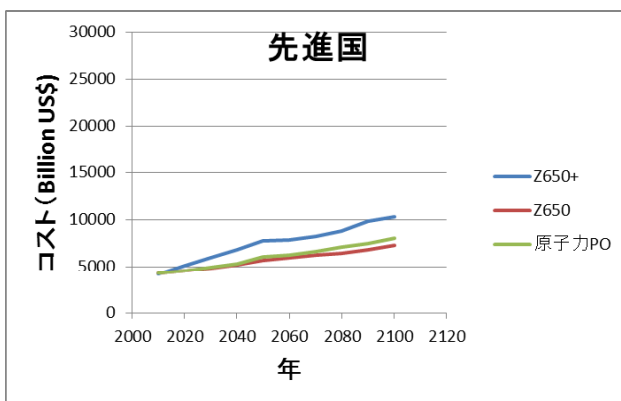
- 2040年以降、先進国において、発電、定置、運輸すべてにおいて水素の利用が大幅に進展
- 水素は二次エネルギーであり、水素製造コスト分だけ割高である。大量に使用すると大きなコストアップとなる。

20

6. 社会・政治的観点からの感度解析(つづき)

- 先進国80%減(Z650+)は先進国のみ大幅なコストアップ
- 原子力フェーズアウト(原子力PO)は主に途上国がコストアップ

いずれの制約も対応不能ではないが、温暖化対策の社会的コストが増加する可能性あり



21

7. まとめ

- Z650は、2050年くらいまでは、**省エネを実施した上で**、発電部門を中心とした**比較的实现性の高いCO2削減技術**を導入することにより、**現実的なコストで実現可能**であることを示した。
 - 発電:原子力、風力、CCS火力(REFに対して約99%減)
 - 運輸:燃費向上、プラグインハイブリッド車の導入(REFに対して約40%減)
 - 定置:CO2排出原単位が低い天然ガスの利用増(REFに対して約20%減)
- 途上国と先進国とで技術的に大きな偏りがない解を提示した。
- Z650ケースを中心にした感度解析から、CO2制約のもとでは、以下の技術オプションの組み合わせが重要であることがわかった。これらについては、引き続き慎重なパラメータ設定が必要である。
 - 再生可能エネルギー導入の促進
 - 社会合意のもとでの軽水炉導入促進と、適切なタイミングでのFBRサイクル確立
 - 天然ガスの導入促進
 - CO2貯留ポテンシャルの評価と量的確保
- 社会的制約として、原子力フェーズアウトや、先進国2050年CO2半減を仮定した場合には、世界的にみたエネルギー部門の社会コストが増加する。²²

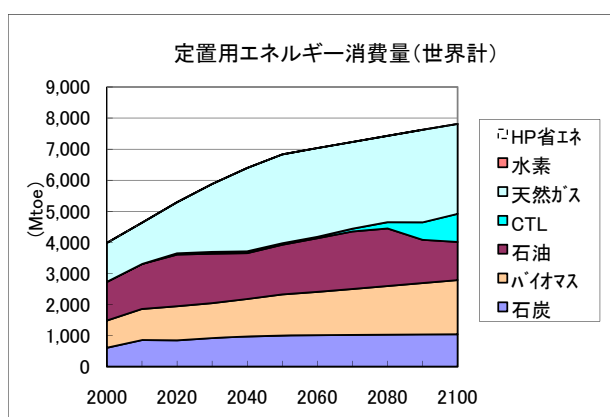
ご静聴ありがとうございました

4. 2. 主要国・地域の2050年CO2削減率

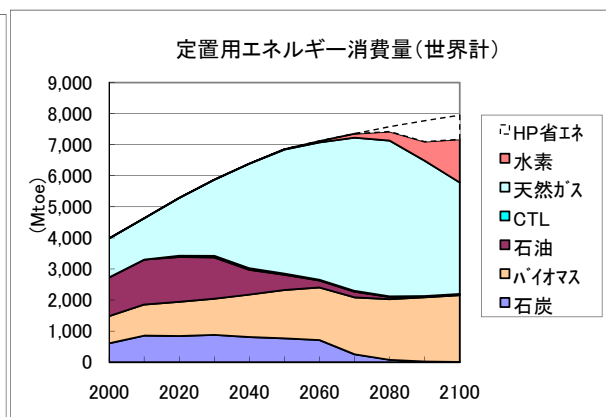
国・地域	2000年比	1990年比
日本	0.53	0.61
米国	0.49	0.58
西欧	0.45	0.47
中国	1.04	1.41
インド	1.71	2.87
ブラジル	0.67	1.07
他ラテン	0.75	0.99
東南アジア	1.83	3.21

2. 主要な計算結果(3) 定置部門のCO2対策

- ◆ 2050年頃までの定置部門のCO2対策
 - 石炭、石油の比率減少、天然ガス比の率増(原単位の差を活用)
 - バイオはCO2制限なしでもほぼ最大限導入(残渣の直接燃焼)
 - 産業CCSは導入(ただし25%上限)
- ◆ 2100年頃までの定置部門のCO2対策
 - ヒートポンプ(HP)と燃料電池が大規模に導入
 - バイオも増加



CO2制限無し

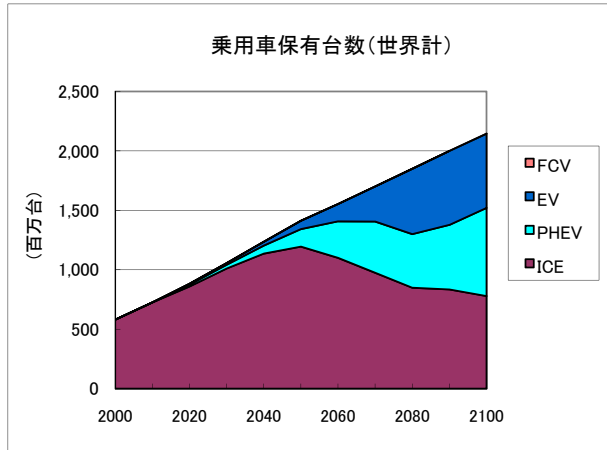


CO2制限(Z650)

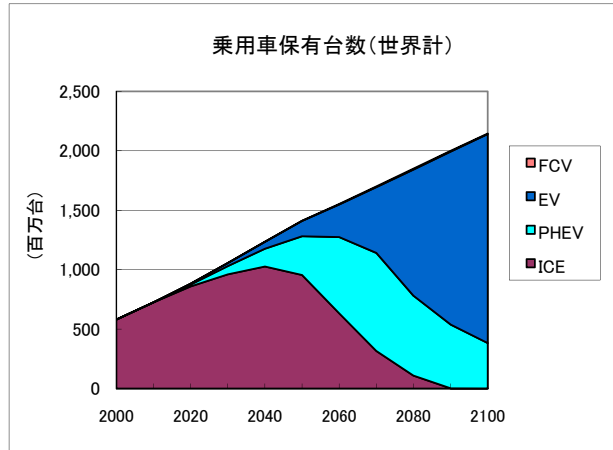
2. 主要な計算結果(3)

運輸部門のCO2対策①乗用車

- ◆ 2050年頃までの運輸部門のCO2対策
 - 内燃機関から、PHEVを経てEVに至る変化が大幅に前倒し
 - 2050年頃の内燃機関の比率は80%から50%に低下
- ◆ 2100年頃までの運輸部門のCO2対策
 - ほぼ100%電気自動車に移行



CO2制限無し



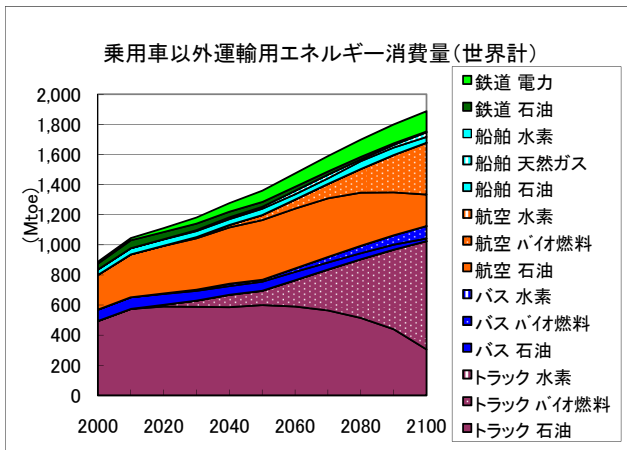
CO2制限(Z650)

26

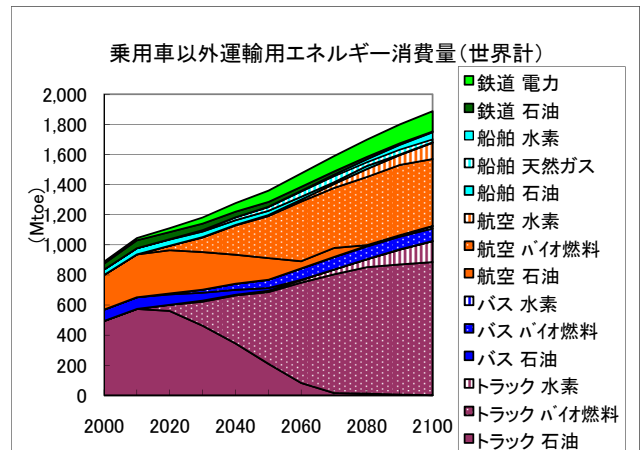
2. 主要な計算結果(4)

運輸部門のCO2対策②乗用車以外

- ◆ 2050年頃までの運輸部門のCO2対策
 - トラックやバスにバイオ燃料の導入が進み始める
- ◆ 2100年頃までの運輸部門のCO2対策
 - 大部分はバイオ燃料となり一部FCVも利用される。



CO2制限無し

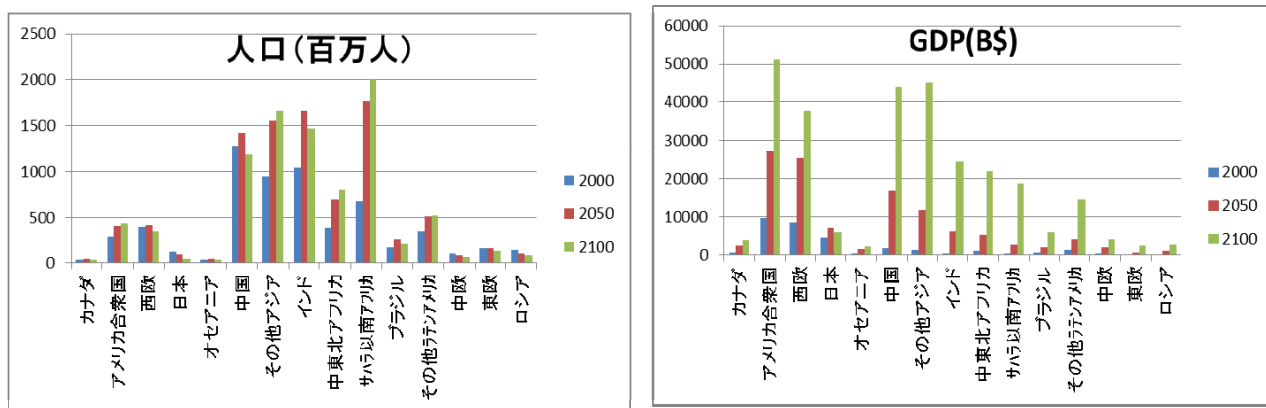


CO2制限(Z650)

27

上記に国際輸送は含まない

1.3 人口、GDPの設定(参考)

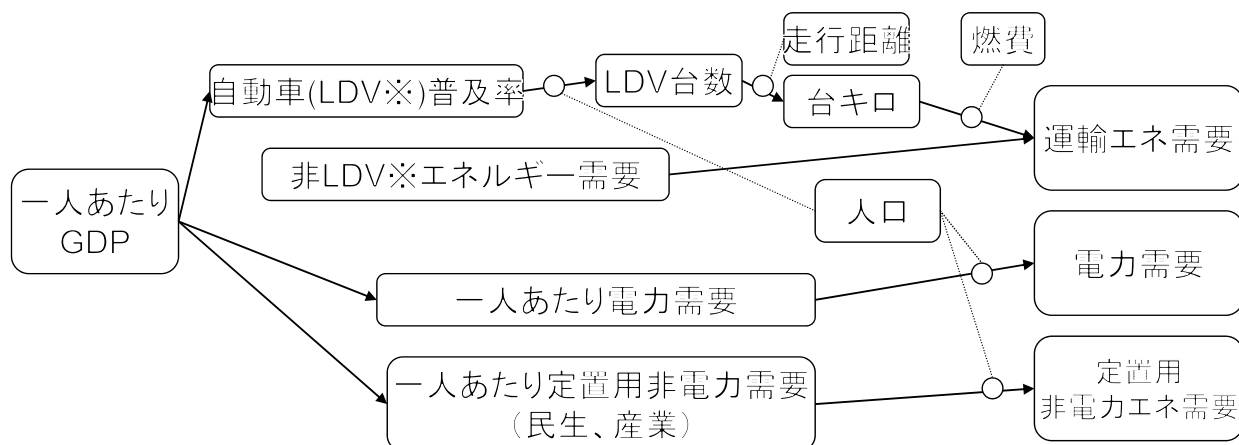


人口の設定方法: 2050年までは国連2007年のworld population prospectsの5年間隔データより集計。2050年以降は国連中位推計予測。中間年は年率一定と仮定して補間。

GDPの設定方法: 2000年はIMF(WEO2008)の実績より集計。2030年まではIMF伸び率より推定。2040年以降はWEO2007等のデータを考慮して独自に設定した。

3.4 最終需要シナリオの考え方

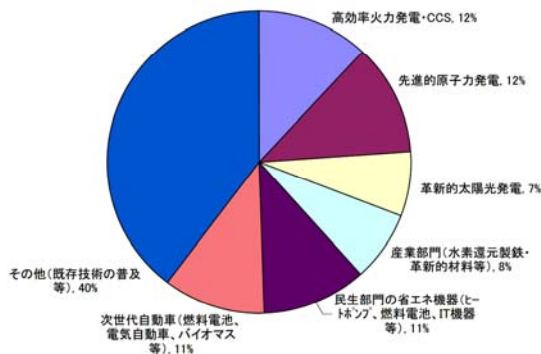
- 人口は所与
- グローバル化により世界各地の一人あたりGDP格差は縮小、一人あたりGDPは徐々に収束すると想定(所与)
- 一人あたりエネルギー(またはエネルギーサービス)需要は一人あたりGDPの関数として与える。運輸の乗用車以外(トラック、バス、航空機、船舶、電車; 非LDV)エネルギー需要は所与



※ LDV:Light Duty Vehicle

3.2 エネルギー起源CO2の削減

Cool Earth エネルギー革新技術計画



革新技術大幅導入なしで
世界CO2半減は達成不可

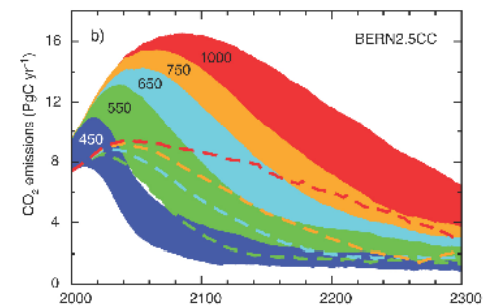
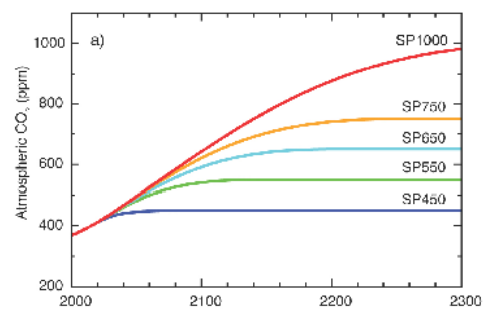


30

2. CO2排出のオーバーシュートシナリオ

2.1 CO2制限シナリオの概況:

- ① 気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)の報告によると、温室効果ガスによる温度上昇を産業革命前の2°C程度以下にするためには、大気中のCO2濃度を450~550ppm程度に抑える必要があり、そのためには2050年でCO2を約半減にする必要がある。
- ② IEA Energy Technology Perspectives(2010)においては、世界のCO₂排出量を2005年比で半減し、今世紀末までの気温を2~3度の上昇にとどめようとする「ブルーマップシナリオ」が提示された。

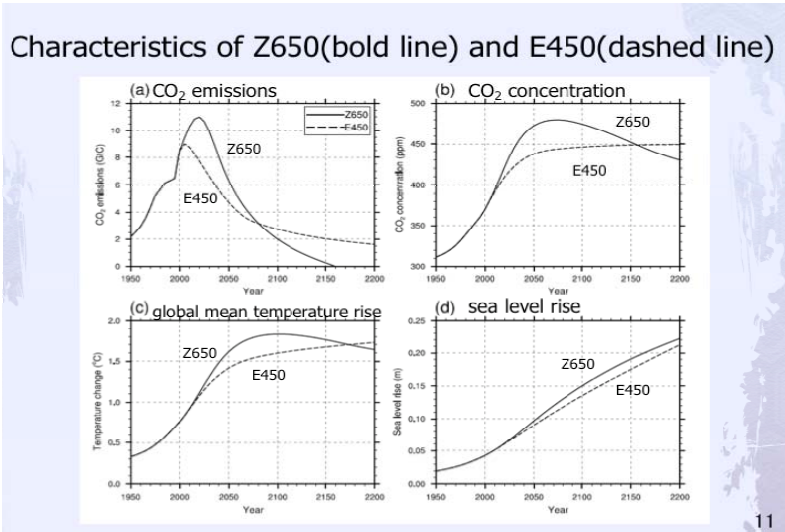


IPCC報告より

31

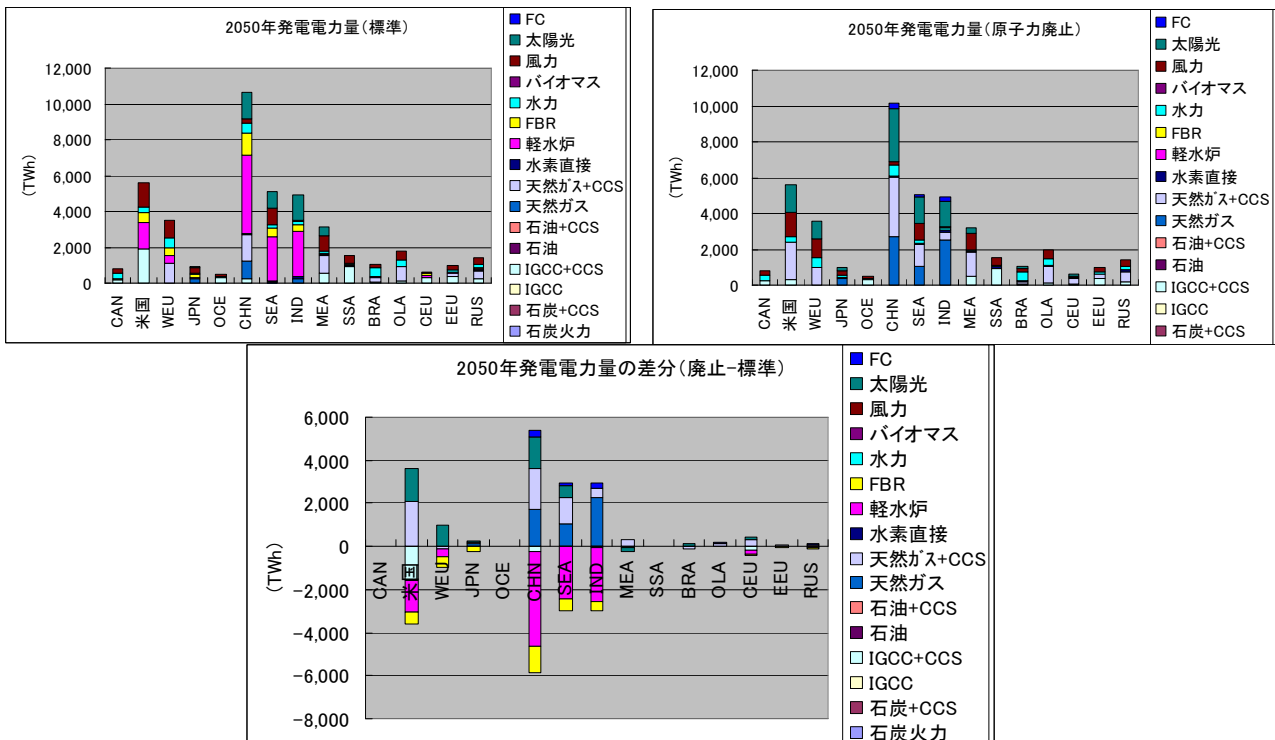
2.2 より現実的なシナリオ : Z650

- ① 温度上昇は2100年で2°C以内とする。
- ② 2030年あたりまでの排出増は許容。
- ③ 21世紀後半から、より厳しいCO2制限を実施することで、排出の積分量を450シナリオと等価にする。



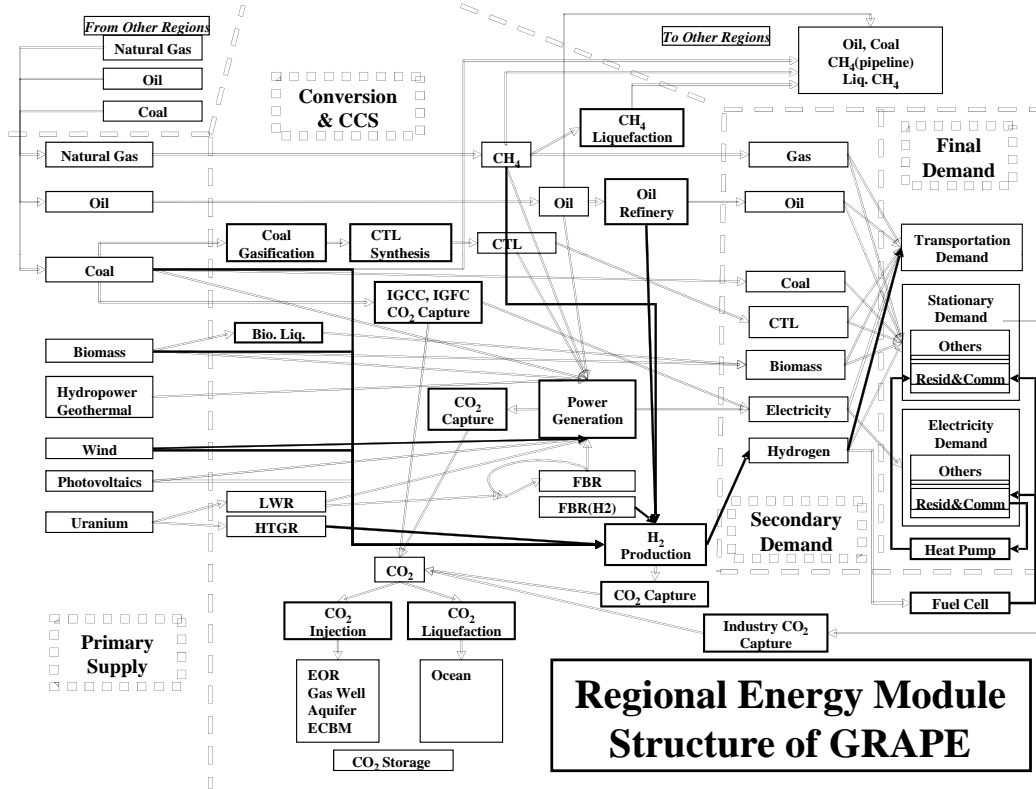
T.Matsuno, K.Maruyama, J.Tsutsui "Stabilization of the CO₂ concentration via zero-emission in the next century- Possibility of new emission pathway to stable climate" 26 Nov.2009 #1 CIGS Symposium
 来世紀ゼロエミッションによるCO₂濃度安定化-気候安定化への新しい排出シナリオの可能性-
 松野太郎 丸山康樹 筒井純 #1 Canon Institute for Global Studies Symposium 27 October 2009

発電電力量地域分布(2050年、Z650)



原子力の規模が大きいのは米、欧、中、印、東南アジア
 原子力の代替は天然ガスと太陽光
 CCSなしの天然ガスが有意な量存在 → 他部門のCO2対策に影響

エネルギー需給フロー



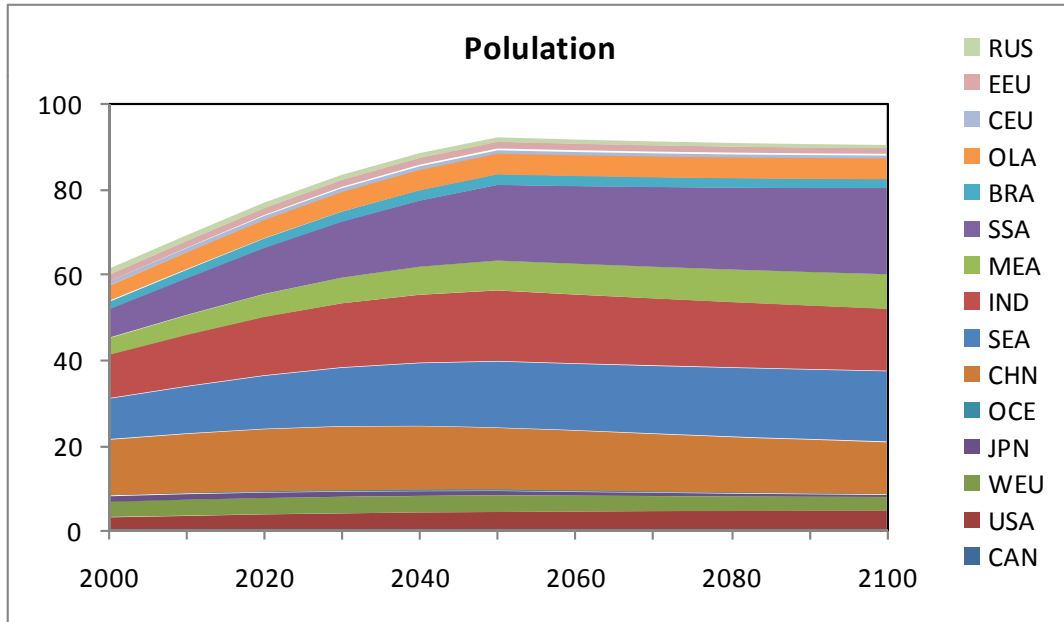
エネルギー需要

■ 需要区分の考え方

	電力	非電力
定置(産業・民生)		
運輸LDV		
運輸LDV以外 (トラック、バス、船舶、航空機、鉄道に細分化)	(電力は 鉄道のみ)	

人口

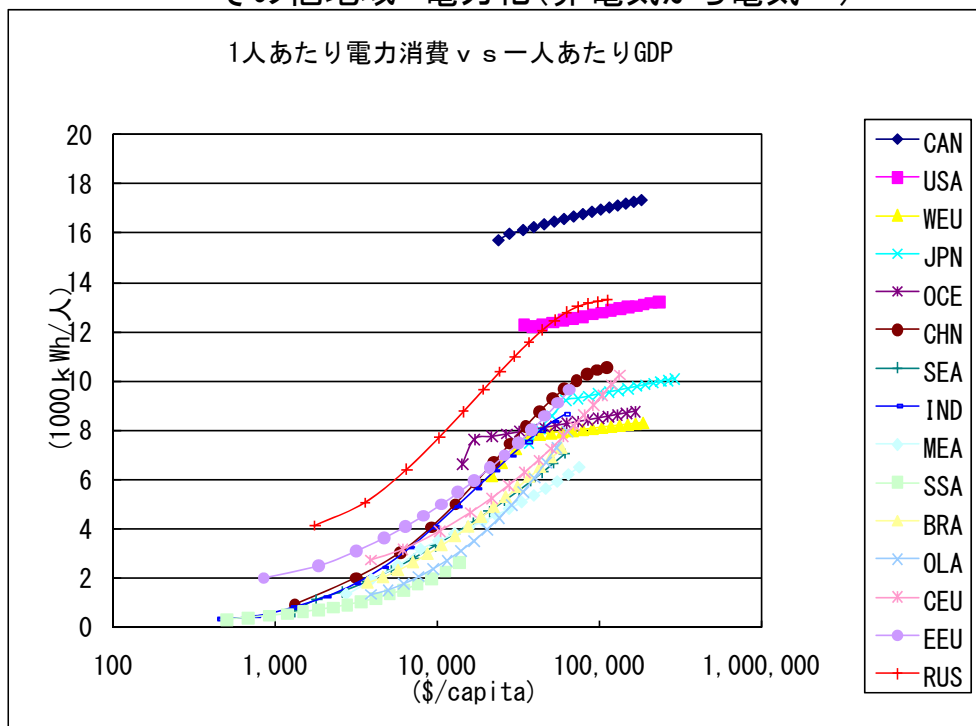
- ◆ 世界(日本以外) 国連中位推計準拠
- ◆ 日本 社会保障人口問題研究所中位推計準拠
- ◆ 世界人口は2050年頃約90億人で安定化



36

電力需要想定(省エネシナリオ)

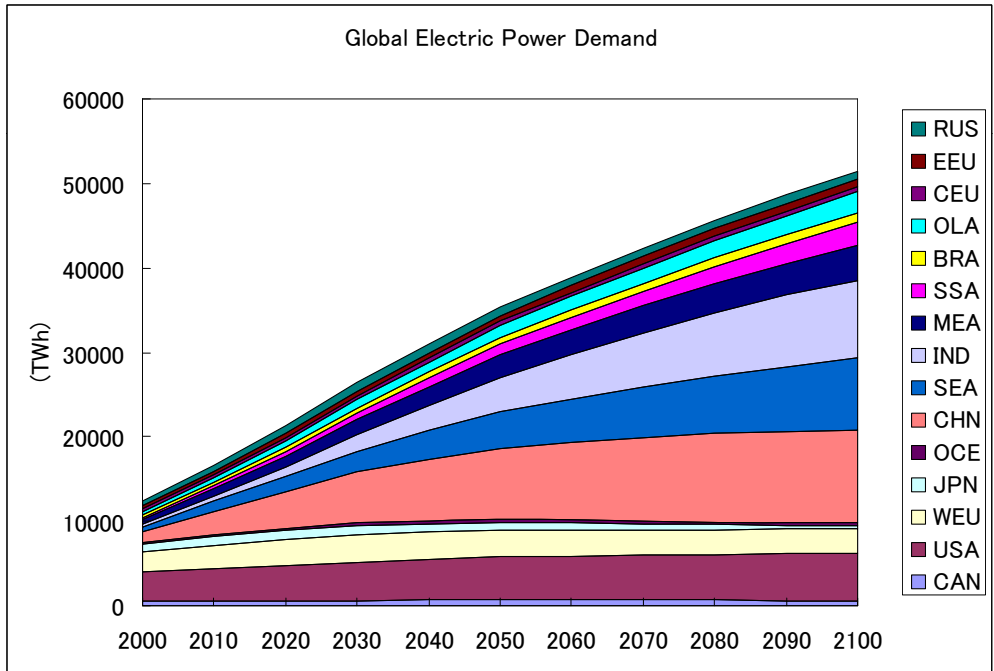
電力需要増加要因 途上地域 電化(グリッド接続)
 その他地域 電力化(非電気から電気へ)



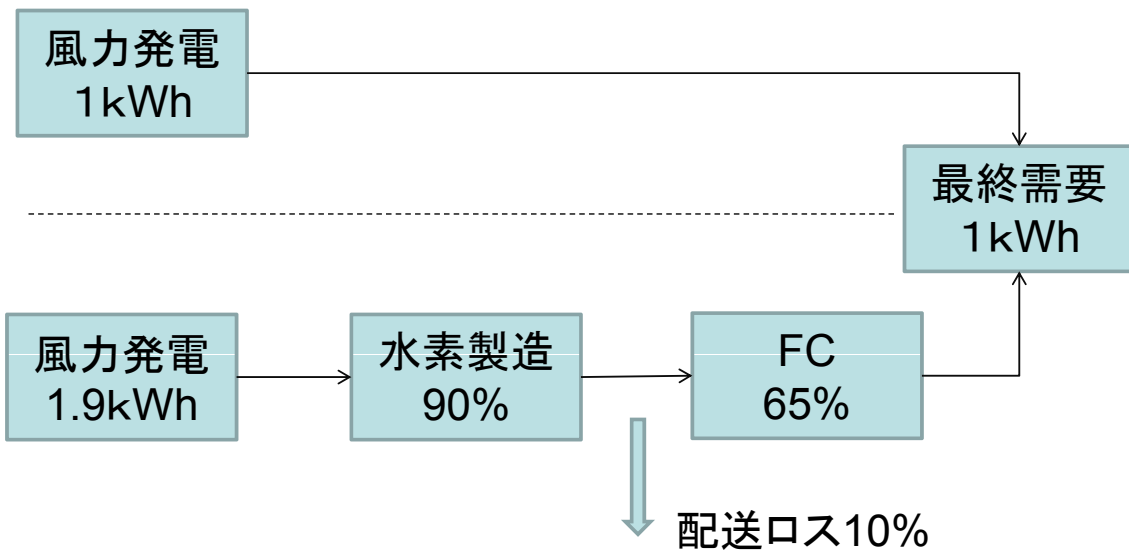
注 モデルの分析上の終端年である2150年までのデータ表示)

電力需要想定(省エネシナリオ)

電力需要増加要因 途上地域 電化(グリッド接続)
 その他地域 電力化(非電気から電気へ)



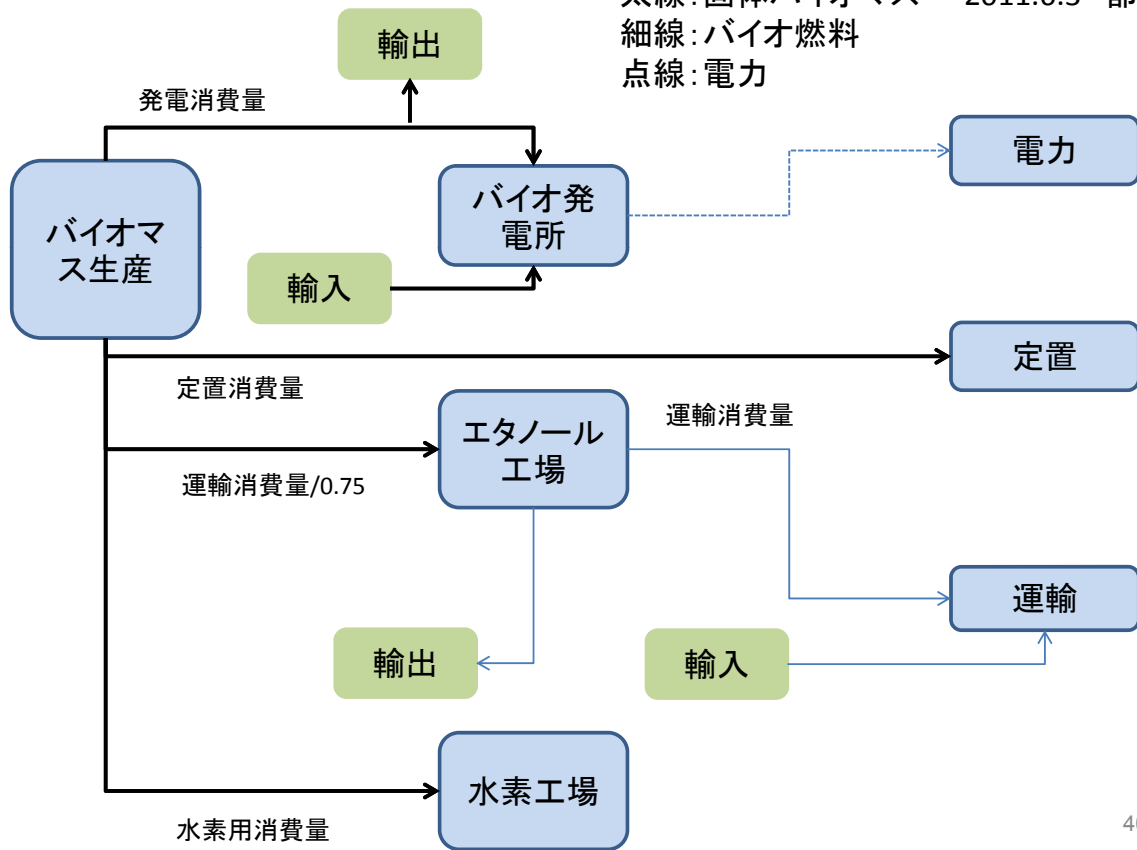
再生可能水素のイメージ



- 大規模な再生可能を水素によって蓄積する場合、発電単価は数倍になる。
- ただし、水素を介さない場合でも、大規模蓄電等高コストの対応は必要

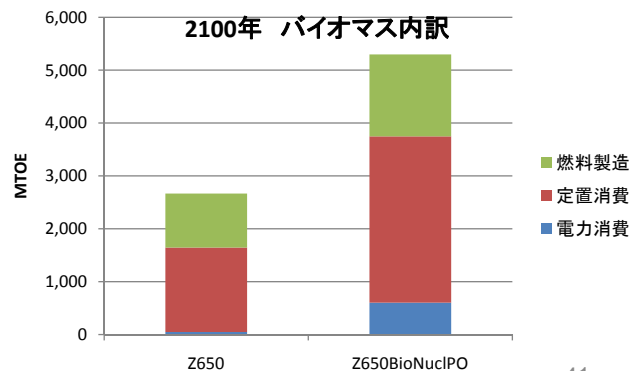
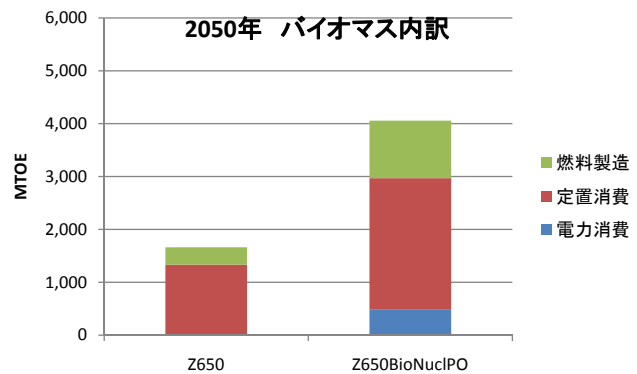
GRAPEにおけるバイオマスフロー概要

太線: 固体バイオマス 2011.6.3 都筑
 細線: バイオ燃料
 点線: 電力

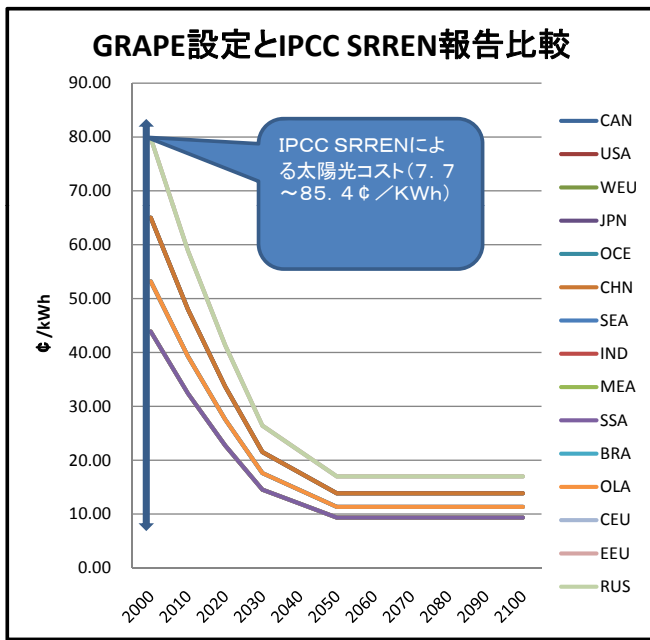


主要な計算ケースにおけるバイオマスバランス

- バイオマスは定置の熱需要に優先的に投入される。
- 2100年になると、燃料製造(=運輸用バイオエタノール)の比率があがる。
- 新型燃料丸太を加えた場合には、依然として定置用が主であるが、燃料製造や電力にも利用されるようになる。



太陽光コストのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較



GRAPE設定

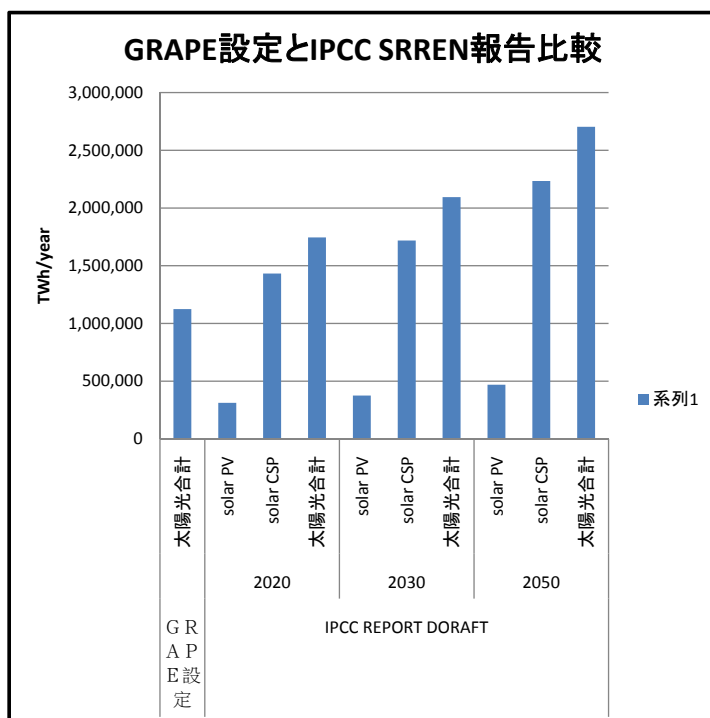
・太陽光は、WEC2007から日射量グレードを読み取り、地域の代表値を設定後、発電コストは日射量に反比例すると仮定して日本の発電コストに対する比率を設定して、地域別2000年コストを算出。2000年の日本の発電コストは、現状の値46円/kWhを2000年基準ドル換算した47.02 円/kWhに、さらに蓄電池分18 円/kWhを上乗せした。
IPCC SRREN報告
 ・2005年UScent

IPCC SRREN:

The Working Group III
 Special Report on Renewable
 Energy Sources and Climate
 Change Mitigation

42

太陽光ポテンシャルのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較

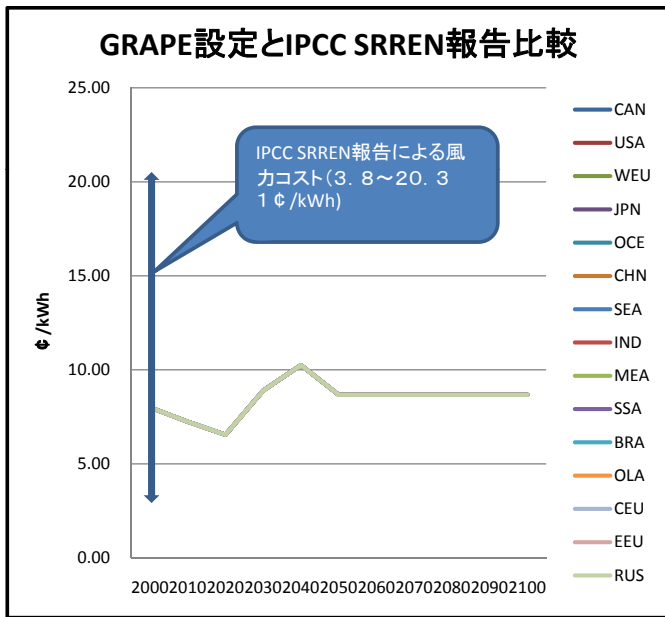


GRAPE設定

・太陽光はNEDO報告[平成15年下期/2013年以降の温暖化方策に関する調査研究平成16年3月]の太陽光発電ポテンシャルのGrade1からGrade3の合計

43

風力コストのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較



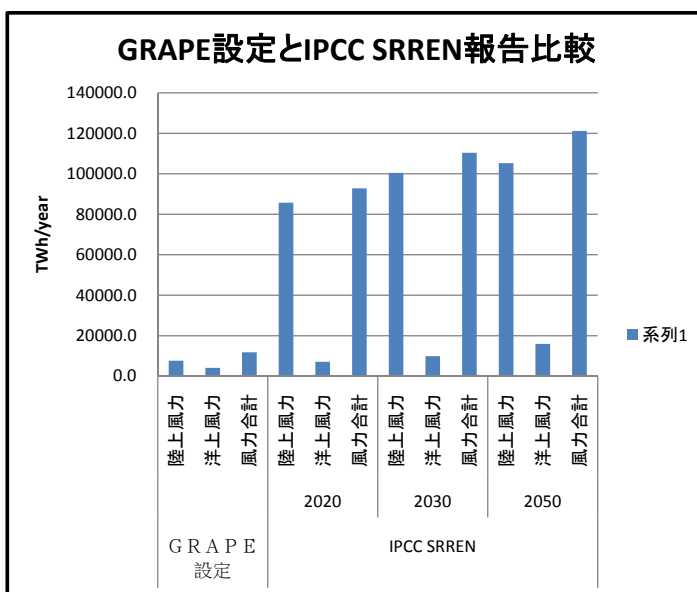
GRAPE設定

・2000年を基準として、年率1%でコストが減少すると仮定。但し、2030年以降蓄電池分を1/2、2040年、2050年は蓄電池分を1追加。それ以降は一定としている。

IPCC SRREN:

The Working Group III
Special Report on Renewable
Energy Sources and Climate
Change Mitigation

風力ポテンシャルのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較



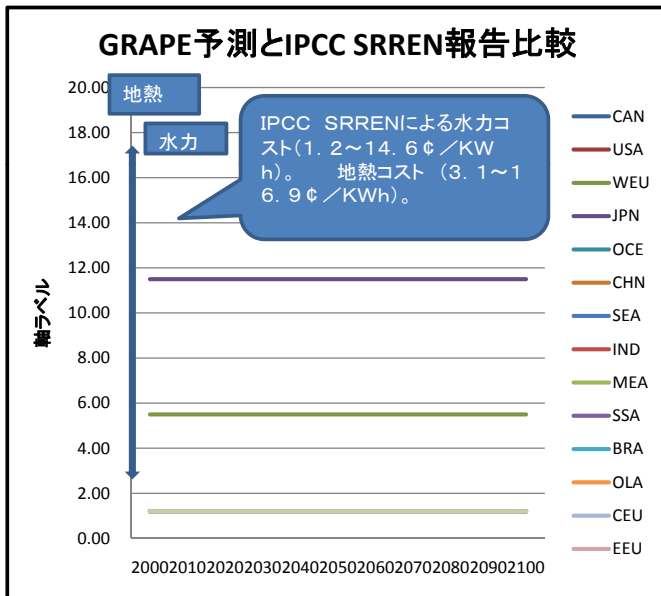
GRAPE設定

・陸上風力: NEDO報告の風力発電ポテンシャルのGrade1からGrade3の合計。但し、日本の陸上風力の従来のGRAPEの値34.1TWh/yearを使用。また、インドの陸上風力は、Grade3でのポテンシャル3TWhは、2010年の固定値3.2TWhを下回るので、Grade4までとした。
・洋上風力: CIA The World Factbook 2006[15]の海岸線の長さの対日本比率と、日本の洋上風力402.7TWh/yearから設定した。洋上風力ポテンシャルに対して、海岸近くの電力グリッドの発達度合いを先進地域0.7、途上地域0.5としてポテンシャルを設定。

GRAPE設定風力ポテンシャルについて

GRAPEでは発電シェア上限を設定している。風力の発電シェア上限を2030年以前15%、2040年20%、2050年以降25%としている。但し、2650 2100年で14000TWh/h導入されている。

水力地熱コストのGRAPE予測とIPCC SRREN報告比較

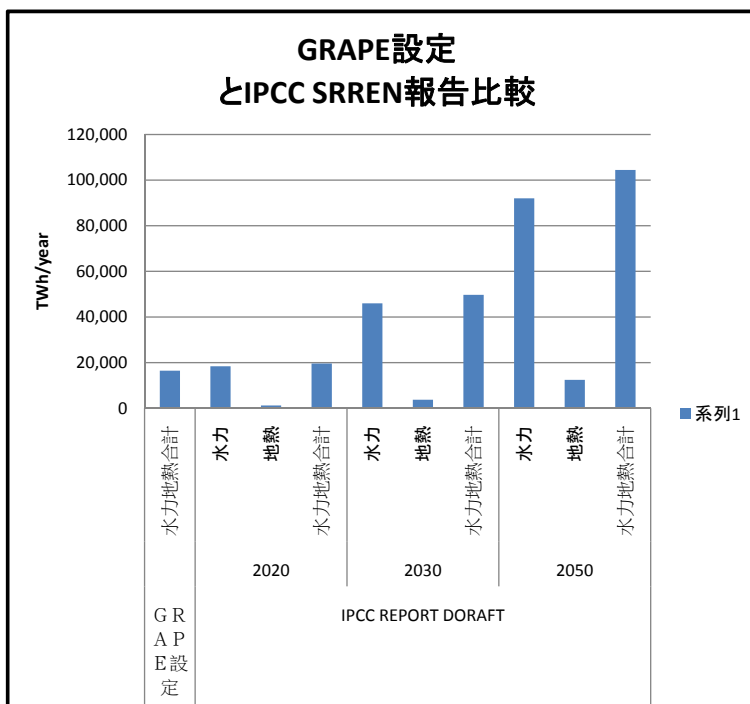


GRAPE予測
・水力はポテンシャルのグレードに応じたコスト。

IPCC SRREN:

The Working Group III
Special Report on Renewable
Energy Sources and Climate
Change Mitigation

水力地熱ポテンシャルのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較



GRAPE設定
・水力地熱: WEC 2007[12] Table 7-1 Hydropower: Technically exploitable capabilityを集約



オーバシユートシナリオによる 排出曲線の工学的実現性の 検討

氏田 博士

UJITA Hiroshi

東京工業大学
大学院理工学研究科
原子核工学専攻 特任教授



「オーバシュートシナリオによる排出 曲線の工学的実現性の検討」

東京工業大学
氏田 博士

1

解析の概要

解析の目的

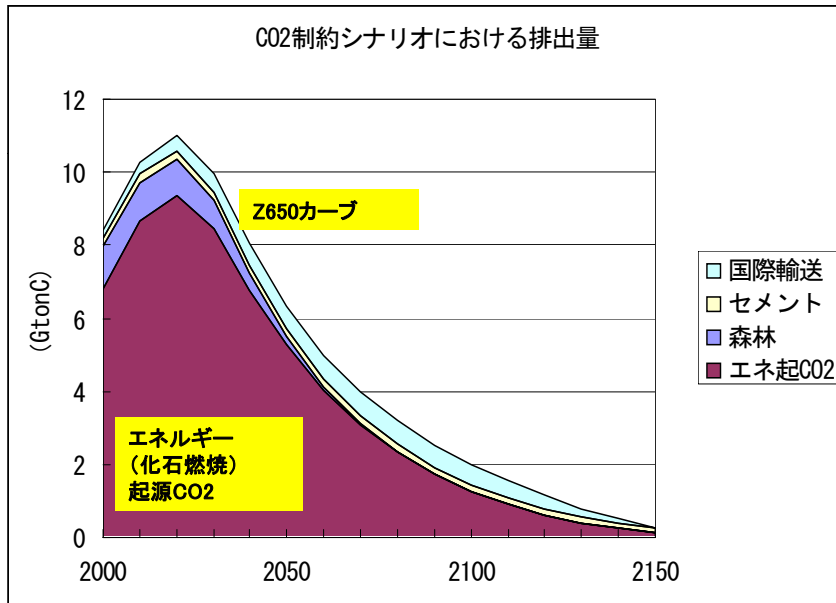
- 気象モデルに基づくCO₂制約を工学モデルで評価する方法論の検討

解析の条件

- Z650: 世界全体でZ650GtCカーブを遵守
 - 2020年におけるCO₂排出量のピークが高い(制約が緩い)
 - 逆に2050年ごろの制約が厳しい
- Z650AC: 世界全体で21世紀中の累積炭素排出量を650GtC以下に抑える
 - 松野カーブの本来の趣旨を生かす
 - 工学的に最適なポートフォリオの実現
- ベースは、参照シナリオ: CO₂制約無

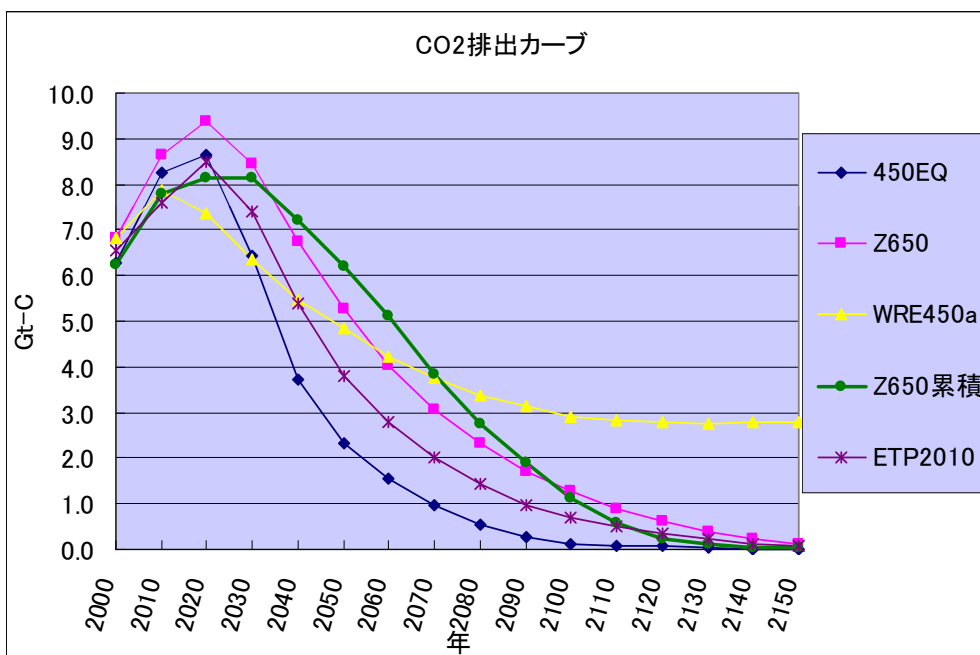
2

松野提案のCO2排出カーブ



前回(20101125)ワークショップで報告

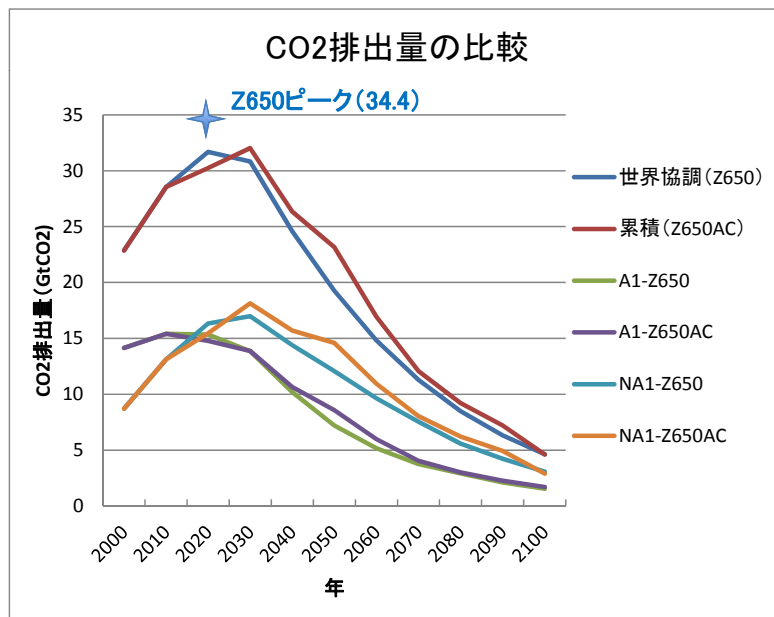
さまざまなCO2排出カーブ



前回(20101125)ワークショップで報告

CO2排出量比較

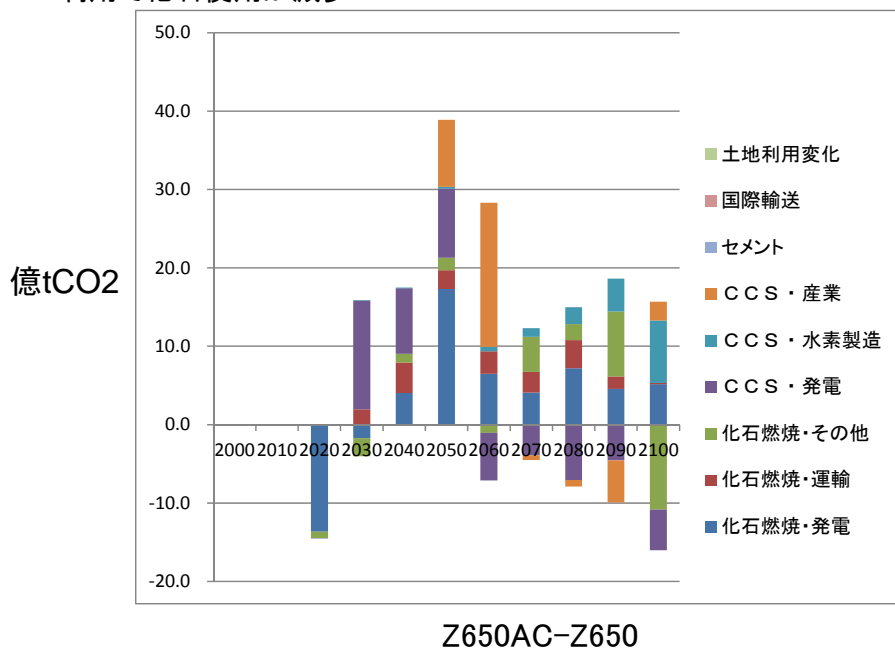
- ◆ 最適化によると、2020年ではZ650のピークより排出量が少ない
- ◆ 累積では、ピークが2020年から2030年にシフトし、2090年ころまで排出量が多い
- ◆ 途上国は2040年から2060年まで排出量が多くなる



5

世界のCO2排出量とCO2回収隔離(CCS)の比較

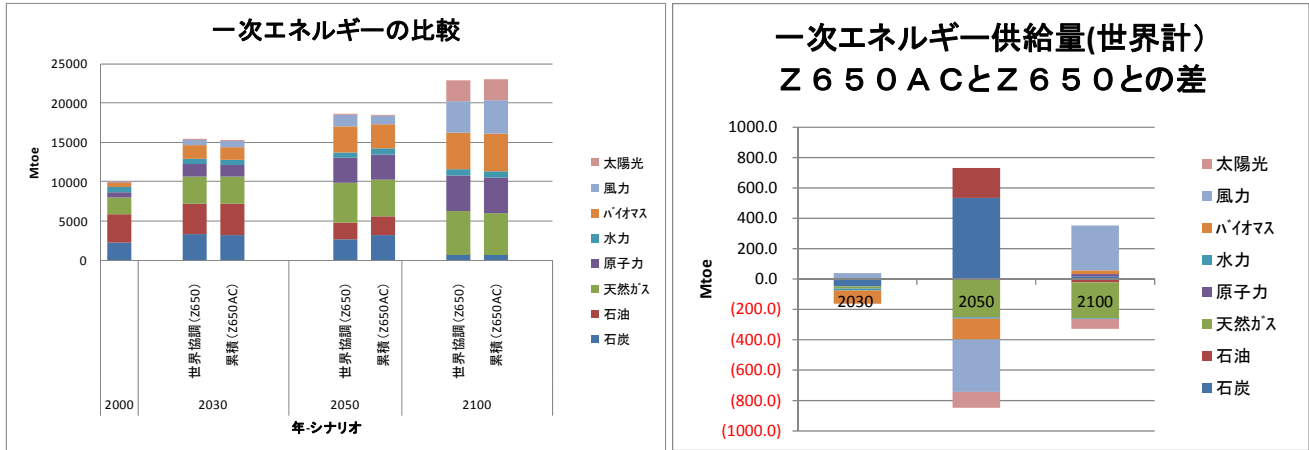
- ◆ 累積では、2020年において化石発電が減少、2030年では化石発電+CCSが減少
- ◆ 2050年において、化石発電が増加し、また化石発電+CCSと産業+CCSが減少
- ◆ 2090年では産業・民生の熱利用で化石使用が増加し、2100年では、産業・民生の熱利用で化石使用が減少



6

一次エネルギー比較

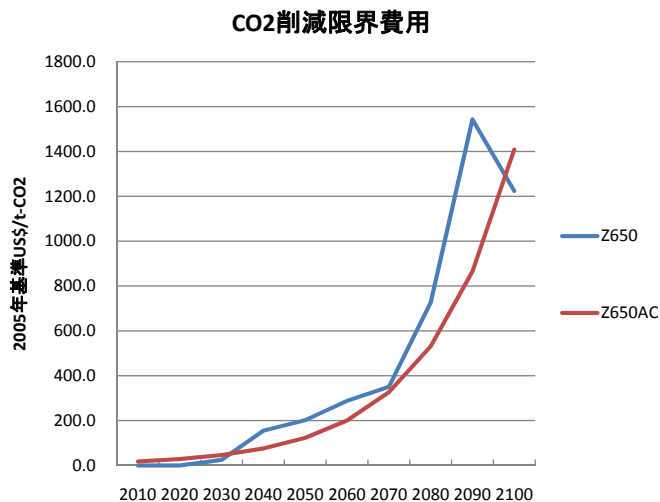
- ◆ 2050年頃に、天然ガス・バイオ燃料・風力の導入量が少なく、石炭・石油が入る
- ◆ 2100年頃を見ればほぼ同等で、天然ガスが減少し風力が増加



- ・ Z650累積シナリオは、Z650とほとんど変わらない
- ・ エネルギーコストは安いので、**推奨**できるCO2削減パスといえる

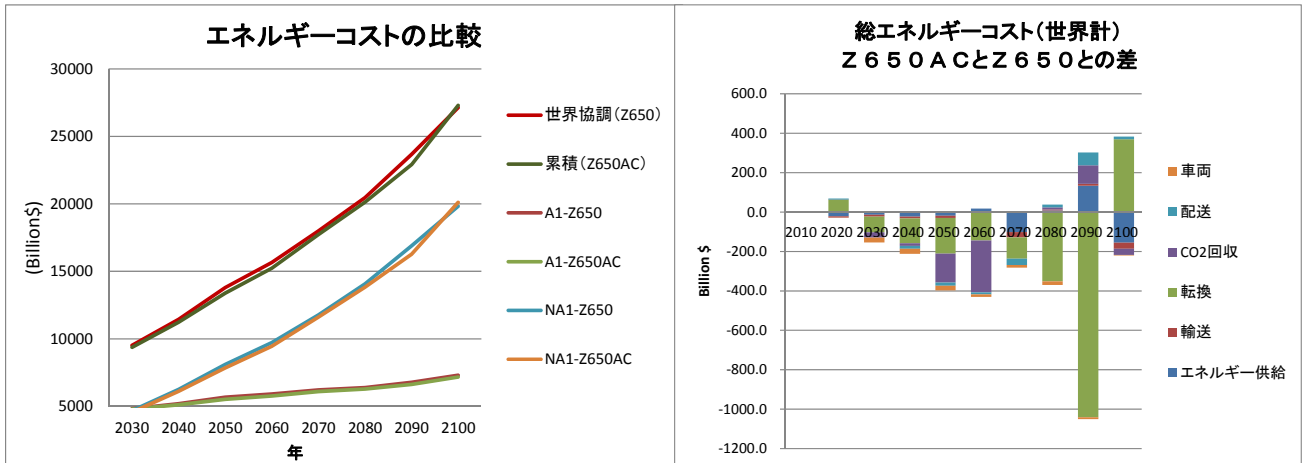
CO2削減限界費用の比較

- ◆ 累積の方が全体にコスト低かつ滑らか
- ◆ (Z650の2090年と2100年は、特異な傾向)



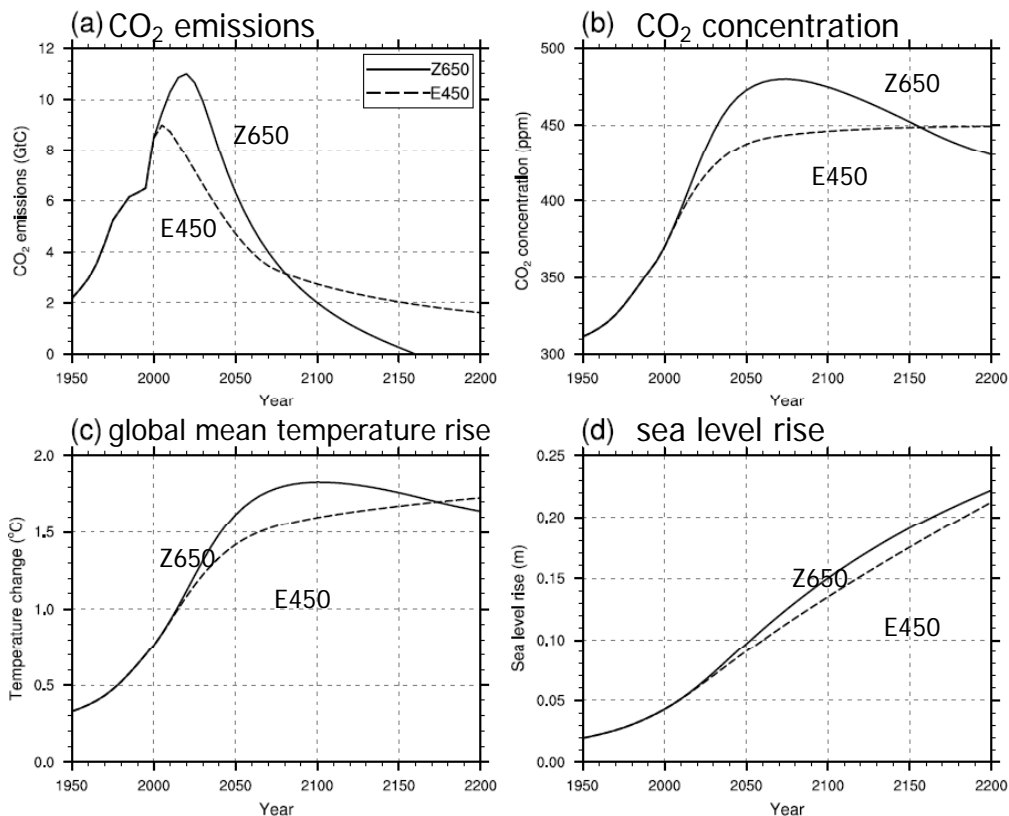
エネルギーコストの比較

- ◆ 累積の方が全体にコスト低(2100年までの累積コストの相違2,930B\$)
 - ◆ 途上国 (2100年までの累積コストの相違1,560B\$)
 - ◆ 先進国 (2100年までの累積コストの相違1,380B\$)
- ◆ 2050年では、転換とCO2回収隔離コストが低減
- ◆ 2090年では、転換コストが大幅低減



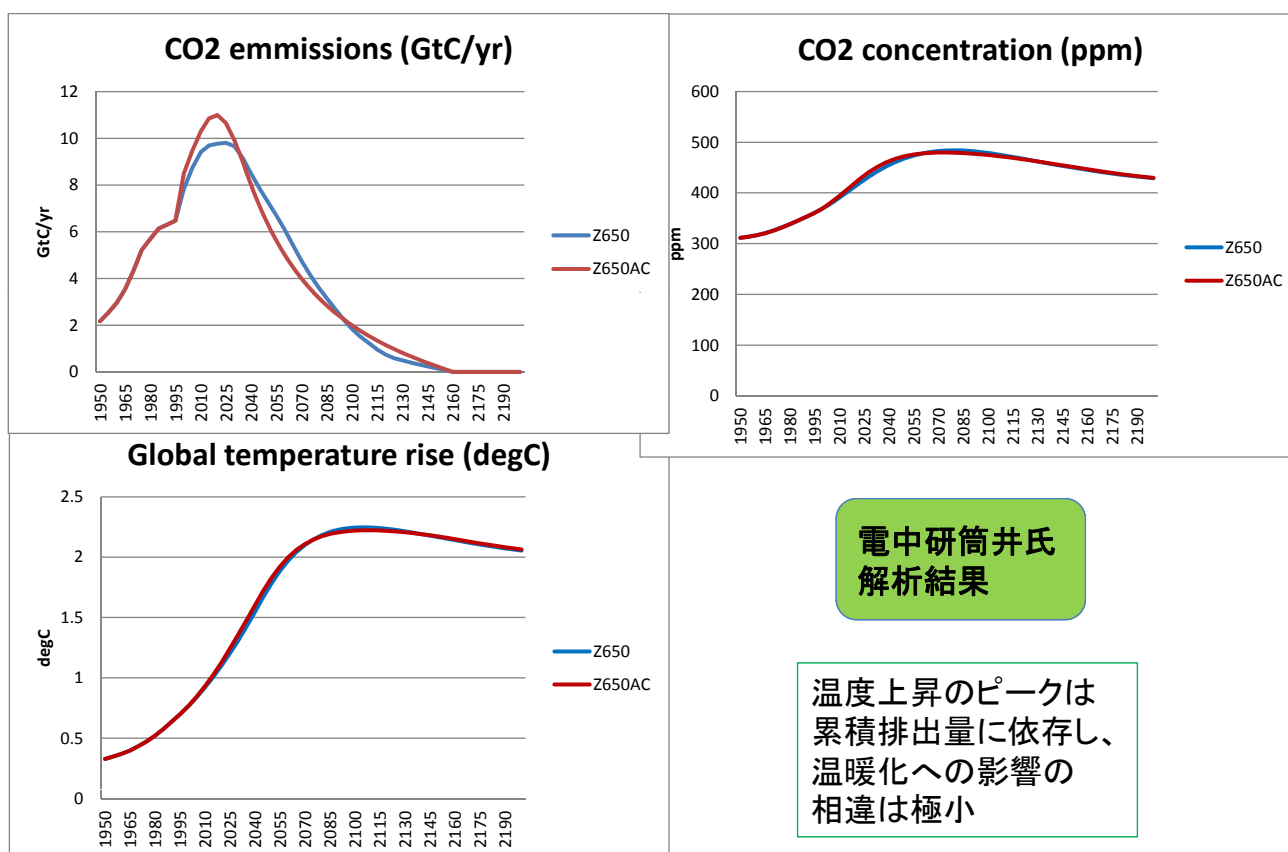
・ Z650累積シナリオは、Z650に比べ、エネルギー構成の若干の変更で実現できかつ排出削減効果は同等で、累積で3T\$ほどコスト低

Characteristics of Z650(bold line) and E450(dashed line)



前回(20101125)ワークショップ「来世紀ゼロエミッションによるCO₂濃度安定化—気候安定化への新しい排出シナリオの可能性—」

松野カーブZ650と累積カーブ650ACの温暖化への影響



Allen et al. (2009)の結果と整合的。

Allen et al., 2009: Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. Nature, 458, 1163–1166.

11

結論

- 気象モデルに基づくCO2制約を工学モデルで評価する方法論を検討

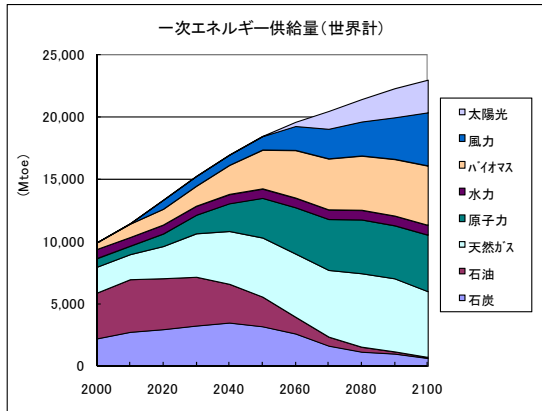
解析の条件

- **Z650: 世界全体でZ650GtCカーブを遵守**
 - 2020年におけるCO2排出量のピークが高い(制約が緩い)
 - 逆に2050年ころの制約が厳しい
 - **Z650AC: 世界全体で21世紀中の累積炭素排出量を650GtC以下に抑える**
 - 松野カーブの本来の趣旨を生かす
 - 工学的に最適なポートフォリオの実現
 - 気象モデルにフィードバックし、温暖化への影響は小さくフィージブルなことを確認
 - 気象モデルと工学モデルをリンクするプロセスを確立
- ◆ Z650の2020年におけるピークは許容量よりはるかに少
 - ◆ Z650ACではピークが2020年から2030年にシフトし、その後2090年ころまで排出量が多い
 - ◆ 2030年～2050年頃に、石油や石炭を利用できる分、天然ガスやバイオ燃料の導入量が少なくてよい
 - ◆ 2030～2060年ころのCO2回収隔離(CCS)量も少なくてよい
 - ◆ 累積の方が全体にコスト低(2100年までの累積コストの相違3T\$)

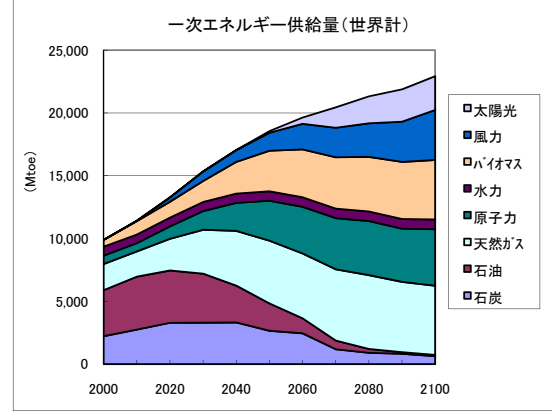
12

一次エネルギー供給

◆ 「CO2制約をかけると、原子力、風力、太陽光、バイオが大幅に増加し、化石のシェアは2050年で約1/2、2100年で約1/4となる」傾向は一致

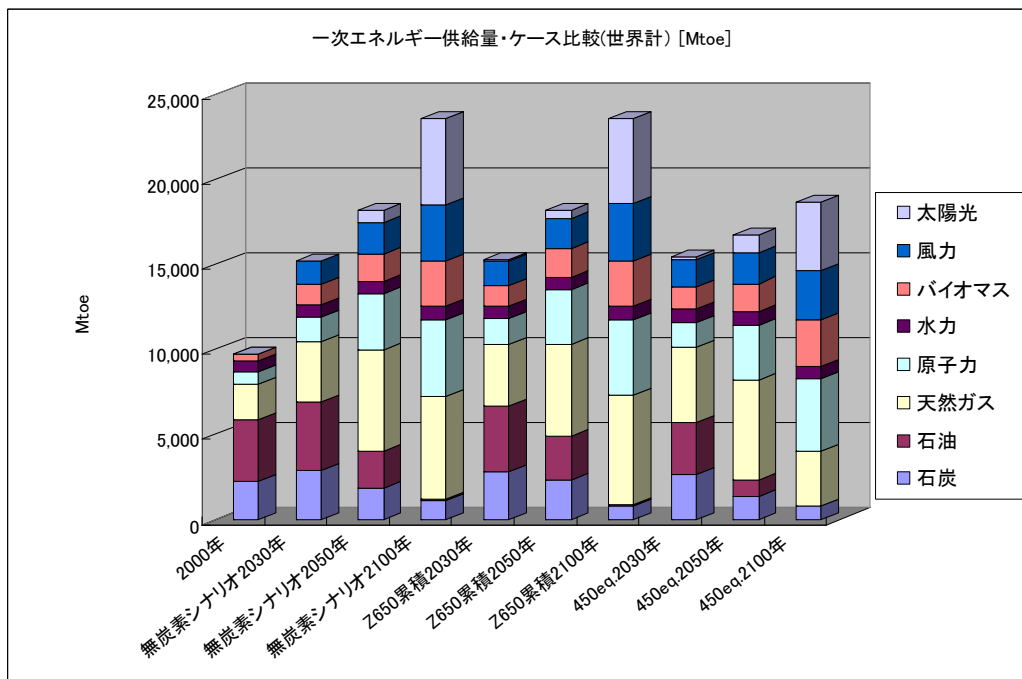


累積シナリオ



世界協調シナリオ

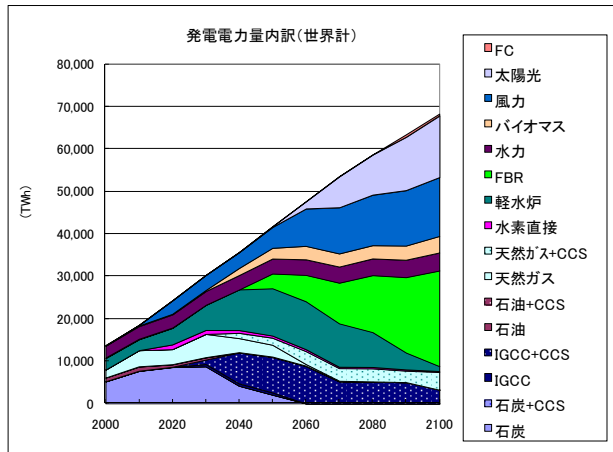
世界の一次エネルギー供給量の時系列比較



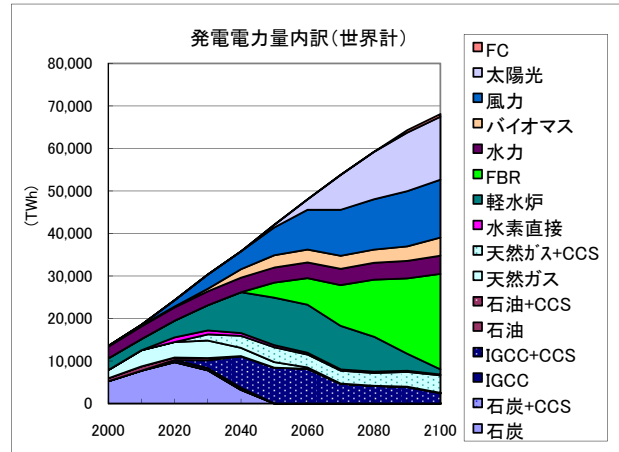
- ・ Z650累積シナリオは、Z650とほとんど変わらない
- ・ エネルギーコストは安いので、**推奨**できるCO2削減パスといえる
- ・ 450eq.シナリオでは、さらなる省エネの促進と化石の削減が要求される

発電部門のCO2対策

- ◆ 2050年頃まで火力シェアの減少(約50%から約30%) + CCSの導入、原子力倍増、風力導入開始(2030年~)、太陽光の大規模導入開始(2060年~)の傾向も同様
- ◆ 2100年頃の、太陽光、FBRの大規模導入、火力は漸減の傾向も同様



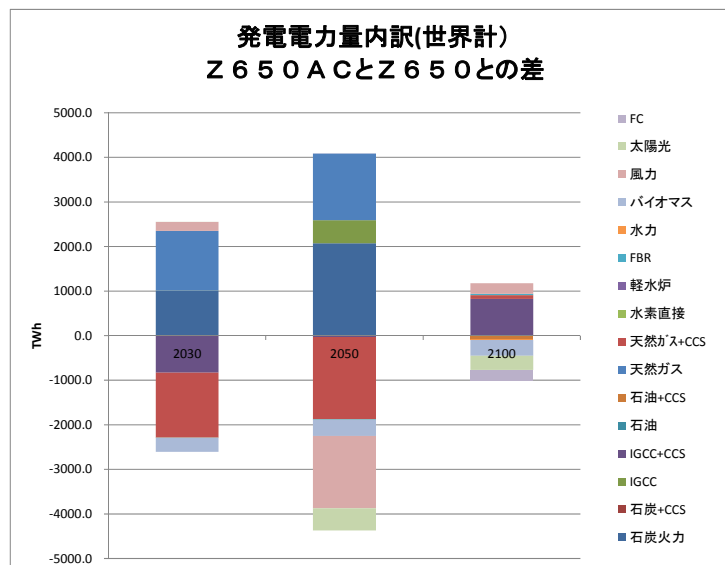
累積シナリオ



世界協調シナリオ

発電電力量比較

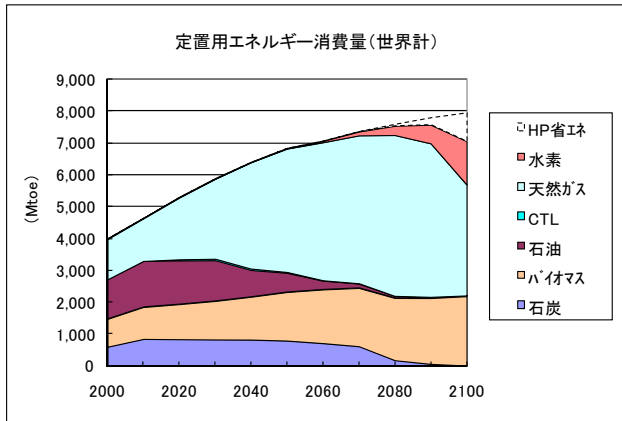
- ◆ 2050年頃に、天然ガスCCS・風力の導入量が少なく、石炭火力・石油火力が入る



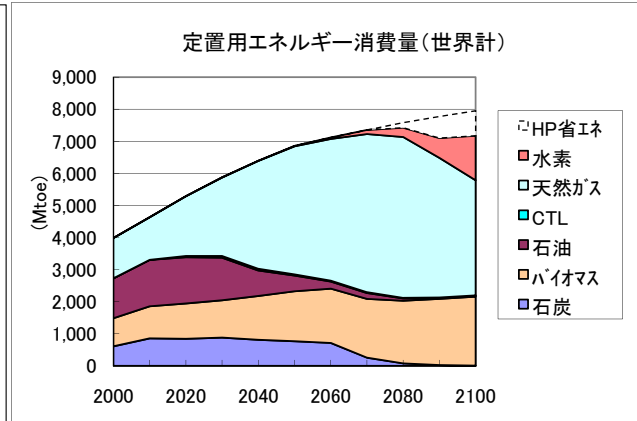
世界の発電電力量： 2030年: 30,000TWh- 2050年: 40,000TWh- 2100年: 70,000TWh

定置(産業・民生の熱利用)部門のCO2対策

- ◆ 2050年頃まで、石炭、石油の比率減少、天然ガス比率の増、バイオほぼ最大限導入(残渣の直接燃焼)、産業CCSの導入の傾向は同様
- ◆ 2090年ころ、累積の方が天然ガスが少し多い



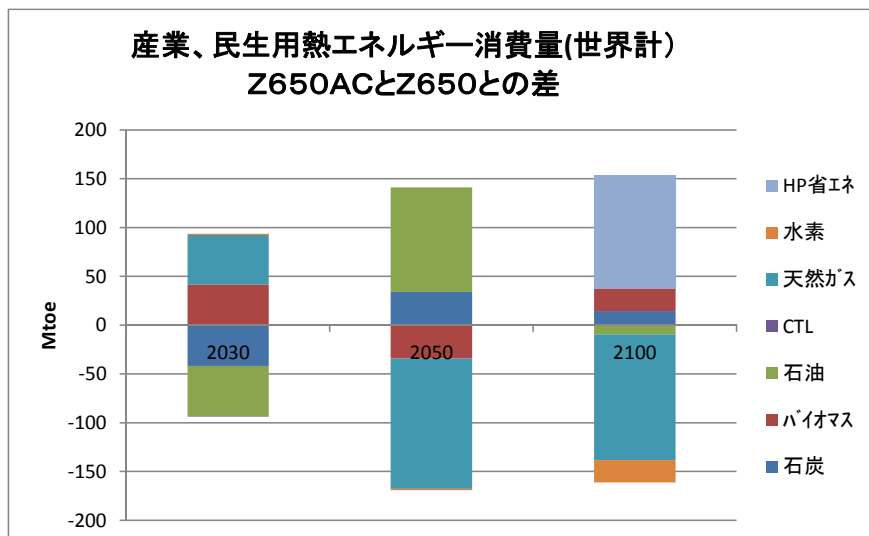
累積シナリオ



世界協調シナリオ

定置(産業、民生用熱)エネルギー消費量比較

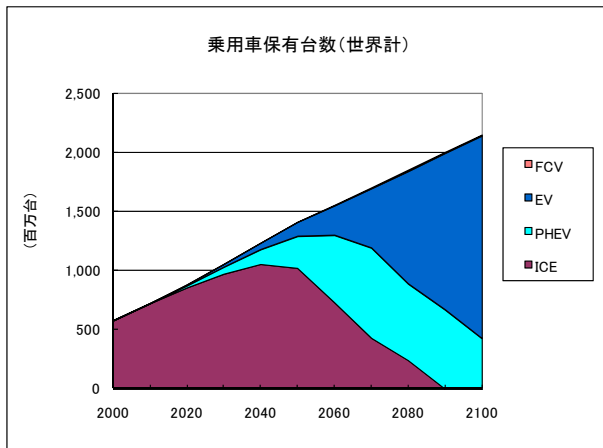
- ◆ 2050年頃に、天然ガスの導入量が少なく、石油が入る
- ◆ 2100年頃に、天然ガスの導入量が少なく、ヒートポンプ(HP)による省エネが増加



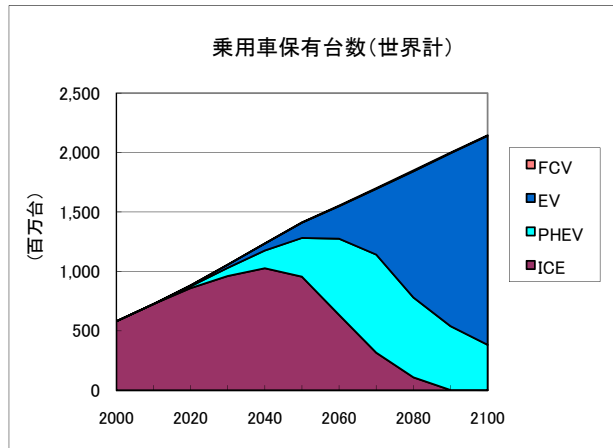
世界の定置エネルギー： 2030年: 6,000Mtoe- 2050年: 7,000Mtoe- 2100年:8,000Mtoe

運輸部門のCO2対策-乗用車

- ◆ 2030年頃から、内燃機関(ICE)からプラグインハイブリッド(PHEV)を経て電気自動車(EV)に至る変化はほぼ同様



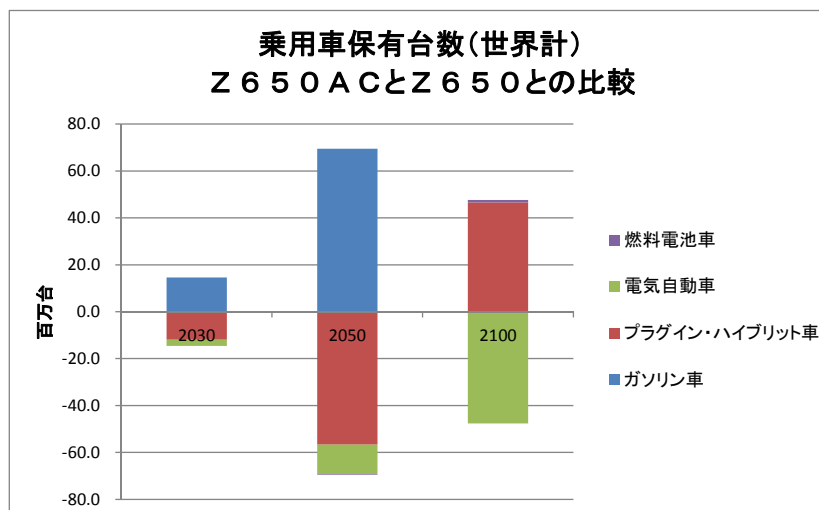
累積シナリオ



世界協調シナリオ

乗用車保有台数比較

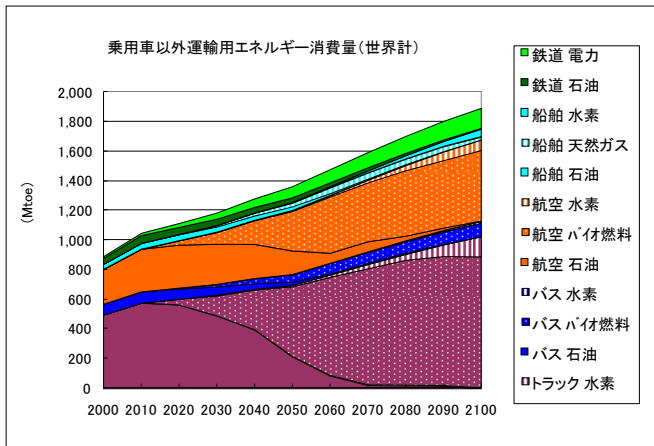
- ◆ 2050年頃に、プラグイン・ハイブリッド車の導入量が少なく、ガソリン車が入る
- ◆ 2100年頃に、電気自動車の導入量が少なく、プラグイン・ハイブリッド車が増加



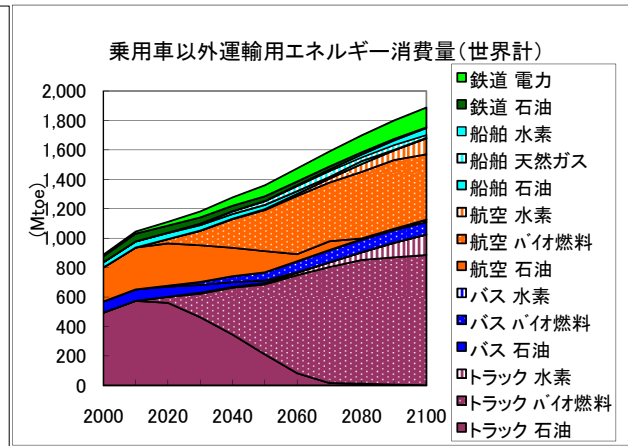
世界の乗用車保有台数： 2030年: 1,100百万台- 2050年: 1,400百万台- 2100年:2,200百万台

運輸部門のCO2対策-乗用車以外

- ◆ 2050年頃までにトラックやバスにバイオ燃料の導入が進み、2100年頃までに大部分はバイオ燃料となり、一部、燃料電池車(FCV)も利用される傾向も同様



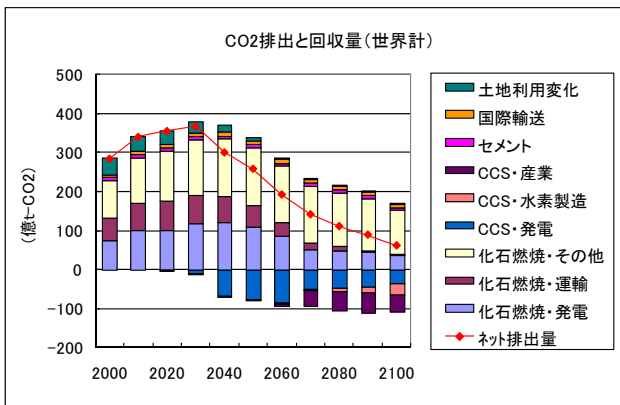
累積シナリオ



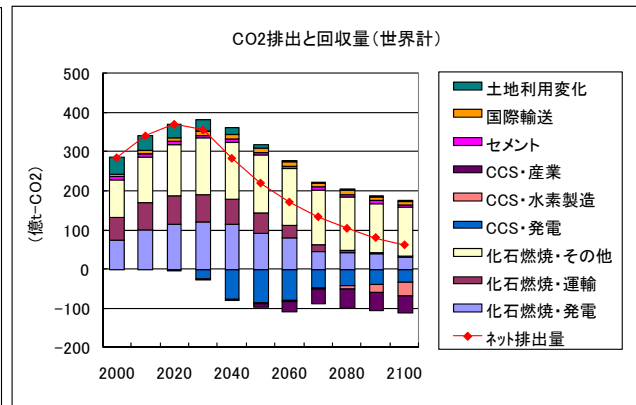
世界協調シナリオ

CO2排出量

- ◆ 2030~2060年ころのCO2回収隔離(CCS)量が若干少ない

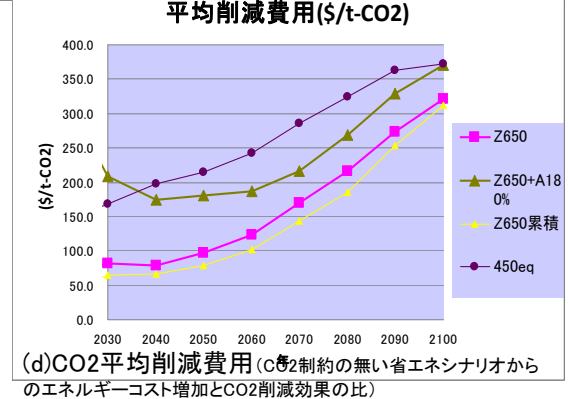
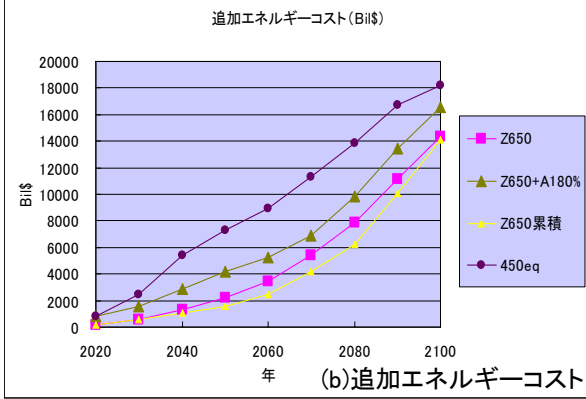
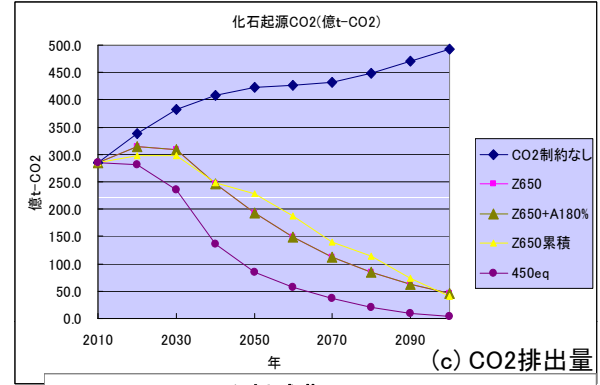
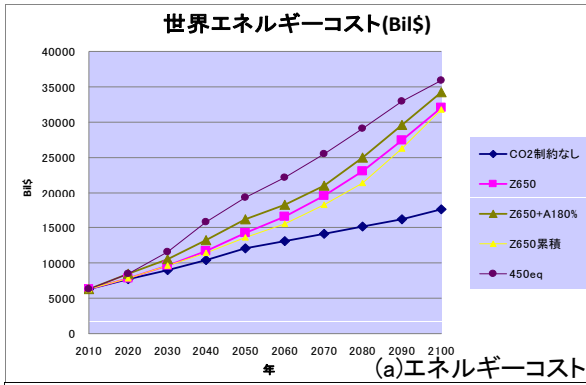


累積シナリオ



世界協調シナリオ

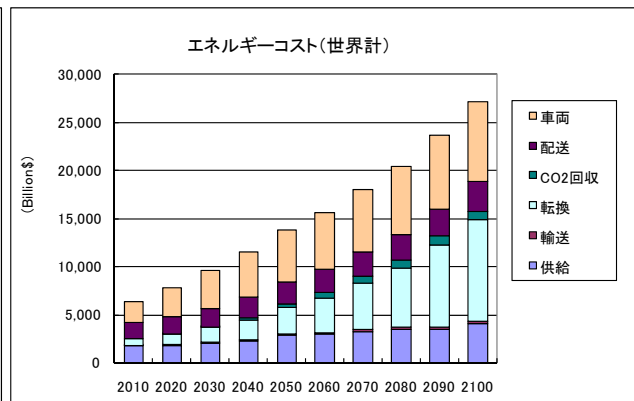
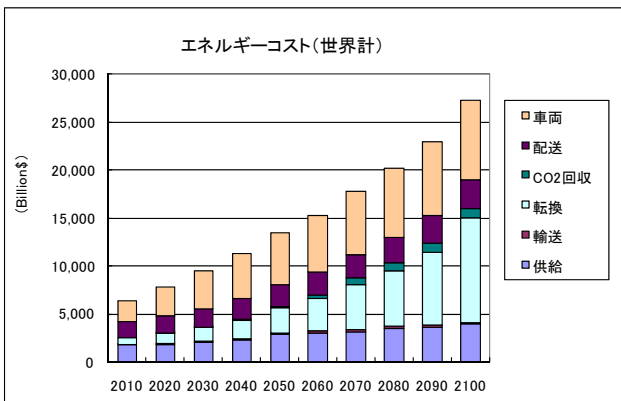
世界のエネルギーコスト、追加エネルギーコスト、CO2排出量、CO2平均削減費用1/3



- ・ 先進国努力は、21世紀中に2000Bil\$ほどコスト高で、CO2削減効果はほぼ等価、CO2平均削減費用は高価
 - ・ 先進国のみでCO2削減を図るより全世界で協調することの重要性を示唆
 - ・ 先進国で余分に発生する費用を途上国のCO2削減費用の支援に回すほうが結果的に有利
- ・ 450eqは、CO2削減効果は大きいコスト高で、CO2平均削減費用が一番高価
- ・ Z650累積シナリオは、Z650に比べ、エネルギー構成の若干の変更で実現できかつ排出削減効果は同等で、1000Bil\$ほどコスト安

23

エネルギーコストの比較





シミュレーション結果の 検討と評価

田下 正宣

TASHIMO Masanori

キヤノングローバル戦略研究所
研究員



シミュレーション結果の検討と評価

2011-6-30

CIGS

田下 正宣

1

原子力Phase Outケース

背景

- * 先年の解析で温暖化対策として原子力の有効性が示された。特にアジア地域では各国政府計画を大幅に上回る規模で導入された。
- * 一方、原子力の有効性が「何か」は明確でない。今回Case Studyとして原子力なしケース、他の資源ポテンシャルの効果等の研究を実施した。

2

エネルギー資源と原子力の役割

1. 昨年との差異

天然ガス埋蔵量シェールガスを見直し(650Gtoe⇒1100Gtoe)

2. NPO (Nuclear Phase Out)

既設炉(2020年運開含む)のみ寿命まで稼働、
新設なし

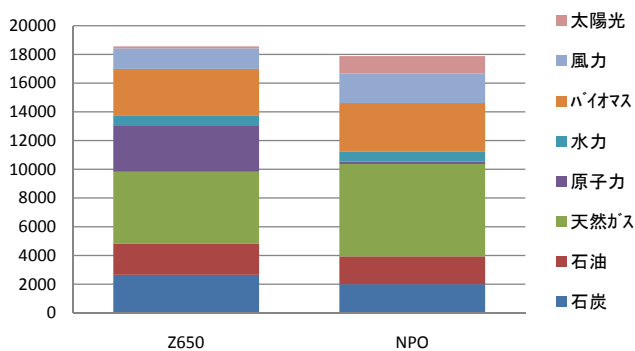
⇒2050年ではコスト1.1倍(天然ガス主体)

⇒2100年ではコスト1.3倍(天然ガス+CCS、PV & Windが主体)

3

世界のエネルギー構成 (Z650, NPO)

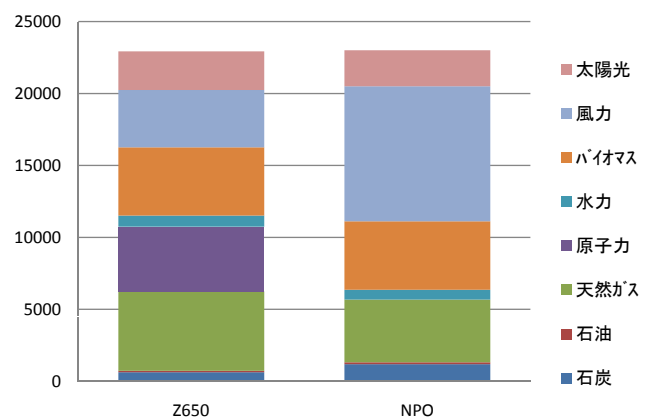
World TEPS Mtoe 2050



1. 2050年

- ・NPOでは天然ガスが多少増加
- ・風力、PVがZ650stdより増加し原子力分を補う

World TEPS Mtoe 2100

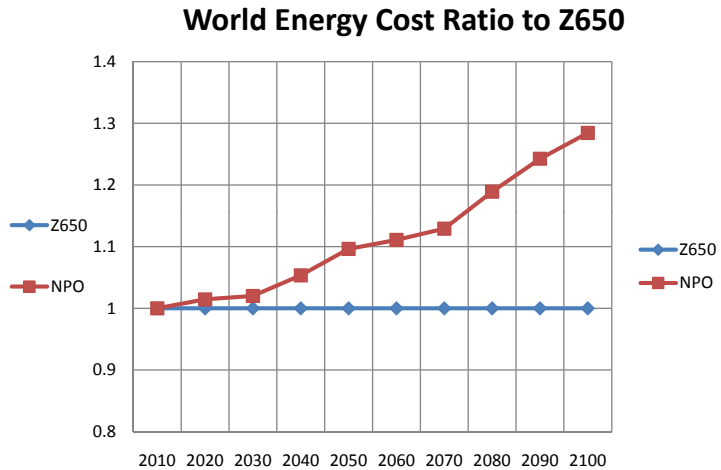
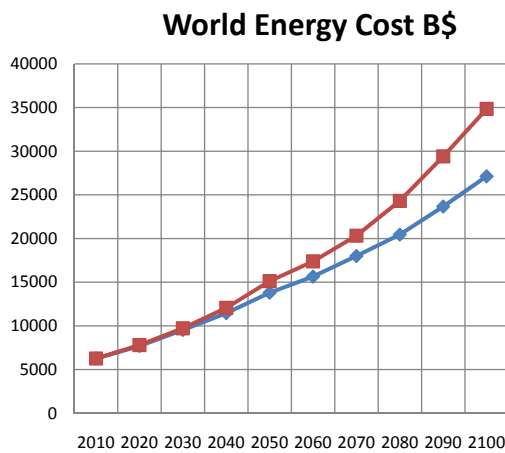


2. 2100年

- ・NPOでは風力が大幅に拡大
- ・PV + Windが50%程度を占める。

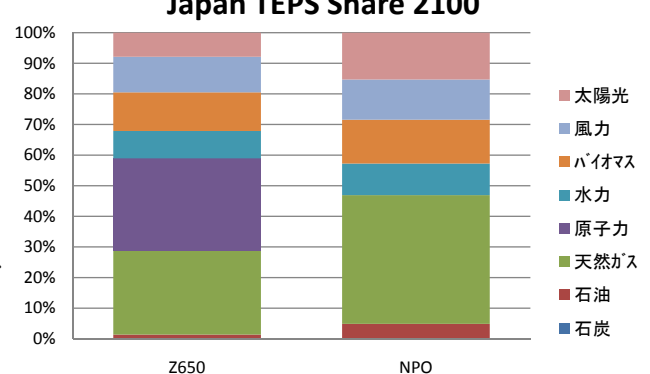
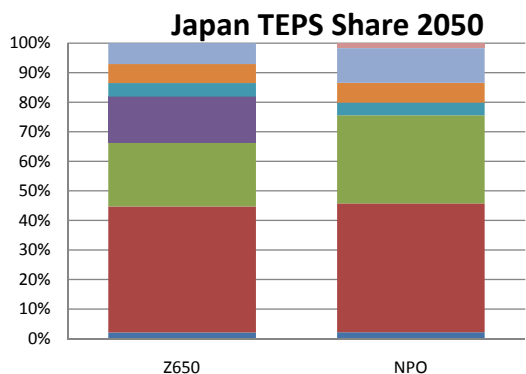
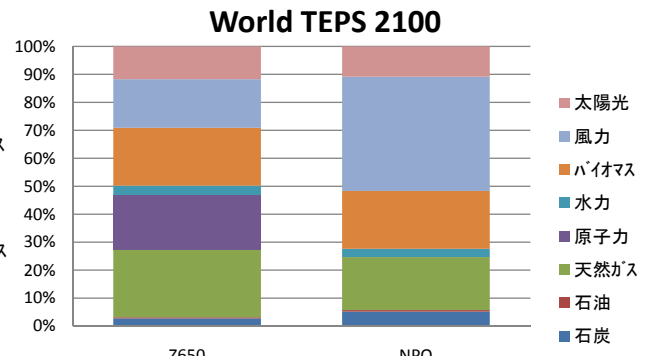
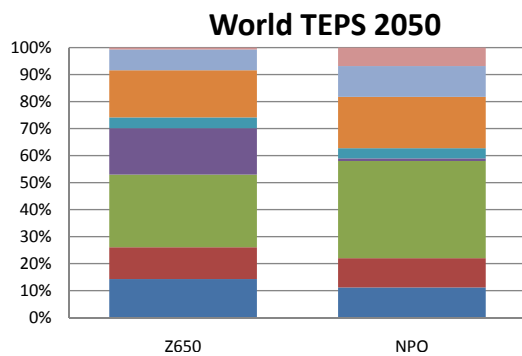
4

エネルギーコスト (Z650, NPO等)



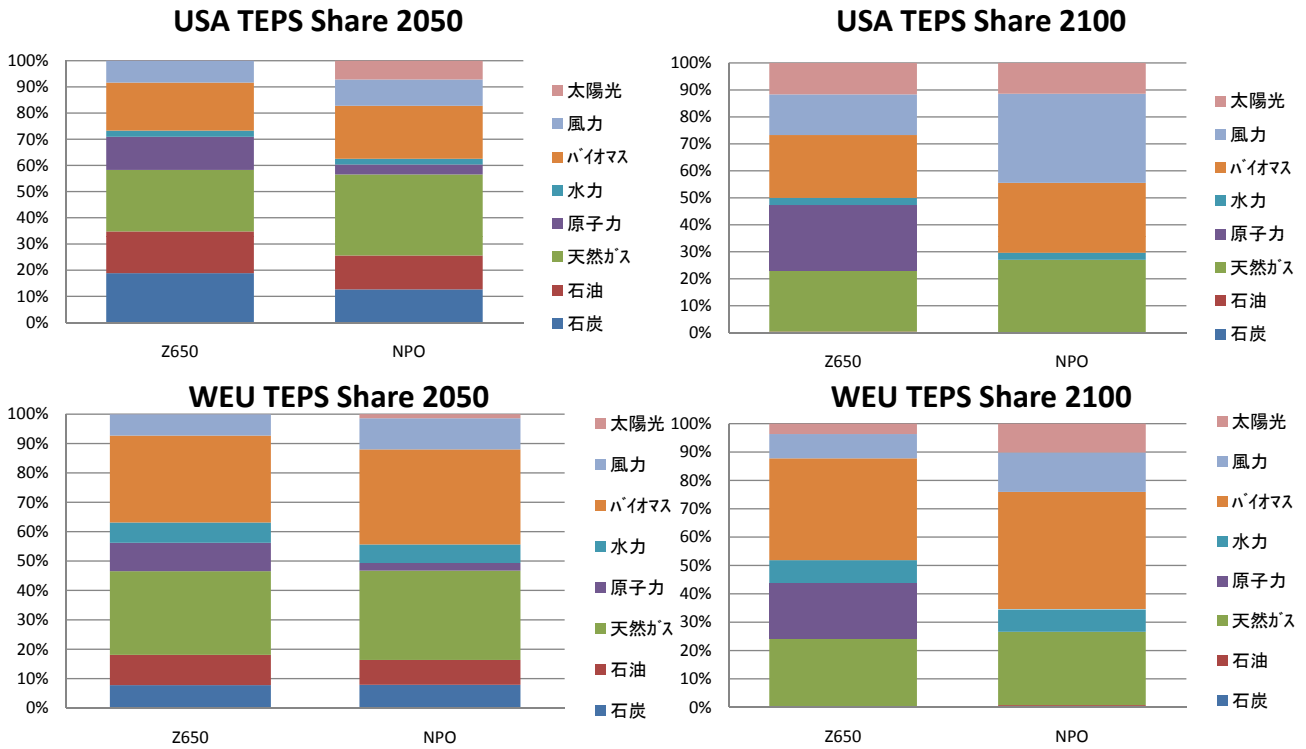
- ・原子力Phase Outケース (NPO) は2050年1.1倍、2100年1.3倍
- ・但し途上国 (China, India, ASEAN) は大きな影響を受け、先進国は殆ど影響なし。

2050 & 2100年各国・地域エネルギー構成比 (1)



日本は2050以降、人口減少傾向が顕著になりエネルギー需要が半程度。
2100年: PV&Windの割合は30%

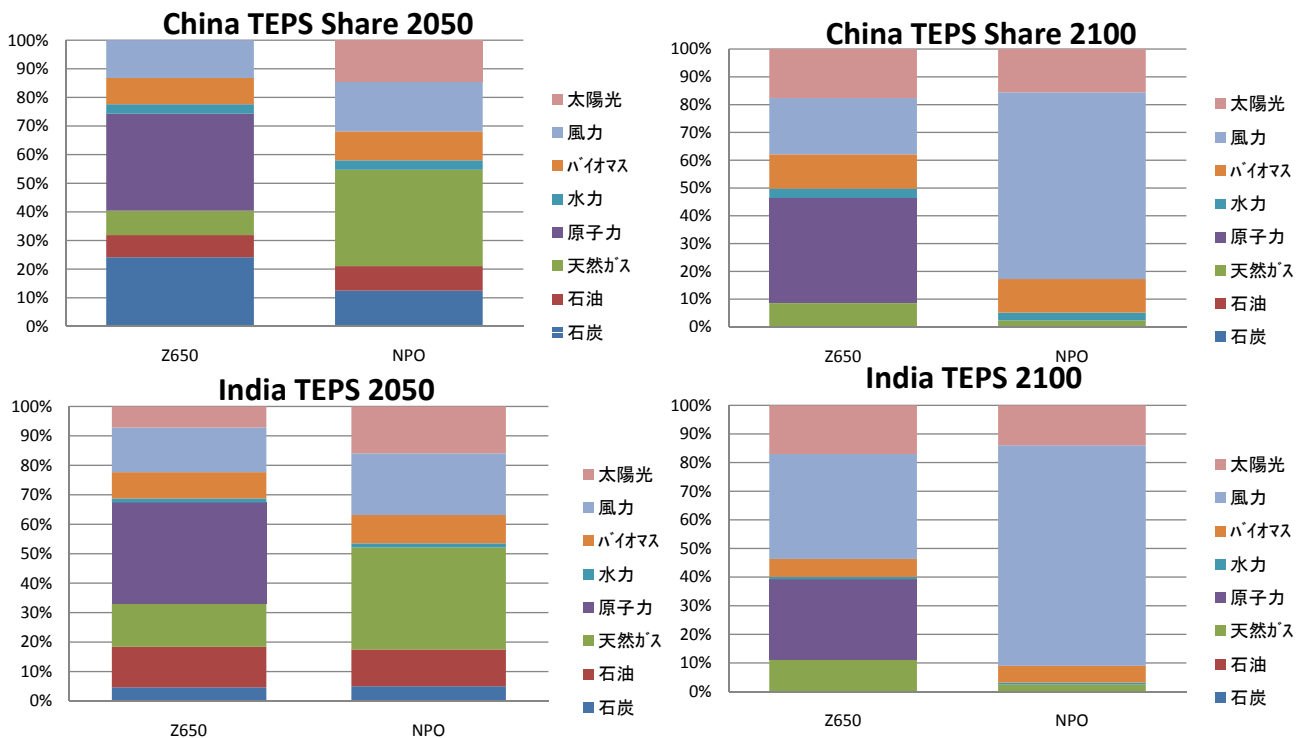
2050 & 2100年各国・地域エネルギー構成比(2)



WEUはエネルギー需要が2050年以降殆ど増加せず。
USAのPV&Windの割合は45%、WEUは25%

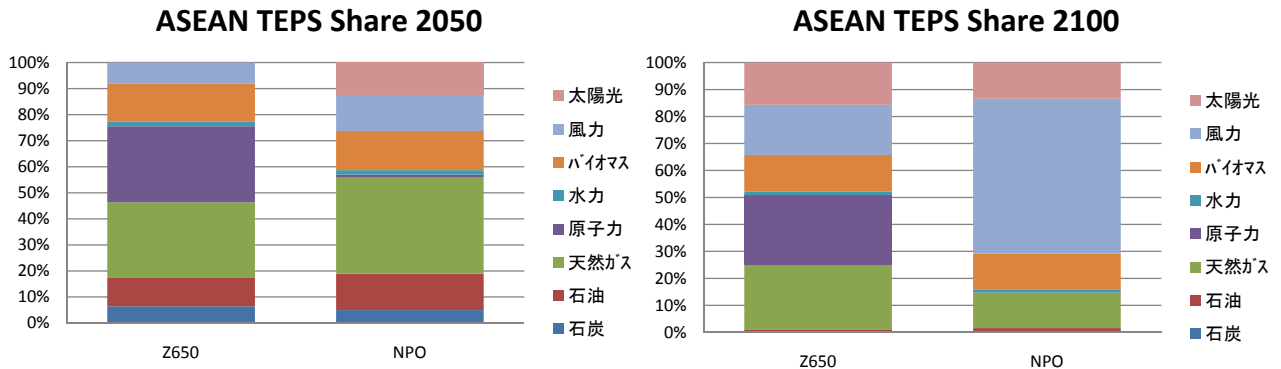
7

2050 & 2100年各国・地域エネルギー構成比(3)



8

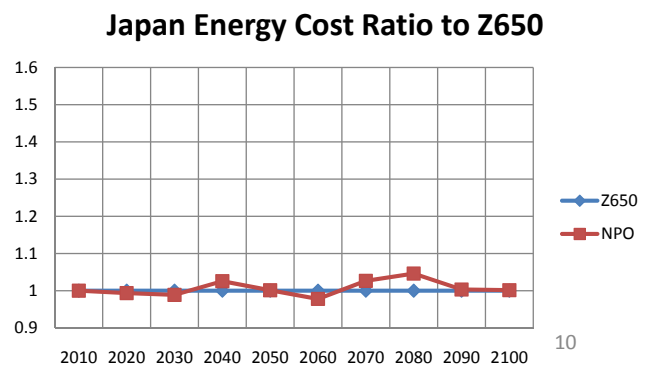
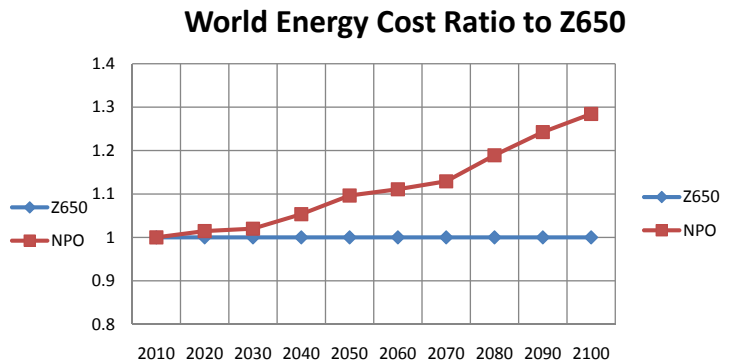
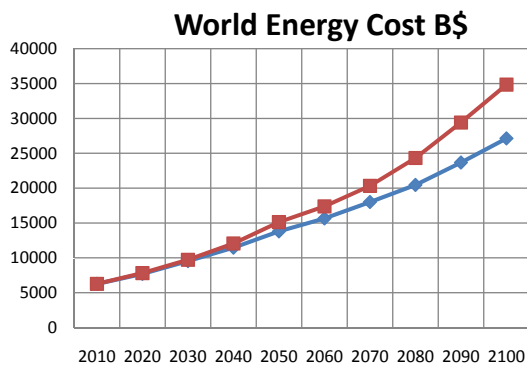
2050 & 2100年各国・地域エネルギー構成比(4)



China、Indiaはエネルギー需要が増加、加えて相対的にBio資源が乏しく、1次エネルギーの80~90%をPV&Wind依存

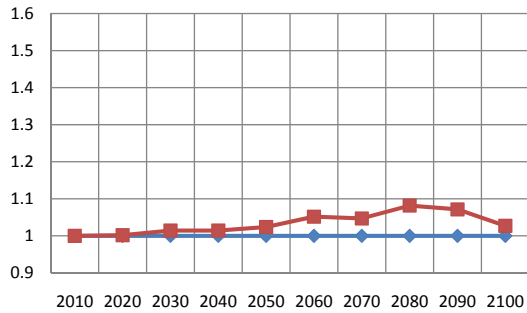
ASEANは相対的にBioが多少あるが、PV&Wind依存は70%と高い。

国地域別エネルギーコスト比

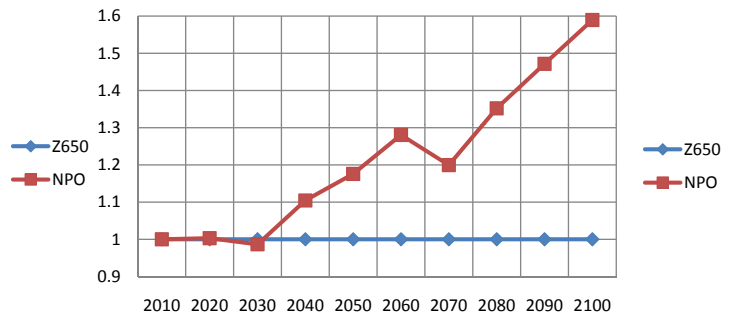


国地域別エネルギーコスト比

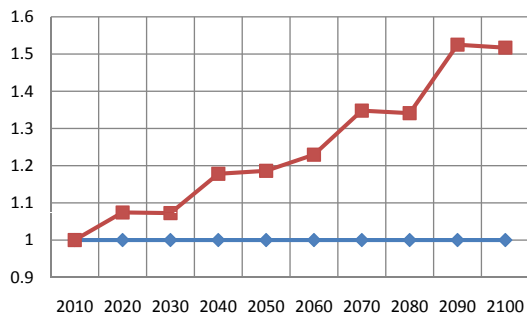
WEU Energy Cost Ratio to Z650



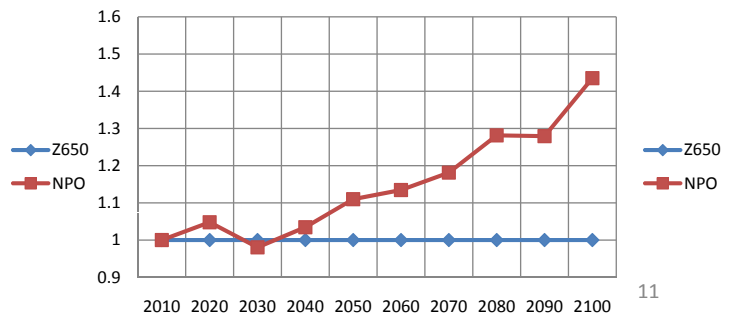
China Energy Cost Ratio to Z650



India Energy Cost Ratio to Z650



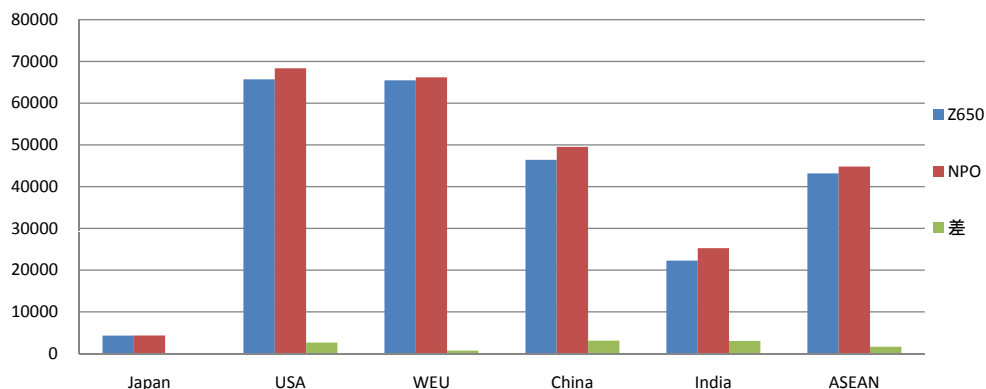
ASEAN Energy Cost Ratio to Z650



11

原子力Phase Out累積追加費用(B\$)

NPO-Z650 Cost & 差 B\$



	China	India	ASEAN
2010-2050	3099	3002	1644

3ヶ国・地域で累計総費用7.7T\$=約770兆円

纏め

1. 原子力Phase Outでも2050迄は主として天然ガスが原子力分を補う。費用は先進国は多少の増加、途上国の設備費と燃料Saveの観点からは大きな影響を与える。
2. 2050年以降CO2制約が厳しくなる一方、途上国を中心とするエネルギー増大への対応はCCSを含めた天然ガスが担う。
3. 2070年以降は気象変動性の高いPVとWindに主たるエネルギー源に依存する。特にアジア地域では2100年には70%程度まで高くなる。この変動分は水素に変換しエネルギー貯留をしている。

13

纏め

今回の解析により判明した結論

- * 温暖化対策に原子力エネルギーは安定的な電力供給源として、またエネルギーの貯留性の点(1~2年間燃料補給なし)から有力な方策である。
- * 単なる再生可能エネルギー、特にPV&Windへのシフトは小規模は良いが、主力エネルギーとなると、短時間の変動また季節変動などに対する対策が必要。即ちエネルギー貯留メカニズムとの合わせ技があって初めて成立する。

14

ご清聴有難うございました。



国際協力と費用の分担

段 烽軍

Duan Fengjun

キヤングローバル戦略研究所
主任研究員

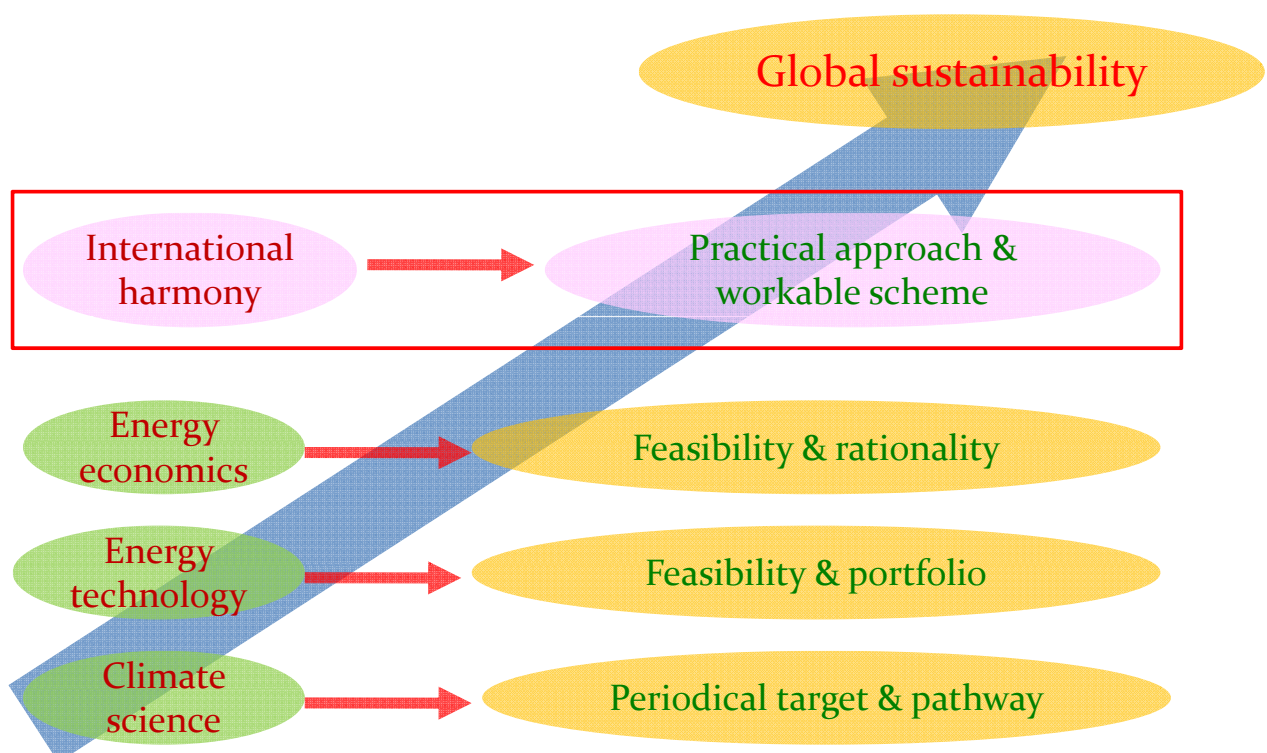


国際協力と費用の分担 －最適化シナリオの実現する途－

キャノングローバル戦略研究所
段 烽軍

1

Towards the solution



2

Optimal Way to Achieve

--- Global energy system optimization model (GRAPE)

- to maintain a sustainable global energy system till 2150
- to minimize the global energy costs
- no international emission trading

--- Mainstream scenarios

Scenario	Economy	Energy policy		CO2 emission
		Demand side	Supply side	
BAU	Moderate global growth, higher in developing countries, and lower in industrialized countries	No		No cap
REF		Yes	No	
Z650		Yes		Capped by Z650

BAU (Business as usual): traditional growth pattern

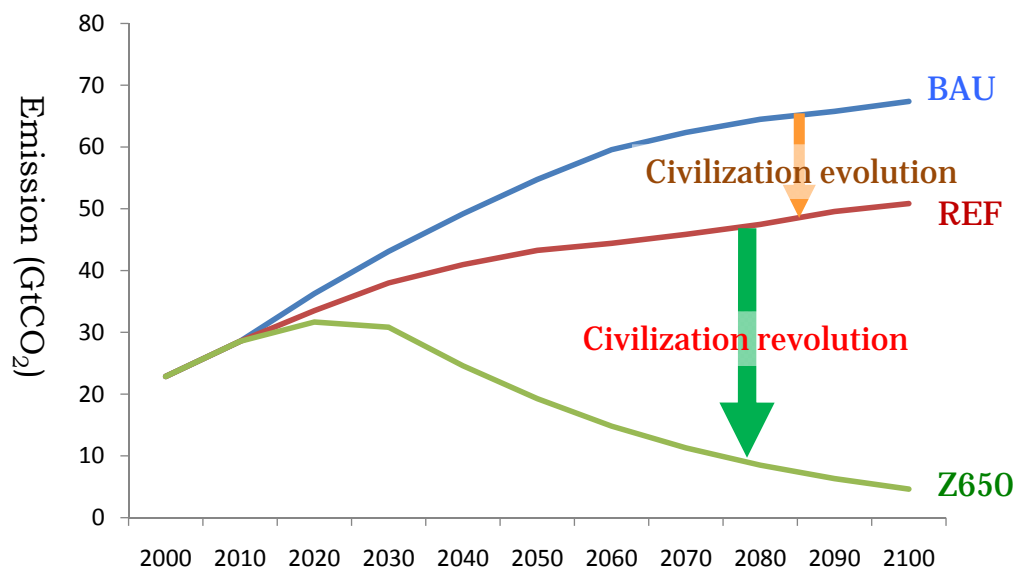
REF(Energy saving): new growth pattern in harmonious with environment and resources

Z650(Low carbon): to mitigate the global warming

3

Towards the optimized way

Global emissions of Energy Related CO₂



4

Emissions and costs

Scenario	Region	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)		Acc. Emissions GtCO2 (2010-50)	Acc. Energy System Cost T\$ (2010-50)
		2030	2050		
BAU	World	1.7	2.1	1702	391
	Ind. C.	1.2	1.3	689	198
	Dev. C.	2.4	3.3	1013	193
REF	World	1.5	1.7	1483	363
	Ind. C.	1.1	1.0	635	188
	Dev. C.	2.0	2.6	848	175
Z650	World	1.2	0.75	1110	387
	Ind. C.	0.9	0.5	507	195
	Dev. C.	1.6	1.1	603	192

Note: The cost for energy saving are not included for the REF and Z650 scenarios. It is estimated to be 15T\$ for the globe.

5

Emissions and costs

Scenario	Region	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)		Acc. Emissions GtCO2 (2010-50)	Acc. Energy System Cost T\$ (2010-50)	
		2030	2050		Investment and operation	Fuel (Market price)
BAU	World	1.7	2.1	1702	135	202
	Ind. C.	1.2	1.3	689	71	90
	Dev. C.	2.4	3.3	1013	64	112
REF	World	1.5	1.7	1483	130	181
	Ind. C.	1.1	1.0	635	69	83
	Dev. C.	2.0	2.6	848	61	98
Z650	World	1.2	0.75	1110	143	168
	Ind. C.	0.9	0.5	507	74	79
	Dev. C.	1.6	1.1	603	69	89

Note: The cost for energy saving are not included for the REF and Z650 scenarios. It is estimated to be 15T\$ for the globe.

6

Civilization evolution

From BAU to REF – Global and Regional Cost and Benefit

BAU	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)		Acc. Emissions GtCO2 (2010-50)	Acc. Cost T\$ (2010-50)	
	2030	2050			
World	1.7	2.1	1702	337	
Ind. C.	1.2	1.3	689	161	
Dev. C.	2.4	3.3	1013	176	
REF	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)		Acc. Reductions	Additional Cost	Fuel Saving
	2030	2050			
World	1.5	1.7	219	10	-21
Ind. C.	1.1	1.0	54	1	-7
Dev. C.	2.0	2.6	165	9	-14

Benefits of
civilization evolution



Nationally
appropriate action

7

Civilization revolution

From REF to Z650 – Global and Regional Cost and Benefit

REF	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)		Acc. Emissions GtCO2 (2010-50)	Acc. Cost T\$ (2010-50)	
	2030	2050			
World	1.5	1.7	1483	326	
Ind. C.	1.1	1.0	635	155	
Dev. C.	2.0	2.6	848	171	
Z650	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)		Acc. Reductions	Additional Cost	Fuel Saving
	2030	2050			
World	1.2	0.75	372	13	-13
Ind. C.	0.9	0.5	128	5	-4
Dev. C.	1.6	1.1	245	8	-9

Difficulties of
civilization revolution



International
mechanism

8

International Mechanism

--- Financial program of COP15 & COP16

Recognizes that developed country Parties commit, in the context of meaningful mitigation actions and transparency on implementation, to a goal of mobilizing jointly USD 100 billion per year by 2020 to address the needs of developing countries.

Assumption of extending to 2050, the total amount will be 4 trillion USD.

--- Official Development Assistance (ODA)

Exceeds USD 100 billion per year from 2005 on.

Assumption of continuing to 2050, the total amount will be more than 4 trillion USD.

9

Practical Approach

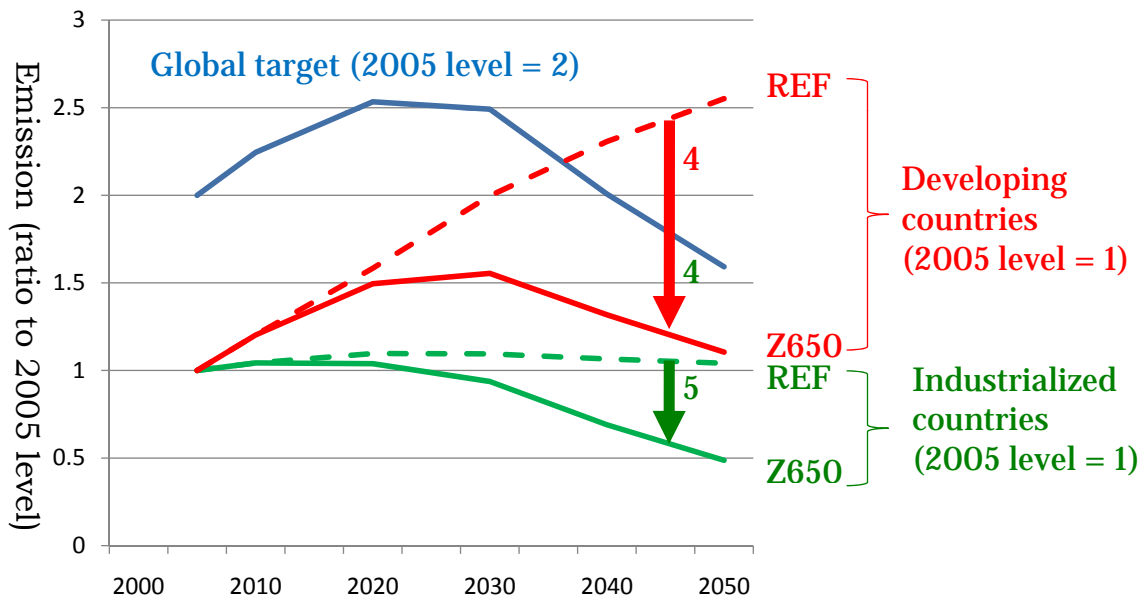
From BAU to Z650 – Common but differentiated responsibility

		Industrialized countries	Developing countries	Global emissions		
REF New development	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)	2030	1.1	2.0	1.5	
		2050	1.0	2.6	1.7	
	Acc. Emissions GtCO2 (2010-50)		635	848		
	Acc. costs T\$ (2010-50)		145	128		
Fist step Domestic effort	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)	2030	0.9	-	1.4	
		2050	0.5		1.35	
	Acc. Reductions GtCO2 (2010-50)		128			
	Add. Costs T\$ (2010-50)		5			
	Fuel Saving T\$ (2010-50)		-4			
Second step Cooperated effort in developing countries	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)	2030		1.6	1.2	
		2050		1.1	0.75	
	Acc. Reductions GtCO2 (2010-50)				245	
	Add. Costs T\$ (2010-50)			4	8(4)	
	Fuel Saving T\$ (2010-50)				-9	

10

Practical Approach

Global and regional emissions of Energy Related CO₂



11

Comparison with G8 Summit Proposal

Accumulative costs (2010-50) (Trillion US\$)	REF to Z650+			REF to Z650			
	Domestic efforts only			With international cooperation			
	Action	Reduction (Gt CO ₂)	Cost Benefit	Action	Reduction (Gt CO ₂)	Cost Benefit	
Industrialized countries	Domestic reduction	265	38(-10)	Domestic reduction in Industrialized countries		128	5(-4)
				Collaborated reduction in developing countries	International offsets	123	8(-9)
Domestic counts	122						
Developing countries	Domestic reduction	108	8(1)				
Total		373	46(-9)		373	13(-13)	

Z650+: the scenario with a global CO₂ emission cap of Z650 and a cap for industrialized countries according to G8 Summit Proposal (80% reduction in 2050 compared to the 2005 levels)

12

Nuclear Phase out?

From REF to NPO – Global and Regional Cost and Benefit

REF	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)		Acc. Emissions GtCO2 (2010-50)	Acc. Cost T\$ (2010-50)	
	2030	2050			
World	1.5	1.7	1483	326	
Ind. C.	1.1	1.0	635	155	
Dev. C.	2.0	2.6	848	171	
NPO	CO2 Emissions (ratios to 2050 level)		Acc. Reductions	Additional Cost	Fuel Saving
	2030	2050			
World	1.2	0.75	373	20(13)	-7(-13)
Ind. C.	0.9	0.4(0.5)	159(128)	7(5)	-4(-4)
Dev. C.	1.7(1.6)	1.2(1.1)	214(245)	13(8)	-3(-9)

Serious impact on cost-benefit performance, especially in developing countries.

13

Harmony

Global and regional CO₂ Emissions

Ratios to 2005 levels		2005	2030	2050
REF	World	1.0	1.5	1.7
Z650	World	1.0	1.2	0.75
	Developed countries	1.0	0.9	0.5
	US		0.9	0.4
	EU15		0.85	0.5
	Japan		0.8	0.4
	Developing countries	1.0	1.6	1.1
	China		1.6	0.9
India	1.9		1.7	

Red numbers indicate the national domestic reduction targets.

Harmony - potential

With national scenarios (China)

Scenarios	Actions	Emissions		
		2005	2035	2050
Reference	Extension of current energy policies	1.0	2.3 (2.0)	2.35 (2.5)
Low Carbon	Enhanced energy policies		1.7	1.7
Enhanced Low Carbon	With international cooperation		1.6 (1.6)	1.0 (0.9)

Data source: "China's Low Carbon Development Pathways by 2050"
Red numbers indicate the proposal of this study

15

Harmony – technical capacity

With national action plan (Japan)

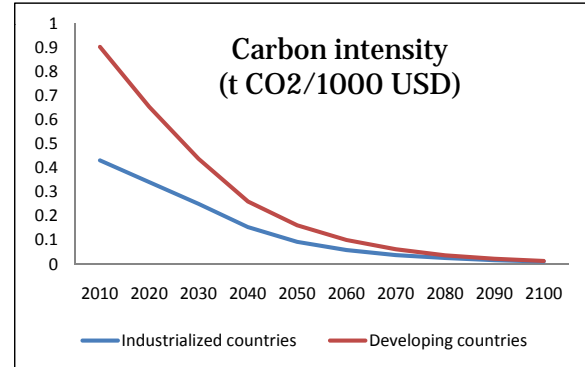
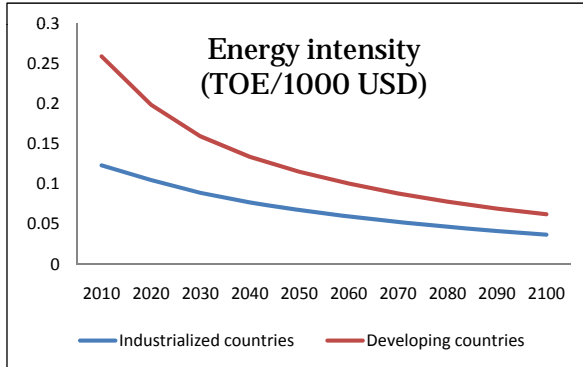
Actions	Annual CO2 reduction potential (Mton)
To apply the Japanese high efficiency coal fire power generation technologies to US, China and India	1,300
To deploy the nuclear power generation technologies worldwide	6 (per unit)
To apply the Japanese technologies in the iron industry worldwide	340
To apply the Japanese technologies in the cement industry worldwide	180

Data source: "the Industrial Structure Vision 2010"

16

Harmony – low carbon future

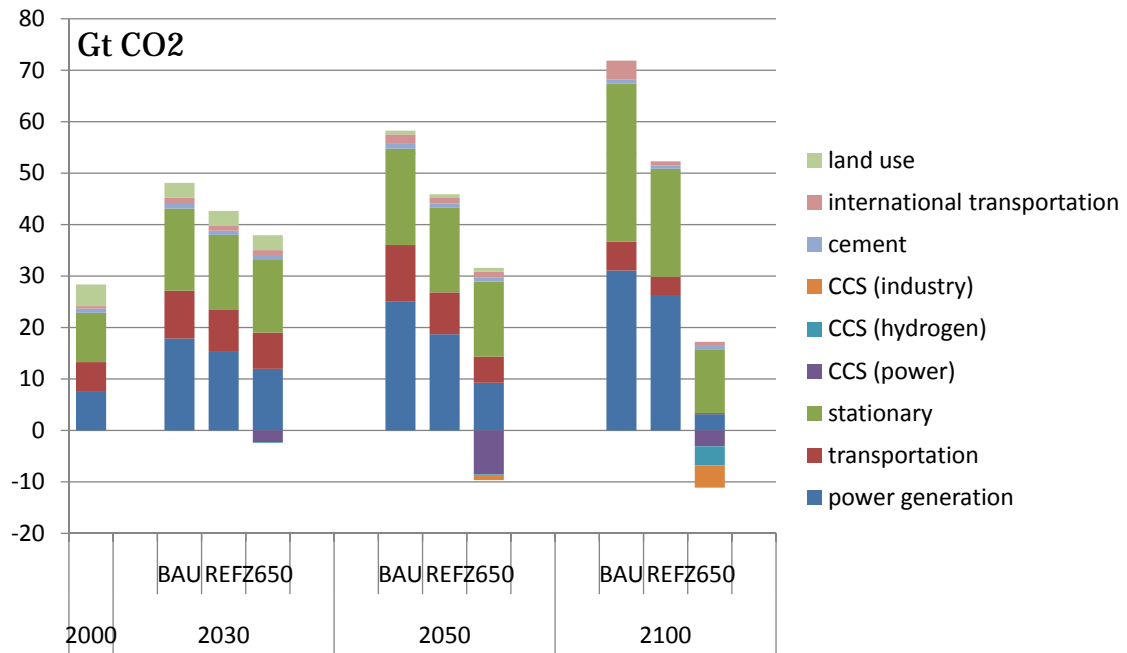
Regional energy and carbon intensities of Z650



Appendix

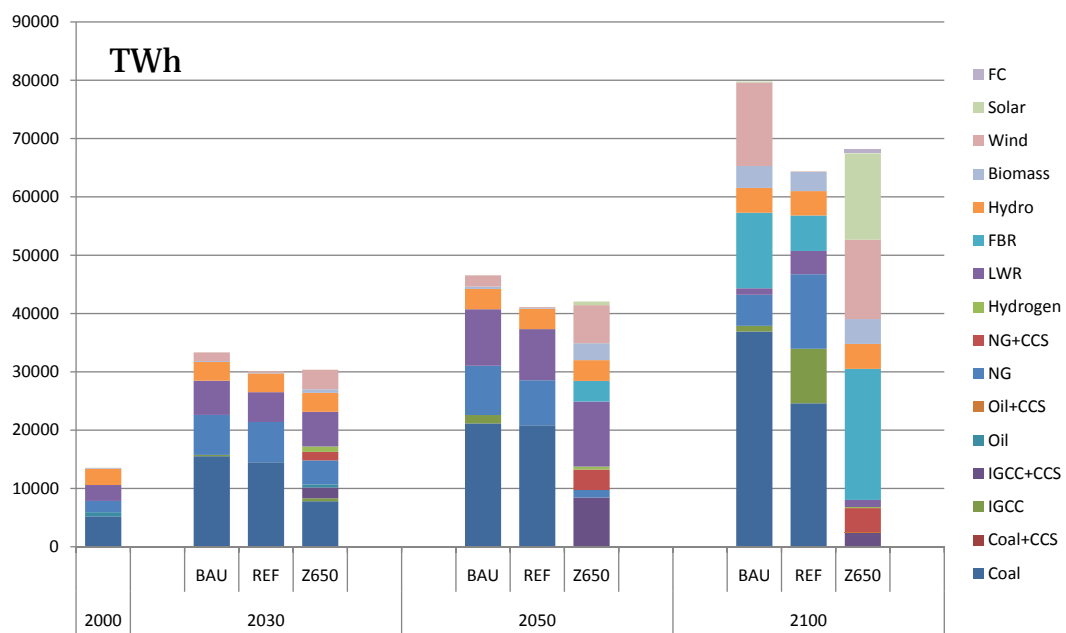
Optimal Way to Achieve

Global emissions of Energy Related CO₂



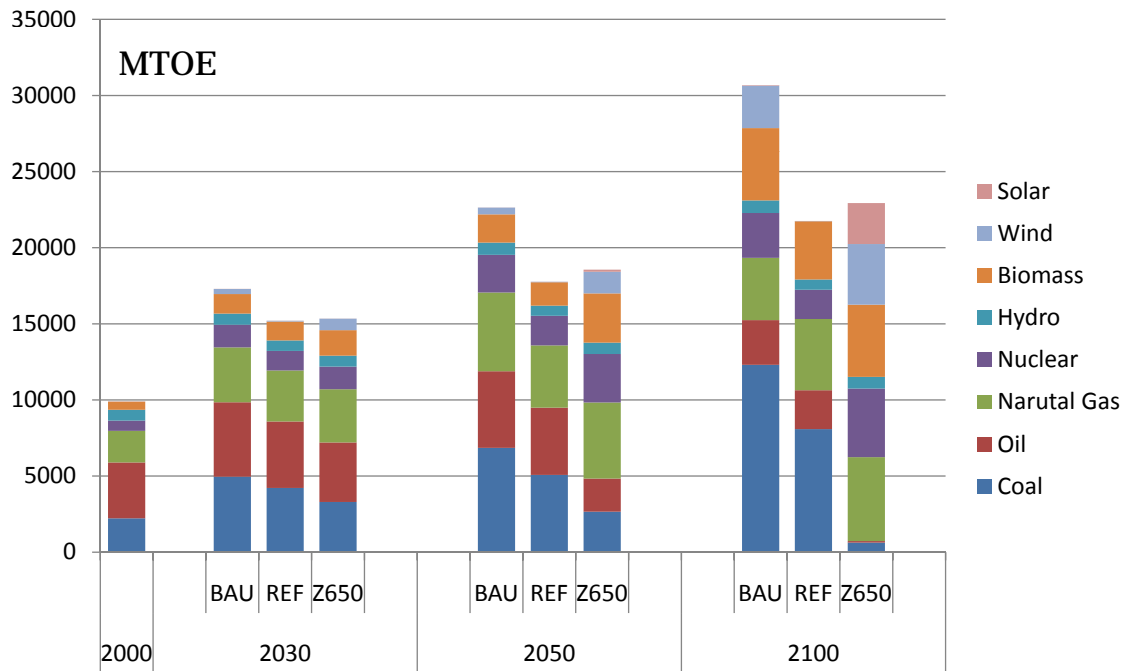
Optimal Way to Achieve

Global energy mix for power generation



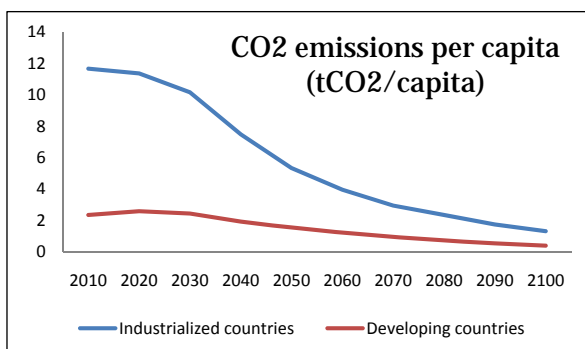
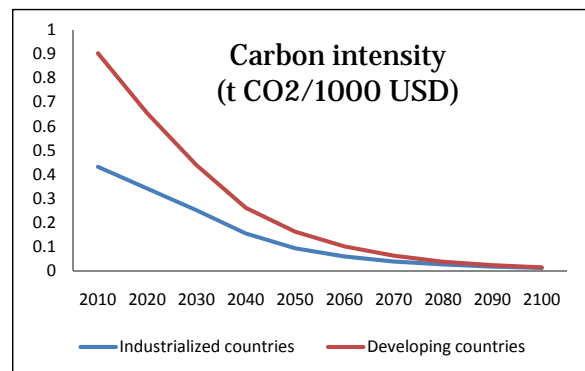
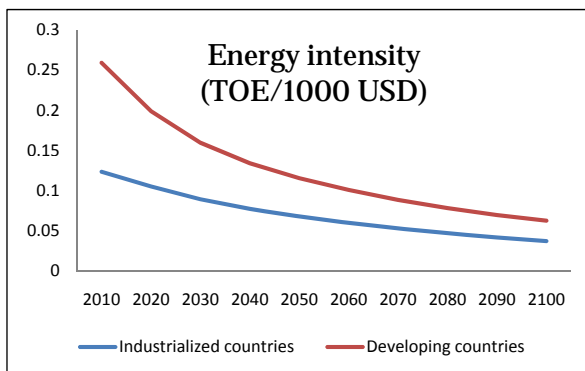
Optimal Way to Achieve

Global primary energy supply



Optimal Way to Achieve

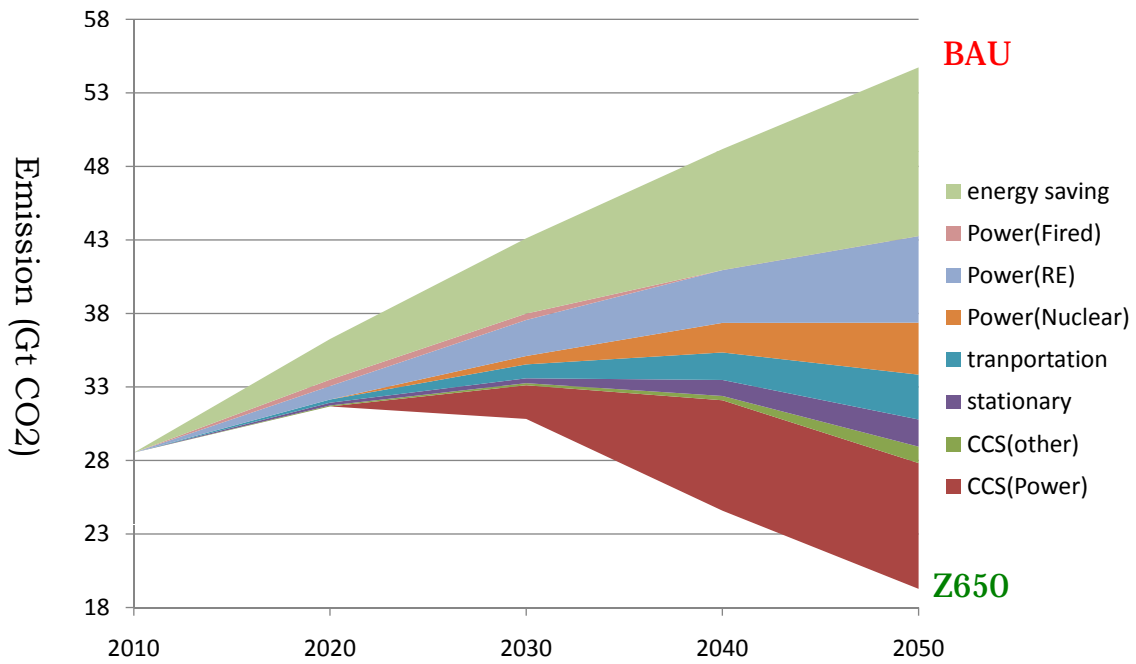
Regional energy and carbon intensities of Z650



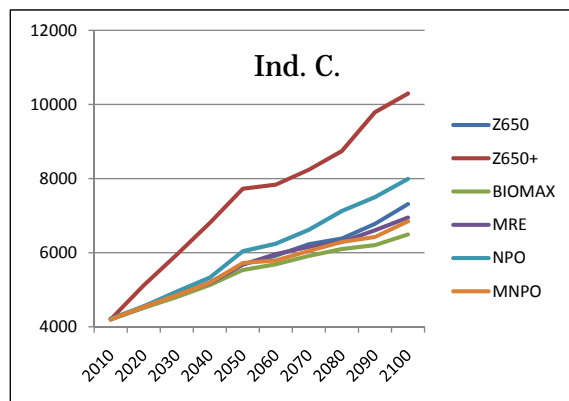
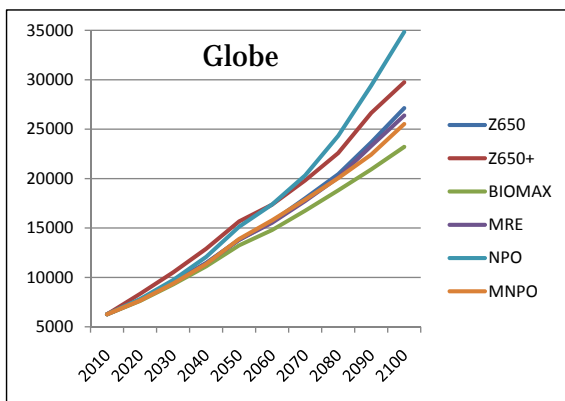
Accumulative CO2 emissions per capita
 Industrialized countries: 375t
 Developing countries: 89t
Accumulative CO2 emissions per GDP (1000USD)
 Industrialized countries: 10t
 Developing countries: 19t

Optimal Way to Achieve

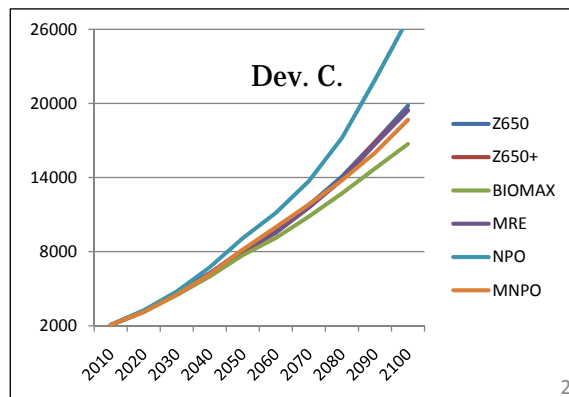
Emission reductions by sector



Alternative Ways to Achieve

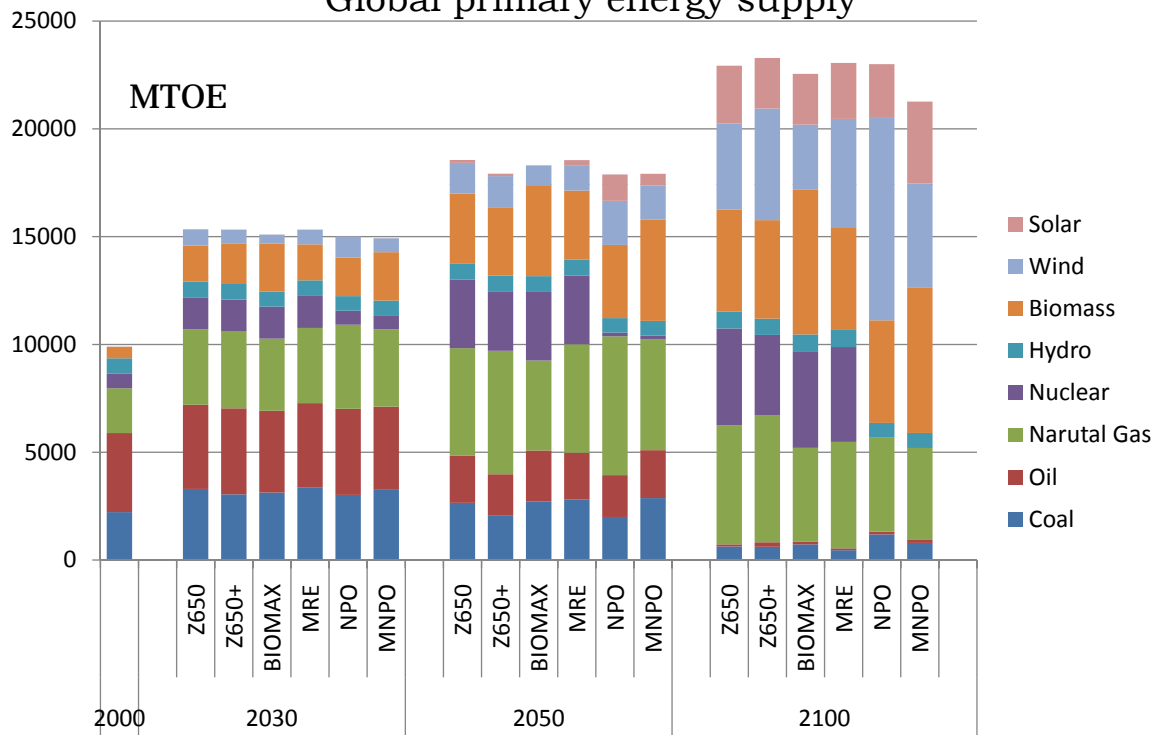


Cost comparisons



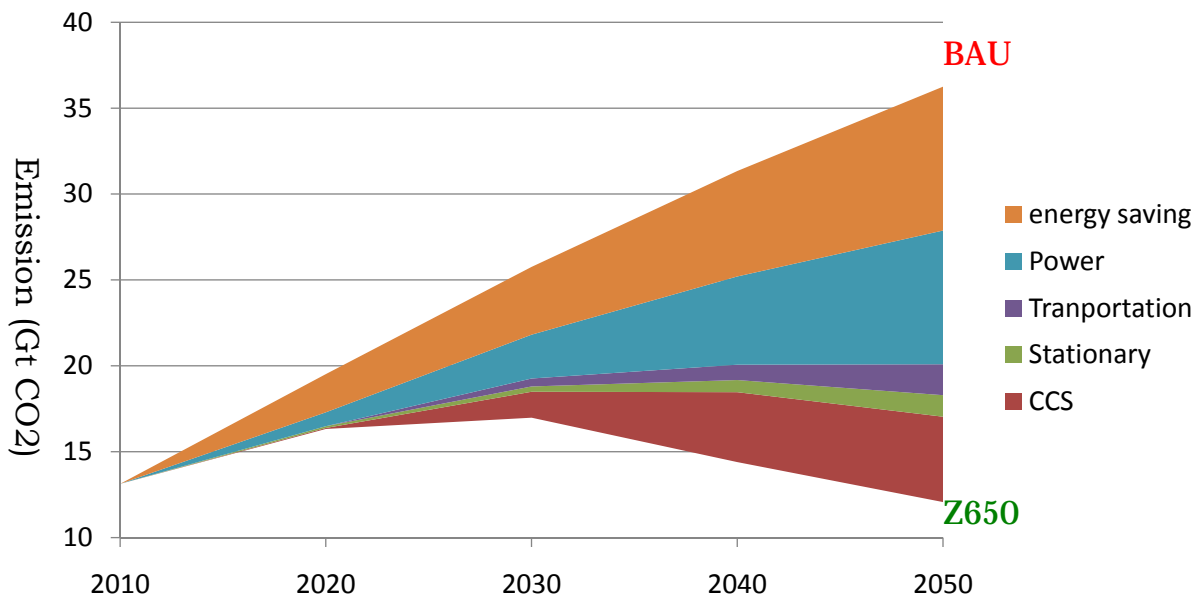
Alternative Ways to Achieve

Global primary energy supply



Optimal Way to Achieve

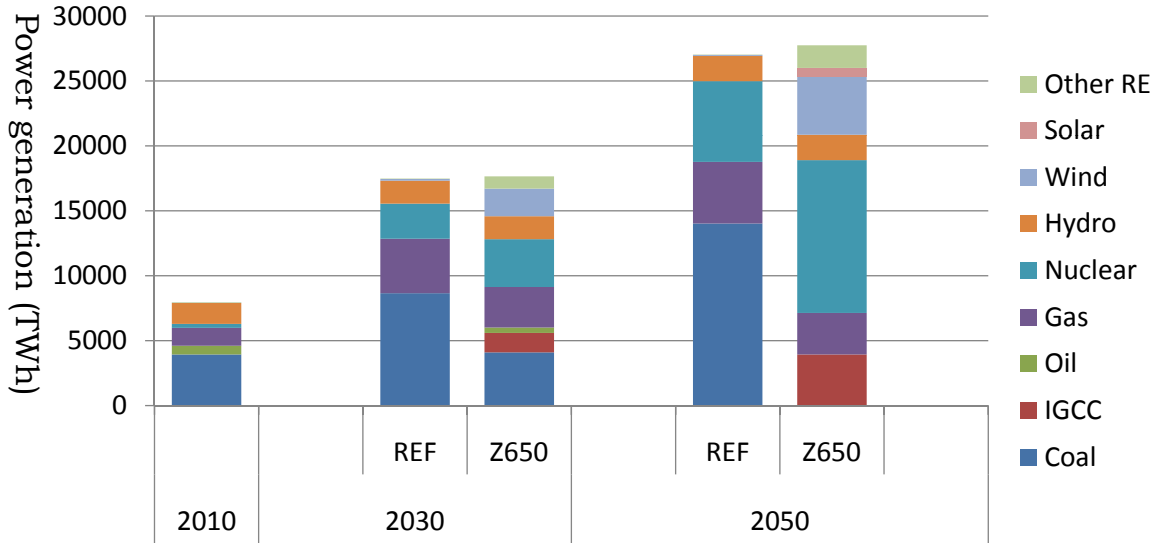
Emission reductions in developing countries by sector



Important sector: Energy saving, Power generation, CCS.

Optimal Way to Achieve

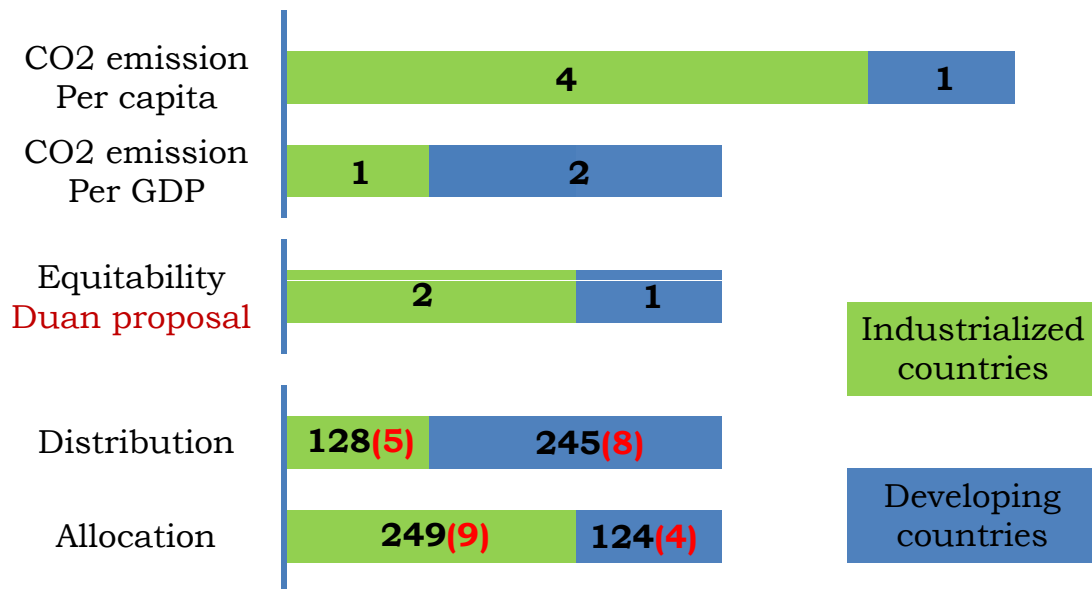
Difference of power generation system in developing countries



Necessary technologies: IGCC, Nuclear, Renewable energy.

Way to revolution

Equitable allocation proposal



Green fund of 4 trillion USD, which will provided by industrialized countries and used in developing countries, is necessary.



国際協カスキームのあり方

横山 隆壽

YOKOYAMA Takahisa

キヤノングローバル戦略研究所
研究員



国際協カスキームのあり方

横山 隆壽

キヤノングローバル戦略研究所
研究員

国際交渉におけるグローバルな削減に向けて の認識・合意の現状＝課題

- ☆ 科学性: 2°Cリミット認識。削減量の配分・削減時期の合意はない。
- ☆ 公平性: 共通だが差異ある責任(何ら定量化はされていない。共通の認識・合意はない)
- ☆ 実現性(削減行動): 各国によるコミットメント(ボランティア)。新メカニズム(気候ファンド、テクノロジーメカニズム、適用の枠組み、MRVやICAのプロセス)合意。肉付けはCOP17までに。

GRAPE解析のまとめ

☆科学性: 解析結果が要求する削減量

累積量として約600Gt。削減のピーク時期 2020~2030年。

削減目標 グローバル25% (2050年に2005年比で)

Annex I マイナス50%; Non-Annex I プラス 110%

☆公平性: 削減量のリーズナブルな配分例の提示

○ 総排出量 (2010-50累積): 1483 Gt (BAU) ⇒ 1110 Gt (Z650)

○ グローバルな総削減量 373 Gt

・Annex I : 128Gt

・Non-Annex I : 245 Gt

○ 総削減費コスト US\$ 13 trillion (2010-50累積)

・Annex I US\$ 5 trillion

・Non-Annex I US\$ 8 trillion

○ 国際的支援:

・第一段階は国内努力による。

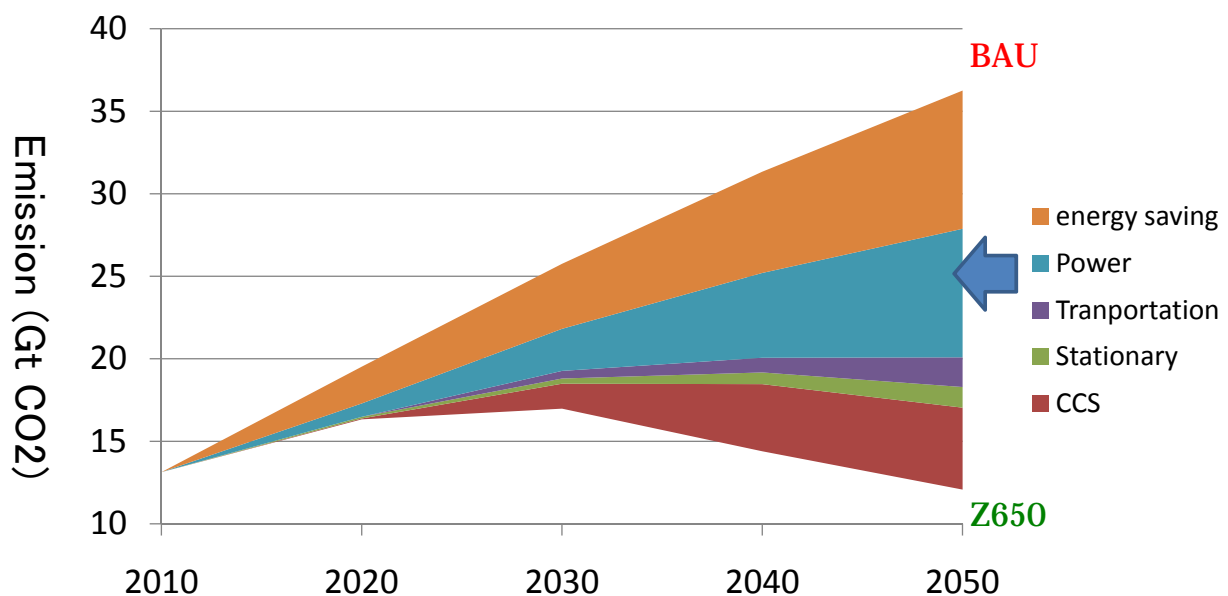
・第二段階で国際的支援

US\$ 4 trillion (Annex I からNon-Annex I へ)

☆ 実現性(削減方法): グローバルにエネルギー生産からのCO2削減技術を共有できるしくみの構築が必要

普及を必要とする技術

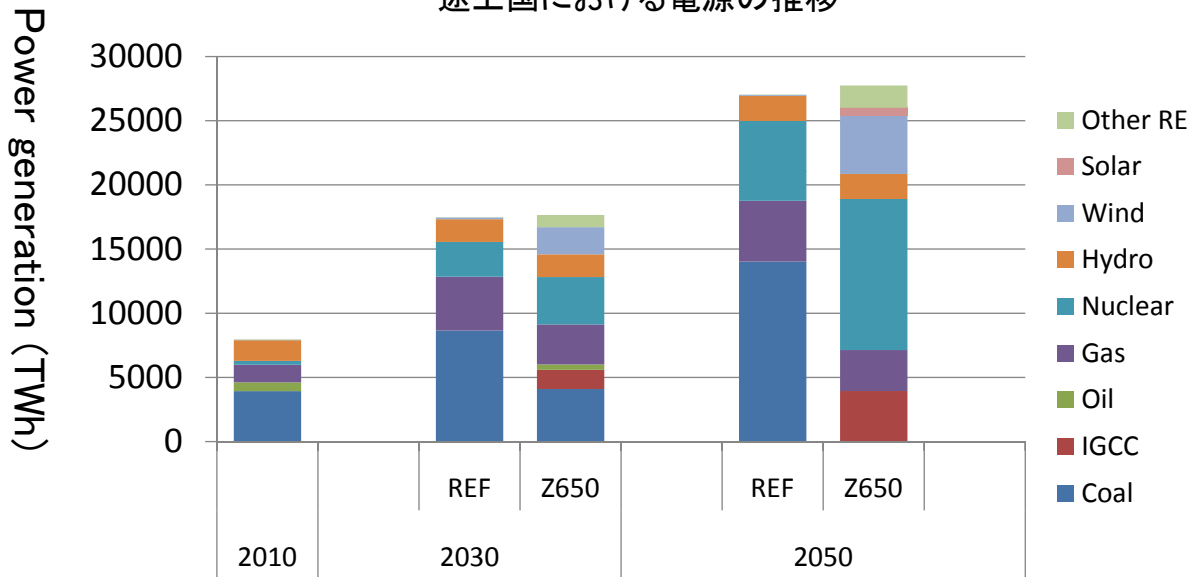
途上国における排出削減



重要な要素: 省エネ, 発電技術, CCS. by Duan

普及を必要とする発電技術

途上国における電源の推移

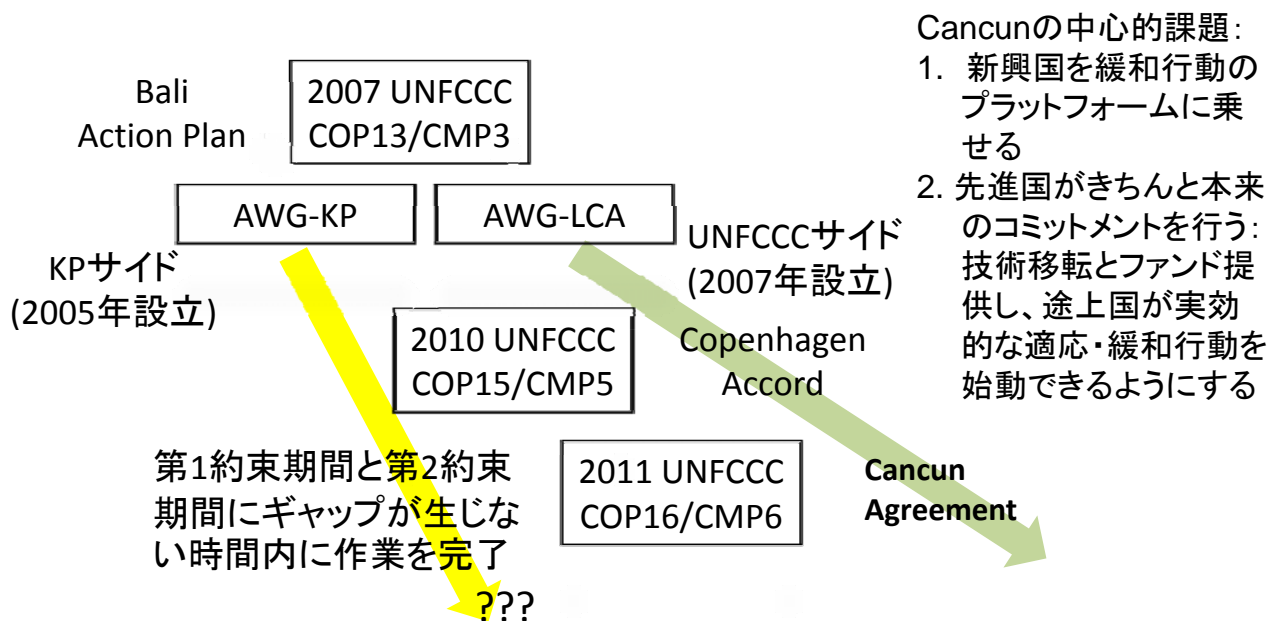


重要な技術: IGCC, 原子力, 再生可能エネルギー by Duan

当面(2030年ころで)風力、高効率火力発電、原子力発電が進展
火力発電、原子力発電はベースロードエネルギー供給として特に重要。

気候変化に関する国際交渉の現状

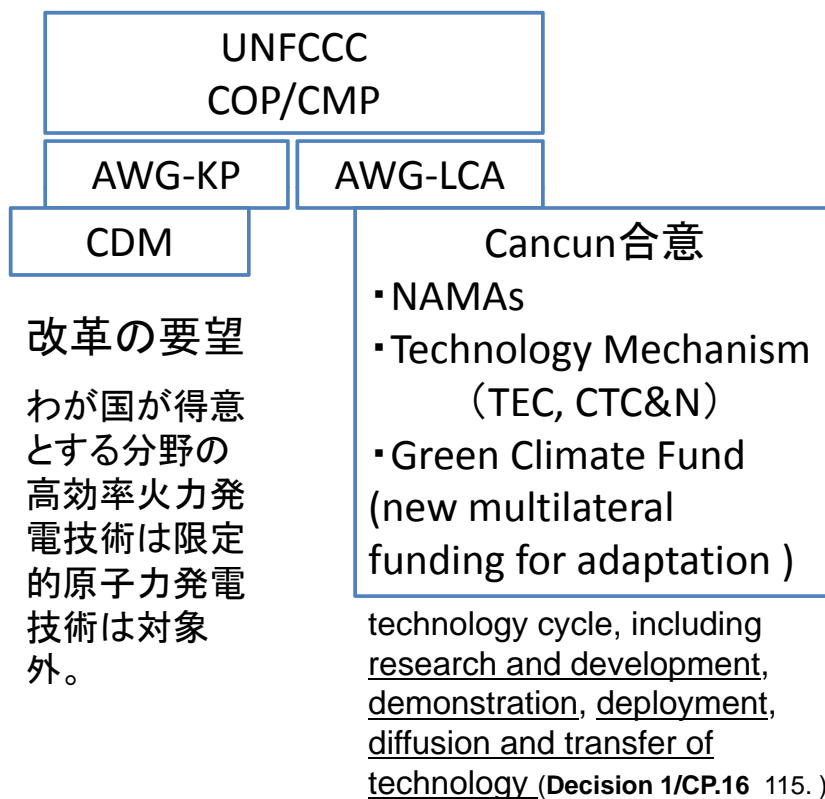
2つのトラックでの交渉が続行



- Cancunの中心的課題:
1. 新興国を緩和行動のプラットフォームに乗せる
 2. 先進国がきちんと本来のコミットメントを行う: 技術移転とファンド提供し、途上国が実効的な適応・緩和行動を開始できるようにする

- ・京都議定書の先は見えない。
- ・UNFCCCのトラックでの「ボトムアップ」による成果に傾斜しつつある。⇒NAMAs
- ・UNFCCCの進捗はなお国内政策がキー。

現在枠組 (UNFCCC or KP) での二国間 (多国間) 取組のオプション



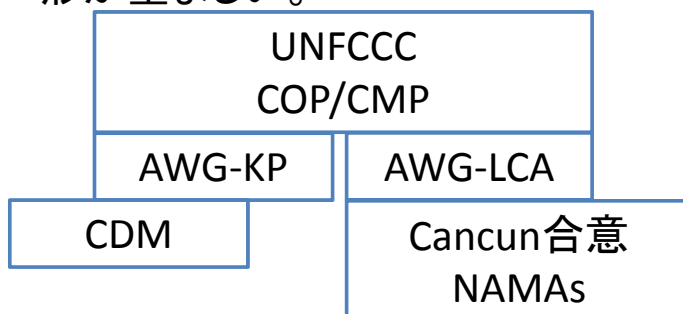
改革の要望
わが国が得意とする分野の高効率火力発電技術は限定的原子力発電技術は対象外。

Decision 1/CP.16
48. Agrees that developing country Parties will take nationally appropriate mitigation actions in the context of sustainable development, supported and enabled by technology, financing and capacity-building, aimed at achieving a deviation in emissions relative to business as usual emissions in 2020

現在のところ
技術移転のメカニズムはセッティングされていない。

新たな二国間 (多国間取組) への一つのパス

要点: UNFCCCの枠組みを補完する削減の仕組みが必要。将来、二国間 (あるいは) 協定による排出削減プログラムと国際プログラム (次期UNFCCC下での途上国のNAMAs) との調和が図れるような形が望ましい。



しかし、NAMAで国際的支援によるものは、国際的MRVを受けるので、しくみの上でこの緩和が必要。CDMのような追加性要求や妥当性確認・検証の仕組みは速やかなNAMA行動の障害となるかもしれない。

現在NAMAの詳細は決まっていないが、少なくとも以下の3形態は想定しうる。

Option1: unilateral

Option2: bilateral (or multi-) without offset credit

Option3: bilateral with offset credit

技術移転を促す国際協カスキームの基本

目的: キーテクノロジー(主として高効率火力発電、原子力発電)の広範囲な普及により早期にエネルギー起源のCO₂排出削減に貢献する。

✓ 二国間アプローチ:

二国間の協定に基づくカーボンオフセットのしくみ。ホスト国のプロジェクト/プログラムの実施資金を他国が技術/財務支援・保証する

✓ オフセットクレジットの付与:

オフセットクレジットの配分等については二国間での合意で決める。オフセットクレジットは投機性を排除し、自国内での活用に限る。

✓ 技術(知識, 情報, 経験, ハードウェア, ソフトウェア, ノウハウ等):

対象技術の種類に柔軟性を持たすが、大幅なCO₂排出削減に貢献することに重点を置く。ホスト国のエネルギー計画にマッチする技術に重点を置く。必然、国家のエネルギー計画として進められる規模のプロジェクト(原力や石炭火力)を中心に据える。

✓ CDMにおける財務的追加性は要件としない。投資スキームと調和するコスト効果のあるプログラム/プロジェクト。(火力発電や原子力発電などは、CDMがなくても進む)

カーボンオフセットの算定

✓ 基本的方法論は二国間の合意に基づくものとし、簡易な方法を採用する(「適用条件」、「ベースライン及び追加性」、「オフセット量の算出方法(ベースラインを含む)」、「MRV(測定・報告・検証)の考え方」など)

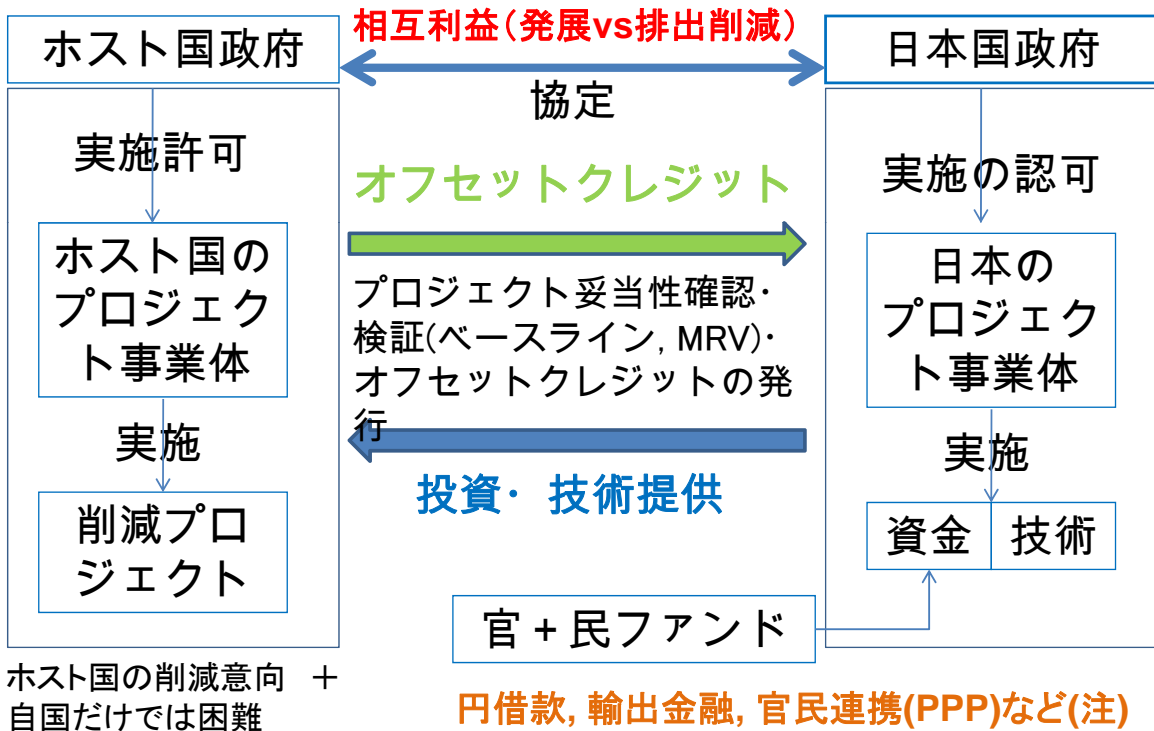
例えば、

✓ パフォーマンス(性能)基準(エネルギー生産技術のCO₂排出量原単位の向上を目的とするならばこれで容認されるだろう)。CDMのようにプロジェクト固有のベースラインシナリオの設定は出来るだけ避ける(必要なデータが入手できない場合もある)。

✓ MRVはWBCSD GHG ProtocolやISO 14064等の適用。

プロジェクトの妥当性確認・MRV・クレジットの発行はISO認証機関等が行う。

二国間協定に基づくカーボンオフセットメカニズム



(注)経産省委託業務,ベトナム超々臨界圧型石炭火力導入による二国間クレジット制度化検討, 東京電力、

事例 中国における石炭火力発電についてボイラ-タービン式石炭火力の立地計画をIGCCで代替する場合の単純化したケース

	2008	2020	2035	2050	Remarks
a. 想定発電電力量 TWh	2790	4040	5091	4700	1
b. 総発電容量 GW	601	842	1083	1022	
c. 発電効率 %	35.2	37.5	39	40	2
d. 石炭消費量 Mtoe	681.6	927.6	1122.6	1010	From a and c
e. B-T式石炭火力のCO2 Mt	2699	3673	4445	4000	d*3.96
f. 石炭火力新設予定 GW		413	868	1022	(リプレー ス+新設)
g. IGCCで代替 GW		413	868	1022	d and e
h. CO2 reduction Mt		333	542	520	Reduction from e

1: Based on the EEI scenario in "China's Low Carbon Development Pathways by 2050"

2: The final target of coal fire plant in EEI scenario is the USC and SC, the thermal efficiency is assumed to be 40%

3: It is assumed that all of the current plant in 2008 will be scraped and rebuilt by 2050 with the same speed

4: The efficiency of IGCC is assumed to be 46% according to the data from Nakoso, Japan

5: The capacity is calculated based on the same operating ratio of dust coal fire plant (about 53%).



Reference

• FCCC/CP/2007/6/Add.1 14 March 2008; **Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007**

• FCCC/CP/2010/7/Add.1 **Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010**

• **ベトナム 超々臨界圧型石炭火力導入による 二国間クレジットの制度化検討**
委託業務完了報告書,委託先東京電力株式会社,経済産業省 産業技術環境局環境対策課 地球環境対策室 (平成23年3月 2011年)

• **NAMAs and the NAMA Registry: Key issues to be resolved for an international agreement at Copenhagen, THE CENTER FOR CLEAN AIR POLICY, Washington, D.C. July 10, 2009**

• Cancún results pave the way for Nationally Appropriate Mitigation Actions [NAMAs], Policy Update ,Ecofys, **Issue II, April 2011**

• **The Climate Technology Mechanism: Issues and Challenges**, International Centre for Trade and Sustainable Development, Information Note Number 18. MARCH 2011

• Heleen de Coninck, Carolyn Fischer, Richard G. Newell, and Takahiro Ueno, **International Technology-Oriented Agreements to Address Climate Change**, January 2007 (RFF DP 06-50)

参考1 二国間取組へのパス

Recognizing that an early and rapid reduction in emissions and the urgent need to adapt to the adverse impacts of climate change require large-scale diffusion and transfer of, or access to, environmentally sound technologies,

116. *Encourages* Parties, in the context of Article 4, paragraphs 1(c) and 5, of the Convention and consistent with their respective capabilities and national circumstances and priorities, to undertake domestic actions identified through country-driven approaches, to engage in bilateral and multilateral cooperative activities on technology development and transfer and to increase private and public research, development and demonstration in relation to technologies for mitigation and adaptation;

参考2 NAMAs Categorization of NAMAs by Non-Annex I Parties based on Appendix II of Copenhagen Accord (40 Countries) by IGES

Category 1	Category 2	Category 3	Category 4		
Enabling Conditions ³	Projects, Programs and Sectoral Measures	Carbon Neutrality ⁴	Emission Reduction Targets		
Afghanistan Botswana Georgia	Armenia Benin Central African Republic Republic of Congo Cote d'Ivoire Ethiopia Eritrea Gabon Ghana Cameroon Jordan Madagascar Mauritania Mongolia Peru San Marino Sierra Leone Macedonia Togo Tunisia	Bhutan Costa Rica Maldives	Intensity target (GDP)	Absolute target	
			China India	Base Year	BAU
				Antigua Barbuda (1990) Marshall Islands (2009) Moldova (1990)	Brazil Indonesia Israel Mexico Papua New Guinea Republic of Korea Singapore South Africa

参考3 公平性 Alternative Equity Criteria for Climate

<i>Equity principle</i>	<i>Interpretation</i>	<i>Implied burden-sharing rule</i>
Egalitarian	People have equal rights to use atmospheric resources.	Reduce emissions in proportion to population or equal per capita emission.
Ability to pay	Equalize abatement costs across nations relative to economic circumstances.	Net cost proportions are inversely correlated with per capita GDP.
Sovereignty	Current rate of emissions constitutes a status quo right now.	Reduce emissions proportionally across all countries to maintain relative emission levels between them ("grandfathering").
Maxi-min	Maximize the net benefit to the poorest nations.	Distribute the majority of abatement costs to wealthier nations.
Horizontal	Similar economic circumstances have similar emission rights and burden sharing responsibilities.	Equalize net welfare change across countries so that net cost of abatement as a proportion of GDP is the same for each country.
Vertical	The greater the ability to pay, the greater the economic burden.	Set each country's emissions reduction so that net cost of abatement grows relative to GDP.
Compensation (Pareto rule)	"Winners" should compensate "losers" so that both are better off.	Share abatement costs so that no nation suffers a net loss of welfare.
Market justice	Make greater use of markets.	Create tradable permits to achieve lowest net world cost for emissions abatement.
Consensus	Seek a political solution that promotes stability.	Distribute abatement costs (power weighted) so the majority of nations are satisfied.
Sovereign bargaining	Principles of fairness emerge endogenously as a result of multistage negotiations	Distribute abatement costs according to equity principles that result from international bargaining and negotiation over time
Polluter pays	Allocate abatement burden corresponding to emissions (may include historical emissions).	Share abatement costs across countries in proportion to emission levels.
Kantian allocation rule	Each country chooses an abatement level at least as large as the uniform abatement level it would like all countries to undertake.	Differentiate by country's preferred world abatement, possibly in tiers or groups.

Source: Adapted from Burtraw and Toman, Ringius and others, and Rose 1992 (see Suggested Reading).

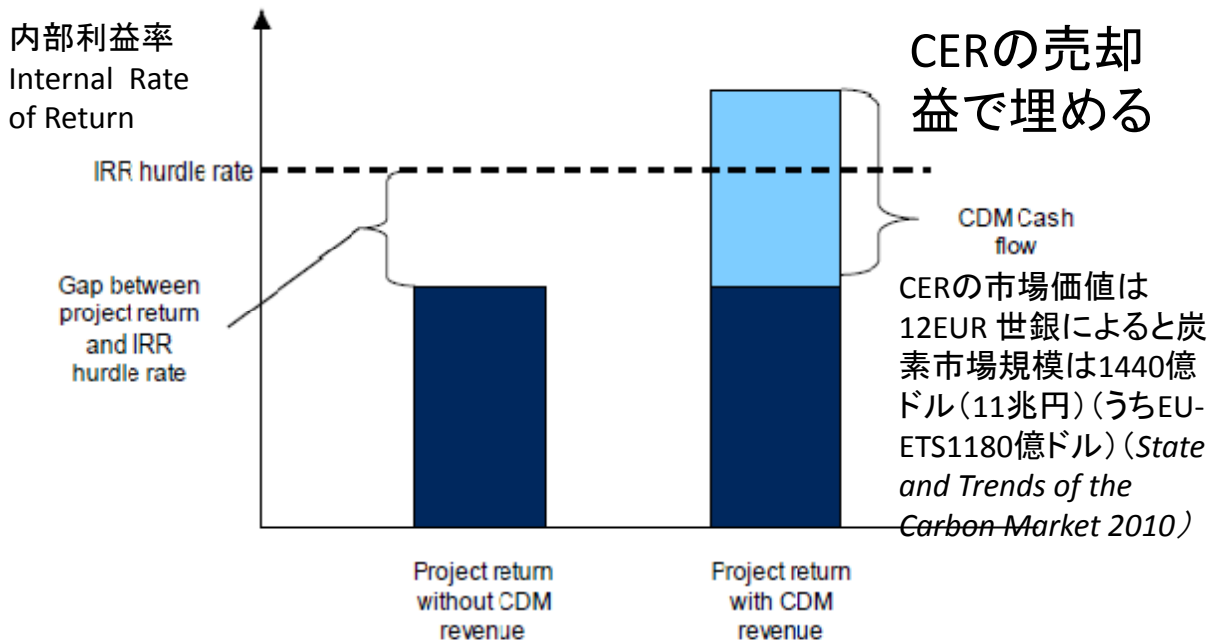
International Equity and Climate Change Policy, Marina Cazorla and Michael Toman
December 2000 • Climate Issue Brief No. 27, 2000 Resources for the Future; <http://www.rff.org>

参考4: 現在・将来のUNFCCCの仕組みの中での削減実績- CDM -

- CDM
 - 改革の必要性。
 - グローバルな寄与は低い。年間約3億トン程度(2010年のグローバルな排出量280億トン/年)。途上国の持続的発展寄与への期待。
 - UNFCCCレポートのTechnology Transferの効果は誇大(Promode Kant, Cancun technology Breakthrough Should Deal with a fatal Flaw Within, IGREC Working Paper, IGREC-18:2011, Institute of green Economy)
- Technology Mechanismの設立 (Cancun 合意 Draft decision [-/CP.16] 117)
 - Technology Executive Committee
 - Climate Technology Centre and Network

参考5 CDMにおける財務的追加性

プロジェクトの収益がIRRを超えてはいけない
= CERの売却益でIRRを超えるようではならない



参考6. 技術移転のメカニズムはセッティングされていない。 UNFCCCにおける技術移転の歴史的経緯

- 1992 UNFCCC Rio
- UNFCCC SABSTA
- 1997 Koto Protocol
“policies and programmes for the effective transfer of environmentally sound technologies that are publicly owned or in the public domain and the creation of an enabling environment for the private sector, to promote and enhance the transfer of, and access to, environmentally sound technologies”.
- Expert Group on Technology Transfer (At the Marrakesh Conference)
assessment of technology needs and priorities of developing countries
- UNFCCC Report (The Contribution of the Clean Development Mechanism under the Kyoto Protocol to Technology Transfer)
多国間プロジェクトが減少: CDMホスト国(中国、インド、ブラジル、メキシコ、韓国)
技術移転の定義はない。
- Cancun Technology Transfer Mechanismの設置
The Technology Executive Committee (TEC) has been constituted in a manner designed to act as a mere technical management board with 20 nominated members

技術移転のメカニズムはセッティングされていない。

参考7: 現在の国際的の仕組みの中での大幅削減は困難 - 雛型はあるが、実効性は?? -

知識共有と組織間 協調Knowledge sharing and coordination	1. Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) and the International Platform on the Hydrogen Economy (IPHE) 2. Methane to Markets Partnership 3. Task sharing in International Energy Agency Implementing Agreements (IEA-IA) 4. Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate (APP) (一部休止か?) 5. Energy Star bilateral agreements
研究開発 RD&D	6. European Organization for Nuclear Research (CERN) 7. ITER fusion reactor 8. Cost sharing in International Energy Agency Implementing Agreements (IEA-IA) 9. The Solvent Refined Coal II Demonstration Project (SRC-II)
技 術 移 転 Technology transfer	10. Multilateral Fund under the Montreal Protocol 11. Global Environment Facility (GEF)
技術要求とインセン ティブ Technology mandates and incentives	12. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) 13. European Union Renewables Directive 12. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) 13. European Union Renewables Directive
技術志向型合意の 展望Prospective TOAs	14. Carbon capture and storage technology mandate (Edmonds and Wise) 15. Zero-Emission Technology Treaty (ZETT) proposal 16. Barrett and Benedick proposals for combined technology R&D and standards

(Heleen de Coninck, Carolyn Fischer, Richard G. Newell, and Takahiro Ueno, International Technology-Oriented Agreements to Address Climate Change, January 2007 RFF DP 06-50)

参考8 UNFCCCで約束されている資金支援 Decision1/COP16 Finance

98. *Recognizes* that developed country Parties commit, in the context of meaningful mitigation actions and transparency on implementation, to a goal of mobilizing jointly USD 100 billion per year by 2020 to address the needs of developing countries;

99. *Agrees* that, in accordance with paragraph 1(e) of the Bali Action Plan, funds provided to developing country Parties may come from a wide variety of sources, public and private, bilateral and multilateral, including alternative sources;

100. *Decides* that a significant share of new multilateral funding for adaptation should flow through the Green Climate Fund, referred to in paragraph 102 below;

参考9 電事連会長 定例会見要旨 (2011年2月18日)

2国間オフセットメカニズム

気候変動枠組条約下での長期的協力の行動のための特別作業部会結論文書における 82,86,87 段落(メカニズム)に対する意見書〔和訳〕

電気事業連合会は、特にプロジェクト単位での「二国間オフセットメカニズム」などの様々なメカニズムが、AWG/LCA 結論文書に基づき創設される枠組みの下で十分に認知されることを強く要望する。

http://www.fepec.or.jp/about_us/pr/kaiken/_icsFiles/afieldfile/2011/02/18/kaiken0218.pdf

参考10 Towards a Breakthrough for Deadlocked Climate Change Negotiations

by akihiro sawa Harvard Project on Climate Agreements

- 1) Given future forecasts of greenhouse-gas (GHG) emissions induced by human activity, emission mitigation on the part of developing countries is indispensable.
- 2) The Kyoto Protocol, which only imposes legally-binding reduction targets upon developed countries (and from which the United States has withdrawn), cannot provide an effective solution to climate change issues; therefore, a new imaginative international framework that promotes emission mitigation on the part of both developed and developing countries is required.
- 3) For a period of time before graduation from the non-Annex I category, developing countries must be provided the resources that they are short of for the implementation of mitigation measures, on the condition that they accept a robust MRV process.



キャノングローバル戦略研究所
The Canon Institute for Global Studies

