

# 気候感度の不確定性を考慮した 排出パスの再検討

茅 陽一

地球環境産業技術研究機構

2015.2.27

# 目次

- 1.問題の背景：2°C目標達成の困難
- 2.気候感度とその不確定性  
気候モデルとエネルギーバランスモデル
- 3.気候感度変化と2°C目標時の残余累積  
CO<sub>2</sub>排出量
- 4.気候感度変化によるCO<sub>2</sub>排出実現性の  
変化
- 5.まとめ

# EUの新目標とその実現困難性

2015. 2. 25日経新聞1面

EUが「2050年までに温室効果ガスの排出を2010年比で60%減らす」との新長期目標をまとめた。

上記目標の困難性

現在の排出：発展途上国6：先進国4

\* 上記目標であると、先進国が8割減らしても  
発展途上国は2050年までに排出半減の要

\* OECDの2050予測：途上国のエネルギー需要は  
ほぼ倍増

このギャップを如何にうめるか？

# 2°C目標とオーバーシュートシナリオ

IPCC AR-5 WG3の諸シナリオ(2°C目標)

2100: 480~720 ppmCO<sub>2</sub>eq.

→ 653シナリオ中235が

2100年にマイナス排出を示す

(別図参照)

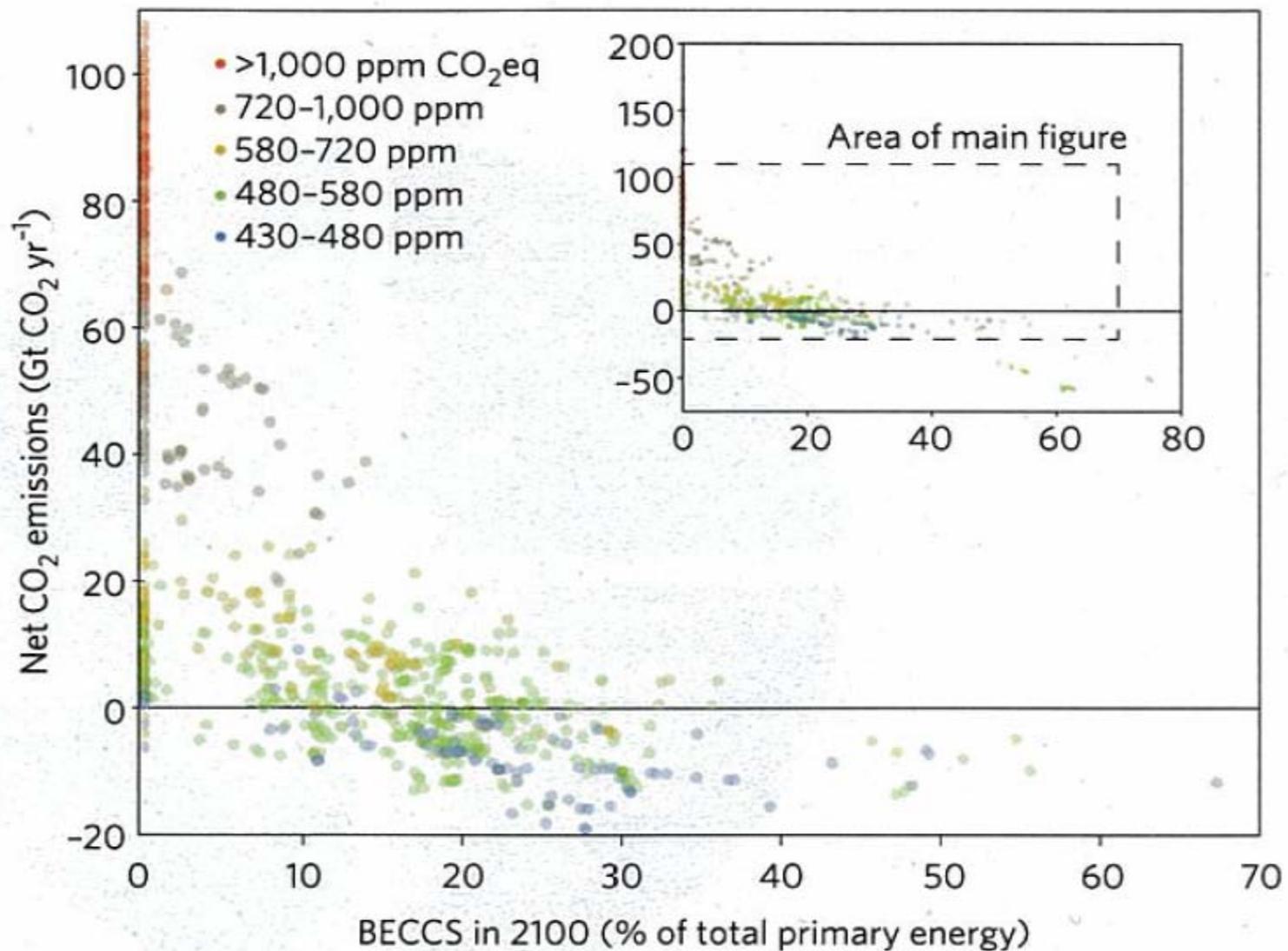
マイナス排出: 植林

BECCS

問題点: マイナス排出がどの程度実現可能?

図: 2°Cシナリオの2100におけるBECCS処理状況

b



Source:Fuss,S.et al, Nature Climate Change .October 2014p.851

# マイナス排出の方策

## —大気よりのCO2回収貯留—

1. 植林 森林への貯留
2. BECCS(BioEnergy with Carbon Capture and Storage) 草—刈り取り—燃焼  
発生CO2の地中貯留  
(樹木はBECCSの対象となり得ないことに注意。樹木は自身がCO2貯留を行っているので、これを伐採することはCO2処理という意味では無意味)

# 植林・BECCS必要面積

## 1. 植生データ

WhittakerらのデータによればCO<sub>2</sub>吸収量は

温帯樹林: 18.3ton CO<sub>2</sub>/ha/年

温帯草原: 8.4 ton CO<sub>2</sub>/ha/年

## 2. 必要吸収量: 前図で頻度の高い値とする

3Gt-CO<sub>2</sub>/年 (現世界吸収の10%)

## 3. 必要面積

温帯樹林の場合: 1.7億ha/年 (Australiaの1/4)

草地 (BECCS)の場合: 3.8億ha/年 (同1/2)

明らかに巨大過ぎて実行はほぼ不可能

(現在世界の森林減少: 数100万ha/年が処理できない)

# どう対応すべきか

前記のように2°C目標の実現はきわめて困難  
どう対応すべきか？

案1: 温度上昇目標の緩和

例: 2.5°C目標(昨年ALPS sym 発表)

案2: 温暖化に関する科学的知見の再検査

→ 気候感度問題

# J.Curry: Wall Street Journal 提言

— 2014. 10. 13 —

1. 従来のclimate model base の気候感度は高過ぎる。  
我々はデータ計測ベースで気候感度を求めずっと低い  
数値を引き出した。
2. 我々の論文は孤立したものではない。  
1ダース以上の似た論文が出ている。
3. 気候感度の低いことは経済の脱炭素化に  
従来の予想より時間の余裕があることを意  
味する。

J. Curry: Professor of Georgia Inst. of Technology, President of  
Climate Forecast Applications Network.

# 気候感度 Climate sensitivity

ECS(equilibrium climate sensitivity)

CO<sub>2</sub>濃度が2倍になったとき、最終的に  
起こる温度上昇値

TCR(transient climate response)

CO<sub>2</sub>濃度が年1%で上昇したとき、濃度が  
2倍に達したときの温度上昇値

# 気候感度推定の諸手法

1. 気候モデル ( AOGCM)による推定  
2 × CO<sub>2</sub> → モデルラン → 地球温度上昇最終値 = ECS
2. 古気候データからの推定
3. エネルギーバランスモデルと観測データからの推定

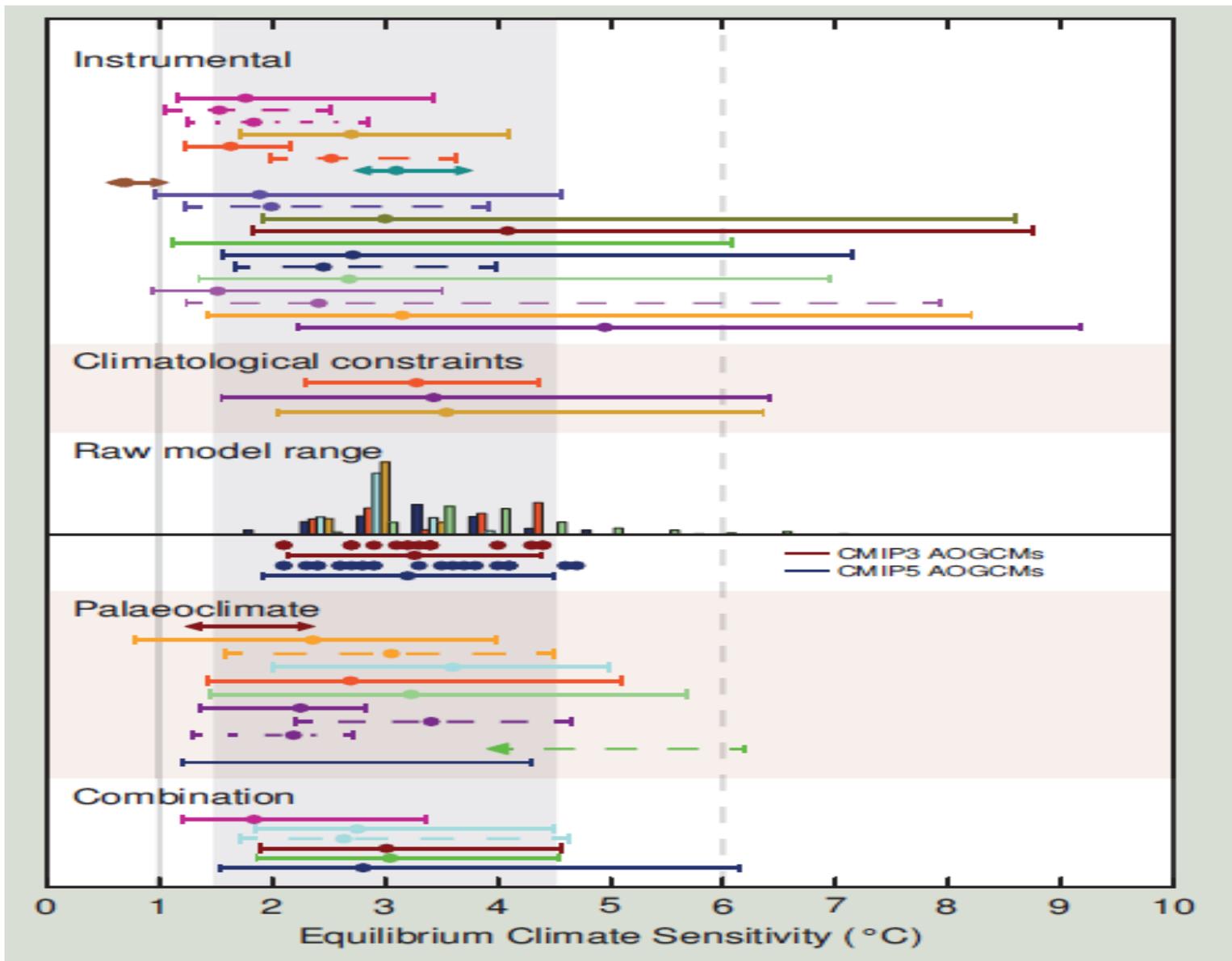
$$ECS = F_{CO_2 \times 2} \frac{\Delta T}{\Delta F - \Delta Q} \quad (1)$$

ECS: 平衡気候感度

F: radiative forcing    ΔQ: 海へのエネルギー流出

ΔT: 温度上昇

従来は方法1がもっぱら用いられていたが、最近  
は方法3に基づく論文が急激に増加している。



図：IPCC AR-5 諸手法によるECSの推定の分布

Source: IPCC AR-5 WG1,TS,TFE6,Fig.1

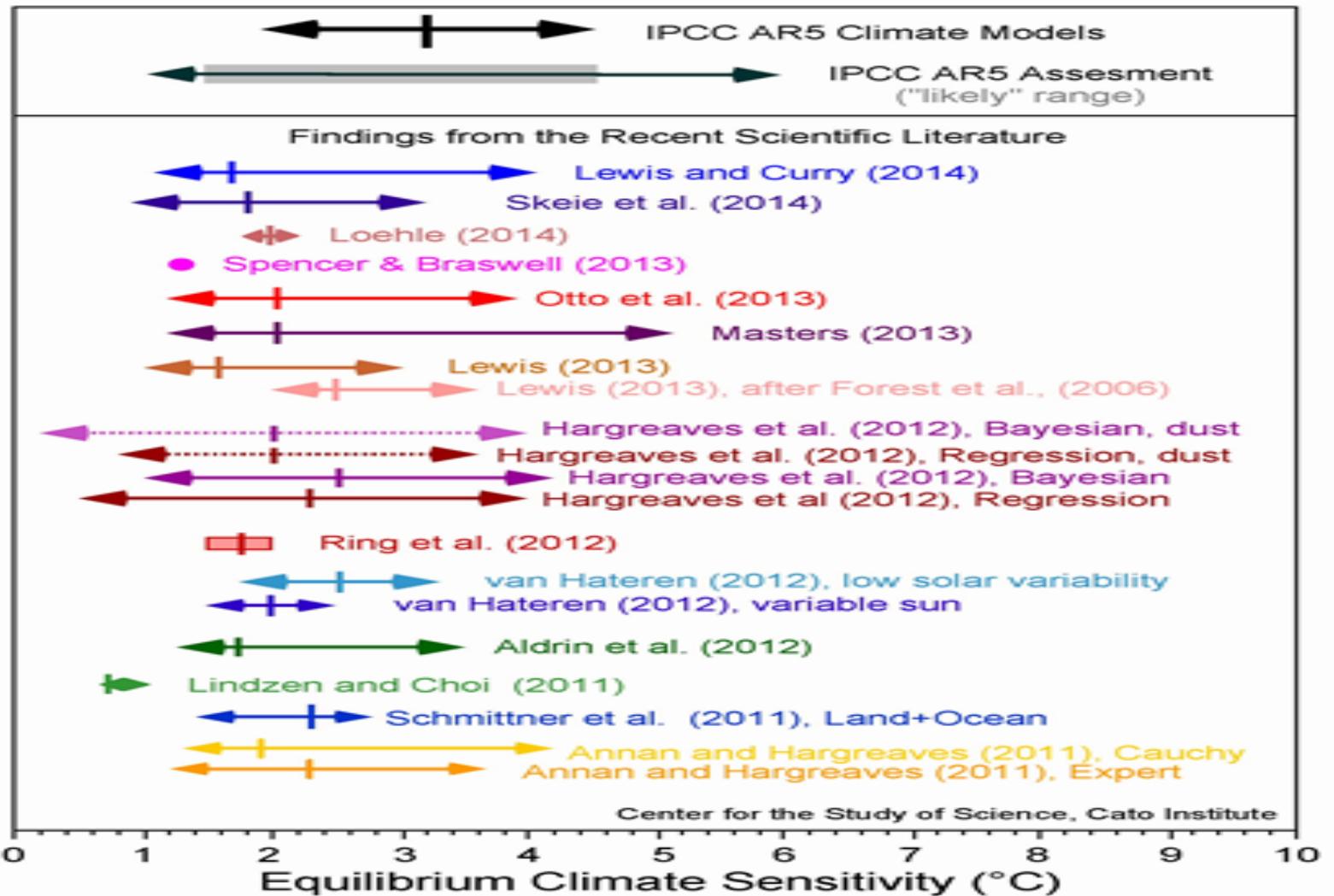


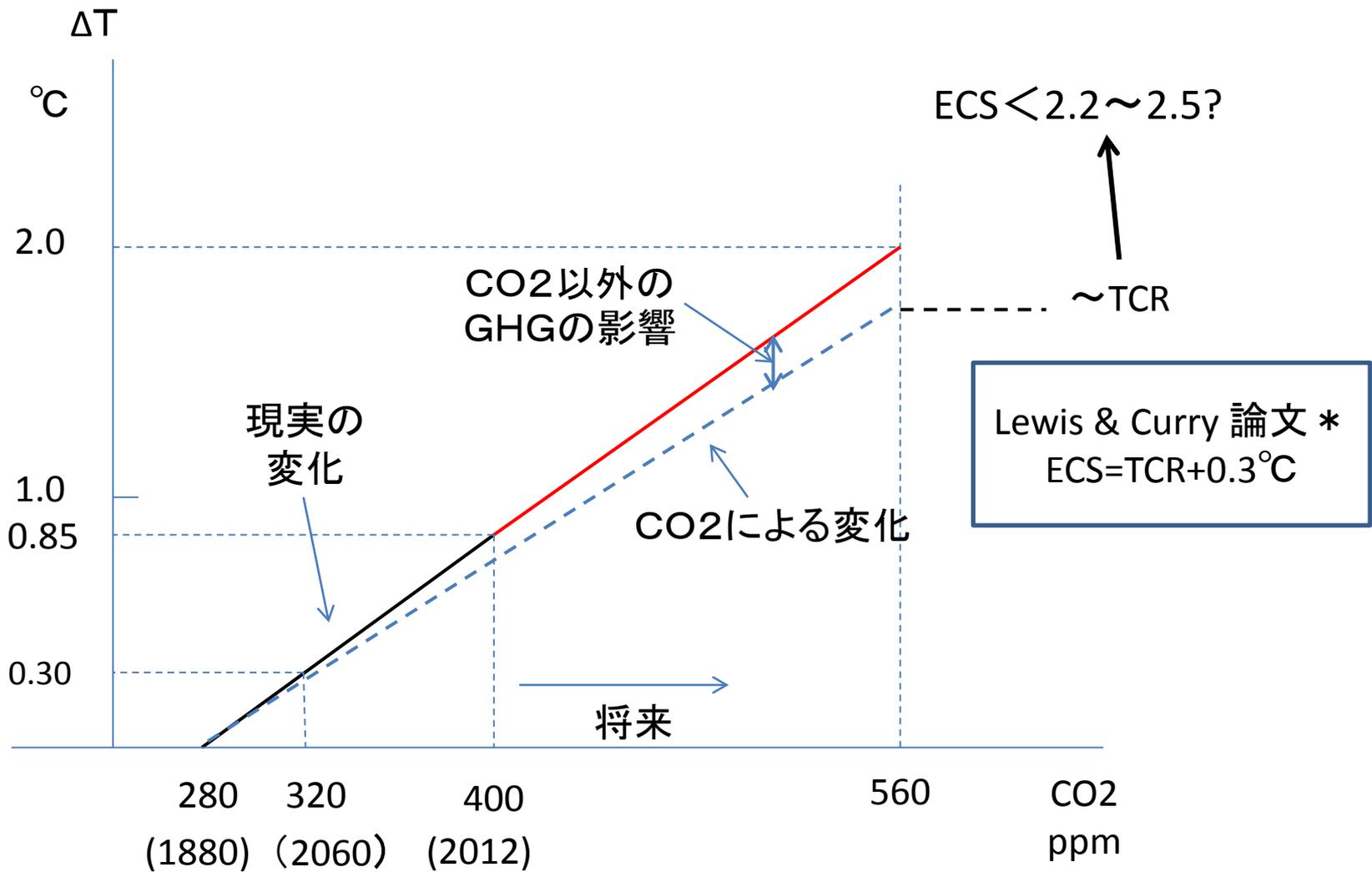
図.主としてエネルギーバランス法によるECSの推定結果

Source: Michaels,P.J.et al,2014.9

# ECSの諸推定結果

	band estimates ( likely )	best estimate
IPCC AR4	2.0 ~ 4.5 K	3.0 K
AR5	1.5 ~ 4.5 K	決定出来ず
<b>Average of median</b> 1)IPCC AR5 WG,TS Fig.1  2)Michaels,P.J.etal,2014.9		Average Instrumental 2.6 K Climate model 3.2 K mostly observation data 2.0K

図：単純なECS推計の例  
 —Energy Balance法の基盤？—



\* Lewis, N. & J. A. Curry, Climate Dynamics, Springer, Sept. 2014

# IPCC AR-5での気候感度の扱い

## 1. WG1

温度上昇—累積CO<sub>2</sub>排出の曲線が比較的気候感度の高い気候モデルによって作られている。したがって、今回の気候感度検討の内容はここには一切反映されていない。

⇒ 温度上昇—累積CO<sub>2</sub>排出は気候感度によって変化するが、ここでは気候モデルの感度(3°C?)とされている。

## 2. WG3

1) RCPの気候モデルはMAGICCで、ここでは気候感度がパラメータとなり3°Cが使用されている。

2) 他のモデルでも、殆どがAR-4の最良推定値3°Cを利用している、と考えられる。

# 気候感度の変更

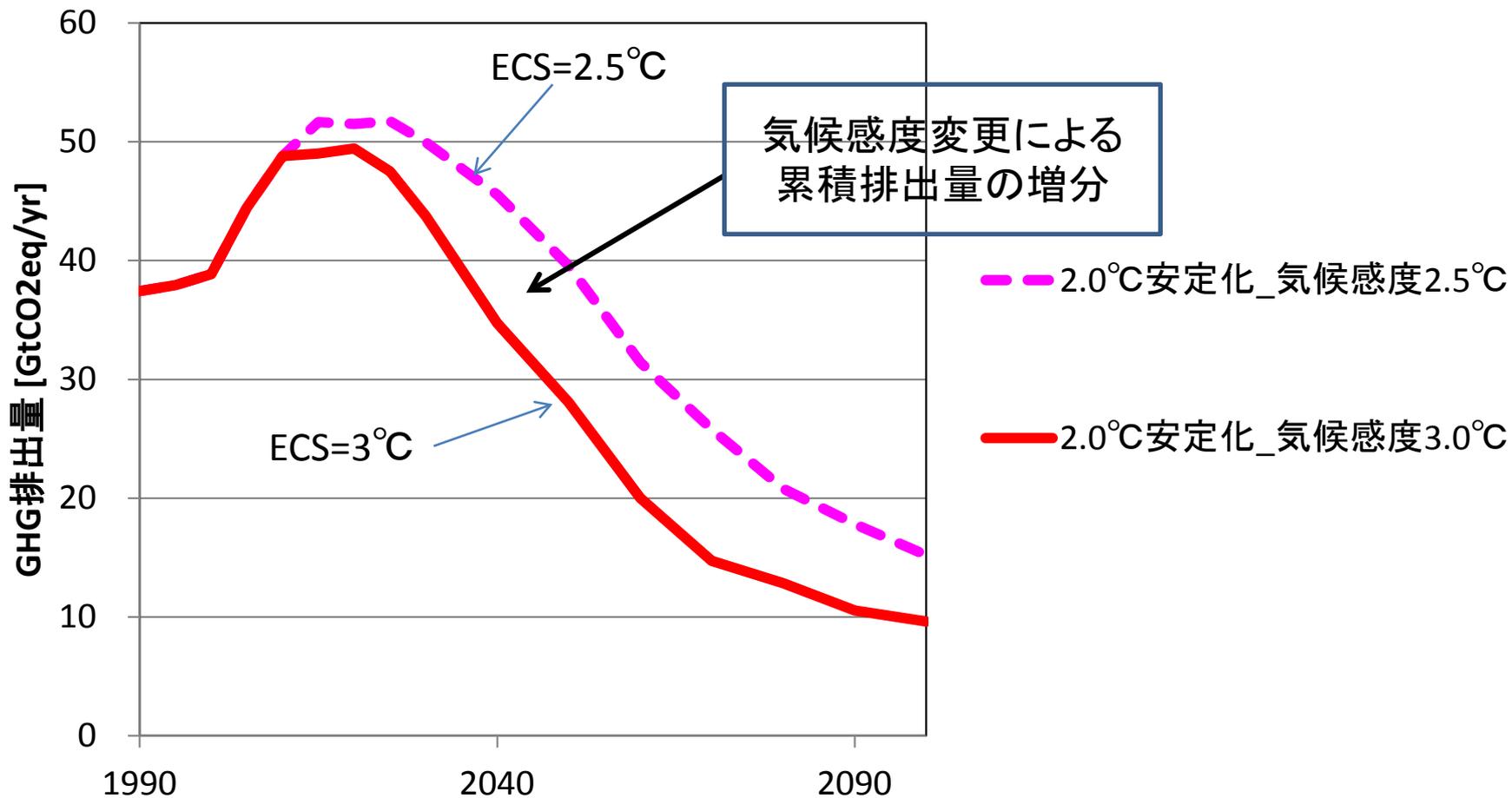
1. AR-5で気候感度の幅の下限が $0.5^{\circ}\text{C}$ 下がったこと。
2. 従来の気候モデルでのbest estimateが $3^{\circ}\text{C}$ であるのに対し、エネルギーバランスモデルでの気候感度medianの平均が $2.0\sim 2.6^{\circ}\text{C}$ であること。
3. IPCCの第1次報告から第3次報告まで、気候感度については $1.5\sim 4.5^{\circ}\text{C}$ 、最良推定値が $2.5^{\circ}\text{C}$ \*で一貫していた。

\* IPCC, 2nd report, WG1, p.34, Cambridge Univ. Press, 1995

⇒ 気候感度のbest estimateを $2.5^{\circ}\text{C}$ として  
その影響を検討する。

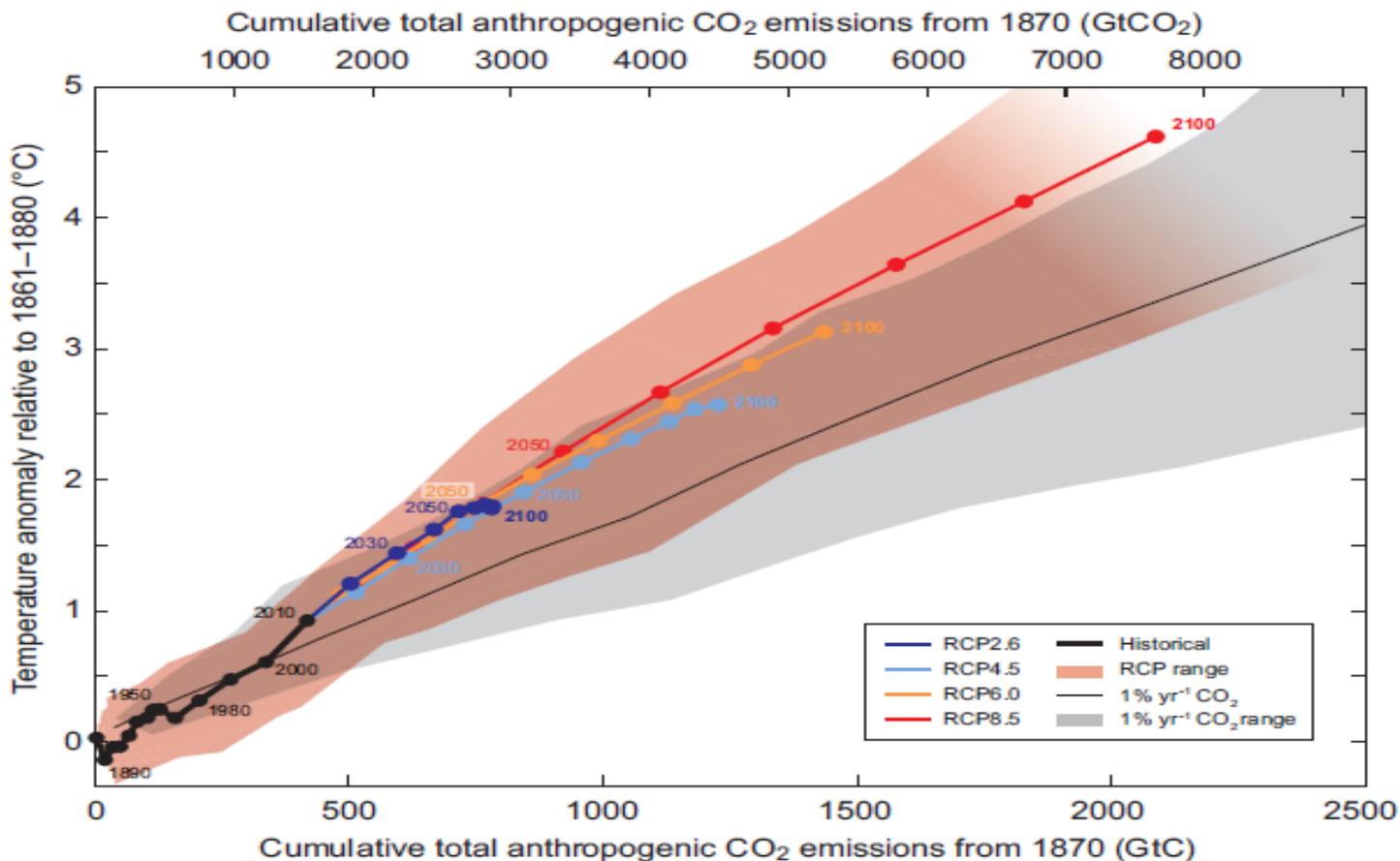
検討点1:  $2^{\circ}\text{C}$ への残余累積排出 $\text{CO}_2$  (どれだけの緩和?)

2: 排出曲線の実現可能性の変化 (限界費用等)



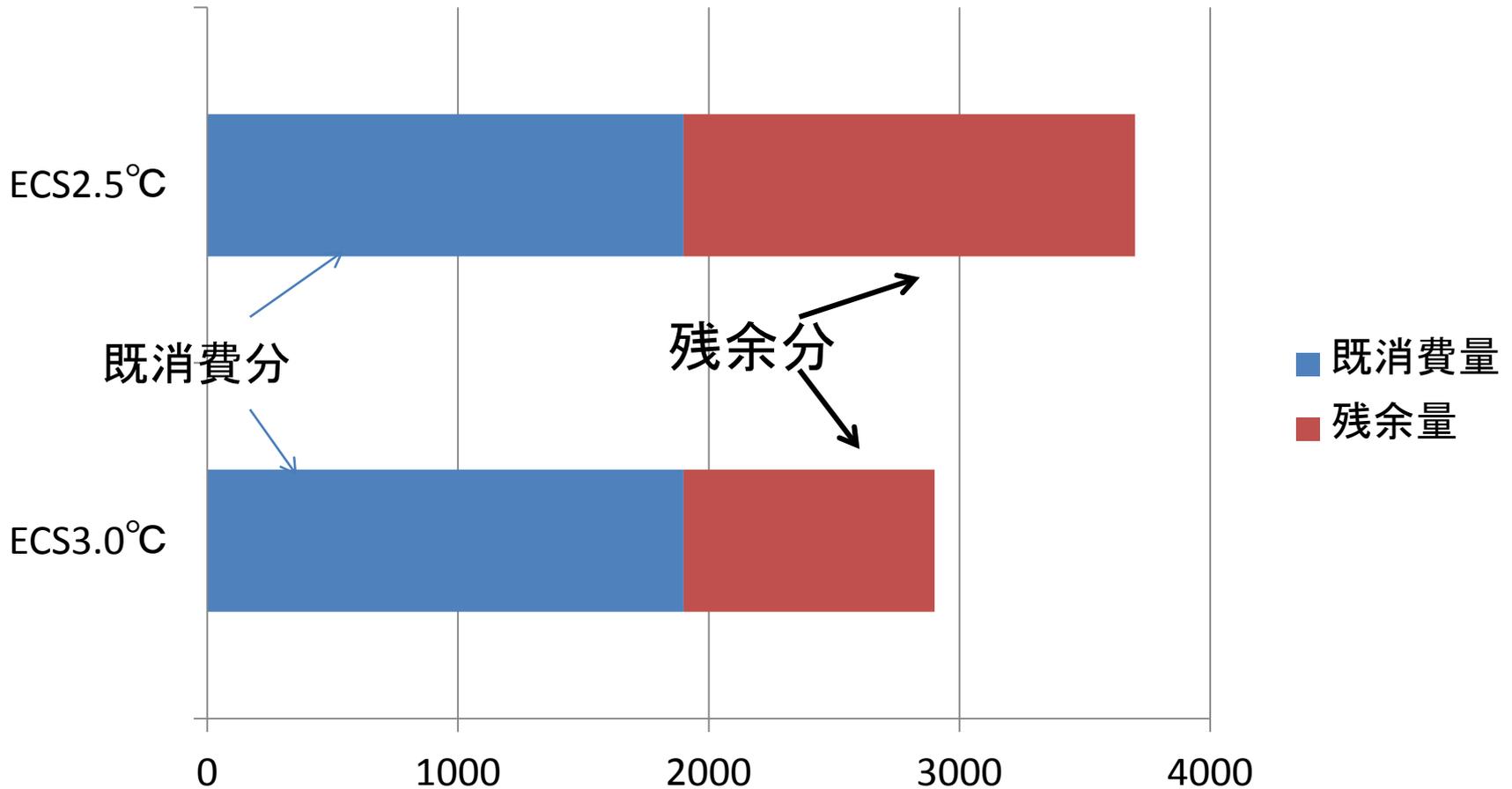
図：気候感度変更時の世界のGHG排出曲線  
-2°C目標ケース-

## 図: CO2累積排出量と温度上昇の関係



**Figure SPM.10 |** Global mean surface temperature increase as a function of cumulative total global CO<sub>2</sub> emissions from various lines of evidence. Multi-model results from a hierarchy of climate-carbon cycle models for each RCP until 2100 are shown with coloured lines and decadal means (dots). Some decadal means are labeled for clarity (e.g., 2050 indicating the decade 2040–2049). Model results over the historical period (1860 to 2010) are indicated in black. The coloured plume illustrates the multi-model spread over the four RCP scenarios and fades with the decreasing number of available models in RCP8.5. The multi-model mean and range simulated by CMIP5 models, forced by a CO<sub>2</sub> increase of 1% per year (1% yr<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> simulations), is given by the thin black line and grey area. For a specific amount of cumulative CO<sub>2</sub> emissions, the 1% per year CO<sub>2</sub> simulations exhibit lower warming than those driven by RCPs, which include additional non-CO<sub>2</sub> forcings. Temperature values are given relative to the 1861–1880 base period, emissions relative to 1870. Decadal averages are connected by straight lines. For further technical details see the Technical Summary Supplementary Material. (Figure 12.45; TS TFE.8, Figure 1)

# 残余累積CO2排出量 - 2°C目標ケース -



\* 確率66%ケース

# 気候感度 $3^{\circ}\text{C}\rightarrow 2.5^{\circ}\text{C}$ に伴う 排出余力変化

## 1. 残余累積排出 $\text{CO}_2$ 量

ECS  $3^{\circ}\text{C}$       1,000Gt  $\text{CO}_2$  (>66%確率)

残余時間

= 残余累積排出量 / 年間排出量  $\sim 30$ 年

EC $2.5^{\circ}\text{C}$       1,800Gt  $\text{CO}_2$

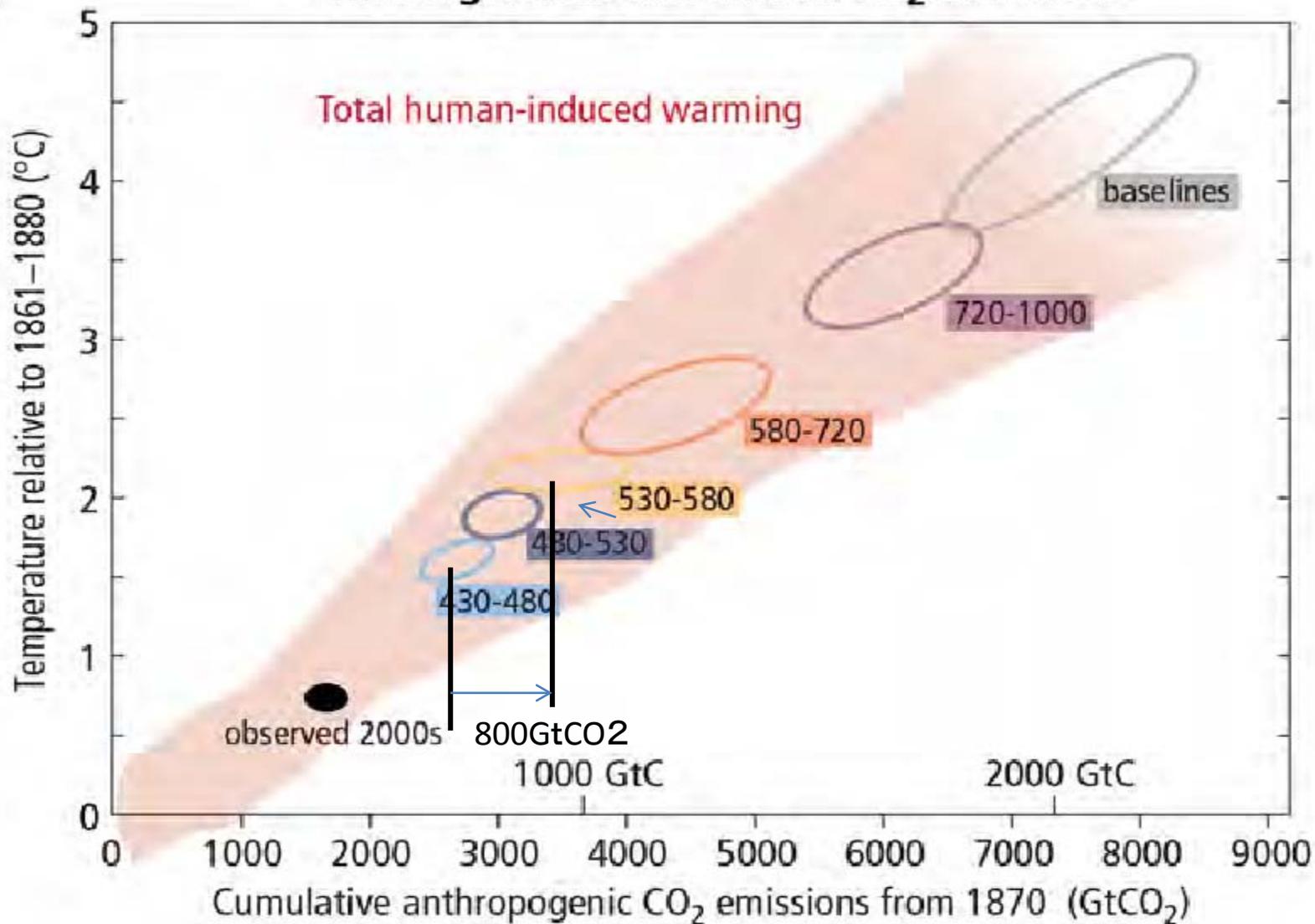
残余時間  $\sim 60$ 年弱

すなわち上記に比して 余裕はほぼ2倍

## 2. 目標達成排出パスの実現可能性の増大 (後述)

(b)

### Warming versus cumulative CO<sub>2</sub> emissions



図：大気中GHG濃度と累積CO<sub>2</sub>排出量

Source: IPCC AR-5 Synthesis Rep. Fig.SPM.5 (b)

# 気候感度の変化と目標変化

{気候感度(ECS)2.5°C、目標2°C上昇}

排出余力  
同一



{気候感度3°C、目標2.5°Cで  
530~580ppmCO<sub>2</sub>で安定化}

すなわち上記気候感度の低減は  
温度目標の上昇

とほぼ同じ意味を持つ

# 気候感度 $3^{\circ}\text{C}\rightarrow 2.5^{\circ}\text{C}$ に伴う 排出曲線の変化

## 1. 世界全体

この変化によって限界費用がどう変化するか

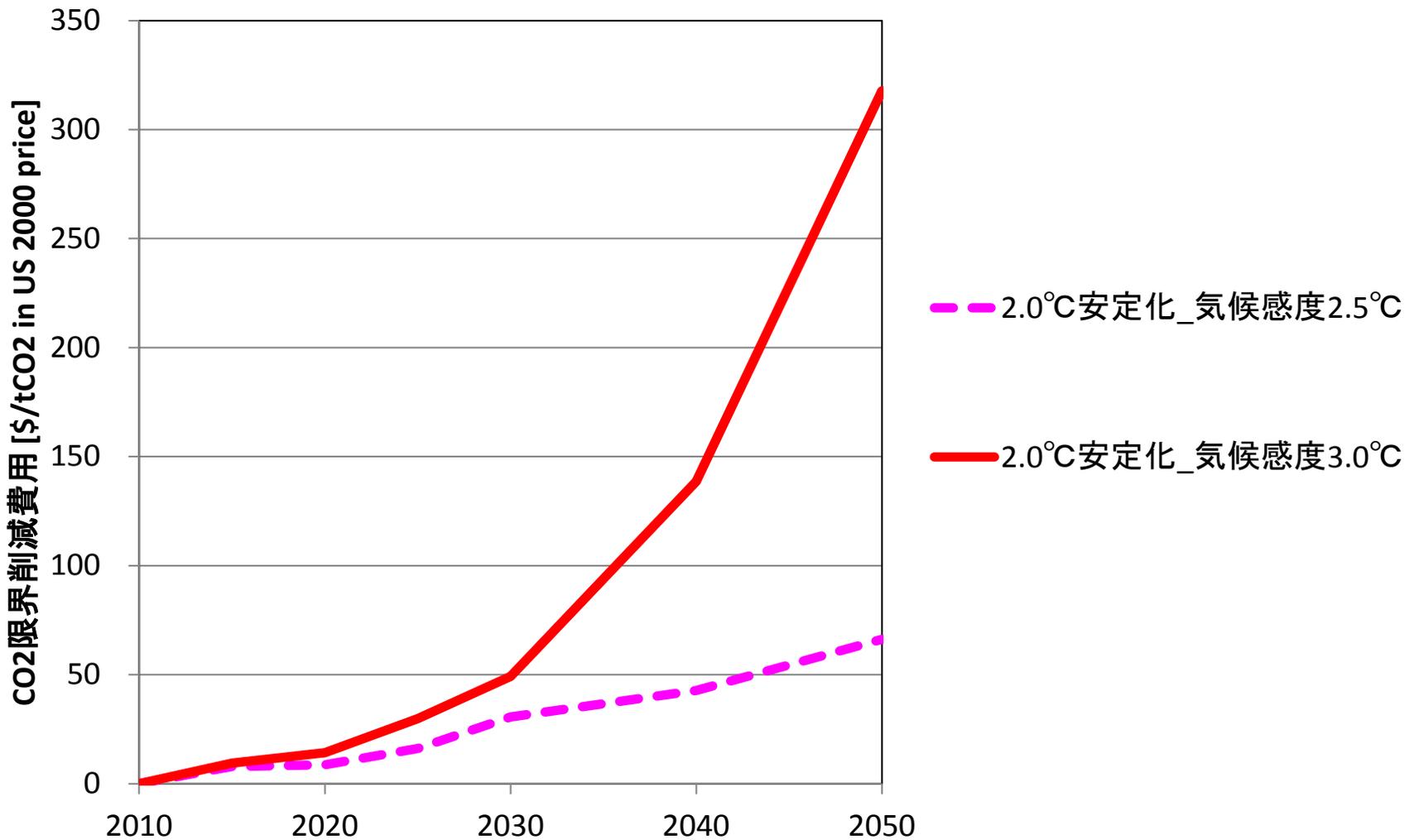
## 2. 世界各地域の動向

先進国(一律排出低減)

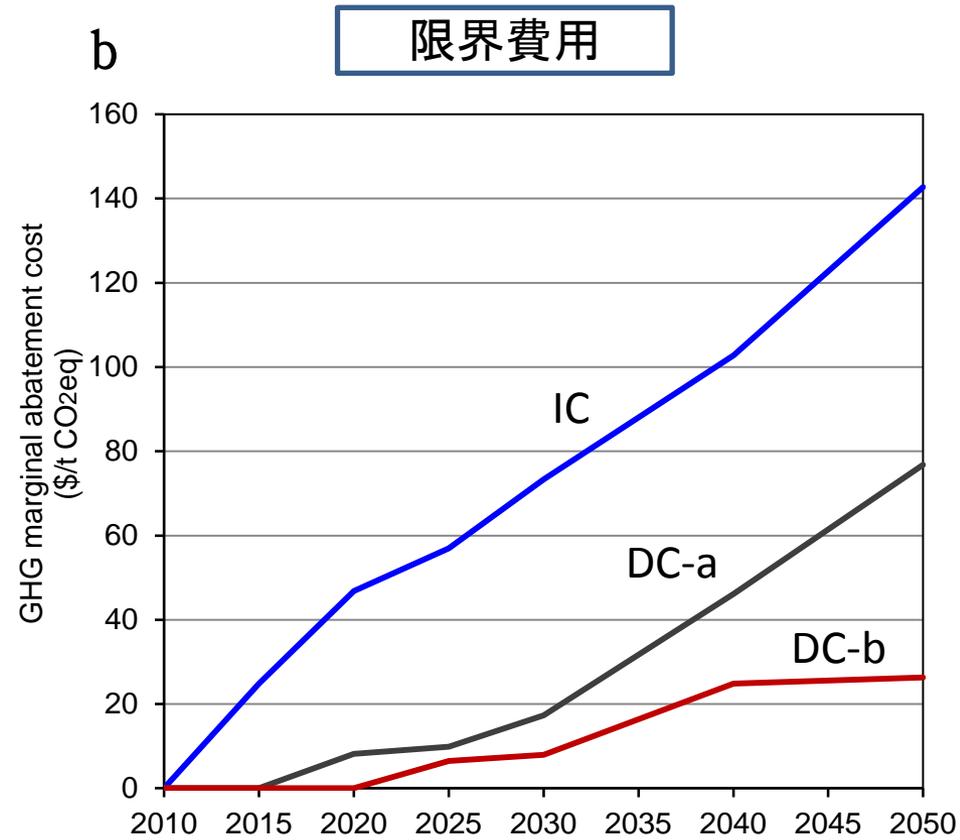
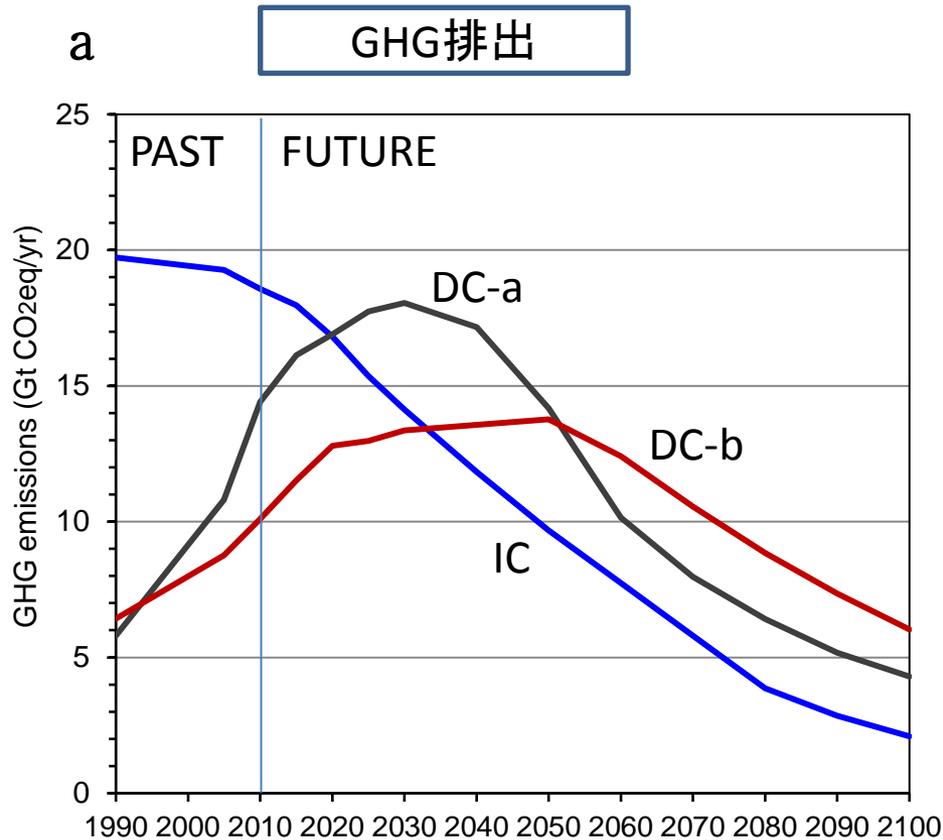
中国・インド・ブラジル(2030年ピーク)

他の途上国(2050年ピーク)

としたとき、排出曲線と限界費用がどうなるか



図：異なる気候感度に対するCO2削減限界費用曲線  
—世界一律の場合—



図：グループ差をつけた場合のGHG排出曲線と限界費用

—2°C目標、気候感度2.5°Cケース—

IC: 先進国

DC-a: 中国・インド・ブラジル (peaking 2030)

DC-b: その他途上国 (peaking 2050)

# 2°C目標に対する 世界・先進国の排出：2050値

	世界の排出	先進国の排出
気候感度3°Cの場合	現在比 50%削減	現在比 80%削減
気候感度2.5°Cの場合	現在と 同程度	現在比 50%削減

# まとめ

1. 2°C目標をCO<sub>2</sub>吸収型対策で実現することは困難。  
より実現性の高い戦略を考慮すべき。
2. 気候感度は従来の推定より低い可能性を持つ。その気候感度のもとではより現実的な温暖化対策が実現できる。
3. 気候感度の0.5°Cの低下は下のよう<sup>に</sup>きわめて大きな効果を持つ。
  - 1) 同一2°C目標に対してCO<sub>2</sub>残余累積排出量をほぼ倍増させる。
  - 2) 世界各地域の排出抑制限界費用を大幅に低下させる。

したがって、今後気候感度の不確定性を少しでも小さくする努力を行うことを強く推奨する。