

2015年4月22日

気候感度の最新知見からの 2°C目標と排出経路との関係、 その約束草案への含意

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)
システム研究グループ

問い合わせ先：徳重功子、佐野史典、秋元圭吾
TEL: 0774-75-2304、E-mail: sysinfo@rite.or.jp



はじめに

- ◆ 2020年以降の各国排出削減目標（約束草案（INDCs: Intended Nationally Determined Contributions））の提出が進んでいる。
- ◆ その中で、国際政治目標である、産業革命以前比 2°C を超えないとするいわゆる「 2°C 目標」と約束草案との排出ギャップの指摘も国際的になされている。
- ◆ このような中、 2°C 目標がどのような排出経路を求めているのかについて、IPCCの最新報告書を正しく理解することが重要である。さもないと、科学的知見の不正確な理解によって、COP21に向けた国際交渉を歪め、場合によっては交渉を破綻させかねない懸念がある。
- ◆ 本資料では、気候感度に関するIPCC最新報告書の知見を整理し、そこから導かれる許容される累積排出量、濃度、排出経路について評価を行った。
- ◆ また、2015年3月末時点で提出された約束草案について、世界排出量の見通しを算出し、 2°C 目標への排出経路と比較を行った。

以下の文献は、本資料と関係の深いものであり、必要に応じて参照されたい。

- 秋元圭吾、産構審 産業技術環境分科会 地球環境小委 約束草案検討WG・中環審 地球環境部会2020年以降の地球温暖化対策検討小委 合同会合(第3回)提出資料、2014年12月5日
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/sangyougijutsu/chikyu_kankyo/yakusoku_souan_wg/pdf/003_s02_00.pdf
- 山口光恒、茅陽一、日経経済教室、2015年4月3日

気候感度の評価の変遷とIPCC WG3 AR5 長期シナリオ推計で用いられた気候感度

	平衡気候感度 ("likely" (AR4以降の定義では>66%)な幅) (括弧は最良推計値 ("best estimate" もしくは "most likely value"))
IPCC WG1 AR4以前	1.5~4.5°C (2.5°C)
IPCC WG1 AR4	2.0~4.5°C (3.0°C)
IPCC WG3 AR4 シナリオ気温 推計 (MAGICCモデル)	確率計算は無し (3.0°C)
IPCC WG1 AR5	1.5~4.5°C (合意できず)
IPCC WG3 AR5 シナリオ気温 推計 (MAGICCモデル)	2.0~4.5°C (3.0°C) 【AR4の評価をそのまま利用】

【WG1 AR5 (SPM) における具体的な記述】

Likely in the range 1.5 °C to 4.5 °C (high confidence)

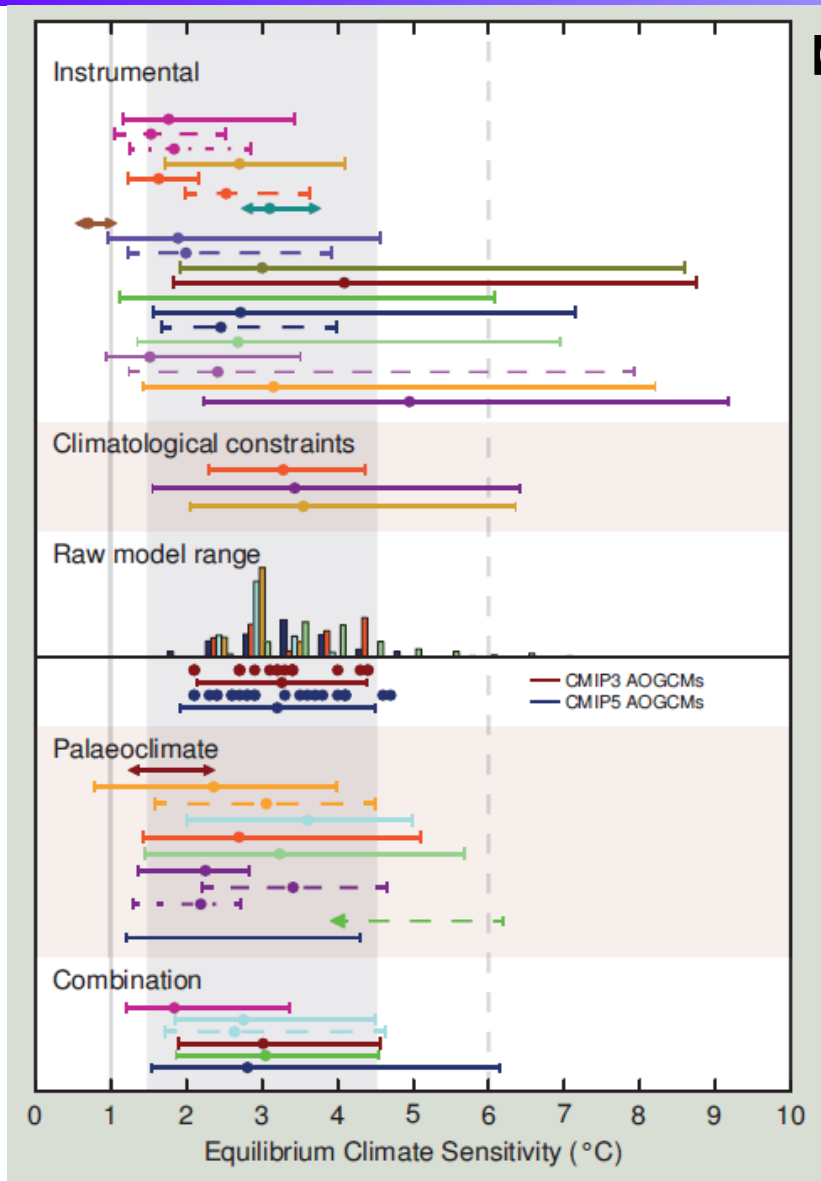
Extremely unlikely less than 1 °C (high confidence)

Very unlikely greater than 6 °C (medium confidence)

No best estimate for equilibrium climate sensitivity can now be given because of a lack of agreement on values across assessed lines of evidence and studies.

- ◆ 平衡気候感度 (濃度が倍増し安定化したときの気温上昇の程度の指標) の不確実性は未だ大きい。
- ◆ AR5 WG1では大気海洋大循環モデル (AOGCM) 推計以外による気候感度の分析・評価の知見 (次頁参照) を含めて総合的に判断した結果、AR4よりも低位に修正 (1.5~4.5°C)。
- ◆ しかし、AR5 WG3の長期排出経路の気温推計においては、AR4の気候感度 (2.0~4.5°C、最良推計値 3.0°C) を利用

CMIP5の結果とIPCC WG1に気候感度の判断および その後を含む比較的最近の気候感度評価例



【IPCC WG1 AR5の評価】

【IPCC WG1 AR5以降の気候感度の 評価報告例】

Lewis and Curry (2014)による評価
1.25～2.45°C[17-83%区間(66%区間)];
1.05～4.05°C[5-95%区間(90%区間)];
最良推計値:1.64°C

AOGCMによる評価

CMIP5(AR5に向けたAOGCMの国際モデル比較PJ):
2.0～4.5°C、モデル結果のmeanは3.2°C

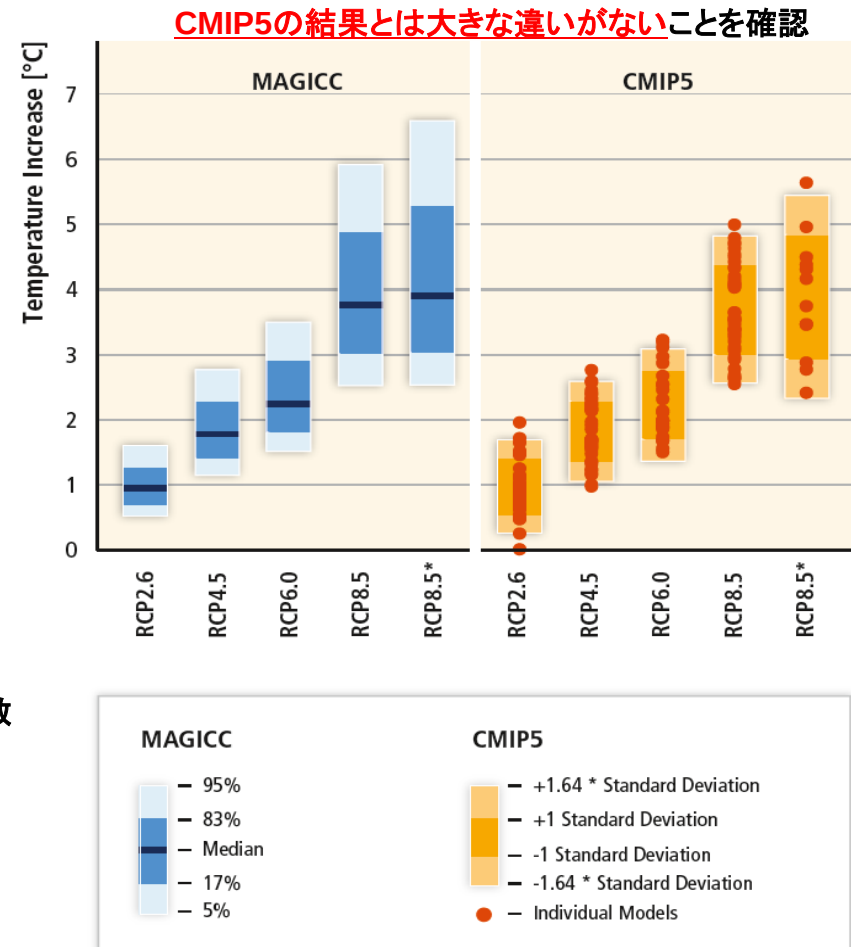
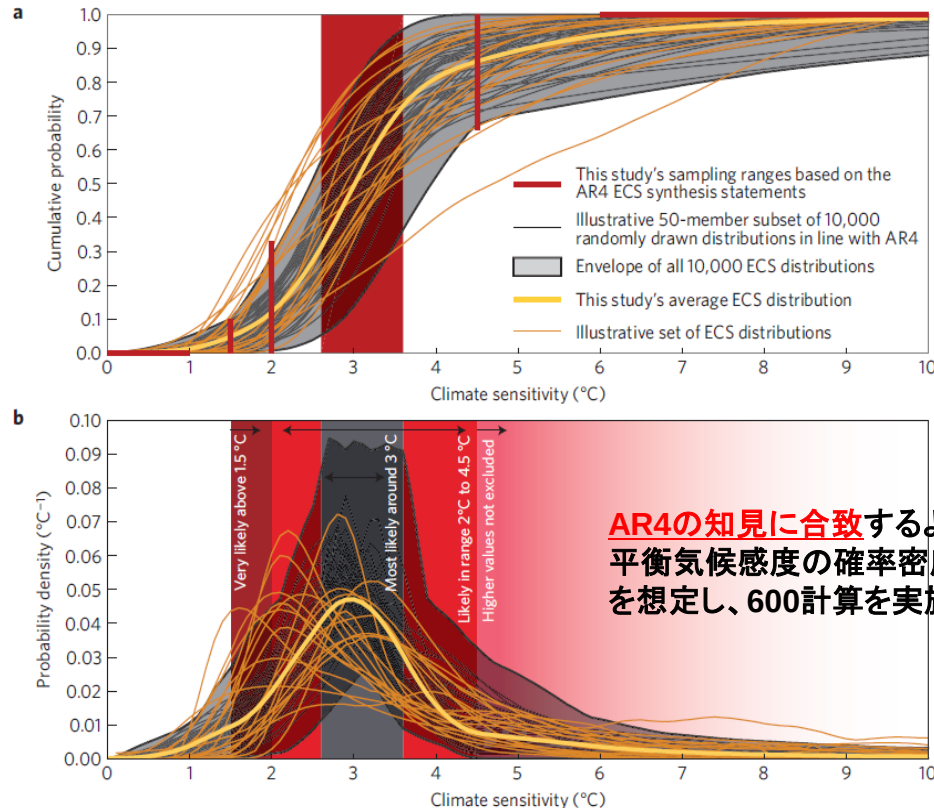
【参考】

CMIP3(AR4に向けたAOGCMの国際モデル比較PJ):
2.1～4.4°C、モデル結果のmeanは3.3°C

- ◆ AR5 WG1ではAOGCM以外の気候感度評価を含めて各種分析を総合的に判断した結果、AR4よりも低位に修正(1.5～4.5°C)。その後もLewis and Curry論文など、低位の評価も多い状況。

IPCC WG3 AR5長期シナリオ推計で用いられた MAGICCモデルで想定されている気候感度

WG3 AR5長期シナリオの気温推計には簡易気候変動モデル
MAGICCを利用
(論文で推計式を含む概要は公表されているが、コードは非公開)



出典: J. Rogelj et al., 2012

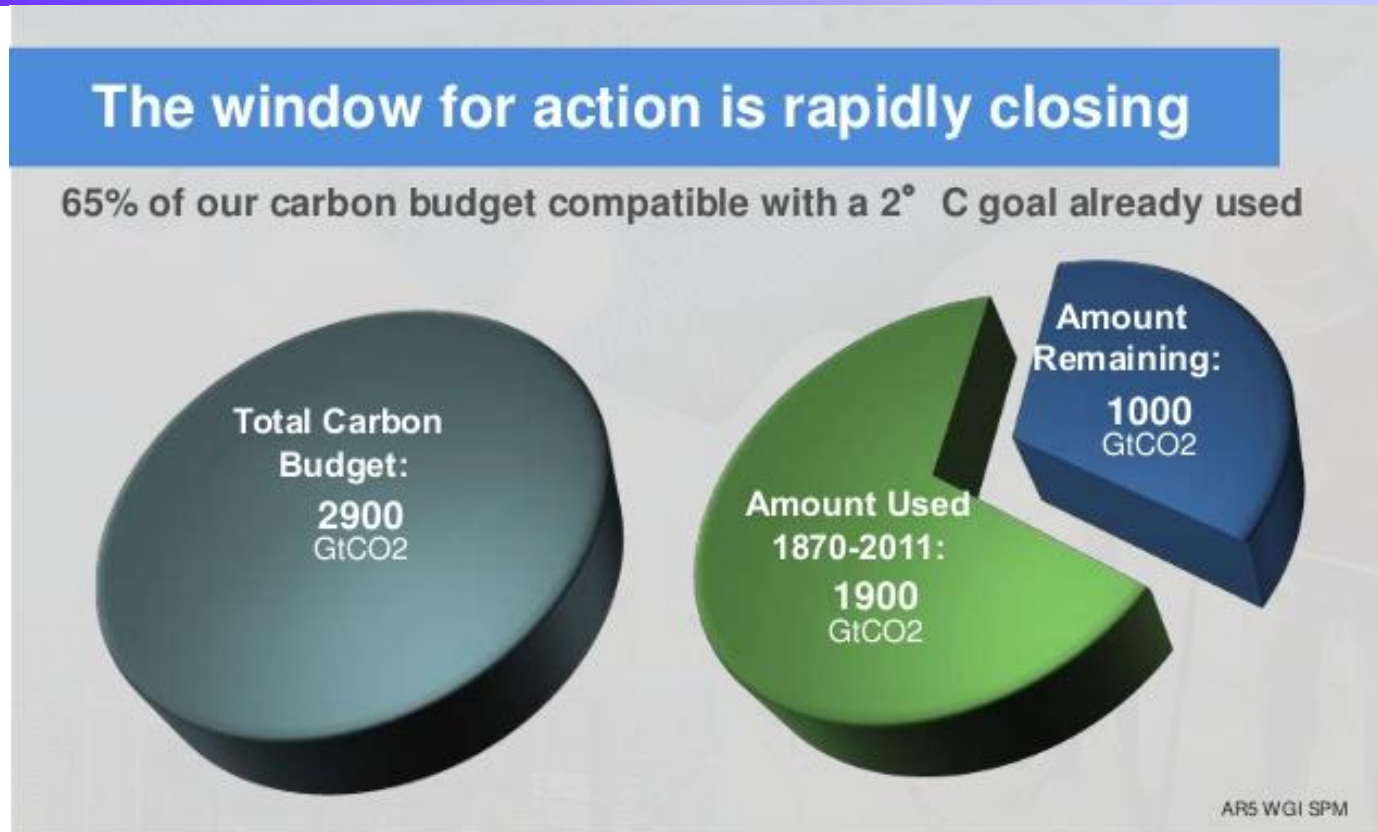
出典: IPCC WG3 AR5, Ch.6

- ◆ AR5 WG3の長期排出経路の気温推計においてはAR4の気候感度(2.0~4.5°Cがlikely、最良推計値3.0°C)を利用。これはAR5 WG1のうちのCMIP5の結果とは概ね整合的だが、AR5において、総合的に判断をした気候感度(1.5~4.5°Cがlikely(>66%))とは差異あり。
- ◆ よって、AR5 WG1等の最新知見と比べると気温上昇を大きめに推計している傾向にある。

認識すべきポイント（１）

- ◆ IPCC WG1 AR5では、平衡気候感度をAR4の判断（2.0～4.5°C、最良推計値3.0°C）から修正し、1.5～4.5°Cへと下方修正した。
- ◆ しかし、WG3の長期シナリオにおける気温推計では、AR4の知見に準拠した気候感度を用いて計算がなされている。
- ◆ WG3 AR4の長期シナリオにおける気温計算は、WG1 AR4の気候感度判断の最良推計値（“best estimate” or “most likely value”）3.0°Cを用いてなされていた。これは気温目標達成の確率判断が事実上>50%でなされていたことになる（>66%確率を見込んでいたわけではない）。

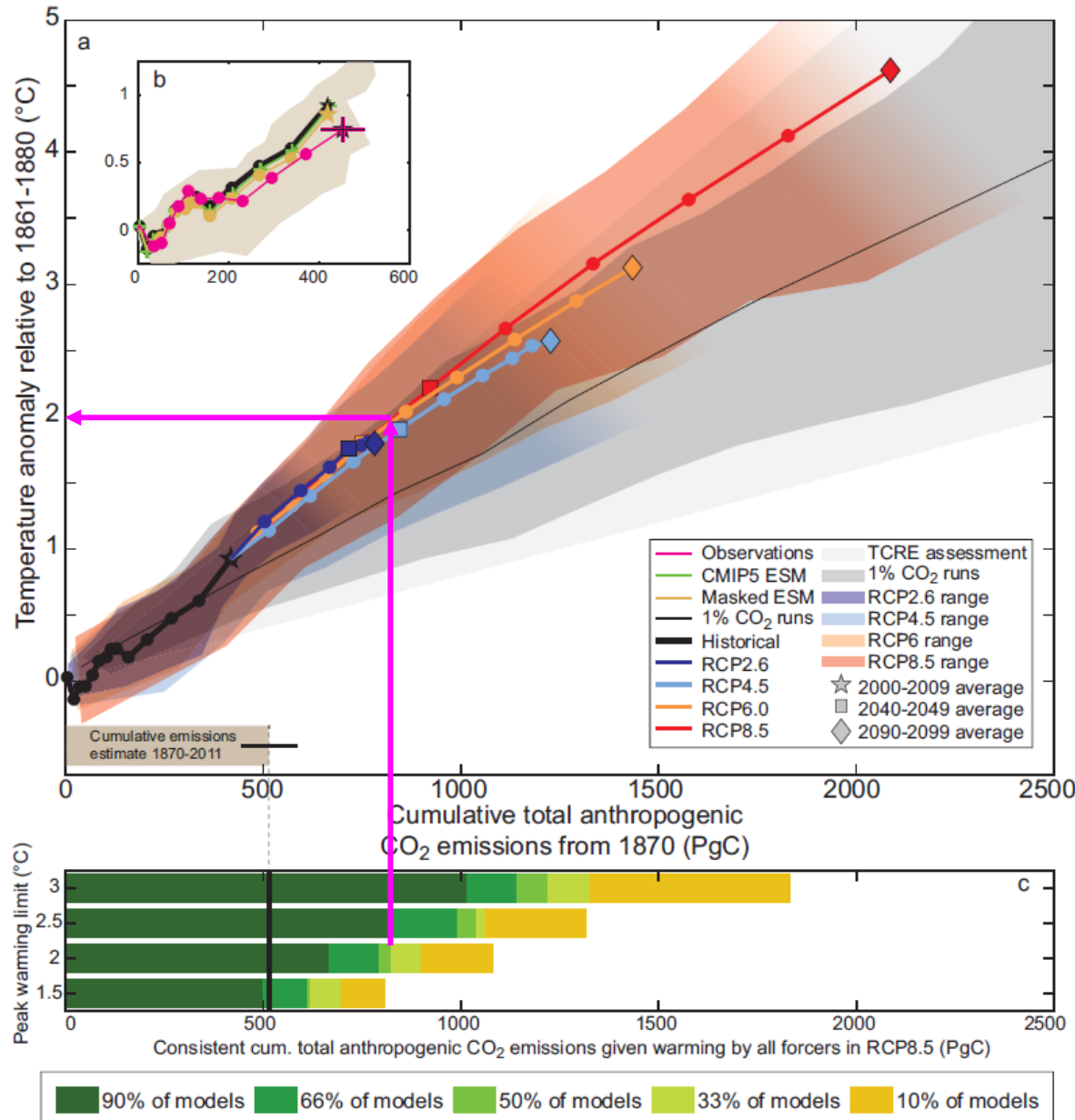
2°C目標実現のための残りの累積排出許容量 (IPCCビューローの説明資料)



IPCC AR5 Synthesis Report

2°C目標のためには、2900 GtCO₂以内の排出に抑える必要あり。2011年までに1900 GtCO₂排出しているので、残り1000 GtCO₂しか排出できない。というのがこの資料の言っているところであるが、実際のIPCC報告書ではこのように単純なことは言っていない(この後のスライドで解説)。

累積排出量と気温上昇との関係 (AOGCMの分析結果に基づいて作成されたもの)



このグラフはCMIP5のモデル計算値によって策定(CMIP5の平衡気候感度は2~4.5°C程度で、meanは3.2°C)

RCPに対応した実線の評価は、CMIP5のモデル結果のaverage(>50%の場合)を示している。

>33% ⇒900 GtC (3300 GtCO₂)
【1500 GtCO₂】

>50% ⇒820 GtC (3010 GtCO₂)
【1300 GtCO₂】

>66% ⇒790 GtC (2900 GtCO₂)
【1000 GtCO₂】

(【】内は2011年以降の累積排出許容量)

IPCCビューローが強調している残り「1000 GtCO₂」というのは図での扱いと少し乖離した特殊な条件を取り出している。

認識すべきポイント（２）

- ◆ IPCC議長団（ビューロー）は、2°C目標のためには、許容される残り排出量は1000 GtCO₂と強調しているが、これはAOGCMの結果のみに基づいており（AR4のときの判断と同程度）、かつ、>66%の確率のときの場合である。
- ◆ しかし、ポイント（１）で指摘のように、AR5では気候感度は、AOGCM以外の分析結果も踏まえ、それによりAR4の判断よりも下方に修正されている。
- ◆ また、IPCC報告書本体の累積排出量と気温上昇の関係を示すグラフにおいては、むしろ、達成確率>50%で計算したケースの方を主に取り扱っている。

気候感度が0.5℃低いとした場合の 許容累積排出量の差異の試算

CMIP5による評価: 気候感度
2~4.5℃ (mean: 3.2℃)

Cumulative CO ₂ emissions from 1870 in GtCO ₂									
Net anthropogenic warming ^a	<1.5℃			<2℃			<3℃		
Fraction of simulations meeting goal ^b	66%	50%	33%	66%	50%	33%	66%	50%	33%
Complex models, RCP scenarios only ^c	2250	2250	2550	2900	3000	3300	4200	4500	4850
Simple model, WGIII scenarios ^d	No data	2300 to 2350	2400 to 2950	2550 to 3150	2900 to 3200	2950 to 3800	n.a. ^e	4150 to 5750	5250 to 6000
Cumulative CO ₂ emissions from 2011 in GtCO ₂									
Complex models, RCP scenarios only ^c	400	550	850	1000	1300	1500	2400	2800	3250
Simple model, WGIII scenarios ^d	No data	550 to 600	600 to 1150	750 to 1400	1150 to 1400	1150 to 2050	n.a. ^e	2350 to 4000	3500 to 4250
Total fossil carbon available in 2011 ^f : 3670 to 7100 GtCO ₂ (reserves) and 31300 to 50050 GtCO ₂ (resources)									

IPCC統合報告書、Table 2.2

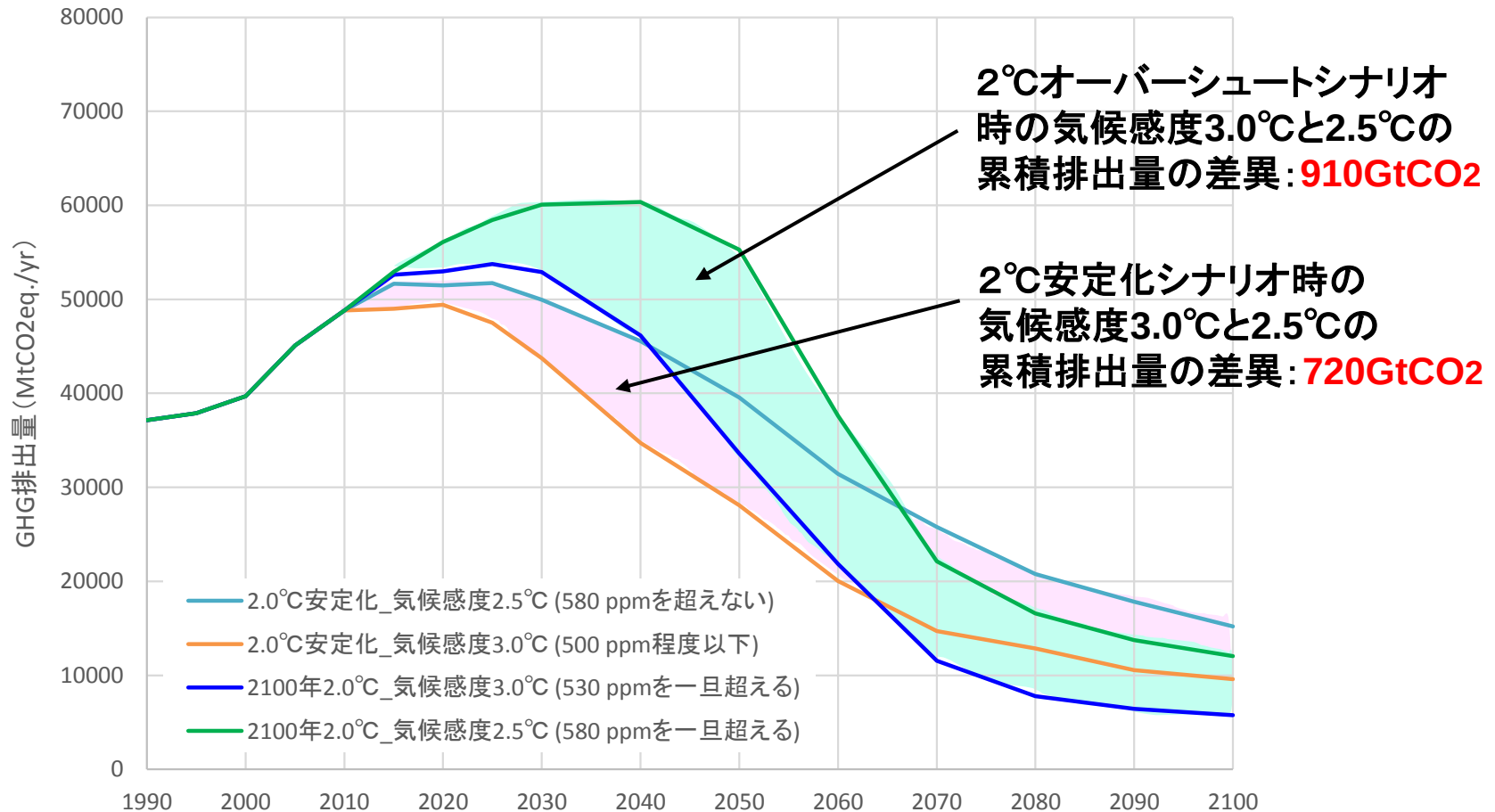
0.5℃の差で750 Gt程度の差

MAGICCによる評価:
気候感度likely2.0~
4.5℃ (mode: 3.0℃)
を想定

注) 表中の数字の幅は
Non-CO₂ GHGシナリオ
の幅による

気温上昇目標の0.5℃分とかなり近いので、概算にはなるが、1300-550=750 GtCO₂程度が余計に排出可能と見られる(2℃と3℃目標時の差から内挿計算しても同じ)。よって、**2℃目標であっても**、>50%で考えると残り1300 GtCO₂程度となり、更に、気候感度の総合的に判断した最新の変更を考慮し0.5℃程度気候感度が小さいとした場合には、**残り2000GtCO₂程度**となると考えられ、IPCCビューローが強調している1000Gtと比べ、その2倍程度まで幅を持って考えても良いこととなる。(なお、これはWG3の530-580 ppmシナリオの2100年までの累積排出量の報告値とほぼ整合的)

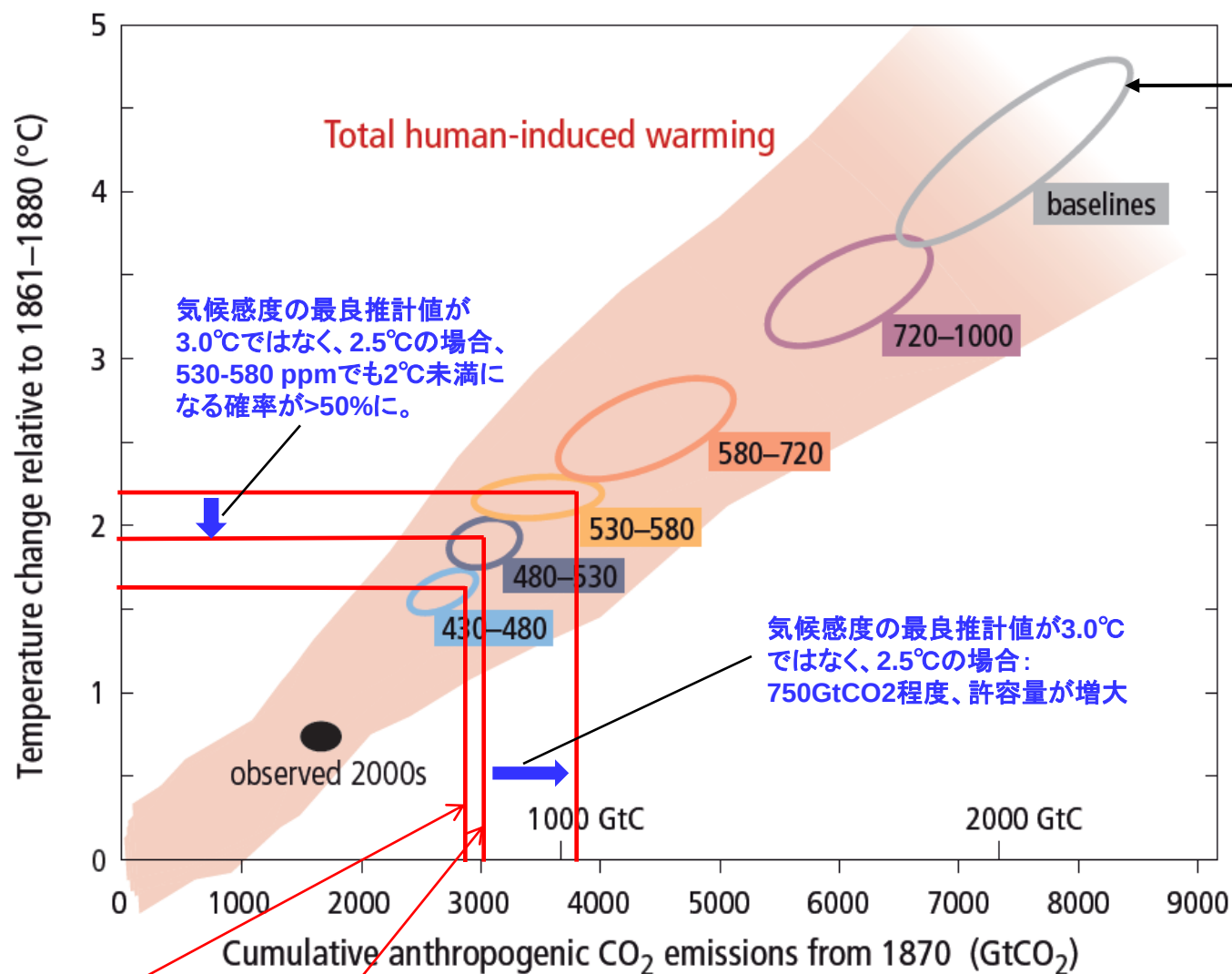
気候感度の差異を反映した長期排出経路から推計される累積排出許容量（～2100年まで）の違い



注: CO₂排出量で見ると、2°Cオーバーシュートシナリオ(気候感度3°C)は21世紀後半にネガティブ排出となっている。
出典) RITEによる計算

IPCC提示の累積排出量と気温上昇の関係の表の数字からの概算(CMIP5推計ベース)では、気候感度0.5°C相当分が下方に修正された場合、累積排出許容量は750 GtCO₂程度と増加すると見られたが、**MAGICCを用いたシナリオ分析の結果からも720～910 GtCO₂程度と推計され、この範囲に収まっていることも確認できる。**

累積排出量と濃度レベルおよび気温上昇との関係



図中楕円はMAGICCによる計算。気候感度は3.0°C相当(>50%で気温目標を達成できると見られる累積排出量、濃度で関係性を示している)

2900 GtCO₂の場合、
430-480 ppm相当。
2°Cは>66%で達成

3000 GtCO₂の場合、
480-530 ppm相当。
2°Cは50%>で達成

出典：IPCC AR5統合報告書
Figure SPM.5より加工

2℃目標の達成確率と 2050年世界排出許容量との関係

IPCC WG3 AR5で整理された長期シナリオ

簡易気候変動モデル
MAGICCで計算されたもの

気候感度はAR4準拠 (2.0~4.5℃:likely、
3.0℃:mode(most likely value))

2100 年の等価 CO2 濃度カテ ゴリー (ppm CO2eq)	サブカテゴリー	RCP と の 対 応 関係	2050 年世界排 出 (2010年比)	2100 年 気 温 (°C 、 1850-1900 年比)	21 世紀中に当該気温 (1850 1900年比)を超える確率		
					1.5°C	2.0°C	3.0°C
<430	極めて限定的な数の分析報告しか存在しない (AR5シナリオデータベースへの登録はなし)						
450 (430-480)	—	RCP2.6	-72~-41%	1.5~1.7°C (1.0~2.8)	49-86%	12-37%	1-3%
500 (480-530)	530 ppm CO2eqを 超えない		-57~-42%	1.7~1.9°C (1.2~2.9)	80-87%	32-40%	3-4%
	2100年までの間に 530 ppm CO2eqを 一旦超える		-55~-25%	1.8~2.0°C (1.2~3.3)	88-96%	39-61%	4-10%
550 (530-580)	580 ppm CO2eqを 超えない		-47~-19%	2.0~2.2°C (1.4~3.6)	93-95%	54-70%	8-13%
	2100年までの間に 580 ppm CO2eqを 一旦超える		-16~+7%	2.1~2.3°C (1.4~3.6)	95-99%	66-84%	8-19%
(580-650)	—	RCP4.5	-38~+24%	2.3~2.6°C (1.5~4.2)	96- 100%	74-93%	14-35%
(650-720)	—		-11~+17%	2.6~2.9°C (1.8~4.5)	99- 100%	88-95%	26-43%
(720-1000)	—	RCP6.0	+18~+54%	3.1~3.7°C (2.1~5.8)	100- 100%	97- 100%	55-83%
>1000	—	RCP8.5	+52~+95%	4.1~4.8°C (2.8~7.8)	100- 100%	100- 100%	92-98%

産業革命以前比
2℃を超えない確率

>66%(気候感度
CMIP5準拠の場合)

>50%(気候感度
CMIP5準拠の場合)

おそらく、
>66%(気候感度
WG1: 1.5~4.5℃
に準拠させた場合)

おそらく、
>50%(気候感度
WG1: 1.5~4.5℃
に準拠させた場合)

注) IPCC AR4の気温推計は>50%の考え方
となっている。

- ◆ >66%で2℃を超えないようにするには、2050年世界排出量を2010年比で72~42%削減が必要だが、>50%であれば25%以上の排出削減となる。
- ◆ ただしこれらの気温計算は、気候感度がAR4準拠(2.0~4.5℃、最良推計値3.0℃)でなされており、WG1 AR5の最新知見(1.5~4.5℃)等を踏まえれば、530-580 ppmのカテゴリーについても、>50%の場合、2℃を超えない可能性が出てくると見られ、そのときは2050年-47~+7%の範囲で良いと考えられる。

認識すべきポイント（3）

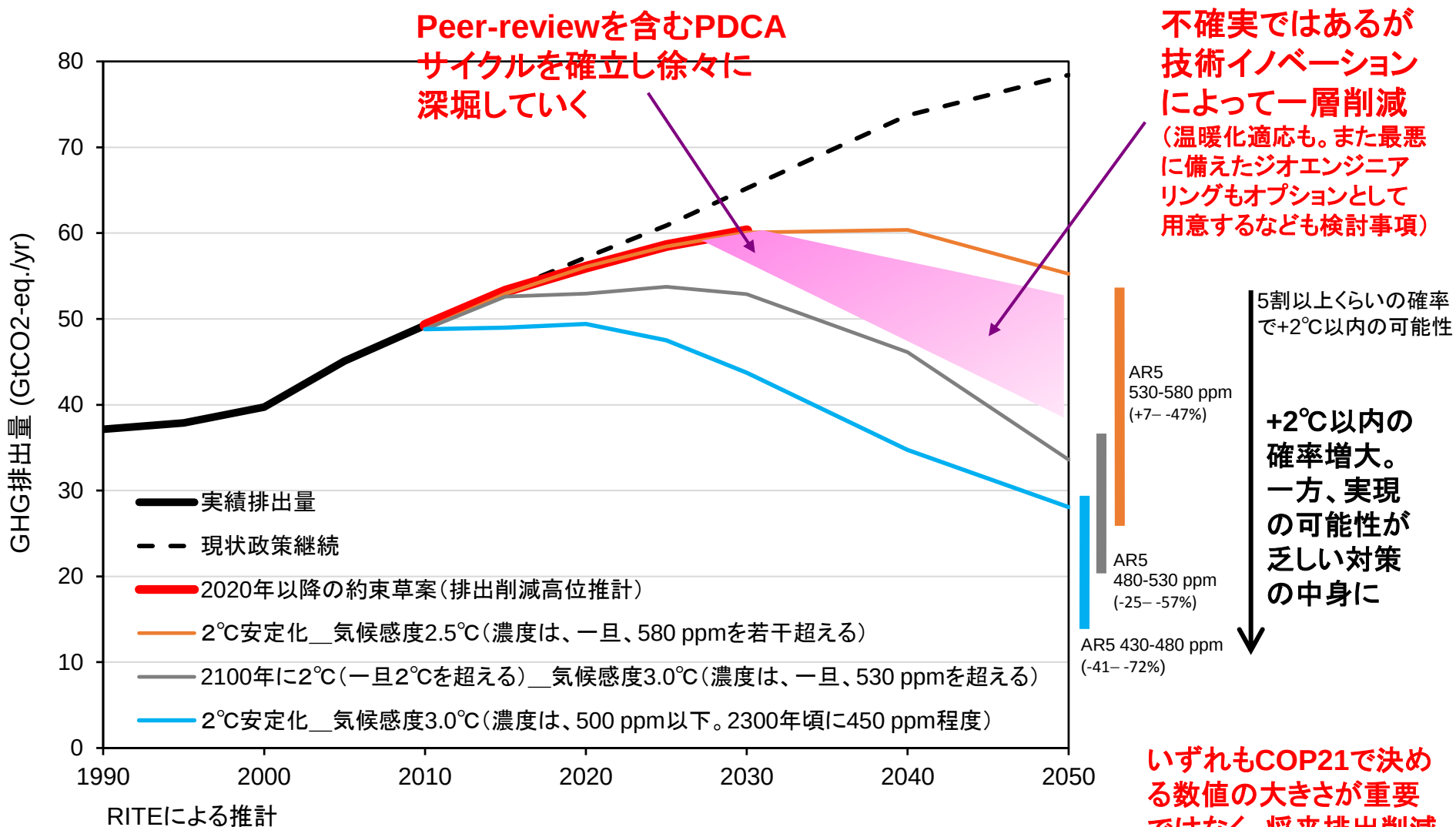
- ◆ WG1 AR5の知見を参考に、気候感度が0.5°C小さいとすると（3.0°C→2.5°C）、同じ2°C目標を達成するにしても、許容されるCO₂排出量は750 GtCO₂程度も増える。
- ◆ これを踏まえると、今後、2°C目標のために許容される排出量は、IPCC議長団が説明に使っている1000 GtCO₂ではなく、2000 GtCO₂程度となり、およそ2倍の排出が許容されることとなる。
- ◆ 濃度レベルでは、530～580 ppm CO₂eq.程度であっても、2°C目標を>50%の確率で達成を見込むことが可能となる。
- ◆ このとき、2050年の世界の温室効果ガス排出量は、2010年比で-47～+7%の範囲となる。IPCC報告書が、2°C目標=430～480 ppm CO₂eq.=2050年に2010年比で-72～-41%と結論づけていると解釈されることも多いが、その解釈は正確ではなく、IPCC報告書の本当の示唆はこのように大きく異なる。

評価した約束草案(2015年3月末提出国および中国)

	INDCs (2015年3月末現在)	本分析・評価において想定した条件
米国	2025年に2005年比▲26%～▲28%	2020年:2005年比▲17% 2030年:2005年比▲37%～▲38% (2050年▲80%との線形補間によって想定)
EU28	2030年に1990年比▲40%	2020年:1990年比▲24% (EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050より)
ノルウェー	2030年に1990年比▲40%	2020年:1990年比▲30%～▲40%
スイス	2030年に1990年比▲50% (2025年に1990年比▲35%)	2020年:1990年比▲20%～▲30%
ロシア	2030年に1990年比▲25%～▲30%	2020年:1990年比▲15%～▲25%
メキシコ	2030年にBaU比▲25%～▲40% (GHGでは、BaU比▲22%～▲36%)	2026年からピークアウト
中国	未提出 (CO ₂ を2030年にピークアウトと表明済み)	2020年:CO ₂ 原単位(CO ₂ /GDP)を2005年比▲40%～▲45% 2030年:GHGで15.0～16.5 GtCO ₂ -eqと想定

注) ガボンも2015年3月末時点で提出済みであるが、本分析では評価していない。

2°C目標の排出経路（気候感度の不確実性含む） と約束草案見通し



約束草案は、気候感度3°Cを想定した場合、2°C目標と大きなギャップ有。
しかし、気候感度2.5°Cの場合は、2°C目標とかなり整合的。

いずれもCOP21で決める
数値の大きさが重要
ではなく、将来排出削減
を誘発できるような枠組
みを作ることの方が重要

- ◆ 気候感度の不確実性は未だ大きい。IPCC WG1 AR5では、平衡気候感度を1.5～4.5°Cへと下方修正した（AR4：2.0～4.5°C、最良推計値3.0°C）。
- ◆ しかし、WG3の長期シナリオにおける気温推計では、AR4の知見に準拠した気候感度を用いて評価がなされたため、最新のIPCCの気候感度判断を正しいとすれば、長期シナリオの気温推計は高めに出ていると考えられる。
- ◆ また、2°C目標時などの累積許容排出量の推計値は、CMIP5の知見に基づいており、これはAR4の気候感度評価相当である。よって、AR5での最新の総合的な気候感度判断を反映すると、許容排出量は大きくなると考えられる。
- ◆ 2°C目標を当面堅持するとしても、気候感度に関する最新の科学的知見、またこれまでの考え方との整合性（50%程度の確率での達成）を踏まえると、累積排出許容量1000GtCO₂、2050年世界排出量は2010年比40～70%削減が必要、といった数字は、蓋然性が乏しい。例えば気候感度が0.5°C異なるだけでこれら数字は大きく変わる。よって、こういった数字だけが独り歩きすることは、逆に国際交渉をデッドロックに乗り上げさせかねない。最新の科学的知見を正しく理解し、柔軟性をもった排出削減目標の議論を進めるべきではないか。
- ◆ 2015年3月末に提出された約束草案および中国の見通しを踏まえて推計した世界の排出経路は、2°C目標に対して、気候感度3°Cを前提とすると、大きなギャップが見られるが、気候感度が2.5°Cとした場合には整合性を有していると評価することも可能である。