

2016年9月30日

1.5°C目標に関する分析・評価

(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：佐野史典、秋元圭吾

TEL: 0774-75-2304、E-mail: sysinfo@rite.or.jp



1. IPCC AR5等、既往文献における1.5°C目標の評価例
2. 気温目標に関する各種不確実性と1.5°C目標の気温経路の想定
3. 1.5°C目標実現のための排出経路
4. 1.5°C目標実現のための排出削減費用と対策
5. まとめ

パリ協定（COP21）における長期目標関連の決定

- ◆ 全球平均気温上昇を産業革命前に比べ2℃未満に十分に（"well below"）抑える。また1.5℃に抑えるような努力を追求する。（第2条1項(a)）（⇒ COP21決定では、IPCCに対し、1.5℃目標の影響と排出経路に関する特別報告書の2018年までの策定を求めた。IPCCは2016年4月の総会で特別報告書の策定を決定）
- ◆ 協定第2条の長期目標を達成するため、世界の温室効果ガス排出をできる限り早期にピークにする。その後、急速に削減し、今世紀後半には、温室効果ガスについて人為的起源排出とシンクによる吸収をバランスさせる。（第4条1項）
- ◆ すべての国は、温室効果ガス低減のための長期発展戦略を策定するよう努力すべき（第4条19項）（COP21決定には2020年までにと時期も明示されている）
- ◆ 協定の目的と長期目標に向けた世界全体の前進を評価するために、協定の実施状況を5年毎に把握（「グローバル・ストックテイク」、2023年が第1回）

1. IPCC AR5における 1.5°C目標の評価

IPCC AR5における長期の世界排出削減シナリオの整理

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%

1.5°C目標と許容累積CO₂排出量 (IPCC AR5)

CMIP5による評価: 気候感度
2~4.5°C (mean: 3.2°C)

Cumulative CO ₂ emissions from 1870 in GtCO ₂									
Net anthropogenic warming ^a	<1.5°C			<2°C			<3°C		
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

MAGICCによる評価:
気候感度likely 2.0~4.5°C
(mode: 3.0°C)を想定

注) 表中の数字の幅はNon-CO₂ GHGシナリオの幅による

2. 気温目標に関する各種不確実性と1.5°C目標の気温経路の想定

- ◆ 1.5°C未満をいつの時点で達成することが求められているのか。
- ◆ 1.5°C未満をどの程度の確率で達成することが求められるのか。もしくは、期待値として1.5°Cをどの程度下回るようにすることが求められるのか。（2°C目標は、“well below”としているが、“well below”は科学的にどう解釈すれば良いのか）
- ◆ そもそも気候感度が不確実であるとともに、その確率密度分布関数自体が不確実

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レンジ) (括弧は最良推計値もしくはmedian等)
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 WG1 AR5	1.5~4.5°C (合意できず)
IPCC WG3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)

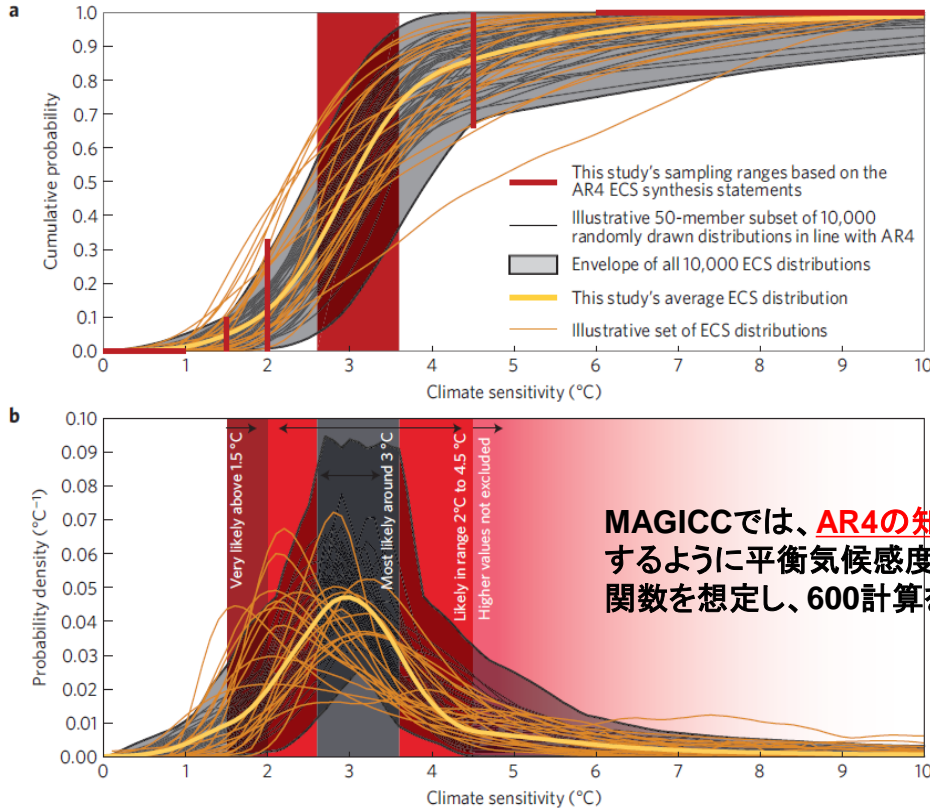
No best estimate for equilibrium climate sensitivity can now be given because of a lack of agreement on values across assessed lines of evidence and studies.

- ◆ 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では観測データ派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)。
- ◆ 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

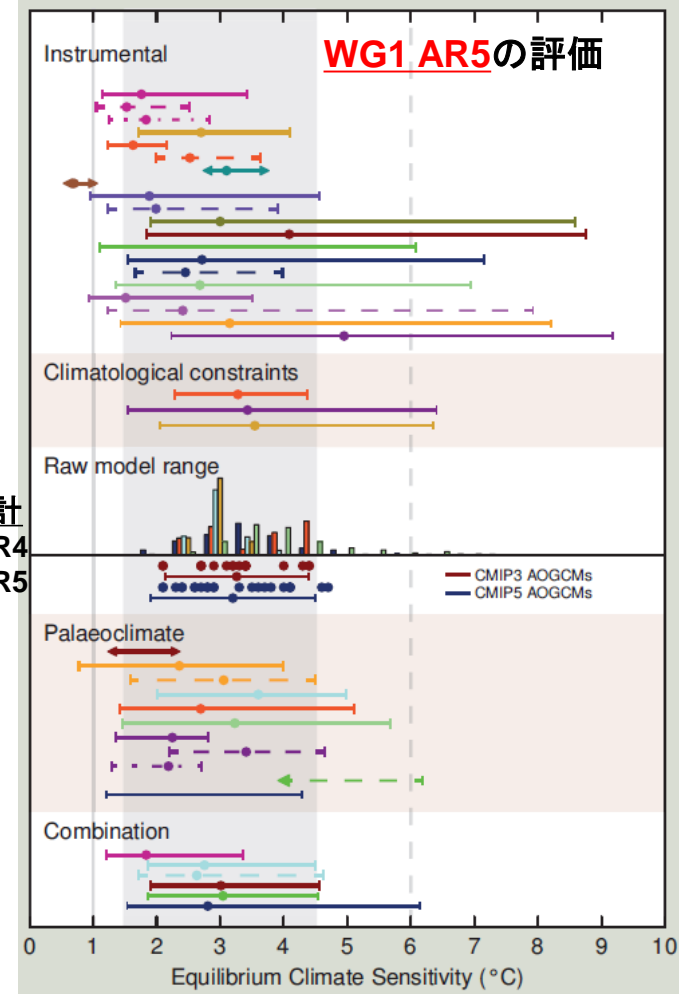
IPCC WG3 AR5長期シナリオ推計で用いられた MAGICCモデルで想定されている気候感度

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)



GCMの推計
CMIP3→AR4
CMIP5→AR5



出典: J. Rogelj et al., 2012

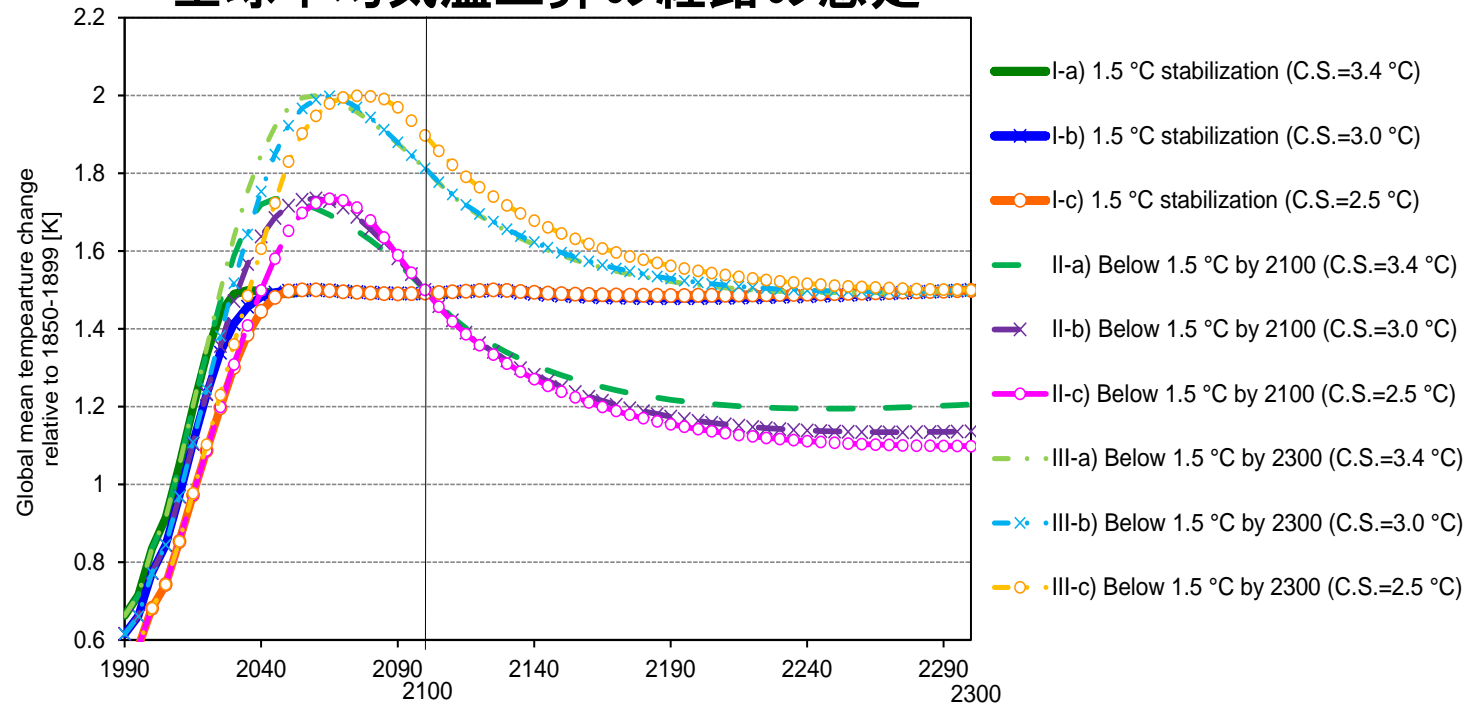
出典: IPCC WG1 AR5, 2013

- ◆ **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。これはAR5 WG1のうちのCMIP5の結果とは概ね整合的だが(左図)、AR5において、GCM以外の推計を含めて総合的に判断をした気候感度(右図グレーの帯)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。**

1.5°C目標に関するシナリオ想定とその気温経路

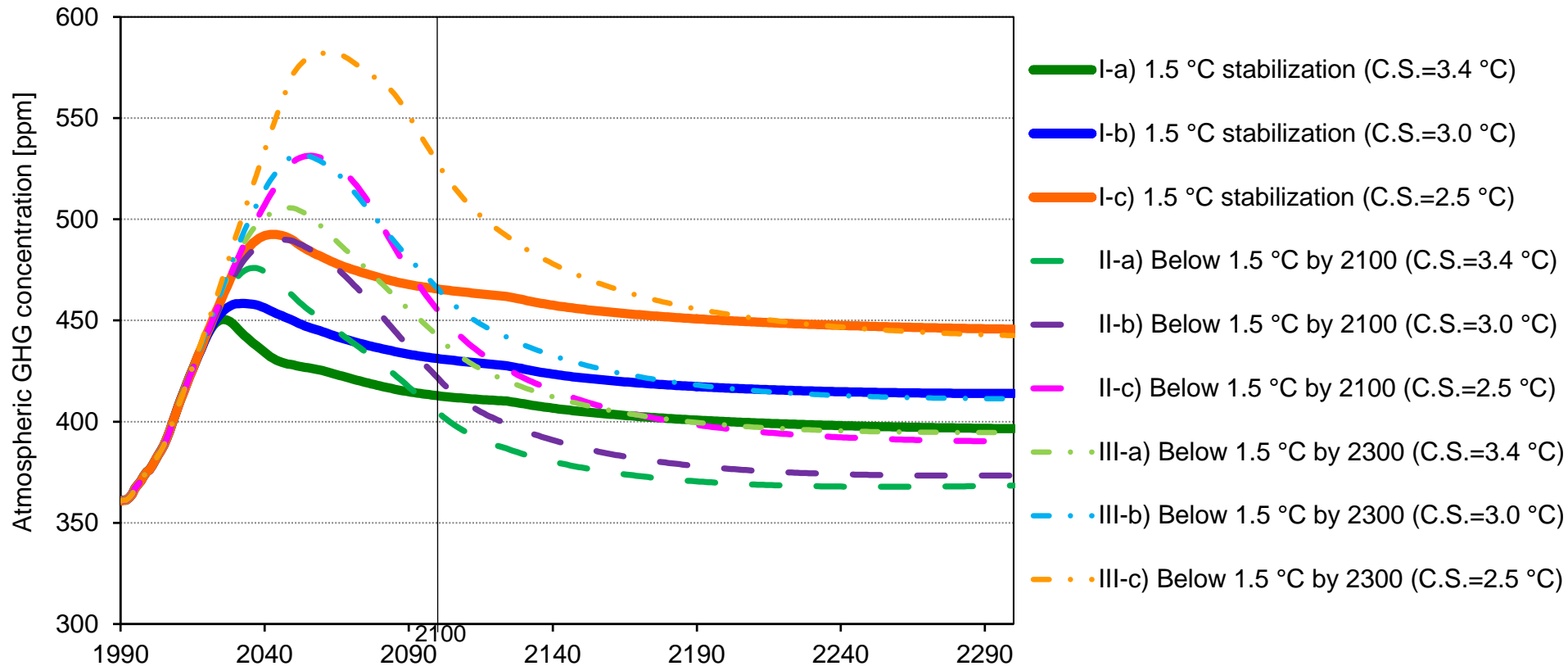
気温経路	平衡気候感度		
	a) 3.4 °C	b) 3.0 °C	c) 2.5 °C
I) 1.5 °C安定化(全期間で1.5 °Cを下回る)	I-a	I-b	I-c
II) 2100年までに1.5 °C未満 (気温のオーバーシュート有; ピーク気温: 約 1.75 °C)	II-a	II-b	II-c
III) 2300年までに1.5 °C未満 (気温のオーバーシュート有; ピーク気温: 約 2.0°C)	III-a	III-b <td>III-c</td>	III-c

全球平均気温上昇の経路の想定



3. 1.5°C目標実現のための 排出経路

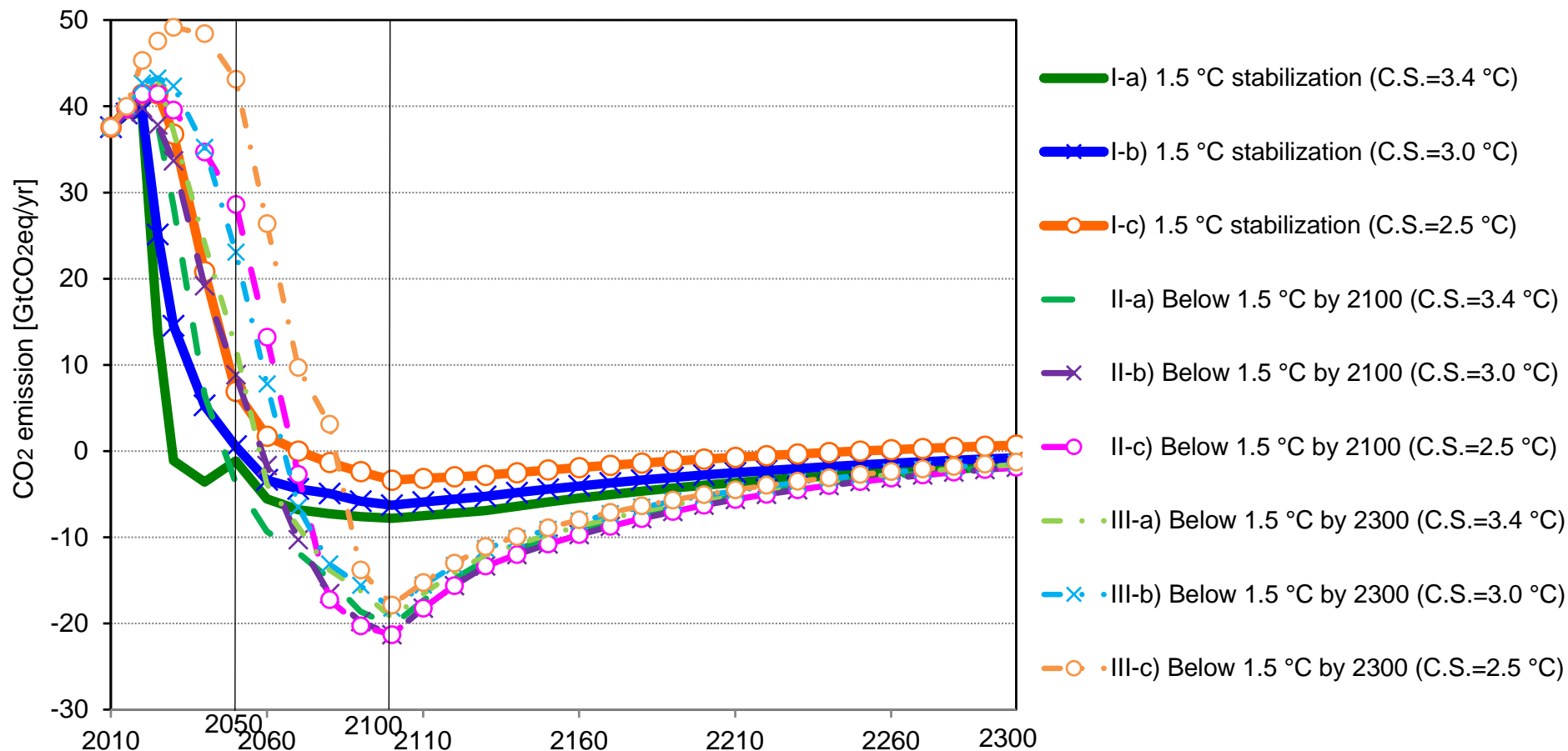
1.5°C目標想定シナリオの大気中温室効果ガス濃度推移



出典)RITEによる推計(MAGICC利用)

濃度は、想定したすべてのシナリオでオーバーシュート。1.5°C安定化シナリオでは、2300年の濃度は400~450 ppm CO₂eq.(幅は気候感度の想定による)。2100年に1.5°Cシナリオでは、その後も気温が低下し、濃度水準は370~400 ppm CO₂eq.程度。

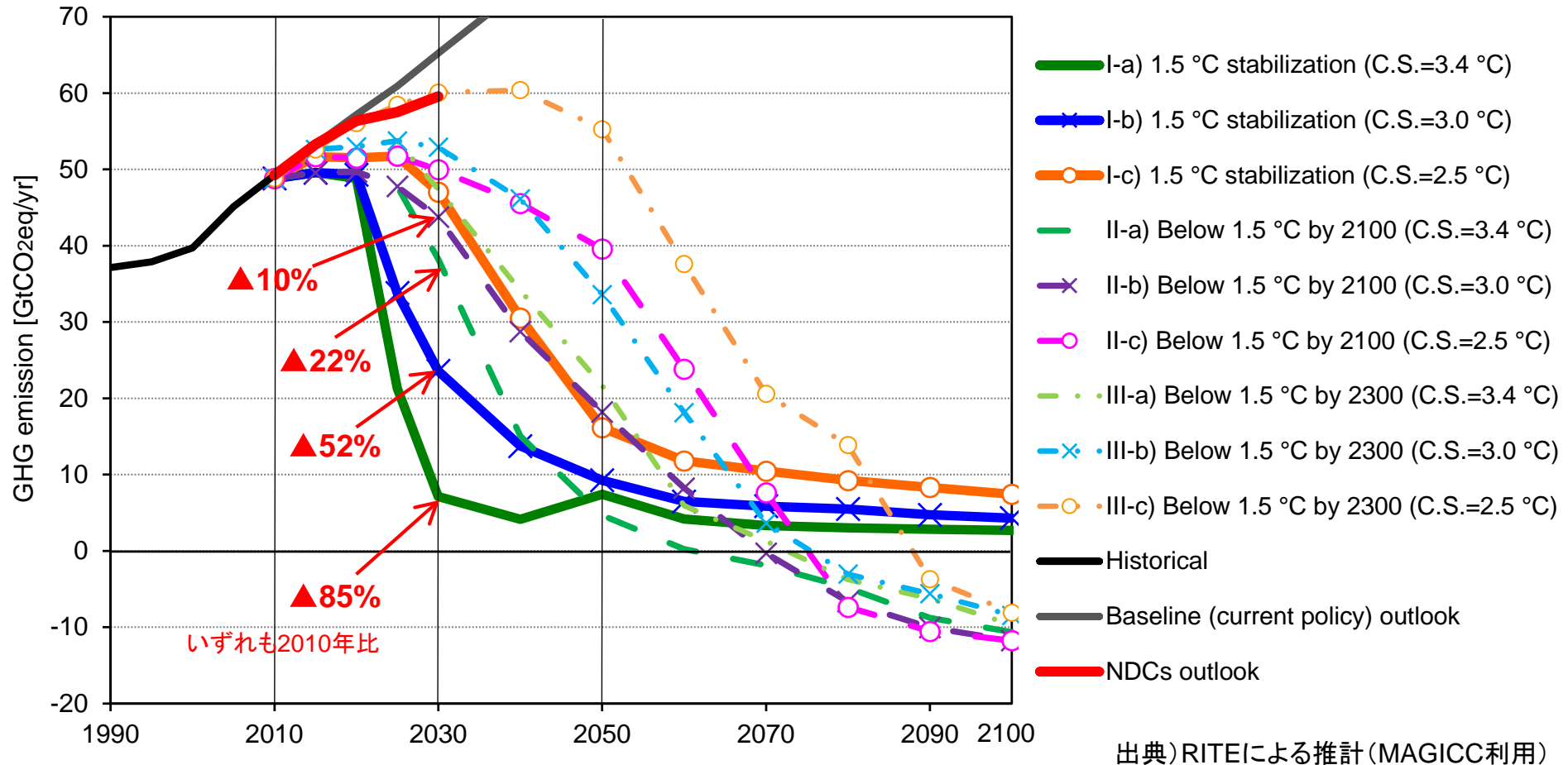
1.5°C目標想定シナリオのCO₂排出量推移(～2300年)



出典) RITEによる推計 (MAGICC利用)

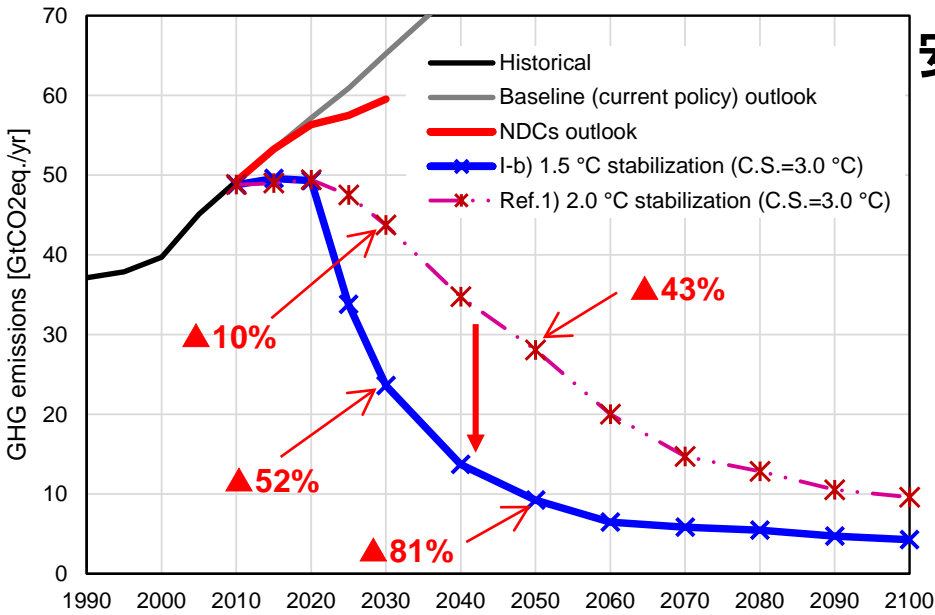
- すべてのケースで世界での正味負排出が必要。とりわけ気温のオーバーシュートシナリオの場合(ケースII、III)、いずれのケースでも2100年には年間約20 GtCO₂もの負排出が必要。
- 気温安定化のためにはいずれのケースでも長期的にCO₂ゼロ排出が必要。

1.5°C目標想定シナリオのGHG排出量推移(～2100年)



- 1.5°C未滿を>66%で達成するためには(気候感度3.4°C程度相当)、2030年に2010年比で世界排出量を85%程度削減する必要あり。>50%でも52%程度削減が必要。(いずれも気候感度の最良推定値が3°C、2.0~4.5°Cがlikelyの場合)
- 気温のオーバーシュートを許容し、2100年時点に>66%で1.5°C未滿を達成するには、2030年に2010年比で22%程度の削減が必要。>50%では2030年に10%減。(約束草案(NDCs)は+21%)

GHG排出量推移－2°Cと1.5°C目標の比較－

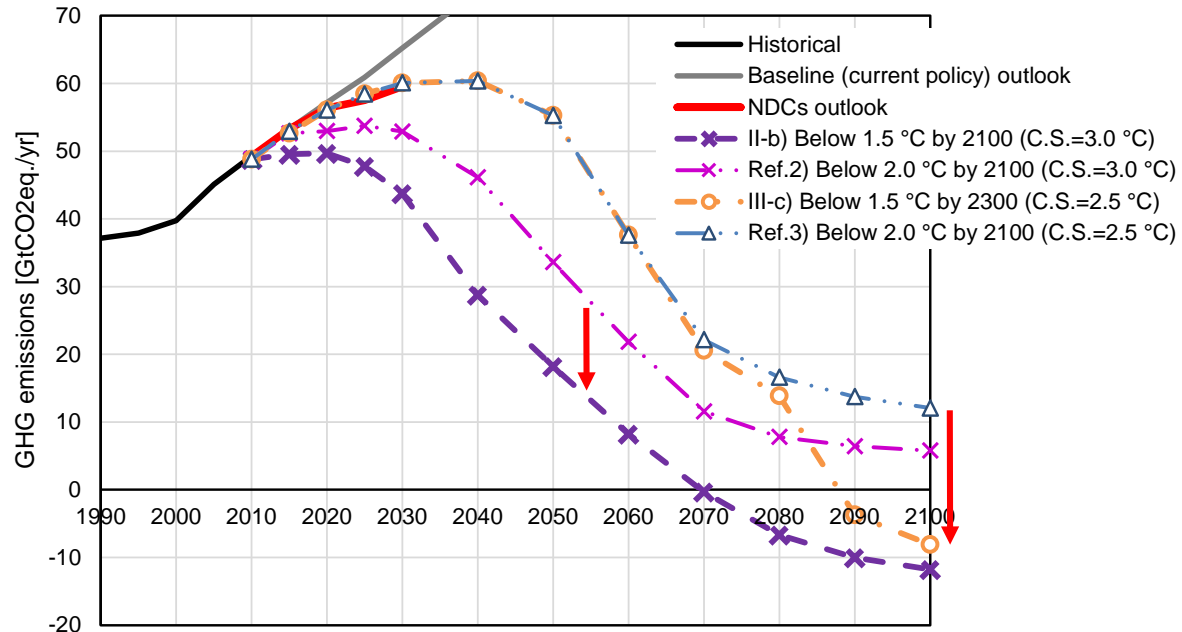


安定化目標(気候感度3.0°C)

出典)RITEによる推計

オーバーシュートシナリオ (気候感度3.0°C、2.5°C)

2100年に2°C未満(気候感度2.5°C)と2300年に1.5°C未満(気候感度2.5°C)の排出経路は2070年ころまでは似通っており、いずれも約束草案と整合性があるが、2300年1.5°Cの場合は2070年頃以降は更に大幅に削減が必要で、2100年にはGHG排出で10GtCO₂eq/yr程度のネガティブ排出が必要



1.5°C目標想定シナリオの大気中温室効果ガス濃度推移

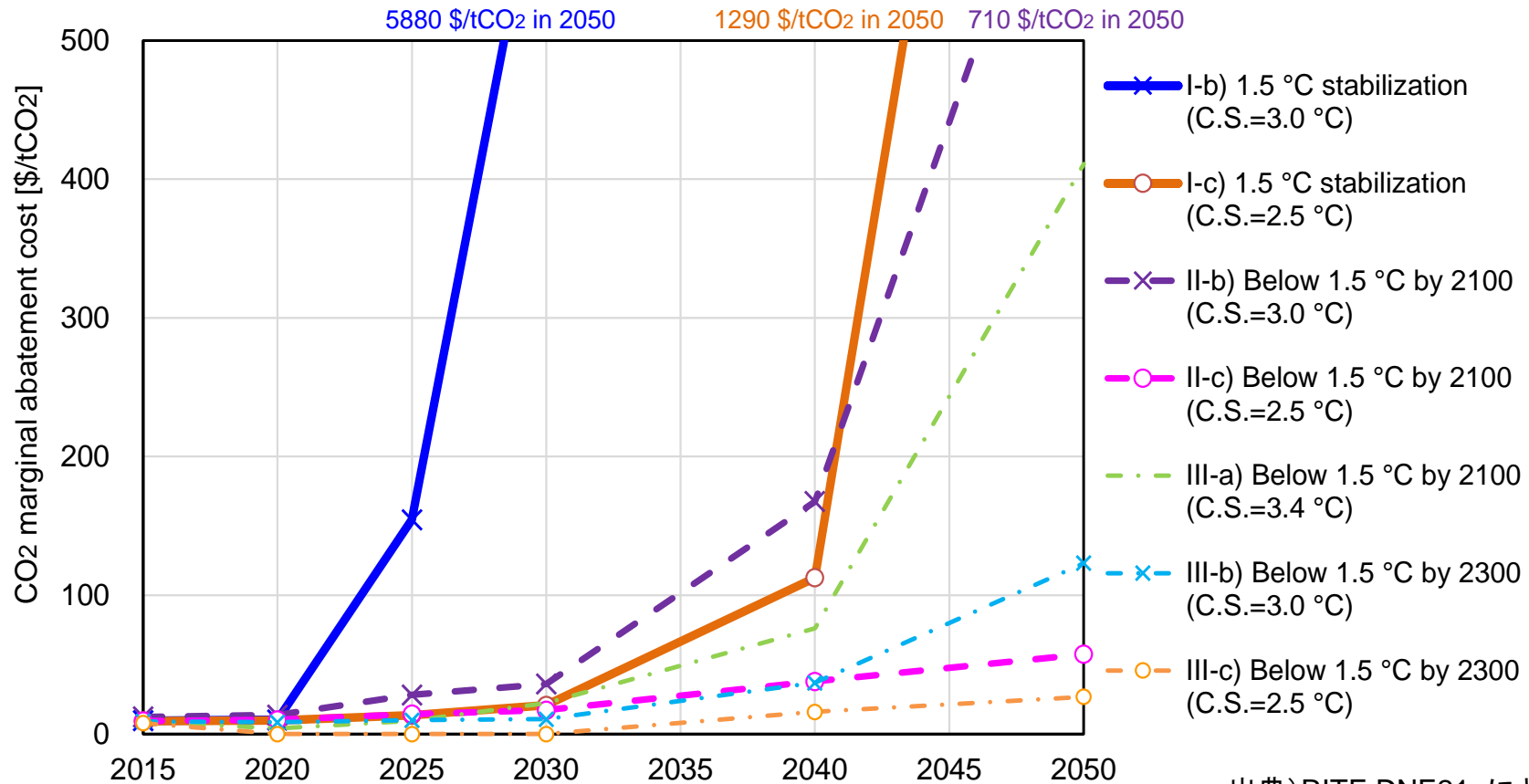
	全球平均気温上昇 (1850-1900年比)			2030年に必要な GHG排出削減量 (GtCO ₂ eq./yr)		2010年比での 必要なGHG排 出削減 (%)		累積CO ₂ 排出 量 (GtCO ₂)		正味負排出 の累積CO ₂ 排 出 量 (GtCO ₂)*
	2100	2300	ピーク 気温	From baseline	From NDCs	2030	2050	2016- 2100	2016- 2300	2016-2300
I-a	1.5 °C	1.5 °C	1.5 °C	58.1	52.4	-85%	-85%	230	-210	-615
I-b				41.6	35.9	-52%	-81%	469	154	-414
I-c				18.2	12.5	-4%	-67%	873	756	-148
II-a	1.8- 1.9 °C	1.5 °C	2.0 °C	27.0	21.3	-22%	-90%	394	-360	-1069
II-b				21.5	15.8	-10%	-63%	577	-221	-1065
II-c				15.3	9.6	+2%	-19%	919	121	-1024
III-a	1.8- 1.9 °C	1.5 °C	2.0 °C	17.8	12.1	-3%	-56%	711	-3	-950
III-b				12.3	6.6	+8%	-31%	926	261	-862
III-c				5.2	-0.5	+23%	+13%	1427	777	-738

* 各年で世界の正味排出量が正味負となるCO₂排出量の累積量

II-c、III-b、III-cは、2030年のNDCとのギャップは、他のケースに比べ相対的には小さい。しかし、これらのケースでは、年間で負の排出となる年だけで740-1020 GtCO₂程度の正味負の累積排出が必要になる。

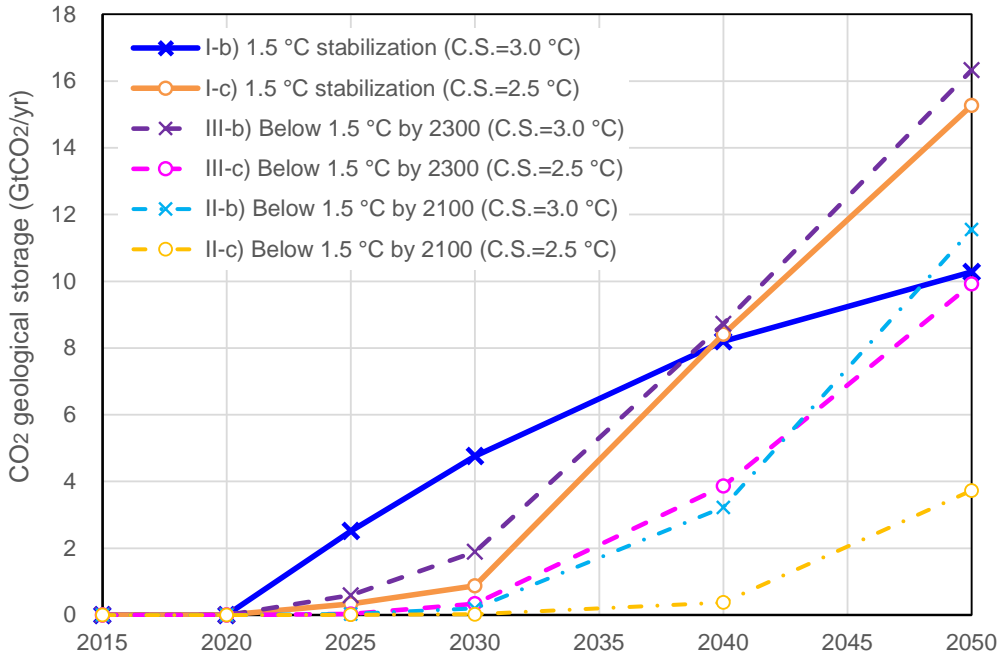
4. 1.5°C目標実現のための 排出削減費用と対策

1.5°C目標想定シナリオのCO₂限界削減費用



- ケースI-a, II-a(いずれも気候感度3.4°C)の場合、RITE DNE21+モデルの試算では、実行可能な解は存在しなかった。
- 1.5°C目標の排出経路は気候感度が3.0°Cの場合(ケースI-b、II-b)、少なくとも2050年までは実行可能な解は存在するが、2100年に1.5°Cの場合(オーバーシュート)は2050年の限界削減費用は710\$/tCO₂程度、1.5°C安定化の場合は5900\$/tCO₂程度と推計される(いずれも世界全体で費用最小化の場合)。

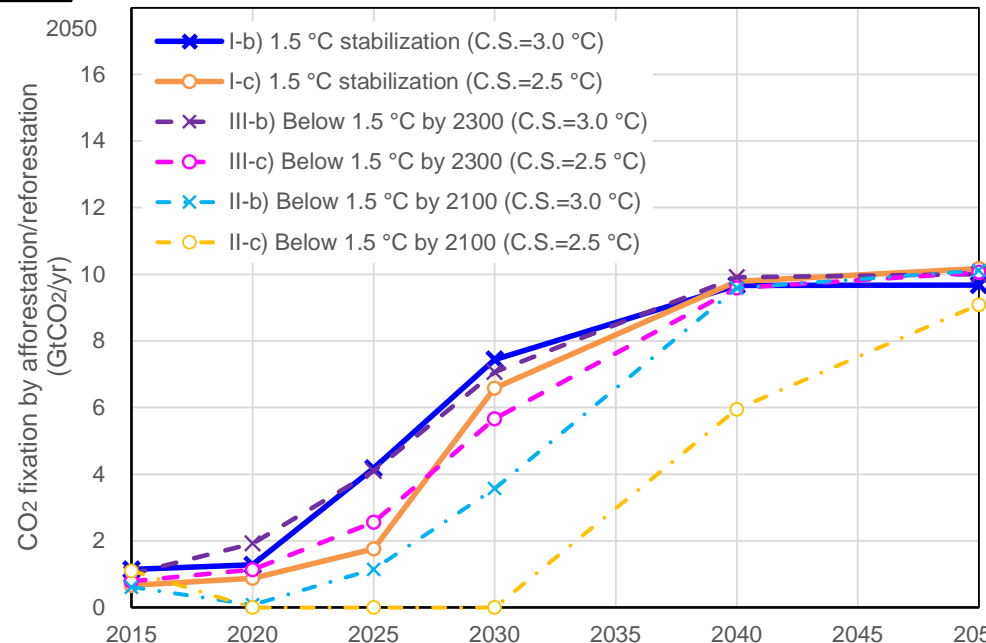
1.5°C目標想定シナリオのCCSと植林CO₂固定量



CCSでのCO₂貯留量

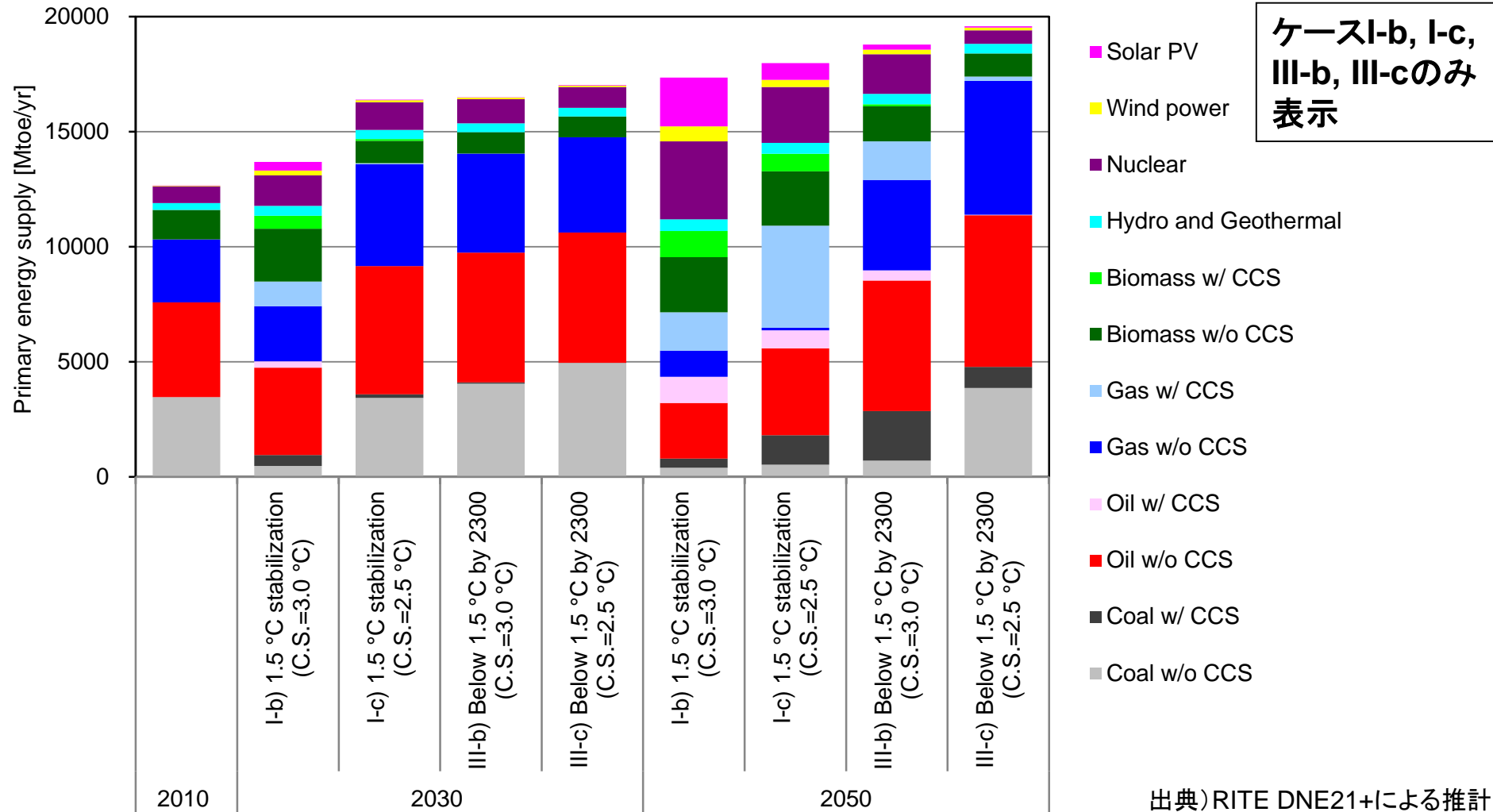
出典) RITE DNE21+による推計

植林によるCO₂固定量



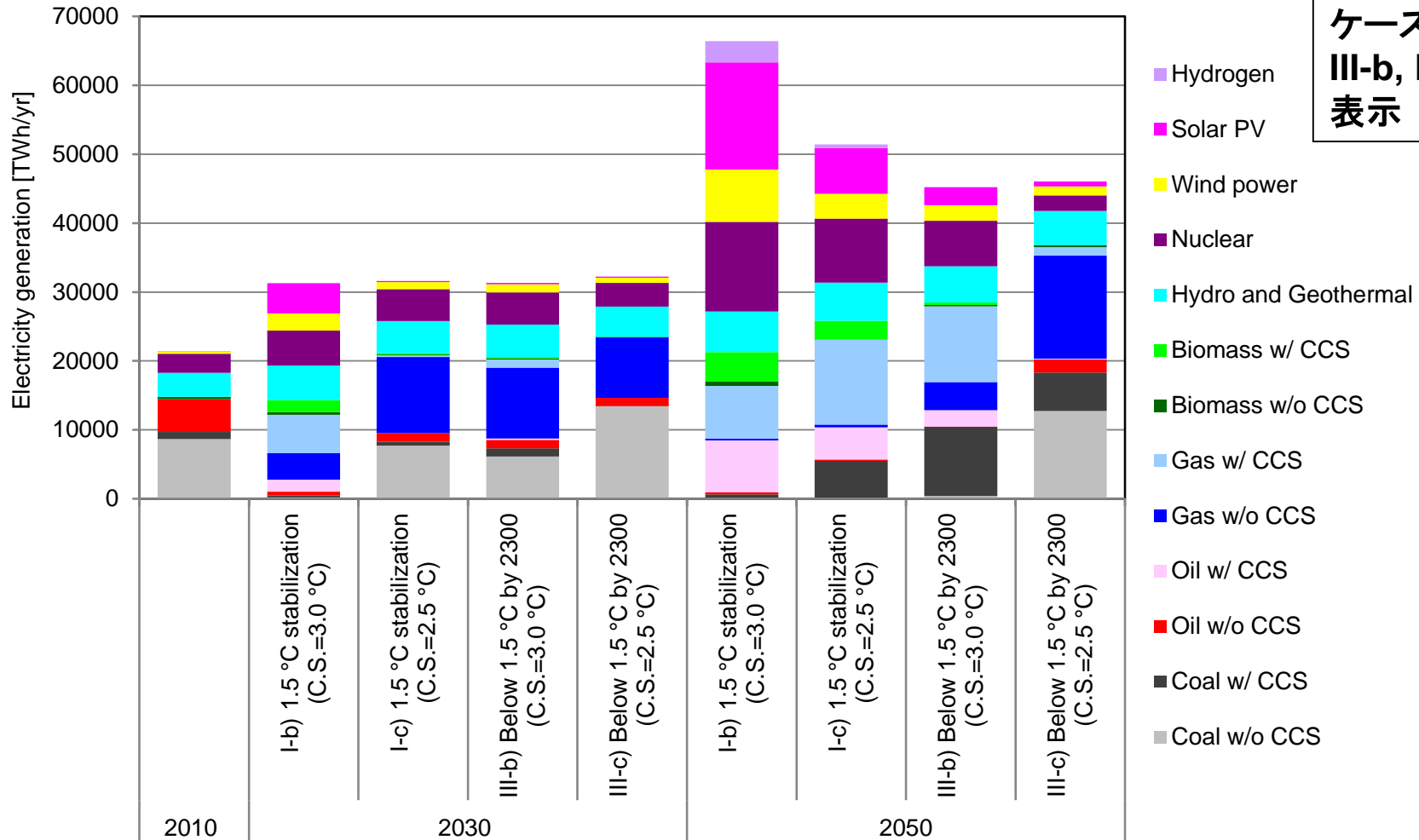
- モデル計算では、2050年にすでに両者合計では年間20GtCO₂を超えるCO₂固定が見込まれている。
- 2100年頃に世界全体で20GtCO₂程度の正味負の排出にするには、正の排出でも20GtCO₂程度ものCO₂固定が必要となるものが、更に20GtCO₂のネガティブ排出が必要となるということを意味する。

1.5°C目標シナリオの世界一次エネルギー供給量



- ケースI-bでは、2030年時点で、石炭利用量は相当抑制、BECCSの導入も。
- 一方、ケースI-c、III-b、III-cでは、2030年まではそれほど大きなエネルギー構成の変化は見られない。また、ケースIII-cでは2050年でもそれほど劇的な変化は見られない(ただし、このケースの場合は2050年以降、急激な排出削減が求められる)。

1.5°C目標シナリオの世界発電電力量

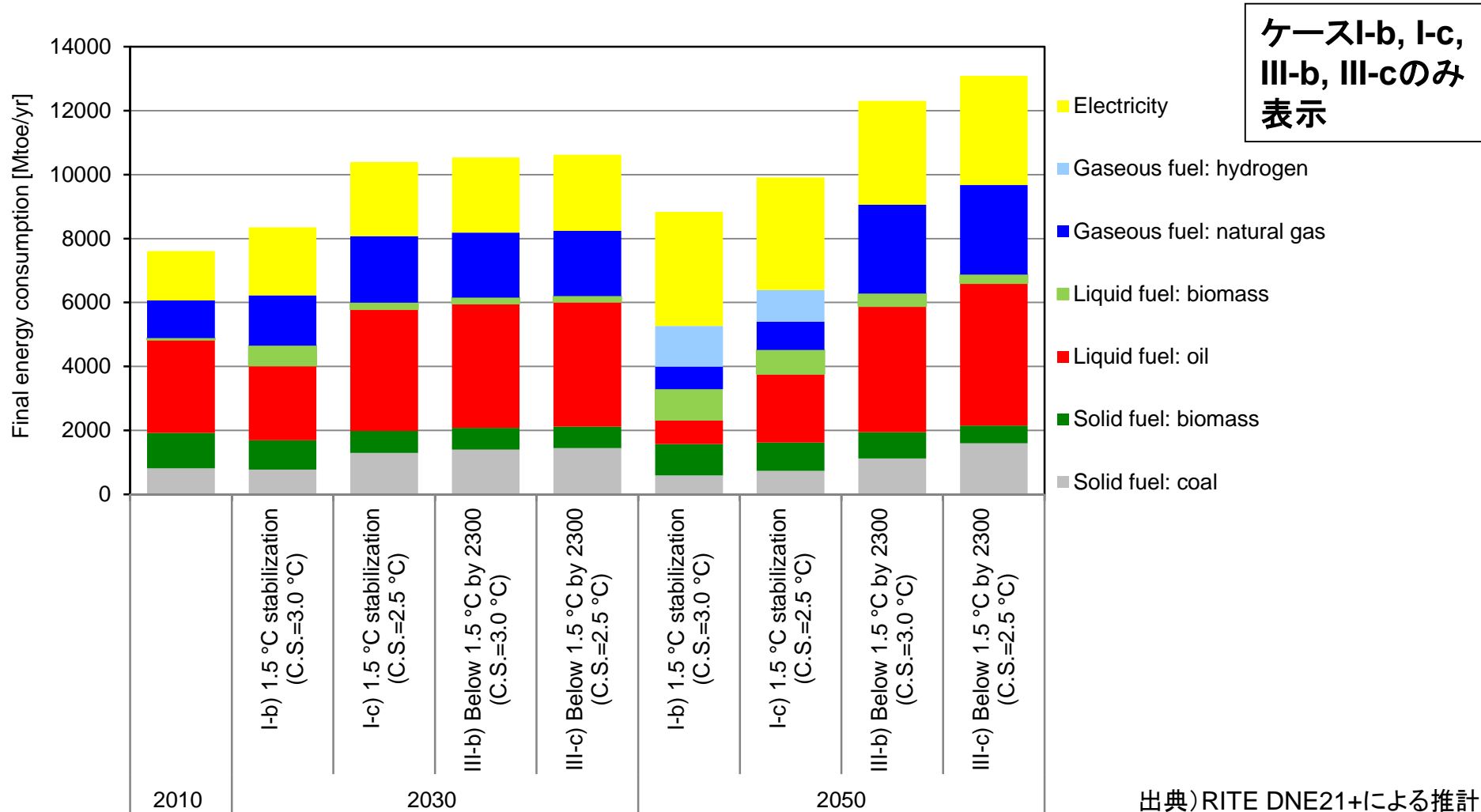


ケースI-b, I-c,
III-b, III-cのみ
表示

出典)RITE DNE21+による推計

- 一次エネルギー供給や最終エネルギー消費とは異なり、厳しい排出削減となるケースで発電電力量はより大きくなる傾向にある。
- ケースI-bの2050年の再エネ比率(水素含まず)は約51%

1.5°C目標シナリオの世界最終エネルギー消費量



- 厳しい目標に従って、最終エネルギー消費量は大幅に抑制される結果に
- ケースI-b, I-cは、ガス需要の半分以上を水素で供給
- 電力比率は、比較的排出削減が緩やかなケースIII-cでは26%に対して、厳しいI-bでは40%程度

5. まとめ

- ◆ パリ協定で気温目標として2°C、1.5°C目標に言及された。ただし、1.5°C目標については、これまで評価例が少なく、IPCC特別報告書の策定が決定された。
- ◆ しかし、政治的文書であるパリ協定の気温目標記述の解釈における不確実性や、気温推計そのものにも科学的な不確実性が付随しており、その不確実性によって、1.5°C目標実現のための排出削減経路、削減強度には大きな幅が生じる。
- ◆ ここで想定した1.5°C目標シナリオの大部分は、2030年のNDCsと大きな排出ギャップが存在する。
- ◆ 一方、気温上昇のピークが+2°Cで、2100年に+1.8°C程度、2300年までに+1.5°Cのシナリオで、気候感度が2.5°Cのケースは、2030年のNDCsと整合性を有する。
- ◆ しかしこのケースでも、21世紀後半から2300年にかけて、継続的に大きな正味負の排出が必要であり（植林では土地制約上、不可能と考えられ、大規模なBECCS、DAC（直接空気回収）など、ジオエンジニアリング的手法が必要）、実現性は極めて乏しいと考えられる。なお、2300年までという極めて長い期間で+1.5°Cに戻すというのが、「1.5°Cを追及」に合致するものかは意見が分かれる可能性がある。