

テーマB-i-b「安定化目標値設定に向けた社会経済シナリオに関する検討・情報収集」【単一応募課題】

# 社会経済シナリオを含めた気候予測 実験の統合的評価

担当機関: 電力中央研究所

研究者名: 筒井純一、西澤慶一、野原大輔、大庭雅道、山本博巳

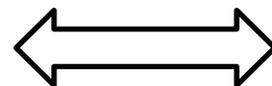
研究協力者: 杉山昌広(東京大学 政策ビジョン研究センター)

## 気候科学

地球システムモデル(ESM)による気候予測実験

- ・GHG変化等による気候応答
- ・炭素循環や気候感度の不確実性
- ・ティッピングエレメント
- ・気候工学影響

両研究の橋渡し  
しが本サブ課  
題の役割



## 社会経済シナリオ

統合評価モデル(IAM)によるシナリオ評価

- ・気候実験用シナリオ作成
- ・エネルギー需給の検討
- ・緩和策技術評価
- ・温暖化対策と気候変化の経済影響

環境省S-10、経産省課題など

# 目的・概要(5年間)

## ■ 目的・概要

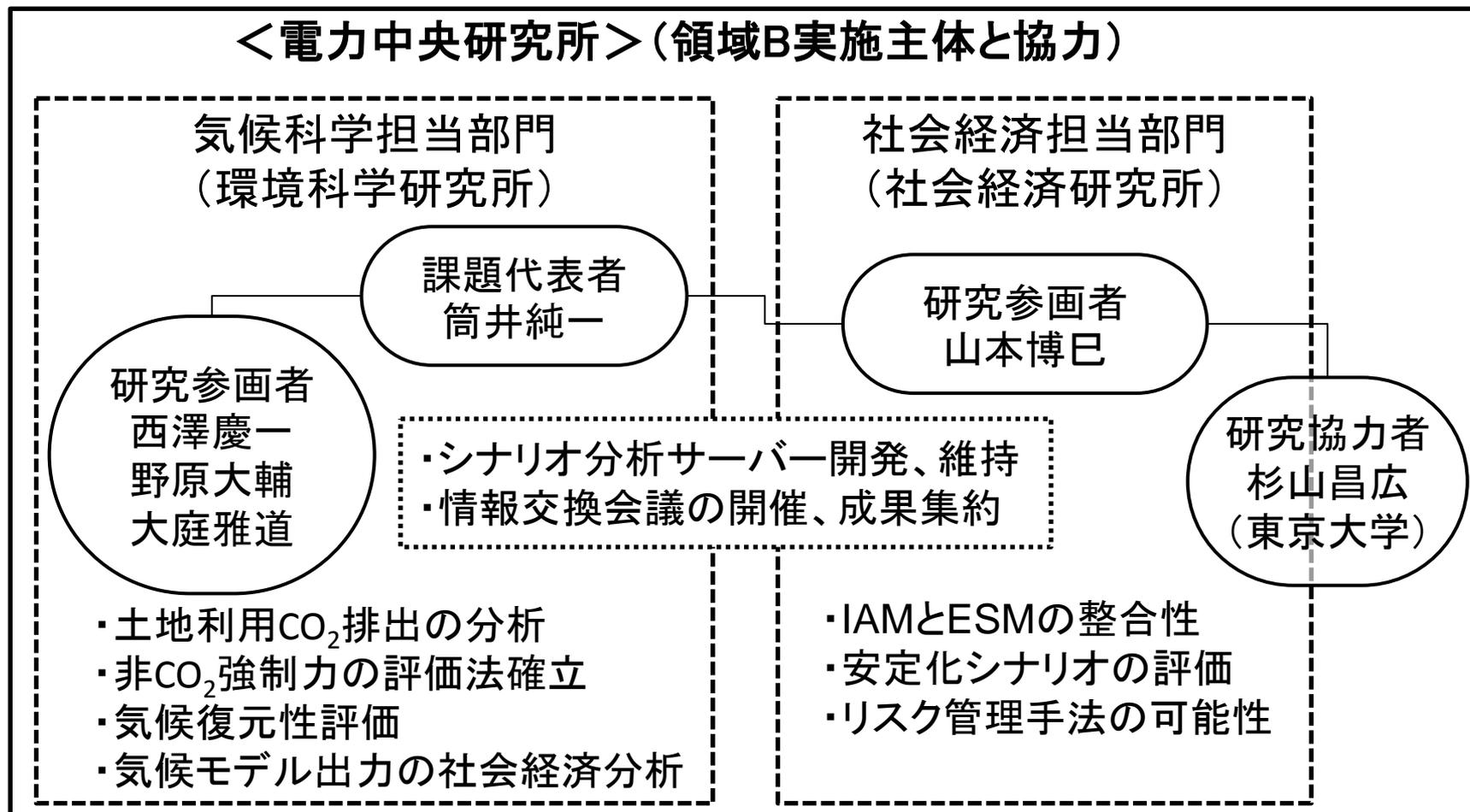
- ESM実験の前提となる社会経済シナリオについて、気候科学と地球温暖化対策の観点から統合的に評価
- 費用対効果の高い排出削減目標や、気候予測の不確実性を考慮したリスク管理の考え方を提示
- 関連する研究分野での情報交換と協力を促進

## ■ 位置づけ・ねらい

- 気候政策の基盤情報を作成する既往手法(MAGICCに代表される欧米の研究成果)の代替を目指す
- 温暖化問題の全体を俯瞰して、気候科学と緩和策の橋渡しをする役割(手法の簡略化と情報の統合化が基本方針)

ESは利用予定なし

# 実施体制



当研究所のIAM(簡易気候モデル含む)と実施主体のESMを活用するとともに、課題内の他領域、ならびに経産省研究機関や環境省S-10などと連携して実施。

# 計画概要

	2012～2013	2014	2015	2016
1. 統合評価 計算用の要素モデルの 開発	統合評価モデル(IAM)の 気候関連要素のモデリ ング、分析、調査	IAMの気候要素と地球シ ステムモデル(ESM)との整 合性分析、シナリオ評価 手法の高度化	<div style="border: 2px solid red; border-radius: 15px; padding: 5px;">                     マルチガス考慮した CO<sub>2</sub>削減緩和、大規 模気候変化のリス ク管理オプションの 可能性                       気候影響(経済損 失)モデリング、 ティッピング・エレメ ント等の最新知見 反映                       一本化の方針                      継続                 </div>	
2. 気候安定 化シナリオの 統合的評価	ゼロ排出シナリオのモデ ル間比較、気候応答の 不確実性、リスク管理	CO <sub>2</sub> 削減シナリオの実現性 評価、バイオマス利用と土 地利用起源CO <sub>2</sub> 排出に注 目		
3. 分野間横 断の情報交 換会議	シナリオイニシアティブ(*), シナリオ分析・情報共有 サーバ立ち上げ	IPCC WG2, WG3 AR5 (**), パターンスケーリング等の 情報共有、意見交換等		

(\*) 地球温暖化研究における分野間の情報交換と協力を推進するボランティアな会議体。  
国環研、RITE、エネ総工研、防災科研、大学から20名程度参加。

(\*\*) 本研究活動を背景に、政府(文科省等)のIPCC対応を支援。

# 進捗(2014年度末見込み)

## ■ 要素モデル開発

- CMIP5モデル群の特性を反映したCO<sub>2</sub>排出・気候応答の評価手法
- 非CO<sub>2</sub>強制力、土地利用起源CO<sub>2</sub>排出の高度化

## ■ シナリオ統合評価

- AR5情報を反映したZ650気候シナリオの改訂
- 気温・累積CO<sub>2</sub>排出量関係等の分析、情報共有ツール公開(予定)
- バイオエネルギーと土地利用起源CO<sub>2</sub>の包括的評価(初期段階)
  - モデル間相互比較(EMF30)に参加

## ■ 分野間情報交換

- シナリオイニシアティブ活動(プログラム内外との連携)
  - JpGU分野横断セッション共催(5/2)、コアメンバー会議(12/26)
  - IPCC TGICA会議(11/24)、創生国際WS(11/27)で活動紹介
- AR5に関する政府支援(情報交換活動の発展)
  - WGIII-12/IPCC-39(4/7-12)、IPCC-40(10/27-11/1)

# AR5のWGIとWGIIIの整合性

## ■ 21世紀末気温上昇の評価

- WGI: CMIP5モデルのRCP濃度駆動ランの”多数決”、90%幅を*likely range*と解釈
- WGIII: MAGICCの確率モードをCMIP5の90%幅に調整し、多数シナリオ(1200本)を多数パラメータ(600メンバー)で計算、2100年の濃度レベルで分類して評価
- TCRは概ね整合(CMIP5は $1.8 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 、MAGICCは $1.2\text{--}2.6^{\circ}\text{C}$ 、中央値 $1.8^{\circ}\text{C}$ )
  - 低目の気候感度を示唆する観測情報は直接的には考慮されていない

## ■ 所定の気温目標を達成する累積CO<sub>2</sub>排出量の評価

- WGI: CMIP5 ESM/EMICモデルのRCP排出駆動ランの”多数決”、2100年までの途中経過が評価対象、RCP8.5の結果を参照(非CO<sub>2</sub>強制力最大)
- WGIII: 1200本×600メンバー計算で、ピーク昇温が所定の温度以下に留まるメンバーの割合が、所定の割合以上となるシナリオの幅(シナリオの”多数決”)
  - 1200本のシナリオは、温度レベルに対して均等に分布していないため、シナリオの多数決では評価結果に偏りが生じる場合もある

# AR5 SYR Table 2.2 (注釈省略)

WGI気候モデル計算

WGIIIシナリオ評価

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

対象となるシナリオでは偏った範囲になる

確認埋蔵量

未発見資源量

注釈e: The numerical results for the cumulative CO<sub>2</sub> emissions for staying below 3°C with greater than 66% (66-100%) is greatly influenced by a large number of scenarios that would also meet the 2°C objective and therefore not comparable with numbers provided for the other temperature threshold.

# 3年間の総括、残り2年間の取り組み

## ■ 3年間の総括

- AR5情報(気候感度、累積CO<sub>2</sub>排出)に則した分析・評価
  - 当初計画(非化石CO<sub>2</sub>注目)から優先度調整
- シナリオイニシアティブ活動の定着(問題認識等の共有促進)
  - 波及効果: AR5承認過程での政府支援

## ■ 研究の最終目標

- 実現可能性の高い排出パス(代表例: Z650)の多面的評価
  - MAGICCに代わる透明性の高い評価手法を提案
- シナリオイニシアティブ活動の発展(情報交換+アルファ)

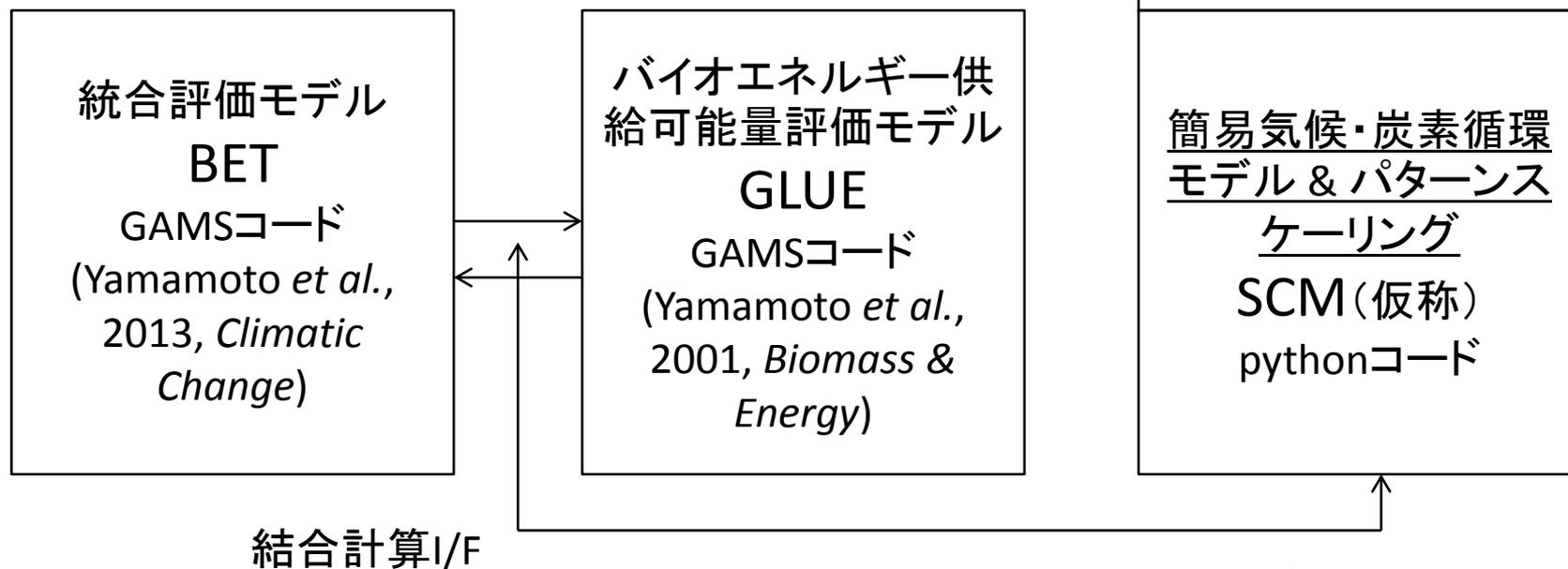
## ■ 残り2年間の取り組み

- 多面的評価の注目点(重点化):
  - 科学面の不確実性、費用対効果、BECCS等の技術、リスク評価・管理など
- +アルファの案(新たな取り組み):
  - 日本版社会経済シナリオ、IAMとESMのより緊密な連携

# モデル構成

BET: 経済1部門・一般均衡・最適成長型、エネルギーのエン  
ドユース技術明示

GLUE: バイオマスのフロー/残渣(農林業、生活)明示、土地利  
用(余剰耕地、食糧需要)は地域別総計(簡略化)



結合計算I/F

下線部の要素を  
創生プロで開発中

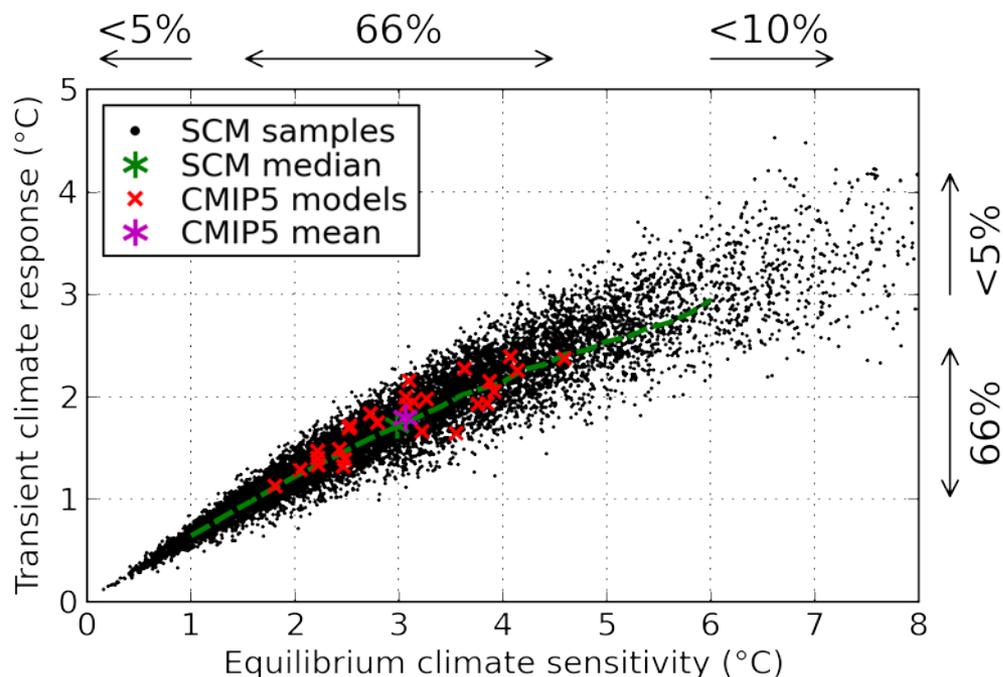
EMF30バイオエネルギーのモデル間比較に参加中

# SCM概要

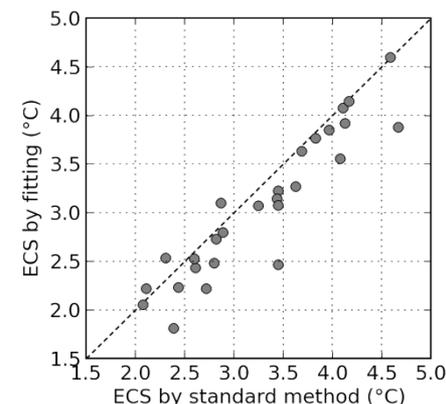
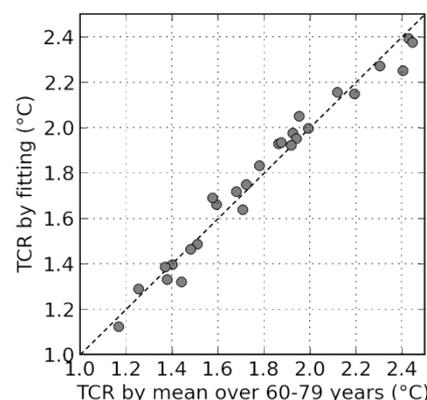
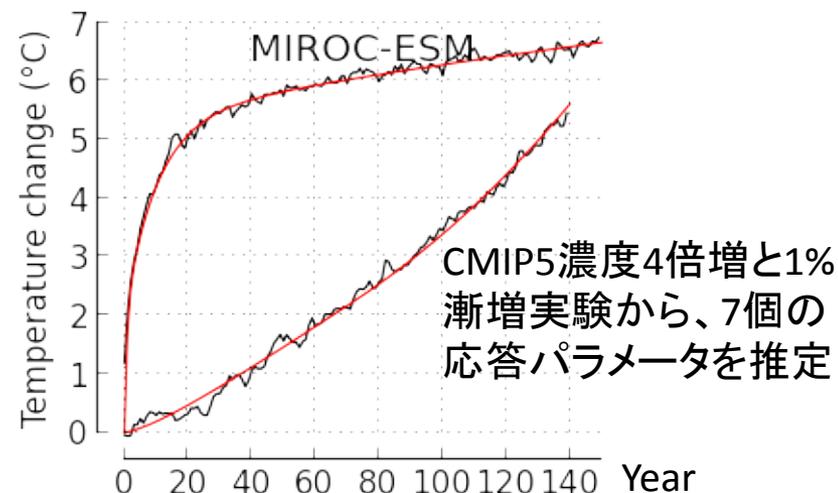
<p>気温変化</p>	<p>鉛直1次元熱収支</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>インパルス応答の形式でパラメータ設定 (3個の異なる時定数を持つ応答関数の和)</li> <li>AOGCMを基にしたパラメータの統計モデル(CMIP5 27モデル参照) (パラメータ間の相互相関、ECSとの相関考慮)</li> <li>自然変動の扱い、パターンスケールリング高度化を検討中</li> </ul>
<p>放射強制力</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>: 濃度の対数に関する2次式(2次項は&gt;2xCO<sub>2</sub>で有効)</li> <li>CO<sub>2</sub>以外: シナリオで与える(明示計算、efficacy検討中)</li> </ul>
<p>海洋炭素循環</p>	<p>4層ボックスモデル(Hooss <i>et al.</i>, 2001)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>調整パラメータ: 時定数5種とその寄与率(究極大気残留率含む)</li> <li>最上層は大気と海洋表層を一体化 アルカリ度一定の条件で分配、解離定数等の温度依存性考慮</li> </ul>
<p>陸域炭素循環</p>	<p>施肥効果による固定とその分解</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>固定: CO<sub>2</sub>濃度依存の関数形(MAGICC準拠、調整パラメータあり)</li> <li>分解: Joos <i>et al.</i> (1996)(時定数4種: 2.2, 2.9, 20, 100年) 20, 100年の時定数の温度依存性考慮(アドホックな関数形)</li> </ul>

物理量は全球平均。炭素循環は1750–2011年のAR5情報とCMIP5 ESMsのCO<sub>2</sub>濃度年1%漸増実験を基に調整

# 気温応答特性



- CMIP5平均、個別モデル、ECS(平衡気候感度)指定に対応
- 緑の破線はECS指定の場合の標準設定
- 黒点は確率評価用サンプル(AR5の評価(図中%値)と概ね整合)



過渡気候応答(TCR)と平衡気候感度(ECS)は  
 応答パラメータから求まる  
 AR5のECS評価値(右下図の横軸)は過大

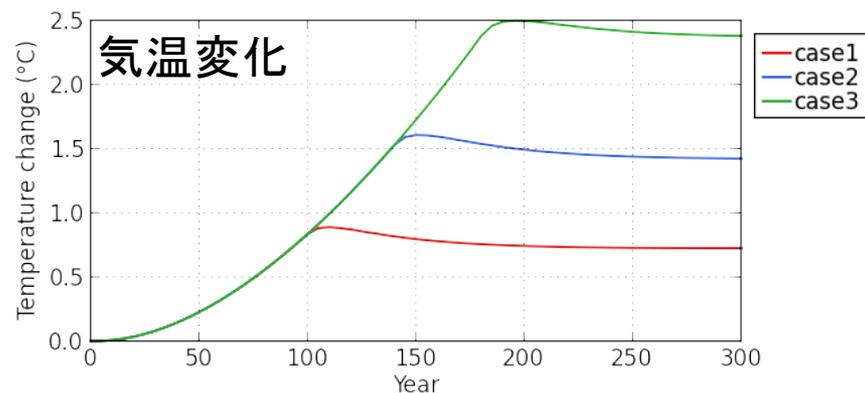
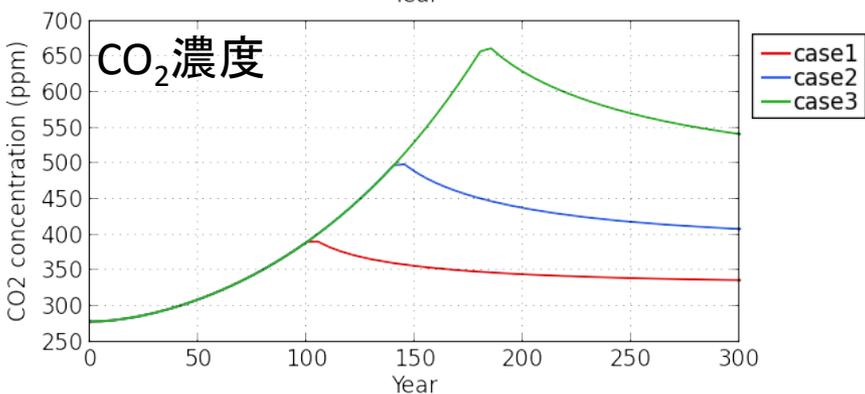
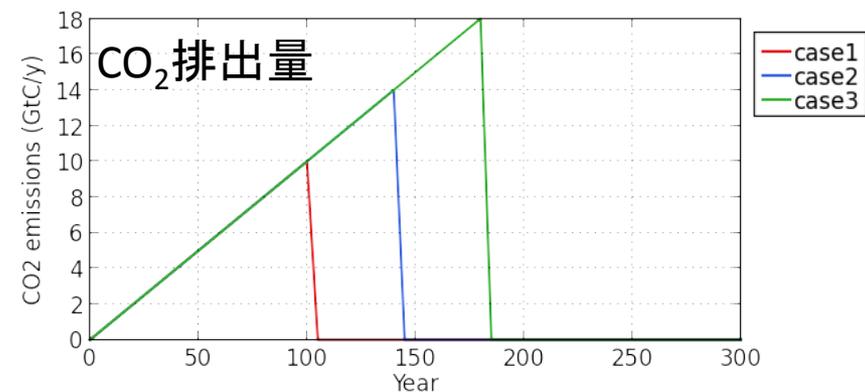
## 参考

---

以下6枚は、公開予定の気候シナリオ共有webアプリの利用例

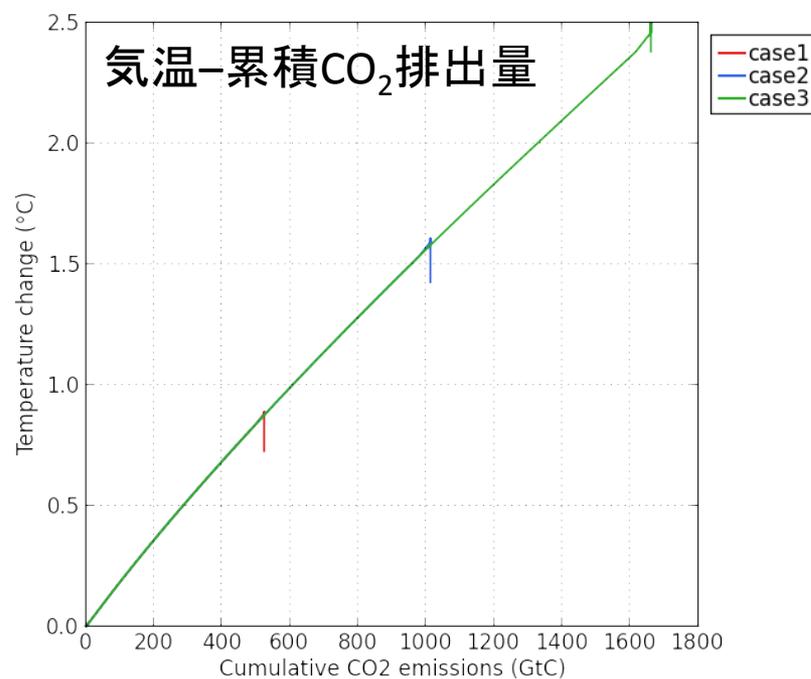
入力：計算期間、ベース/シナリオ/終端経路の種別、計算モデル、  
作図設定など

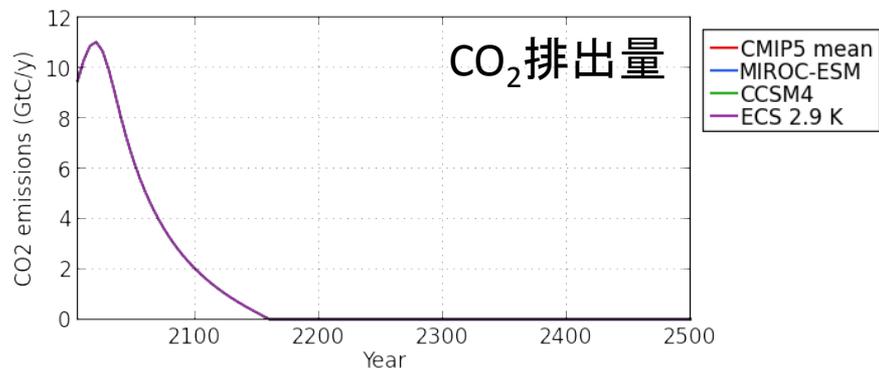
出力：CO<sub>2</sub>排出/濃度/吸収/累積量、放射強制力、気温など



## CO<sub>2</sub>排出漸増実験

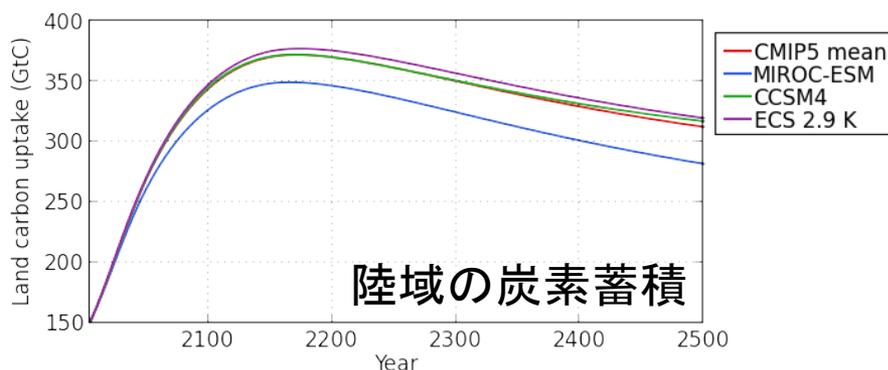
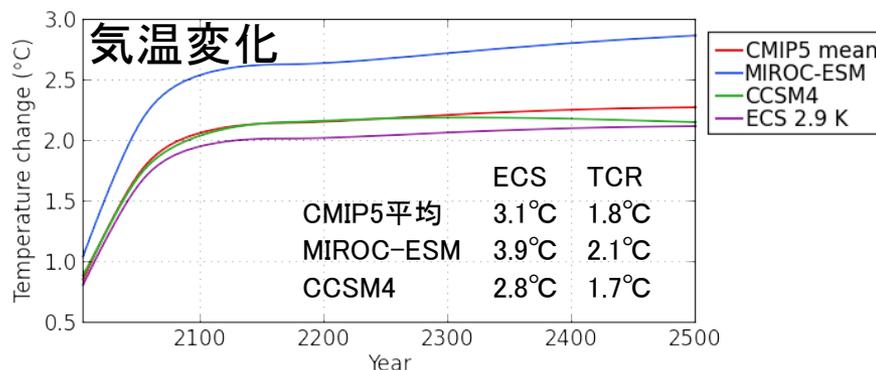
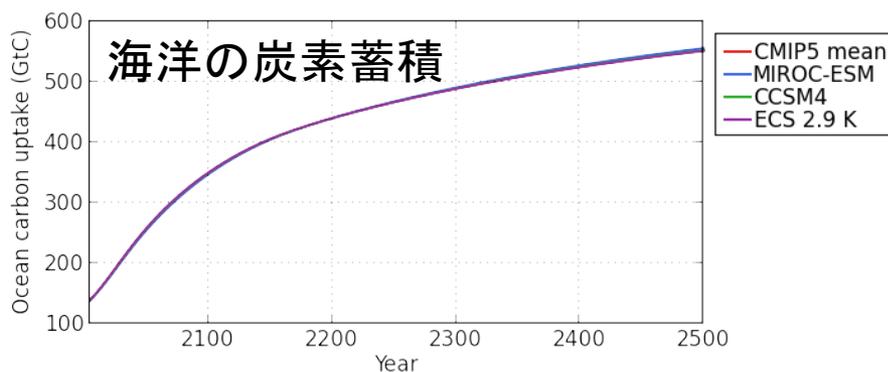
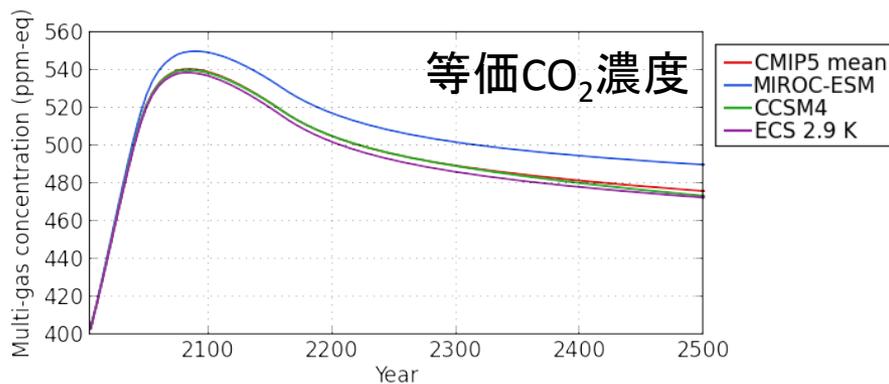
- 排出量を年0.1 GtCずつ100, 140, 180年目まで増加させて、その後ゼロにする
- ECS 3°Cの計算
- AR5のTCRE評価(1000 GtCで0.8~2.5°C)の中央に近い

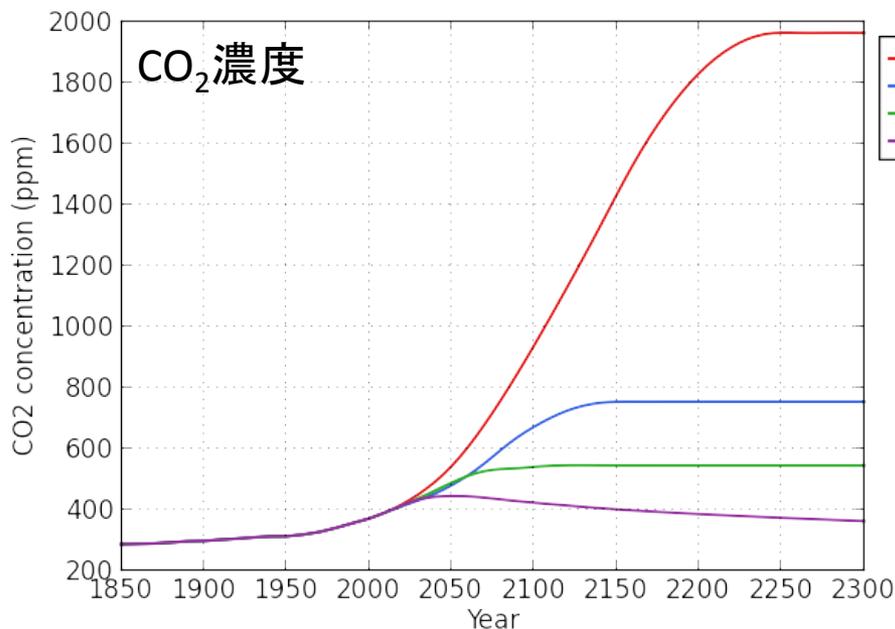




## ■ Z650実験

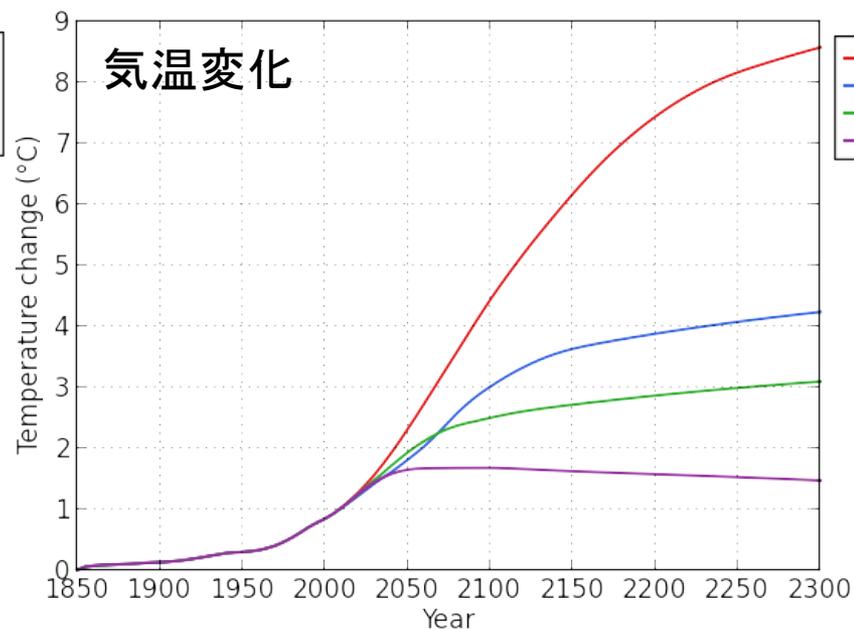
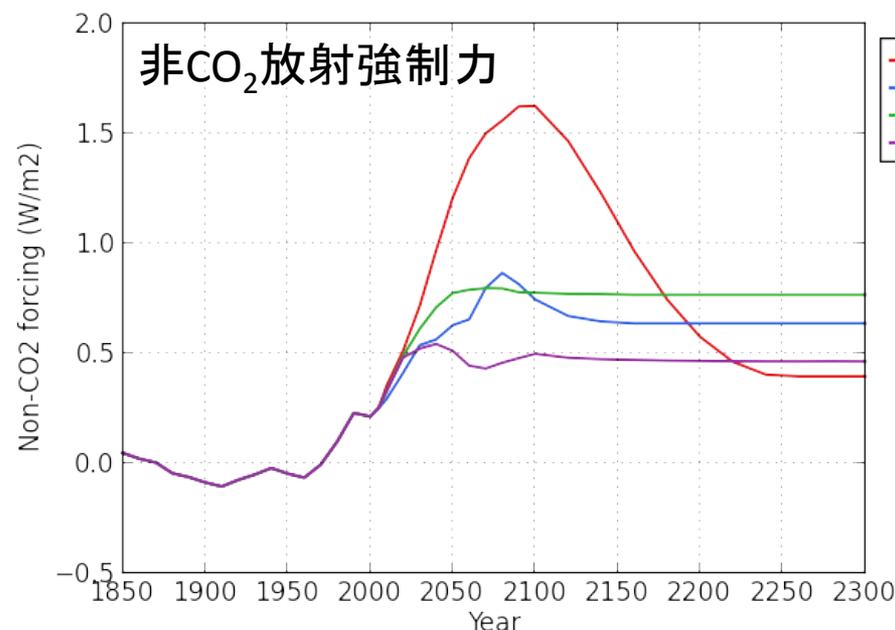
- ECS 2.9°Cの場合、ほぼ2°Cで推移
- 応答特性の違いで微妙な差が生じる
- 陸と海の炭素吸収は相互依存や気温依存があって複雑

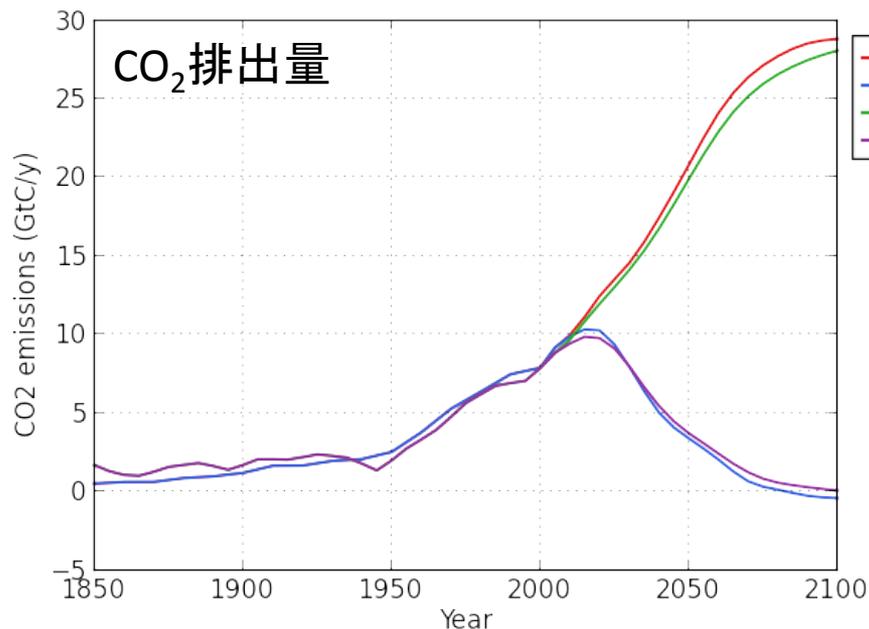




## ■ RCP濃度駆動実験

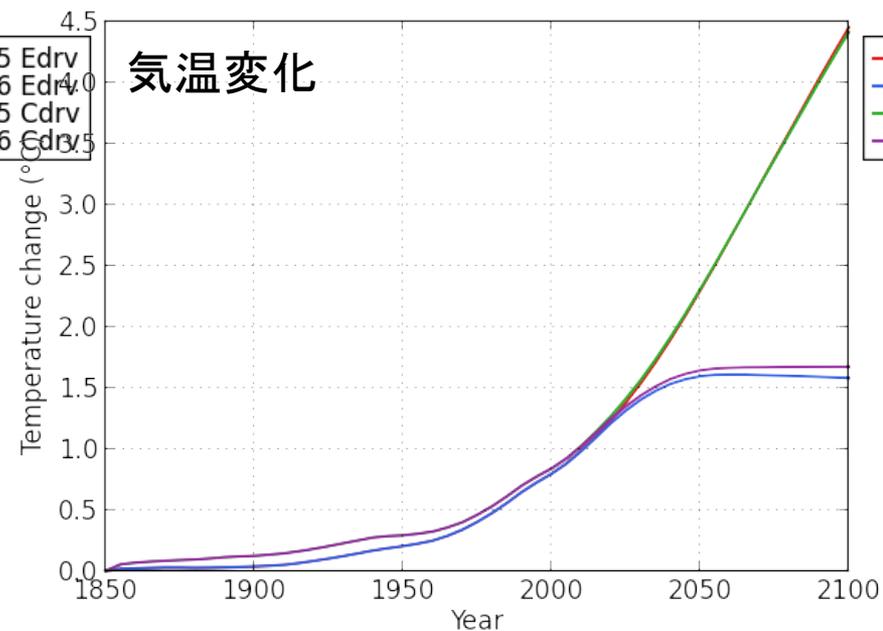
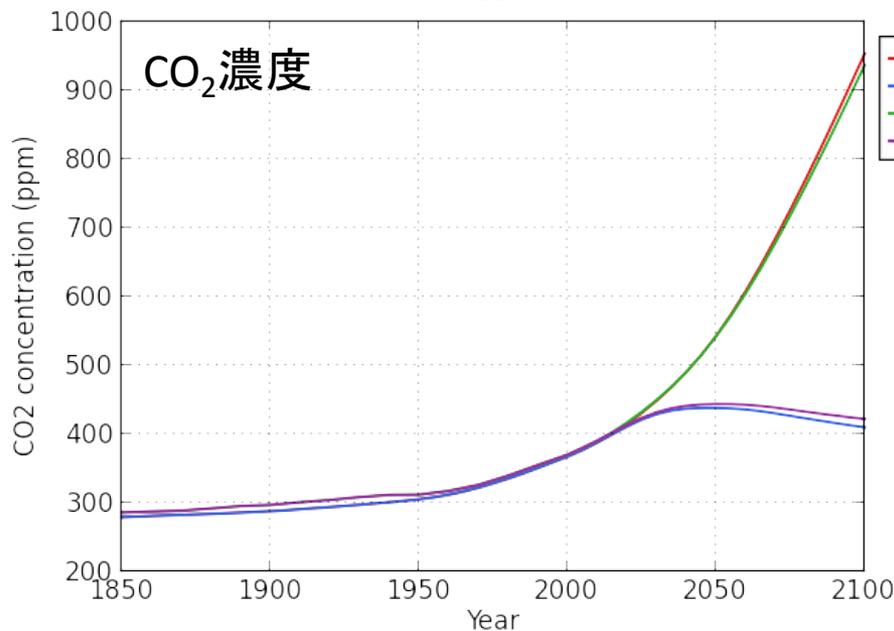
- CMIP5平均仕様の計算
- 21世紀末の気温上昇はAR5情報と整合





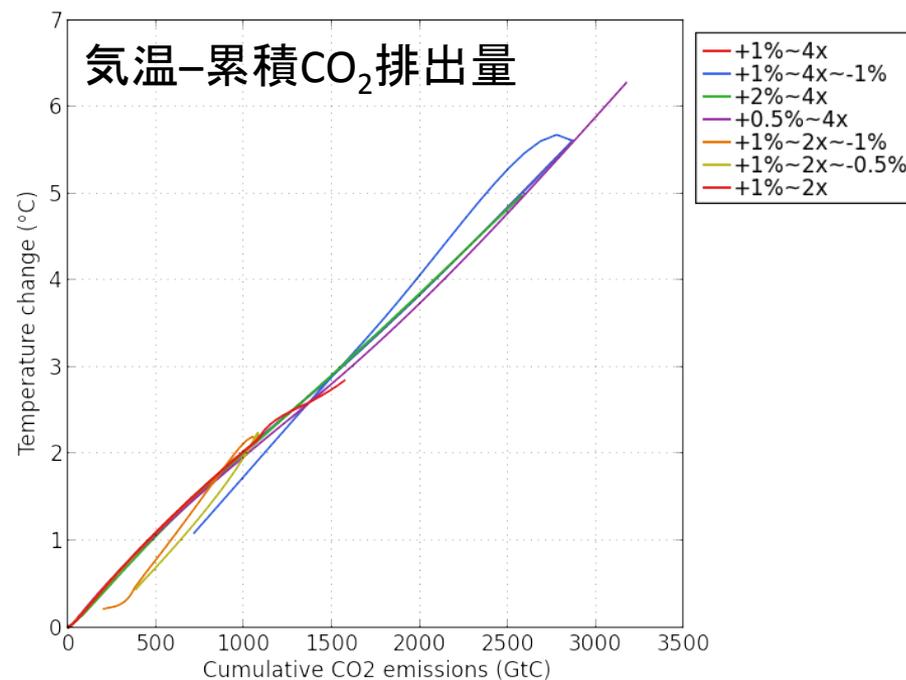
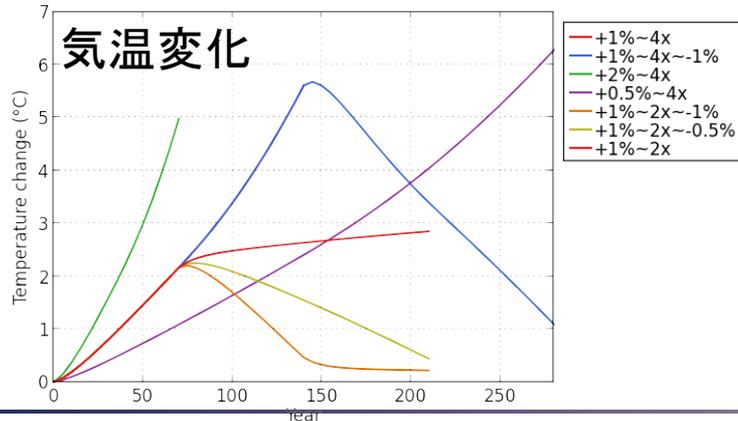
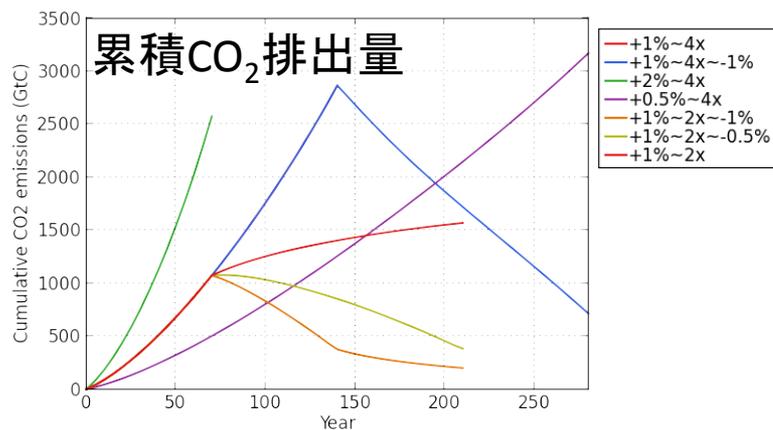
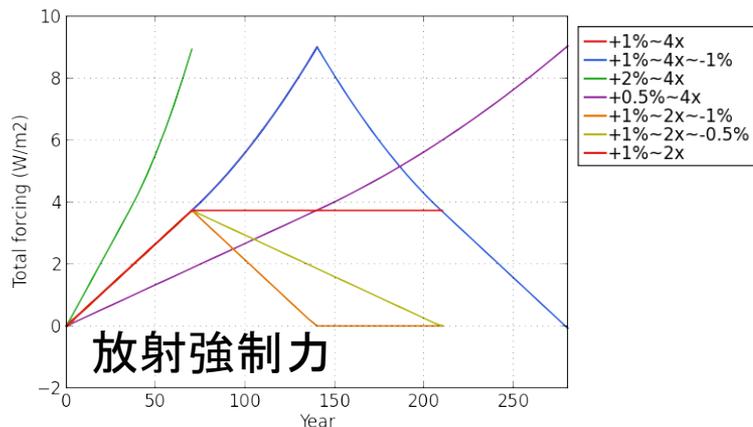
## ■ RCP濃度/排出量駆動の比較

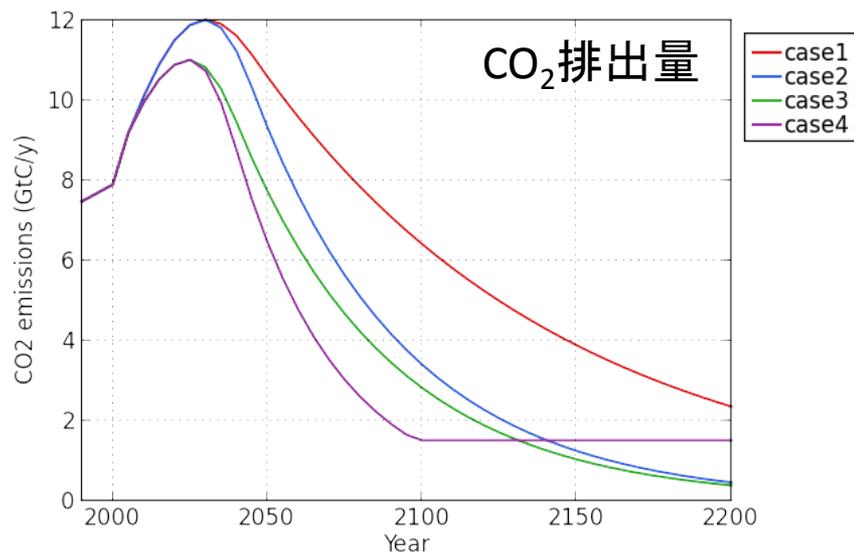
- RCPのCO<sub>2</sub>排出量/濃度パスはMAGICC-harmonize値
- 駆動方式による違いは概ね小さいが、RCP2.6とRCP8.5で傾向が逆



## ■ 定率CO<sub>2</sub>濃度変化実験

- MIROC-ESM仕様の計算
- 強制力変化は2倍濃度以上で非線形 (MIROC-ESMは比較的顕著)
- 気温変化はフルモデル計算と概ね一致
- 負排出経路では履歴効果が生じる





## CO<sub>2</sub>排出ピークアウト実験

- 指数関数ベースの削減カーブ作成機能を活用(ピーク年・値、削減年率などを指定)
- ECS 3°C、非CO<sub>2</sub>強制力RCP2.6の計算
- 所定の気温目標と整合する排出パスを試行錯誤的に作成

