



文部科学省委託事業 気候変動リスク情報創生プログラム
平成26年度公開シンポジウム

「生態系からみる気候変動」

海洋研究開発機構
羽島 知洋

気候変動リスク情報創生プログラム

- 領域テーマA: 直面する地球環境変動の予測と診断
- 領域テーマB: 安定化目標値設定に資する気候変動予測
 - サブ課題 I-a: 温室効果気体濃度変動や土地利用変化等を取り扱う地球システムモデルの開発
 - サブ課題 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
 - サブ課題 i-c: 社会経済シナリオを含めた気候予測実験の統合的評価
 - サブ課題 ii-a: ティッピング・エレメントや環境変化の不可逆性(極域氷床の崩壊等)に関する数値実験技術の開発
 - サブ課題 ii-b: ジオエンジニアリング(成層圏エアロゾル注入等)に関する数値実験技術の開発
- 領域テーマC: 気候変動リスク情報の基盤技術開発
- 領域テーマD: 課題対応型の精密な影響評価
- 領域テーマE: 気候変動研究の推進・連携体制の構築

内容

1. 植物を含む陸域の生態系が、今後予想される気候変動にどのように関わるのか？ :特に炭素循環という視点から
2. ”地球システムモデル”を用いた数値実験から、生態系の役割についてどのようなことがわかってきたのか？
3. “地球システムモデル”の温暖化予測実験からわかってきた、人間のCO₂排出 に対する地球全体(気候-炭素循環)のふるまいについて
4. 現在の取り組み

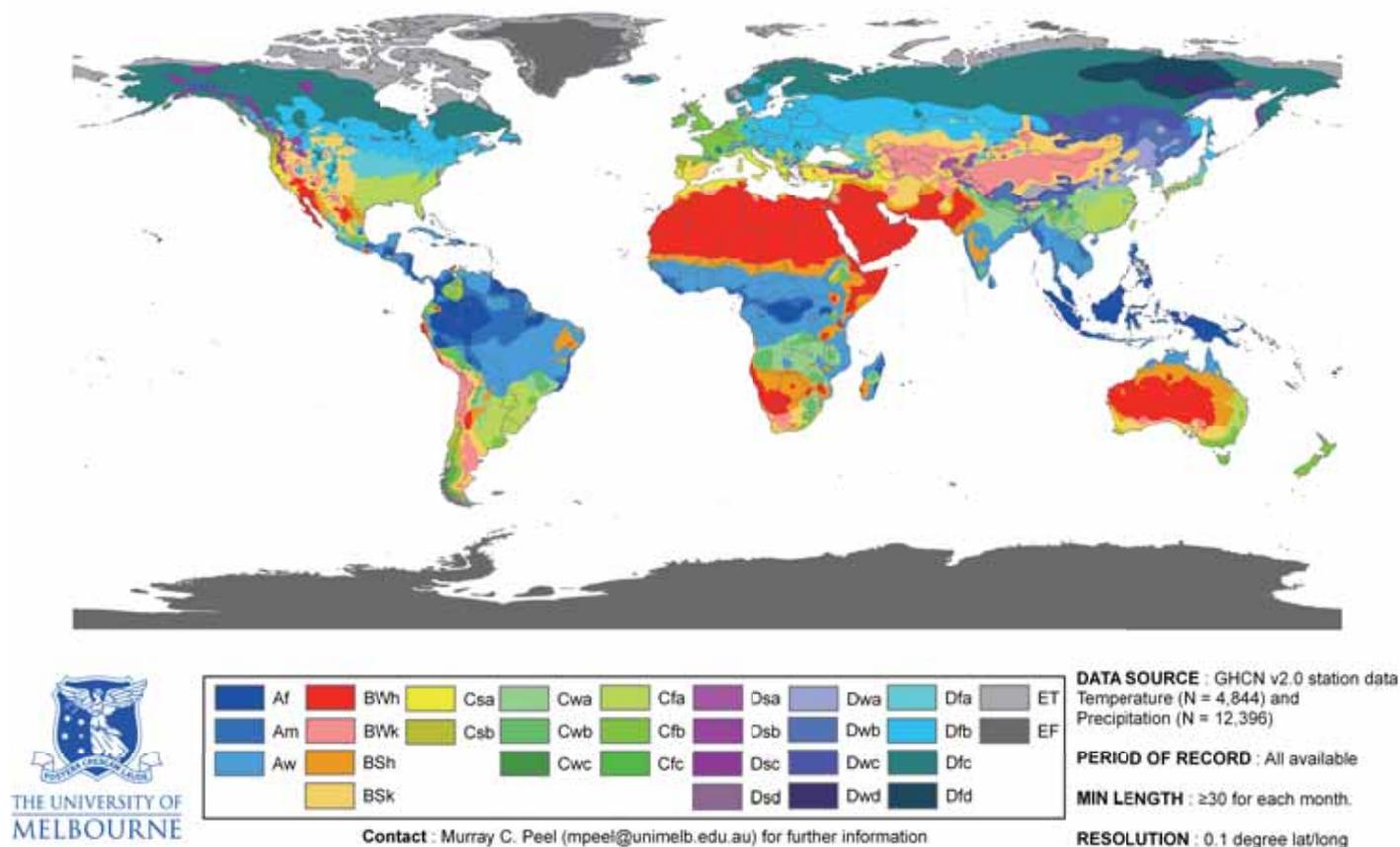
内容

1. 植物を含む陸域の生態系が、今後予想される気候変動にどのように関わるのか？ :特に炭素循環という視点から
2. ”地球システムモデル”を用いた数値実験から、生態系の役割についてどのようなことがわかってきたのか？
3. “地球システムモデル”の温暖化予測実験からわかってきた、人間のCO₂排出 に対する地球全体(気候-炭素循環)のふるまいについて
4. 現在の取り組み

1-1 生態系と気候

Peel MC, Finlayson BL & McMahon TA (2007), Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1633-1644.

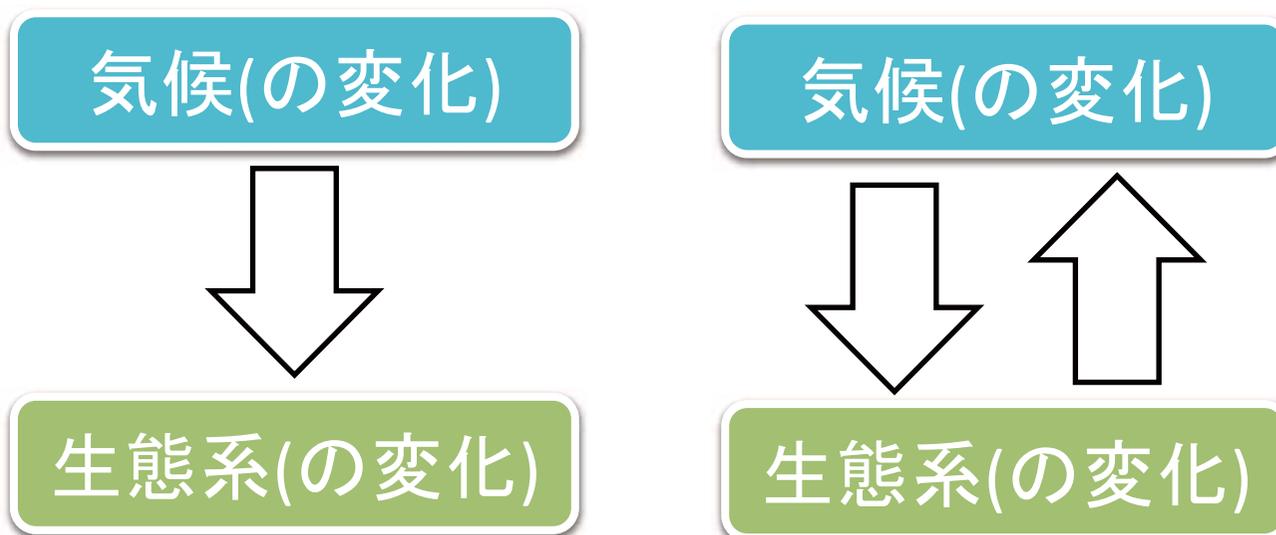
World map of Köppen-Geiger climate classification



気候区分に示されているように、気候と生態系の空間分布には良い対応関係が見られることが知られている

1-1 生態系と気候

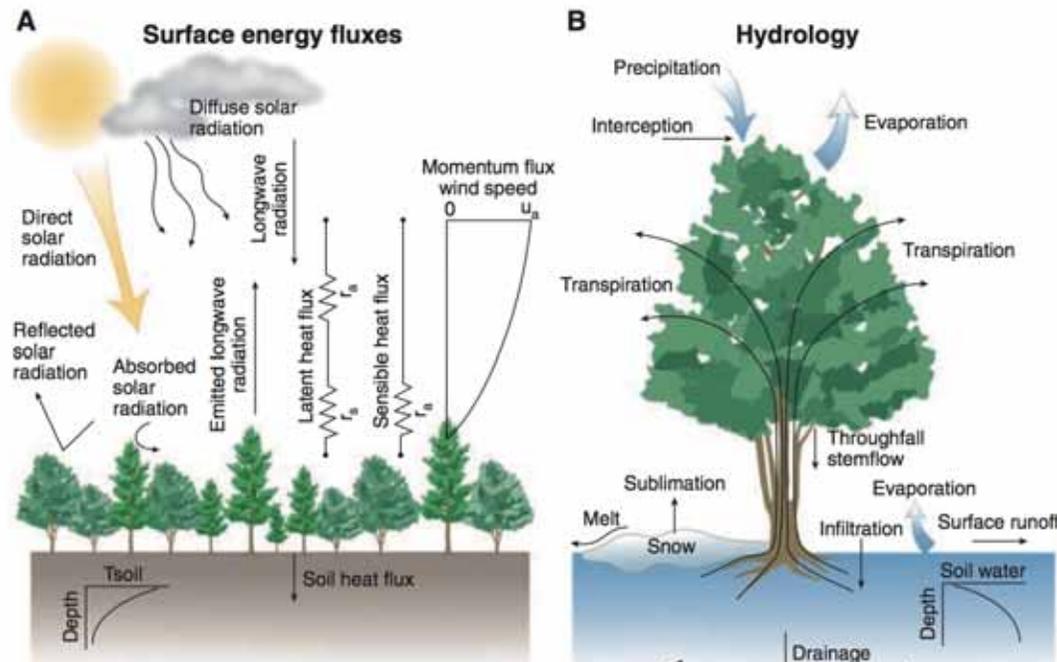
Peel MC, Finlayson BL & McMahon TA (2007), Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Int J Climatol* 27: 1633-1656



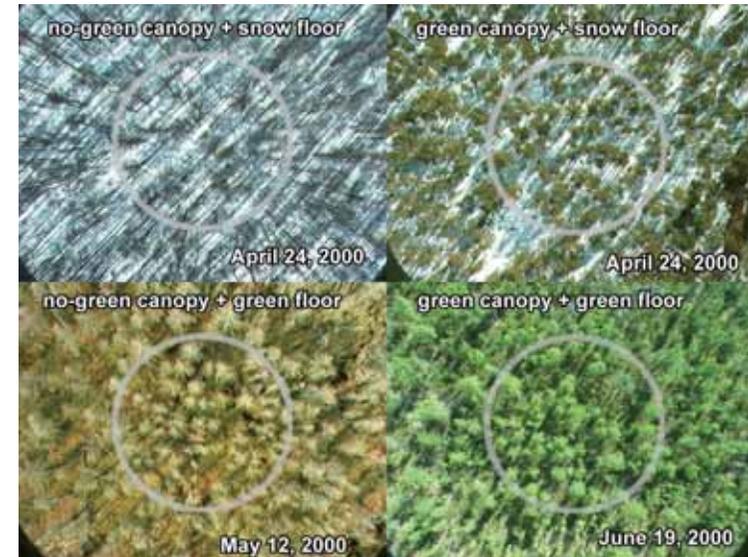
気候の変化から一方的に影響を受けるだけでなく、生態系の変化が気候にも影響を及ぼす

気候区分に示されているように、気候と生態系の空間分布には良い対応関係が見られることはよく知られている

1-2 生態系と気候：エネルギー/水を介して



Bonan 2008 Science

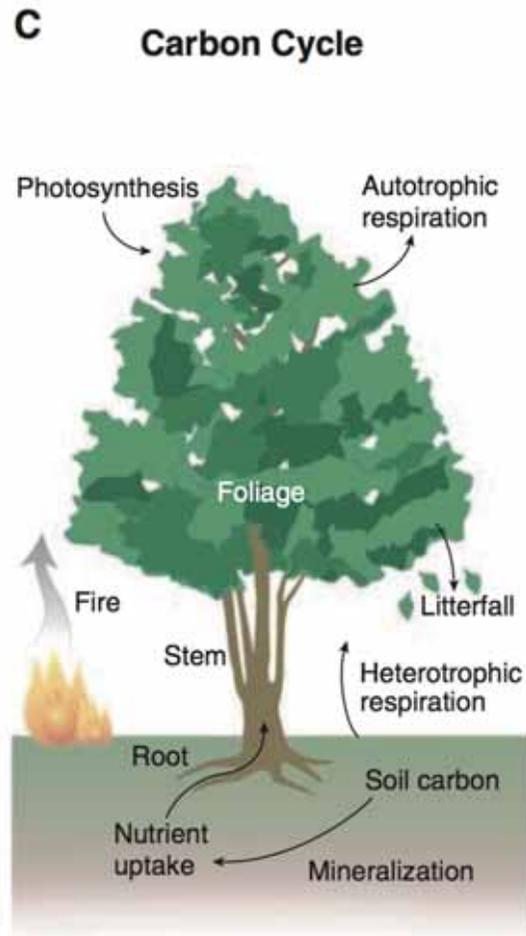


Yakutsk上空の写真

Suzuki et al. (2011) Remote Sensing of Environment

大気とのエネルギーのやり取り(例:日射の吸収)や水の交換(例:降水や蒸発散)といった過程を通じて、気象/気候に影響を与えている

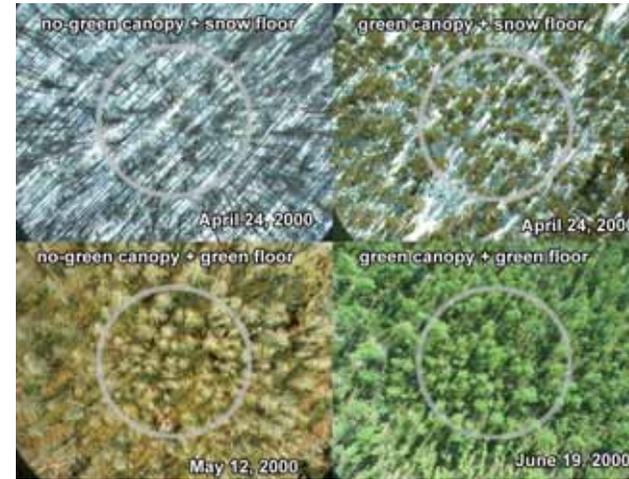
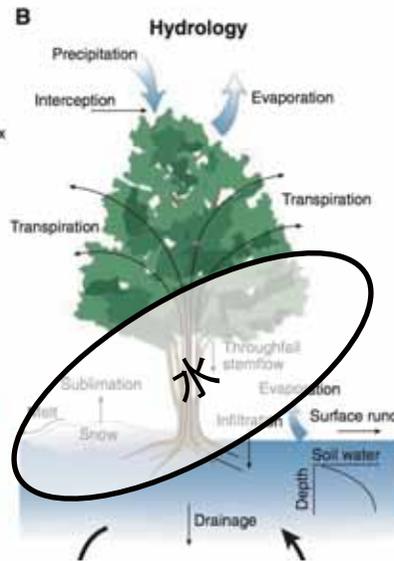
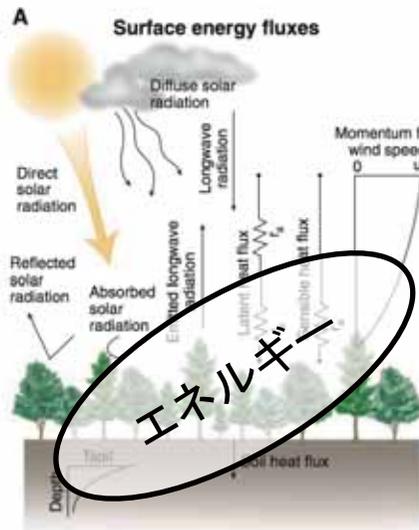
1-3 生態系と気候: 物質の流れを介して



Bonan 2008 Science

大気中のCO₂は温室効果を持っているが、陸域の生態系は大気とのCO₂交換によりその大気中濃度を左右し、気候へと作用する

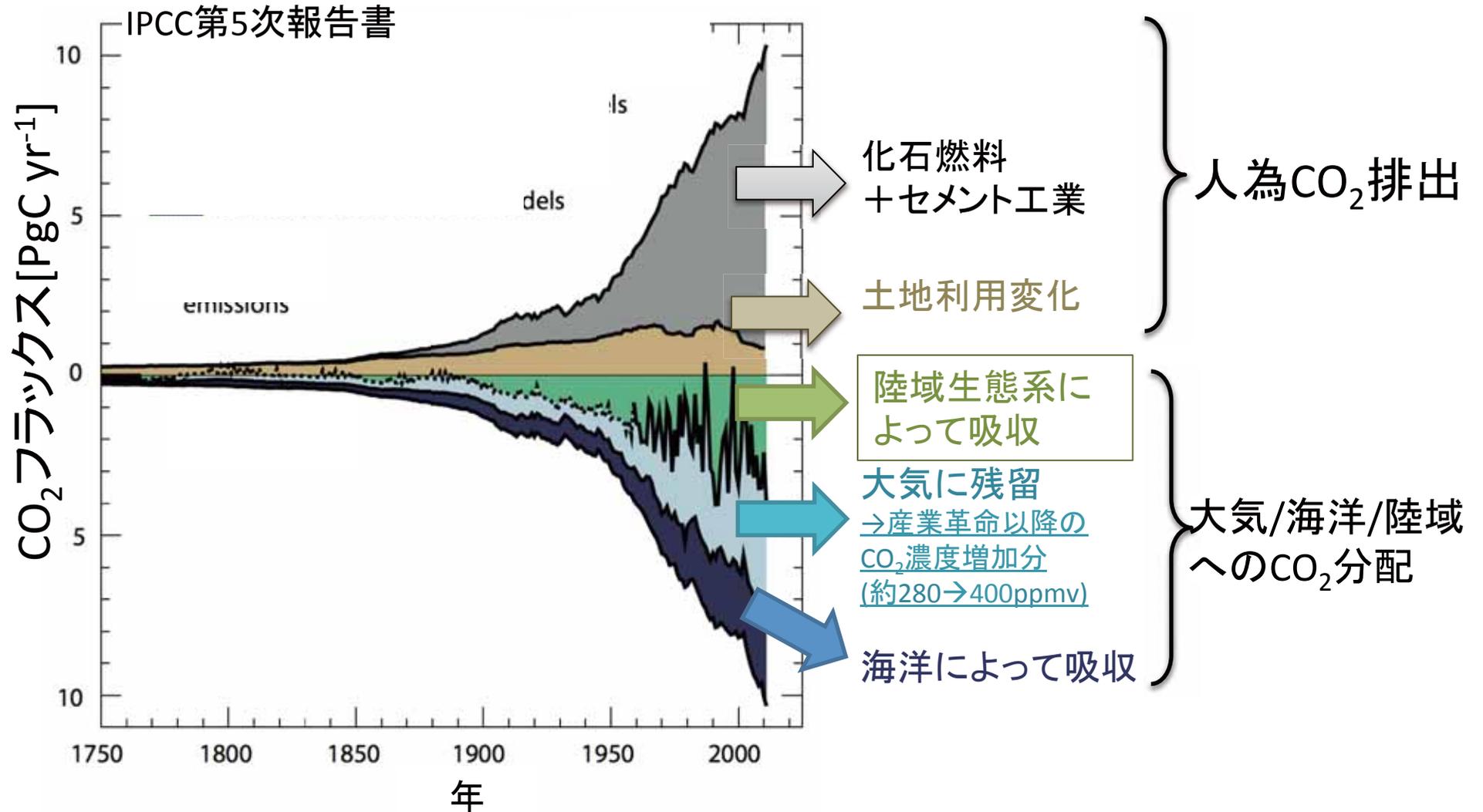
1-2 生態系と気候：エネルギー/水を介して



1-3 生態系と気候：炭素の流れを介して

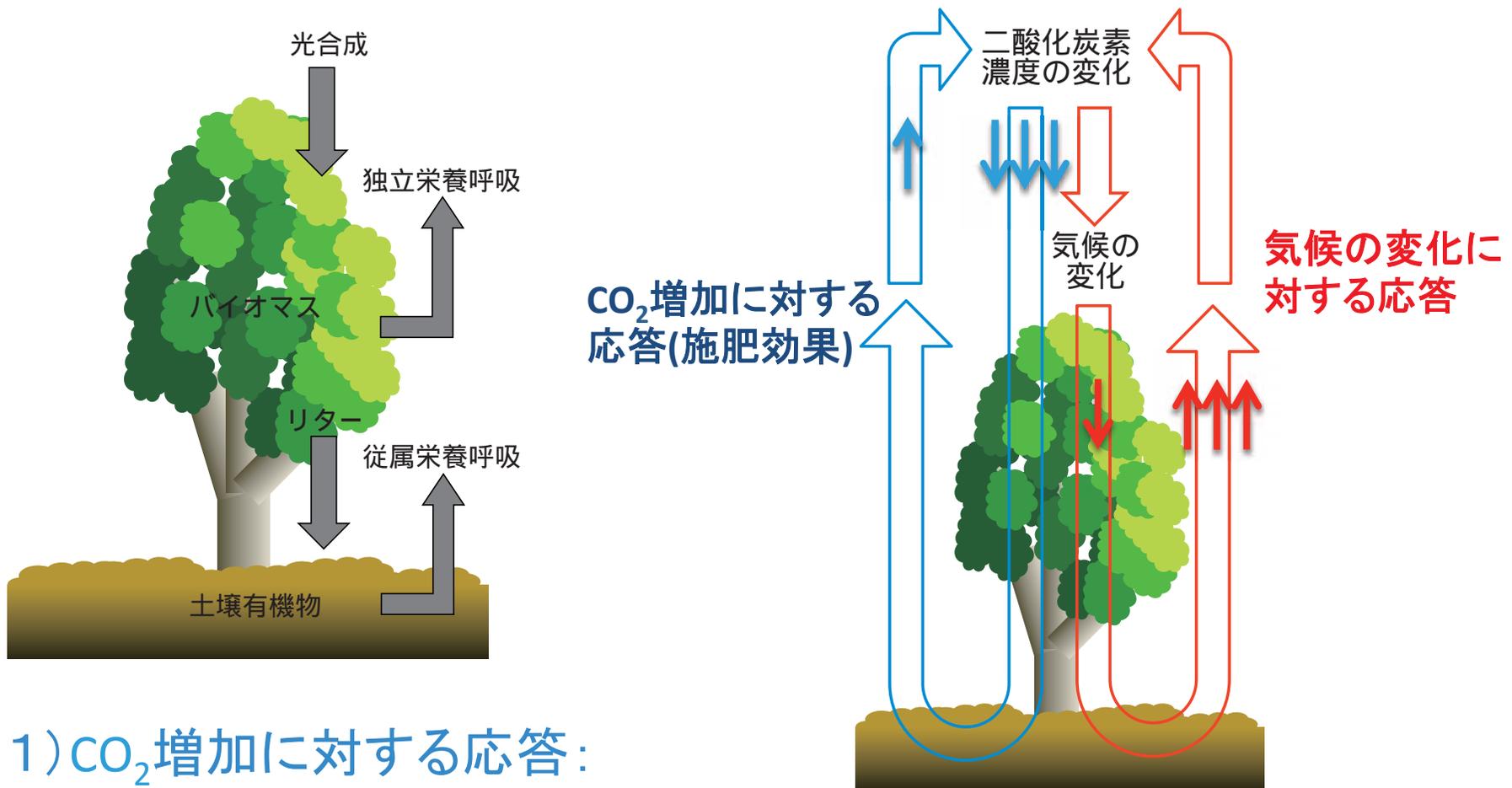


1-4 全球の炭素収支



これまでの人為CO₂排出のうち、約6割が海洋と陸域生態系に、残りの4割が大気に残留してきた

1-5 陸域生態系の炭素循環



1) CO₂増加に対する応答:

CO₂の施肥効果による光合成速度の上昇→バイオマス・土壌への炭素蓄積が進み、
正味のCO₂吸収量が増える → 結果として、大気CO₂濃度を上げにくいように作用する

2) 温暖化(気候変化)に対する応答:

呼吸速度の上昇等によりバイオマス・土壌中の炭素の減少し、
正味のCO₂吸収量が減る → 結果として、大気CO₂濃度の上昇に拍車をかける

1-6 陸域生態系の炭素循環の把握

現場観測による陸域 炭素循環の把握

- ・バイオマス測定
- ・フラックス観測
- ・森林統計データ



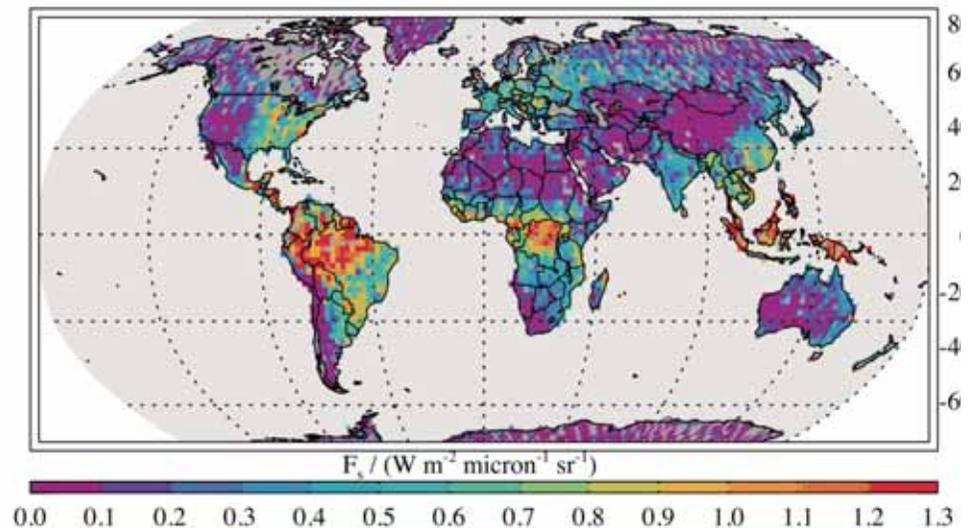
フラックスタワー
(北大雨龍演習林)



フラックスタワーの設置状況 <http://fluxnet.ornl.gov/>

広域観測による陸域の 炭素循環の把握

- ・航空機/衛星観測
- ・大気インバージョン



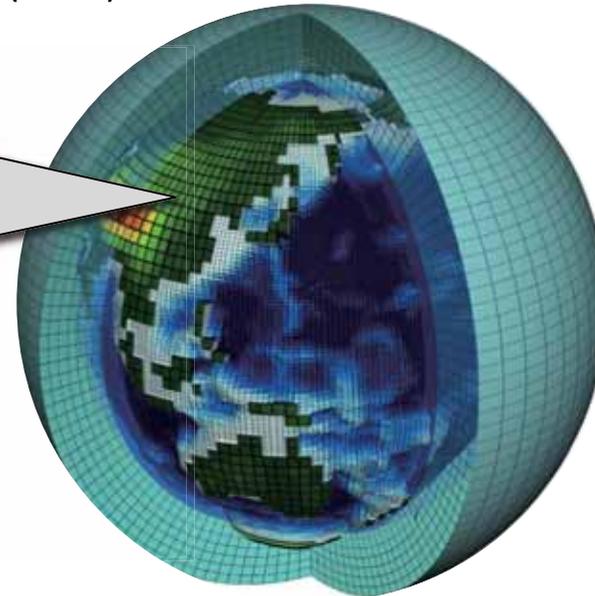
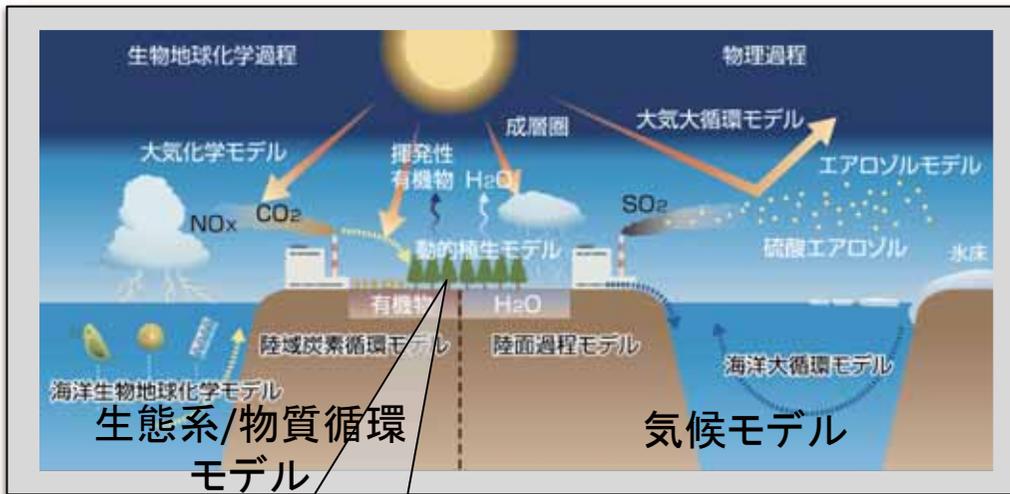
CO₂観測衛星による光合成速度に関するパラメータ:
Frankenberg et al. (2011) GRL

内容

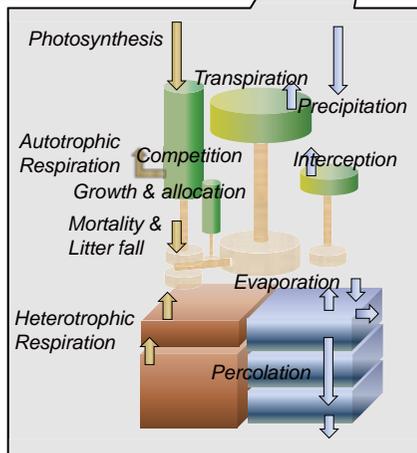
1. 植物を含む陸域の生態系が、今後予想される気候変動にどのように関わるのか？ :特に炭素循環という視点から
2. ”地球システムモデル”を用いた数値実験から、生態系の役割についてどのようなことがわかってきたのか？
3. “地球システムモデル”の温暖化予測実験からわかってきた、人間のCO₂排出 に対する地球全体(気候-炭素循環)のふるまいについて
4. 現在の取り組み

2-1 温暖化予測と生態系：地球システムモデル

地球システムモデル”MIROC-ESM”：Watanabe et al. (2011)



大気・陸域・海洋の格子形状
 ・大気2.8°、海洋~1.4°
 ・大気80層、海洋44層

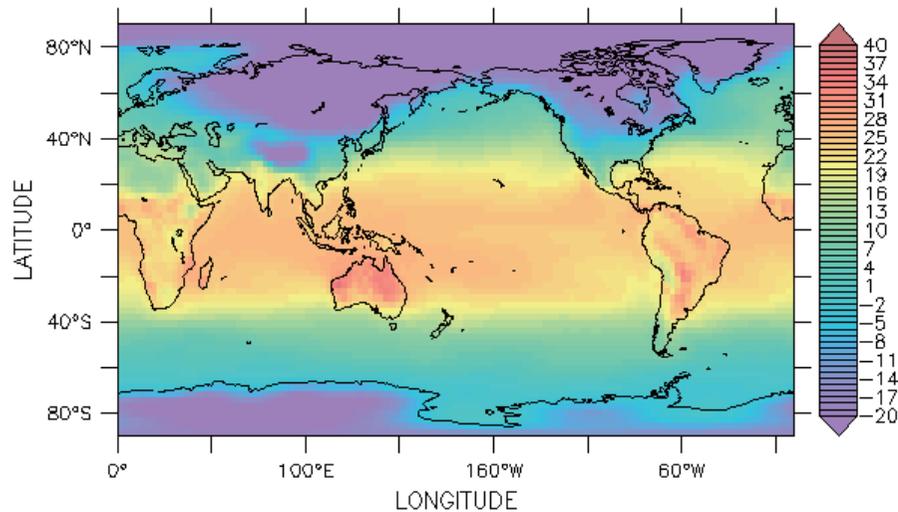


陸域生態系・炭素循環モデル

気候モデル(大気-海洋結合大循環モデル)に、陸域生態系の過程や海洋生態系・物質循環、その他 地球環境に関する重要な要素を盛り込んだもの

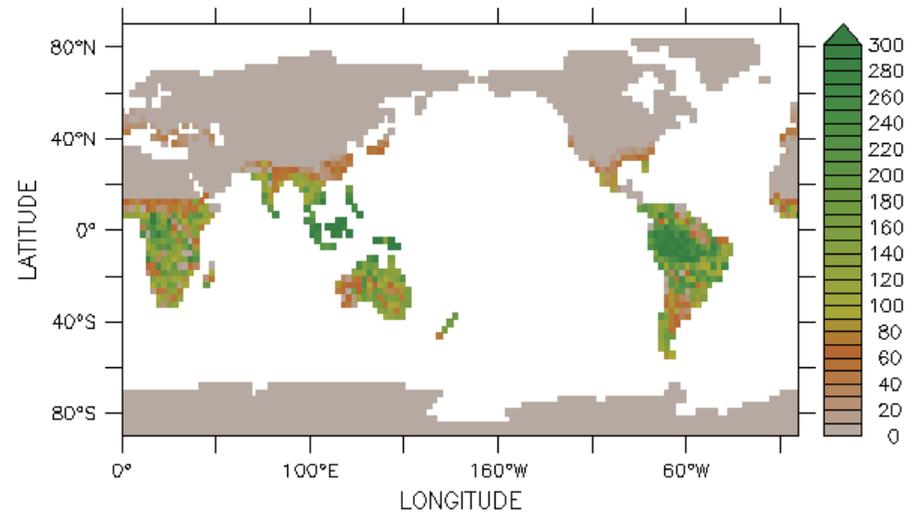
2-2 温暖化予測と生態系：地球システムモデルを用いた数値実験

2m 気温
[°C]



Temp.2m-1990-mon01[deg. C]

植物の生産力 (総光合成速度)
[gC m⁻² mon⁻¹]



gpp-1990-mon01[gC m⁻²]

- MIROC-ESMによる数値実験(1850-2005年)の1990年代の結果
- 左: 2m 気温、右: 総光合成速度

2-3 温暖化予測と生態系：地球システムモデルを用いた数値実験

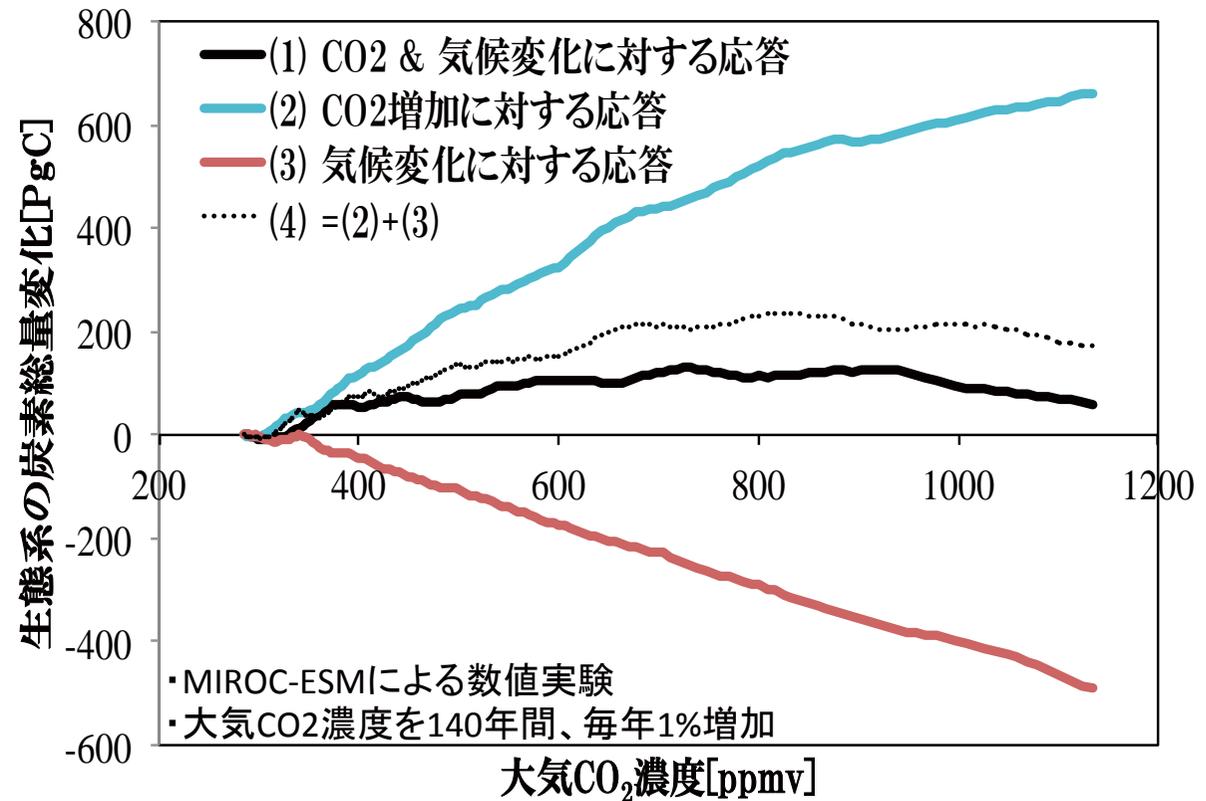
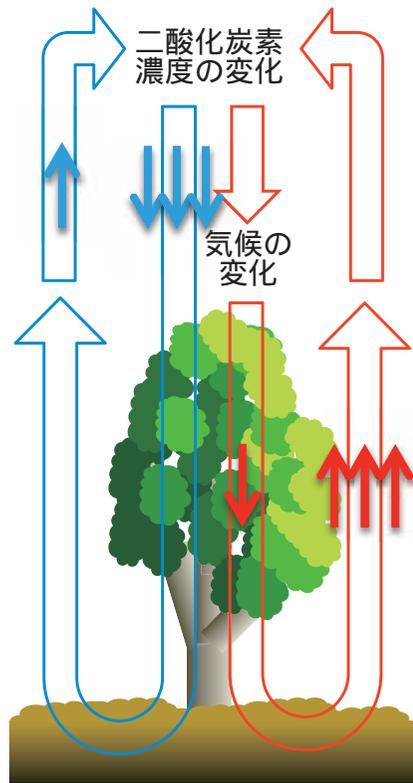
地球システムモデルを用いた数値実験の特徴

- ・地球環境に関わる多様な過程を取り扱うため、空間解像度は低めに抑えられていることが多い
- ・炭素循環のような、時間応答の長い過程がより顕在化しやすい長期(～数百年)予測実験に用いられることが多い

数値実験

- ・過去～将来予測実験：様々な人為影響がモデルに与えられ、予測が行われる
 - ・CO₂排出量/濃度
 - ・その他温室効果ガスやエアロゾル排出量
 - ・土地利用変化
- ・古気候環境での実験
- ・比較実験/感度実験などによる地球環境のメカニズム解明
 - 陸域生態系(の炭素循環)の役割が、気候変動時にどう変化するのかを調べてみた

2-4 地球システムモデルによる数値実験： 陸域生態系における炭素循環の応答

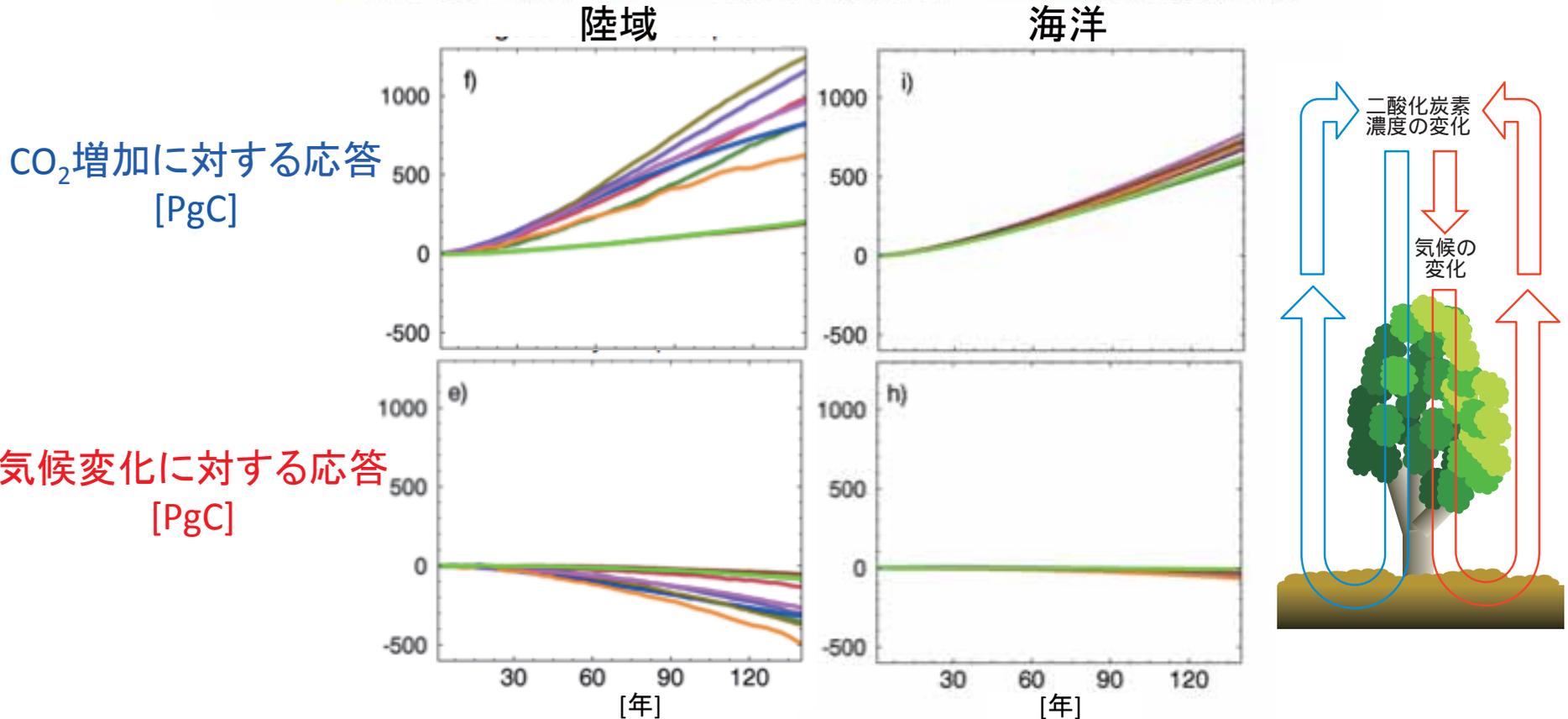


陸域生態系を含む全球の炭素循環は、

- 1) CO₂増加に対して「大気CO₂濃度を上げにくいように」作用し、
- 2) 気候変化に対して「大気CO₂濃度を上げやすいように」作用する

2-5 地球システムモデルを用いた数値実験： 様々なモデルにおける生態系の応答の様子

— CCCma - CanESM2 — UVic - UVic ESCM 2.9 — JAMSTEC - MIROC-ESM
— UKMO - HadGEM2-ES — MPI - MPI-ESM-LR — NCC - NorESM-ME
— BCC - BCC-CSM1-1 — IPSL - IPSL-CM5A-LR — NCAR - CESM1-BGC

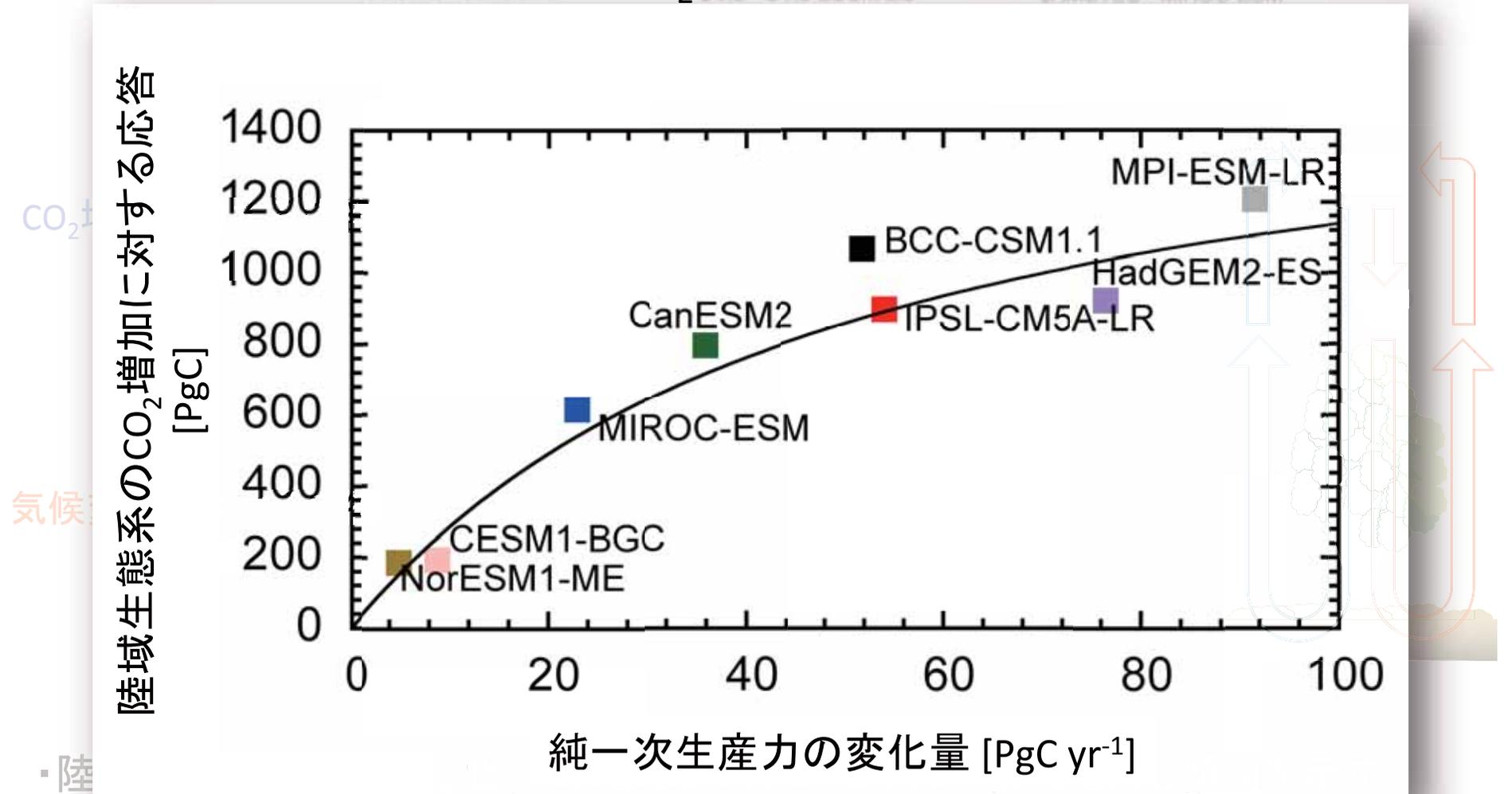


- ・陸域生態系の応答は、世界の地球システムモデルを見ても同じ傾向を示す
(毎年CO₂濃度を1%増加させるという理想化された実験において)
- ・ただし陸域生態系のCO₂増加に対する応答は、特にモデル間で大きく異なっている

Arora et al. (2013), J. Clim.

2-6 地球システムモデルを用いた数値実験:

CO₂増加に対する生態系応答の違い

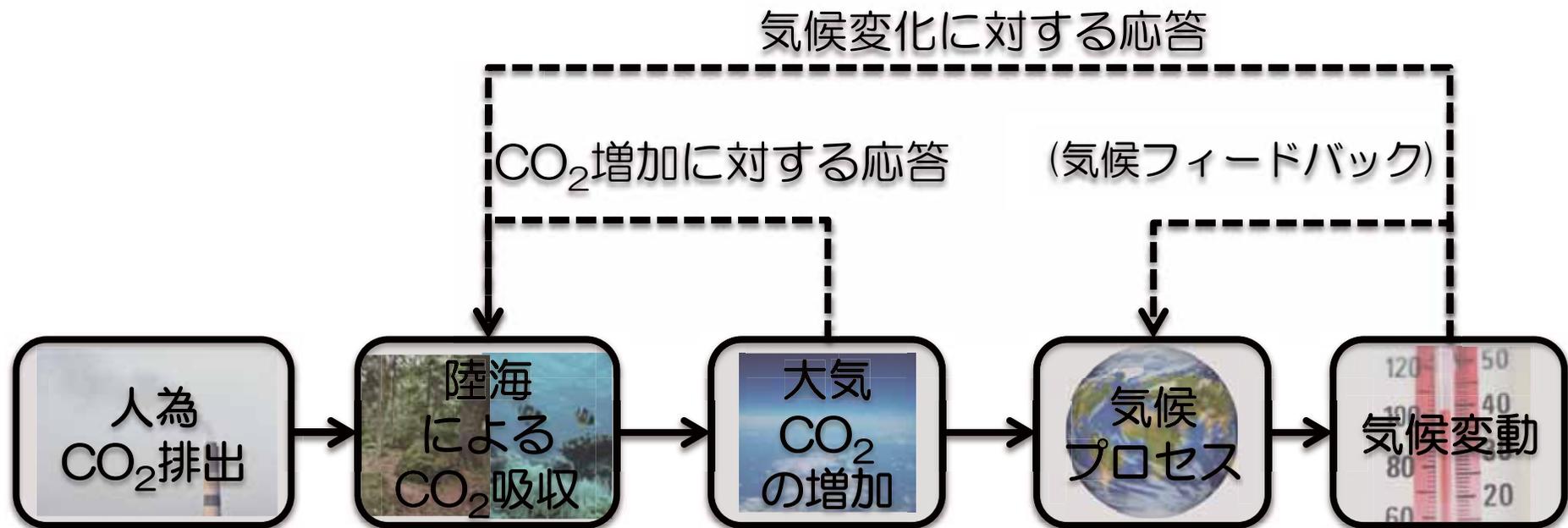


(毎年CO₂濃度を1%増加させるという理想化された実験において)

陸域生態系のCO₂増加に対する応答は、植物の生産力が鍵になっている

Hajima et al. (2014), J. Clim.

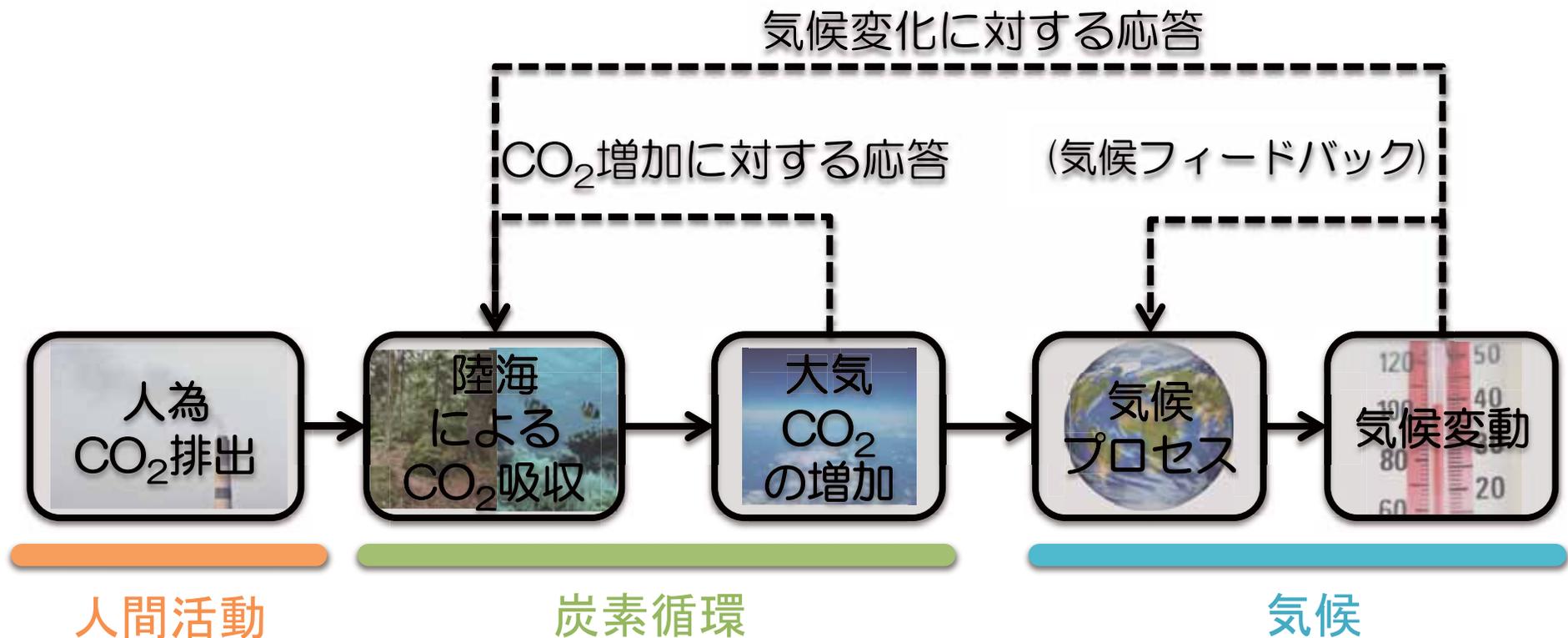
2-7 気候と生態系:まとめ



内容

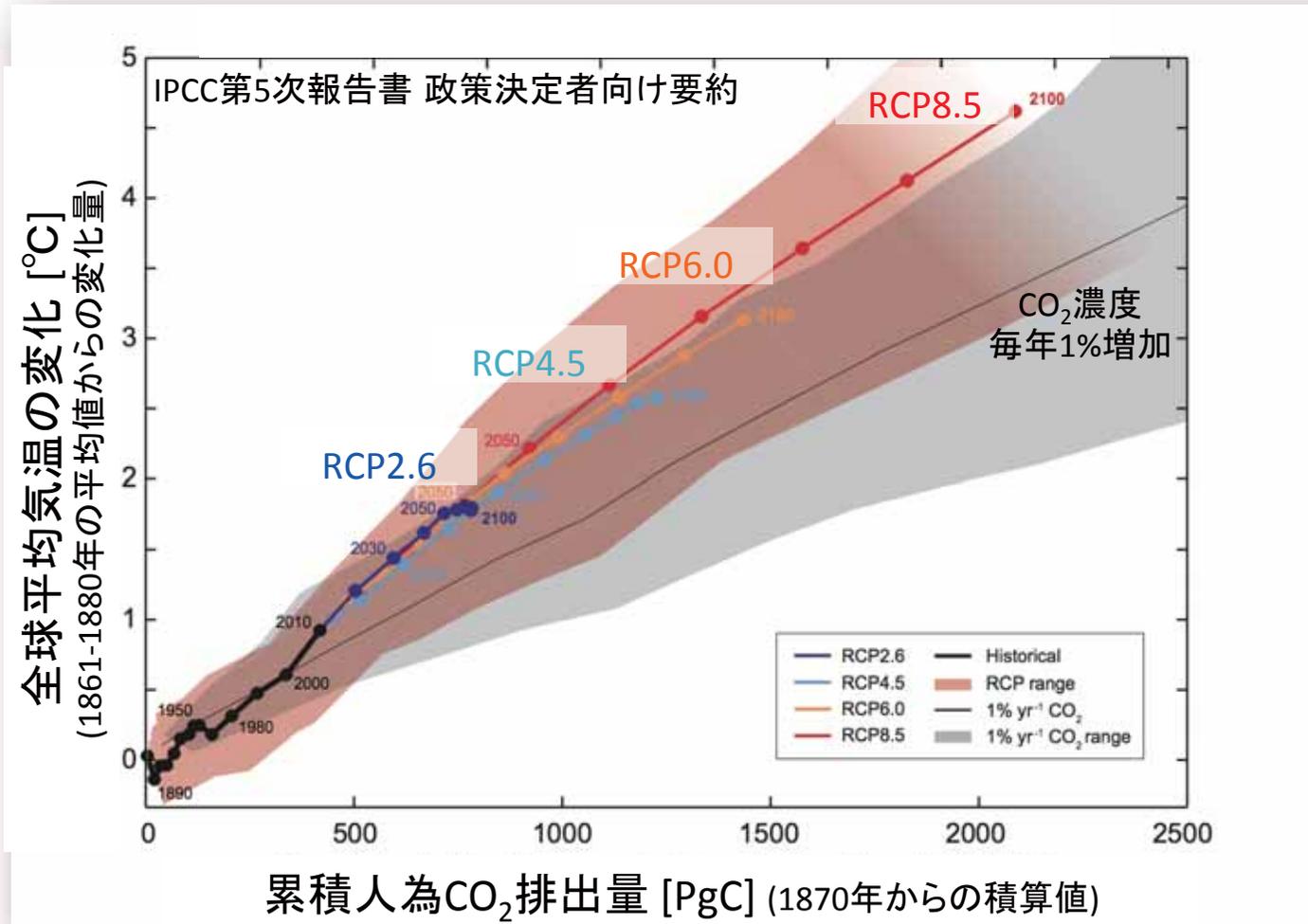
1. 植物を含む陸域の生態系が、今後予想される気候変動にどのように関わるのか？ :特に炭素循環という視点から
2. ”地球システムモデル”を用いた数値実験から、生態系の役割についてどのようなことがわかってきたのか？
3. “地球システムモデル”の温暖化予測実験からわかってきた、人間のCO₂排出 に対する地球全体(気候-炭素循環)のふるまいについて
4. 現在の取り組み

3-1 生態系の炭素循環過程も含む「地球全体の応答」



生態系の過程も含む地球システムモデルならば、人間活動に対する地球全体の応答が概観できる

3-2 地球システムモデルを用いた予測結果： 生態系の炭素循環過程も含む「地球全体の応答」



- ・全球平均気温の上昇の度合いは、累積人為CO₂排出量でよく説明できる
- ・これは、将来のCO₂排出の排出経路(シナリオ)に依らない
- ・直感的であると同時に、有用な情報をもたらす

まとめ

- 陸域の生態系は、1)水やエネルギーを介した大気(気象)への作用 や 2)物質の流れ(炭素)を介した大気(気候)への作用をもつ
- 特に後者は、長期的な時間スケールで顕在化する。このような生態系と気候との相互作用を扱うモデル(地球システムモデル)が開発され、予測に活用されている
- 生態系の炭素循環過程では、1)大気CO₂増加、2)気候の変化に対してどう応答するのが重要
- 地球システムモデルの数値実験によると、陸域生態系は大気CO₂増加に対しては「CO₂増加を緩和する」ように作用するが、気候の変化に対しては、「気候変化に拍車をかける」ように作用している
- 特に陸域生態系のCO₂増加に対する応答の見積もりは、モデル間差が大きい→植物の生産力(のCO₂応答)が鍵
- 地球システムモデルを用いることにより、「人間活動に対する地球全体(気候-炭素循環)の応答」が概観可能になってきた→課題も多い