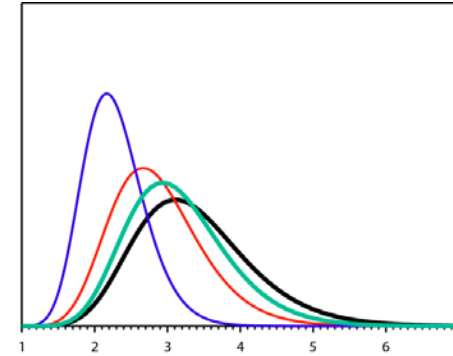
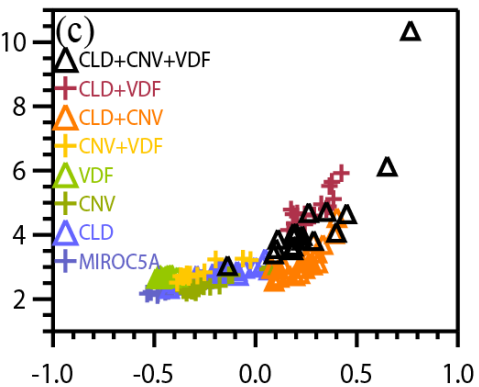
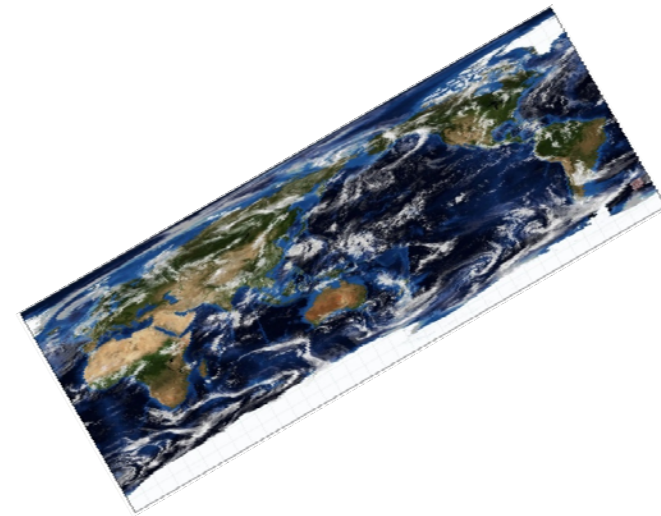




このままだと全世界平均気温は何度上がるのか？ -気候感度の話-



塩竈秀夫
国立環境研究所

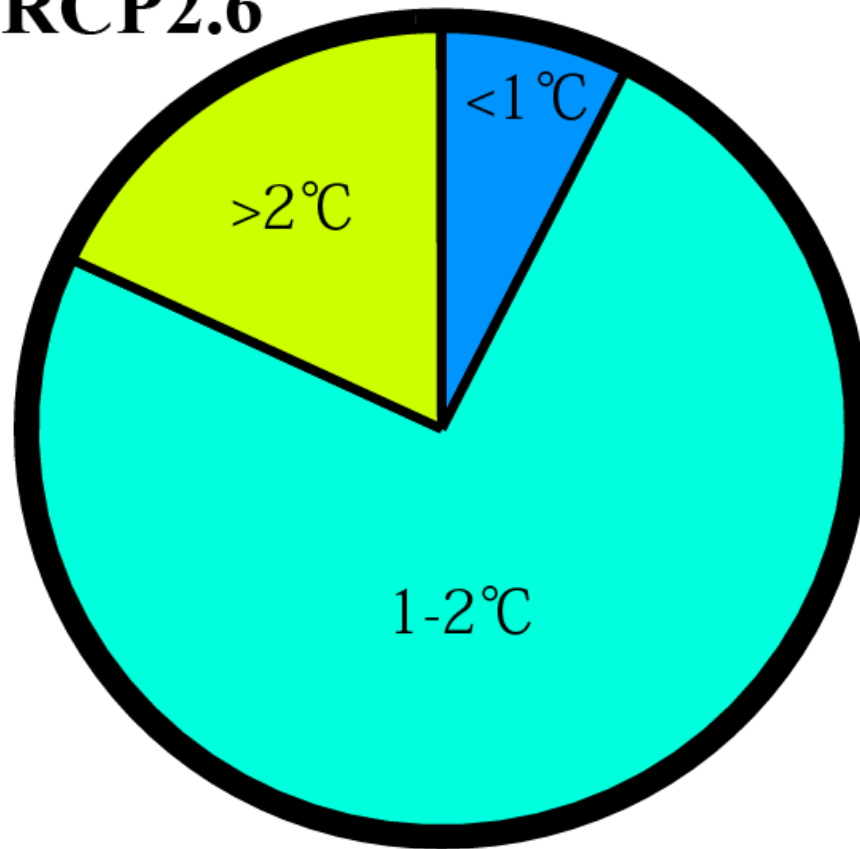


2°C目標とCOP21

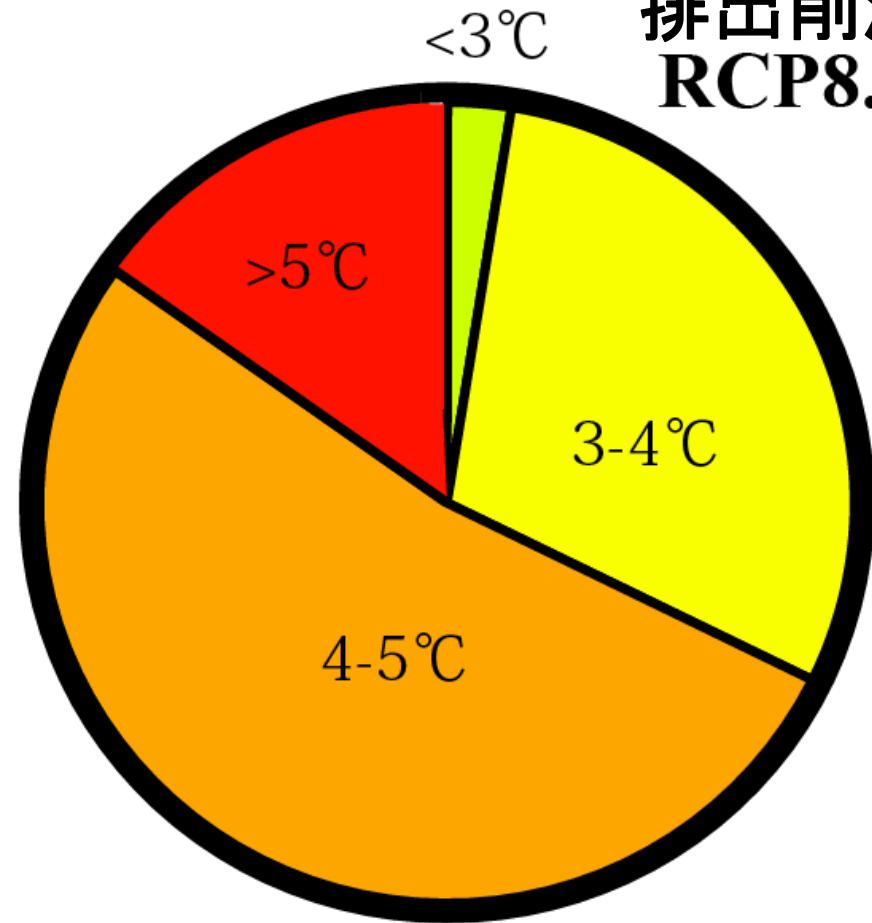
- 国際社会は、「全世界平均気温上昇量を2°C以下に抑えるべき」という目標に合意(カンクン合意, 2010)
- 産業革命以降現在までに約0.85度上昇している。
- 今年の12月にパリで行われる国際会議(COP 21)において、各国がどれだけ温室効果ガスの排出量を削減するかを協議する。

2090年代の地上気温変化予測のルーレット

徹底的に排出削減
RCP2.6



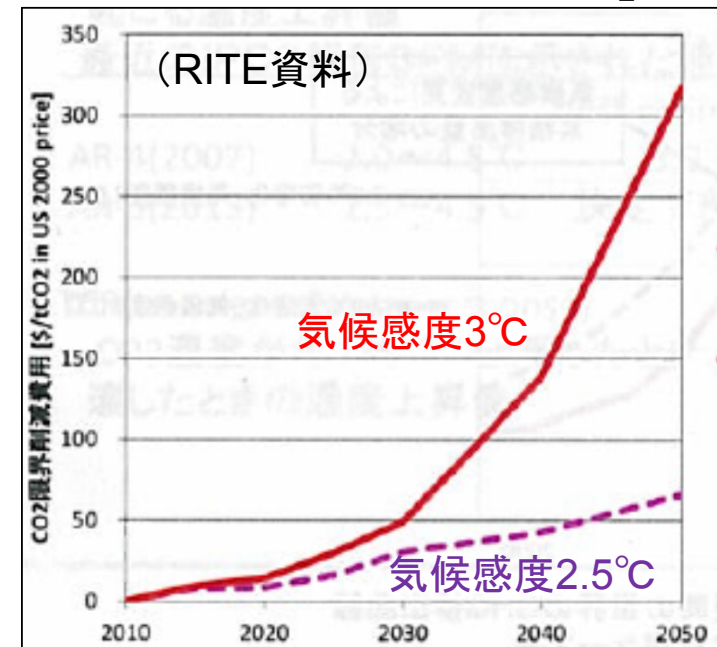
排出削減無し
RCP8.5



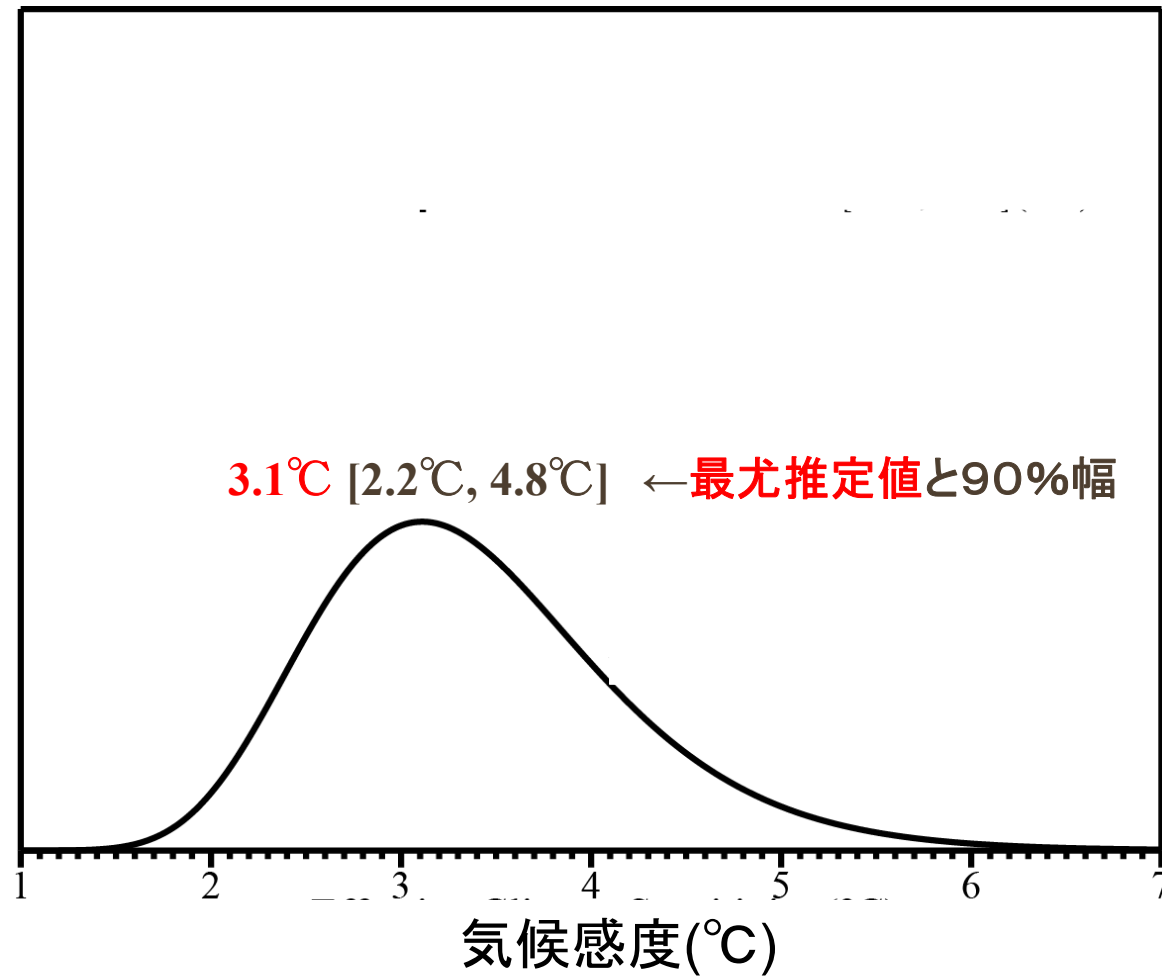
気候感度の不確実性

- CO₂濃度が2倍になった場合、最終的に世界平均気温が何℃上昇するかを示す指標。
- 1. 5℃～4. 5℃ (IPCC AR5, 2013)
- 下限と上限で3倍も違う！
- 温室効果ガスの削減コストに関係
- 気候変動に関する難問の一つ

気温上昇を2℃以下に抑える場合のCO₂削減費用

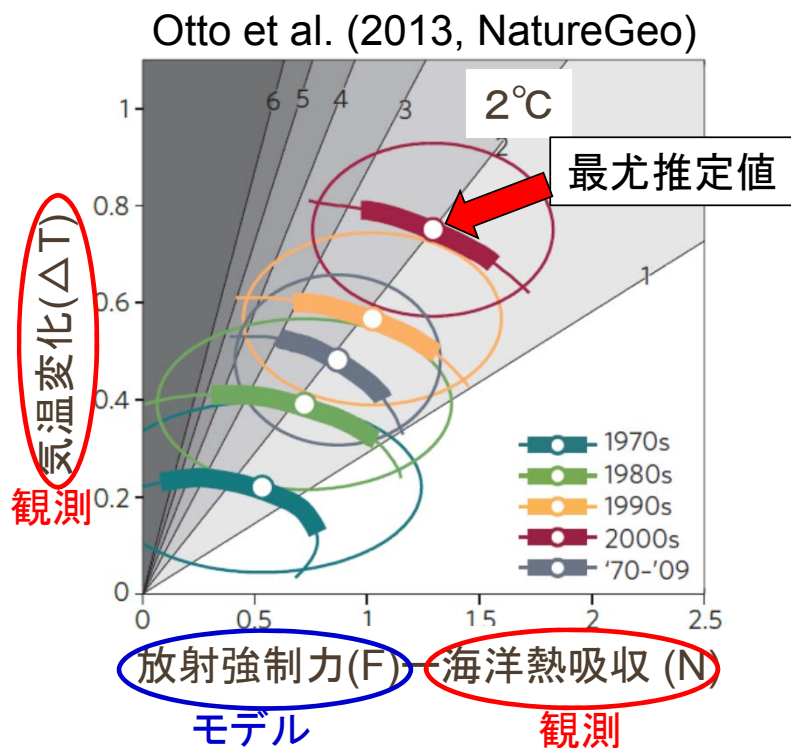


IPCC AR5 の20GCMで計算した気候感度の頻度分布



「地上気温と海洋熱吸収の観測データ」と 「放射強制力のモデル推計値」を用いた気候感度の推定

気候システムのエネルギー収支式
海洋熱吸収 =
放射強制力 + フィードバック * 気温変化



エネルギー収支法

- 最尤推定値は 2°C (Otto et al. 2013)
- モデルの最尤推定値 3°C に比べて非常に低い。

IPCC (2007) $2^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$ (最尤推定値は 3°C)

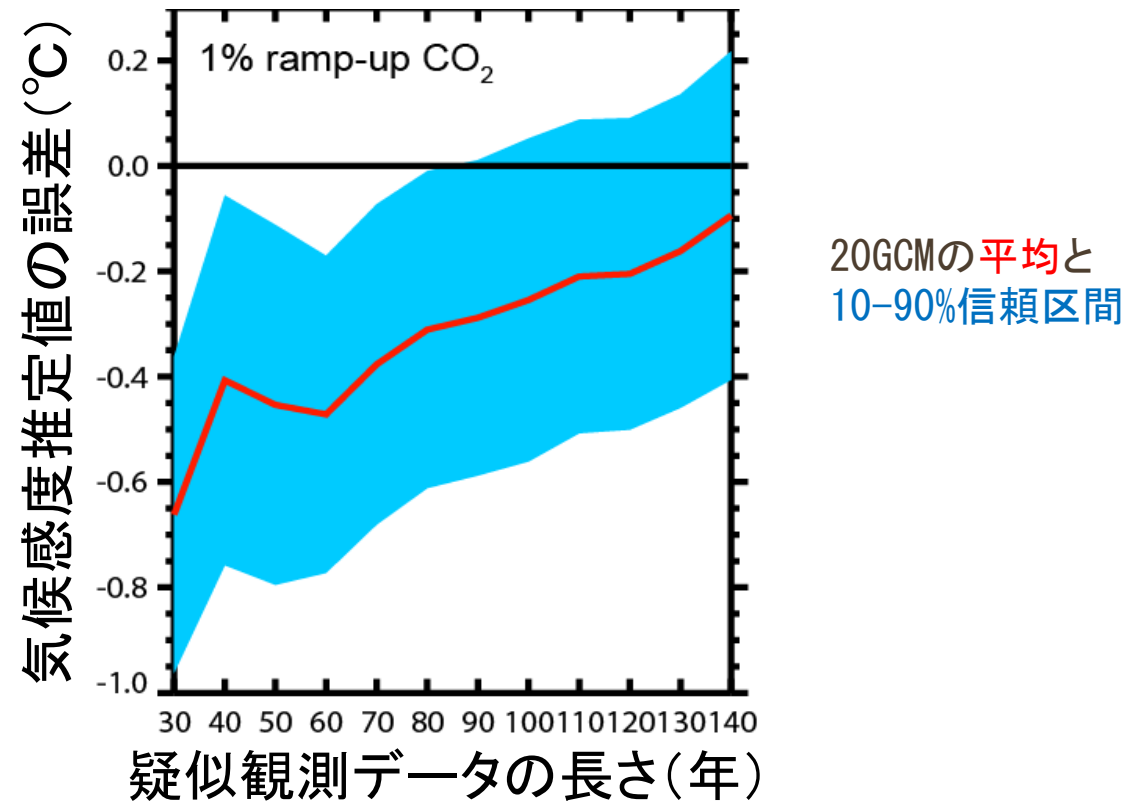
↓
IPCC (2013) $1.5^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$ (最尤推定値はなし)

- 観測データに基づくので、より信頼できるような気がする・・・
- もし正しいなら、良いニュース。
- でも、本当にこの方法は正しいのか？

疑似観測法で検証する

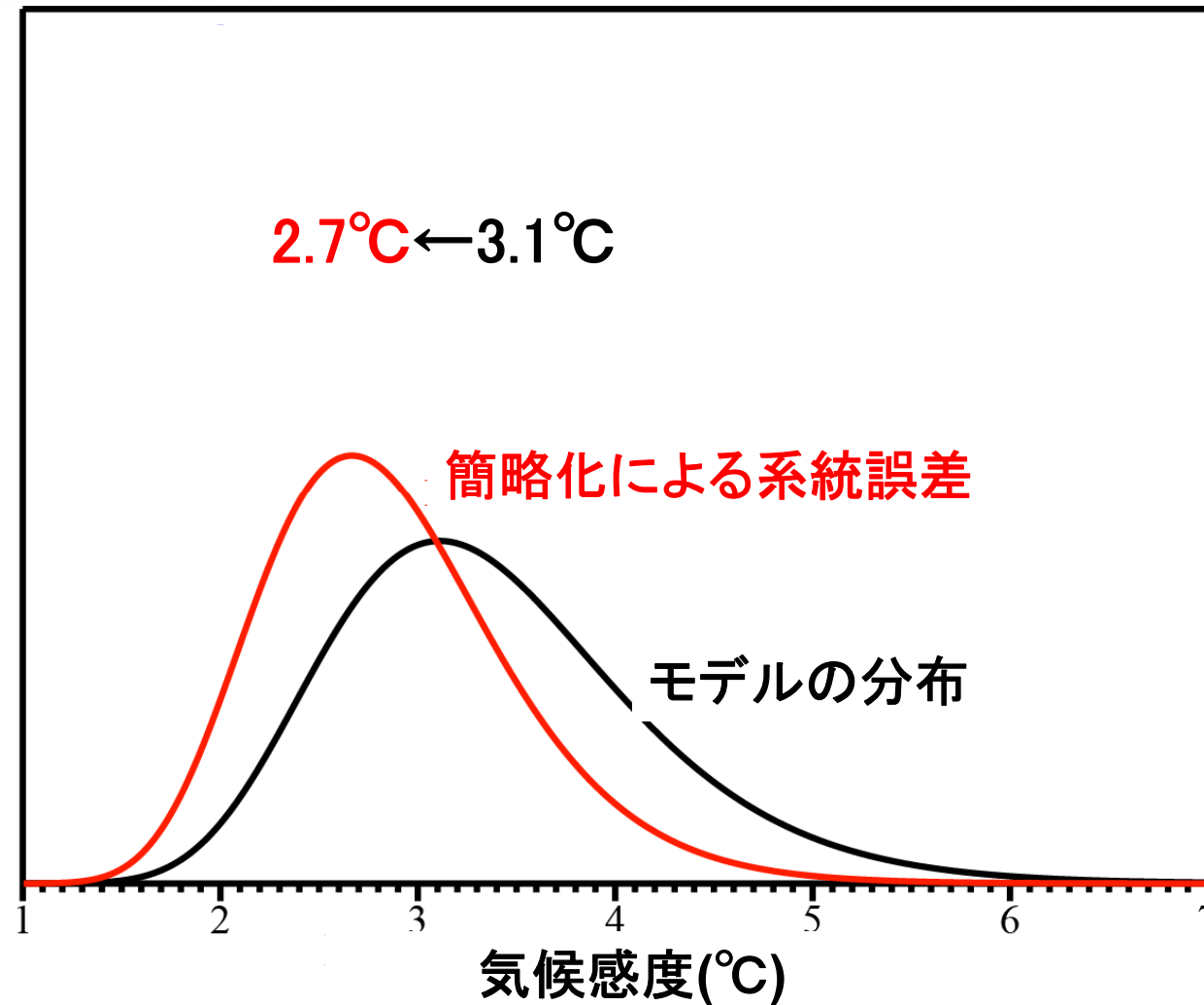
- モデルの実験データを疑似観測データだと考えて、エネルギー収支法を適用し、気候感度を推定する。
- 上記の推定値を、モデルの本当の気候感度と比較することで、エネルギー収支法の誤差を調べる。

エネルギー収支法は気候感度を系統的に過小評価

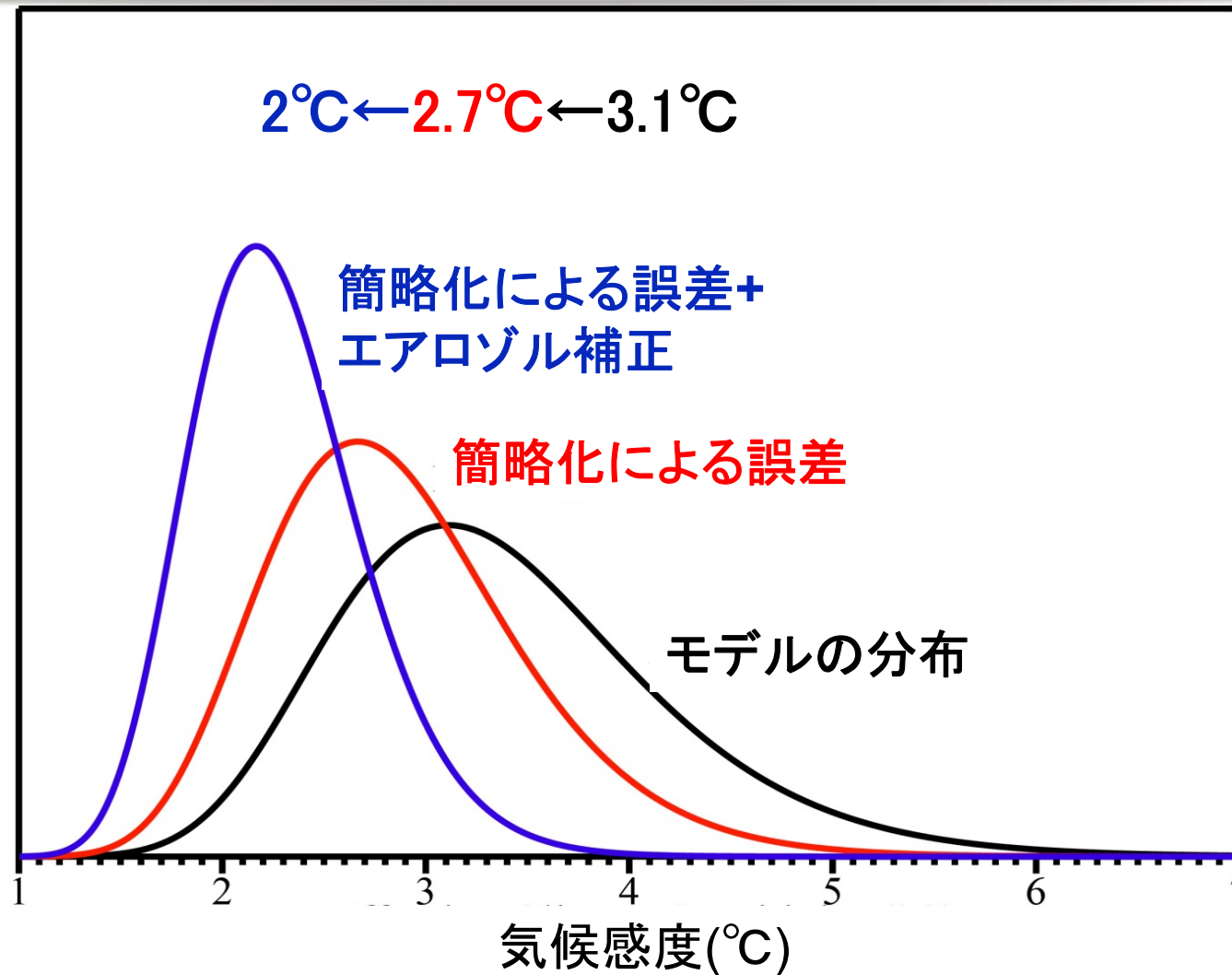


- 温暖化シグナルが小さい時は、気候感度を系統的に過小評価する。
- エネルギー収支法は「気候感度の推定値は観測期間によらず一定」と仮定。→この仮定は不適切。
- Long and Collins (2013), Gregory et al. (2015)等もこの問題点を指摘

エネルギー収支法は、不適切な簡略化の仮定のために、
気候感度を 0.45°C 過小評価する



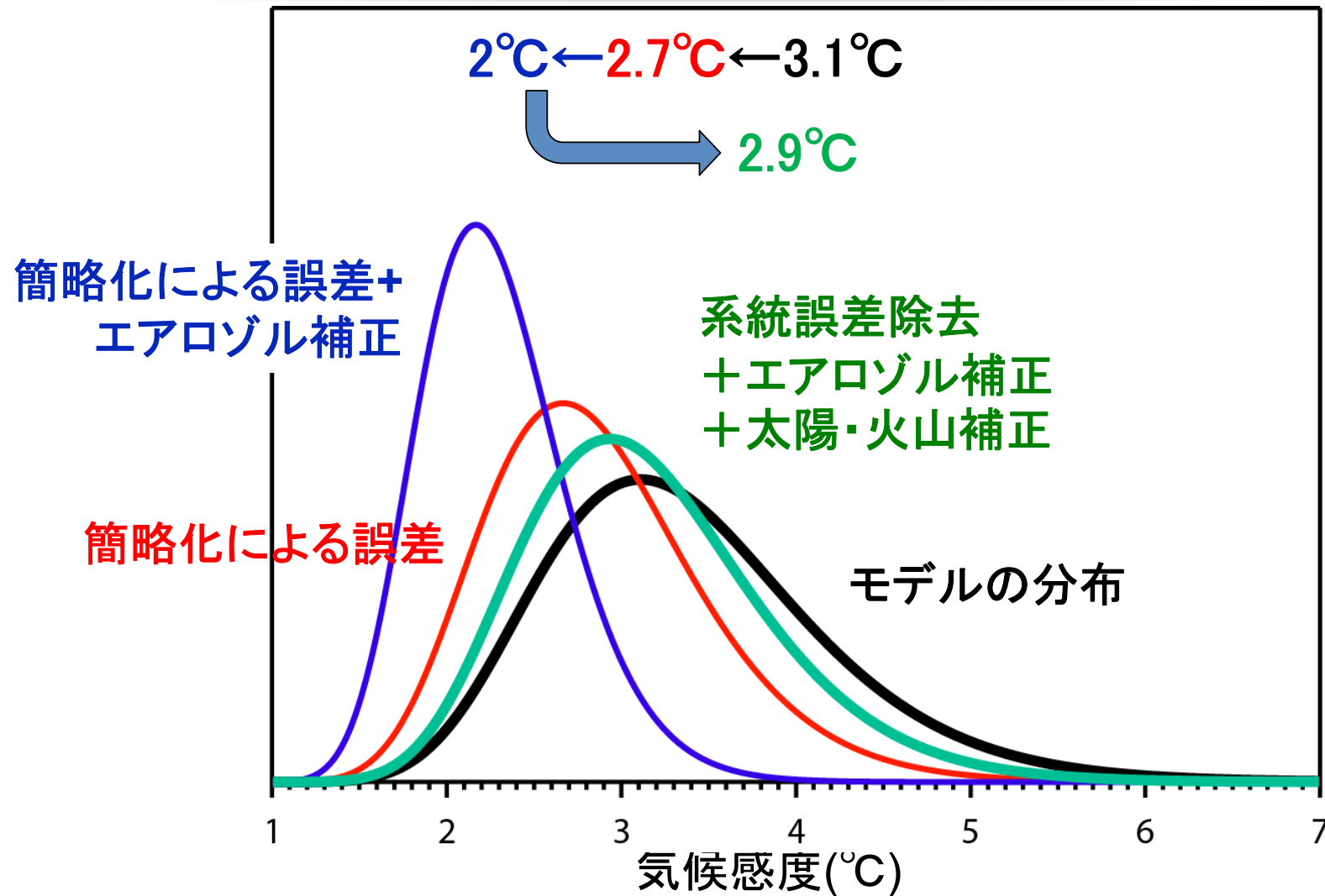
残り半分は「エアロゾルによる冷却効果はそんなに強くない」という仮定



最近の太陽活動低下と火山活動

- 放射強制力のモデル計算では、最近10～15年間の太陽活動の低下と火山活動の影響(どちらも冷却効果)を考慮できていない。
- モデルに入力する太陽と火山の最新データの準備が間に合わなかったため。

簡略化による誤差を除き、最近の太陽・火山の効果をを入れてやると...



ここまですとまとめると

- エネルギー収支法を根拠に、IPCC AR5 (2013)では、気候感度の推定幅の下限が下がり($2^{\circ}\text{C} \rightarrow 1.5^{\circ}\text{C}$)、最尤推定値が得られなくなった。
- エネルギー収支法によって見積もられた気候感度が低い(2°C)理由の半分は、簡略化による系統誤差
- 最近の太陽活動・火山活動も考慮すると、気候感度の最尤推定値は約 3°C になり、モデルによる見積もりと整合する。
- 次のIPCC報告書(2020年頃)では、下限が再び上がり($1.5^{\circ}\text{C} \rightarrow 2^{\circ}\text{C} ?$)、最尤推定値($3^{\circ}\text{C} ?$)が得られるかもしれない。
- モデル間で気候感度が異なる($2^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$)理由はなんだろう？

気候モデル間で差がある理由：
物理スキーム、物理パラメータの不確実性

MIROC3=3.6°C

MIROC5=2.6°C

1. 雲、大気境界層などを表すパーツ(物理スキーム)の不確実性
2. 物理スキームのなかの雲粒落下速度などのパラメータ値の不確実性

マルチパラメータ・マルチ物理アンサンブル (MPMPE)

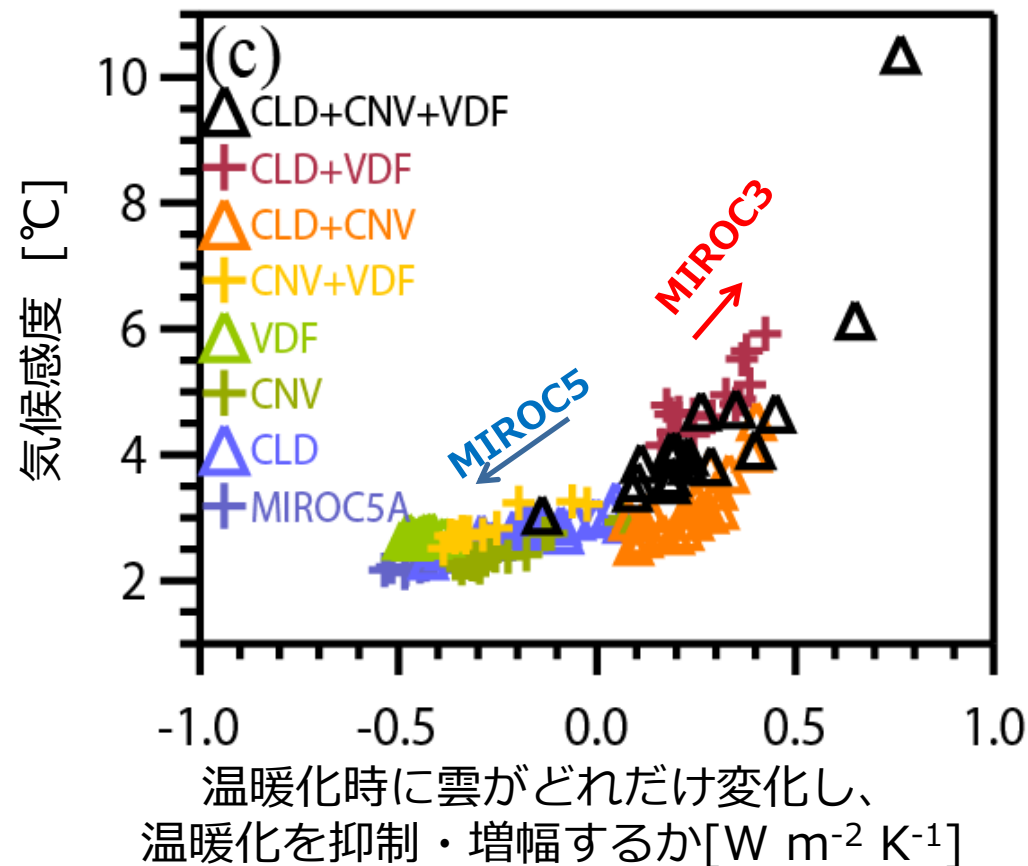
世界初!

Shiogama et al. (2014, ASL), Kamae et al. in prep

MIROC5の物理スキームをMIROC3の物に入れ替えて8マルチ物理アンサンブル(MPE)を構成

X

6種類の物理パラメータを走査して20マルチパラメータ・アンサンブル(PPE)を構成

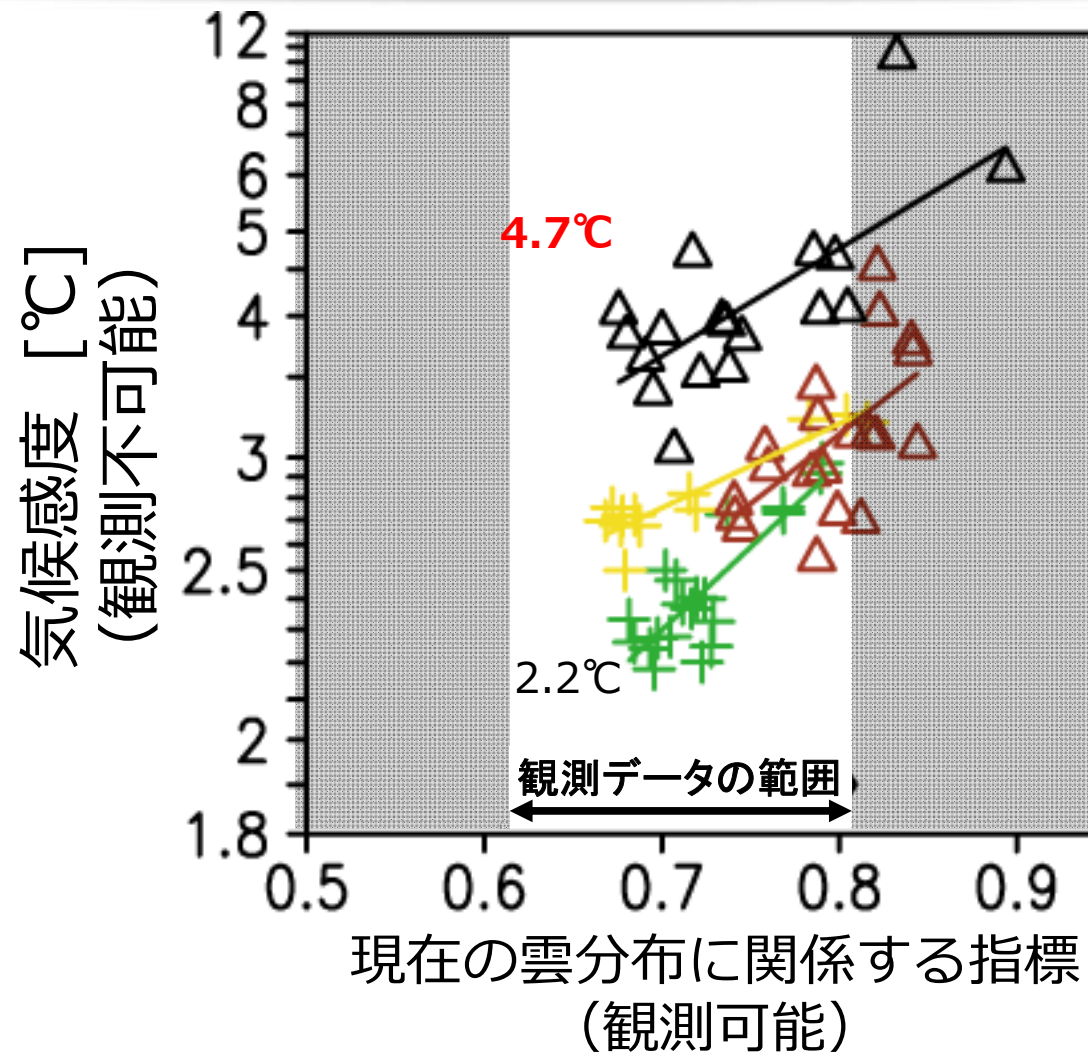


- 気候感度の幅は $2^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$
- MIROC5に近いモデルは気候感度が低く、MIROC3に近いモデルは気候感度が高い。
- これだけ振っても 2°C 未満の気候感度は現れない。
- 6°C や 10°C という気候感度は現実的なのか？
- 気候感度のばらつきは、温暖化時の雲の変化と関係。

(塩竈、渡部、釜江)

6°Cや10°Cという気候感度は現実的なのか？

Kamae et al. in prep

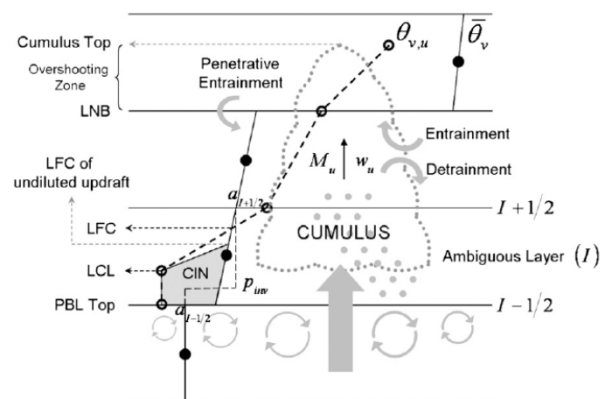


やっぱり気候感度の幅
は約2°C～約4.5°C

(釜江)

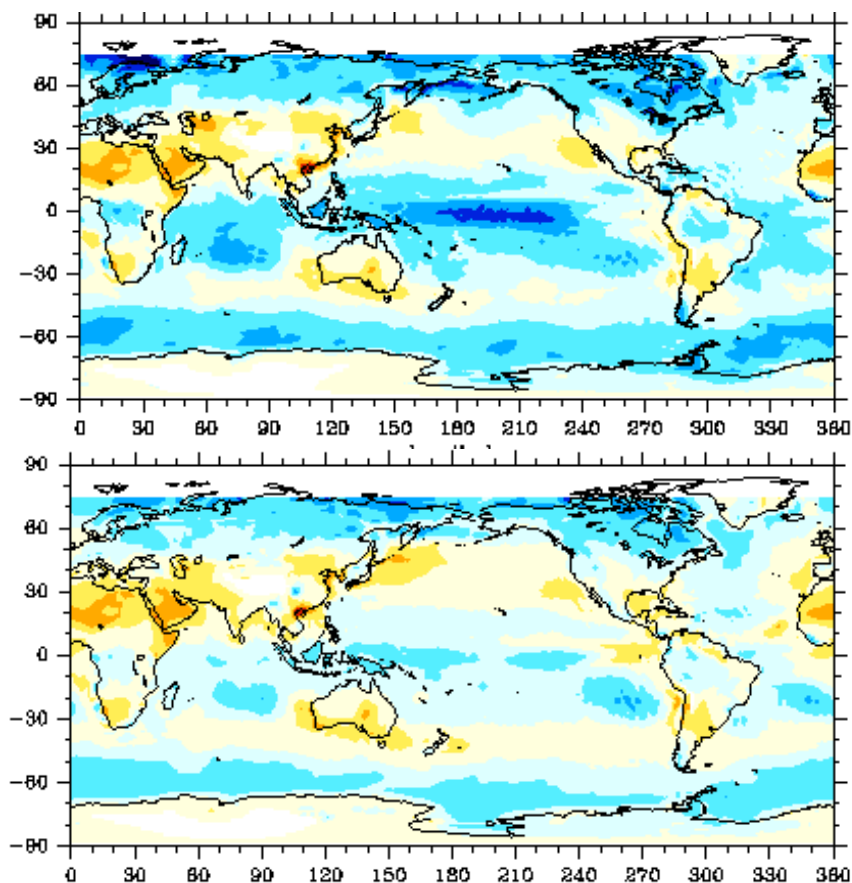
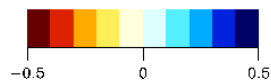
気候変動予測の信頼性を高めるために: 新モデルMIROC6の開発

✓ 浅い積雲スキームの導入



Park and Bretherton (2009)

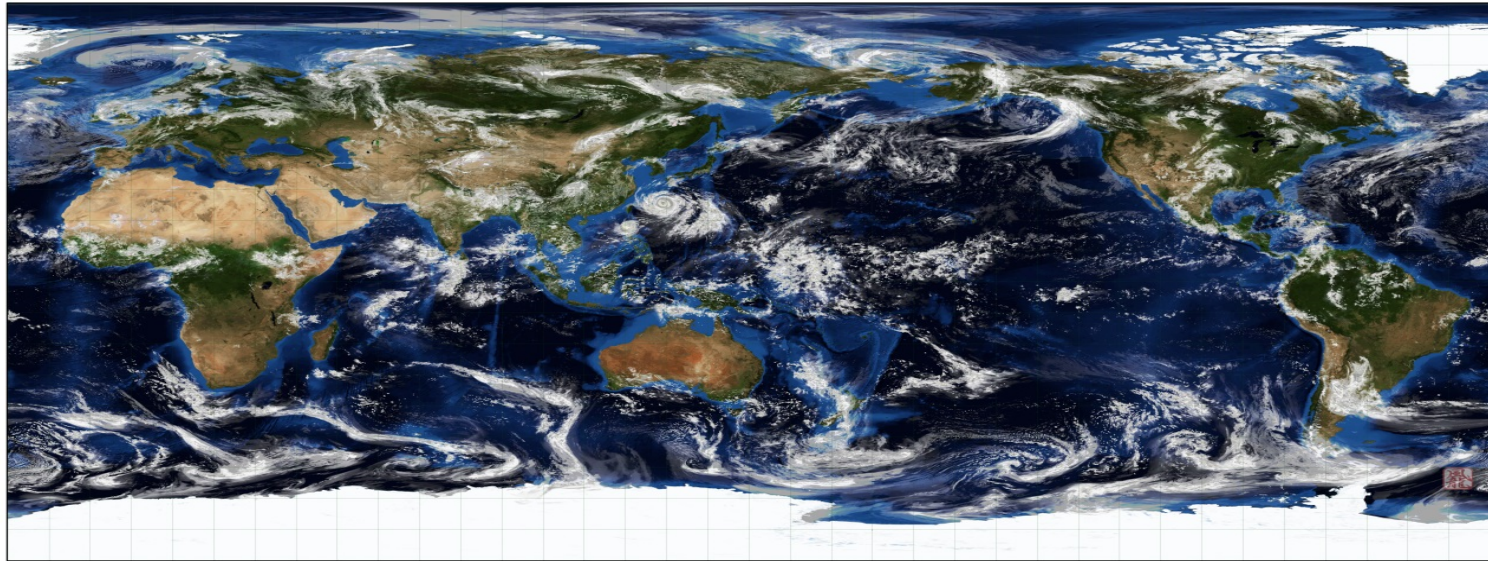
大気下層の雲量の誤差



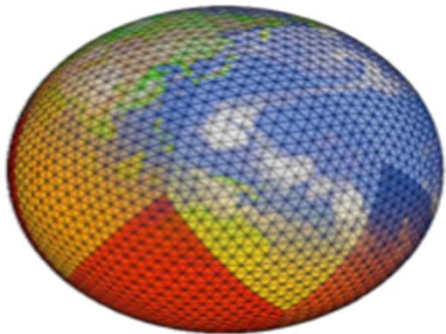
現バージョン
MIROC5

開発中の
MIROC6

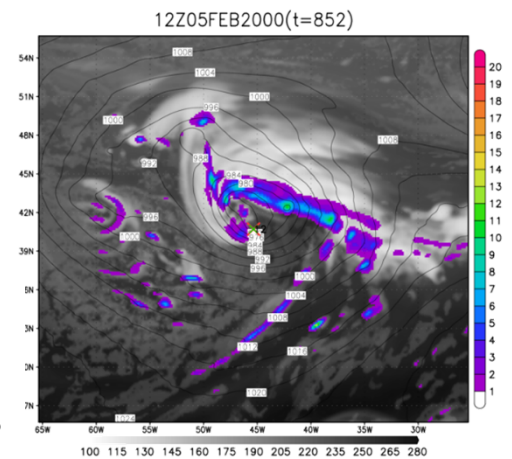
超高解像度モデルNICAM



NICAM: Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model
870m解像度シミュレーション(Miyamoto et al. 2013)



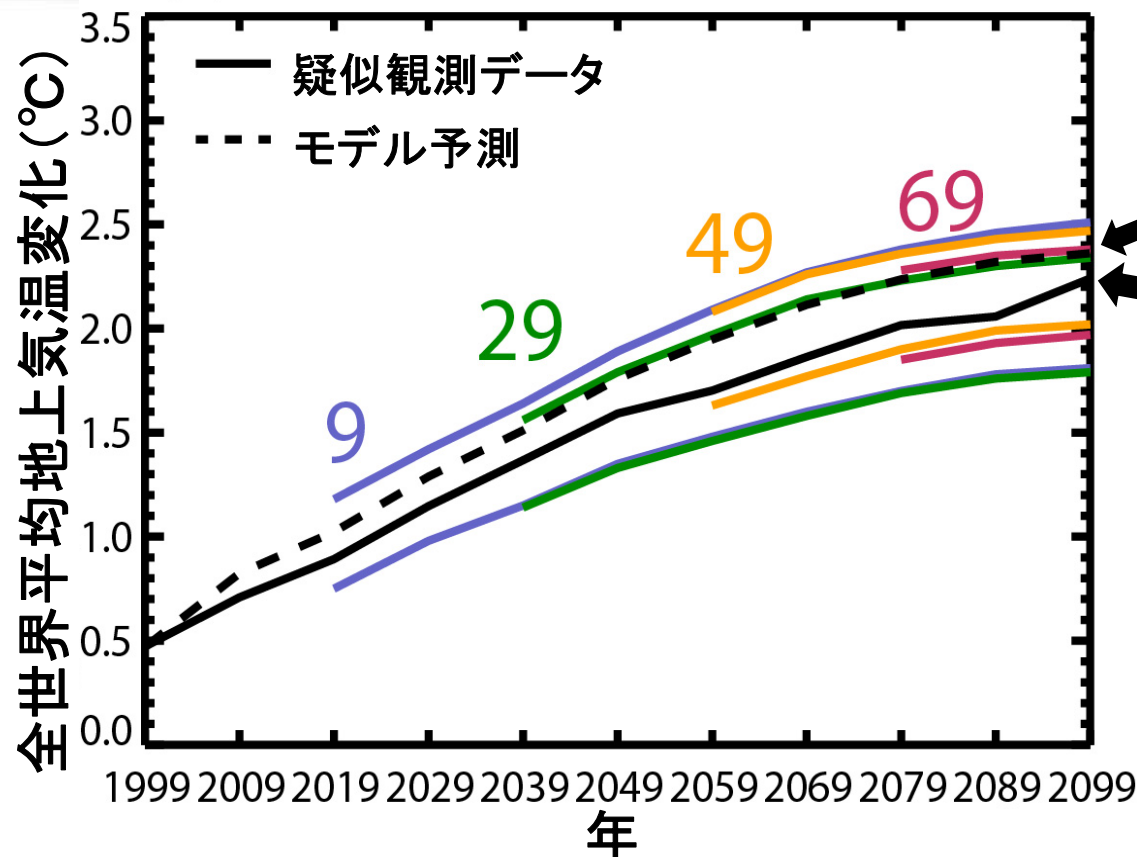
NICAM理想実験
(Kodama et al. 2014)
の温帯低気圧の一例。



ここまできをまとめると

- エネルギー収支法が気候感度を過小評価することを指摘
気候感度の幅 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C} \rightarrow 2^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$ (?)
- 気候感度の物理スキーム不確実性と物理パラメータ不確実性を調べる大規模アンサンブル実験を提案・実施
気候感度の幅 $2^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C} \rightarrow 2^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$
- 気候モデルの信頼性を上げるための開発、改良、実験を行っている
- だけど、気候感度の幅は $2^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$ のままで、気温変化予測の不確実性はいつまでも縮まらないのか？

地上気温観測データの蓄積によって、いつまでにどれだけ 全世界平均気温変化予測の不確実性を低減できるか



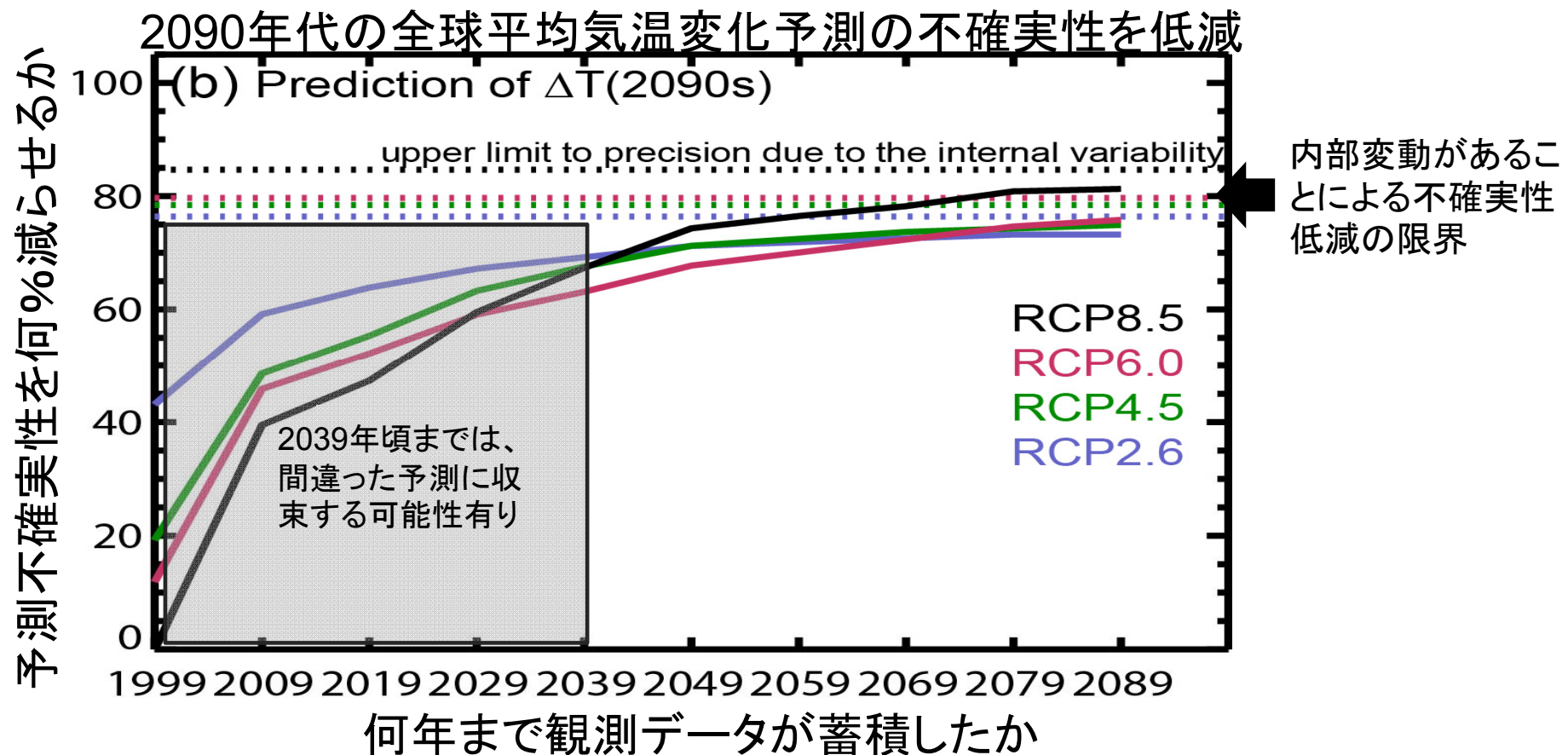
(Shiogama et al.,
submitted to Scientific Reports)

モデル予測
疑似観測データ

- モデルと観測の地上気温変化を比較して、モデルが過去の気候変動を過大・過小評価しているかを評価し、予測の不確実性を低減する手法(ASK法)
- 1モデルのシミュレーション結果を「疑似観測データ」だと考え、観測データの蓄積による不確実性低減の効果を検証する。

2090年代の全世界平均気温変化予測の不確実性を、 いつまでにどれだけ低減できるか

(Shiogama et al., submitted to Scientific Reports)



2050年までには、2090年代の気温変化予測の不確実性を70%程度減らすことが出来る。

まとめ

- エネルギー収支法が気候感度を過小評価することを指摘
気候感度の幅 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C} \rightarrow 2^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$ (?)
- 気候感度の物理スキーム不確実性と物理パラメータ不確実性を調べる大規模アンサンブル実験を提案・実施
気候感度の幅 $2^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C} \rightarrow 2^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$
- 気候モデルの信頼性を上げるための開発、改良、実験を実施中
- だけど、気候感度の幅は $2^{\circ}\text{C} \sim 4.5^{\circ}\text{C}$ のままで、気温変化予測の不確実性はいつまでも縮まらないのか？
- **2090年代の気温上昇量の不確実性は、地上気温観測データの蓄積によって、2050年までに70%程度低減できる。→さらに早めたい！**