計算科学の戦略と次世代スーパーコンピュータ(H18.4.4) 地球温暖化予測の戦略

地球環境フロンティア研究センター/海洋研究開発機構

時岡達志







1800

1600

(IPCC·TAR)

2000

CO₂,CH₄,N₂O,SO₄の 大気中濃度変化

全球半均した放射強制力(2000年-1750年)



(IPCC TAR)





○: IPCC 報告に用いられた代表的気候モデルの水平解像度(右スケール)





鉛直一次元放射対流平 衡モデルによる気温の 鉛直分布の変化

(Manabe & Wetherald, 1967)



東京大学気候システム研究センター/国立環境 研究所/地球環境フロンティア研究センター (CCSR/NIES/FRCGC)気候モデルによる 温暖化予測実験

・大気の解像度
 水平:約100km
 鉛直:56層
 ·海洋の解像度
 水平:約25km
 鉛直:48層

大気・海洋・陸面結合大循環モデルによる地球温暖化予測



温暖化による平均降水量および豪雨強度の変化率

赤丸をつけた領域は、平均降水量は増えないが、豪雨強度は増える これは水蒸気の増加による効果が場所によって異なるため



20km解像度の大気大循環モデル によるタイムスライス実験 (^{気象研究所)}

ローカルな気候を精度よく再現し、台風や集中豪雨などの 温暖化時の動向を予測する試み

20kmメッシュ全球気候モデルで シミュレートされた1時間降水量 (気象研究所)



熱帯低気圧の経路の季節分布





20世紀再現実験で考慮する外部強制

▶自然起源の気候影響

- ✓ 太陽定数変動 (Lean et al., 1995)
- ✓火山噴火に伴う成層圏エアロゾル放出 (Sato et al., 1993)

> 人為起源の気候影響

- ✓ 温室効果気体の増加(Radiation+MATSIRO)
- ✓ 成層圏オゾンの減少
- ✓ 対流圏オゾンの増加
- ✓化石燃料燃焼に伴うSO₂放出
- ✓ 化石燃料燃焼、生活用木燃料利用、農業廃棄物燃焼、
 森林火災に伴う炭素性エアロゾル前駆物質の放出

✓土地利用変化(LAIの変化)

海塩粒子、土壌性ダストについてはモデル変数(地上風速、土壌水分量、 積雪など)より診断しているため、外部強制とは考えない





温暖化の社会・環境への影響

- 水位上昇(高潮、塩害、国土の減少など)
- ・ 農林水産業(作付作物、耕地開発、漁業資源、食料 需給など)
- 自然生態系(貴重な種の滅亡、森林など)
- 降水形態(気象災害、水資源、水利など)
- 健康、居住
- 社会・経済システム(Iネルギー、社会インフラ、モラル など)



気候変化予測の不確定要因

- 地表面過程(気候感度への影響、温室効果気体の発生・吸収)
- 海洋(気候変化速度、気候変化の地域差)
- 氷床(海面水位への影響)
- 気候変化と生態系変化の相互作用(温室効果気体の発生・吸収源の変化)

温暖化に対する氷床の応答

- (1) IPCC AR4 run MIROC mid/high の21世紀末 までの海水準上昇(阿部·瀬川)
- (2) 長期海水準変動予測: MIROC mid IcIES 20km (off line) (齋藤·阿部)



氷床変化時系列





現在再現

定常解氷床分布 A1B Tfix A1B Sfix



토 1500

X (km)





気候感度がモデルによっ て異なるのは何故か

雲には氷雲と水雲がある。気温が上昇すると 氷雲が減り水雲が増加する。水雲は氷雲に比べて太陽光反射率が高く、雲のライフタイムが長い。

気候感度の低いモデル では氷雲から水雲への 変化が比較的低緯度で 生じていることが分かっ た。

(Tsushima et al.,2006)

最終氷期(LGM) 実験による気候感度の見積もり



Ensemble of [MIROC3.2 AGCM + slab ocean] Ensemble is run for doubled CO_2 and LGM scenarios

Figure shows correlation between Climate Sensitivity and Tropical SST for [present day – LGM]

Weighting the ensemble using LGM data



Paleoclimatic evidence could provide a useful, albeit imprecise, constraint on ensemble forecasts of future climate change.

(Annan et al.,2005)

客観的な気候感度の見積もり



観測事実から見積もられた気候感度

地球システム統合モデルによる 温暖化予測

気候変化と大気組成変化の相互作用を考慮し、両者を予測





「地球システム統合(環境)モデル」の開発



(FRCGC)

今後の温暖化実験に用いるモデル開発

地球環境モデル

炭素循環モデルの高度化 氷床モデルの高度化、他

大気:250km、海洋:100km

高解像度結合モデル

雲解像大気大循環モデル

大気:50km、海洋:20km

正しい気候感度(雲の取扱) 地域気候の改善 海洋大循環モデルの高度化 海氷モデルの高度化 陸面モデルの高度化、他

台風・集中豪雨の再現 雲分布の検証 陸面モデルの高度化、他

大気:3.5km

(地域気候変化予測における)不確実情報の定量化手法の開発

今後の温暖化実験

- 地球システム統合(環境)モデル(大気250km、海洋100km)による実験 300年先
- 高解像度結合モデル(大気50km、海洋20km)による高精度シナリオ実験 気候感度、地域気候共にうまく再現するモデルによる実験 大気、海洋共に観測値を初期値とするアンサンブル実験 30年先
- 雲解像大気大循環モデル(3.5km)によるタイムスライス実験
 温暖化時の台風、集中豪雨、雲分布などの変化特性

(地域気候変化予測における)不確実情報の定量化手法の開発

温暖化予測情報を使う人(対応・対策行政者など)と共同で情報の活用法を研究・検討

京速コンピュータへの期待

- 地球システム統合(環境)モデル(大気100km、海洋20km)による実験 300年先; 3000年先
- 高解像度結合モデル(大気20km、海洋10km)による高精度シナリオ実験
 気候感度、地域気候共にうまく再現するモデルによる実験
 大気、海洋共に観測値を初期値とするアンサンブル実験
 30年先
- **雲解像大気大循環モデル(3.5km)によるタイムスライス実験** 温暖化時の台風、集中豪雨、雲分布などの変化特性の確認

IPCC・AR5は2012、3年頃である。それに間に合わせるためには計算は2009、10年 から開始しなければならない。

京速コンピュータをIPCC・AR5に使用できるか。 (ソフト書き換え、使用環境、データ解析など)

IPCC·AR6に向けて使用?