地球システム統合モデルによる 長期気候変化予測実験 (革新チーム1:地球環境予測)

時岡達志 _{独立行政法人}海洋研究開発機構

最長で300年先までの地球温暖化予測実験を行い、CO₂濃度安定化シナリオの下での、長期的な地球環境の変化や許容される人為起源CO₂排出量を予測する。

鉛直高解像度モデルによる研究

- ・Watanabe et al.(2009a): 下部熱圏まで重力波を解像し、低緯度で西進する1 日周期潮汐波と内部重力波の相互作用を議論、背景場の鉛直シアの重要性
- ・Watanabe et al.(2009b): 極域中間圏ジェットと上方伝播内部重力波、4日波
- ・Sato et al.(2009): 中間圏内部重力波の季節変化と下層大気中の重力波源
- ・Kawatani et al.(2009a,b): 赤道準2年振動と赤道波・重力波の関係の詳細
- ・Miyazaki et al.(2009a,b): 中・高緯度対流圏界面構造の形成メカニズムの詳細

1. a. 動的全球植生モデル(SEIB-DGVM)の 結合系での予備実験

スピンアップ

- ・炭素循環の時間スケール、植生-気候フィードバックに注意
- ・1850年条件下(風、気温、放射、CO₂など)で陸・海生態系を単体で 夫々2000年、1275年スピンアップ;その後結合版でスピンアップ

(T42L20を使用して180年)、その後T42L80で100年スピンアップ



共生プロジェクトにおけるESMからの違い

・陸域生態系モデル(Sim-cycle から SEIB DGVMへ)
 ・エアロゾルモデル(簡略版SPRINTERS から 最新版SPRINTERS へ)

SEIB DGVMは葉面積指数(LAI)を陸面物理モデル(MATSIRO)に与え、放射や力学計算 (アルベド、地表面フラックス)に使用-----<u>植生・気候フィードバック</u>

最新版SPRINTERS

・凝結核・氷晶核を予報、水雲・氷雲の数濃度や粒形分布に各種エアロゾル分布が影響



・CO2の施肥効果のみを 考慮するならば、陸上生 態系は炭素シンクとして機 能し続ける

・気候-炭素循環の相互作 用を考慮に入れると、陸上 生態系のシンク能力は低 下し、さらなる気温上昇が 引き起こされる(正のフィー ドバック効果)

(・植生タイプの変化を考 慮すると正のフィードバッ ク効果が抑えられる)





・緯度に関わらず、植物の生産量は増大

・特に高緯度では、気温上昇による生産力の増加・植生の移動により炭素シンクを形成 ・一方で、炭素のソースとなる地域も存在

1.b. 気候変動要因データの準備

CMIP5実験で用いるフォーシング(気候変動要因)データのまとめ

		過去再現実験 (1850~2005年)	将来予測実験 (2006~2100年)		
太陽活動		SOLARIS推奨データ 波長帯別の経年変化も考慮	直近の11年周期を 繰り返し与える?		
大規模火山噴火 (成層圏エアロゾル)		Sato et al. (1993) の更新版データ 高度分布の情報も考慮	バックグラウンド値		
温室 効果 ガス	濃度	RCPより提供された個別ガス濃度の経年変化を考慮			
	CO ₂ 排出量	Andres et al. (2009)の格子データ +国際船舶からの排出分布?	直近の排出分布をRCPより提供さ れた排出量でスケーリング		
O ₃ 等の 反応性	前駆物質 排出量	RCPより提供された前駆物質排出量の格子データを使用			
ガス	濃度	RCPより提供された前駆物質排出量データをCHASERに与え計算			
対流圏エアロゾル		RCPより提供されたSO ₂ /BC/OC排出量の格子データを使用			
土地利用変化 (植生分布)		SAGEの自然植生分類+RCPの土地利用変化			

SOLARIS:成層圏化学・力学を通した太陽の気候影響に関する国際研究プロジェクト RCP(Representative Concentrations Pathways):代表濃度シナリオ

く主要な変更点>

- # エアロゾル前駆気体エミッションの変更 排出シナリオ変更、OC/BC別、航空機排出追加
- # エアロゾルモデル非結合版向けデータ O₃、OH、H₂O₂
- # 太陽放射スペクトル(波長毎、時間変化も)
- # 成層圏の火山性エアロゾル(高度分布を考慮)
- # 陸面物理M(MATSIRO)向け植生マップ
- # 土地利用変化(SEIB DGVM用)

太陽活動(過去再現実験)

- ➢ SOLARISプロジェクトが推奨するデータ(赤線)を使用
- ▶ 近年の人工衛星観測と整合的
- ➢ AR4対応時に用いたデータ(青線)と比較すると、20世紀前半で全太陽放射 輝度(TSI)が緩やかに増加



太陽活動(過去再現実験)

▶ 成層圏での大気化学反応も陽に取り扱うため、波 長帯別の太陽放射輝度の経年変化も考慮



左図:1850年における波長帯別の太陽放射輝度分布(W/m²) 右図:波長帯別太陽放射輝度の経年変化。

カラーは1850年との比を、等値線は1850年からの差を示す(0.025 W/m² 間隔)。

対流圏エアロゾル(過去再現実験)

- ➤ RCPより提供されるSO₂, BC, OC排出量の格子データを使 用
- ➤ SPRINTARSの改良に伴い、 SO。排出は化石燃料利用とバ イオマス燃焼に分割
- ▶ 同様に、航空機起源のBC排 出量(3次元)も考慮



1.c. CMIP5に向けたシナリオ実験最終準備・実施

IPCC第5次評価報告書(IPCC-AR5)に向けた各種実験の仕様(CMIP5プロトコル)に対応した地球システム統合モデルの最終的な仕様の決定と完成

地球シミュレーターのリプレイスに対応した計算コードの最適化

- # 各シナリオ実験の実施に必要な外部強制データの取り込み・調整
- # CMIP5実験のためのモデル・チューニングとスピンアップの後、実験を開始

<実験に用いるモデルの概要> MIROC ESM AGCM:T42L80、OGCM:1°L44 SPRINTERS(エアロゾル)有り、無しにより2つの版を使用 スピンアップ用にT42L20(対流圏)を使用

大気物理を改善したMIROC5(AGCM:T85L40、 OGCM:1°L50)で比較実験を実施

海洋単体での海洋生態系スピンアップ実験を1275年間実施



海洋全炭酸の気候値(mmol/m**3)。左から、観測気候値(GLODAP)、AR4気候値(KISSME.AR4)、AR5向けの スピンアップ(AR5 OCN.SPINUP)。それぞれ上から、海洋表層(SFC)、大西洋鉛直断面(NA-SA)および太平洋鉛 直断面(SP-NP)、赤道鉛直断面(EQ)。



1月

レビ



3n x 5 = 15n

図2: CMIP5実験の実施計画。番号は表1中のものに対応する。

21世紀気候変動予測革新プログラム 2. モデルアンサンブルによる 地球システムモデルの不確実性定量化

财团法人 電力中央研究所

環境科学研究所

研究代表 仲敷憲和

海洋生物化学モデルによる検討
 風成塵起源、堆積物起源の鉄の寄与を把握
 海洋生態系モデルBECによる鉄濃度分布の再現と一次生産へ
 の寄与
 温暖化時の海洋CO₂吸収に及ぼす鉄の影響
 OCMIP'モデル(物質循環のみ)による予備検討

 動的植生モデルによる検討
 温暖化に伴う植生変化がNPPに及ぼす影響
 A1Bシナリオ、CLM-DGVMモデル

海洋生態系モデルによる鉄濃度分布の再現



海洋生態系モデル(BEC model)



鉄濃度分布(nM)

海洋生態系モデルに おいて、堆積物起源 の鉄供給を考慮する ことにより、北太平洋 中層において西部で 高く、東部で低いとい う観測結果に基づく特 徴を再現できた。



堆積物起源の鉄供給のみによる一次生産 降下物起源の鉄供給のみによる一次生産

北太平洋北西部の一次生産量は、風成塵と堆積物、 それぞれからの鉄供給のみを与えた実験で同程度 であり、この海域の一次生産に対する堆積物起源の 鉄の重要性が示された。

海洋CO2吸収量に及ぼす鉄フラックスの影響 海洋物質循環モデルによる温暖化実験 (SRES A2)



鉄フラックスを1/2にすることによって、海洋CO2吸収量が8%減少した。 将来の鉄フラックスの変化が海洋CO2吸収量に影響を及ぼす可能性があり、 今後、より詳細な検討が必要であると考える。

動的植生モデルCLM-DGVMを用いた炭素循環の検討(1)

目的: 温暖化に伴う気候の環境変動下で, 植生動態が炭素循環に及ぼす影響評価 実験設定: CCSM3(T85)による温暖化シナリオ実験(A1B)を境界条件として, オフライ ンにより1870~2200年まで, DGVMあり, DGVMなしの実験を行う.



CCSM3の現在気候再現実験を境界としたCLM-DGVMの植生分布の再現結果.熱帯林温帯林の再現はよいが,北方林の定着量が少ない.



動的植生モデルCLM-DGVMを用いた炭素循環の検討(2)



21世紀気候変動予測革新プログラム

3. モデル相互比較による温暖化予測 不確実性の評価研究:カプラー開発

財団法人 高度情報科学技術研究機構

荒川隆

AGCMに含まれる物理過程(エアロゾルモデルSPRINTARS)のAGCMからの 分離と、カップラーを用いた再結合,及び性能評価

・物理過程の疎結合化と、それによる要素モデルの交換の簡単化 物理過程を別プロセスとすることによる実行性能の向上の期待

・分離・再結合に要する作業コストの評価
 分離することによるデータ交換時間を評価
 適切なデータ交換方法の検討

分離と再結合に要する作業コスト

- 大気・海洋側の修正
 プロセス数増加に伴うMPI初期化処理の修正
 SPRINTARSとのデータ送受信の追加
- SPRINTARS側の修正
 - メインプログラムからサブルーチンAEROSLをコール
 - データ入力部でMPMD-MPI関連処理の修正



内)が追加された

修正量

表1	分離・再結合に伴なうプログラムの修正量(行数)

	AGCM	SPRS		
初期化部	5	5	Λ	少ない修正コ
データ送受信:AGCM→SPRS	50	45		ストで分離・再
データ送受信:SPRS→AGCM	7	8	N	結合が可能
他(MPI関連)	5	16		

実行試験

- ES2での性能測定
 - 解像度:T106L56(320x160x56)
 - PE数は40(大気)+304(海洋)に対しSPRINTARS:40,80,160の3通り
 - AGCMとSPRINTARSをシリーズに実行
 - データ交換に伴うオーバーヘッドを測定
- 送受信データ量

▲ 文 泊) 一 文 里 表2 送受信するデータの個数 オーバーヘッド =ボータの 個数 2D_{地上風} 3D_{大気場} 4D(3DxN)エアロゾル AGCM→SPRS 11 9 13 SPRS→AGCM - 1 13+5

- 大気・海洋結合に比べ交換データ量はおよそ100倍、頻度は5倍

- 測定ケース
 - 4つのケースを設定

表3 測定条件

測定ケース	case1	case2	case3	case4
データバッファリング	0	×	×	0
補間計算	0	×	0	×

データ交換の自由度を高めるため, 本カップラーは送受信するデータを 一時的にカップラー内部に保持す る仕組みを持っている.これをデー タバッファリングと呼ぶ

図3 AGCMとSPRINTARSの

実行方法

AGCM

送信

受信

AGCM

受信

SPRS

送信



• 送受信に要する時間



図4 データ送受信に要する時間(秒)左図:大気モデル,右図:SPRINTARS

- データバッファリング(送受信データをカップラーに一時保持するプロセス) が性能に大きく影響(case1とcase3の比較から)
- 補間計算の影響は小さい(case1とcase4の比較から)
- まとめ
 - 物理過程の分離と再結合に伴なうプログラムの改修コストは小さい
 - データバッファリングのオーバーヘッドが大きいため、データ量に応じてバッファリングを行わない交換方法を選択できるようにするべき