

## 2011年春季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会2011年度春季大会(東京)3日目(5月20日)セッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会が大会C会場(国立オリンピック記念青少年総合センター)にておこなわれた。出席者は約50名だった。今回は「気候モデルの極域の再現性」と題して、地球温暖化の影響が顕著に現れる地域とされる極域の気候モデル内での再現性について、モデル開発の現場から解説をしていただくことを趣旨とした。

極域は地球温暖化に対して脆弱な地域と言われており、温暖化によって大気と地表面間の熱輸送量に大きく貢献する海水や積雪の有無、あるいはその形成期間が変化することは極域の気候に大きな影響を与える。こうした極域の現象の気候モデル内における再現性は将来予測の観点、ならびに希少な観測データの評価という観点からも重要であると考えられる。そこで今回は極域における気候とその変化がモデル内でどのように再現され、予測されているかについてIPCC第4次および第5次報告書に貢献する日本の代表的モデルの専門家に解説していただいた。

前半は気象研究所の保坂征宏氏に気象研究所MRIモデルについて、後半は海洋研究開発機構の小室芳樹氏にMIROCモデルについて、それぞれの極域再現性と、IPCC第5次報告書に向けた貢献の現状について解説をいただいた。最後に世話人の一人でもある海洋研究開発機構の堀正岳が、これらのモデルデータ入手の手続きについて解説を行った。

講演を快く引き受けてくれた気象研究所の保坂征宏氏、ならびに海洋研究開発機構の小室芳樹氏に感謝申し上げます。また本稿で解説したCMIP5モデルデータの作成、公開に携わる関係各位に感謝いたします。

(文責:堀)

担当世話人:

堀 正岳 (海洋研究開発機構地球環境変動領域)  
[http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl\\_index](http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl_index)

© 2012 日本気象学会

2012年3月

### 1. MRIモデルの現状と極域再現性

保坂征宏 (気象研究所気候研究部)

気象研究所では、CMIP5にむけて、地球システムモデルMRI-ESM1/大気海洋エアロゾル結合モデルMRI-CGCM3(大気モデルの水平解像度約110km, 海洋モデルの水平解像度 $1 \times 0.5$ 度)と高解像度全球大気モデルMRI-AGCM3.2S(水平解像度約20km)を用いた温暖化シミュレーションを実施している。前者はMRI-CGCM3の長期予測・近未来予測がほぼ終わり、後者も現在再現が終了して近未来予測実験を実行中である。

CMIP5で用いたMRI-CGCM2と比べるとMRI-CGCM3は、大気モデル、海洋モデルとも大幅に更新された。大気モデルの力学には質量、水蒸気量、雲水量、CO<sub>2</sub>などの物質の量が保存する改良されたセミラグランジアンスキームが導入され長い時間刻みでの高速な実行が可能になり、物理過程では放射スキーム、積雲スキーム、雲スキーム、陸面スキームが精緻化された。海洋モデルでも、鉛直拡散スキームや海水モデルなどが精緻化されている。そして、エアロゾルモデルが新たに加わり、これらの各サブモデルは高機能で軽いカップラーで結合されている。MRI-CGCM2とのもう1つの大きな違いは、フラックスコレクションをやめたことである。これにより海面水温バイアスは増加したが、物理的にはよりコンシステントになったと考えられる。MRI-AGCM3.2Sは、MRI-CGCM3の大気モデルとはほぼ同じである。MRI-CGCM3とMRI-AGCM3.2Sのモデル及び過去再現実験についてはそれぞれ、Yukimoto *et al.* (2012) と Mizuta *et al.* (2012) を参照されたい。

MRI-CGCM3の過去再現性はMRI-CGCM2に比べておおむね良好である。ただし、フラックスコレクションをやめたことに対応して海面水温のバイアスは増大した。黒潮域の海面水温には負のバイアスが、南大洋では正のバイアスがあり、後者は雲の過小に対応している。また海水では冬季の北大西洋への張り出しが大きく、冬季陸上には低温バイアスが見られる。

MRI-AGCM3.2S は、海面水温として現実の分布を与えていることもあり、平均気候状態に加えて降水強度や極端現象の再現性も良い。再現性能（誤差）が許容範囲かどうかは、研究目的や着眼点によるので、データ利用者の方にはこれらのモデルの結果をうまく活用していただきたい。

最後に、今後の、特に極域の開発・改良に関しては、観測的研究グループとの協力体制づくりが重要と考えている。広域検証のためには質のよい面的な情報が、海水や雪氷との相互作用に関する素過程改良のためには地点での、質のよい情報がほしい。

## 2. MIROC モデルの現状と極域再現性

小室芳樹（独立行政法人海洋研究開発機構  
次世代モデル研究プログラム）

現在、21世紀気候変動予測革新プログラムにおいて、大気-海洋-海水-陸面結合モデル MIROC を用いた全球過去再現・未来予測実験が、来る IPCC 第5次報告書への貢献を目指して進行中である。この実験は結合モデルの相互比較プロジェクトである CMIP5 の規約に則って進められ、その実験結果は本年から来年にかけ公表予定である。本講演では、この実験に用いられる MIROC の仕様説明と、主に過去再現実験における極域の再現性について議論した。

CMIP5 に用いた MIROC は、新バージョンである 4h と 5 の 2 つである（以下それぞれ MIROC4h, MIROC5 と表記）。MIROC4h の最大の特徴は大気約60km・海洋約20km という、気候モデルとしては極めて高い水平解像度である。一方 MIROC5 は水平解像度は大気約150km・海洋約100km ながら多くの物理スキームを更新した最新版モデルであり、特に最新の積雲対流・雲物理パラメタリゼーション、およびマルチカテゴリー-海水モデル等の組み込みを特徴とする。なお、MIROC4h および MIROC5 のモデルおよび基本場の詳細については Sakamoto *et al.* (2012) および Watanabe *et al.* (2010) を、また極域のうち特に海水に関する結果については Komuro *et al.* (2012) を、それぞれ参照されたい。

MIROC4h および MIROC5 の過去再現実験を IPCC 第4次報告書向けに過去のバージョンの MIROC で行われた実験結果と比較すると、全球気候の再現性はおおそ良好であり、特に低・中緯度での改善が目立つ一方で、両極域ではこれらの領域に比べ再現性に劣る結果となった。その中であって、

MIROC4h および MIROC5 の北極振動の空間パターン・北極域の昇温トレンドの鉛直構造、また MIROC5 の北極域の海水分布・MIROC4h の南大洋の海水分布等は比較的良い再現性を示した。ただし特に極域においては過去バージョンとの比較でも改善の度合いはまちまちであり、中には MIROC5 の海水分布のように（大気・海洋コンポーネントとの相互作用の結果）再現性が悪化した部分も見られた。

全体として、極域の気候再現性はモデル全体の改良に比して改善が遅れる傾向にあることが確認された。原因としては比較対象となる観測データの少なさや関連する過程の多さ等が考えられる。その一方で極域（特に雪氷圏）は気候変動に対して感度が高く全球気候への影響も大きな地域であり、研究の体制確立および発展を早急に望むものである。

## 3. PCMDI におけるモデルデータ入手の手続き

堀 正岳（独立行政法人海洋研究開発機構  
地球環境変動領域）

IPCC 第5次報告書にむけた気候モデルデータの集約と配布は現在 PCMDI を中心として CMIP5 の一環として行われている（第1図）。

これらのモデルデータは登録したユーザーに対して順次公開されているものの、その利用方法は広く知られていない。そこで本節では気候モデルデータを用いた研究に興味をもつ研究者が CMIP5 データを使用するにあたって踏むべき手続きについて解説する。

手続きは大きく2つの段階に分かれている。まずデータをダウンロードするためのゲートウェイ・ウェブサイトを選択して ESGF アカウントを作成するステップと、研究テーマに合った CMIP5 グループに参加するステップである。

### 3.1 ESGF アカウントの取得

CMIP5 データは膨大な容量であるため、ESGF に参加している複数のゲートウェイ・ウェブサイトによって分散的に運営されている。ユーザーは自分の現在地に対して最寄りのゲートウェイを選び、アカウントを登録する。ここでは PCMDI を例として解説する。

PCMDI にアカウントを作成する場合、ユーザーは <http://pcmdi3.llnl.gov> にアクセスし Login タブから Create New Account のリンクを選択してアカウントを作成する。ログイン名とパスワードを選択してアカ

アカウントを作成すると、確認のための電子メールが送信されるので、メールに含まれるリンクをクリックして認証をおこなう。この段階でユーザー毎に一意的のOpenIDリンクも作成されるため、パスワードとともに記録しておけば、今後OpenIDをもちいた認証も利用できるようになる。

### 3.2 CMIP5 グループへの参加

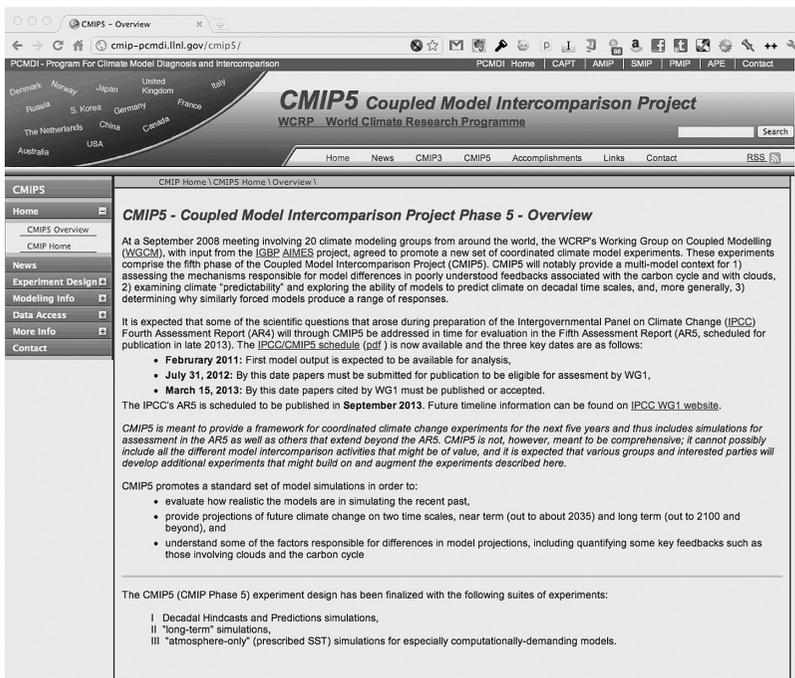
ESGF アカウントを作成するだけでは、CMIP5 データの利用許可は得られない。ユーザーは選択したゲートウェイにログインして、属するCMIP5 ユーザーグループを選択することが必要となる。

先ほど作成したアカウントとパスワード、あるいはOpenIDリンクとパスワードを利用してゲートウェイにログインすると、PCMDI の場合第2図に示すメニューが表示される。ここでApply for Group Membershipを選択し、参加するCMIP5 ユーザーグループを選択する。営利目的でない研究活動の場合、CMIP5 Researchグループを選択する。

ここで、簡単な研究目的を記入し、利用規約に同意することでユーザーグループに参加することができ

### 3.3 データの閲覧とダウンロード

CMIP データはモデル別、あるいは変数別といっ



第1図 CMIP5 ウェブサイト。

#### Available Groups

The following groups are available for subscription. To apply for group membership, select the corresponding table row and click the 'Subscribe' button

Group Name	Description
BCC	Beijing Climate Center
CCMA	CCCMA group: Please do not apply for membership in this group. Data will be made available to CMIP5 users in the near future.
CCSM	CCSM (Community Climate System Model) users
CES	CES (Climate End Station) users
CMCC	CMCC
CMIP5 Commercial	Users of CMIP5 data possibly for commercial purposes
CMIP5 Research	Users of CMIP5 data for non-commercial research purposes only
CNRM-CERFACS	CNRM-CERFACS
Dynamical Core	DyCore Workshop users
GFDL	GFDL Publishers
IHOPE	IHOPE users
IPSL	IPSL
JPL	JPL AIRS
NARCCAP	NARCCAP (North American Regional Climate Change Assessment Program) users
NCC	Norwegian Climate Centre
NCCS	NASA Center for Climate Simulation: Please do not apply for membership in this group. Data will be made available to CMIP5 users in the near future.
NCDC	National Climatic Data Center
NCL	NCL (NCAR Command Language) users
PCMDI	PCMDI publishers
PNL	Pacific Northwest National Lab
PyNGL	PyNGL (Python NCAR Graphic Language) users
PyNIO	PyNIO users
WACCM	WACCM (Whole Atmosphere Community Climate Model) users

第2図 CMIP5 ユーザーグループの一覧。営利目的でない一般の研究者はCMIP5 Researchを選択する。

Search Categories		Total Number of Results: 3
<input checked="" type="checkbox"/> Project		1-3 of 3 results
<input checked="" type="checkbox"/> Institute		
<input type="checkbox"/> Model		
< Any Model		
MIROC4h		
<input type="checkbox"/> Experiment		
< Any Experiment		
rcp45		
<input type="checkbox"/> Frequency		
< Any Frequency		
Monthly		
<input checked="" type="checkbox"/> Product		
<input type="checkbox"/> Realm		
< Any Realm		
Atmosphere		
<input type="checkbox"/> Variable		
< Any Variable		
air pressure at sea level		
<input checked="" type="checkbox"/> Ensemble		

1. project=CMIP5, model=MIROC4h, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, experiment=RCP4.5, time\_frequency=mon, modeling\_realm=atmos, ensemble=r1i1p1, version=1  
MIROC4h model output prepared for CMIP5 RCP4.5  
 Data Center: ESG-PCMDI  
Access: LAS
2. project=CMIP5, model=MIROC4h, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, experiment=RCP4.5, time\_frequency=mon, modeling\_realm=atmos, ensemble=r2i1p1, version=1  
MIROC4h model output prepared for CMIP5 RCP4.5  
 Data Center: ESG-PCMDI  
Access: LAS
3. project=CMIP5, model=MIROC4h, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, experiment=RCP4.5, time\_frequency=mon, modeling\_realm=atmos, ensemble=r3i1p1, version=1  
MIROC4h model output prepared for CMIP5 RCP4.5  
 Data Center: ESG-PCMDI  
Access: LAS

第3図 CMIP5 データ一覧表示の例。MIROC4h モデルの rcp45 実験について月平均海面更正気圧データの一覧を表示している。

た任意の選択肢でファイル一覧を閲覧することができる。たとえば第3図は MIROC4h モデルの rcp45 シナリオについて、月平均の海面更正気圧データを閲覧している場合を示している。

ユーザーはここから目的とするモデル、あるいは変数を絞り込み、ダウンロードを行うことができる。ここでデータが異なるゲートウェイに存在する場合には自動的にそれぞれのゲートウェイに転送される仕組みとなっているため、ユーザーの側ではデータがどのゲートウェイに存在するかを意識する必要は少ない。たとえば日本の MIROC モデル、MRI モデルは現在 ESG-PCMDI ゲートウェイを通してアクセスすることが可能であるのに対して CCSM モデルは ESG-NCAR から提供されているが、データの一覧表示の際には横断的に閲覧することが可能である。

また、日本のモデルである MIROC および MRI は DIAS から提供されているため、ダウンロードの前に DIAS にデータへのアクセス申請を行う必要がある (ESG ウェブサイト内から申請を行うことが可能)。

データは一つ一つの NetCDF ファイルを個別にダウンロードすることも可能であるが、複数のファイルを選択した場合にはすべてのファイルを連続ダウンロードするための Wget (Unix, Linux, Mac OS X 上で動作するシェルスクリプト) あるいは DML (DataMover-Lite, Java 環境が必要) のスクリプトが自動で作成される。

ダウンロードするデータによっては、Wget スクリプトを使用する前に、サーバーにアクセスするために一定期間だけ有効な証明書を発行することが必要となる。

データは NetCDF 形式で配布されているため、実際のデータの使用に際しては NetCDF に対応した解析・作図ツールを使用するか、あるいは NetCDF ライブラリを直接利用することが必要となる。

### 3.4 モデルデータを用いた研究が直面する課題

以上みたように、CMIP5 データの準備と公開は順調に進んでおり、かなりの容量のデータが利用できる態勢が整いつつある。

一方、モデルデータの複雑化、大容量化に伴う問題も顕在化している。ふだんモデル研究に携わっていない個人の研究者や、大学の小規模な研究室などにとっては、これらのデータをダウンロードするための設備、およびダウンロードにかかる労力と時間の投資が難しいことも考えられる。

現在 IT 業界を中心とした情報産業の分野では、単一のデータベースでは扱いきれない巨大なデータ、いわゆる「ビッグデータ」から価値を創出するための技術開発がホットな話題となっている。こうした流れはデータをネット上で管理するクラウド技術がもたらした当然の帰結であり、我々の分野におけるデータも「ビッグデータ」の世界に足を踏み入れたといいたいだろう。

今後研究者人口が減ることが予想される中、CMIP5 データのような膨大な情報資産から研究を推進するための方策は、今後ますます重要になると考えられる。

#### 略語一覧

AGCM : Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル

CCSM : Community Climate System Model

- CGCM : Coupled General Circulation Model 大気海洋  
結合大循環モデル
- CMIP3・5 : Coupled Model Intercomparison Project  
Phase 3・5
- DIAS : Data Integration and Analysis System データ  
統合・解析システム
- ESG・ESGF : Earth System Grid および Earth System  
Grid Federation
- ESM : Earth System Model 地球システムモデル
- IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change 気  
候変動に関する政府間パネル
- MIROC : Model for Interdisciplinary Research on Cli-  
mate
- MRI : Meteorological Research Institute 気象研究所
- NCAR : National Center for Atmospheric Research 米  
国大気科学研究所
- NetCDF : Network Common Data Form
- PCMDI : Program for Climate Model Diagnosis and  
Intercomparison
- RCP : Representative Concentration Pathways 代表的  
濃度パス
- models with high resolution and with ice thickness  
distribution. *J. Meteor. Soc. Japan*, accepted.
- Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda,  
H. Endo, T. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi,  
S. Yukimoto, S. Kusunoki and A. Kitoh, 2012: Climate  
simulations using the improved MRI-AGCM with 20-  
km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, submitted.
- Sakamoto, T. T., Y. Komuro, T. Nishimura, M. Ishii, H.  
Tatebe, H. Shiogama, A. Hasegawa, T. Toyoda, M.  
Mori, T. Suzuki, Y. Imada, T. Nozawa, K. Takata, T.  
Mochizuki, K. Ogochi, S. Emori, H. Hasumi and M.  
Kimoto, 2012: MIROC4—a new high-resolution atmos-  
phere-ocean coupled general circulation model. *J.  
Meteor. Soc. Japan*, accepted.
- Watanabe, M., T. Suzuki, R. O'ishi, Y. Komuro, S.  
Watanabe, S. Emori, T. Takemura, M. Chikira, T.  
Ogura, M. Sekiguchi, K. Takata, D. Yamazaki, T.  
Yokohata, T. Nozawa, H. Hasumi, H. Tatebe and M.  
Kimoto, 2010: Improved climate simulation by  
MIROC5: Mean states, variability, and climate sensi-  
tivity. *J. Climate*, **23**, 6312–6335.
- Yukimoto, S., Y. Adachi, M. Hosaka, T. Sakami, H.  
Yoshimura, M. Hirabara, T.Y. Tanaka, E. Shindo, H.  
Tsujino, M. Deushi, R. Mizuta, S. Yabu, A. Obata, H.  
Nakano, T. Ose and A. Kitoh, 2012: A new global  
climate model of Meteorological Research Institute:  
MRI-CGCM3—Model description and basic perfor-  
mance—. *J. Meteor. Soc., Japan*, submitted.

#### 参 考 文 献

- Komuro, Y., T. Suzuki, T. T. Sakamoto, H. Hasumi, M.  
Ishii, M. Watanabe, T. Nozawa, T. Yokohata, T.  
Nishimura, K. Ogochi, S. Emori and M. Kimoto, 2012:  
Sea-ice in twentieth-century simulations by new  
MIROC coupled models: A comparison between