

「CAS/JSC 数値実験作業部会 (WGNE) 第26回会合」開催報告

室 井 ちあし*・隈 健 一**

1. WGNE とは

WGNE (Working Group on Numerical Experimentation；数値実験作業部会) とは、数値予報モデルと気候モデルを用いた数値実験に関わる研究開発を推進するため、世界気象機関大気科学委員会 (CAS-WMO) と世界気候研究計画合同科学委員会 (JSC-WCRP) の合同部会として設置されている専門部会である。欧州中期予報センター (ECMWF)、英国気象局 (UKMO)、米国環境予測センター (NCEP) など世界の主要な数値予報センターの代表者と研究機関の数値モデル研究者が委員を務めており、現在の議長は Andy Brown (UKMO) と Christian Jakob (オーストラリア・モナッシュ大学) である。

世界の主な数値予報センターではスーパーコンピュータを用いて、全球モデルをはじめとする数値予報モデルを開発・運用している (第1表)。各センターが互いに競い合いながら精度向上を図っている中、WGNE は開かれた情報交換を通じて世界全体の技術向上を目指している。WGNE の重要な役割として、WMO が関わるプロジェクトと数値モデル開発との調整、数値実験に関する提案や議論、それに有効なワークショップや出版物の提案などがある。

WGNE が積極的に関わったワークショップには、系統誤差ワークショップ (1988年カナダ・トロント、2000年オーストラリア・メルボルン、2007年米国・サンフランシスコ) や THORPEX と合同で開催したモデル誤差の診断に関するワークショップ (2010年スイス・チューリッヒ) などがある。また関わった数値実験としては、大気モデル相互比較 AMIP (Boer *et al.*

1991；鬼頭ほか 1995)、水惑星実験 APE (Neale and Hoskins 2000 a, b)、Transpose-AMIP (Phillips *et al.* 2004) といった様々なモデル相互比較実験や、力学コアの相互比較 (Held and Suarez 1994；佐藤ほか 2005) などが挙げられる。これら WGNE が関与した比較では単にモデル結果の展示会をするだけではなく、モデル開発者をエンカレッジしモデル誤差を小さくする議論となるよう配慮されてきた。また、現業数値予報モデルの精度検証として、熱帯低気圧進路予報検証や降水検証、WMO 世界気象監視計画の基礎システム委員会 (CBS) で議論されている標準検証手順策定に取り組む一方、気候モデルの検証における標準的な診断手法の確立も推進してきた。そして、これら数値モデルに関係する活動の成果は、Blue Book として毎年まとめられている。

会合は1985年度から毎年1回各国持ち回りで開催されている (北出 1987)。上記のように、一見すると国同士の国際的なビジネスミーティングと感じられるかもしれないが、気象・気候に関する大気科学研究と、最新の知見を反映させる必要がある現業数値予報モデルとの重要な接点と考えられている。

2. 第26回会合の概要

2010年10月18日から22日にかけて、WGNE 第26回会合が気象庁の講堂で開催された (第1図)。日本で開催されるのは14年ぶりのことである。会合の参加者は39名 (外国から32名、うちテレビ電話による参加が6名) で、現業の数値予報モデルの現状や開発状況に関する意見交換のほか、モデル開発に関連するプロジェクトの報告や今後の方向性の議論などが行われた。

会合は、冒頭で議長からの趣旨説明、気象庁数値予報課長からの歓迎の挨拶に続き、WMO 関係の報告

* Chiashi MUROI, 気象庁予報部.

** Ken-ichi KUMA, 気象庁予報部.

© 2011 日本気象学会

第1表 世界の数値予報モデル (2011年1月現在)。

数値予報センター	スーパーコンピュータ	決定論的グローバルモデル (水平解像度 鉛直解像度)	アンサンブルグローバルモデル (水平解像度 鉛直解像度;メンバー数)	データ同化手法
ECMWF	IBM p6 575	TL1279 L91	TL639 L62	4次元変分法
UKMO	IBM Power 6	~25 km L70	~60 km L70; M24	4次元変分法
フランス	NEC SX9	TL798 (C2.4) L70	TL538 (C2.4) L65; M35	4次元変分法
ドイツ	NEC SX9	30 km L60	(なし)	3次元変分法
ロシア	SGI Altix4700	0.72°×0.9° L28 (10)	T85 L31; M13 T169 L31; M1 0.72°×0.9° L28; M1	3次元最適内挿法
NCEP	IBM p655	T574 L64	T190 L28; M45	3次元変分法
カナダ	IBM p575+	0.45°×0.3° L80	0.9° L28; M20	4次元変分法・アンサンブルカルマンフィルター
ブラジル	NEC SX6	T299 L64	T126 L28; M15	3次元変分法
オーストラリア	SUN Constellation	80 km L50	(なし)	4次元変分法
気象庁	Hitachi SR 11000-K1	TL959 L60	TL319 L60; M51	4次元変分法

がCAS代表の Michel Beland や WCRP 議長の Ghassem Asrar らからあり、現業数値予報モデル開発の報告、高解像度モデルやデータ同化など開発トピックス毎のレビュー、モデルの評価検証、物理過程に関する研究プロジェクト報告など、主に大気の数値モデル開発に関係する話題が5日間、多岐にわたって議論された。ここでは、研究プロジェクトの進捗の紹介は他の機会に譲り、現業数値予報モデルの現状とその関連プロジェクトの中から、いくつかの話題を紹介したい。

2.1 関連プロジェクトの議論

WGNE は CAS, WCRP, WWRP, THORPEX, GEWEX といった大きな組織や他の作業部会、これらに関連したプロジェクト (WGCM, WGSIP, SPARC, YOTC, GCSS, GABLS, GLASS, JWGV, WWRP-メソスケール) などと深い関わりがある。時間的にも空間的にも多様なスケールを持つこれらのプロジェクトに関する議論では、多くの話題は「シームレス」(Palmer *et al.* 2008) なモデル開発の必要性に向けられ、多くのコミュニティが協力して、気象モデルと気候モデルの両方の目的を意識して研究開発が進められることが望ましいということが強調された。

数値モデルの予測精度にとって物理過程のパラメタリゼーション高度化は重要な課題である。WGNE は GEWEX 下のモデリングや予測に関する検討会パネ

ル GMPP との連携も重視しており、そのもとで計画されている GCSS, GABLS, GLASS といったプロジェクトとの関係を強化したいと望んでいる。今回はとりわけ、その一つである GCSS や WWRP 系列の WWRP-メソスケールワーキンググループが推進する雲のパラメタリゼーションについて、重点的に議論されることになった。数 km の水平解像度で運用され始めた現在の現業モデルには、積雲パラメタリゼーションは必要か否かといういわゆる「グレーゾーン」(Gerard *et al.* 2009) の問題がある。雲のパラメタリゼーションに関する全体討論に先立ち、グローバルモデルの立場から Martin Miller が、メソモデルの立場から J. Onvlee-Hooimeyer がこのグレーゾーンでのシミュレーションに関する問題提起をした。その後の全体討論ののち、熱帯の対流雲をターゲットとした YOTC プロジェクトとも連携して研究が行われることで、現業センターの MJO 予測精度の向上にも寄与するだろうとのまとめに至った。そして今後、例えば 500 m メッシュでの高解像度実験をコントロールとして、それより粗い解像度での実験におけるパラメタリゼーションの必要性や改良の検討などを、ワークショップ等を通じて、研究コミュニティと現業数値予報センターが連携して行っていくこととなった。日本は「地球シミュレータ」など世界に誇るスーパーコンピュータを用いた研究が評価されており、この分野への貢献が期待されている。



第1図 (上) 参加者の集合写真。会場となった気象庁にて。(下) 気象庁講堂での会合の様子。

気候モデルと気象モデルの連携面での WGNE の活動は、WCRP 下で成層圏過程を研究するプロジェクト SPARC や、同じく WCRP 下の CLIVAR プロジェクトの一作業部会である WGCM、WGSIP と密接に関係している。これまでも WGCM とともに、Transpose-AMIP の実施や気候モデルの指標検討について推進してきたところである (Transpose-AMIP は、気候モデルを現業数値予報モデルの設定で実行し比較検討するプロジェクトで、現在第2期が進められている)。今回の会合においても、多くの現業センターが重要課題としてかかげる数値予報モデルのモデル最上層の引き上げや非地形性重力波抵抗スキームの高度化などについては、SPARC、WGSIP との連携をさらに強化すべきとの認識を共有することとなった。

2.2 ワークショップの企画

前述のとおり、WGNE は現業数値予報センターの代表者で構成されていることから現業数値予報モデル

開発に関連が深く、その研究開発を推進すべきテーマについて適宜ワークショップを企画している。今回の会合でも、今後予定している「地球システム物理過程ワークショップ」と「確率的物理過程ワークショップ」について、その意義や目的、方針等について話し合いが行われた。確率的物理過程 (Buizza *et al.* 1999) は、アンサンブル予報にモデル自体の不確定性を考慮するためのモデルアンサンブル手法を導入する際に重要な手法であり、日本の週間アンサンブル予報でもすでに導入されている。WGNE や THORPEX としても関わりの深い分野であり、予測不確実性を考慮するための様々な物理過程への理解を深め、アンサンブル予報へ適切に導入できる手法を検討するために提案されている。この確率的物理過程ワークショップは、2012年米国で開催される気象・気候モデルのための数値計算法のサマースクールにあわせて開催される予定である。

2.3 現業センターからの報告等

この会合の大きなテーマである現業数値予報センターの報告の中から、主なものを紹介する。

2.3.1 ECMWF からの報告 (Martin Miller)

2010年1月26日に全球モデルを T799 L91 (約24 km メッシュ相当) から T1279 L91 (約16 km メッシュ相当) へ高解像度化を行った。今後の計画として2011年に鉛直137層、2015年に10 km メッシュ (アンサンブルは20 km メッシュ)、2020年に5 km メッシュ (アンサンブルは10 km メッシュ) への更なる高解像度化を見込んでいる。T3999 (5 km メッシュ) のスペクトルモデルを現在開発中であるが、ルジャンドル計算に大きな計算コストがかかり改善すべき課題がある。また、2015年~2020年の間に決定論的予報モデルを非静力学化することも目指している。

2010年11月からは雲微物理過程に雲量、雲水量、雲水量、雨水量、雪水量を予報変数とする新しいスキームの導入、アンサンブルカルマンフィルターによる土壌水分解析の開始、積雪解析の改良を実施し、地上気温予測精度の向上が確認された。

なお全球モデルの数値計算法については、並列計算機へのスペクトル法の適合性についていろいろな議論があるが、やはりスペクトル法が計算精度等の観点で優れていることから、多少計算コストがかかるとしても、ECMWF としては、スペクトル法を採用し続ける方針である。

2.3.2 UKMO からの報告 (Andy Brown)

2009年11月に水平解像度1.5 km メッシュの領域モデルを現業化し、全球モデルの鉛直レベルを70層に高解像度化、さらに2010年3月に全球モデルの水平解像度を25 km メッシュに変更した。UKMO は現在、25 km メッシュの全球モデル、12 km メッシュの領域モデル、1.5 km メッシュの領域モデルの3つの数値予報モデルを運用している。

UKMO の全球モデルは、等緯度経度座標系を採用した格子モデルで、物理過程、特に雲や境界層パラメタリゼーションスキームの高度化に力を入れている。また最近組織改革を行い、天気予報と気候予測を一元的に開発する体制になった。そして短期予報から気候予測までプログラムのコードはひとつであることが大きな特徴である (Davies *et al.* 2005)。

その他、最近の開発状況として、大気海洋結合モデルの気象予報向けの開発状況、中層雲の予測精度改善の取り組み、雲解像モデルと積雲パラメタリゼーシ

ョンの比較、予報モデルのスケラビリティ (並列化効率) の話題提供があった。

2.3.3 NCEP からの報告 (Bill Lapenta)

高解像度全球モデル GFS を T574 に高解像度化するとともに、物理過程の改良を2010年7月末に実施し、それによって量的降水予報精度の向上や2010年のハリケーンの予測精度が向上したことが報告された。

NCEP では、これまでも米国航空宇宙局全球モデリング同化局 (GMAO-NASA) や地球システム研究所全球システム部門 (GSD-ESRL)、及び衛星データ同化共同センター (JCSDA-ESRL) との共同開発を行ってきており、その共同開発の成果が現業システムに反映されているが、最近さらにオクラホマ大学を加えて、アンサンブルと変分法のハイブリッド同化に関する共同プロジェクトを立ち上げたこと等が報告された。

2.3.4 気象庁からの報告 (室井ちあし)

最近の気象庁の取り組みとして、全球モデルとメソモデル・データ同化の開発状況のほか、水平分解能2 km の局地モデル試験運用の開始や、次期スーパーコンピュータの導入予定とそれに伴う数値予報モデル改善計画について紹介した。また気象庁は各国の全球モデルによる熱帯低気圧進路予報検証を WGNE の活動の一環として取り組んでおり、最近の進路予報の成績や全球モデルの降水予報精度等についても紹介した。

2.3.5 開発トピックス

各数値予報センターからの開発報告に加えて、開発トピックス毎に研究開発の最近の状況について委員が分担して報告を行うことになっている。今回の会合では、「高解像度モデル」「数値計算法」「データ同化」「再解析」「アンサンブル」のそれぞれのテーマについての報告があった。このうち「データ同化」と「アンサンブル」について、両者の連携が今後より重要だとの視点で、4次元変分法とアンサンブルカルマンフィルターに関する最近の開発状況がまとめて報告された。具体的には、背景誤差や衛星同化のバイアス補正に関する4次元変分法とアンサンブルカルマンフィルターの連携が行われようとしていること、アンサンブルデータ同化で推定される誤差をアンサンブル予報へ応用できること、などが報告された。

2.3.6 日本からの話題提供

WGNE 会合では慣例として、開催国から WGNE の活動とは離れたいくつかの話題提供をすることになっている。今回は日本の最先端の成果・取り組みと

して、地球温暖化研究（台風や顕著現象の将来予測）について杉 正人（海洋研究開発機構）と鬼頭昭雄（気象研究所）から、全球雲解像非静力学モデル NICAM の開発について佐藤正樹（東京大学）から、また次世代スーパーコンピュータ「京」の取り組みについて渡辺 貞（理化学研究所）から、それぞれ講演が行われた。日本の「地球シミュレータ」や「京」といった最先端の計算機と気象気候研究との連携については、諸外国からの関心が高く、注目を集めた。

3. 所感

気象庁は、数値予報モデルを技術基盤として位置づけており、天気予報や気候予測のための数値モデルとして、また化学物質輸送や火山灰の移流拡散などさまざまな目的のため、数値予報技術が活用されている。その技術開発を推進するため、気象庁が主体的に関係部門との連携を密にしつつ開発するのは当然としても、最新の研究で得られた知見から現業モデルに利用可能なものについては反映させるべきという視点で、研究コミュニティとの連携をもっと推進していかなくてはならないと感じている。WGNE 会合に参加することで、これは著者の私見や日本だけの問題ではなく、世界の数値予報センターが最先端の研究開発を続けるなかで、研究コミュニティとの関係は様々な試行錯誤をしており、共通の課題であると気づいた。

日本国内からも、気象・気候モデルに関する研究開発や、ここで紹介した国際プロジェクトへの参加も多く見られる。また最近、データ同化、高度な数値モデルに関する研究開発も広がりを見せている。こうした取り組みについて国内でもっと議論していくべきではないか。例えば本稿で述べた「シームレス」や「グレーゾーン」という言葉も、日本ではまだ比較的なじみが少ないと思われる一方、関心が高い研究者も多いと考えられる。まずはそのようなところから具体的なテーマ・話題を設定して、将来の数値モデリング技術について議論していったらどうか。

今回の WGNE 会合で、数値予報モデルの予測精度向上の課題について外国の参加メンバーと認識を共有でき、一方、日本の研究開発や技術レベルについても理解が広まった。数値予報技術の開発において、研究コミュニティと現業機関が持続的に連携することは日本の数値予報や気象学の発展にとって重要であり、この日本での開催を契機にして、この連携をさらに深めていきたい。

本稿執筆中の2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震に伴い未曾有の災害が発生した。現業機関として、被災者そして災害復興に関わる自治体をはじめとする関係機関にとって、的確な気象情報が提供できるように努めている。一方、今回の震災で被害を受けた研究機関もあり、研究資源を共有しあうような連携が進んでいるとのことである。現業機関がそうした研究コミュニティとの連携を深め情報共有を推進し、復興に向けた的確な情報・ニーズは何か、最先端の研究はその要求に対応することができるのか、といったことを探り、災害の影響を最小限に抑える努力が必要であろう。この未曾有の国難に直面した今、電力危機等の厳しい状況下で、日本の数値モデリング技術を結集して社会に貢献できるように、現業機関と研究コミュニティとの連携の重要性をあらためて再認識しているところである。

謝辞

今回の会合開催にあたり、海洋研究開発機構、東京大学、理化学研究所から話題提供をいただきました。また WGNE が関心をもつプロジェクトの日本での取り組みの現状について、研究者から関連する情報をいただきました。御礼申し上げます。

略語一覧

AMIP : Atmospheric Model Intercomparison Project
大気モデル相互比較計画
APE : Aqua-Planet Experiment 水惑星実験
CAS : Commission for Atmospheric Sciences 大気科学委員会
CBS : Commission for Basic Systems 基礎システム委員会
CLIVAR : Climate Variability and Predictability Project 気候変動及び予測可能性研究計画
ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts 欧州中期予報センター
ESRL : Earth System Research Laboratory 地球システム研究所
GABLS : GEWEX Atmospheric Boundary Layer Study
GEWEX 大気境界層研究
GCSS : GEWEX Cloud System Study GEWEX 雲システム研究
GEWEX : Global Energy and Water Cycle Experiment
全球エネルギー・水循環実験研究計画
GFS : Global Forecast System NCEP の現業全球予報システム

- GLASS : Global Land/Atmosphere System Study 全
球陸面大気システム研究
- GMAO : Global Modeling and Assimilation Office
NASA の全球モデリング同化局
- GMPP : GEWEX Modeling and Prediction Panel
GEWEX モデリング予測パネル
- GSD : Global Systems Division 地球システム研究所の
全球システム部門
- JCSDA : Joint Center for Satellite Data Assimilation
衛星データ同化共同センター
- JSC : Joint Scientific Committee 合同科学委員会
- JWGV : Joint Working Group on Verification 合同検
証作業部会
- MJO : Madden-Julian Oscillation マッデン・ジュリア
ン振動
- NASA : National Aeronautics and Space Administra-
tion 米国航空宇宙局
- NCEP : National Centers for Environmental Prediction
米国環境予測センター
- NICAM : Nonhydrostatic ICOSahedral Atmospheric
Model 正二十面体非静力学大気モデル
- SPARC : Stratospheric Processes And their Role in
Climate 成層圏過程・気候影響研究計画
- THORPEX : The Observing System Research and
Predictability Experiment 観測システム研究・予測
可能性実験
- UKMO : United Kingdom Meteorological Office 英国
気象局
- WCRP : World Climate Research Programme 世界気
候研究計画
- WGCM : Working Group on Coupled Modelling 結合モ
デル作業部会
- WGNE : Working Group on Numerical Experimenta-
tion 数値実験作業部会
- WGSIP : Working Group on Seasonal to Interannual
Prediction 季節から数年スケールの予測に関する作業
部会
- WMO : World Meteorological Organization 世界気象
機関
- WWRP : World Weather Research Programme 世界
天気研究計画
- YOTC : Year of Tropical Convection 熱帯対流年
- comparison of the climates simulated by 14 atmos-
pheric general circulation models. CAS/JSC Working
Group on Numerical Experimentation, WCRP-58,
WMO/TD-No. 425, World Meteorological Organ-
ization, Geneva.
- Buizza R., M. Miller and T. N. Palmer, 1999 : Stochas-
tic representation of model uncertainties in the
ECMWF ensemble prediction system. *Quart. J. Roy.
Meteor. Soc.*, **125**, 2887-2908.
- Davies, T., M. J. P. Cullen, A. J. Malcolm, M. H. Maw-
son, A. Staniforth, A. A. White and N. Wood, 2005 :
A new dynamical core for the Met Office's global and
regional modelling of the atmosphere. *Quart. J. Roy.
Meteor. Soc.*, **131**, 1759-1782.
- Gerard, L., J.-M. Piriou, R. Brožková, J.-F. Geleyn and
D. Banciu, 2009 : Cloud and precipitation parameter-
ization in a meso-gamma-scale operational weather
prediction model. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 3960-3977.
- Held, M. and M. J. Suarez, 1994 : A proposal for the
intercomparison of the dynamical cores of atmos-
pheric general circulation models. *Bull. Amer.
Meteor. Soc.*, **75**, 1825-1830.
- 北出武夫, 1987 : CAS/JSC 数値実験作業委員会に出席し
て. *天気*, **34**, 102.
- 鬼頭昭雄, 田中 博, 萬納寺信崇, 沼口 敦, 長谷川
聡, 1995 : 大気大循環モデル相互比較実験 (AMIP) 第
1 回国際会議の報告. *天気*, **42**, 853-857.
- Neale, R. B. and B. J. Hoskins, 2000 a : A standard test
for AGCMs including their physical parameteriza-
tions. I : The proposal. *Atmos. Sci. Lett.*, **1**, 101-107.
- Neale, R. B. and B. J. Hoskins, 2000 b : A standard test
for AGCMs and their physical parameterizations. II :
Results for the Met Office model. *Atmos. Sci. Lett.*,
1, 108-114.
- Palmer, T. N., F. J. Doblas-Reyes, A. Weisheimer, M. J.
Rodwell, 2008 : Toward Seamless Prediction : Cali-
bration of Climate Change Projections Using Sea-
sonal Forecasts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **89**, 459-470.
- Phillips, T. J., G. L. Potter, D. L. Williamson, R. T.
Cederwall, J. S. Boyle, M. Fiorino, J. J. Hnilo, J. G.
Olson, S. Xie and J. J. Yio, 2004 : Evaluating pa-
rameterizations in general circulation models : Cli-
mate simulation meets weather prediction. *Bull.
Amer. Meteor. Soc.*, **85**, 1903-1915.
- 佐藤正樹, 三浦裕亮, 小峯賢治, 肖 鋒, 北内英章, 松
村崇行, 津川元彦, 田中幸夫, 室井ちあし, 富田浩文,
2005 : 球面上の偏微分方程式解についての2004年国際
ワークショップ報告, *天気*, **52**, 129-137.

参 考 文 献

Boer, G. J., K. Arpe, M. Blackburn, M. Déqué, W. L.
Gates, T. L. Hart, H. Le Treut, E. Roeckner, D. A.
Sheinin, I. Simmonds, R. N. B. Smith, T. Tokioka, R.
T. Wetherald and D. Williamson, 1991 : An inter-