
 解 説

全球大気データ同化実験システム NAPEX の気象研究所への移植 ～ MRI-NAPEX の構築～

大野木 和敏 *1(5)・江河 拓夢 *2(6)・小林 ちあき *3・
石橋 俊之 *1・田浦 俊太郎 *2(7)・石元 裕史 *4・
釜堀 弘隆 *3・上清 直隆 *1

1. はじめに

気象研究所では、平成 23 年度から、台風研究部と気象衛星・観測システム研究部が協力して新規重点研究課題「全球大気データ同化の高度化に関する研究(平成 23 年度～ 27 年度)」を立ち上げ、全球大気データ同化の研究を本格的に開始することとなった。

ゾンデ観測をはじめとする直接観測データや衛星観測データなどの様々な観測データの情報を数値予報モデルに取り込み、高精度の初期値を作成する過程を「データ同化」という。これは、数値予報モデルの予報精度を大きく左右する重要なプロセスである。世界の主要な数値予報センターでは、データ同化技術を高度化し、多種多様の新しいリモートセンシングデータや衛星観測データを数多く同化して、数値予報の精度を飛躍的に向上させている。

近年、衛星観測データは、その種類・量とも急激に増加している(岡本 2011, 佐藤 2011)。そのため海外の数値予報センターでは研究機関や衛星データ作成機関と密接に連携して開発体制を大幅に拡充している。一方、気象庁においては、全球大気データ同化はこれまで専ら予報部数値予報課で開発が行われ、気象研究所は直接関与してこな

かった。現状では欧米の数値予報センターに比べて、利用している衛星データの種類・量の面で大きく差をつけられているだけでなく、様々な新しい観測データを同化するために必要なデータ同化手法自体の高度化も遅れている。

そこで、気象研究所においても数値予報課と連携しながら、数値予報課の全球大気データ同化実験システム NAPEX (Numerical Analysis and Prediction EXperiment system) を導入し、台風研究部と気象衛星・観測システム研究部が協力して全球大気データ同化の高度化に関する研究を実施することになった。その準備として、平成 21 年度後半から平成 22 年度にかけて、NAPEX の移植と構築を集中的に行った。これを MRI-NAPEX (気象研究所版 NAPEX) とよぶ。

気象研究所と数値予報課で共通のデータ同化実験環境が整うことの意義は大きい。データ同化実験の結果を通じて研究成果や現業での問題点を共有することで相互連携が可能となり、数値予報課の開発計画と調整しながら効率的に研究を進めることが可能となる。これにより、現業数値解析予報システムにおいて、熱帯気象をはじめとする全球的な解析精度の向上と、台風予報を含む全球的な予報成績の向上に大きく寄与することができ

*1 気象研究所台風研究部 *2 気象庁予報部数値予報課 *3 気象研究所気候研究部

*4 気象研究所気象衛星・観測システム研究部 (5) 現 気象庁地球環境・海洋部気候情報課

(6) 現 気象衛星センターデータ処理部システム管理課 (7) 現 気象庁予報部情報通信課システム運用室

る。

全球大気データ同化システムは、気候研究部の重点研究課題「異常気象・気候変動の実態とその要因解明に関する研究（平成21年度～25年度）」の中で、長期再解析に関する研究でも使用される。気候研究部では、数値予報課のNAPEXを地球環境・海洋部気候情報課が再解析用に修正したデータ同化システムを導入する。気候情報課では、JRA-25長期再解析（Japanese 25-year Reanalysis; Onogi *et al.*, 2007）に次ぐ第2回目の長期再解析として、対象期間を1958年からの55年間に延長し、JRA-25以後のモデル改良の成果を取り込んだJRA-55長期再解析を実施中である。気候情報課ではこの本計算を実行するが、気象研究所気候研究部では、利用する観測データを変更しての比較実験など、JRA-55長期再解析の本計算プロダクトのサブセットとなるデータセットを作成する予定である。再解析用のデータ同化システムでは、過去の観測データに対応するための多くの調整がなされているが、全球大気データ同化サイクルを実行する点では両者は共通点が多く、連携しながらシステムを管理するのが効率的である。

今回のNAPEX移植については、従来から数値予報課と気象研究所の間でその必要性を指摘されていた。平成22年度には、気象庁技術開発推進本部モデル技術開発部会としてこれを推進することとなり、作業の進捗や問題点については、モデル技術開発部会に定期的に報告してきた。本稿は、システム移植に関する記録を庁内で広く情報共有することを目的とし、モデル開発だけでなくこのようなシステム整備が気象庁の技術力を効率よく結集し、今後の技術開発のために有益であると考え、測候時報に報告する。第2章と第3章では、MRI-NAPEX構築に至る経緯とその意義を述べる。第4章では、移植に関してMRI-NAPEXの概略と移植に要する作業と問題点に関する記録を述べる。第5章では、実際の使用法の概略を紹介し、第6章ではMRI-NAPEXが広範囲に活用できる可能性があることを述べる。第7章では、MRI-NAPEXの今後の課題についてまとめる。第5章で紹介する使用法については、MRI-NAPEXが現時点でまだ草創期にあり、使用実績が乏しく、

今後の変更や改良も見込まれることから、本稿ではその概要を述べるにとどめたい。

今後の気象庁の技術力の向上には、気象研究所の研究成果を業務に活用しやすくすることが重要である。そのためには、気象研究所でMRI-NAPEXを適切に維持管理し、多くの研究者がこれを利用してその利益を実感することが肝要である。MRI-NAPEX構築に当たり、システムの維持管理を容易にするための配慮も取り入れている。

2. 全球大気データ同化システムの特性

現業数値予報に個々の技術開発の成果を導入するには、原則としてデータ同化サイクル実験を行い、その効果を総合的に確かめなければならない。

現業数値解析予報システムの根幹を形成しているのは、データ同化サイクルである。これは観測データの同化によって得られた解析値を初期値として予報を行い、その予報で得られた予報値を第一推定値として再びデータ同化を行い、というように、観測データの同化と予報とを相互に依存させながらサイクル的に連続して行うもので、全球の大気の状態を高精度で再現し、同時に数値予報の精度を向上させるための重要な方法である。

現在の数値解析予報システムは巨大化が進んでおり、観測データの品質管理からデータ同化、予報、更にアプリケーションに至るまで、多種多様な要素から構成されている。個々の分野の開発から得られた成果については、それがシステム全体に与える影響を含めて総合的に評価する必要がある。客観的かつ妥当な評価を行うためには、データ同化サイクルによる総合試験が必須であり、そこでシステム全体の性能の改善が確認されてはじめて、数値予報業務への導入が可能となる。限られた計算機資源の下で、複雑な実験や評価の作業を効率良くかつ誤りなく実施するには、開発者が容易に利用できる標準的な実験システムの存在が不可欠である。

数値解析予報実験システムNAPEXはそのような効率的な開発環境を提供するために構築されたものである。平成13（2001）年に数値予報課で初版が作成された後、数値予報課の多くのスタッフにより改良が重ねられて、使いやすいシステ

ムとなっている。また、それに付随した検証システムも構築され、さらに増強されつつある。現在では NAPEX はモデル開発に必要なシステムとなっている。詳しい解説は、開発環境整備の重要性については大野木 (2000) を、初期の NAPEX については大野木・入口 (2003) を参照されたい。

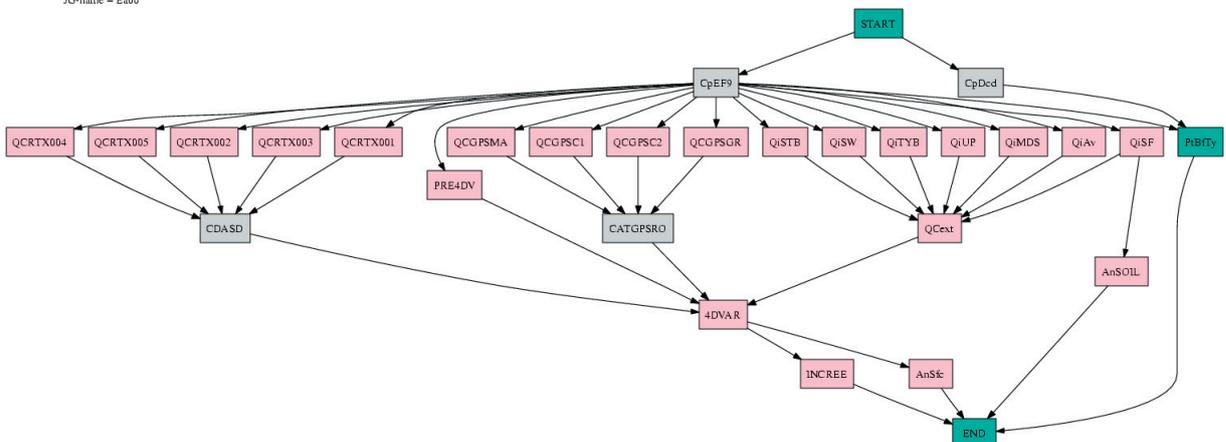
データ同化は、4次元変分法やアンサンブルカルマンフィルタといった、データ同化手法そのものだけでなく、観測データの品質管理やデータの選択などの前処理と、観測データの総合的な性能評価のための資料を蓄積するための後処理からなる。データ同化で使用する観測データは、地上観測・高層観測など、従来型の直接観測データ、静止衛星・極軌道衛星から得られる衛星観測データなど、多岐にわたる。品質管理はデータの種類、観測要素によって異なる方法が必要であり、それぞれに適した品質管理が施される。そして品質管理を経た観測データの中から、実際に同化で利用するデータを適切に選択する必要がある。データ

同化では、これらの細かな処理を順序よく、分岐・併合させながら誤りなく実行しなければならない。観測データを扱うには、日付・時刻制御も極めて重要である。現業システムではこれらの処理のためのツール・ライブラリ群が整備されており、データ同化システムはこれらが一体となった総合的なシステムとなっている。

ここで、単に「ジョブを実行する」という観点だけからみると、初期値と境界値があれば実行可能な数値予報モデルと比べて、データ同化では上述のような非常に複雑な処理を必要とする。第1図は、平成 23 (2011) 年 2 月現在の全球データ同化と全球予報のそれぞれの現業数値予報ルーチンでのジョブネット図を示す。ジョブネット図には、各ジョブの実行順序・依存関係が示されている。第1図 (a) のデータ同化のジョブネットは、第1図 (b) の予報のジョブネットよりはるかに複雑で、両者は大きく異なっている。これを見るだけでもデータ同化ジョブ全体の複雑さをご理解いただけると思う。

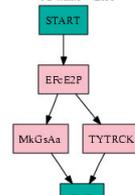
(a)

Create Time 2011/02/25 06:45(UTC)
JG-name = Ea00



(b)

Create Time 2011/02/25 06:45(UTC)
JG-name = Ef00



第1図 現業数値予報のジョブネット図

- (a) データ同化 (00UTC の速報解析 Ea00)
- (b) 予報 (00UTC の予報 Ef00)

数値予報課のNAPEX (NPD-NAPEX) は、この複雑な処理を開発環境で効率的に実行するための実験システムである。NAPEX は、現業と同じ計算機環境の下で、現業用のツール・ライブラリ類を活用しながら構築されている。NAPEX では、データ同化サイクル実験だけでなく予報のみを行う実験も可能である。

3. 気象研究所の数値予報業務への貢献

気象研究所は、気象業務の根幹となる技術の研究・開発を行う重要な役割を持つ。気象研究所は大学や他の研究機関とは異なり、気象庁の施設等機関であることから、その研究成果を気象業務に活用することが求められる。研究成果を業務に反映させる仕組みとしては、例えば海洋関係・物質循環関係では、気象研究所で開発されたモデルが実際の業務で使用されていて、直接的に活用されているだけでなく、気象研究所が現業モデルの改良等の役割も担っている。しかし、大気の数値予報分野では、現業モデルの技術開発は数値予報課が中核を担っていて、気象研究所の研究成果を業務に直接活用する仕組みが必ずしも整っていなかった。

数値予報モデルの面では、業務への大きな貢献として、例えばメソモデルでは、気象研究所で開発された非静力学モデル (Saito *et al.*, 2006) が導入されている。全球モデルでは、力学過程に気象研究所で開発されたセミラグランジアンスキーム (吉村・松村, 2004) が導入されている。

しかし、大気データ同化の面での気象研究所からの貢献はこれまで不十分であった。メソのデータ同化の研究は近年予報研究部で取り組まれているものの、全球大気データ同化の研究開発はこれまで進められてこなかった。この状況を改善し、気象庁全体としての全球大気データ同化の開発体制を強化するため、気象研究所において新規重点研究課題「全球大気データ同化の高度化に関する研究」を立ち上げ、全球大気データ同化の研究を本格的に実施することとなった。

さて、実際に気象研究所で全球大気データ同化の研究を推進するためには、気象研究所にもデータ同化サイクルを実行できるシステムを構築する

必要がある。また、本庁と気象研究所の研究開発面での連携を円滑に行うためには、全球大気データ同化の共通基盤となるシステムを持つ必要がある。

そこで、数値予報課のNAPEX を気象研究所に移植することとなったが、もともと現業システムの存在しない気象研究所にこれを移植し、システムを構築することは容易なことではなかった。

それでも、関係者の協力を得ながら移植作業を集中的に行った結果、新規研究の立ち上げに間に合うよう、MRI-NAPEX の環境を整えることができた。次節では、MRI-NAPEX の概要と構築の経緯を説明する。

4. MRI-NAPEX の構築

4.1 MRI-NAPEX の概略

現業数値予報では、全球解析予報システム (アンサンブル予報を除く) として、実際に予報を出すための解析値を作る速報解析 (Ea) と予報 (Ef)、観測データの待ち受け時間を十分長くにとって多くの観測データを使って同化を行うサイクル解析 (Da) の2種類のデータ同化が運用されている。通常、Daからはサイクル維持用の9時間予報以外に予報は行わないが、NPD-NAPEX ではEa, Ef, Daの他に、Daからの延長予報 (Df; 現業には存在しない) も実行できるようになっている。また、モデルの種類としては、NPD-NAPEX では、水平分解能 60km 相当の低解像度版 60 層モデルの G シリーズ (TL319L60) と、現業システムと同じ水平分解能 20km 相当の高解像度版 60 層モデルの H シリーズ (TL959L60) を扱っている。なお、アンサンブル予報用には別のシリーズがあり、メソモデルについてはNAPEXの管理自体が別になっている。開発者が新たに開発した手法などは、まずその手法自体の動作と効果を確認してから、通常、低解像度版であるGシリーズのデータ同化サイクルで効果を確認し、最終的な業務化試験は高解像度のHシリーズを使う。ただし、台風予報など、分解能が予測性能を大きく左右する場合には、通常の実験でもHシリーズが必要な場合もある。

MRI-NAPEX では、管理を容易にするため、ジ

ジョブクラスは Da と Df のみを扱う。なお、NPD-NAPEX でも、Da と Df のみでコントロール実験とテスト実験を行う場合が多くなっている。

ジョブの実行制御には、NPD-NAPEX と同じ SMS/XCDP (Supervisor Monitor Scheduler / Command and Display Program for X-window) というジョブスケジューラを使用する。これは欧州中期予報センター ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) で開発されたスケジューラで、ECMWF や ECMWF 加盟各国では現業・開発の両方で長く使用されている実績があるほか、他の海外の数値予報センターでも使われている。

4.2 NAPEX 移植の経緯と実際の作業

平成 21 年度は、年度後半から小林(気候研究部)が中心となり、石元(気象衛星・観測システム研究部)とともに NAPEX の移植作業を開始した。担当者の努力により、平成 21 年度末までに G シリーズの当時の最新版 (G014) と、SMS/XCDP を導入し、対象期間限定ながら短期間の同化サイクルを実行できるところまでの作業を行った。

数値予報現業では、前回の計算機更新時(平成 18 (2006) 年 3 月)に、ルーチンジョブを統合的に管理するための新しい数値予報ルーチン管理システム RENS (Routine Environment for Numerical weather prediction System; 数値予報課プログラム班, 私信) が導入されている。これは、数値予報課だけでなく気象庁内各部各課室の数値予報ルーチン業務全般の管理を担う数値予報課プログラム班が、増大する一方のルーチンジョブを統合的に誤りなく管理するために独自開発したたいへん優れたシステムである。

NPD-NAPEX でも RENS に含まれているツールやライブラリを多く利用しており、気象研究所へもその一部を導入する必要があった。RENS では、Ruby という日本で開発されたスクリプト言語が使われているが、当初気象研究所には Ruby が導入されておらず、インストールされるまで時間を要したことや、Ruby のバージョンが数値予報課と気象研究所で異なることに起因して動作が異なるという問題が生じ、その解決に相当の時間を要

した。この問題は、移植の過程で遭遇した様々な問題のうちの一つにすぎない。ほかにも気象研究所の計算機の設定が NAPEX の導入に適していない部分が多くあり、細部の調整・確認に時間を要するなど、初期の苦労が多かった。このようなシステム上の問題は、細かいことであるが、移植作業を進める上で大きな障害となる。気象研究所には、数値予報課プログラム班に相当するようなシステム部門がないため、数値予報ルーチンシステムに関連する問題に遭遇したときには、問題の解決のため、数値予報課プログラム班と NPD-NAPEX 担当者から手厚い支援を受けた。「移植」を行う際には、以上のようなシステム上の問題が存在することを、現場だけでなく本庁・気象研究所の管理部門がともに十分認識しておく必要がある。

平成 22 年度に入り、まず取り組んだのが全球大気データ同化に向けた計算機利用環境の改善である。

第一に、気象研究所のスーパーコンピュータのジョブクラス構成の変更である。気象研究所の新しいスーパーコンピュータ(日立 SR16000)の運用が開始されたのは平成 21 (2009) 年 11 月であるが、当初設定されたジョブクラスは、大型ジョブの実行を念頭においた構成となっていた。この設定の下では、データ同化サイクルでのデータ入出力や、小規模で短時間で終了する前処理・後処理についても、必要以上の多くの CPU を確保した制限時間 1 時間のジョブクラスで実行する必要があり、ひとつひとつのジョブ投入の待ち時間が非常に長くなっていた。この問題への対応として、小さいジョブを連結してひとつの大きなジョブとして対応する方法があるが、この方法では実行用スクリプトの全面書換えを要するなど、数値予報課のデータ同化システムと乖離するため、今後のシステム維持管理上、問題を残すことになる。そこで、ジョブクラス構成をデータ同化のジョブ実行に適したものにするための変更を要請し、平成 22 (2010) 年 5 月 31 日に以下のように変更された。

- ・データ入出力及び小規模ジョブに適したジョブクラスの新設
- ・制限時間の短い (10 分間) ジョブクラスの新

設

- ・小規模ジョブクラス（ノード共有ジョブクラス）のメモリ制限の緩和

この変更により、低解像度の G シリーズのデータ同化サイクルでは、4次元変分法以外のジョブは、すべてノード共有ジョブクラスで実行可能となり、サイクルの実行速度が大幅に向上して、数値予報課での実行速度と同等若しくはそれ以上を実現した。

このほか、6月28日には、環境変数の設定変更により、本庁現業数値予報で使用されている実行用スクリプトをそのまま変更せず使えるようになった。これらの改善要望に対応していただいた気象研究所企画室業務係、電子計算機システム運営委員会など計算機運用関係者の皆様に感謝の意を表したい。

さらに8月2日には、気象研究所全体でのスーパーコンピュータの有効利用を図るため、ノード占有ジョブクラスの構成が大きく変更された。この変更は、全球大気データ同化にとっても、実質的に4次元変分法ジョブのジョブ投入優先度が上がるなどのメリットがあった。

これらの一連の変更により、全球大気データ同化に適したスーパーコンピュータの環境はひととおり整った。

もうひとつの計算機利用環境の整備は、長期再解析を含む全球大気データ同化のためのサーバ・ストレージ整備である。気象研究所の計算機システムには、本庁 NAPS (Numerical Analysis and Prediction System) の各課業務処理用サーバに相当するサーバや、CTL (カートリッジテープライブラリ) に相当する大容量ストレージがないため、全球大気データ同化用として新たにサーバとストレージを導入した。実機が導入されたのは8月末であり、その後、サーバへの SMS/XCDP の導入、ウェブサーバとしてのセットアップを行った。観測データファイルのエンディアン変換を避けるため、サーバのオペレーティングシステム (OS) はスーパーコンピュータシステムと同じ AIX (IBM (株) の UNIX オペレーティングシステム) としたが、AIX での SMS の導入は筆者らにとって初めての経験であるため、導入に際し

ては既に AIX のサーバを使用している気候情報課再解析班の支援を受けた。

NAPEX 本体の移植については、平成 22 (2010) 年 10 月までに、全球大気データ同化サーバ上の SMS/XCDP を使ったジョブ制御を含むバージョン G014 (平成 21 年 12 月時点の数値予報ルーチンに相当する低解像度版) を用いて予備的な環境を構築した。平成 22 (2010) 年 11 月時点の数値予報ルーチンに相当するバージョン G015・H015 は、数値予報課 NAPEX 担当によるファイル入出力制御の改良版と併せて導入し、平成 23 (2011) 年 1 月までに G シリーズ、H シリーズともに実行環境を整備して、試験的なサイクル実験を行って動作を確認した。

NAPEX 移植にあたり、最も困難と思われたのが、観測データや第一推定値・初期値・境界値の入力と、計算結果の出力に関わる制御部分である。これらファイル入出力の制御は、計算機システムの環境に大きく依存するため、数値予報課と気象研究所では大きく異なる。さらに、制御系については、単にファイルの入出力を系統的に正しくコントロールするだけでなく、データの入力に関して、頻繁に変動する衛星データの取得を日時により正確に制御することも重要である。

NAPEX では、ファイル入出力などの制御系をモデル本体のバージョン (G シリーズ、H シリーズ) とは別に管理しており、E08、E09 のような名称 (E は Experiment の頭文字) を付けている。平成 22 年度当初時点での NAPEX の制御系 (バージョン E08) は、数値予報課の計算機環境に特化しており、気象研究所への移植には全面改訂が必要であった。移植作業を進めるにあたり、これを数値予報課でも気象研究所でも使える共通版にすることは、今後の研究開発において必須であるとの認識から、気象研究所側と数値予報課の担当者間で協議し、共通版を作成することとなった。実際の作業は NPD-NAPEX 担当の江河が行った。最初に、処理が混沌としていたデータ入力部分を処理内容・データの種類ごとにモジュール化して、明確に分類した (バージョン E09)。これによりデータの内容をコントロールする部分と、サーバや保存装置とのファイルのやりとりをする部分が

明瞭に区別され、その後の共通化作業が順調に進んだ。当初の想定より早く、平成22年度内（平成23（2011）年2月）には共通化された制御系（バージョンE10）が完成し、数値予報課と気象研究所で、いくつかのパラメータの指定を変更するのみで使えるようになった。

E10版の導入と同時にモデルの新しいバージョンG016とH016が導入された。E10版が対応しているG015とH015を含めて、これをMRI-NAPEXの正式版として平成23（2011）年2月から運用を開始した。付随するアプリケーションについても、数値予報課のデータ同化実験検証システム SuperVerif の導入は既に済ませた。

4.3 長期再解析実験システムの移植・構築

長期再解析実験システムは、もともとNPD-NAPEXをベースにしているが、過去データやそれに対応する処理を導入しなければならないため、気候情報課で長期再解析独自の部分を加え、また長期再解析用として処理を効率化したシステムになっている。このシステムの気象研究所への移植は、標準版のMRI-NAPEXの導入作業と並行しつつ、連携しながら気候研究部第5研究室で作業を進めている。これについても気候情報課再解析班から大きな支援を受けている。

5. MRI-NAPEX の使用法

MRI-NAPEX の実際の使用法についての細かい解説は、気象研究所のイントラウェブページにまとめているが、今後システムの改良とともに使用法も更新されていくと考えられる。現段階でその詳細を記述しても時間の経過とともに情報としての価値が薄れていく可能性が大きいので、ここでは実行の基本的な流れを説明するにとどめる。

5.1 実験の初期設定

実験の初期設定は、e_init という実験初期設定ジョブを実行して行う。e_init では、次の項目を指定する。

- ・数値予報課・気象研究所の別（気象研究所は mri）
- ・実験者の GID（グループ ID）

- ・実験の名称（任意の文字列）
- ・元とする実験のバージョン（G015, H016 など）
- ・実験の種類（Da（同化）又は Df（予報））
- ・研究課題の課金番号の指定（気象研究所のみ必要な指定）
- ・実験の対象期間（開始年月日時と終了年月日時）
- ・ファイルの保存先（サーバとディレクトリの指定）
- ・Df の場合に、どの Da の結果を初期値に使うかの指定。指定しなければ同じ実験名の Da の結果を使う。

これらの項目を指定して、e_init ジョブを実行すれば、実験実行に必要な設定が「実験名」のディレクトリに自動的に作成される。

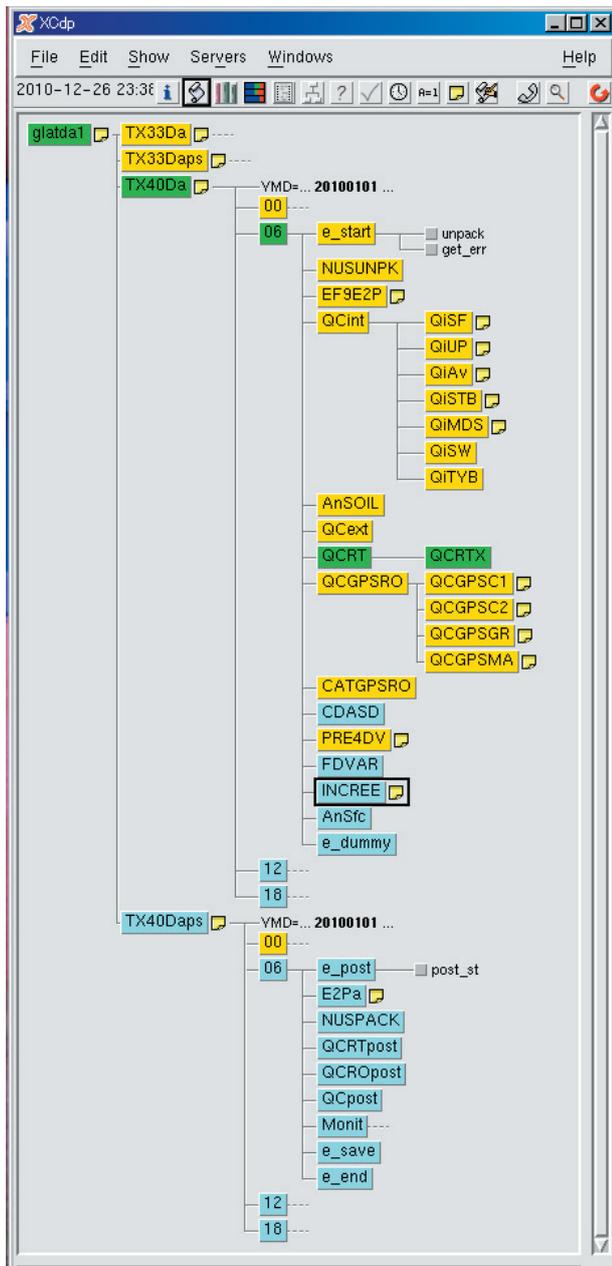
保存するファイルの種類や頻度は、初期設定値を特に変更する必要はないが、必要なら、保存ファイル制御テーブルにあるファイルごとのスイッチの ON/OFF を指定するだけで簡単に変更できる。

実験で使用するバージョンは、G016, H016 など、MRI-NAPEX に登録されたものをそのまま使う場合（コントロール実験の場合）は、e_init ジョブで作成された設定のまま実験を開始してよい。自ら開発したスキームを試験するには、該当する部分の定数や実行モジュールを変更すればよい。実行スクリプトやコンパイル用のメイクファイルを変更する場合、それを直接変更することもできるが、数値予報現業で使用されている JPP/JCL, PBF を変更してから作成するとよい。JPP/JCL, PBF はそれぞれ実行用シェルスクリプトの簡易版、メイクファイルの簡易版と考えてよい。

5.2 実験の実行とモニター

実験の各ジョブの制御は SMS/XCDP をインストールしてあるサーバから行う。詳細は割愛するが、まず「実験名」のディレクトリの内容を一式サーバにコピーし、SMS を起動しておく。そしてジョブネットを登録（play）して実験の開始（begin）の操作をすればよい。実験実行中のモニターは、XCDP の画面（第2図）に表示される各ジョブのボックスの色で「ジョブ投入待ち（水

色)「実行中 (緑)」「正常終了 (黄色)」「異常終了 (赤)」などの状態が判別でき、マウスクリックで操作することも可能である。第2図に示すように、XCDP の画面では、各ジョブが第1図とは異なり階層構造に表示されているだけだが、各ジョブの前後のジョブ依存関係は、画面上部のアイコンを操作することにより表示できる。



第2図 MRI-NAPEX での XCDP による実験実行監視画面

MRI-NAPEX での作業ディレクトリの使い方は、NPD-NAPEX と同じく数値予報現業の方法を踏襲している。ひとつひとつのジョブが実行のたびに別々の作業ディレクトリを使うなど、再実行をしても制御上のエラーが起きにくく、デバッグをしやすい作りになっている。

6. MRI-NAPEX の活用

6.1 利用範囲

MRI-NAPEX は、1. で述べた2つの研究課題の担当者以外にも広く公開する。気象研究所で全球大気の数値解析予報の研究に直接携わる研究者はもちろん、間接的に携わる研究者、全球解析予報の結果を利用するだけの研究者にも利用してもらいたいと考えている。これにより、例えば、予報モデルの研究成果は、データ同化実験を行い直接観測データと比較することにより、系統誤差等の特性を評価して、予報モデルへの効果だけでなくデータ同化システム全体への効果を確認できる。研究目的で実施される特別観測実験により得られた観測データの数値予報モデルへのインパクトを評価することも容易に実行できるようになる。実験結果を保存するためのディスクスペースを利用する研究者に用意してもらえば、利用には何ら制限はない。

6.2 全球モデル開発への利用

MRI-NAPEX では、同化はしない予報 (Df) だけの実験もできるので、全球モデル開発にも利用できる。現在、現業の全球モデルの物理過程全体の見直しが喫緊の課題となっている。この課題は様々な観点からの調査・研究が必要であり、数値予報課と気候情報課の物理過程担当者だけではなかなか進められない。気象研究所の研究者が MRI-NAPEX を利用することにより、それぞれの専門分野から同じバージョンの全球モデルを細かく見ていくことができれば、物理過程全体の見直しが効率よく進むことが期待される。これまでは研究開発の成果を気象研究所でデータ同化実験を通じて試験することが困難であり、数値予報課に依頼せざるを得なかった。また、気象研究所で開発されたスキームを数値予報課のシステムで動作

させるには、多くの場合様々な修正を必要とし、その作業に時間と手間がかかる。そのことが現業化への大きな障害となっていたことは否めない。今後は研究開発にある程度の目処がついた段階で、開発した研究者自らが MRI-NAPEX を使ってデータ同化実験を行うことで、その効果を研究者自身が確認することができ、現業化への道筋をつけやすくなることが期待される。

6.3 部外機関との連携

数値予報課の現業データ同化システムを部外の研究者が直接利用することは、セキュリティなどの面から困難である。それと比べて、気象研究所にあるモデルについては、共同研究契約を締結することにより、比較的容易に部外の研究者が利用することができる。MRI-NAPEX は本庁と気象研究所が連携した研究開発を円滑に進めるためのデータ同化システムであるのみならず、部外の研究者による研究成果をいち早く取り込むような開発を行うことも期待できる。

新たな衛星データの早期利用には、衛星データ作成機関との協力が必要不可欠である。ECMWF は、気象庁と比べてはるかに多くの種類の衛星データを同化し、晴天域だけでなく雲域・降水域での同化も既に開始している先進的な数値予報センターであり、世界の数値予報センターの中でも卓越した予報成績を誇っている。このひとつの要因として、EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites; 欧州気象衛星開発機構) や ESA (European Space Agency; 欧州宇宙機関) などの衛星・宇宙機関と強力に連携し、新たな衛星打ち上げに先だってシミュレーションデータによる十分な事前テストを行って、衛星が打ち上げられてから短時間で実際のデータを同化できる体制を組んでいる点が大い。新しい衛星が打ち上げられて実際のデータが入手できるのを待って、それから開発と実験を行っていたのでは、同化できるのはその衛星の寿命が半分以上過ぎてからで、利用開始まもなく衛星の運用が終了してしまい結局短期間しか使えない、という事態になりかねない。宇宙研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency; JAXA) は、

GPM (Global Precipitation Measurement; 全球降水観測計画) や EarthCARE (Earth Clouds, Aerosol and Radiation Explorer; 雲エアロゾル放射ミッション) などの新規衛星を向こう数年以内に打ち上げる予定である。これらの衛星のデータを早期に現業利用するには、打ち上げ前から JAXA と連携してシミュレーションデータを入手し、MRI-NAPEX を使って開発と試験を進めていく必要がある。MRI-NAPEX は、そのための環境を提供することができる。

7. MRI-NAPEX の課題と今後

7.1 観測データの入手

大気データ同化においては、数値予報に使う観測データの入手という点で、現業機関ではない気象研究所は大きなハンディがある。従来型のデータは毎日オンラインで数値予報課から取得している一方で、2000 年代に入ってから急増している衛星データのオンラインでの入手は平成 23 (2011) 年 2 月現在、不十分である。衛星データは気象研究所での利用範囲も広いので、これらのデータを速やかに入手し、より使いやすい環境を整える必要がある。

7.2 アプリケーションツールの拡充

MRI-NAPEX 整備の残る課題は、検証やモニターのためのアプリケーションツールの拡充である。第 4.2 節で述べたように、数値予報課の標準検証システム SuperVerif は導入済である。NuSDaS (Numerical Prediction Standard Dataset System; 数値予報標準データセットシステム) 形式から他のファイル形式への変換ツールは 2011 年 2 月時点では未整備である。また、数値予報課の検証システムは、現業化の可否を判断するためのツールであることから、システム全体のパフォーマンスとしての予報スコアが重視され、ひとつひとつの物理過程の効果の詳細な検証には不十分である。気象研究所においては、研究者が自らの専門分野の検証に適したアプリケーションツールを提供あるいは開発し、MRI-NAPEX のアプリケーションツール群に体系的に含められれば、システムとして充実したものとなる。さらに、そのよ

うなアプリケーションツールから、現業モデル開発に利用できるものを還元できれば、気象研究所からの新たな貢献となる。

7.3 MRI-NAPEX 管理体制の維持

数値予報課では、現業としての数値予報システムを運用するため、プログラム班がその職責を担い、システム関係の開発を行うとともに、開発者へのサポートも行っている。ECMWF では、全職員 200 名余の約3分の1がシステムの専門家であり、研究者のサポートを強力に行っている。一方、気象研究所では、現業としての運用を行っていないこともあり、それらに相当する部門がない。従って、今後 MRI-NAPEX を長い期間にわたって維持していくためには、専任の担当者がいない中で、MRI-NAPEX を利用する研究者が自主的に管理する必要がある。

研究開発業務の傍らでシステムを維持管理するには、維持管理にかかる負担を軽くしておく必要がある。それには、「別の場所にある同様のシステムとシステム的に共通にする」ことが重要なカギとなる。MRI-NAPEX の制御部分を NPD-NAPEX と完全共通化したことは、MRI-NAPEX の維持管理の面で大きなメリットである。

その意味では、今回の MRI-NAPEX の構築では、本庁と気象研究所のスーパーコンピュータが同じ系列のマシンであったことが大きいといえる。さらに、本庁（清瀬庁舎）のスーパーコンピュータは平成 23 年度末に更新されるが、気象研究所の現在のスーパーコンピュータと同じ型式になる予定である。気象研究所に MRI-NAPEX を定着させるには、計算機の面からも環境が整っているといえる。

NPD-NAPEX のモデルのバージョンは、年に数回、更新されるが、この更新に MRI-NAPEX がきちんと追従していくことが何より重要である。モデルのバージョンの面でも、NPD-NAPEX と共通化しておくことが重要である。気象研究所で新たに開発されたスキームを MRI-NAPEX 本体に登録したいという意見もいずれ出てくると思われるが、それを MRI-NAPEX に含めるのは避けるべきである。これは維持管理上極めて重要な点で、気

象研究所で開発されたものは各自で管理するか、あるいは、MRI-NAPEX 本体とは明確に区別した方法で管理するべきである。少しの差異がきっかけとなって大きく分化してしまうと、管理が困難になりがちである。

MRI-NAPEX を維持するためのもうひとつのカギは、多くの研究者が MRI-NAPEX の利益を体験することである。自らの研究成果を論文として発表するだけでなく、それが業務で活用されれば、研究者として大きな成果となる。多くの研究者が利用し、その利益を体験すれば、積極的に維持管理を担当したいと考える研究者も増えると期待される。数値予報課では、平成 13 (2001) 年に NAPEX の初版が作られて以来、多くの開発者がそれを利用するなかで、NAPEX が必要不可欠のツールという共通認識となった。作成以来 10 年間、多くの開発者の手により維持管理され、改良が続けられている。今後もよりよいものに高められると期待される。気象研究所においても、MRI-NAPEX が研究開発のための共有資産として系統的かつ計画的に維持管理されていくことを期待したい。今回の NAPEX システムの移植と構築に携わった者として、システムが維持され、長く研究及び成果の業務化に貢献できれば、たいへん喜ばしい。

謝 辞

MRI-NAPEX の移植・構築にあたり、気象研究所内の電子計算機システム運営委員会、企画室業務係（電計管理班）には、計算機環境の整備に関して多大な支援を受けました。また、予報部数値予報課には移植の支援体制をとっていただき、プログラム班担当者、数値予報班の NAPEX 担当者をはじめとする多くの方々から技術的なサポートを受けました。SMS/XCDP の導入や長期再解析版の導入については、地球環境・海洋部気候情報課の再解析班からの技術的なサポートを受けました。以上の関係者の方々のご支援に感謝いたします。

略 語 集

AIX : Advanced Interactive Executive
 IBM (株) の UNIX オペレーティングシステム

CTL : Cartridge Tape Library
 カートリッジテープライブラリ (大容量保存装置)

EarthCARE : Earth Clouds, Aerosol and Radiation Explorer
 雲エアロゾル放射ミッション (JAXA が打上予定の観測衛星)

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
 欧州中期予報センター

ESA : European Space Agency
 欧州宇宙機関

EUMETSAT : European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
 欧州気象衛星開発機構

GPM : Global Precipitation Measurement
 全球降水観測計画 (JAXA が打上予定の衛星)

JAXA : Japan Aerospace Exploration Agency
 宇宙航空研究開発機構

JCL : Job Control Language
 数値予報課プログラム班が開発したジョブ制御言語

JRA-25 : Japanese 25-year Reanalysis
 気象庁と (財) 電力中央研究所が実施した長期再解析

MRI : Meteorological Research Institute
 気象研究所

NAPEX : Numerical Analysis and Prediction Experiment system
 数値解析予報実験システム

NAPS : Numerical Analysis and Prediction System
 数値解析予報システム (気象庁本庁の計算機システム)

NPD : Numerical Prediction Division
 数値予報課

NuSDaS : Numerical Prediction Standard Dataset System
 数値予報標準データセットシステム

PBF : Program Build File-format

数値予報課プログラム班が開発したプログラムビルドファイル形式

RENS : Routine Environment for Numerical weather prediction System
 数値予報ルーチン管理システム

SMS : Supervisor Monitor Scheduler
 ECMWF で開発されたジョブ制御のためのスケジューラ

SuperVerif : Super Verification system
 数値予報課で開発・整備されたデータ同化実験検証システム

XCDP : Command and Display Program for X window
 SMS を制御するためのプログラム CDP を可視化したもの

参 考 文 献

大野木和敏 2000 : 開発環境の整備. 数値予報課報告・別冊第 47 号, 気象庁予報部, 134-137.

大野木和敏, 入口武史 2003 : 数値解析予報実験システム NAPEX. 気象庁測候時報, 70, 171-187.

岡本幸三 2011 : 衛星データ同化に関する諸外国の状況. 数値予報課報告・別冊第 57 号, 気象庁予報部, 7-10.

佐藤芳昭 2011 : 各国の衛星計画. 数値予報課報告・別冊第 57 号, 気象庁予報部, 11-17.

吉村裕正, 松村崇行 2004 : セミラグランジュ統一モデル. 数値予報課報告・別冊第 50 号, 気象庁予報部, 51-60.

Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji, and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan, 85, 369-432.

Saito, K., T. Fujita, Y. Yamada, J. Ishida, Y. Kumagai, K. Aranami, S. Ohmori, R. Nagasawa, S. Kumagai, C. Muroi, T. Kato, H. Eito, and Y. Yamazaki, 2006: The Operational JMA Nonhydrostatic Mesoscale Model. Mon. Wea. Rev., 134, 1266-1298.