



JAERI-Research

2006-057



JP0650582

JAERI-Research

## 数値環境システム SPEEDI-MP

Numerical Simulation System for Environmental Studies : SPEEDI-MP

永井 晴康 茅野 政道 寺田 宏明 原山 卓也  
小林 卓也 都築 克紀 金 庚玉 古野 朗子

Haruyasu NAGAI, Masamichi CHINO, Hiroaki TERADA, Takaya HARAYAMA  
Takuya KOBAYASHI, Katsunori TSUDUKI, Keyong-Ok KIM and Akiko FURUNO

原子力基礎工学研究部門  
環境動態研究グループ

Research Group for Environmental Science  
Nuclear Science and Engineering Directorate

September 2006

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)  
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター\*では実費による複写頒布を行つております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

\* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5901

## 数値環境システム SPEEDI-MP

日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門環境・放射線工学ユニット

永井 晴康、茅野 政道、寺田 宏明、原山 卓也<sup>※1</sup>、小林 卓也、

都築 克紀、金 庚玉<sup>※2</sup>、古野 朗子

(2006年7月31日受理)

数値実験による様々な環境研究に資することのできる環境研究ツール「数値環境システム SPEEDI-MP」の構築を行った。SPEEDI-MP は、大気、陸域、海洋の物理モデル及び物質循環モデル等の数値実験ツール、数値実験ツールの入力として用いる気象データ、地図情報データ等のデータベースと、データ管理、可視化及び GUI を用いた制御機能からなる支援機能により構成される。数値実験ツール開発の一環として、多数のモデルを結合できるモデルカップラーを開発した。モデルカップラーは、複数のモデルを同時進行で平行計算させモデル間で計算結果を交換することにより、モデルを一体化したのと同等な結合状態を作り出すことができる。このモデルカップラーを用いて、大気、海洋、波浪、陸水、及び地表モデルの 5 モデルからなる水循環結合モデルシステムを開発した。支援機能は Web ベースの GUI で操作可能であり、ユーザーは各自の PC からインターネット経由でシステムの全機能を使用可能である。システムに導入された放出源推定機能については、ITBL のグリッド・コンピューティングを活用して多数の計算機からなる分散環境での計算実行可能なシステムを開発した。また、水循環結合モデルシステムの適用試験として、サウジアラビアにおける 2005 年 1 月の洪水再現計算及び 2005 年 8 月のハリケーン・カトリーナによる高潮再現計算を実施した。

---

原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

※1 技術開発協力員（財団法人高度情報科学技術研究機構）

※2 博士研究員

Numerical Simulation System for Environmental Studies: SPEEDI-MP

Haruyasu NAGAI, Masamichi CHINO, Hiroaki TERADA, Takaya HARAYAMA<sup>\*1</sup>, Takuya KOBAYASHI,  
Katsunori TSUDUKI, Keyong-Ok KIM<sup>\*2</sup> and Akiko FURUNO

Division of Environment and Radiation Sciences  
Nuclear Science and Engineering Directorate  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 31, 2006)

A numerical simulation system SPEEDI-MP has been developed to apply for various environmental studies. SPEEDI-MP consists of dynamical models and material transport models for the atmospheric, terrestrial, and oceanic environments, meteorological and geographical database for model inputs, and system utilities for file management, visualization, analysis, etc., using graphical user interfaces (GUIs). As a numerical simulation tool, a model coupling program (model coupler) has been developed. It controls parallel calculations of several models and data exchanges among them to realize the dynamical coupling of the models. A coupled model system for water circulation has been constructed with atmosphere, ocean, wave, hydrology, and land-surface models using the model coupler. System utility GUIs are based on the Web technology, allowing users to manipulate all the functions on the system using their own PCs via the internet. In this system, the source estimation function in the atmospheric transport model can be executed on the grid computer system. Performance tests of the coupled model system for water circulation were also carried out for the flood event at Saudi Arabia in January 2005 and the storm surge case by the hurricane KATRINA in August 2005.

Keywords: SPEEDI-MP, ITBL, Numerical Simulation, Environmental Studies, Coupled Model System, Web GUI, Visualization

---

<sup>\*1</sup> Cooperative Staff (Research Organization for Information Science and Technology)

<sup>\*2</sup> Post-Doctoral Fellow

## 目次

1. 緒言	1
2. システムの構成	2
3. 数値実験ツール	4
3. 1 モデルカップラーの開発	4
3. 2 水循環結合モデルシステム	6
4. 支援機能	7
4. 1 ユーザー認証・管理機能	8
4. 2 ファイル管理機能	8
4. 3 データ変換・解析機能	8
4. 4 モデル実行機能	9
4. 5 可視化機能	9
4. 6 画像データベース	10
4. 7 WSPEEDI システムメニュー	15
4. 8 NetCDF アクセスルーチン	15
5. ITBL の活用	16
6. 適用研究	18
6. 1 乾燥地の水循環予測	18
6. 2 高潮再現計算	21
7. まとめ	23
謝辞	24
参考文献	24
付録：数値環境システム SPEEDI-MP 主要機能 GUI 画面	26

## Contents

1. Introduction	1
2. System framework	2
3. Numerical models	4
3.1 Model coupler	4
3.2 Coupled model system for water circulation	6
4. System utilities	7
4.1 User access control	8
4.2 File manager	8
4.3 Data conversion and analysis	8
4.4 Model execution	9
4.5 Visualization	9
4.6 Graphic file database	10
4.7 WSPEEDI system menu	15
4.8 NetCDF access routine	15
5. Utilization of ITBL	16
6. Applications	18
6.1 Simulation of water cycle at arid regions	18
6.2 Storm surge simulation	21
7. Summary	23
Acknowledgements	24
References	24
Appendix: GUIs of major system utilities	26

## 1. 緒言

近年、アジアでの原子力施設の増加、国内核燃料サイクル施設の稼動、原子力軍艦の寄港、核テロなど、公衆への被ばくの潜在的 possibility は多様化・増加している。原子力事故時等の緊急時対策には、放射性物質の大気放出による早期の直接的な被曝防護と、大気から土壤や海洋への移行に伴う、中・長期的なモニタリングや食物摂取制限・立ち入り制限がある。早期対応に必要な情報を探求するシステムとしては、緊急時環境線量情報予測システム SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information)<sup>1)</sup> 及び世界版 SPEEDI (WSPEEDI)<sup>2)</sup> をこれまでに開発し、現在 SPEEDI が「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム」<sup>3)</sup> として文部科学省により運用されている。しかし、中・長期的な対策に必要な基礎情報を提供するためには土壤や海洋への拡散予測も必要であるが、そのような機能を持つ予測システムは存在しない。また、放射性物質は気圏、陸圏及び水圏を物理・化学的状態を変えて移行・循環し、公衆はその一部をいろいろな過程を経て摂取する。このような状況に包括的に対応するためには、放射性物質の大気・海洋・陸域での移行挙動を連続的に扱うことのできる新たな包括的数値シミュレーション技術が不可欠であり、大気、海洋、地表モデル群の同時計算とダイナミックリンクにより、水分、熱、運動量、汚染物質等の各圏間の相互作用を詳細に考慮できる局地規模の数値環境を開発する必要がある。

本研究開発では、最新の数値シミュレーション技術を基盤とした大気、海洋、陸域環境モデルと環境中物質循環モデル、データ管理、可視化及び GUI を用いた制御機能から成る「数値環境システム SPEEDI-MP (SPEEDI Multi-model Package)」を開発し、日本原子力研究開発機構（原子力機構）と理化学研究所が開発した ITBL (Information Technology Based Laboratory)<sup>4)</sup> 基盤上への構築を進めている。SPEEDI-MP は、目的に応じて必要なソフトウェアを組み合わせることで、原子力事故時の早期対応から中・長期的な対策に必要な予測情報の提供が可能であるとともに、数値実験による様々な環境研究に資することのできる環境研究ツールである。システム開発は、物質動態に関する数値モデルに未開発部分があるが、それらを除く環境モデル及び数値実験支援機能からなるシステム構想をほぼ実現した。これにより、本研究開発は、システム開発・試験段階から本格的なシステム運用及び環境問題への適用段階に移行することになる。

本報告では、数値環境システム SPEEDI-MP のうち開発を完了した数値実験ツール群及び支援システムについて記述するとともに、本システムを試験的に適用した事例を紹介する。

## 2. システムの構成

数値環境システム SPEEDI-MP は、高速ネットワークで接続された大規模並列計算が可能な大型計算サーバー、データ解析、可視化及び制御用サーバー、及びデータ保存用ファイルサーバーからなるハードウェア群、気象データや地理情報データ等のデータベース、環境シミュレーションを行う数値実験ツール群、及びこれらの制御やデータ可視化を簡便に行うための支援ソフトウェア群により構成される（図 1）。計算サーバーとしては、原子力機構システム計算科学センターの並列計算機システム SGI-Altix3700Bx2 を用いており、通常 128CPU まで、許可申請により最大 1536CPU までの並列計算を実行可能である。制御サーバーとしては Linux-PC サーバーを用い、モデル計算の前処理、計算条件の設定と実行制御、結果の解析及び可視化、データベースの管理等を行う。ファイルサーバーとしては、1 テラバイトを超えるネットワーク接続ハードディスクを用いている。この他にオンライン気象データ取得用の Linux-PC サーバーもあり、これらのサーバー群がギガビットの高速ネットワークで接続されている。

本システムの特徴は、数値実験ツール群に導入したモデル結合機能（モデルカップラー）により目的に応じてモデルを組み合わせることで様々な環境研究に適用可能な結合モデルシステムを構築できることと、支援ソフトウェアにおける Web ベースのグラフィカル・ユーザー・インターフェイス（GUI）の採用にある。また、システムの統一データフォーマットとして、異なるサーバープラットフォームでの互換性がある NetCDF（Network Common Data Form）<sup>5)</sup>を採用し、各種サーバー間でのデータ共有を可能としている。これらについては、3 章及び 4 章で詳細に記述する。Web ベースの GUI の有用性は、システムのユーザーが各自の PC からインターネット経由でシステムにログインし、大規模数値実験からデータ解析、高度な可視化まで Web ブラウザー上に表示された操作メニューに従い簡便に実行できる点にある。これにより、遠隔地からでもインターネットに接続された PC さえあれば原子力機構内のユーザーと同様に本システムを利用できる。従って、大規模な計算資源を持たない研究機関、大学、企業や自治体などのユーザーが、それぞれの所在場所に居ながらにして本システムが提供する環境研究ツールや予測システムを利用できることになり、共同研究、研究資源の提供、成果の社会還元などの新たな形態を創出することが期待できる。

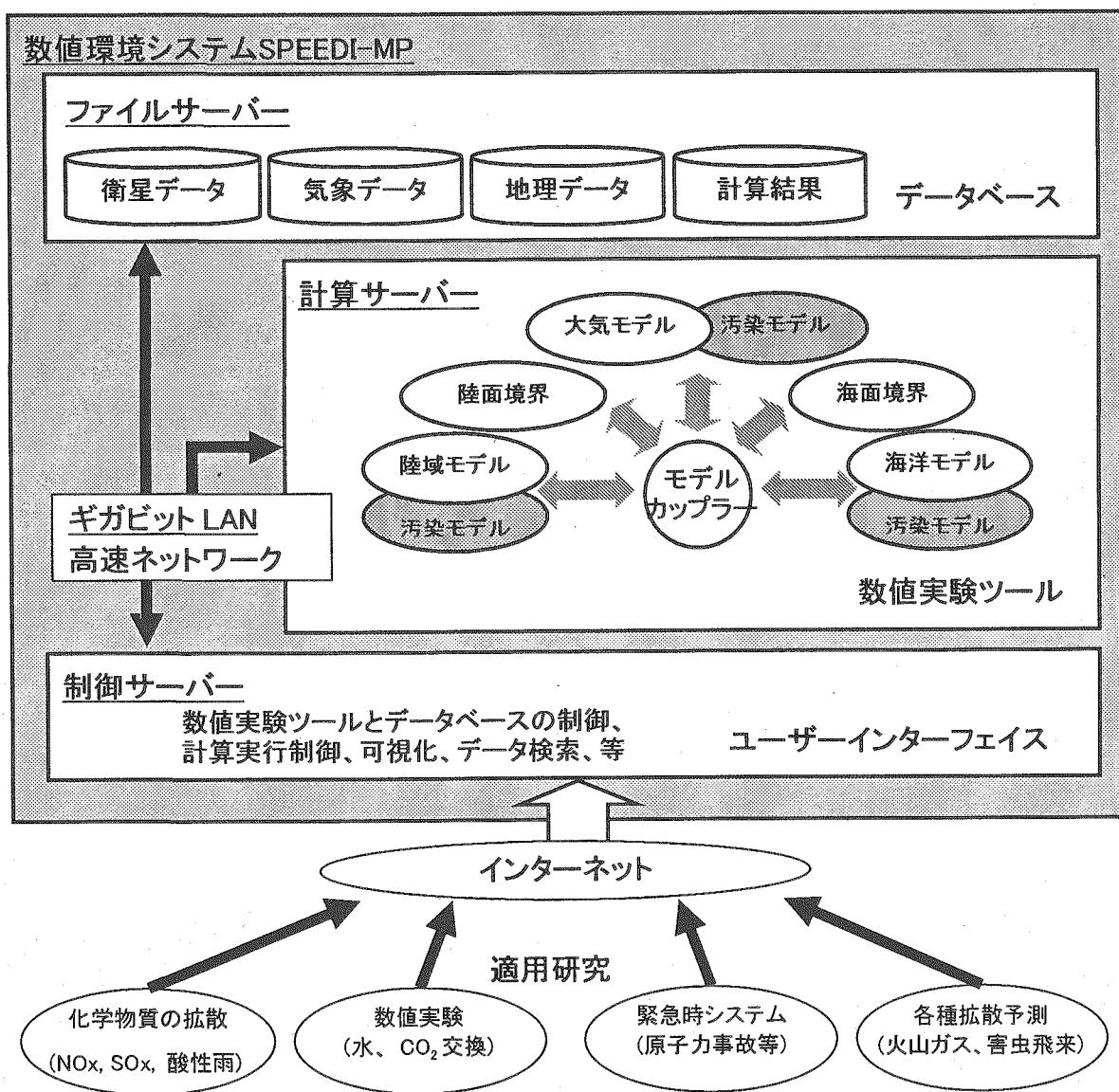


図 1 数値環境システム SPEEDI-MP の構成

### 3. 数値実験ツール

数値環境システム SPEEDI-MP の数値実験ツールとしては、大気、陸域、海洋それぞれについての数値モデル群が登録され、システム上で実行可能となっている。また、これらのモデルの同時計算とダイナミックリンクにより、各圈間の相互作用を詳細に考慮できるモデル結合機能を提供するモデルカップラーも開発し、各種結合モデルシステムを構築している。先に述べたように、このモデルカップラーによる結合モデルシステムの構築が本システムの数値実験ツールの特徴であり、原子力事故時の早期対応から中・長期的な対策に必要な予測情報の提供が可能であるとともに、数値実験による様々な環境研究に資することのできる環境研究ツールを実現する上で不可欠なソフトウェアである。本章では、このモデルカップラーとこれにより構築された結合モデルシステムについて記述する。

#### 3. 1 モデルカップラーの開発

数値環境システム SPEEDI-MP の数値実験ツールにおける最終的な目標である大気、海洋、陸域を結合した包括的物質動態モデルを実現するために、多数のモデルを結合できるモデルカップラーの開発を行った。本カップラーは、複数のモデルを同時進行で平行計算させ、並列計算の通信ライブラリ MPI を用いてモデル間で計算結果を交換することにより、モデルを一体化したのと同等な結合状態を作り出すことができる（図 2）。複合系の運動計算において、従来は各系のモデル計算を逐次実行し計算結果をファイルに格納して受け渡すためモデル間相互作用のうち一方ののみ考慮していただけであるが、モデルカップラーを用いることで双方の相互作用を考慮できるようになり、ファイル保存領域の制限を受けないため頻繁な計算結果の交換も可能である。カップラーの適用例としては、図 3 に示すような大気一海洋を結合した汚染物質拡散同時予測システムがあるが、大気一海洋間の交換を伴う拡散現象、例えば、大気汚染物質が海面に沈着し海洋中を輸送される事例や、海洋上の汚染物質から揮発した有害成分が大気中を拡散する事例などに適用することが可能である。

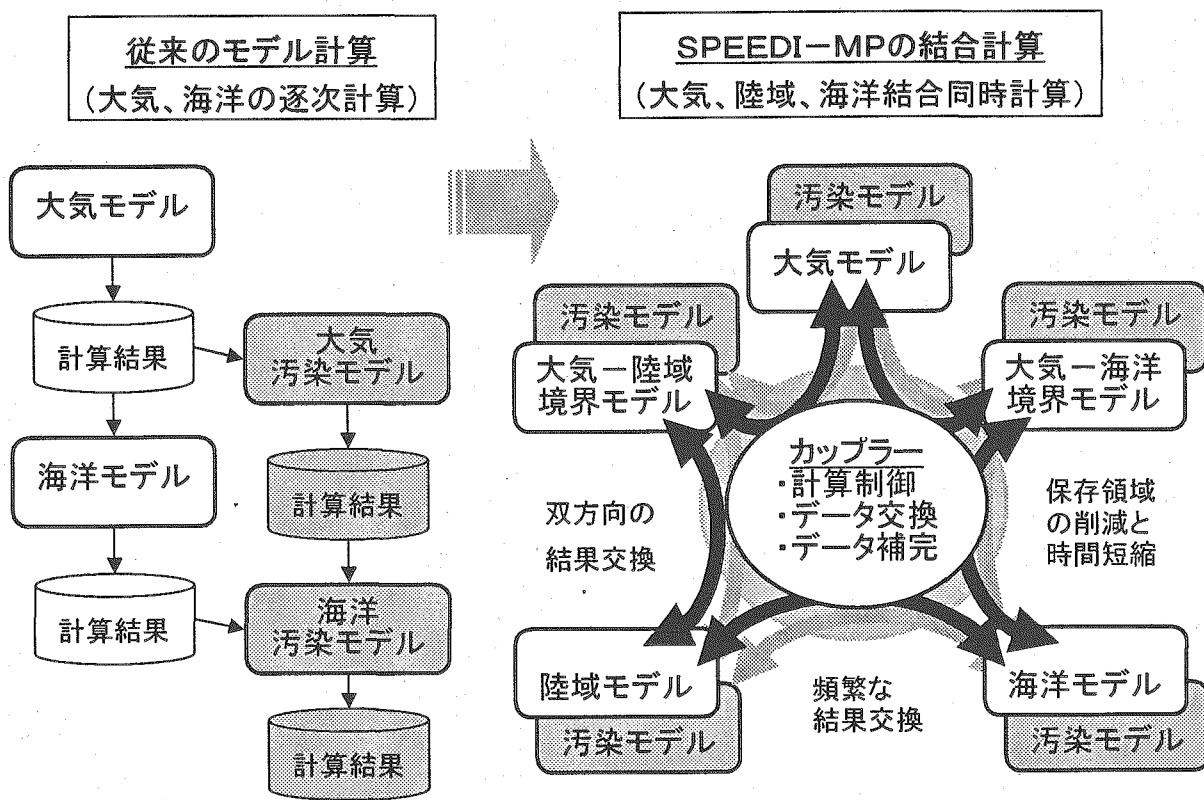


図2 数値環境システム SPEEDI-MP のカップラーによるモデル結合の概念

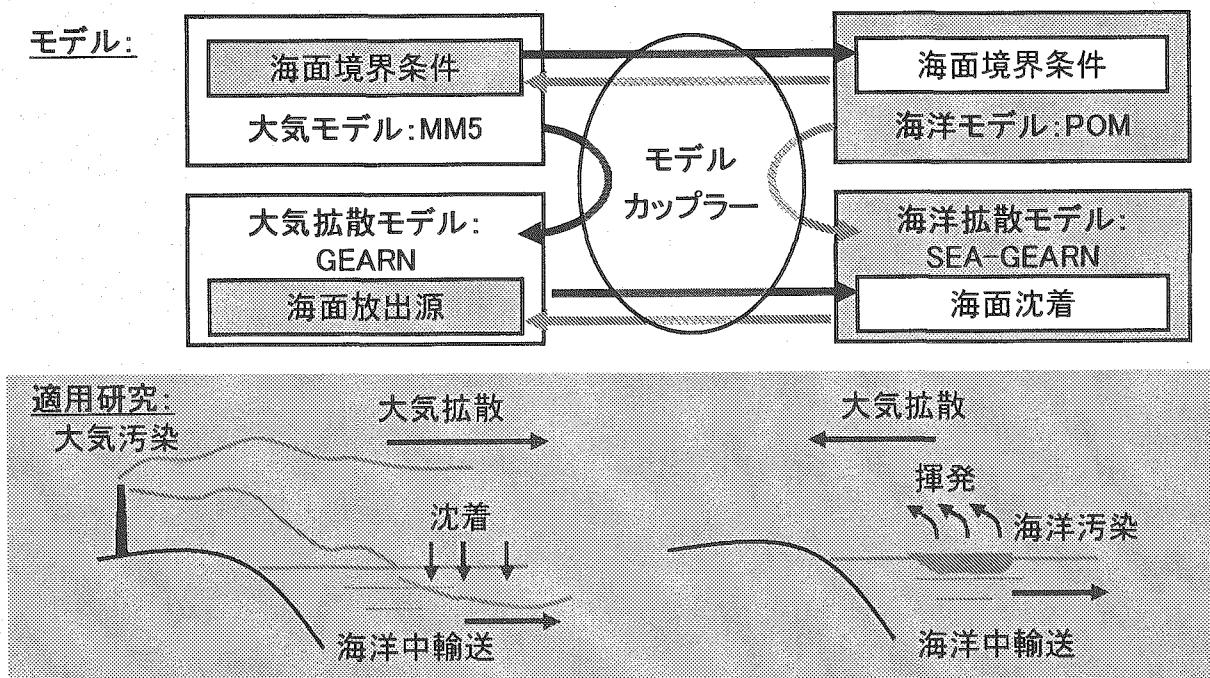


図3 数値環境システム SPEEDI-MP の大気一海洋を結合した汚染物質拡散同時予測システムのモデル構成と適用研究

### 3. 2 水循環結合モデルシステム

カップラーによる結合モデル開発として、これまでに図4に示すような物質動態の媒体となる水循環についての結合モデル開発を完了した。本結合モデルシステムは、大気モデル、海洋モデル、波浪モデル、水文モデル、及び陸面モデルの5モデルを結合したものである。大気モデルには、ペンシルバニア州立大学と米国大気研究センター(NCAR)が開発した非静力大気力学モデル(MM5)<sup>6)</sup>、海洋モデルには、プリンストン大学海洋モデル(POM)<sup>7)</sup>、波浪モデルには、米国海洋大気局(NOAA)の第3世代海洋波浪推算モデル(WW3)<sup>8)</sup>、陸面及び水文モデルには、日本原子力研究開発機構で開発した多層陸面モデル(SOLVEG)<sup>9), 10)</sup>及び3次元水文モデル(RIVERS)<sup>11)</sup>をそれぞれ用いている。カッplerを用いた結合手法は、このような複雑な結合モデルシステムを構築する上で非常に有効な特徴を有する。各モデルの修正は、データ交換を行うモジュールを追加するだけで、計算コードの構成は元のまま維持される。これにより、定期的にアップグレードされるMM5のようなコミュニティーモデルを用いる場合のバージョンアップの適用や、新たなモデルの導入など、結合モデルシステムを常に最新の状態に保つための労力が大幅に低減される。また、モデルカッplerの補間機能により、モデル毎に異なる時間ステップや格子間隔を用いるなど、柔軟な適用が可能である。

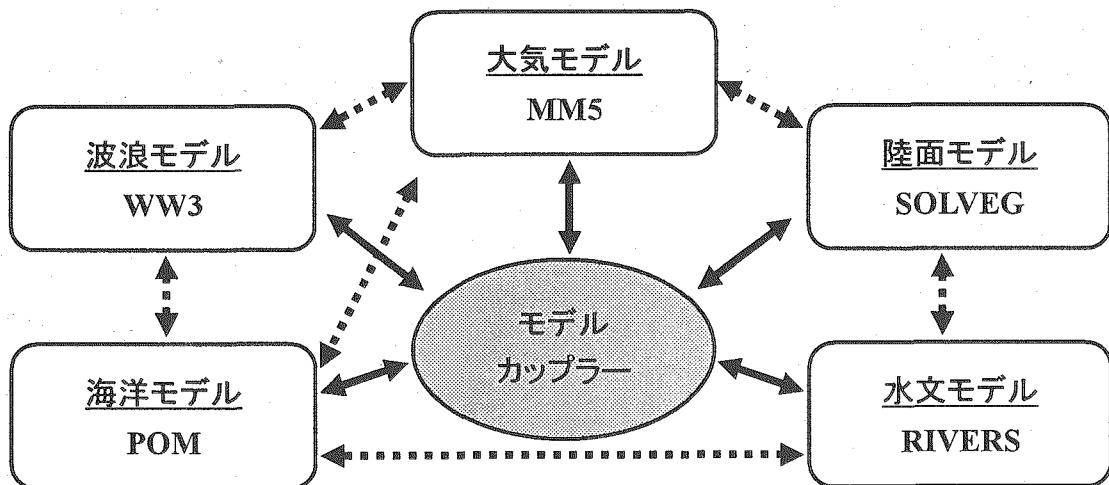


図4 大気・海洋・陸域結合水循環モデルの相互作用(破線矢印)とデータ交換(実線矢印)

#### 4. 支援機能

数値環境システム SPEEDI-MP の数値実験支援機能として、モデルの計算実行、データベースの管理、計算結果の可視化などの制御を Web ベースの GUI で行うことができるソフトウェアを開発した（図 5）。Web ベースの GUI の採用により、システムのユーザーは各自の PC からインターネット経由でシステムにログインし、大規模数値実験からデータ解析、高度な可視化まで Web ブラウザ上に表示された操作メニューに従い簡便に実行可能である。また、システムの統一データフォーマットとして、異なるサーバープラットフォームでの互換性がある NetCDF を採用している。可視化機能はこの NetCDF 統一フォーマットのデータを対象としているが、外部から取得したデータを統一フォーマットに変更する機能や、計算結果を統一フォーマットで出力するためのアクセスルーチンライブラリも整備した。これらの機能について、以下に記述する。また、主要機能の操作と GUI 画面遷移の様子を付録にまとめた。

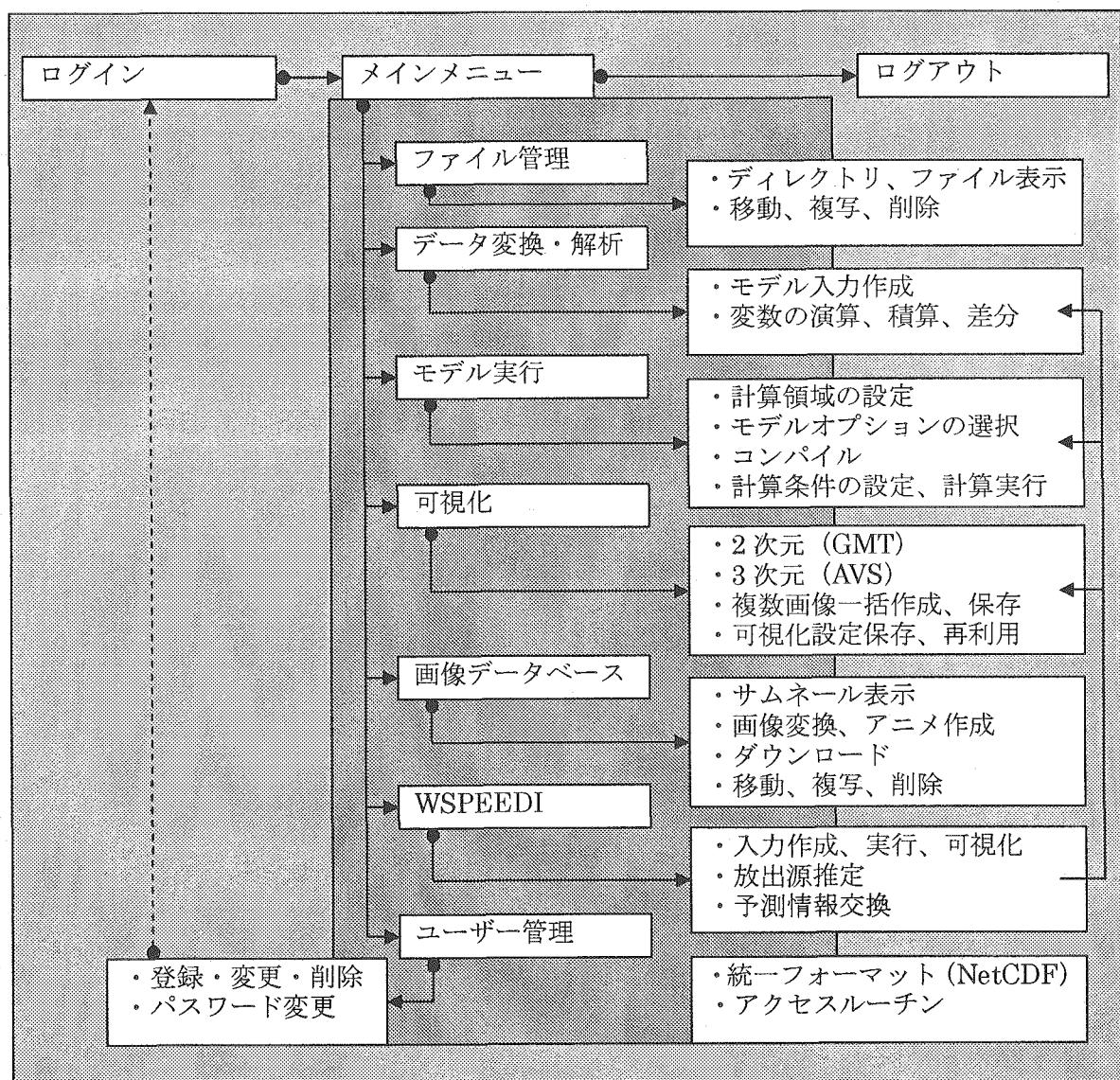


図 5 数値環境システム SPEEDI-MP の数値実験支援機能一覧

#### 4. 1 ユーザー認証・管理機能

数値環境システム SPEEDI-MP の利用者は、インターネット経由でシステムログイン用 Web ページにアクセス（図 A1）し、登録されたユーザー ID とパスワードで認証を行いシステムにログインすることでシステムを利用することができる。この際のユーザーログイン情報を管理するために、ユーザーの新規登録、変更、削除等の管理機能と、各ユーザーのパスワード変更機能が整備されていて（図 A2）、システムの Web 画面上の操作により実行可能である。

#### 4. 2 ファイル管理機能

システムのファイルサーバーに格納されているデータベース、計算結果、可視化ファイル等の管理機能として、システムの Web 画面上で操作可能なツールが整備されている（図 A3）。ファイル管理ツールの機能は、以下のとおりである。

- ・ ディレクトリ表示： ディレクトリの階層を表示し指定ディレクトリへの移動を制御する。
- ・ ファイル一覧表示： 指定したディレクトリ配下のファイル一覧を表示する。
- ・ ファイル属性表示： ファイルの各種情報（属性）を表示する。
- ・ ファイル移動： 指定したディレクトリにファイルを移動する。
- ・ ファイル複写： 指定したファイルを複写する。
- ・ ファイル削除： 指定したファイルを削除する。
- ・ ファイル退避： 指定したファイルを外部装置へ退避する。

#### 4. 3 データ変換・解析機能

システムのデータベースまたは外部から入手したデータを基に、モデル計算の入力データを作成する機能及び、計算結果の解析機能が整備されている。入力データ作成機能では、主に気象データを対象として、入手したデータフォーマットから気象モデル MM5 の入力フォーマットへの変換とシステムで可視化可能な統一フォーマットである NetCDF 形式のファイル作成を行う。現在、システムの GUI 操作で以下のデータ変換及び気象モデル MM5 入力作成プログラム PREGRID 実行が可能である（図 A4）。

- ・ 気象庁数値予報データ（全球）GPV-GSM
- ・ 気象庁数値予報データ（日本域）GPV-RSM
- ・ 気象庁客観解析データ（全球）GANAL
- ・ 気象庁客観解析データ（日本域）RANAL
- ・ 気象庁 AMeDAS データ
- ・ 米国 NCEP/NCAR 再解析データ
- ・ 海面温度

計算結果の解析機能では、統一フォーマットの NetCDF ファイルに格納された配列変数に対して各種演算を行うことで新たな変数を生成し、ファイルに追加する。この操作は、選択した複数のファイルについて一括処理することができる。統一フォーマットでは、モデル出力変数を時刻単位で同一ファイルに格納するが、同一ファイル内の各種変数間の演算だけでなく、時刻の異なるファイル間における同一変数の積算及び差分を作成することができる。また、不要な変数を削除

してファイル容量を削減することもできる（図 A5）。

#### 4. 4 モデル実行機能

本機能により、システムに登録された数値モデルの設定から実行までを Web 画面上の操作により迅速かつ正確に行うことができる。通常数値モデルの実行までには、目的に合わせた計算領域の設定、各種モデルオプションの選択、コンパイル、計算条件の設定等の複雑な処理や操作が必要であり、熟練したモデル利用者であっても多大な労力を費やしている。システムのモデル実行では、これらの作業を Web 画面上で視覚的な補助に従って行い、多数のファイルにまたがる設定情報の継承等も可能であるので、計算実行までの労力を大幅に低減することができる。また、初歩的なユーザーの入門用としても有効である。本機能を利用できるシステム登録モデルは、気象モデル MM5（図 A6～A12）、大気拡散モデル GEARN<sup>12)</sup>（図 A13～A15）、放出源推定モデル GEARN-ME<sup>13)</sup>（図 A16～A19）、海洋モデル POM（A20～A24）である。また、水文モデル RIVERS については、計算実行に必要な各種入力ファイルを作成するプリプロセッサーまでの実行が可能であり（図 A25～A27）、前述の水循環結合モデルシステムについては、結合した各モデルの制御及びモデル間データ交換の制御のための設定ファイルを作成し、計算を実行する機能が整備されている。

気象モデル MM5 の実行では、新規に計算実行する場合と、一度計算実行したケースについて計算期間のみ変更して実行する場合（既定計算）について、異なる制御画面を整備してある（図 A6）。新規実行では、計算設定や入力作成のためのプリプロセッサーの実行とコンパイルを全て行う必要があるが、既定計算では、プリプロセッサーは計算期間の変更のみで一括実行し、計算実行も簡易画面で設定できる。この機能は、ルーチン的な気象場予測に便利であるばかりでなく、WSPEEDI の実行において、原子力サイト毎に計算領域から詳細なモデルパラメータまで計算環境を事前に準備しておけば計算期間のみの最小限の入力だけで即座に実行可能となり、緊急時対応にも有効である。

#### 4. 5 可視化機能

計算結果の可視化においては、2 次元可視化ツール GMT（The Generic Mapping Tools：フリーソフトウェア）<sup>14)</sup>（図 A28～A31）及び 3 次元可視化ツール AVS（Advanced Visual Systems：市販ソフトウェア）（図 A32～A35）について Web 画面で操作する機能を整備した。この可視化システムは、複数のデータを重ね合わせることや複数時刻データを同一手法で一括して可視化して保存することも可能である。さらに、後述の画像データベース機能では、保存した多数の画像を編集して CG アニメーションを容易に作成することもでき、空間及び時間に関する 4 次元配列を持つ環境シミュレーションの膨大な出力を効率的に解析することに資することができる。

可視化例を図 6（2 次元可視化）及び図 7（3 次元可視化）に示す。本機能では、異なるデータをそれぞれ 2 次元平面及び 3 次元空間においてコンター図、ベクトル図、等値面図などの手法で可視化し、さらに海岸線、行政界などの地図情報と合わせて 1 つの画面に重ね合わせることができる。GUI 画面においては、1 つのデータを 1 つのレイヤーとして設定、可視化を行い、各データの可視化レイヤーを重ね合わせることで上記機能を実現している。可視化レイヤーは一般化され

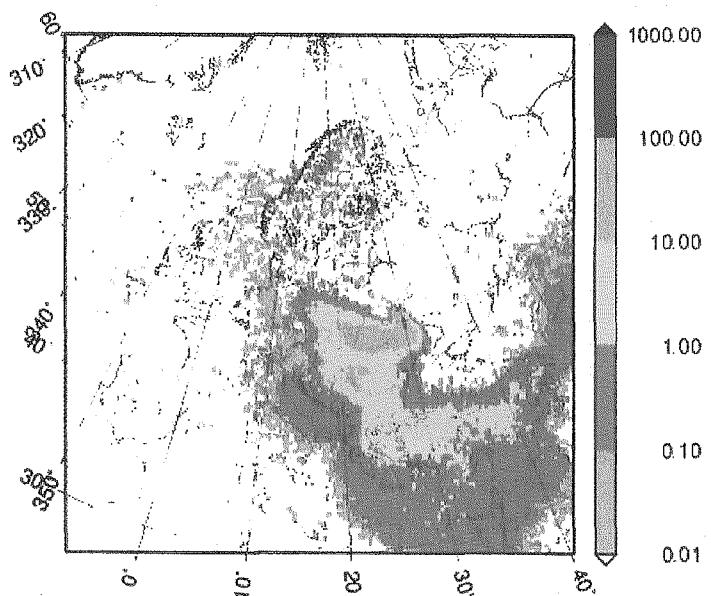
種々のデータ及び可視化手法に対応しており、デフォルトの可視化パラメータを用いて簡易に可視化を行うこともできるが、詳細パラメータを自由に設定して目的に応じた最適な可視化を行うことができる。しかし、多数のレイヤーを重ね合わせた複雑な可視化では、この可視化情報の設定は煩雑であるため、可視化設定情報を保存しておく、可視化設定の際に過去に保存した情報をロードして設定処理を簡略化できる機能も有する。

可視化情報の保存では、作成した画像ファイルの保存の際に、全レイヤーの詳細設定情報を含む XML ファイルを生成し、画像のアイコンと併せて所定のディレクトリに保存する。可視化を行う際には、可視化設定 GUI で可視化を行うデータファイルを指定後、以前保存した設定情報をロードする画面を開き、レイヤー情報や画像アイコン等を参考に利用したい保存情報を選択しロードする。可視化設定情報がロードされると、保存情報と同じレイヤー構成、各レイヤーの可視化手法、データ、詳細パラメータが GUI に反映され、画像作成ボタンをクリックするだけで、前回と同じ可視化画像を作成できる。

#### 4. 6 画像データベース

本機能では、前述の可視化機能により作成し保存された画像ファイルについて、サムネールによる一覧表示や動画作成、画像データ形式変換、画像データのダウンロード等の操作を行うことができる。画像データベースの操作は、Web 画面上に表示されるイメージキャビネットにより制御される（図 A36）。システムに保存された画像ファイルは、ディレクトリ単位でサムネールがテーブル状に表示される。そのサムネールをクリック選択することにより、オリジナルサイズの画像（JPEG）が表示されるとともに、画像データ作成時の情報（可視化パラメータ等）も表示される。キャビネット上で選択した画像は、画像ファイルの形式変換、複写、移動や削除、及びユーザーの PC 上へのダウンロードが可能である。また、選択した複数の画像を元にアニメーションファイル（MPEG、アニメーション GIF）を作成することもできる（図 A37）。

(a)

Surface Conc. of Cs-137 (Bq/m<sup>3</sup>) 1986-05-06\_00h

(b)

MM5 wind and TS 2005-01-21\_10h00m00s

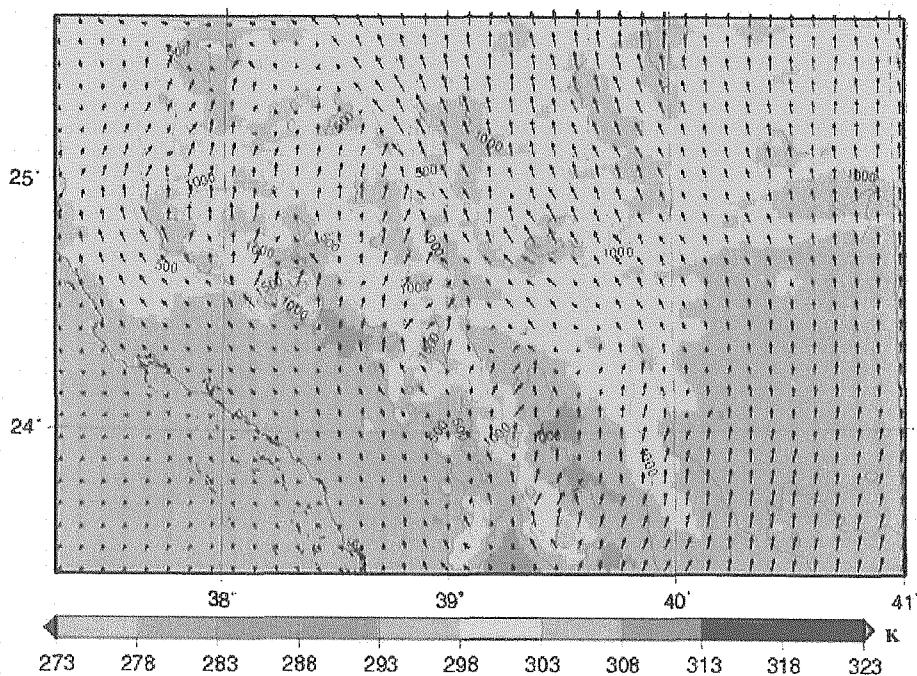
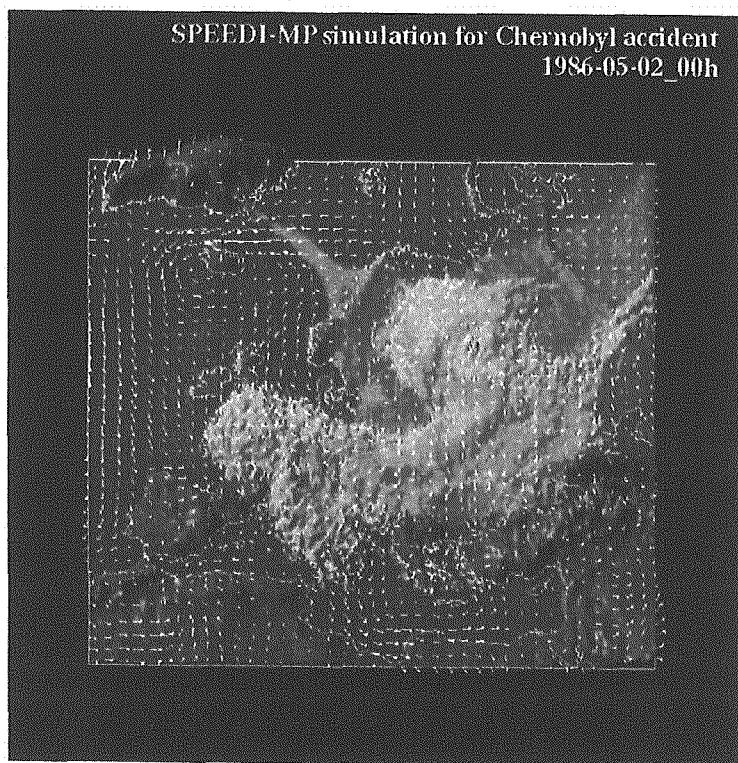


図 6 2 次元可視化例：(a) 大気拡散モデル GEARN の地表面沈着量（青～赤のグラデーション）と海岸線及び国境線の重ね合わせ、(b) 気象モデル MM5 の風速場（ベクトル）及び地表面温度（青～赤のグラデーション）と海岸線及び標高（センター）の重ね合わせ。

This is a blank page.

(a)



(b)

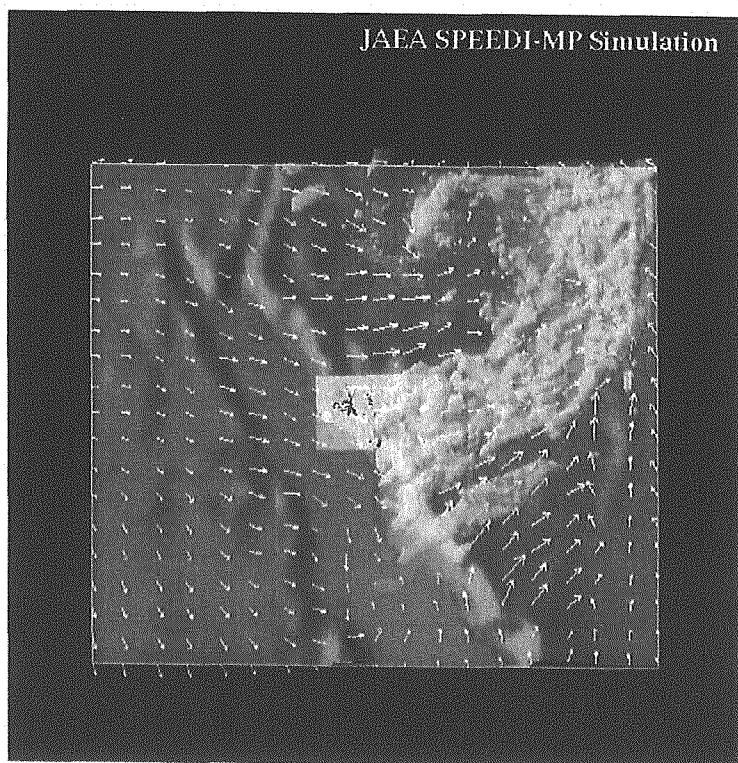


図 7 3 次元可視化例 : (a)気象モデル MM5 の風速場 (ベクトル)、大気拡散モデル GEARN の大気中濃度 (等値面を透過性の白色) 及び地表面沈着量 (青～赤のグラデーション) と地形及び海岸線の重ね合わせ、(b)気象モデル MM5 広域計算の風速場 (ベクトル)、雲量 (等値面を透過性の白色) 及び降水強度 (青～赤のグラデーション) と MM5 局地計算 (中央の明るい矩形範囲内) と結合した水文モデル RIVERS の地表水分布 (水色～青のグラデーション) の重ね合わせ。

This is a blank page.

#### 4. 7 WSPEEDI システムメニュー

原子力事故時等の緊急時における放射性物質の大気放出に対する早期対応に必要な情報を提供するシステムとして、WSPEEDI を改良し数値環境システム SPEEDI-MP への導入を行った。WSPEEDI 改良版では、米国大気研究センターNCAR の湿潤大気モデル MM5 と広域大気拡散モデル GEARN を結合し、MM5 で計算される詳細な気象場の利用及び GEARN の降水沈着計算の改善により予測性能の向上を図っている。また、MM5 のネスティング計算機能を用いることで、世界中の任意の地点の放出に対して、放出点周辺の詳細な気象場を考慮した局地計算と、広範囲への拡散予測を行う広域計算を同時にすることも可能である。MM5 による大気計算は、狭域が広域の内部にあり、同時計算をしながら狭域の境界で双方の境界データを交換することで、内側と外側で合理性のある大気場が計算される。大気拡散計算では、発生源が狭域にあり、狭域から広域に流出した汚染物質は広域計算で考慮され、再び狭域に侵入すると狭域計算で考慮される。これにより、高分解能計算が必要な発生源近傍における初期拡散から広域拡散まで連続的な予測が可能である。

本システムメニューは、WSPEEDI 予測を的確かつ迅速に行うことができるよう、入力データの作成から、気象場計算、拡散計算、可視化までの一連の操作を手順に従ってまとめたものである（図 A38）。また、本メニューには、大気拡散モデル GEARN の大規模並列計算による放出源推定機能（後述）及び国外の同種予測システムとの情報交換機能も含まれている。

#### 4. 8 NetCDF アクセスルーチン

システムの統一データフォーマットとして、異なるサーバープラットフォームでの互換性がある NetCDF を採用している。また、システムで定めた規則に従い NetCDF ファイルを作成することにより、システムの可視化機能によりデータの 2 次元 (GMT) 及び 3 次元 (AVS) 可視化を行うことができる。モデル実行機能を整備した気象モデル MM5、大気拡散モデル GEARN 及び海洋モデル POM については NetCDF でのモデル出力も整備されているが、利用者が各種モデルに NetCDF での出力を任意に組み込むことができるよう汎用的なアクセスルーチンの整備も行った。アクセスルーチンには、出力データ情報ファイルに基づき NetCDF ファイルを生成するルーチン、生成したファイルにデータを書き込むルーチン、指定した NetCDF ファイルを開くルーチン、開いたファイルからデータを読み出すルーチン、及びファイルを閉じるルーチンがある。NetCDF ファイルは、生成時にデータ格納領域を確保するため、必要な情報を出力データ情報ファイルに記述して準備しておく必要がある。データの書き込みと読み出しには、各ルーチンの引数に変数名や配列情報を記述するだけでよい。

## 5. ITBL の活用

システムに導入した WSPEEDI 改良版には、大気拡散物質の放出源を推定する機能が含まれる。放出源推定では、図 8 に示すように、想定される地点、開始時間、継続時間、放出率の組み合わせによる膨大な数の放出源候補（例えば、放出点候補 50、開始時刻 50、継続時間 20 ケースとすると総候補は 50000 ケース）それぞれのケースについて大気拡散計算を行い、モニタリングデータを最も良く再現するケースを統計解析により決定することで放出源情報の推定を行う。従って、膨大な数の計算実行が必要であるが、各ケースはそれぞれ完全に独立しているためケース分割により高い並列化効率が期待できる。しかし、いつ発生するかわからない事故に対して、常に膨大な CPU 資源を占有できる状態で計算機を待機させることは不可能であり、通常の計算機運用の範囲で対応することになる。このため、ITBL のグリッド・コンピューティング (ITBL-Grid) を活用して多数の計算機にケースを振り分け、通常運用では実現不可能な大規模並列計算を実施することは、事故時に迅速かつ効率的に計算実行するために有力な手法と考えられる。

この大規模放出源推定計算を実現するために、WSPEEDI 放出源推定システムを ITBL-Grid で分散計算を実行できるように改良するとともに、ITBL-Grid 上の各計算機にどのように計算を割り当てれば最も早く結果が得られるかを推定できるツールの開発を行った。このシステムの実行では、まず設定した計算条件によるケース数に対して最適割り当て推定ツールを起動し、ITBL-Grid 上の計算機の運用状況を考慮して最適な分配を決定する。この結果に基づき各計算機に分配したケースの計算が自動的に投入される。各計算機は、分配されたケースについて大気拡散計算及び統計解析によるモニタリングとの一致度の指標を求める。この結果は 1 つの計算機に集約され最も一致度の高い指標のケースの放出源情報が推定値として決定される。本システムは、ITBL-Grid 上にある原子力機構の Altix3700Bx2、PRIMEPOWER、SX-6、pSeries690、宇宙航空研究開発機構の PRIMEPOWER、理化学研究所の SX、及び物質・材料研究機構の SR1100 で実行できるように整備した。今後、様々なケースについて試験計算を実施し、システムの性能評価を行う計画である。

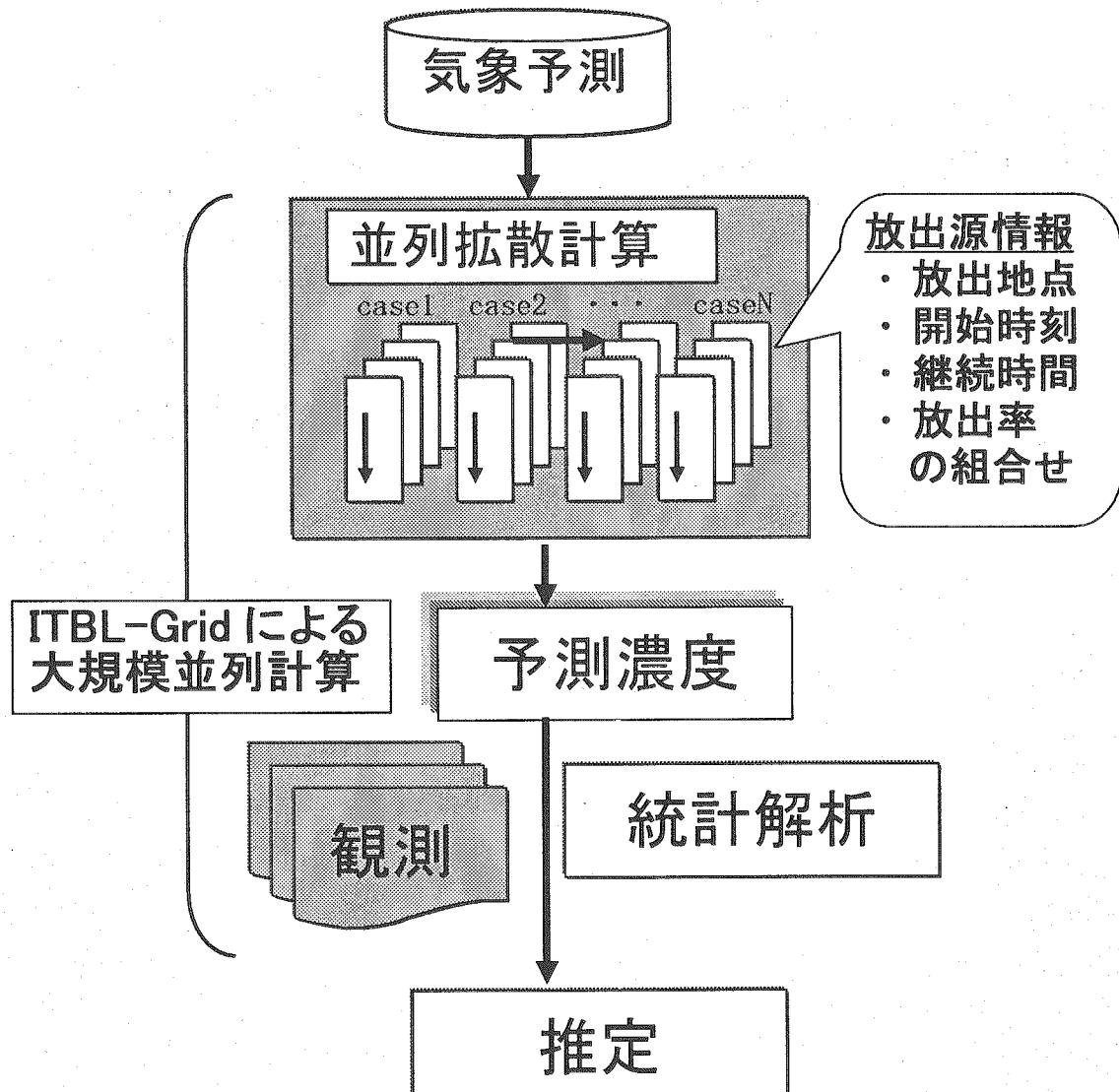


図 8 WSPEEDI 放出源推定計算の流れ。

## 6. 適用研究

数値環境システム SPEEDI-MP の数値実験ツールとしては、大気、陸域、海洋それぞれについての数値モデル群を整備するとともに、これらのモデルの同時計算とダイナミックリンクにより、各圏間の相互作用を詳細に考慮できるモデル結合機能を提供するモデルカップラーを開発し、各種結合モデルシステムを構築している。カップラーによる結合モデル開発として、これまでに物質動態の媒体となる水循環についての結合モデル開発を完了した。本章では、この水循環結合モデルシステムの適用研究について記述する。

### 6. 1 乾燥地の水循環予測

文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」(2002~2006 年) の課題「広域水循環予測及び対策技術の高度化」<sup>15)</sup>に参加し、砂漠緑化のための水循環予測研究を実施している。これまでの砂漠化防止や砂漠緑化は、緑地の永続的な形成に成功しているとはいえない現状にある。これは、広域水循環の理解不足と砂漠緑化がもたらす局地気象場の変動を十分に考慮した緑化地域選定や対策策定が行われていないことが主な原因であり、持続可能な砂漠緑化には、高度な水循環モデルのシミュレーションによる広域水循環の把握と変動予測が不可欠である。そこで本研究では、数値環境システム SPEEDI-MP で開発した水循環結合モデルシステムを用いた解析と数値実験により、乾燥地域の水循環の把握と砂漠緑化後の環境変動の予測を行い、持続可能な砂漠緑化の適地選定、緑化対策手法の開発を目指している。

水循環結合モデルシステムの適用試験として、サウジアラビアにおいて 2005 年 1 月 22 日の豪雨に起因して Madinah 周辺地域で発生した洪水の再現計算を実施した。使用したモデルは、気象モデル MM5、陸面モデル SOLVEG、及び水文モデル RIVERS の 3 モデルをカップラーにより結合した陸域のみの結合モデルである。計算期間が短く海洋場変動の影響は無視できるため、海洋計算は結合せずに MM5 に期間を通して一定の海面境界条件を与えた。MM5 の計算領域を図 9 に示すように 3 段のネスティング領域とし、領域 3 の局地計算を SOLVEG 及び RIVERS と結合した。入力データとして NCEP/NCAR 再解析データ (NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, USA, from the Web site at <http://www.cdc.noaa.gov/>) を用いて、2005 年 1 月 20 日 00UTC から 7 日間の計算を行った。対象地域の土壤は表面が硬く水が浸透しにくい特性を持つが、SOLVEG 及び RIVERS の土壤パラメータ (飽和透水係数) を調整することで対応した。MM5 の降水計算は 1 月 22 日の豪雨をほぼ再現し、RIVERS は地表にたまつた雨水が流出し谷間に集中する様子をシミュレートすることができ、洪水の氾濫域を再現することに成功した (図 10)。

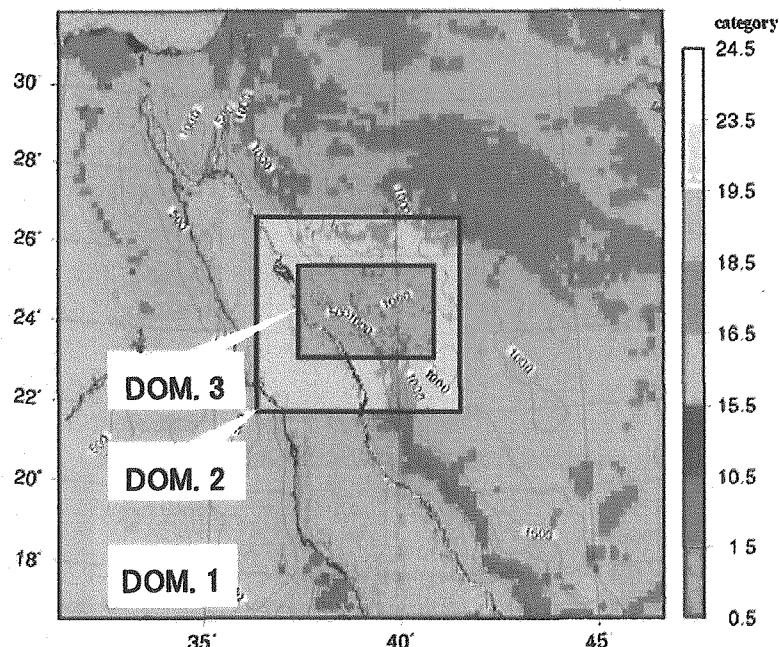


図9 水循環結合モデルによる洪水再現計算の計算領域。カラーマップは土地利用分類（オレンジ：砂漠、グリーン：植生地）を示す。

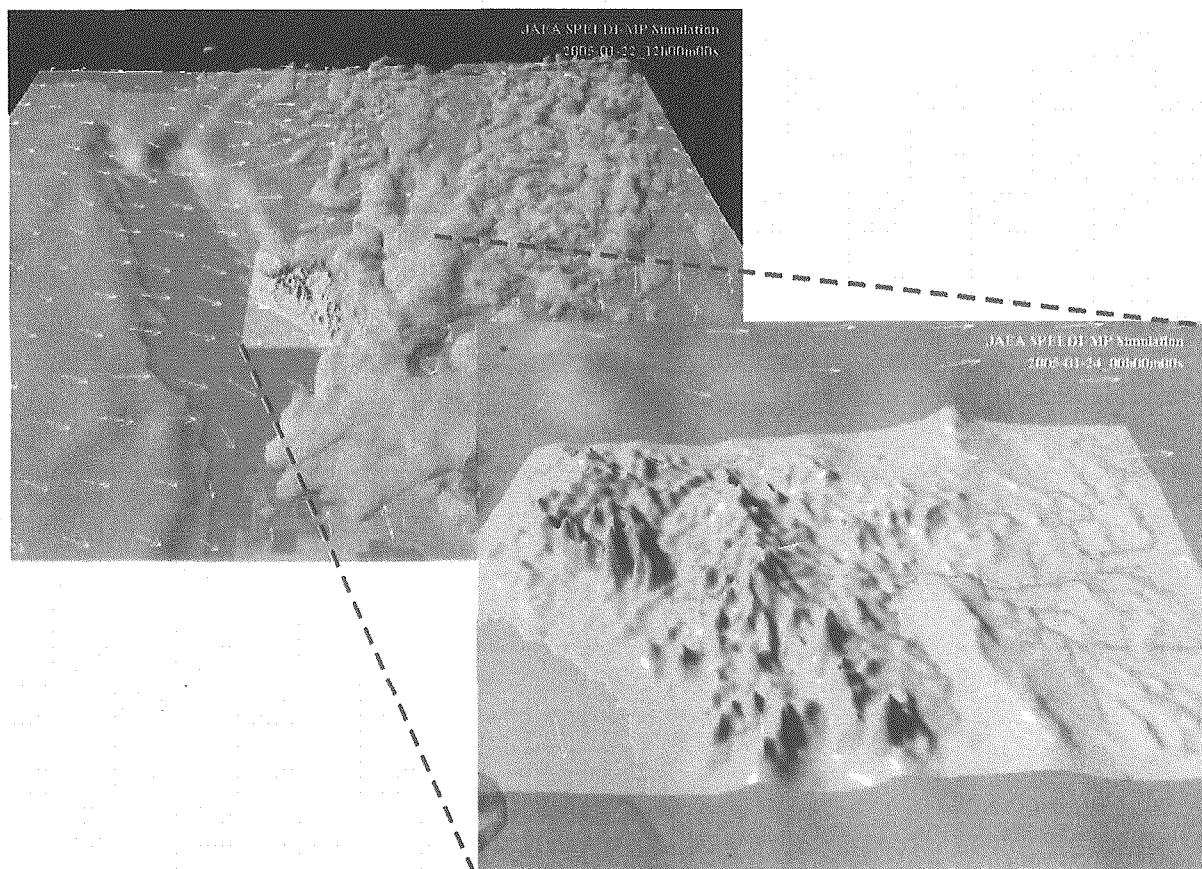


図10 水循環結合モデルシステムによる広域の風速場、雲、降水分布(2005年1月22日12UTC)、及び局地の陸面水分布(2005年1月24日00UTC) 計算結果の3次元可視化画像

This is a blank page.

## 6. 2 高潮再現計算

水循環結合モデルシステムの適用試験として、大気・海洋間相互作用の妥当性を評価するため、2005年8月のハリケーン・カトリーナによる高潮の再現計算を実施した。使用したモデルは、気象モデルMM5、波浪モデルWW3、及び海洋モデルPOMの3モデルをカップラーにより結合した海洋のみの結合モデルである。大気・海洋・波浪結合モデルは、図11に示すように海面水位観測値を良好に再現した。波浪モデルを用いない計算では、ハリケーン通過前に水位上昇を過大評価し、通過後に過小評価となっている。これは、ハリケーンの強風による海水の吹き寄せ効果（通過前は水位を低くする方向に働いている）の計算に碎波ストレスの寄与を考慮していないためである。この結果より、波浪に起因する大気一海洋間の運動量交換を考慮するために、波浪モデルを結合することの重要性が確認できた。

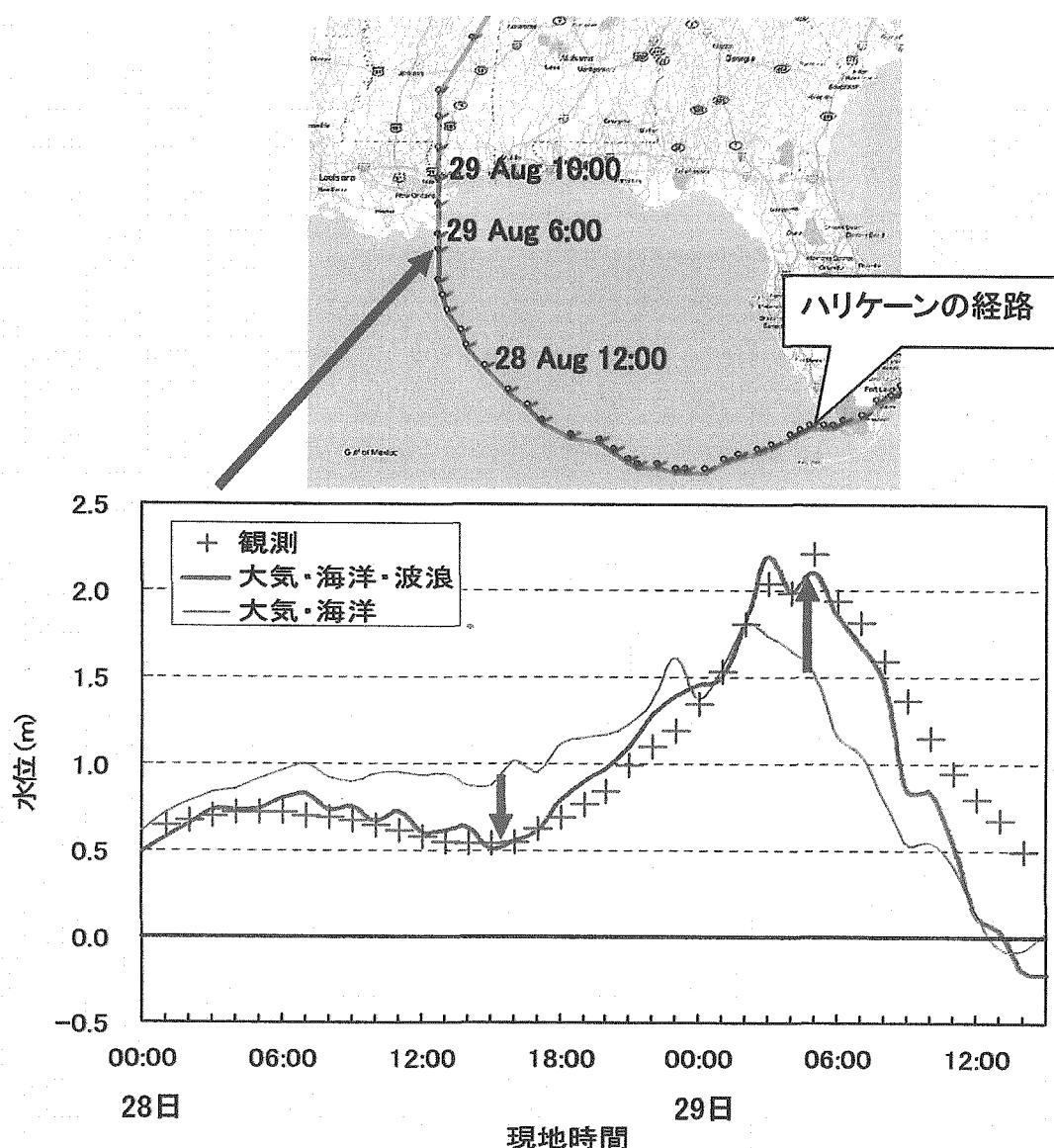


図11 ハリケーン・カトリーナの経路及び海面水位観測値と結合モデルの計算値の比較

This is a blank page.

## 7. まとめ

本研究開発では、数値実験による様々な環境研究に資することのできる環境研究ツール「数値環境システム SPEEDI-MP」の構築を行った。SPEEDI-MP は、大気、海洋、陸域環境モデルと環境中物質循環モデル等の数値実験ツール、数値実験ツールの入力として用いる気象データ、地図情報データ等のデータベースと、データ管理、可視化及び GUI を用いた制御機能からなる支援機能により構成される。

数値実験ツールとしては、数値環境システムの環境モデルの最終的な目標である大気、海洋、陸域を結合した包括的モデルを実現するために、多数のモデルを結合できるモデルカップラーを開発した。モデルカップラーは、複数のモデルを同時進行で平行計算させ、並列計算の通信ライブラリ MPI を用いてモデル間で計算結果を交換することにより、モデルを一体化したのと同等な結合状態を作り出すことができる。このモデルカップラーを用いて、大気モデル MM5、海洋モデル POM、波浪モデル WW3、陸水モデル RIVERS、及び地表モデル SOLVEG の 5 モデル結合システムを開発し、統合的な水循環シミュレーション研究の基盤を確立した。

数値環境システム SPEEDI-MP の数値実験支援機能として、ユーザー管理・認証機能、ファイル管理機能、計算入力作成機能、計算実行機能、計算結果の解析及び可視化機能、画像データベース管理機能の制御を Web ベースの GUI で行うことができるソフトウェアを開発した。Web ベースの GUI の採用により、システムのユーザーは各自の PC からインターネット経由でシステムにログインし、大規模数値実験からデータ解析、高度な可視化まで Web ブラウザ上に表示された操作メニューに従い簡便に実行可能である。また、システムのアプリケーションの 1 つである緊急時対応機能において、WSPEEDI 予測を的確かつ迅速に行うことができるよう、入力データの作成から、気象場計算、拡散計算あるいは放出源推定計算、可視化までの一連の操作を手順に従ってまとめた WSPEEDI システムメニューも整備した。

ITBL-Grid の活用として、WSPEEDI の放出源推定機能について多数の計算機からなる分散環境での計算実行可能なシステムを開発した。これにより、通常運用では実現不可能な大規模並列計算も実施可能となり、想定される地点、開始時間、継続時間、放出率の組み合わせによる膨大な数の放出源候補の各ケースについての大気拡散計算及びモニタリングデータを用いた統計解析からなる膨大な量の計算が必要な放出源推定が、迅速かつ効率的に実行可能となった。

数値環境システム SPEEDI-MP の数値実験ツールのうちカップラーによる結合モデル開発として、物質動態の媒体となる水循環についての結合モデル開発を完了した。この水循環結合モデルシステムの適用試験として、サウジアラビアにおける 2005 年 1 月の洪水再現計算及び 2005 年 8 月のハリケーン・カトリーナによる高潮再現計算を実施した。その結果、結合モデルでのみ実現可能な複合系の相互作用や現象を再現するなど良好な結果が得られ、水循環研究における本システムの有効性が示された。

今後、マニュアルや出前デモ環境の整備により、SPEEDI-MP の利用普及に努めるとともに、数値シミュレーションによる様々な環境研究への適用を図る計画である。

## 謝辞

ITBL-Grid 上での放出源推定システムの構築においては、システム計算科学センターの山岸信寛氏に協力していただきました。また、水循環結合モデルシステムの適用研究は、システム計算科学センターの大型計算機 Altix3700Bx2 を利用した成果です。

## 参考文献

- 1) K. Imai, M. Chino, H. Ishikawa, M. Kai, K. Asai, T. Homma, A. Hidaka, Y. Nakamura, T. Iijima, and S. Moriuchi : "SPEEDI: A Computer Code System for the Real-Time Prediction of Radiation Dose to the Public due to an Accidental Release", JAERI-1297 (1985).
- 2) M. Chino, H. Ishikawa, H. Yamazawa, H. Nagai, and S. Moriuchi : "WSPEEDI (Worldwide Version of SPEEDI): Emergency Response System to Predict Radiological Impacts on the Japanese People due to a Nuclear Accident in Abroad", JAERI-1334 (1995).
- 3) 文部科学省：“緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム”，パンフレット(2003).
- 4) ITBL 推進会議：“平成 16 年度 ITBL 成果報告集”(2005).
- 5) Unidata : NetCDF ( Network Common Data Form ), (online) available from <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/> (accessed 2006-06-21).
- 6) G. A. Grell, J. Dudhia, and D. R. Stauffer : "A description of the Fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)", NCAR Tech. Note, NCAR/TN-398+STR, 122pp. (1994).
- 7) G. L. Mellor : "Users Guide for a Three-dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model", Princeton University, 40 pp. (1998).
- 8) H. L. Tolman : "User Manual and System Documentation of WAVWATCH-III Version 2.22", Tech. Note 222, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 133 pp. (2002).
- 9) H. Nagai : "Atmosphere-soil-vegetation Model Including CO<sub>2</sub> Exchange Processes: SOLVEG2", JAERI-Data/Code 2004-014 (2004).
- 10) H. Nagai : "Incorporation of CO<sub>2</sub> exchange processes into a multilayer atmosphere-soil-vegetation model", J. Appl. Meteor., 44, 1574-1592 (2005).
- 11) K. Tsuduki : "Development of a mathematical model to describe the transport of artificial radionuclides and trace elements in a river watershed", Section 4.1 in "Consideration for modeling studies of migration of accidentally released radionuclides in a river watershed" by T. Matsunaga, L. Monte, K. Tsuduki, N. Yanase, Y. Hanzawa, and T. Ueno, JAERI-Review 2003-039 (2003).
- 12) H. Terada, A. Furuno, and M. Chino : "Improvement of Worldwide version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information (WSPEEDI) (I) New combination of models, atmospheric dynamic model MM5 and particle random walk model GEARN-new",

- Journal of Nuclear Science and Technology, 41, 5, 632-640 (2004).
- 13) 古野 朗子, 山澤 弘実, 茅野 政道：“大規模並列計算手法を用いた放出源情報推定手法の開発”, 日本原子力学会誌, 48, 9, (2006 in press).
- 14) P. Wessel and W. H. F. Smith : The Generic Mapping Tools GMT, (online) available from <<http://gmt.soest.hawaii.edu/>> (accessed 2006-06-21).
- 15) 文部科学省：新世紀重点研究創生プラン Research Revolution 2002 (RR2002) 人・自然・地球共生プロジェクト, (online) available from <<http://kyousei.aesto.or.jp/>> (accessed 2006-06-21).

## 付録：数値環境システム SPEEDI-MP 主要機能 GUI 画面

システムへのログイン

Web ブラウザーで数値環境システム SPEEDI-MP の URL にアクセスするとログイン画面(図 A1 上)が表示される。ユーザーIDとパスワードを入力しログインボタンをクリックするとメインメニュー(図 A1 下)が表示され、各種機能制御画面をメニューから選択することができる。

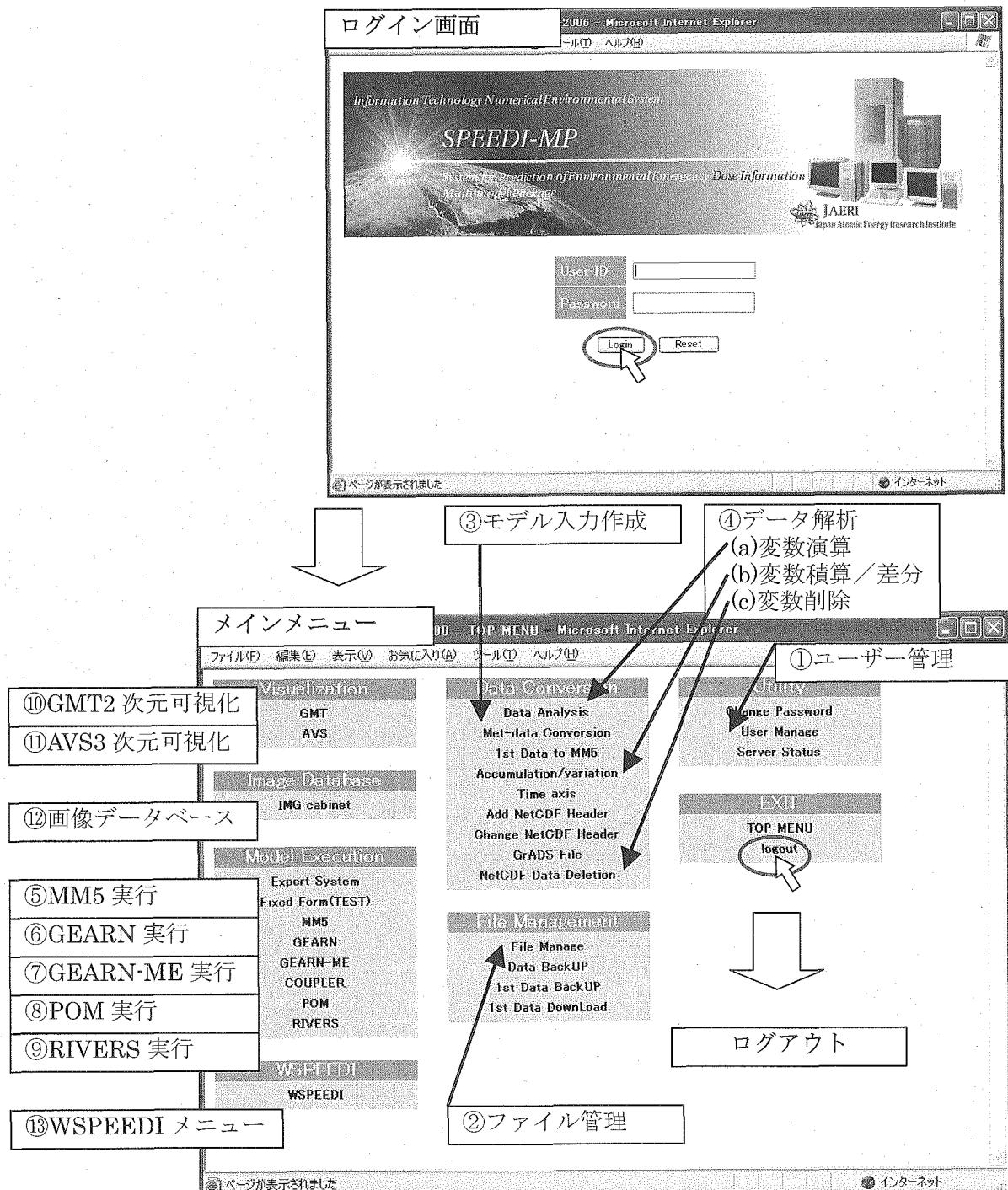


図 A1 数値環境システムログイン画面及びメインメニュー

### ①ユーザー管理

システム管理者の権限を与えられたユーザーは、ユーザー管理画面（図 A2 左上）を開きユーザーの追加（図 A2 右上）、登録情報の変更等を行うことができる。一般的なユーザーは、パスワード変更画面（図 A2 左下）でパスワードの変更を行うことができる。

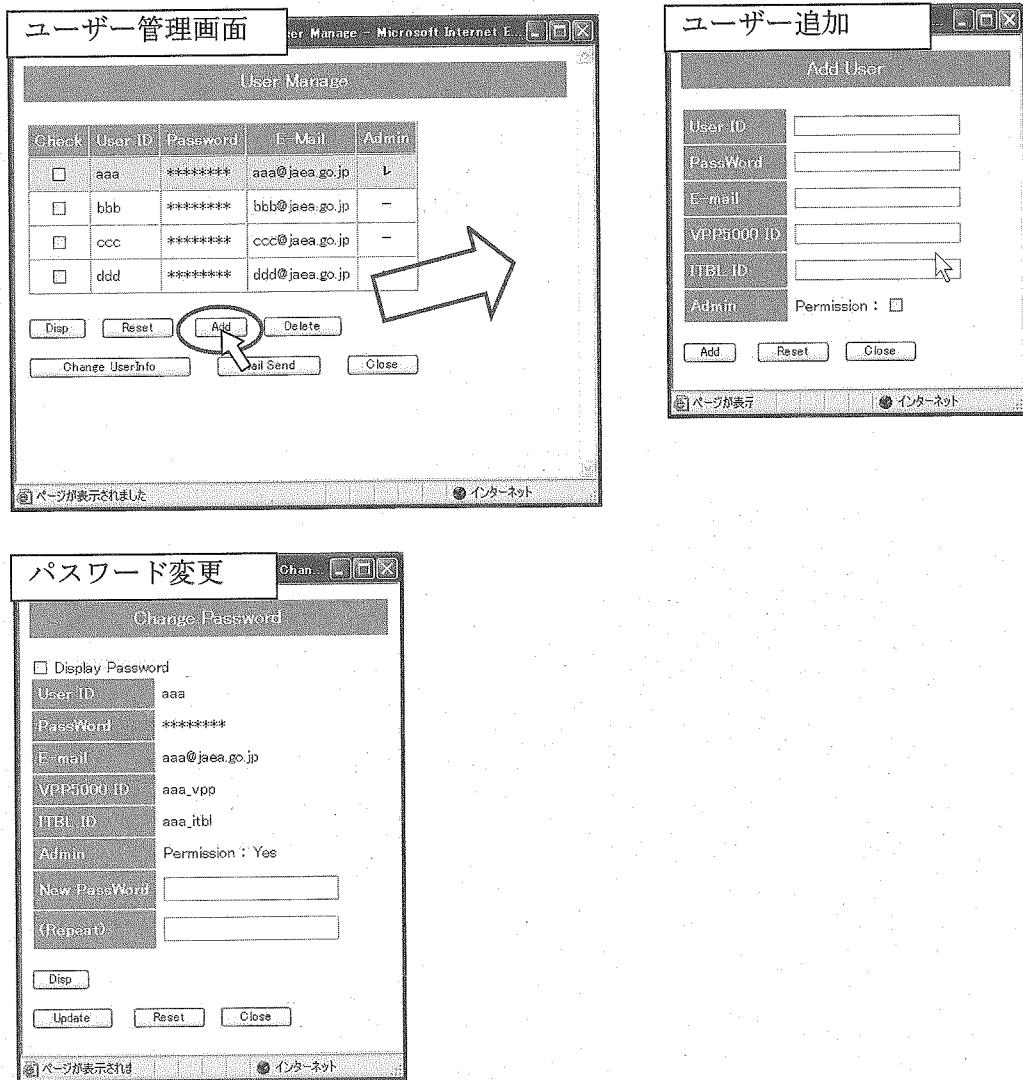


図 A2 ユーザー管理及びパスワード変更画面

## ②ファイル管理

ファイル管理画面（図 A3）は、操作メニュー フレーム、ディレクトリ選択フレーム及びファイル表示フレームから構成される。選択したディレクトリまたはファイルについて、メニューの操作を行うことができる。

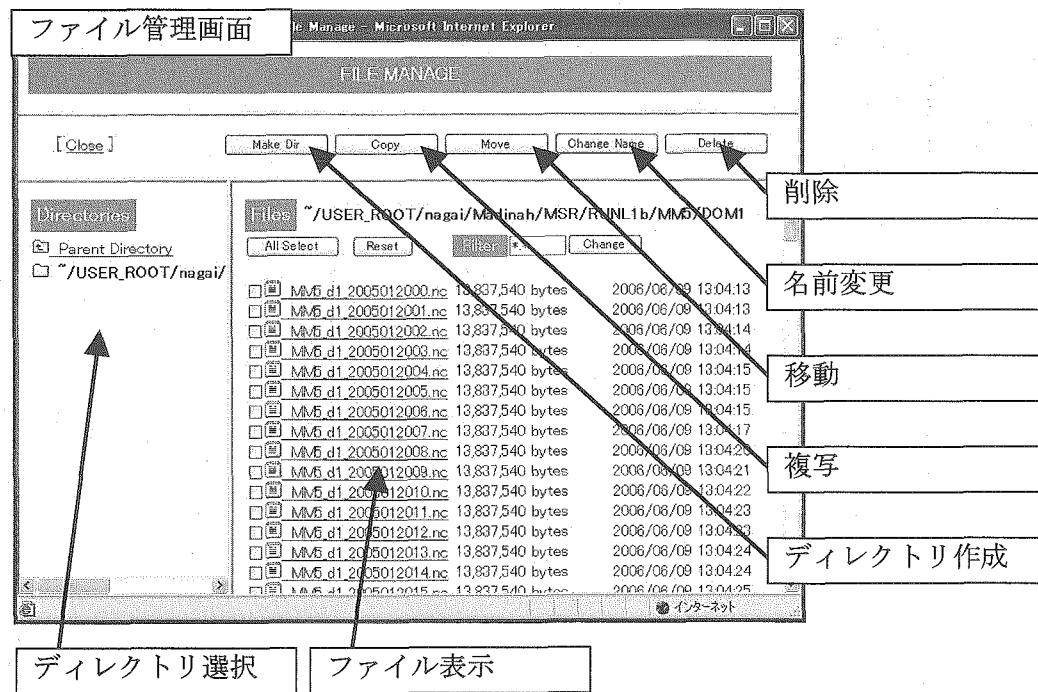
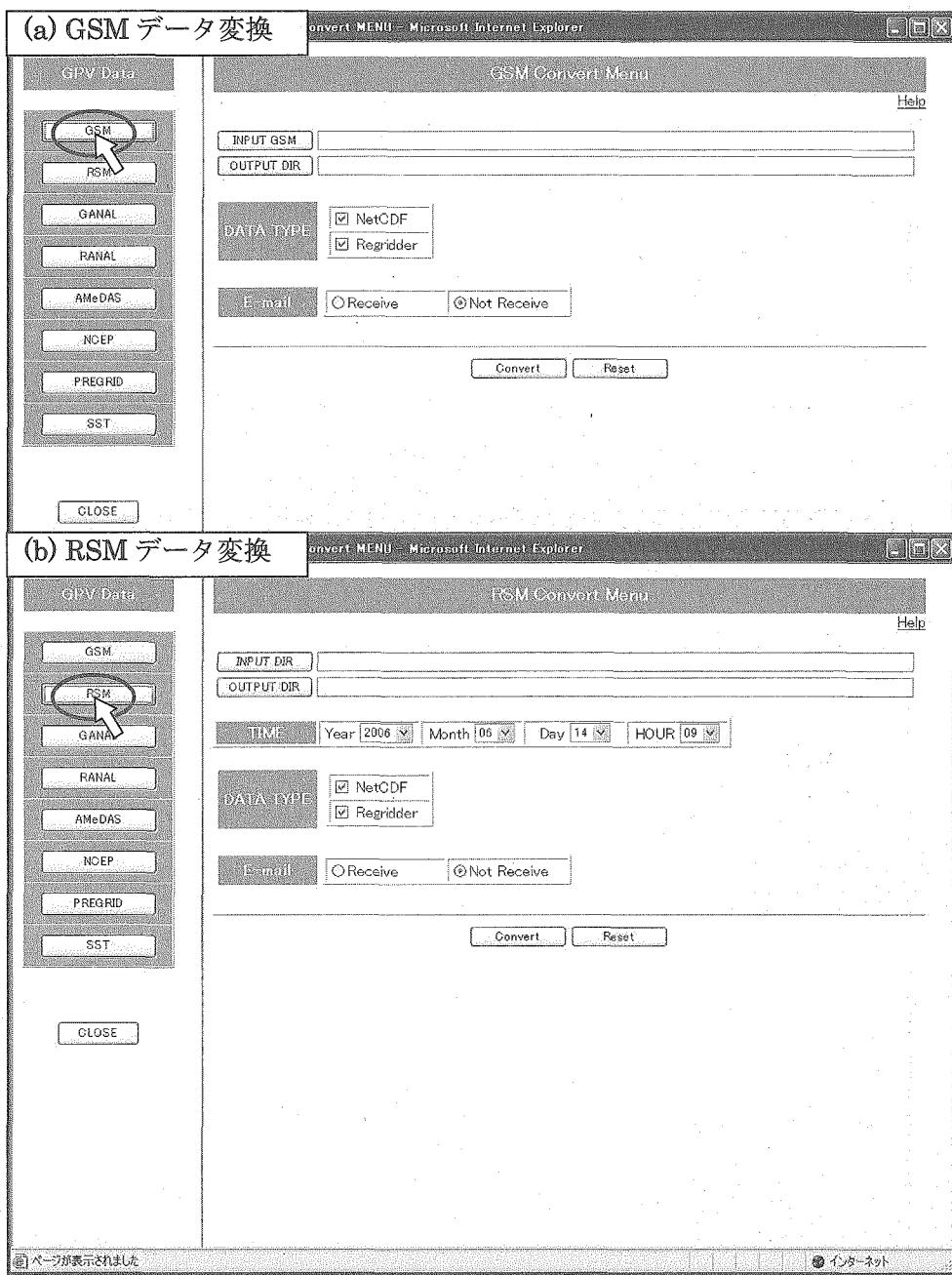


図 A3 ファイル管理画面

### ③モデル入力作成（気象データ変換）

本機能では、オンラインデータあるいはCDで入手したシステムのデータベースに保管した気象、海象データ等から、主として気象モデルMM5の入力データを作成することができる。変換画面（図A4(a)～(h)）では、左フレームで変換する元データを選択すると右フレームにそれぞれのデータに対応した変換パラメータ入力画面が表示される。パラメータを入力し変換(Convert)ボタンをクリックするとMM5入力用フォーマット及び可視化用NetCDFフォーマットに変換されたデータファイルが作成される。



図A4 モデル入力作成機能：(a) GSM データ変換画面、(b) RSM データ変換画面 (1/4)

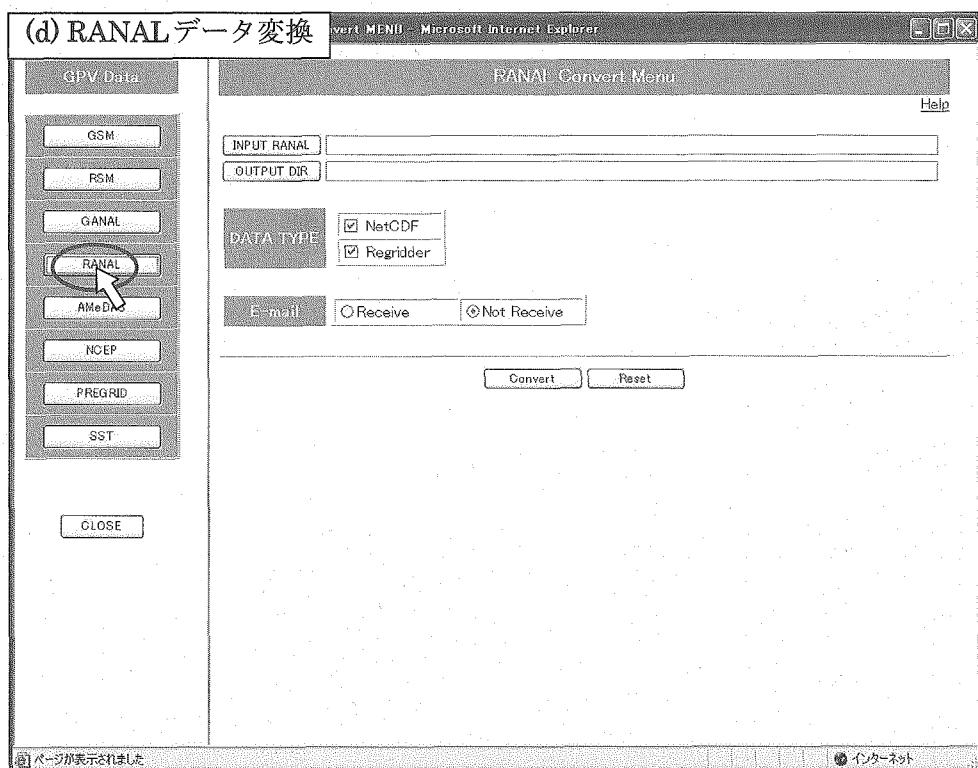
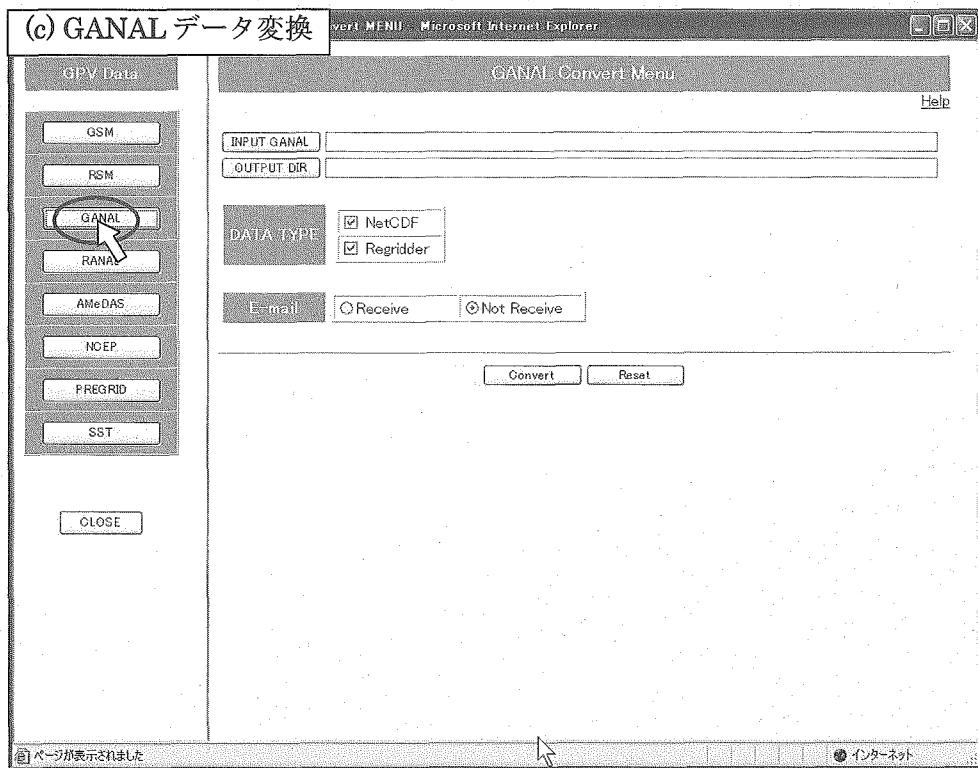


図 A4 (c) GANAL データ変換画面、(d) RANAL データ変換画面 (2/4)

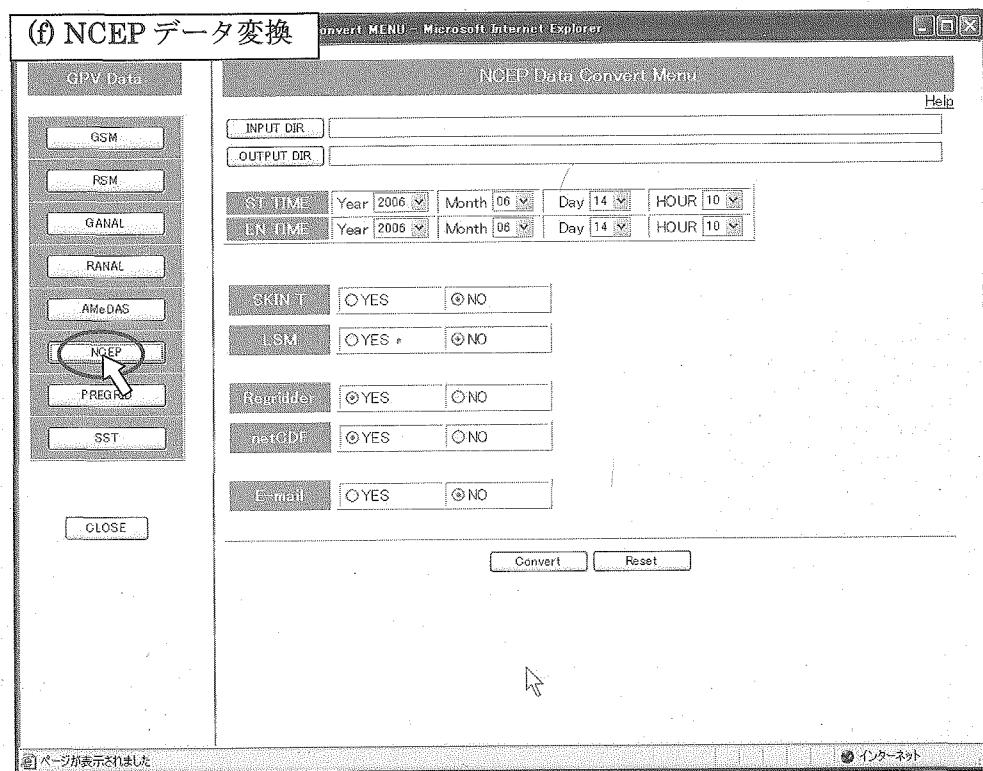
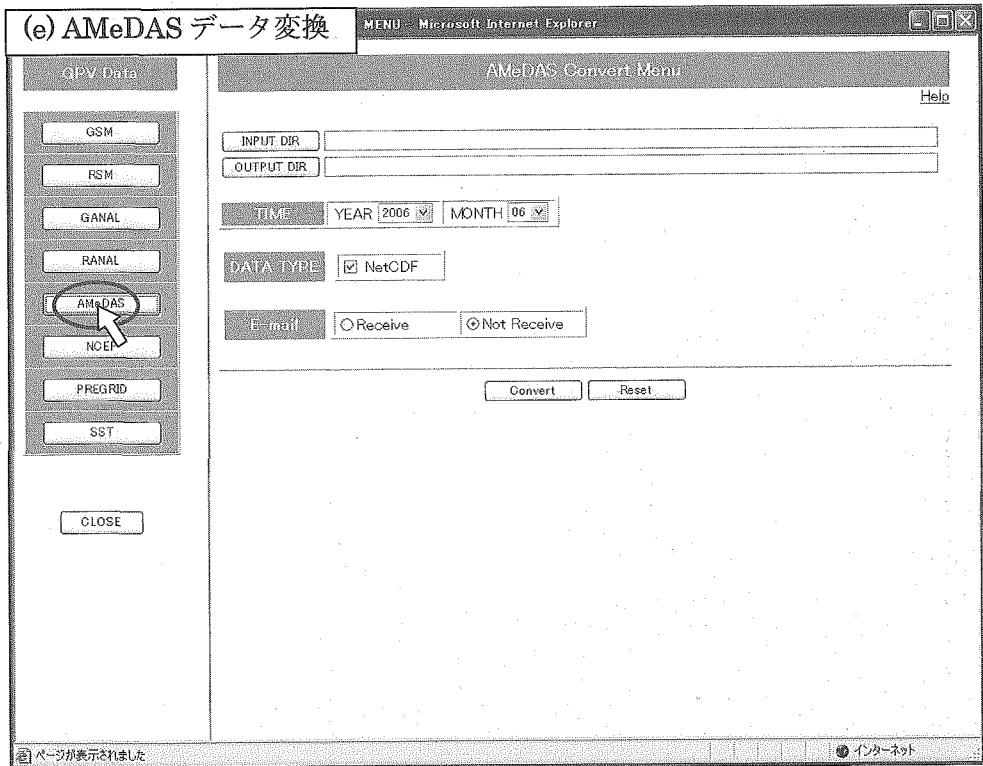


図 A4 (e) AMeDAS データ変換画面、(f) NCEP 再解析データ変換画面 (3/4)

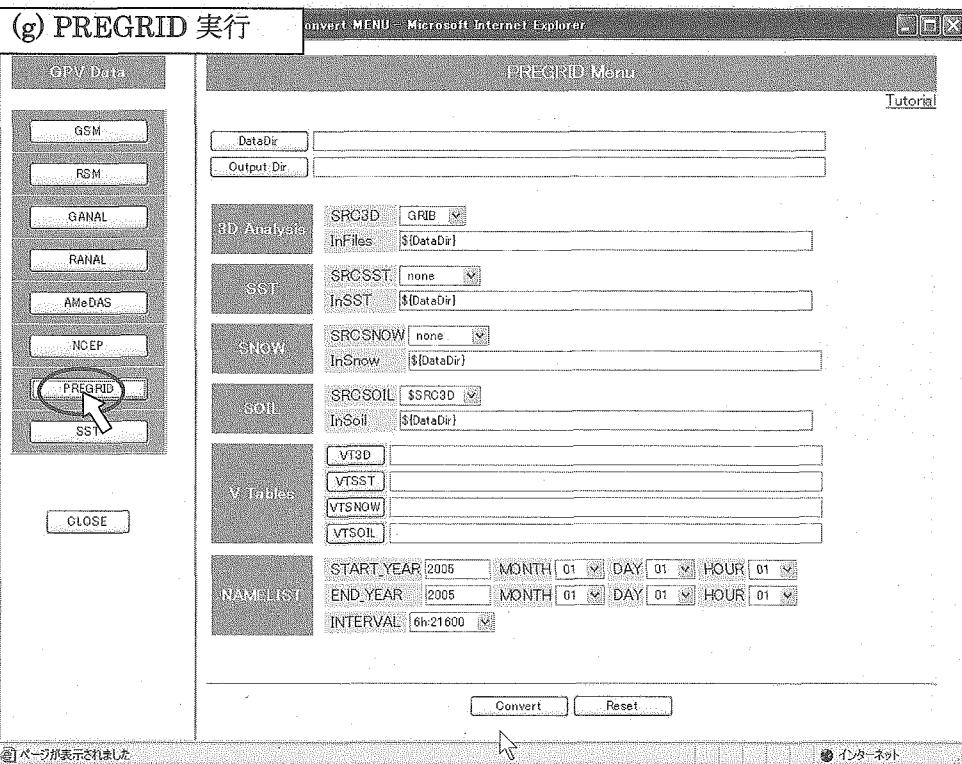
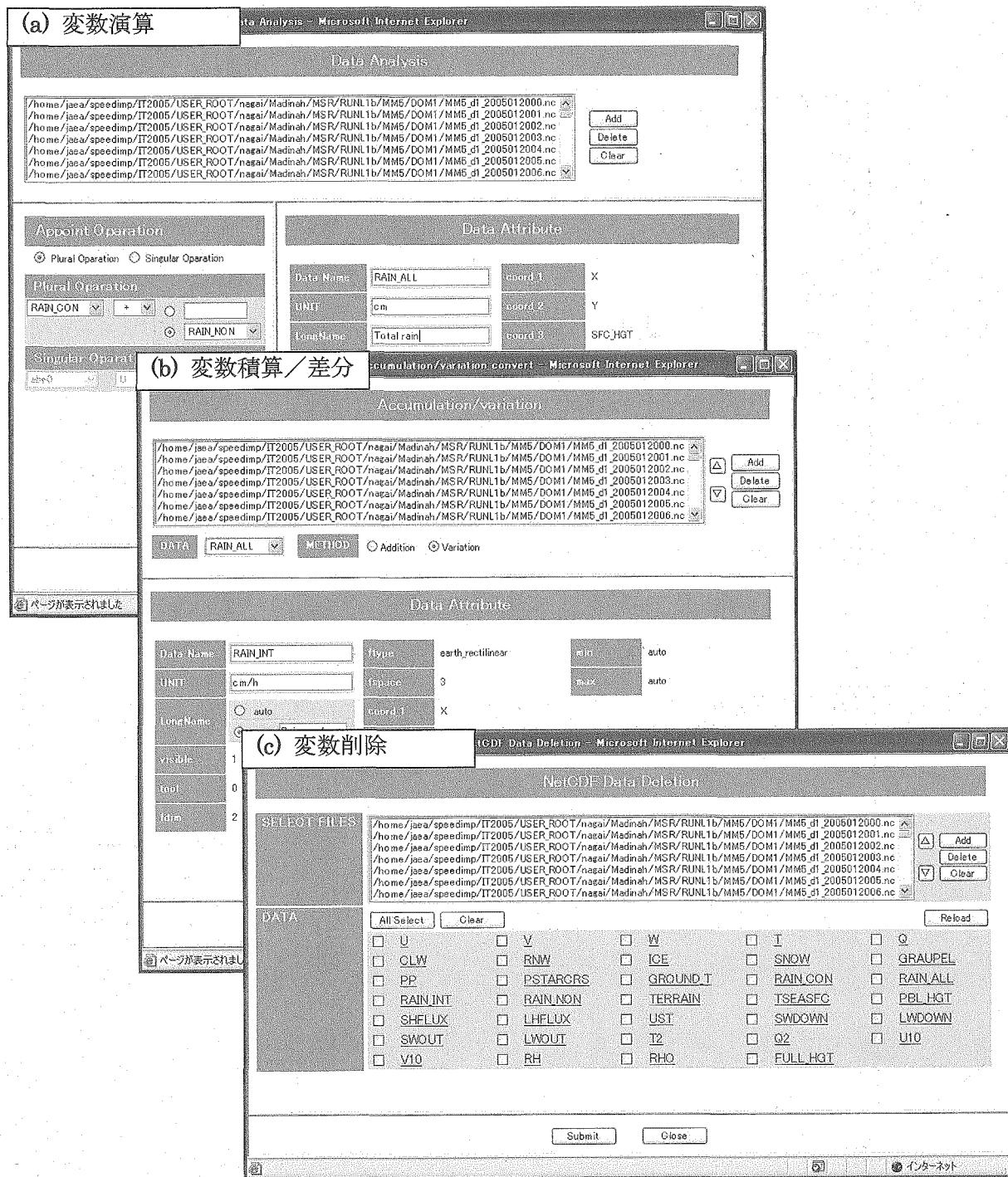


図 A4 (g) PREGRID 実行画面、(h) SST データ変換画面 (4/4)

#### ④データ解析

本機能では、統一フォーマットのNetCDFファイルに格納された配列変数に対して各種演算を行うことで生成される変数をファイルに追加する操作を選択した複数のファイルについて一括処理することができる。制御画面（図A5）では、上フレームに一括処理する複数ファイルを選択し、下フレームで変数と処理の指定及び生成する新変数の情報入力を行い実行（Submit）する。



図A5 データ解析画面：(a)変数演算、(b)変数積算・差分、(c)変数削除

## ⑤気象モデル MM5 実行

気象モデル MM5 実行では、新規に計算実行する場合と、一度計算実行したケースについて計算期間のみ変更して実行する場合（既定計算）について異なる制御画面を用いる。新規実行（図 A6 上）では、計算設定や入力作成のためのプリプロセッサーの実行とコンパイルを全て行う必要があるが、既定計算（図 A6 下）では、プリプロセッサーは計算期間の変更のみで一括実行し、計算実行も簡易画面で設定できる。次ページから、各プリプロセッサー及び実行画面を示す。

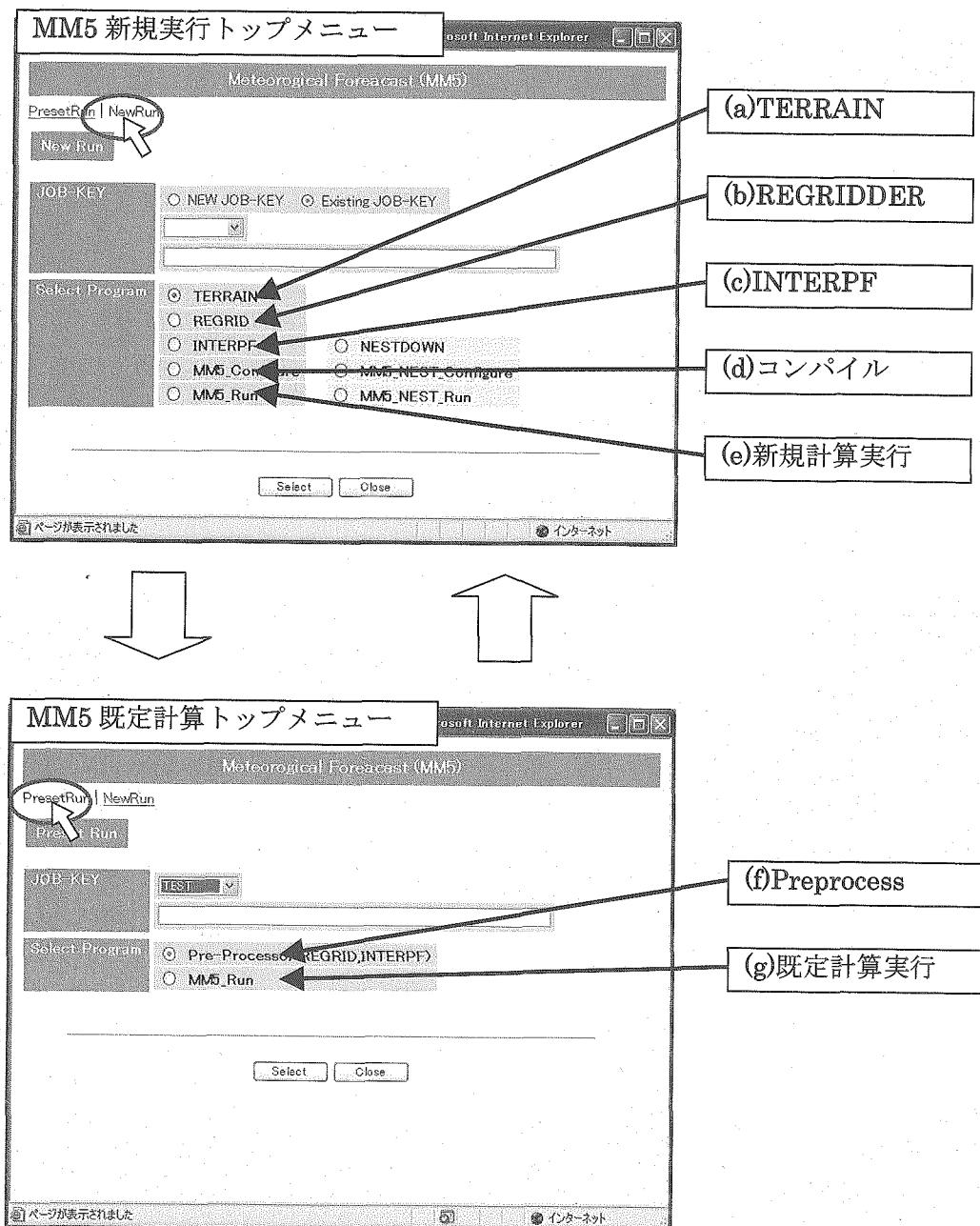


図 A6 気象モデル MM5 実行トップメニュー画面

## (a) TERRAIN

MM5 の地形データ作成プログラムを制御する GUI (図 A7) では、設定する領域を地図上に表示して確認しながらパラメータ設定作業を行うことができ、多大の労力を要するネスティング計算の領域設定も容易に行うことができる。また、別ケースで設定した情報の読み込みも可能である（以下のプリプロセッサーで同様）。

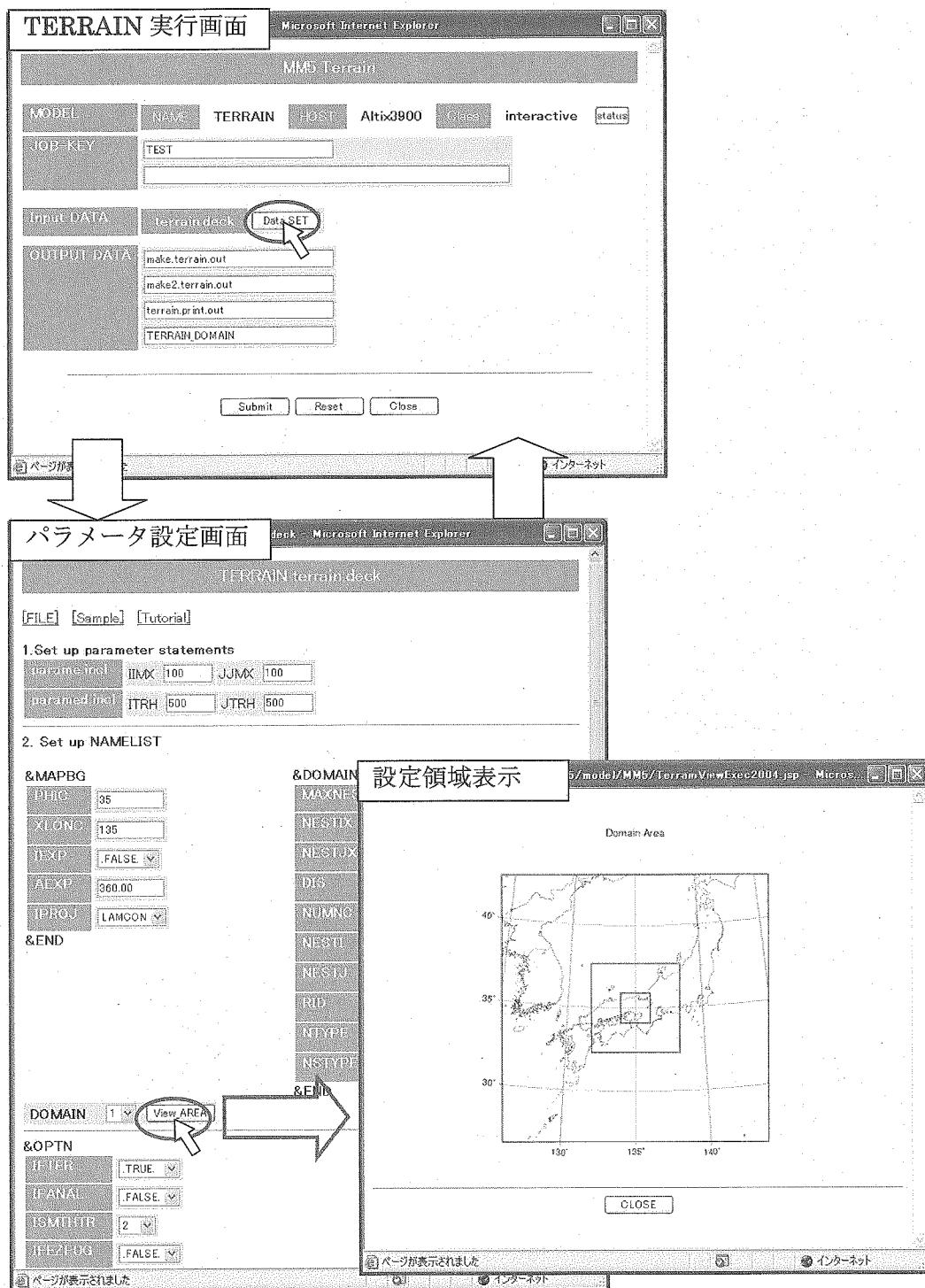


図 A7 TERRAIN 実行及びパラメータ設定画面

## (b) REGRIDDER

入力気象データをモデル計算格子に水平内挿するプログラム RIGRIDDER の GUI (図 A8) では、パラメータ設定画面において入力データの指定をファイル選択 GUI により簡便に行うことができる。

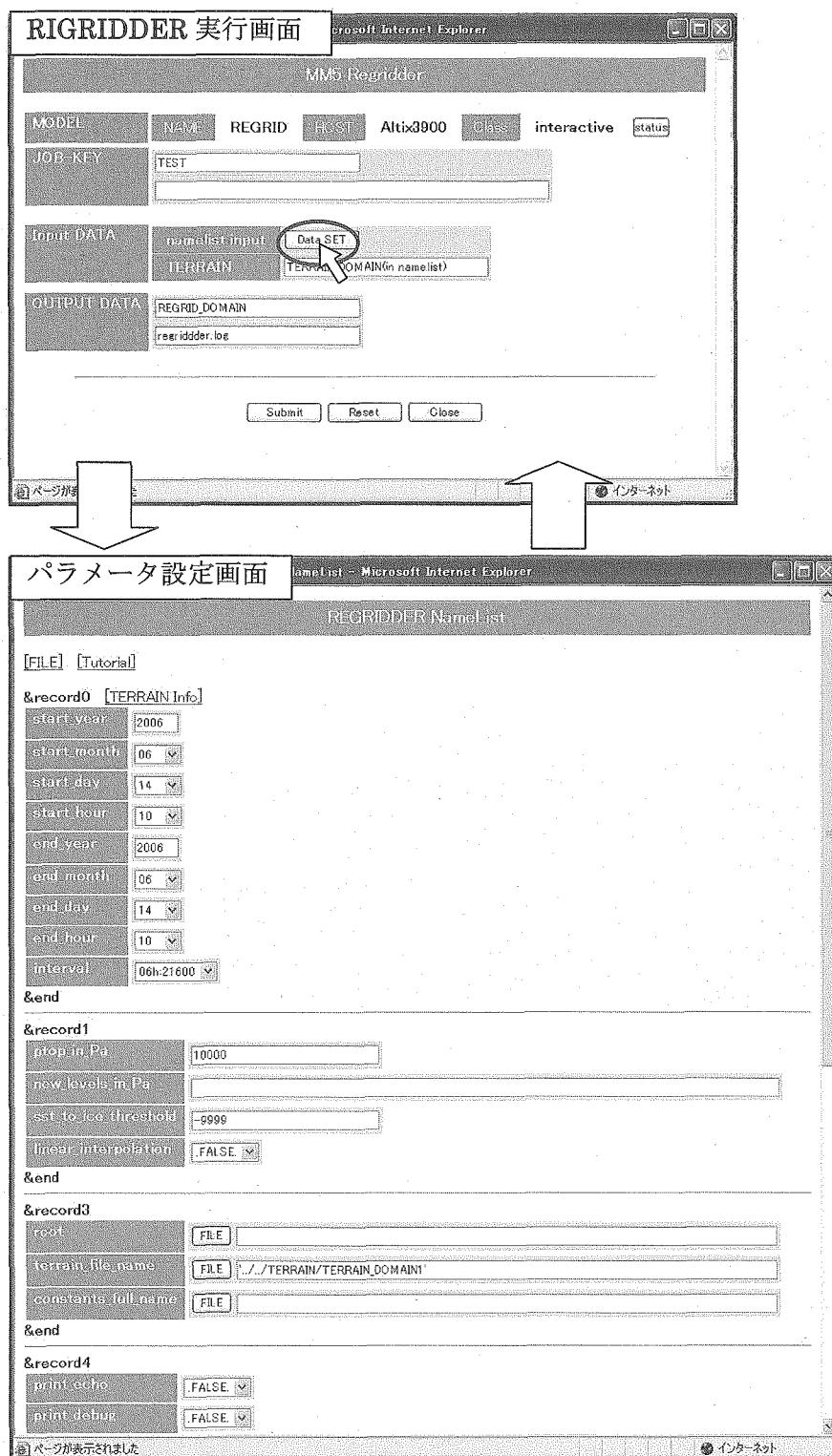


図 A8 RIGRIDDER 実行及びパラメータ設定画面

## (c) INTERPF

RIGRIDDER の水平内挿に引き続き、鉛直内挿及び境界条件作成を行うプログラム INTERPF の GUI (図 A9) では、パラメータ設定画面で入力となる RIGRIDDER 出力は通常デフォルト指定のままで良いが、別ケースで作成したものもファイル選択 GUI で検索し設定可能である。

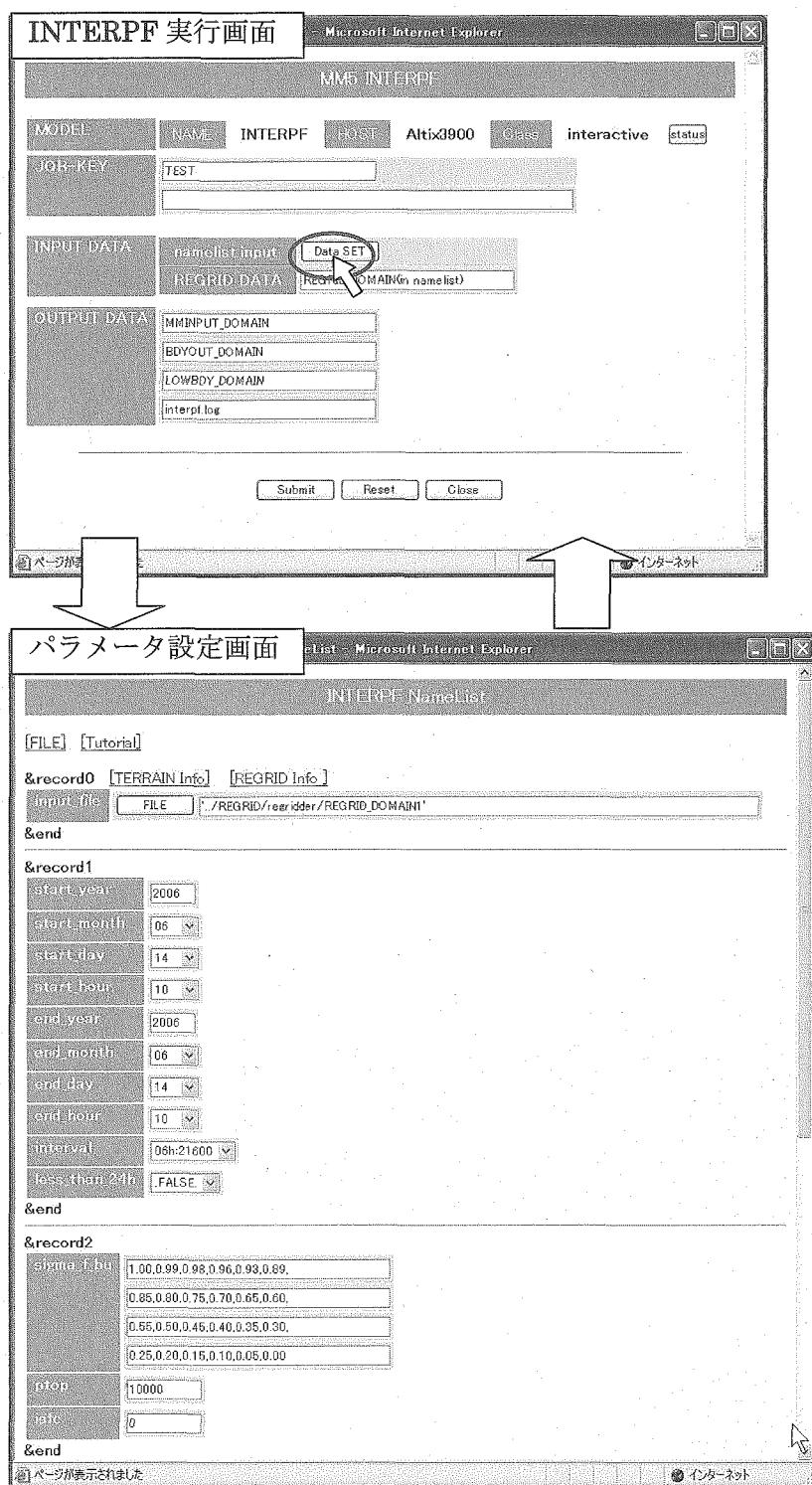


図 A9 INTERPF 実行及びパラメータ設定画面

## (d) コンパイル

MM5 のコンパイル画面 (図 A10) では、オプションを詳細設定画面で指定し実行 (Submit) すると、大型計算機 (Altix3700Bx2) 上に設定ファイル転送しコンパイルを行う。

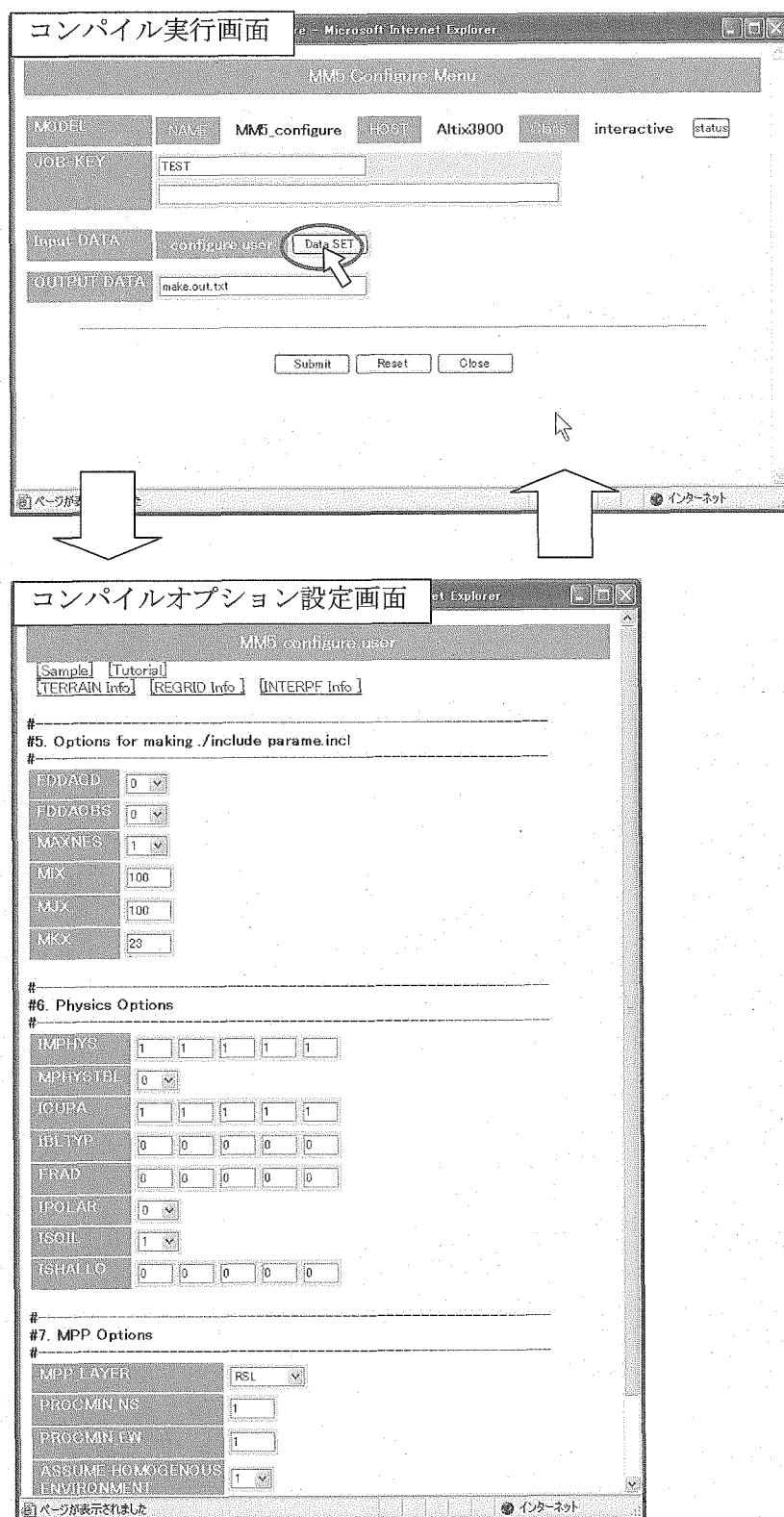


図 A10 MM5 コンパイル実行及びオプション設定画面

## (e) 新規計算実行

新規計算実行 GUI (図 A11) では、入力である TERRAIN 及び INTERPF の出力ファイルは通常デフォルト指定のままで良いが、ファイル選択 GUI で過去に作成したファイルを検索し設定することもできる。大型計算機 (Altix3700Bx2) に並列計算のバッチジョブを投入するため、キュークラス及び CPU 数を指定する。

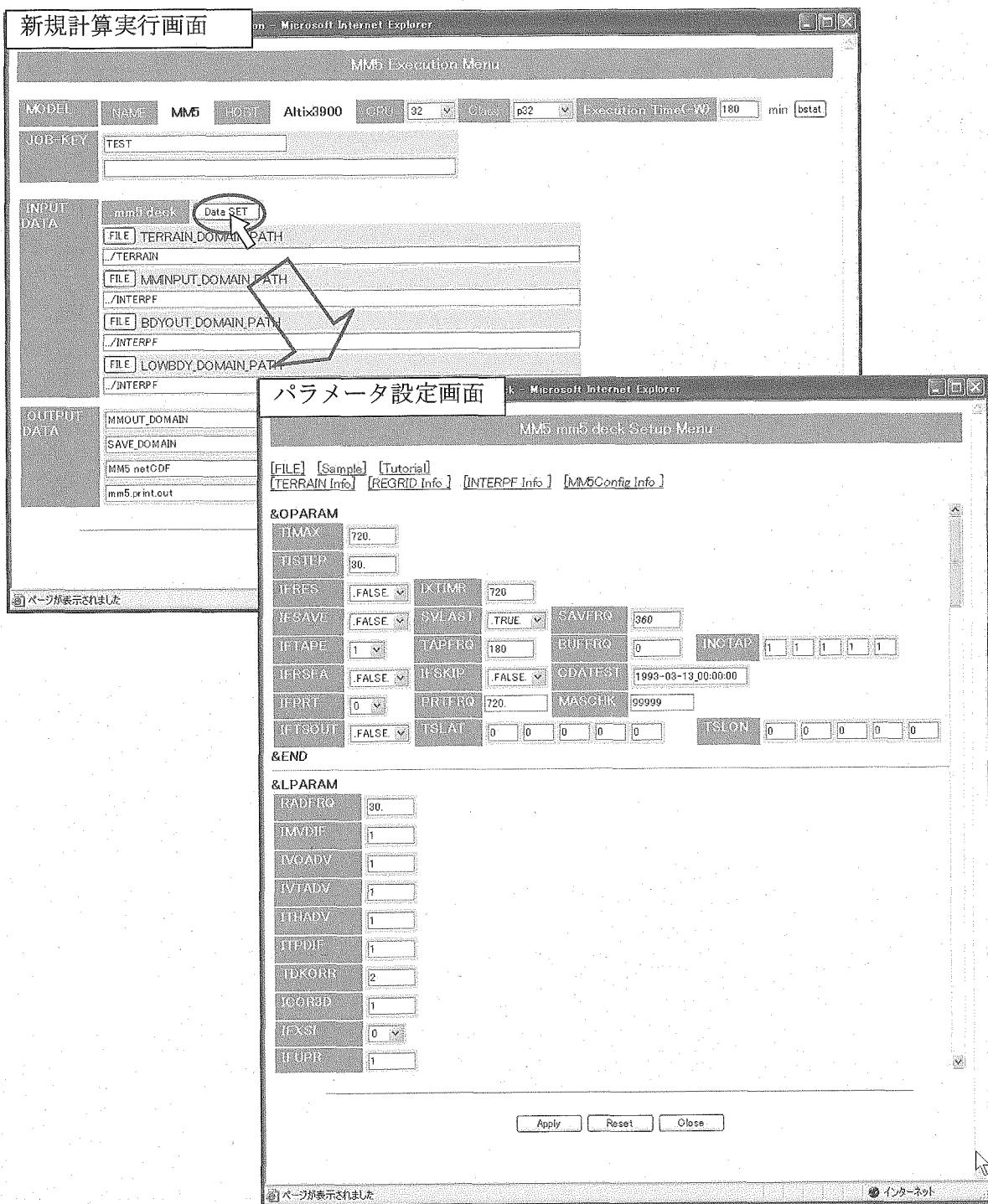


図 A11 MM5 新規計算実行及びパラメータ設定画面

## (f) 既定計算プリプロセッサー実行

既定計算のプリプロセッサー実行 GUI (図 A12 上) では、RIGRIDDER のパラメータのうち入力気象データの指定及び期間の設定のみ行う必要がある。その他の設定は、前回作成したものをそのまま用いて、RIGRIDDER 及び INTERPF の実行を一括で行う。

## (g) 既定計算実行

既定計算の実行 GUI (図 A12 下) では、計算期間の設定のみ行い実行する。新規計算と同様に、大型計算機 (Altix3700Bx2) に投入するジョブのキュークラス及び CPU 数を指定する。

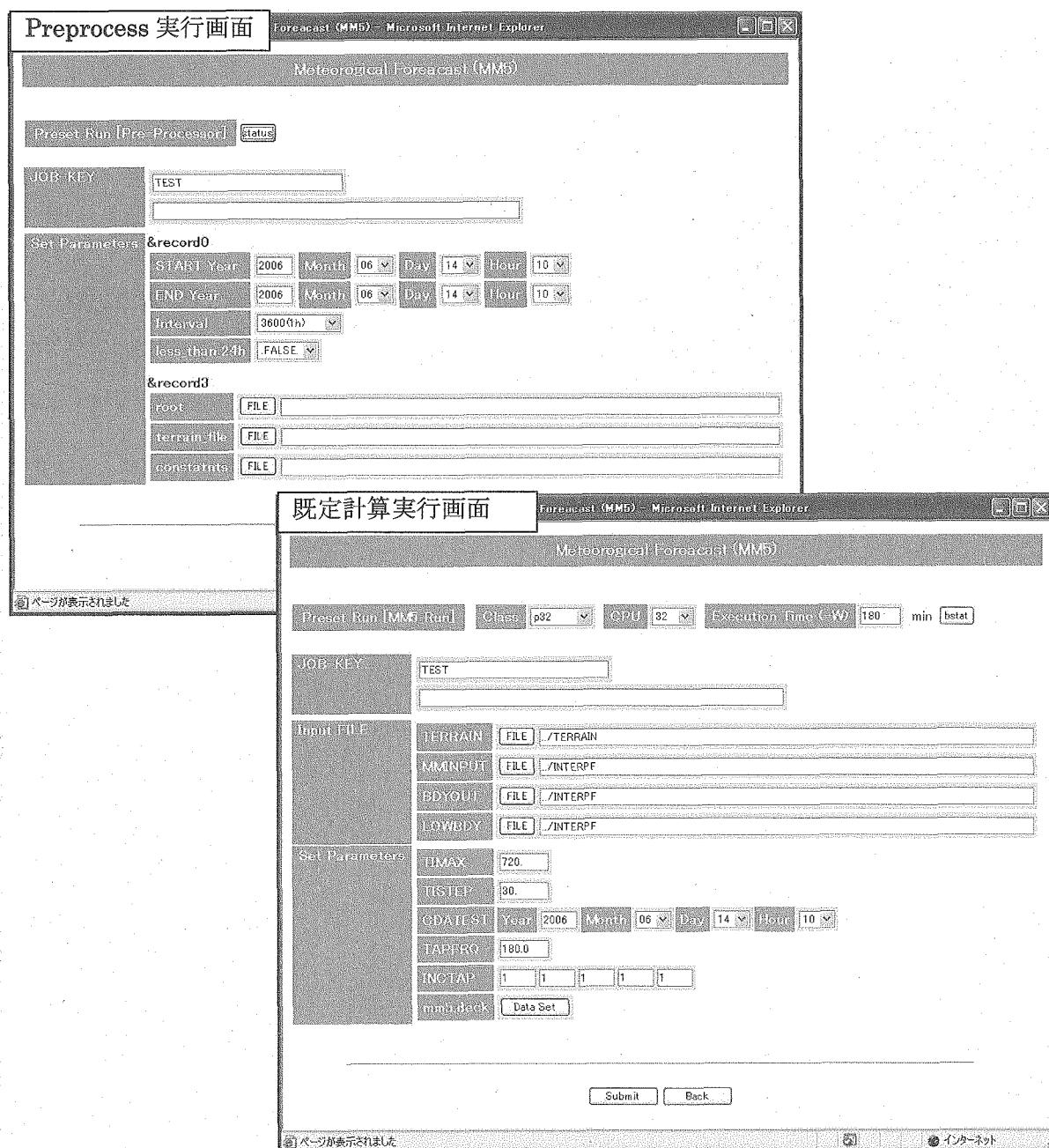


図 A12 MM5 既定計算プリプロセッサー及び計算実行画面

## ⑥大気拡散モデル GEARN 実行

大気拡散モデル GEARN の実行制御メニュー（図 A13）には、コンパイル及び計算実行がある。

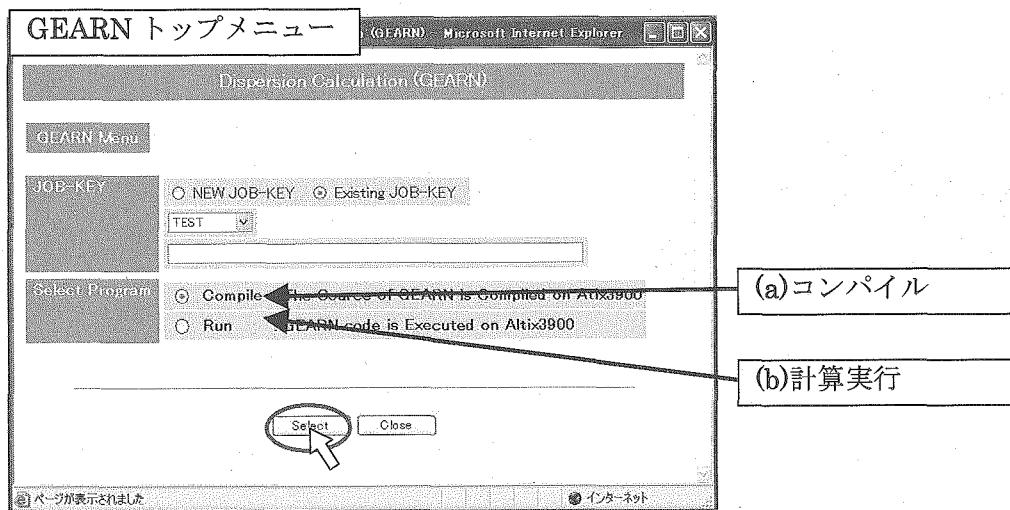


図 A13 大気拡散モデル GEARN 実行トップメニュー画面

### (a) コンパイル

GEARN のコンパイル画面（図 A14）では、まず計算領域として 1 領域計算と 2 領域ネスティング計算のどちらかを選択する。それぞれの（あるいは 1 つの）領域の設定は、結合する MM5 計算の出力ファイルをファイル選択 GUI により指定することで自動的に同じ領域が反映される。その後、コンパイルオプションを指定し実行する。

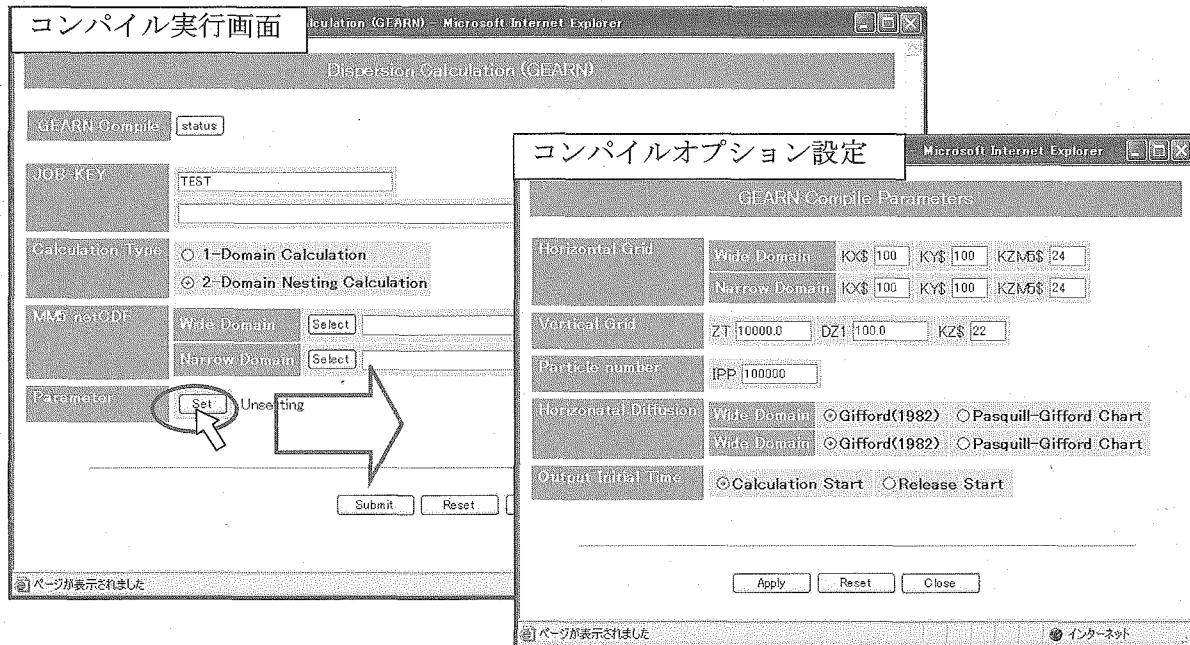


図 A14 GEARN コンパイル実行及びオプション設定画面

## (b) 計算実行

GEARN 計算実行 GUI (図 A15) では、(i) パラメータ設定、(ii) 放出源情報設定、及び(iii) 出力変数設定を各設定画面で入力し、大型計算機 (Altix3700Bx2) に投入するジョブのキュークラスを指定する (CPU 数は固定)。(i) パラメータ設定では、放出地点の緯度経度等の情報入力について世界各国の原子力サイト情報を格納したファイルから選択可能であり、設定地点を計算領域と合わせて地図上に表示し確認することができる。(iii) 出力変数設定では、入力気象場変数及び放出核種の空間濃度、沈着量、被ばく線量等の出力変数のうち必要なものだけ選択しファイル出力することで、ファイル容量を削減することができる。

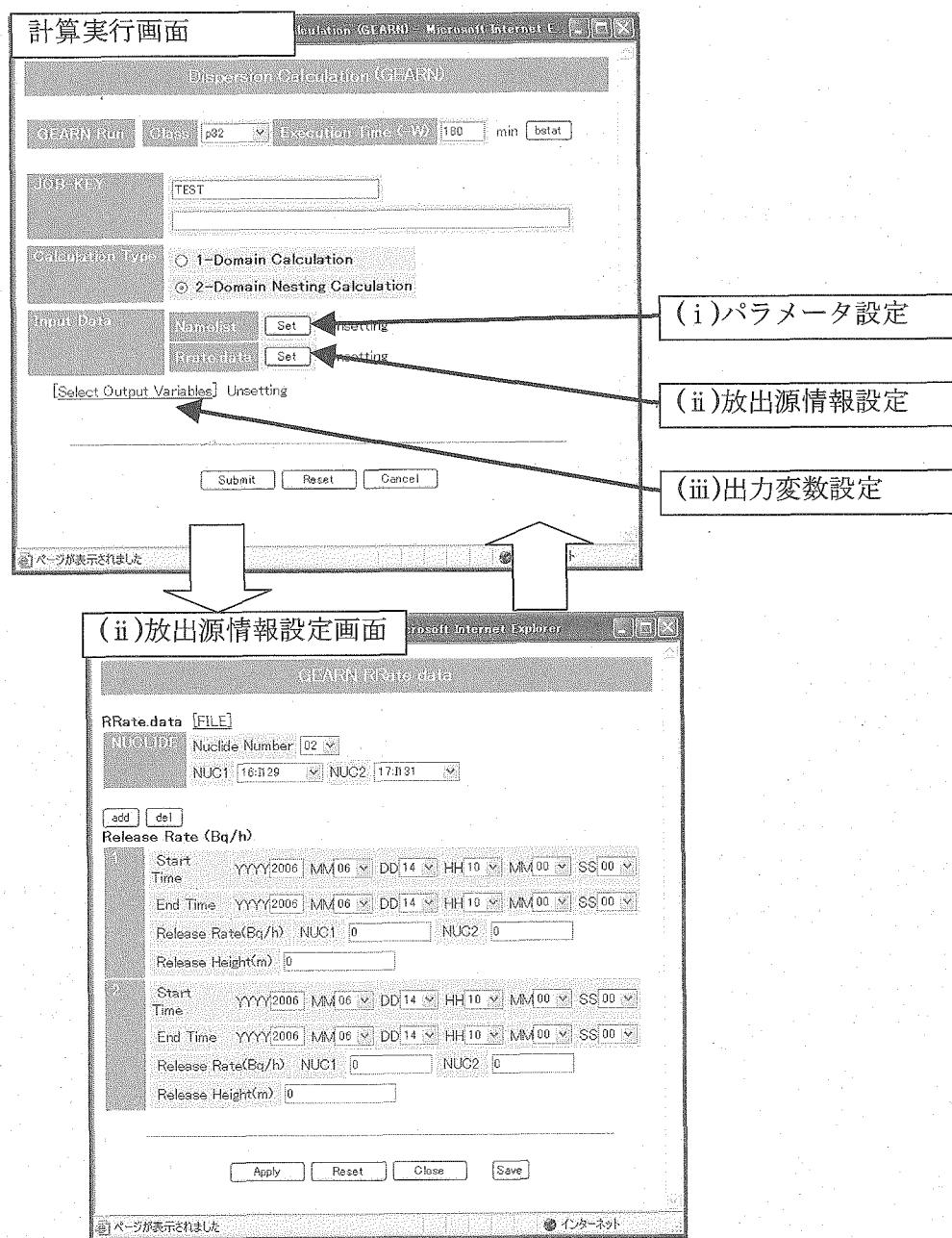


図 A15 GEARN 計算実行及び放出源情報設定画面 (1/2)

(i) パラメータ設定画面

GEARN NameList Parameter & GEARN  
Wide FILE [Narrow FILE]  
MMO netCDF (Wide Domain)  
FILE  
MMO netCDF (Narrow Domain)  
FILE  
OUTPATH (Wide Domain)  
PATH  
OUTPATH (Narrow Domain)  
PATH  
RLAT (Latitude of release point [degree])  
RLONG (Longitude of release point [degree])  
Z00 (Release height [m])  
50  
PWR  
35000  
YEAR 2006 MONTH 06 DAY 14  
HOUR 10 MIN 00 SEC 00  
YEAR 2006 MONTH 06 DAY 14  
HOUR 10 MIN 00 SEC 00  
Select 1  
CLOSE

放出点位置表示

Domain Area  
放出点位置表示  
CLOSE  
ページが表示されました インターネット

放出点設定

REGISTERED SITE  
Country: UKRAINE  
Site: Chernobyl  
UKRAINE  
Chernobyl-1 : RBMS 51.3833 30.1000 50.0  
Chernobyl-2 : RBMK 51.3833 30.1000 50.0  
Chernobyl-3 : RBMK 51.3833 30.1000 50.0  
Chernobyl-4 : RBMK 51.3833 30.1000 50.0  
Apply Close  
ページが表示されました インターネット

(ii) 出力変数設定画面

GEARN NetCDF Data Menu  
VARIABLES  
Terrain Height [m] (checked)  
WIND: U [m/s] (checked), V [m/s] (checked), W [m/s] (checked)  
Precipitation Intensity [mm/h] (checked)  
Accumulated Precipitation at Release Start [mm] (checked)  
Vertical Diffusion Coefficient [m²/s] (checked)  
CONCENTRATION [Bq/m³]  
Time Integrated Concentration [Bq/m³]  
Total Deposition [Bq/m²]  
Wet Deposition [Bq/m²]  
Dry Deposition [Bq/m²]  
Air Dose Rate [μGy/h]  
Inhalation Dose [mSv]  
External Dose [mSv]  
PARTICLE  
IODINE (checked), NOBLE (checked), Total (unchecked)  
IODINE (checked), NOBLE (checked), Total (checked)  
Apply Reset Close  
ページが表示されました インタースト

図 A15 GEARN 計算実行パラメータ及び出力変数設定画面 (2/2)

## ⑦放出源推定モデル GEARN-ME 実行

放出源推定モデル GEARN-ME の実行制御メニュー（図 A16）には、コンパイル、放出源候補作成、及び計算実行がある。計算実行には、通常の大型計算機（Altix3700Bx2）上のジョブ投入と ITBL-Grid での大規模並列計算実行（ここでは GUI 画面は示さない）がある。

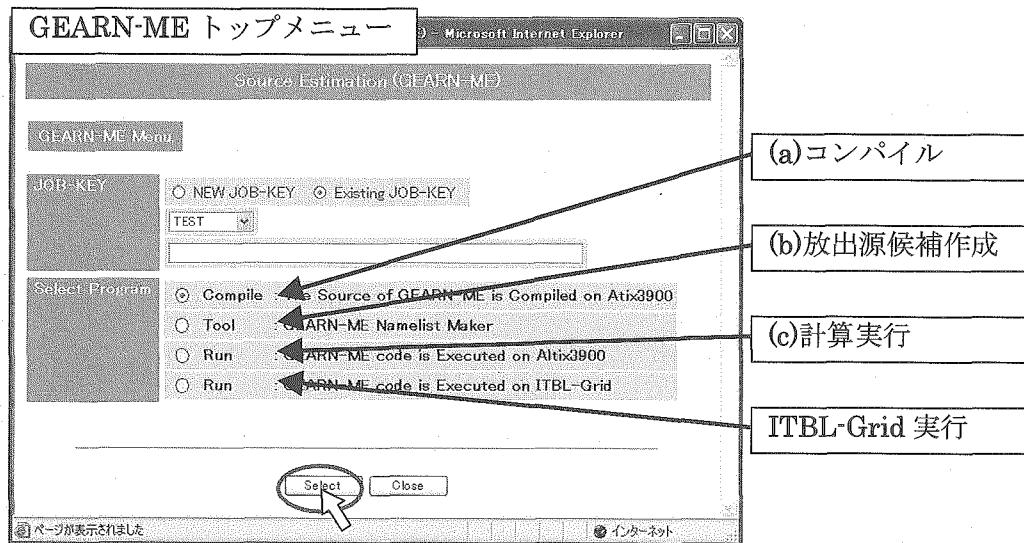


図 A16 放出源推定モデル GEARN-ME 実行 トップメニュー画面

### (a) コンパイル

GEARN-ME のコンパイル画面（図 A17）では計算領域の設定のみ必要であるが、結合する MM5 計算の出力ファイルをファイル選択 GUI により指定することで自動的に同じ領域が反映される。

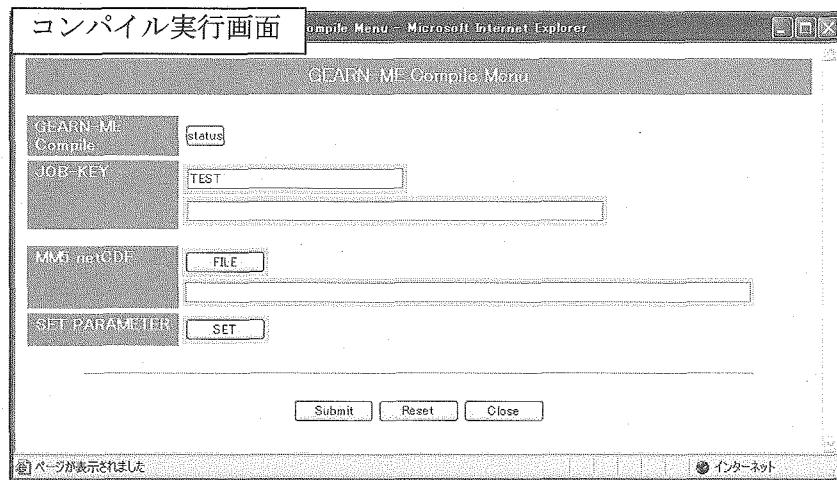


図 A17 GEARN-ME コンパイル実行画面

## (b) 放出源候補作成

放出源推定候補作成では、想定される地点、開始時間、継続時間、放出率の組み合わせにより多数のケースを設定する。入力の MM5 計算による気象場についても設定を変更した複数のケースについて実行できる。これらの多数の結果と観測データとの比較を統計処理することで放出源を決定するが、観測点の計算結果を出力するための観測点情報を設定する必要もある。また、GEARN 同様、出力変数の設定も可能である。これらの設定を図 A18 の各 GUI 画面により行う。

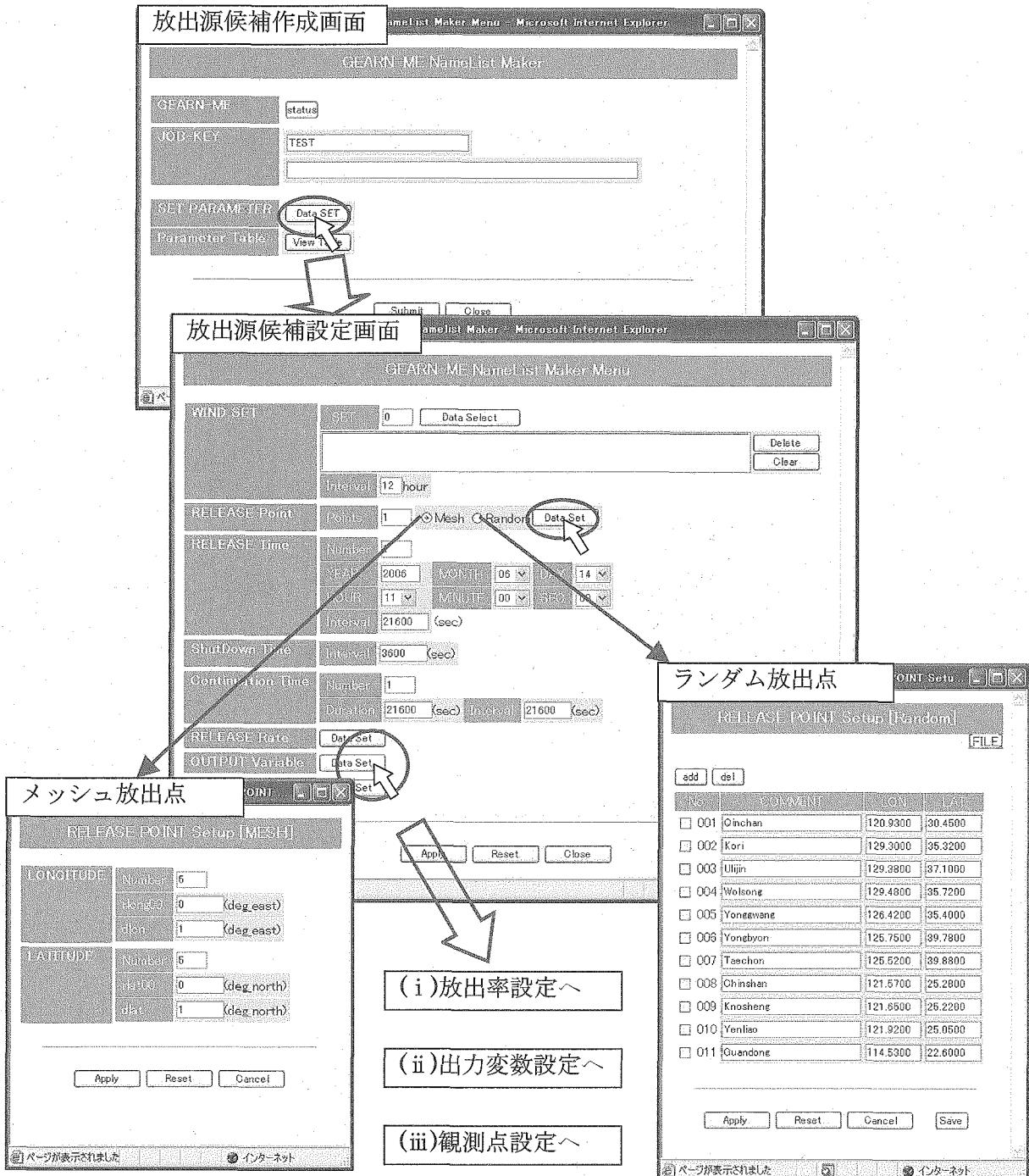


図 A18 GEARN-ME 放出源候補作成画面及び放出源候補設定画面 (1/2)

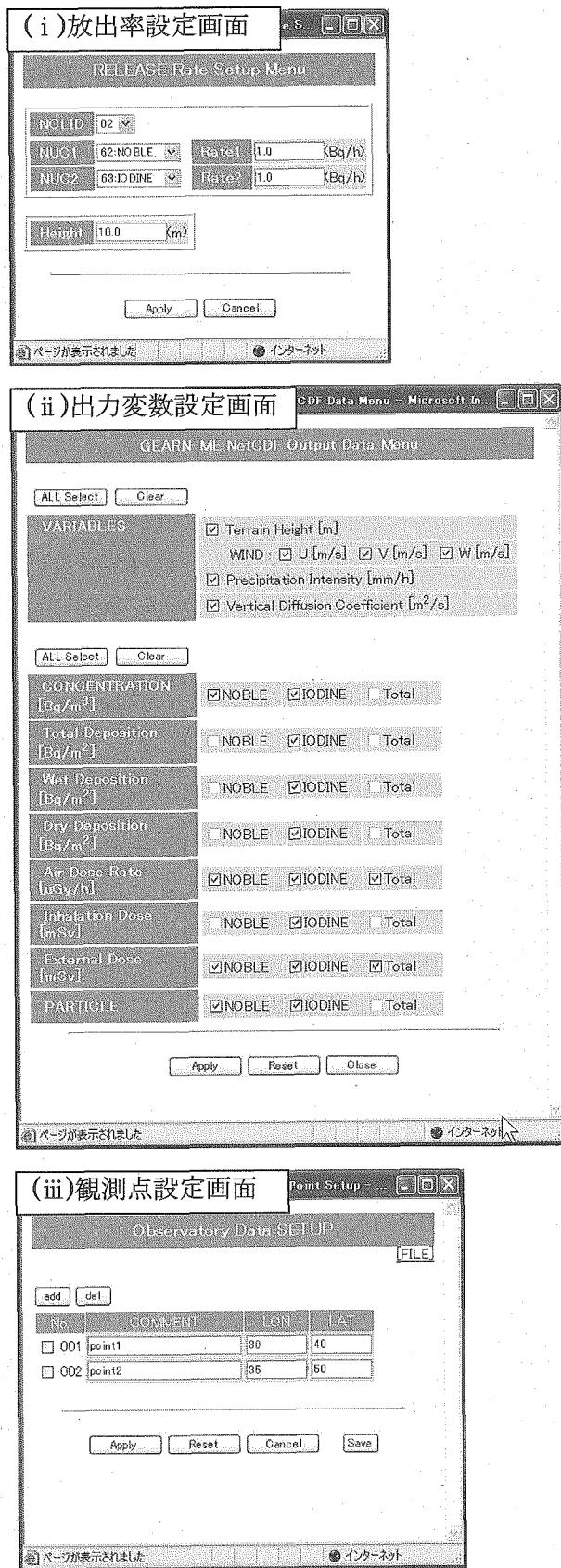


図 A18 放出率設定、出力変数設定、及び観測点設定画面 (2/2)

## (c) 計算実行

GEARN-ME 計算実行 GUI (図 A19) では、パラメータ設定画面で放出源候補に依存しない共通パラメータを入力し、大型計算機 (Altix3700Bx2) に投入するジョブのキュークラス及び CPU 数を指定する。

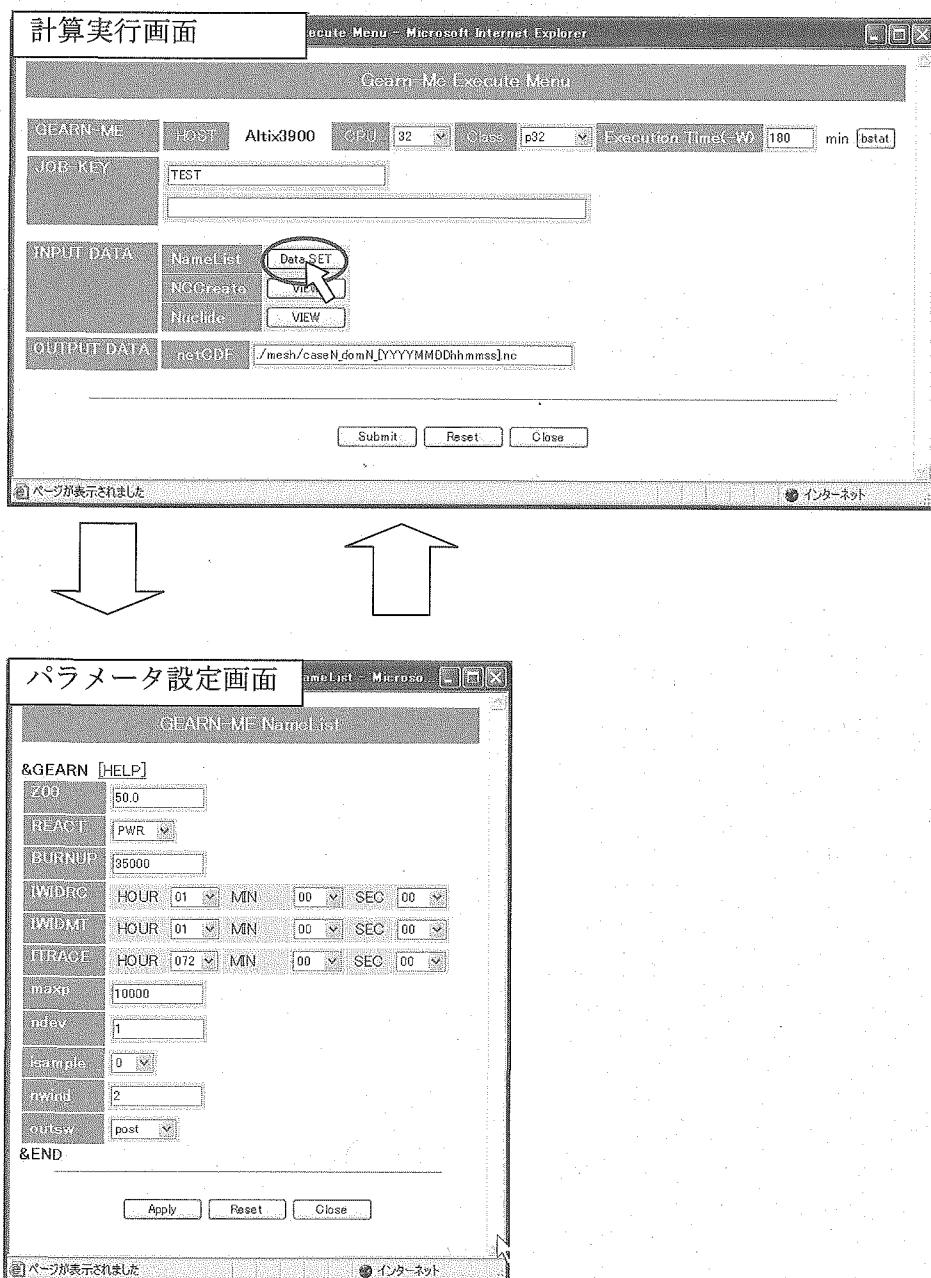


図 A19 GEARN-ME 計算実行及びパラメータ設定画面

### ⑧海洋モデル POM 実行

海洋モデル POM の実行制御メニュー（図 A20）には、水深データ作成、入力データ作成、コンパイル、及び計算実行がある。本システムに導入した POM は、5 領域までのネスティング計算が可能であり、それに対応した水深データや入力データを作成する機能もシステム上に整備した。次ページから各機能の GUI を示す。

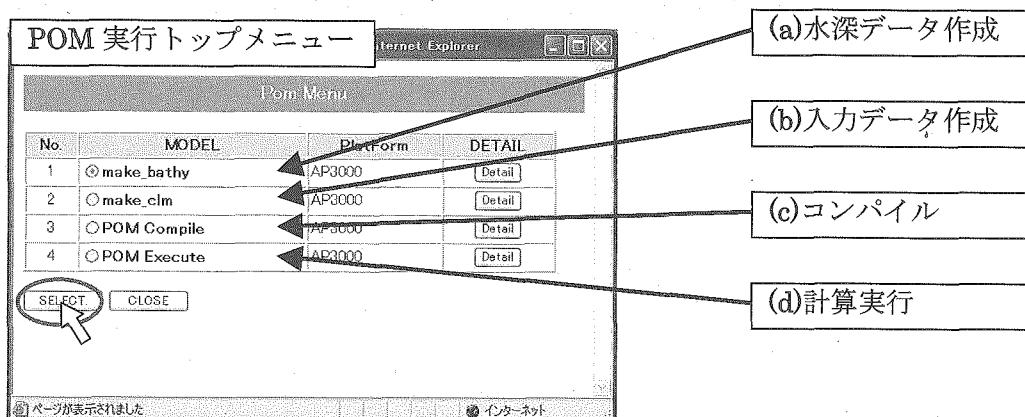


図 A20 海洋モデル POM 実行トップメニュー画面

## (a) 水深データ作成

図 A21 の GUI 画面により、全球水深データベースを元に任意地点で 5 領域までのネスティング計算領域の水深データを作成するプログラムの制御を行う。

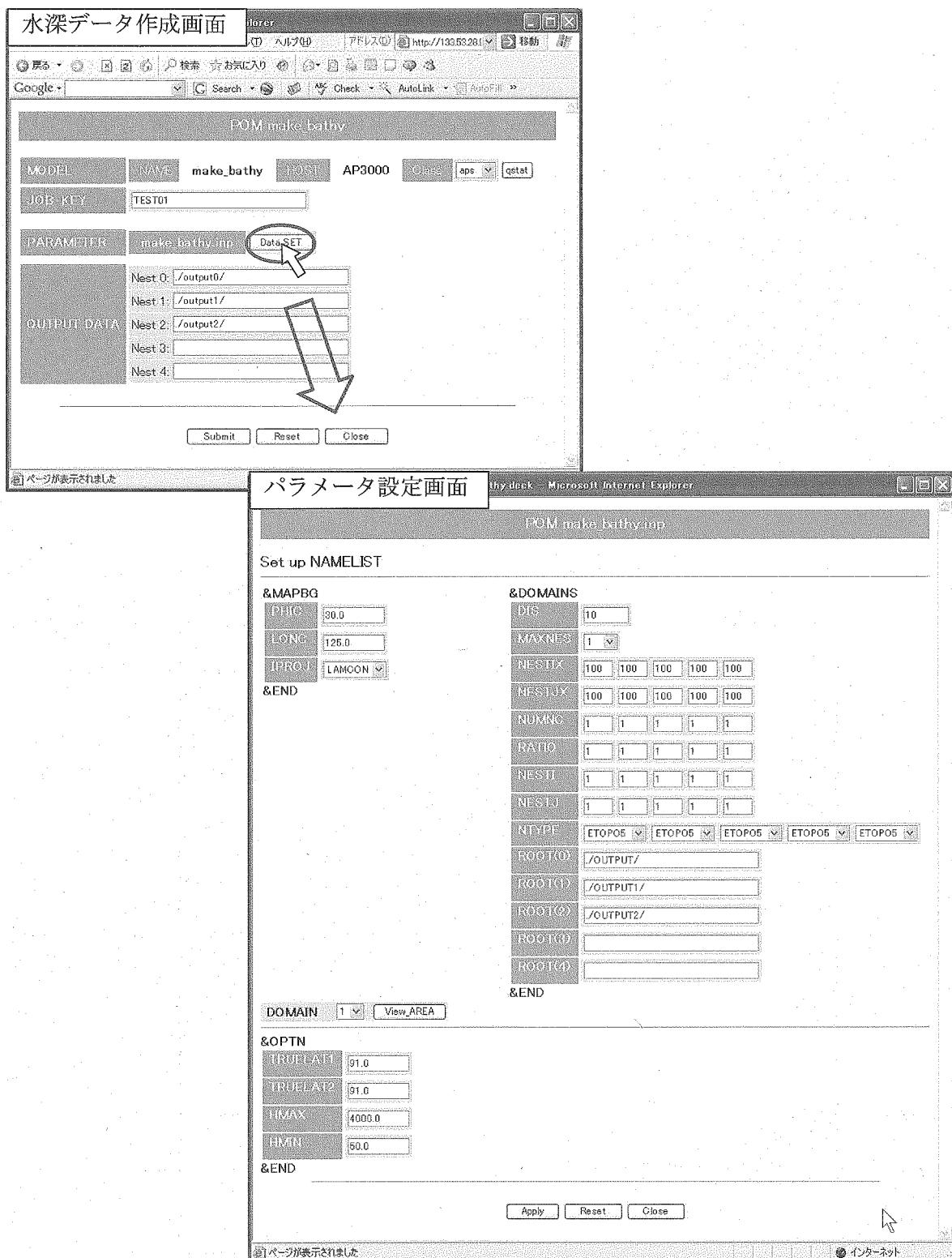


図 A21 POM 水深データ作成及びパラメータ設定画面

## (b) 入力データ作成

図 A22 の GUI 画面により、POM 計算の入力気象データの作成及び計算格子の鉛直座標生成を行うプログラムの制御を行う。

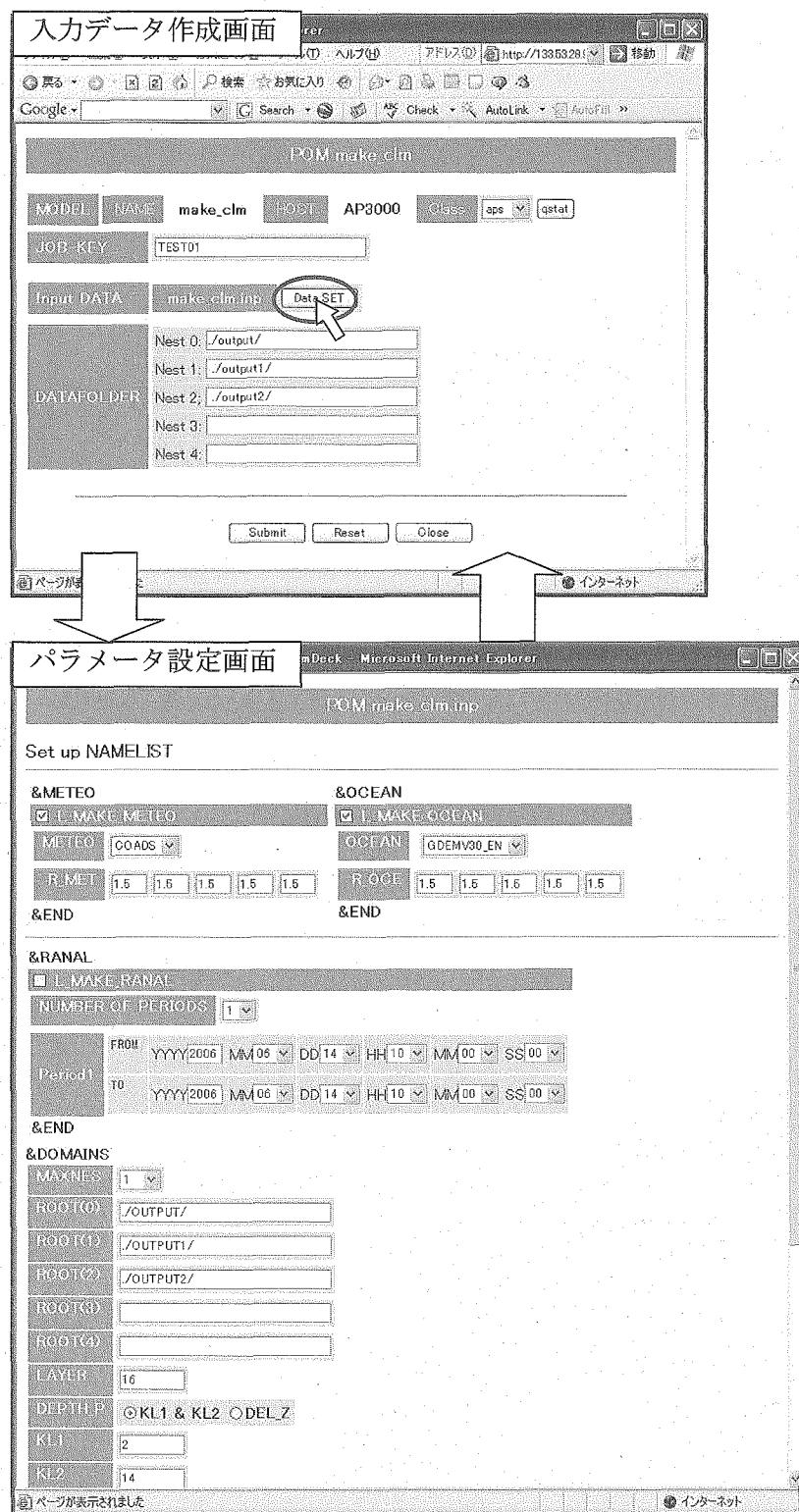


図 A22 POM 入力データ作成及びパラメータ設定画面

## (c) コンパイル

POM 計算コードのコンパイルを行う GUI (図 A23) では、前述のプリプロセッサーで作成保存した計算領域から使用する領域を選択し実行する。選択した領域は画像データを表示して確認することができる。

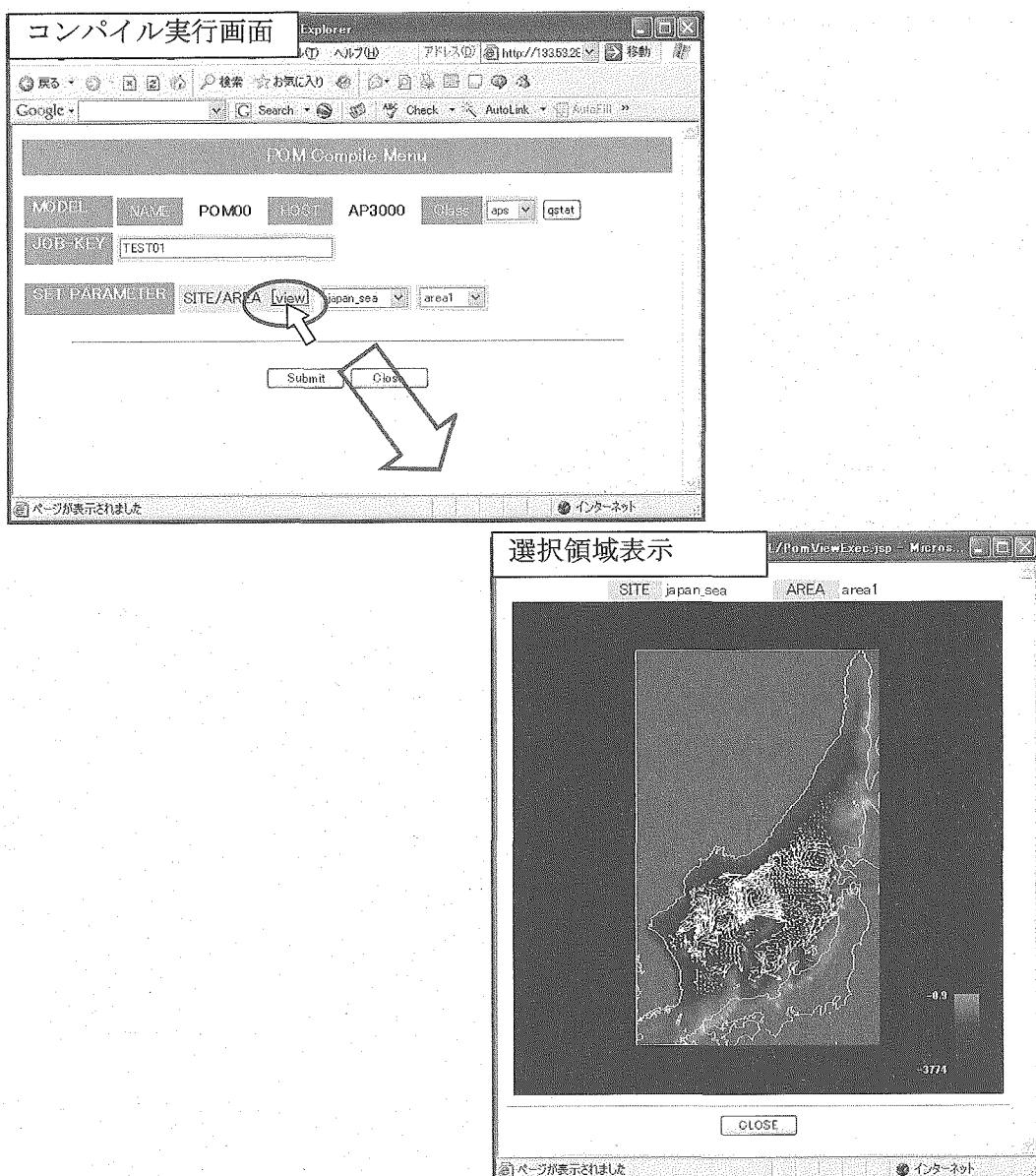


図 A23 POM コンパイル実行及び設定領域表示画面

## (d) 計算実行

POM 計算実行 GUI (図 A24) では、(i) パラメータ設定及び(ii) 出力設定を各設定画面で入力し、投入するジョブのキュークラスを指定する。

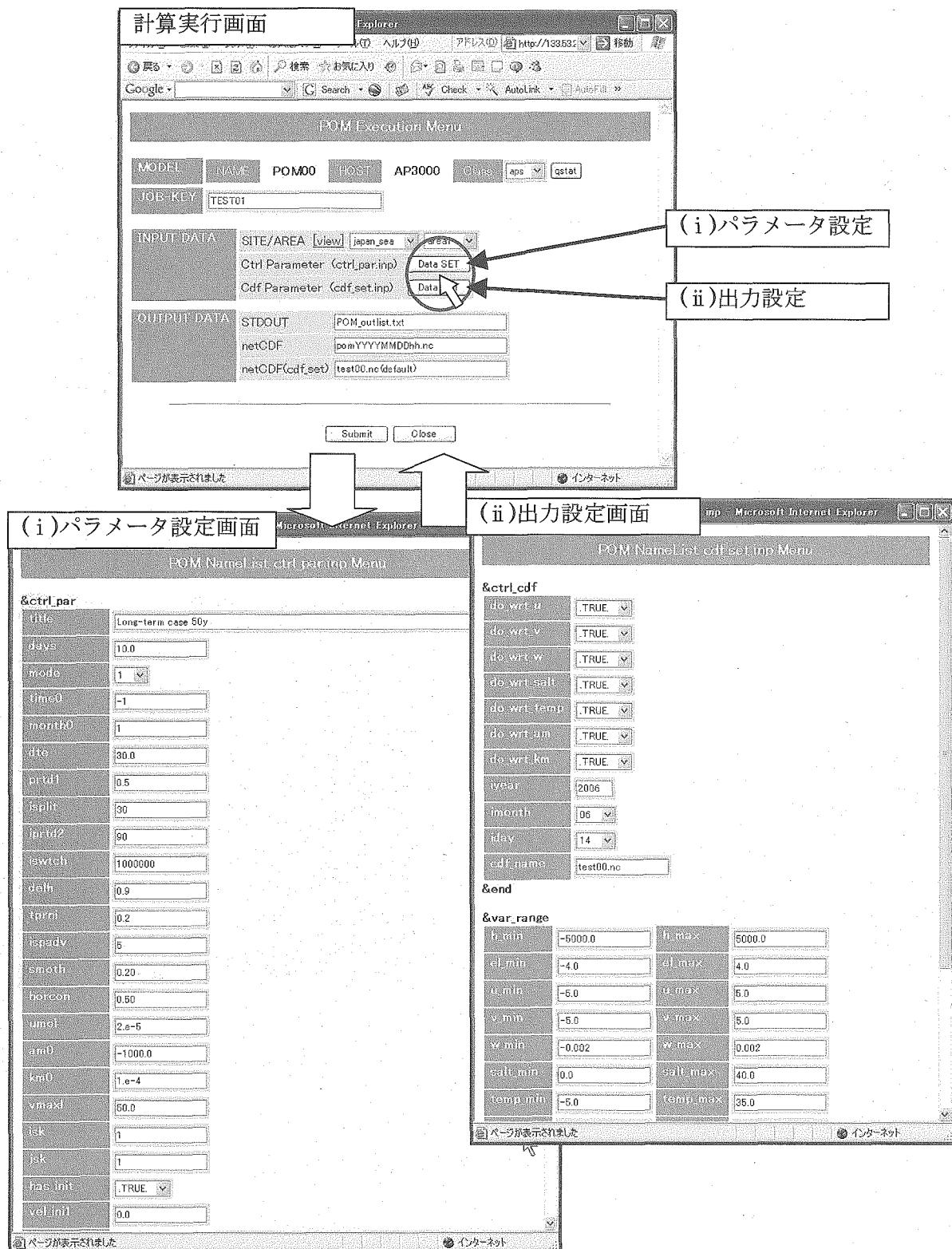


図 A24 POM 計算実行、パラメータ及び出力設定画面

## ⑨水文モデル RIVERS 実行

水文モデル RIVERS の実行制御メニュー（図 A25）には、現在プリプロセッサーである計算格子作成及び流下方向・流路網作成が整備してあるが、モデルが開発途上であるため計算実行 GUI はまだ導入していない。次ページからプリプロセッサー各機能の GUI を示す。

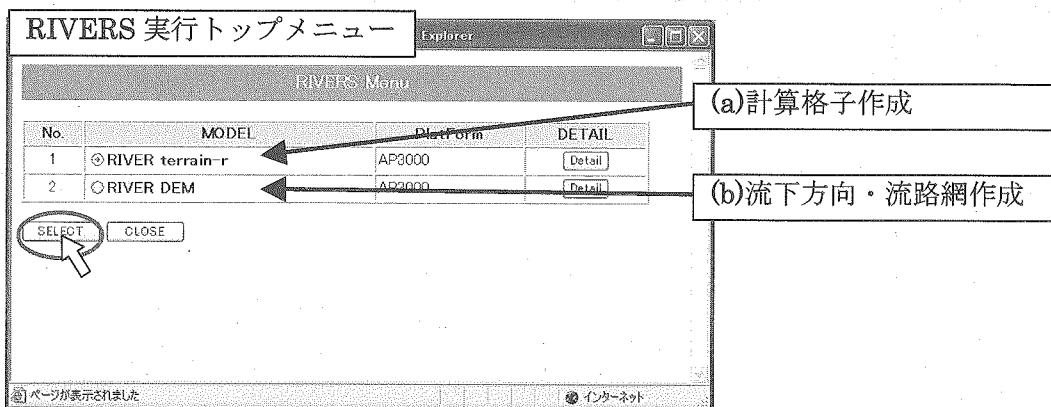


図 A25 水文モデル RIVERS 実行トップメニュー画面

## (a) 計算格子作成

RIVERS の計算格子作成 (図 A26) は、MM5 と同様に地図投影パラメータ、計算格子数及び間隔により領域指定を行うが、これらのパラメータ設定は 3 通りの方法で行うことができる。第 1 に全て任意に入力、第 2 にデータベースから流域情報を読み出し選択した流域をカバーするように自動設定 (格子数と間隔のみ指定)、第 3 に MM5 の地形データと同じ領域で作成。各方法ともに、選択した流域と計算領域の位置関係を地図表示で確認することができる。

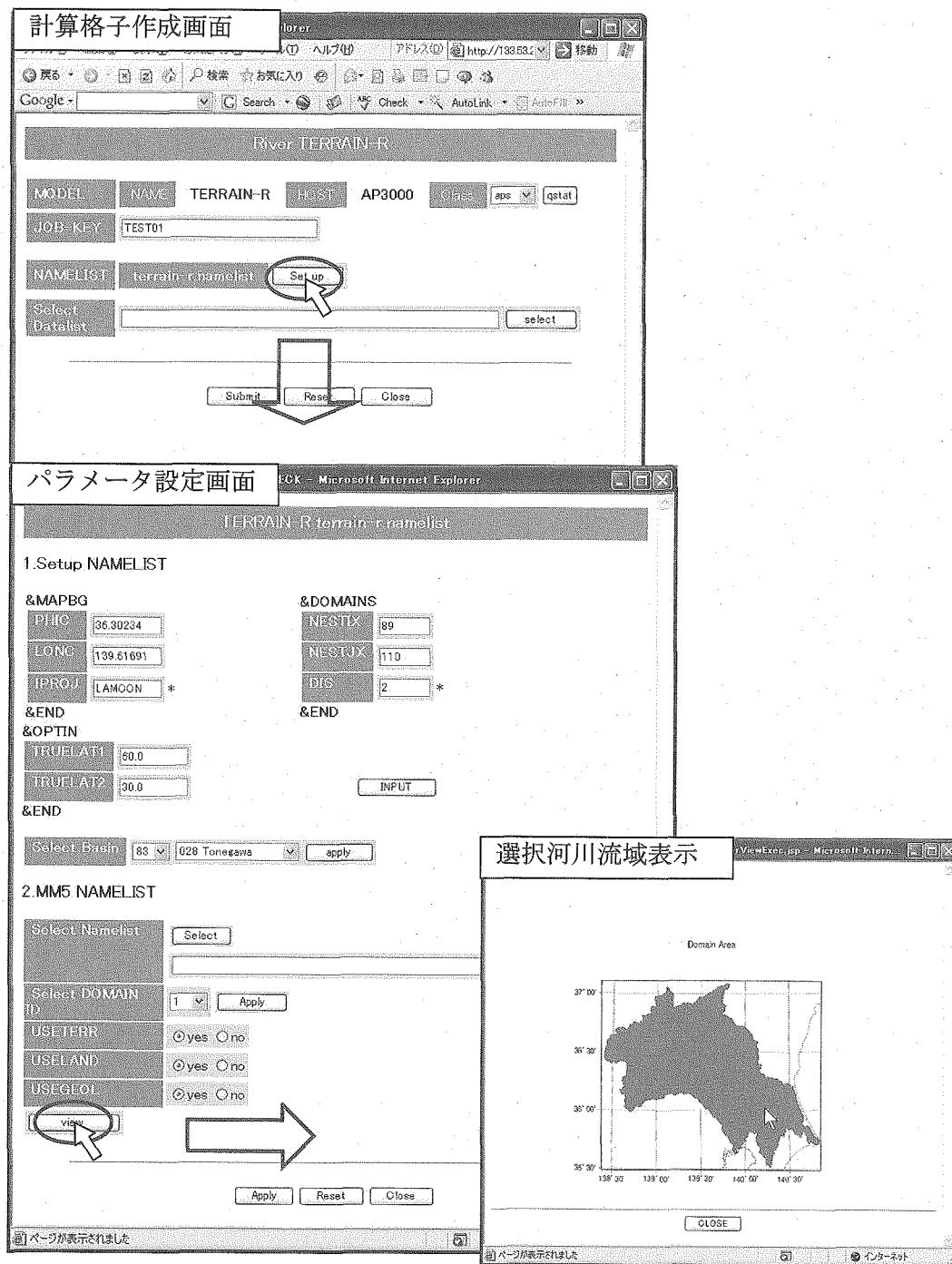


図 A26 RIVERS 計算格子作成及びパラメータ設定画面

## (b) 流下方向・流路網作成

RIVERS 流下方向・流路網作成 GUI (図 A27) では、前述の計算格子作成機能で作成した格子データファイルまたは MM5 の地形データファイルを入力として選択し実行する。



図 A27 RIVERS 流下方向・流路網作成画面

## ⑩GMT-2 次元可視化

GMT-2 次元可視化を起動すると、可視化データ選択画面（図 A28 上）と可視化制御画面（図 A28 下）が同時に開き、まずデータ選択（複数及び異なるデータファイルも可）を行い適用（Apply）すると制御画面上部の選択データ表示ウインドウに選択したファイルが表示される。このデータが可視化対象となるが、後から追加することも可能である。この可視化対象データから任意のデータを多数の可視化レイヤーにそれぞれ割り当て、レイヤー毎に異なる手法でデータの可視化を行い重ね合わせることで複雑な可視化を行うことができる。以下に可視化制御で特に重要な保存可視化設定の適用、可視化レイヤー詳細設定、及び可視化表示の各制御画面を示す。

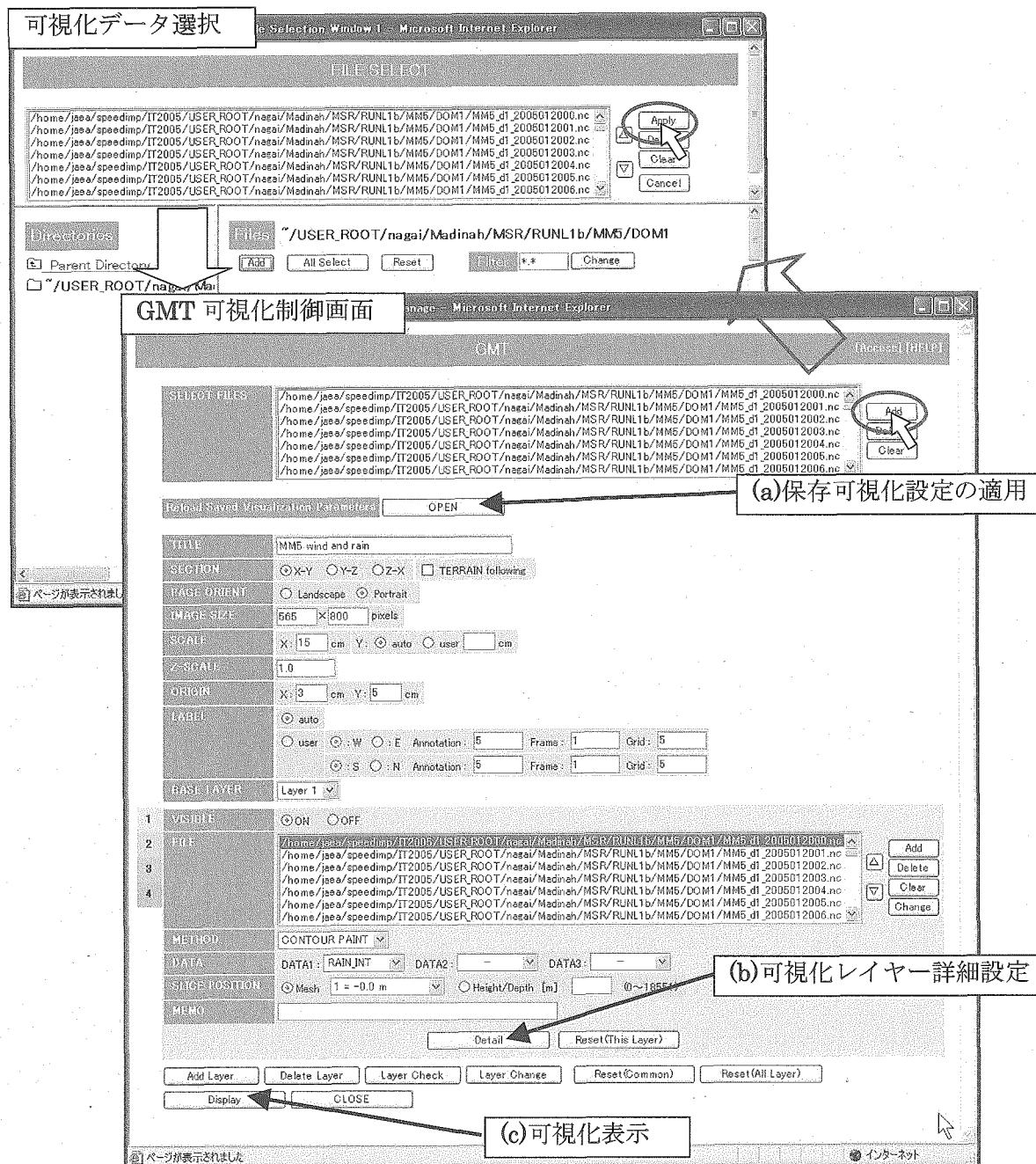


図 A28 GMT-2 次元可視化データ選択及び制御画面

## (a) 保存可視化設定の適用

多数のレイヤーを重ね合わせた複雑な可視化では、この可視化情報の設定は煩雑であるため、可視化設定情報を保存しておき、可視化設定の際に過去に保存した情報をロードして設定処理を簡略化することができる。可視化制御画面で可視化を行うデータファイルを指定後、保存可視化設定の適用画面（図 A29）を開き、レイヤー情報や画像アイコン等を参考に利用したい保存情報を選択し適用（Apply）する。可視化制御画面に設定情報が反映され、画像作成ボタンをクリックするだけで前回と同じ可視化画像を作成できる。

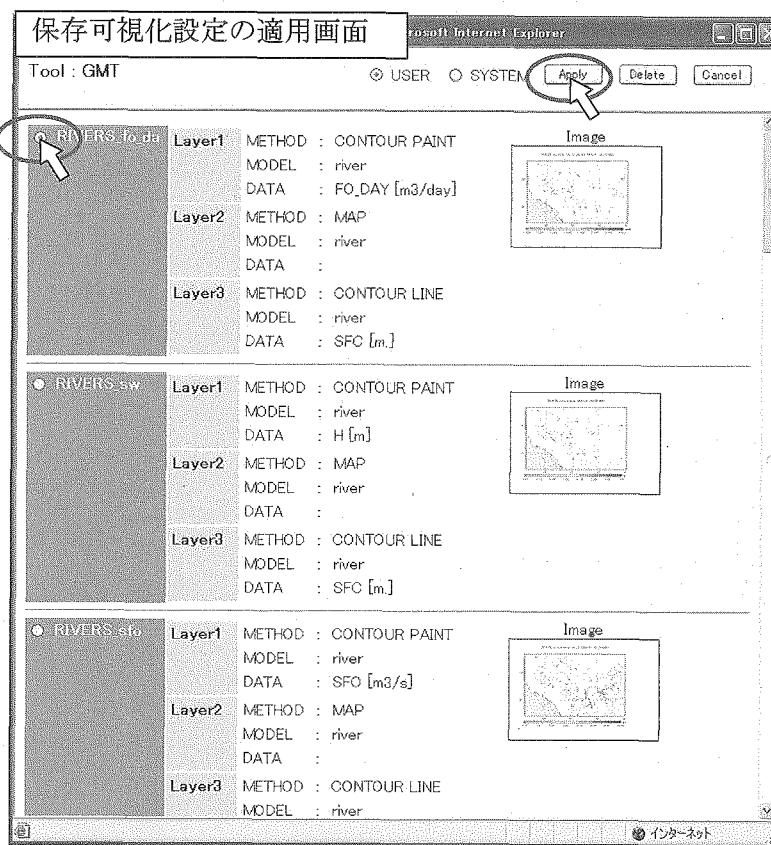


図 A29 GMT 保存可視化設定の適用画面

## (b) 可視化レイヤー詳細設定

GMT の可視化手法には、コンター（線及びグラデーション）、2 次元格子点ベクトル、プロット（スカラー及びベクトル）、及び地図（海岸線及び行政界）描画がある。各手法についてデフォルトの設定で即座に可視化することも可能であるが、詳細設定画面（図 A30）でコンター間隔、色、ベクトルの大きさ、地図の表示等を設定することができる。本システムでは、効果的な可視化を行う上で特に重要なカラーマップの作成支援 GUI が整備されている。

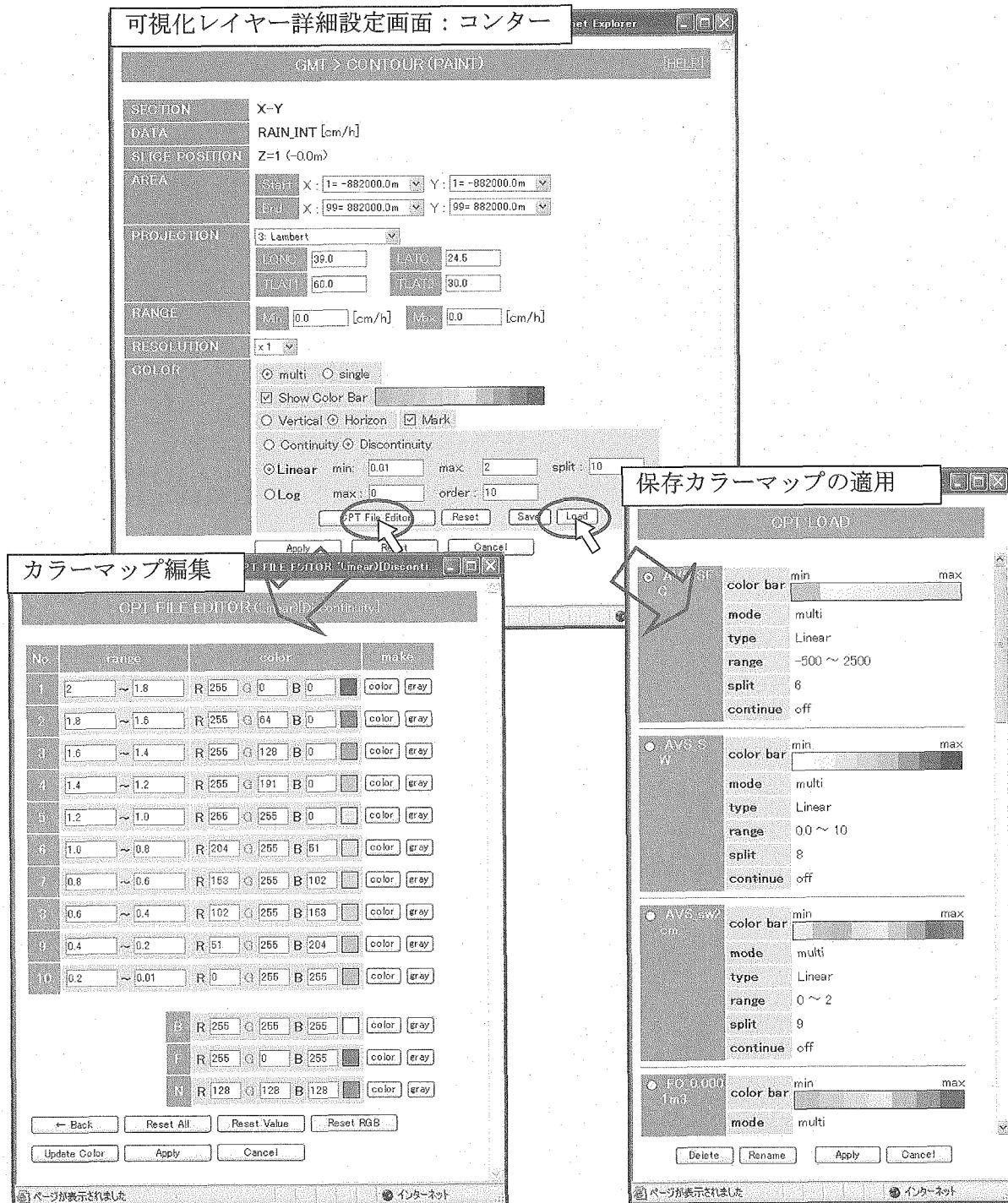


図 A30 GMT 可視化レイヤー詳細設定画面：コンター設定画面及びカラーマップ作成画面 (1/2)

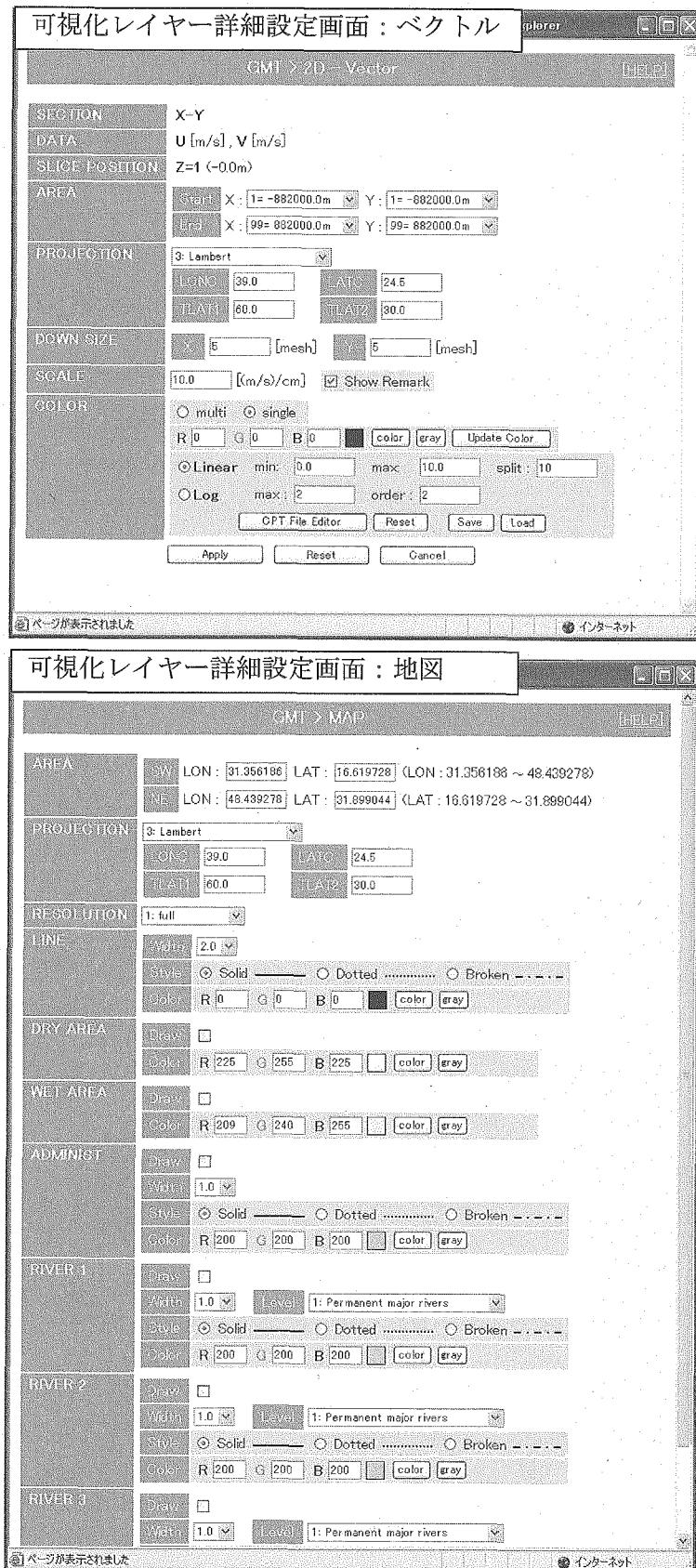


図 A30 ベクトル及び地図設定画面 (2/2)

## (c) 可視化表示

可視化制御画面で表示 (Display) ボタンをクリックすると可視化表示画面 (図 A31 上) が開き、作成された可視化の JPEG 画像と各可視化レイヤーの設定情報が表示される。可視化するデータファイルを複数選択 (時刻が異なる同一データ) している場合には画像の下の送りボタンやプルダウン選択により他ファイルのデータも同一の設定で可視化を行い表示することができる。また、画像保存 (図 A31 下) では選択した複数データを一括して可視化し保存することができる。

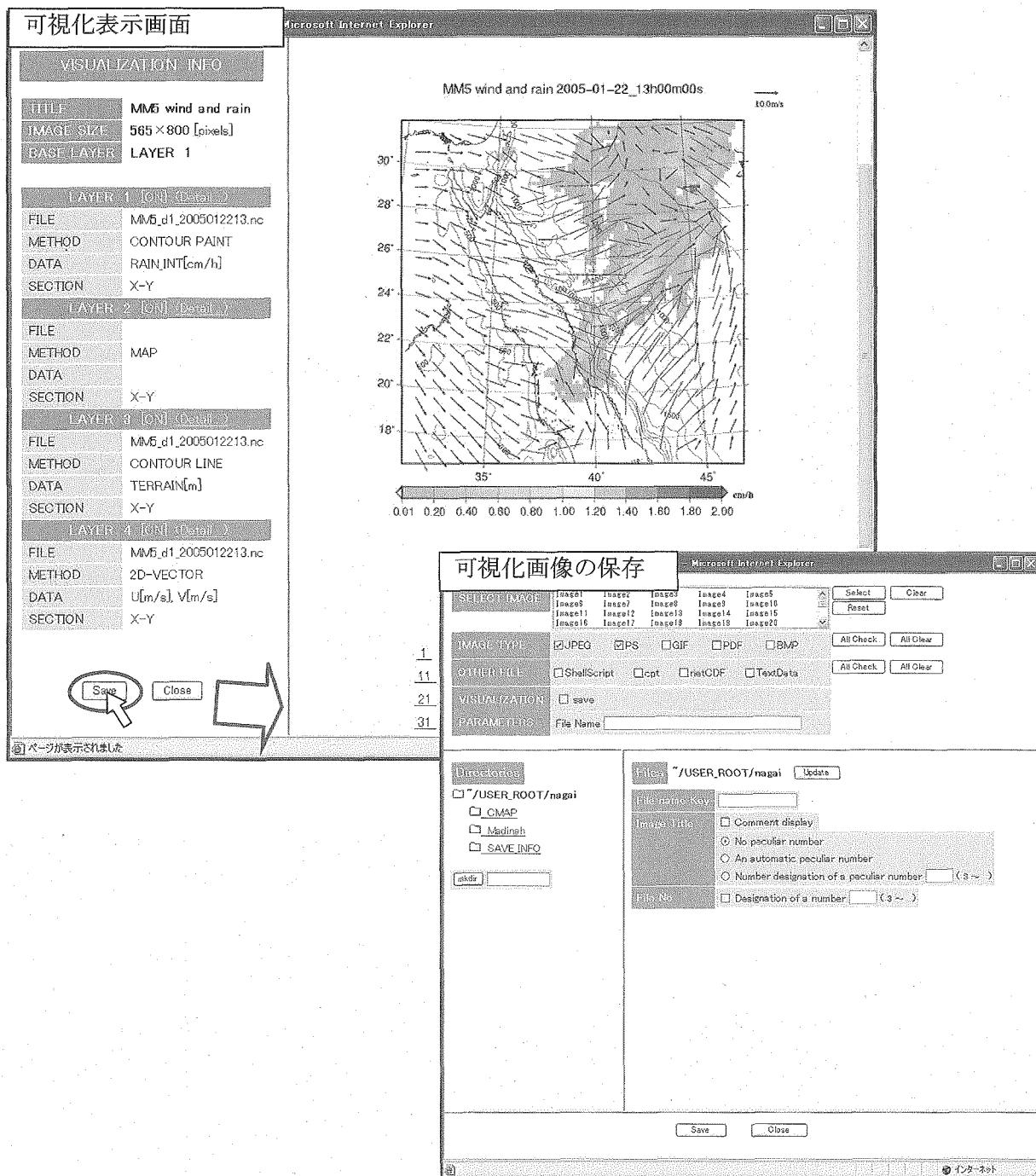


図 A31 GMT 可視化表示及び保存画面

## ⑪AVS-3 次元可視化

AVS-3 次元可視化を起動すると、GMT 可視化と同様に可視化データ選択画面（図 A32 上）と可視化制御画面（図 A32 下）が同時に開き、データ選択を行い適用（Apply）すると制御画面上部の選択データ表示ウインドウに選択したファイルが表示される。その後 GMT 可視化と同様に操作するが、2 次元と 3 次元の違いから設定画面が多少異なっている。以下に、保存可視化設定の適用、可視化レイヤー詳細設定、及び可視化表示の各制御画面を示す。

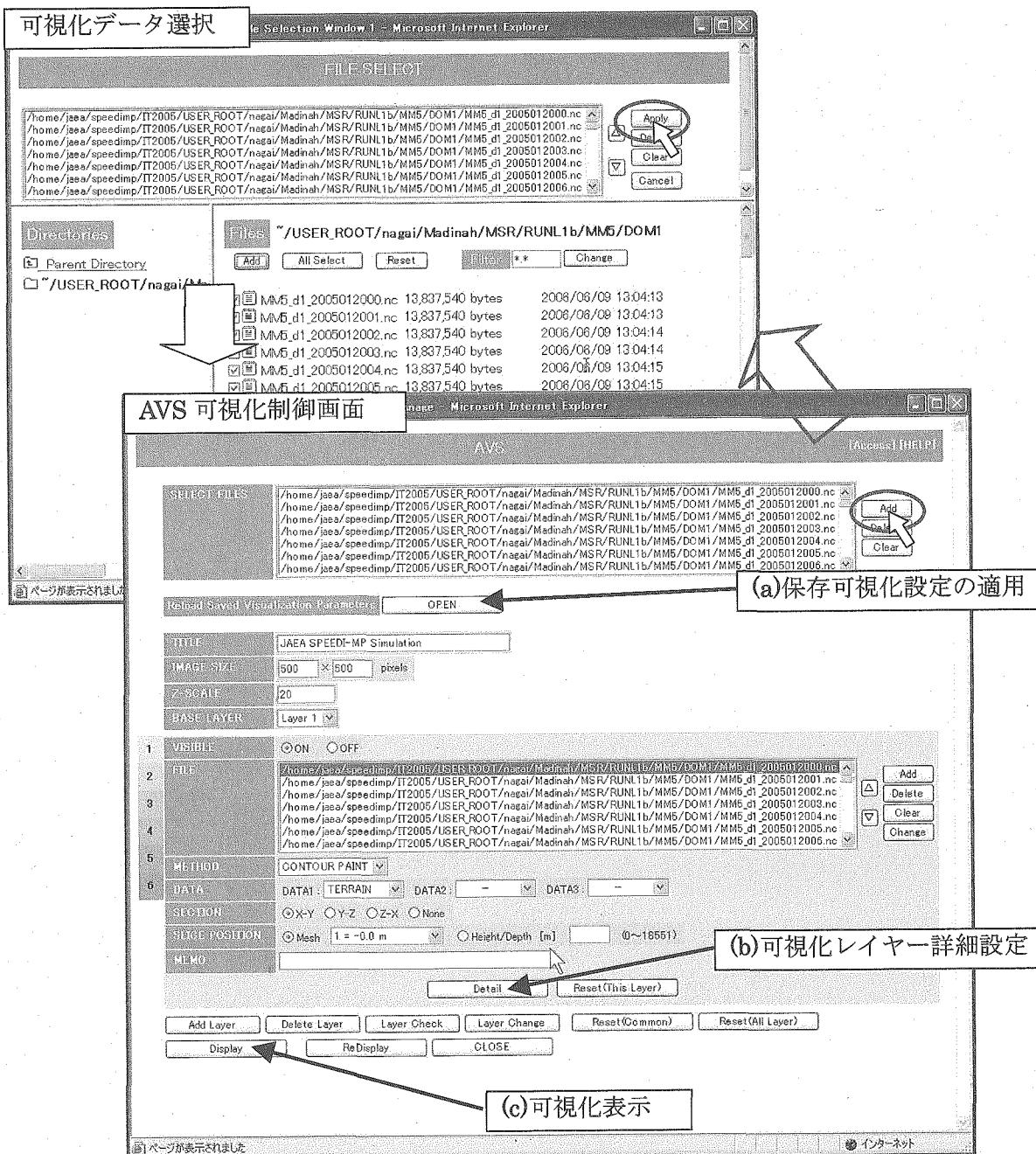


図 A32 AVS-3 次元可視化データ選択及び制御画面

## (a) 保存可視化設定の適用

GMT 可視化と同様に、可視化制御画面で可視化を行うデータファイルを指定後、保存可視化設定の適用画面（図 A33）を開き、利用したい保存情報を選択し適用（Apply）する。ここで、選択画面には、AVS 可視化設定のみ表示される。

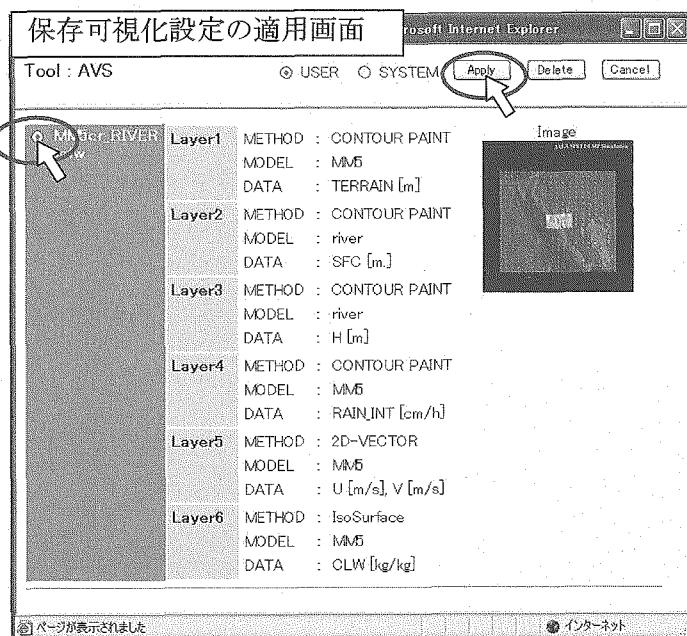


図 A33 AVS 保存可視化設定の適用画面

## (b) 可視化レイヤー詳細設定

AVS の可視化手法には、GMT 可視化にあるコンター（線及びグラデーション）、2 次元格子点ベクトル、プロット（スカラー及びベクトル）、及び地図（海岸線及び行政界）描画に加えて、3 次元格子点ベクトル、等値面（図 A34 上）、及び等値ボリューム（図 A34 下）がある。基本的な設定内容及び操作は GMT と共通であるが、AVS では 3 次元特有の設定としてコンター（グラデーション）や等値面の透過設定が可能で、重ね合わせた際に裏に隠れた可視化物体も透けて見えるように表示できる。

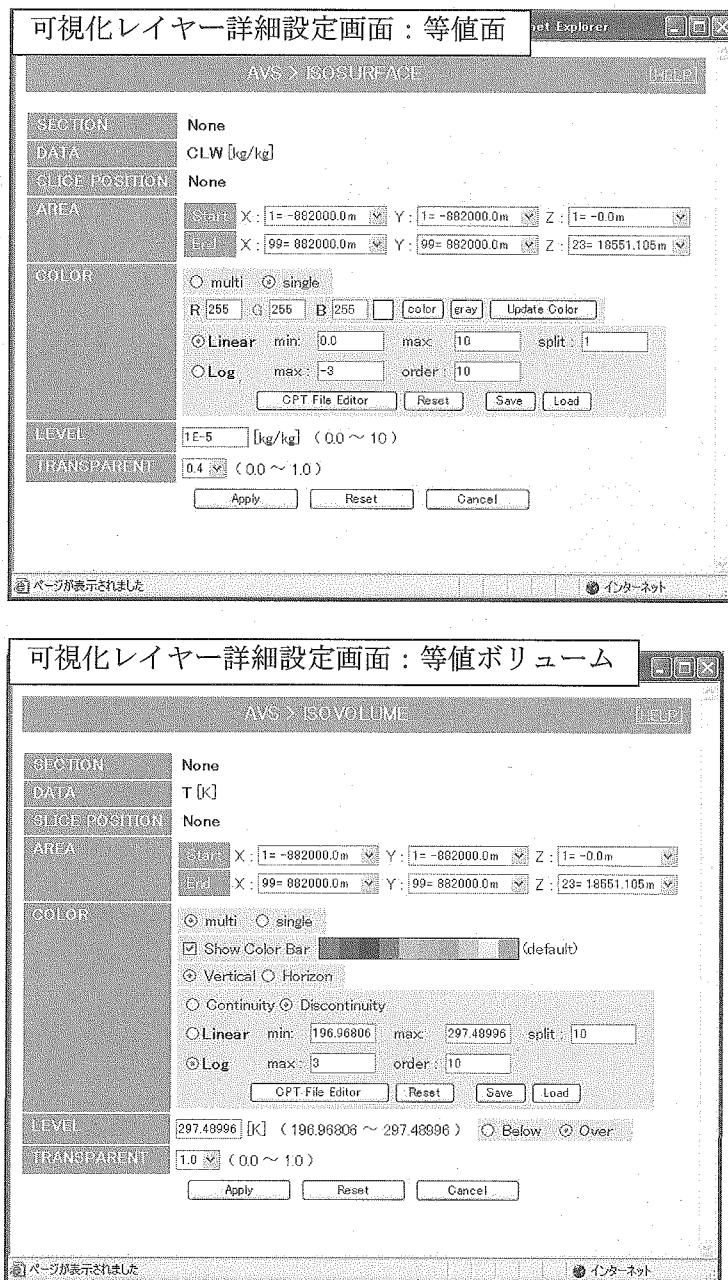


図 A34 AVS 可視化レイヤー詳細設定画面：等値面及び等値ボリューム設定画面

## (c) 可視化表示

可視化制御画面で表示 (Display) ボタンをクリックすると可視化表示画面 (図 A35 上) が開き、作成された可視化の JPEG 画像と各可視化レイヤーの設定情報及び表示コントロール画面が表示される。表示コントロール画面の操作により、AVS の表示機能にある画像の回転、移動、拡大縮小を行うことができる。また、GMT 同様に可視化するデータファイルを複数選択している場合には、他ファイルのデータも同一の設定で可視化を行い表示することができ、画像保存 (図 A35 下) で選択した複数データを一括して可視化し保存することができる。AVS 可視化保存特有の機能として、複数データ保存時に 3 次元アニメーション再生が可能なフォーマット GFA (Geometry Flipbook Animation) での保存を行うことができる。

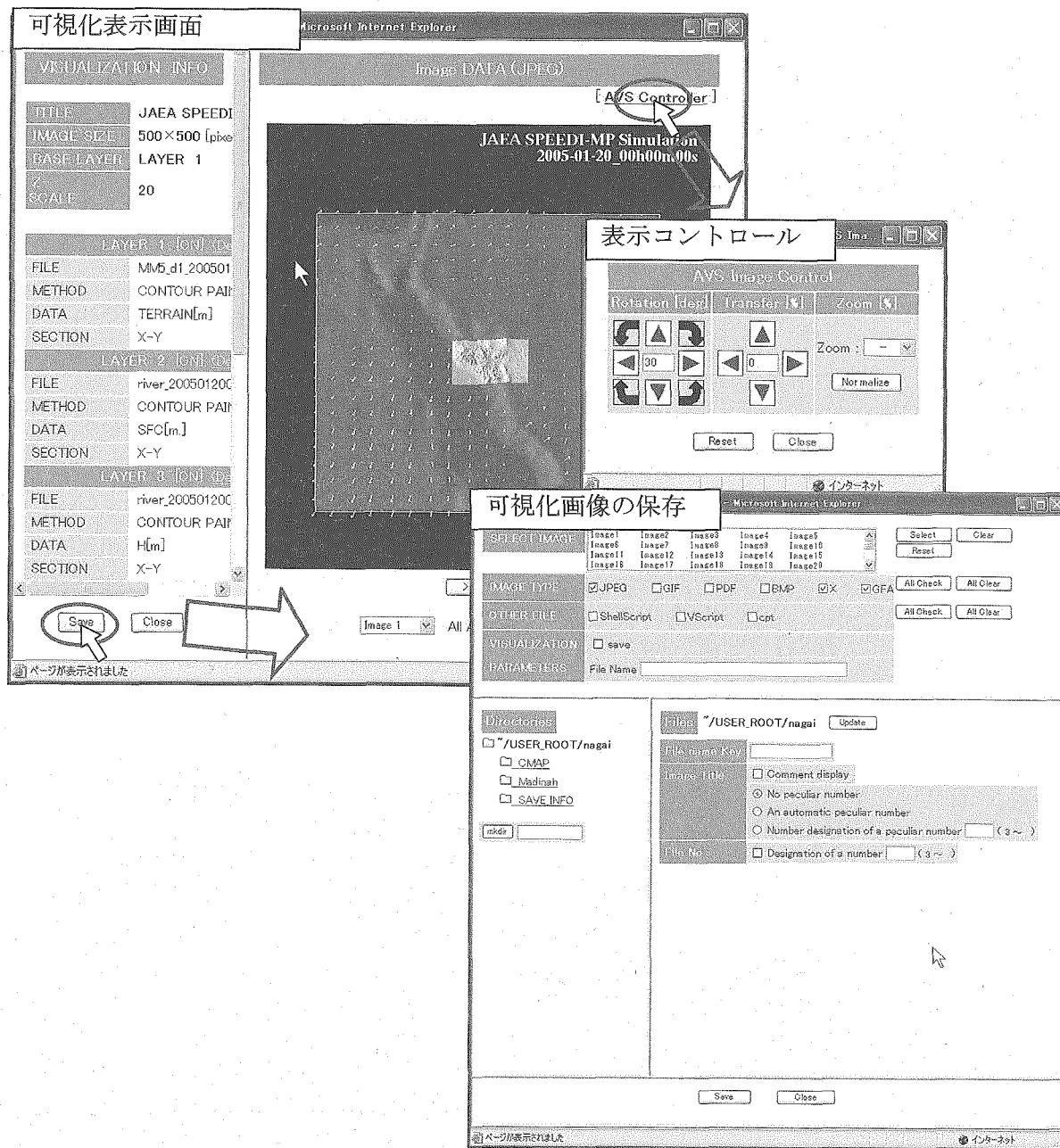


図 A35 AVS 可視化表示及び保存画面

## ⑪画像データベース

画像データベースを起動すると、画像格納ディレクトリ選択画面（図 A36 上）と画像データベース画面（図 A36 中）が同時に開き、ディレクトリ選択を行い適用（Apply）するとデータベース画面に選択したディレクトリ内に格納された画像のサムネール一覧がテーブル状に表示される。格納ディレクトリの変更は、画像データベース画面上部のメニューボタン左端の“DIR”をクリックすることで可能である。サムネールをクリックすることにより、オリジナルサイズの保存画像が可視化設定情報とともに表示される（図 A36 左下）。また、サムネール左側のチェックボックスにより選択した画像についてメニューの各機能（図 A37）が適用される。

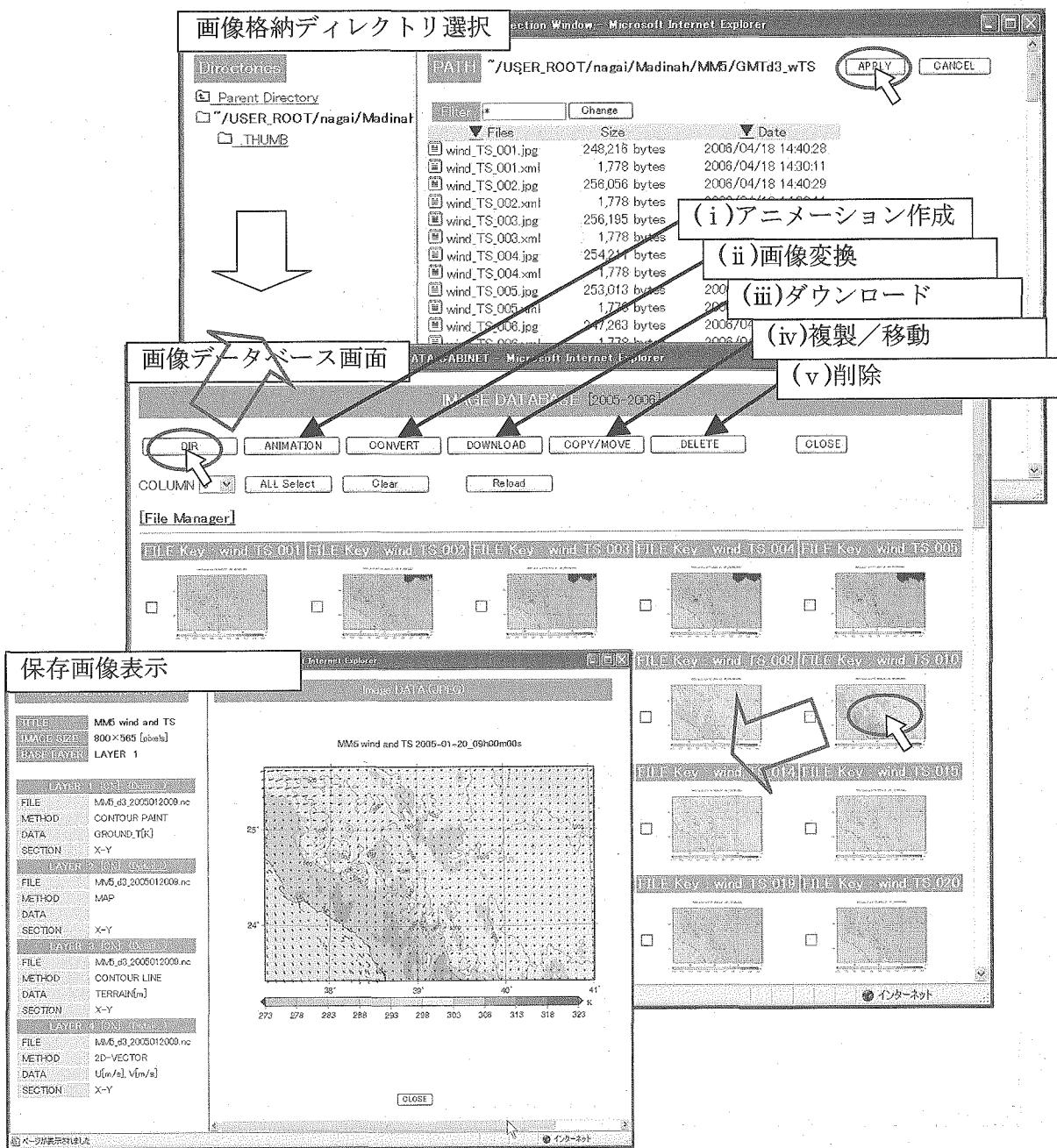


図 A36 画像格納ディレクトリ選択画面及び画像データベース画面



図 A37 画像データベースの各種機能画面

⑬WSPEEDI システムメニュー

WSPEEDI システムメニュー（図 A38）は、WSPEEDI 予測を的確かつ迅速に行うことができるよう、前述の入力データの作成から、気象場計算、拡散計算あるいは放出源推定計算、可視化までの一連の操作を手順に従ってまとめたものである。また、国外の同種予測システムとの情報交換機能も含まれている。

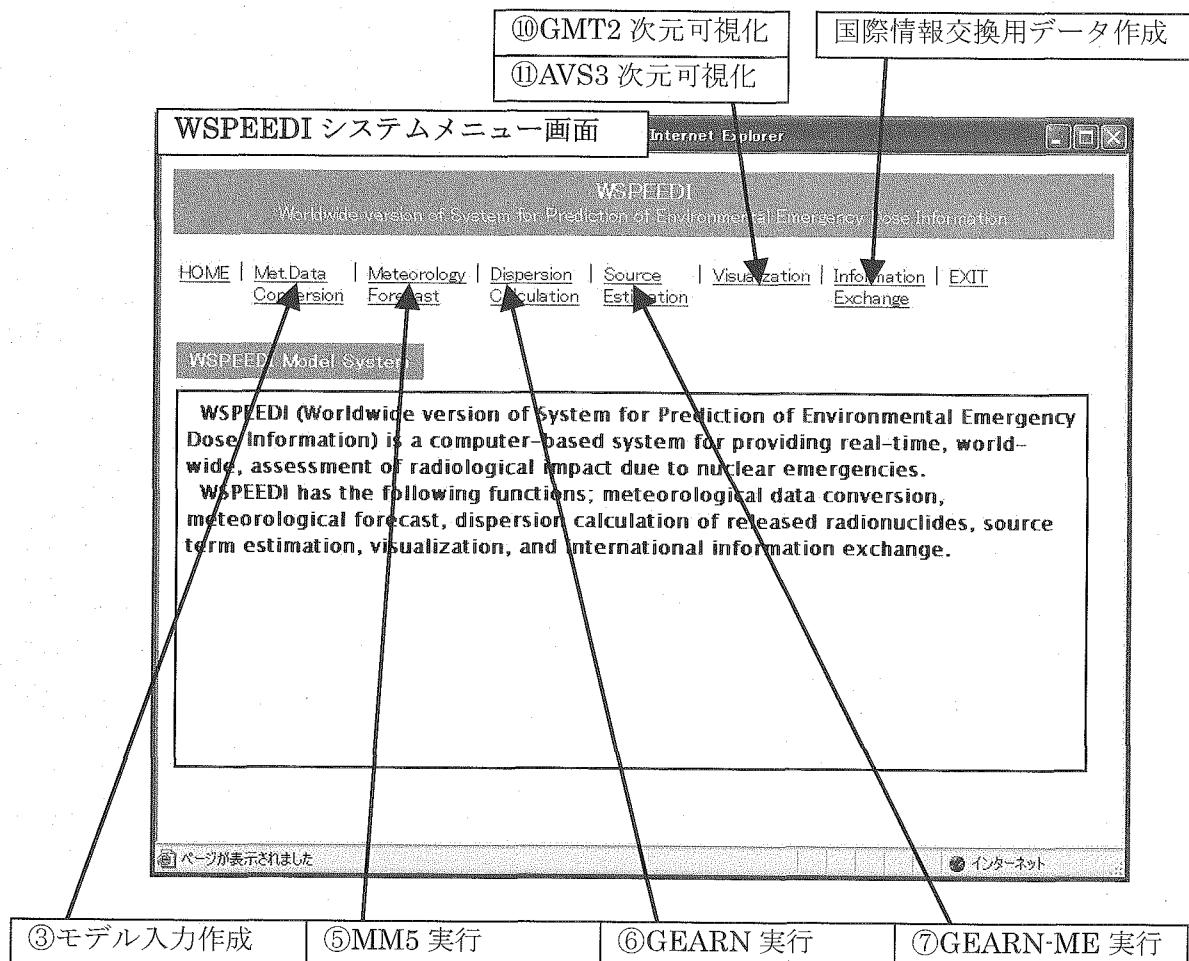


図 A38 WSPEEDI システムメニュー画面

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
立体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	メートル毎秒	m <sup>-1</sup>
密度(質量密度)	キログラム毎立法メートル	kg/m <sup>3</sup>
質量体積(比体積)	立法メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質量)濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率	(数)の1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼット	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(a)</sup>	rad	m · m <sup>-1</sup> <sup>(b)</sup>
立体角	ステラジアン <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	m <sup>2</sup> · m <sup>-2</sup> =1 <sup>(b)</sup>
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	N · kg · s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N · m
功率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s · A
電位差(電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	シーメンス	S	A/V
磁束密度	テスラ	T	V · s
磁束密度	ウェーバー	Wb	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリイ	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(d)</sup>	°C	K
光束	ルーメン	lm	cd · sr <sup>(e)</sup>
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
(放射性核種)放射能	ベクレル	Bq	m <sup>2</sup> · m <sup>-4</sup> · cd=m <sup>-2</sup> · cd
吸収線量, 質量エネルギー一分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量	シーベルト	Sv	J/kg
方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量			m <sup>2</sup> · s <sup>-2</sup>

(a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なる性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表4に示されている。

(b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。

(c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。

(d) この単位は、例としてミセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa · s	m <sup>-1</sup> · kg · s <sup>-1</sup>
力のモーメント	ニュートンメートル	N · m	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup>
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg · s <sup>-2</sup>
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> · s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg · s <sup>-3</sup>
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup>
質量熱容量(比熱容量), 質量エントロピー	ジュール毎キログラム	J/(kg · K)	m <sup>2</sup> · s <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m · K)	m · kg · s <sup>-3</sup> · K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> · kg · s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m · kg · s <sup>-3</sup> · A <sup>-1</sup>
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> · s · A
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> · s · A
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	m <sup>-3</sup> · kg <sup>-1</sup> · s <sup>-4</sup> · A <sup>2</sup>
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-2</sup>
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · mol <sup>-1</sup>
モルエントロピー	ジュール毎モルケルビン	J/(mol · K)	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup> · mol <sup>-1</sup>
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> · s · A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> · s <sup>-3</sup>
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> · m <sup>-2</sup> · kg · s <sup>-3</sup> = m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> · sr)	m <sup>2</sup> · m <sup>-2</sup> · kg · s <sup>-3</sup> = kg · s <sup>-3</sup>

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
リットル	L	1L=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1t=10 <sup>3</sup> kg
ネーベル	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(1/2)ln10(Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1eV=1.60217733(49) × 10 <sup>-19</sup> J
統一原子質量単位	u	1u=1.6605402(10) × 10 <sup>-27</sup> kg
天文単位	ua	1ua=1.49597870691(30) × 10 <sup>11</sup> m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用される他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	里	1海里=1852m
ノット	ト	1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アードル	a	1a=dam <sup>2</sup> =10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
ヘクタール	ha	1ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 <sup>5</sup> Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 <sup>-10</sup> m
バイン	b	1 b=100fem <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイニン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ボルズ	P	1 P=1 dyn · s/cm <sup>2</sup> =0.1Pa · s
ストップス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> /s=10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
ガウス	G	1 G=10 <sup>-4</sup> T
エルステッド	Oe	1 Oe=(1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx=10 <sup>-8</sup> Wb
スチール	sb	1 sb=1cd/cm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
ホーリー	ph	1 ph=10 <sup>4</sup> lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm/s <sup>2</sup> =10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>

表10. 国際単位に属さない他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリ	Ci	1 Ci=3.7 × 10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58 × 10 <sup>4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
X線単位	IX unit	1 IX unit=1.002 × 10 <sup>-4</sup> nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
ジャニスキー	Jy	1 Jy=10 <sup>-26</sup> W · m <sup>-2</sup> · Hz <sup>-1</sup>
フェルミ	fm	1 fermi=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット	Torr	1 Torr=101325 Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101325 Pa
カロリ	cal	1 cal=1000J
ミクロン	μ	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m