

水循環解析のための気象データ可視化ツール

安川 雅紀[†] 玉川 勝徳[‡] 谷口 健司[‡] 小池 俊雄[‡] 喜連川 優[†]

[†] 東京大学生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

[‡] 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

E-mail: [†] {yasukawa, kitsure}@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp, [‡] {tamagawa, taniguti, tkoike}@hydra.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし 地球環境に関する分野において、近年、衛星リモートセンシングにおける地球観測データや現地観測データ、これらを用いたモデル出力等の様々なデータが作成されてきた。このようなデータは3次元のプロファイルを持っていることが多い。気象における水循環解析は上記のデータを参照しながら行われるが、データを統合して一つの空間に表示するツールが整備されておらず、現象解析に使用可能な可視化ツールが必要とされている。そこで我々は、水循環解析の実用に供する気象データの可視化システムを開発している。この開発により、現象の閲覧、追跡、検証を支援することを目指す。本論文では、仮想現実技術を用いて、各機関で作成された再解析データの柔軟な3次元表示、再解析データ間の比較表示等のツールを開発したので報告する。また、このツールは地球環境工学の研究者からのフィードバックを得ながら改良を重ねている。

キーワード 気象データ、再解析データ、データ可視化、データ重ね合わせ、VRML

1. はじめに

G8 サミット(2003年6月, 仏エビアン)及び地球観測サミット(2003年7月, 米ワシントン DC)により、地球観測に関する国際協力の強化が合意され、地球観測に関する作業部会(GEO)が設置された[1]。これにより、GEO加盟国及び参加機関において、将来の地球観測システム構築のための10年実施計画の枠組み文書が検討され、2004年4月に東京で開催された第2回地球観測サミットにおいて枠組み文書が承認され[2]、2005年2月に開催された第3回地球観測サミット(ベルギー・ブリュッセル)において全球地球観測システム(GEOSS)10年実施計画が採択された。国内では第3期科学技術基本計画が平成18年3月に閣議決定され、地球観測に関する様々な大規模プロジェクトが立ち上がっている。今後、様々な地球環境データの取得が期待され、地球環境解析がより活発になるが、データの種類やデータ容量の爆発的増大が予想される。そのため、地球環境データを管理するデータセンターではハード面、ソフト面共に環境整備および機能強化は急務である。膨大なデータ量の一例としてモデル出力がある。地球シミュレータをはじめとする近年の計算機の高速化により、現在、全球の地球環境をモデル化してシミュレーションする研究が盛んであり、この作業によって3次元のプロファイルを持つ時系列の様々な物理量が出力され、中間出力もあわせると数百TBに達する例もある。衛星による観測データも膨大であり、近年では1シーンあたり数GBに達するセンサも少なくない。また、AIRS (Atmospheric Infrared Sounder)をはじめとする近年のセンサは3次元のプロファイルを観測することができる[3]。

しかし、衛星データやモデル出力等を用いて地球環境を解明しようとしている研究者は、アーカイブや各種処理のための豪華なハードウェアやデータを効率的に扱えるソフトウェアを持っていないために、膨大なデータ量のアーカイブ、多種のデータフォーマットに対するデータハンドリング、解析のための前処理、可視化、データ統合管理等の問題について解決できずにいる。現状として、ユーザは必要以上のデータを溜め込んでハードディスクの空き容量不足を招いたり、ソフトウェア同士が連携できずにユーザによる手間が増えて解析のための時間を圧迫したりしている。

このような問題に対して、様々な地球環境データをアーカイブして統合的に利用できる集中型データ統合システムを開発している[4],[5]。このシステムは、現地観測データ、衛星データ、モデル出力等をアーカイブしてデータベース化しており、統合的に閲覧でき、必要なデータを効率良くダウンロードできるものである。上記の各データが独立したアーカイブセンターは多く見られるが、データを1箇所に集約して統合的に利用できる環境は類を見ない。

データの可視化に目を向けると、2次元や3次元、無償や有償、オンラインやオフライン等、様々なソフトウェアが存在する。3次元データが多くなりつつある状況で3次元の可視化を行えるソフトウェアは少ない。また、3次元可視化が行えるソフトウェアではオフラインがほとんどである。データは自身で収集し、フォーマット変換しなければならない。解析では重要な機能となる、多くの種類のデータを同時に表示する機能、任意曲面を表示する機能、比較表示する機能が不足している。Google Earthはオンラインではあるが、

鉛直軸方向の柔軟性や表現できる立体の種類が乏しい。非常にバラエティなデータがアーカイブされ管理されたシステム上での3次元可視化ツールは存在しない。

そこで本研究では、上記の背景を鑑み、ユーザがWeb上で効率的に統合的にデータを3次元空間上で閲覧でき、現象の追跡や解析を支援できるような環境を提供することを目標として、集中型データ統合システムとリンクした地球環境データの可視化ツールを開発している。我々はAIRS可視化システムを開発したが[6]、地球環境工学の研究者の利用によって水循環解析が加速し、様々な気象データから多面的にモイスチャーフローを解析するニーズが高まった。そのため、気象データの可視化についてもツールを開発することになった。本論文では、仮想現実技術を用いてWeb上での気象データの3次元可視化ツールを開発したので報告する。このツールは上記で述べた可視化における重要な機能のうち、複数種類のデータを同時に表示する機能、モデル間比較表示する機能を開発した。これはユーザが必要とするデータについて、シンプルなインターフェースによって、直感的に分かり易く表示するものである。また、本ツールは集中型データ統合システムとリンクしており、このシステムの強化に貢献している。このツールにより、モイスチャーフロー解析における多面的なデータ閲覧やモデル間比較を閲覧する環境が整った。また、このシステムは、地球環境工学の研究者からフィードバックを得ながら改良を重ねている。

2. 使用データ

地球環境データは、一般のデータベースなどで対象とする文書データや数値データなどとは異なり、大容量データ、時系列データ、空間・時間解像度の多様性、データ間の相関性等の特徴を有している。特に、地球観測衛星データの量は非常に大規模である。例えば、米NASAのEOSDIS (Earth Observing System Data and Information System)が管理するプロジェクトから収集されるデータは、1日あたりで約1TB、2005年度の総量は3PB強に達する[7]。取得されたデータの解像度のみならず、その取得時間間隔が頻繁であればそれだけ総データ量は増加する。そのため、大規模なストレージ環境の導入が不可欠である。

以下では、本論文で使用される、気象数値モデル出力の再解析データや、標高データ等について述べる。

2.1. 再解析データ

観測データを用いて数値モデルの予測値を改善することをデータ同化という。データ同化によって、不完全・不均質・異種の観測データは、統合化された格子点データとなり、解析するうえで扱い易い。このよ

うにして得られた、空間的にも時系列的にも整合性のあるデータセットを再解析データという。再解析データの要素で、特に、気温、湿度、雲水分量、水平風、ジオポテンシャル高度等は水循環解析において非常に重要なデータである。またそれ以外の要素についても気象研究の分野では広く扱われている。

再解析データは世界の多くの機関で作成されており、出力される要素、期間、時間・空間解像度、精度が異なる。現状として、ユーザである地球環境工学の研究者は、研究の仕様にフィットした再解析データを各配布機関から自身で入手し、所望のフォーマットに変換して現象解析に使用している。

特に有名な再解析データは、JRA-25、NCEP/NCAR再解析データ、ECMWF、気象庁再解析データ、UKMet Office等である。下記では、本論文で使用される再解析データについて述べる。

2.1.1. JRA-25

Japanese 25-year ReAnalysis (JRA-25)は、気象庁と(財)電力中央研究所によって、1979年から2004年の期間における過去の気候解析値の作成、すなわち長期再解析を実施したときの出力データである。提供されているデータは、例えば、気温、ジオポテンシャル高度、風速(東西、南北、上下の各方向)、比湿(単位質量の湿潤空気塊中に含まれる水蒸気の質量の比率)等、様々である。空間解像度は2.5度であり、鉛直方向に23層持つ3次元データである[8]。なお、ジオポテンシャル高度とは、幾何学的高度に、重力加速度と遠心力の場所・高度による変化を考慮して補正を加えた高度である。このジオポテンシャル高度によって、気象の様子がわかり、高層天気図を用いた気象解析に用いられている。

2.1.2. NCEP/NCAR 再解析データ

NCEP/NCAR再解析データは、NCEP (National Centers for Environmental Prediction) / NCAR (National Center for Atmospheric Research) Reanalysis Projectに基づいて解析されたデータである。提供されているデータは、例えば、海面気圧、ジオポテンシャル高度、風速、大気温度、比湿等がある。空間解像度は2.5度であり、鉛直方向に17層持つ3次元データである[9],[10]。時系列データであり、1948年以降のデータが提供されている。

2.2. GTOPO30

GTOPO30は、USGSのEROS Data Centerによって作成された全世界を対象とする30秒間隔のDEM (Digital Elevation Model)である。GTOPO30の標高精度は、RMSE (root mean square error)で約100m以内である[11]。地球環境関連分野ではごく一般的に用いられる標高データであり、本研究の3次元可視化では地形

表示で使用し、再解析データと重ね合わせる。

3. 再解析データの可視化

3.1. 使用データの導入

本研究では、気象データの可視化システムを構築するにあたり、まず、再解析データの導入作業が行われる。地球環境に関するデータは量が膨大であり、ユーザ側でデータをアーカイブするには大規模なストレージシステムを用意する必要があるため、一般的には我々のようなデータセンターがアーカイブを行っている。ユーザは必要なデータのみをそのデータセンターから入手する。

JRA-25 のデータは気象庁のサイト[8]からダウンロードされ、アーカイブされている。フォーマットは `grib` という形式である[12]。本ツールは主にチベット周辺の領域解析へ適用されるが、他の地域での適用も考慮するため、対象範囲は全世界(西経 180 度～東経 180 度、北緯 90～南緯 90 度)とする。空間解像度は 2.5 度、鉛直方向の層数は 23 である。要素の種類は全種、期間は 1979 年 1 月より 2004 年 12 月まで、現在、データ量は約 1TB(float 型)である。

NCEP/NCAR 再解析データは、NOAA のサイト[10]からダウンロードされ、ストレージにアーカイブされている。フォーマットは `netCDF` という形式である[13]。対象範囲は上記と同様であり、解像度は 2.5 度、鉛直方向の層数は 17、要素の種類は全種、期間は 1980 年 1 月より現在まで、データ量は約 300GB(float 型)である。

本論文で扱われるデータ量は現在のところ多くはないが、今後の予定として、気象数値モデル出力の追加、地表面データの追加、衛星データの追加等、取り扱うデータを増やす予定であり、将来のデータの総量は数百 TB 以上に達する。このように膨大な量を個々の研究者の手に置くよりも、上記のように我々のデータセンターによってデータをアーカイブし、ユーザがインターネット経由で必要な部分のみのデータをダウンロードして利用の方が現実的である。

3.2. システム構成

現在、集中型データ統合システムが開発中であるが[4]、本論文の可視化エンジンはそのシステムに付加するものである。そのため本システムの概念図は図 1 のようになる。流れは以下の通りである。Web を介したユーザのデータの要求に対して、DBMS からデータを検索し、ストレージ管理システムからデータを引き出し、ユーザに必要な部分のみを切り出し、それを可視化エンジンによって仮想現実空間内で可視化し、その結果をユーザの Web ブラウザに表示する。

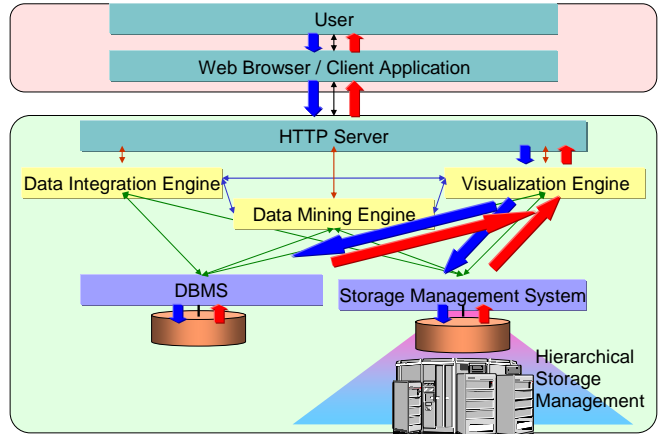


図 1 本システムにおける概念図

特に、我々の可視化ツールを実行する部分は、表 1 のハードウェア・ソフトウェアを用いて構成されている。気象データは図 1 のストレージ管理システムにアーカイブされている。

表 1 構成ハードウェア・ソフトウェア

| | |
|-------------------|--|
| Web サーバ, データ処理サーバ | SGI Onyx4 UltimateVision (MIPS R14000A 600MHz *10, 4GB Mem.) |
| ソフトウェア | OS: IRIX64 6.5 Web サーバ: Apache 1.3.27 その他: csh, c, java 1.3, vrml2.0 等 |

図 1 のシステムにおいて、ユーザが Web ブラウザを通してデータをリクエストしたとき、サーバはデータベースを用いて検索してストレージからデータを取得し、可視化エンジンにおいて可視化処理を行って、ユーザの Web ブラウザに結果を表示する。

ユーザ側は JAVA1.2 以上をサポートする Web ブラウザに加え、VRML のプラグインが必要である。本システムの動作確認は表 2 の環境下で行っている。

表 2 ユーザ側の動作環境

| | |
|--------------|----------------------------------|
| OS | ブラウザ |
| Windows 2000 | Internet Explorer 5.5 以上, 6.x 以下 |
| Windows XP | Internet Explorer 5.5 以上, 6.x 以下 |

3.3. 可視化ツールの機能要件および設計指針

地球環境解析の分野において、世界の解析者の大半は予算的に厳しい面があり、高速な計算機および超大容量ストレージを保有していることは珍しく、可能な限り最小限の計算機環境で解析できることが望まれている。そのため、安価な PC およびフリーソフトウェアを用いて解析できることを前提として本ツールの開発が行われる。

一方で最近ではインターネットの普及により、本研究で対象としている世界の地球環境工学関連の研究者

など、コンピュータ関連以外の研究分野にも Web を利用できる環境が整っているため、Web 上から再解析データを検索できるようにする。ユーザはその検索画面にて時刻や要素等のパラメータを設定して、データの検索を行う。検索された再解析データに対して、可視化処理を施して Web ブラウザに結果を表示する。

再解析データの柔軟な 3 次元可視化において、地球環境工学の研究者には下記の 3 つの基本ニーズがあるため、これらについて検討を行い、システムの構築を試みる。

- (i) ユーザが所望する面上のデータの表示
- (ii) 複数要素の重ね合わせ表示
- (iii) 再解析データ同士の比較表示

(i)において、再解析データをそのまま眺めたいというニーズがある。3 次元データの可視化として重要な機能一つは、検索されたデータの視覚化である。具体的には、3 次元データをどのような形状で切り出してどのように表示するかということである。インターネットにオフラインの Vis5D [14]等の従来の 3 次元可視化ソフトでは、平面や球等で構成される簡単な表示機能しか持っていない。一方、従来のオンラインソフトでは 3 次元表示ツールはあまりなく、3 次元表示できるソフトでも座標系に関して柔軟性がないため解析の実用に供しない。しかし、ユーザは地形に沿ってデータを眺めるため、3 次元表示機能は重要であり、必要な部分のみを地形と関連して柔軟に切り出して、所望の表示形式で表示できた方が良い。一方でユーザ自身が 3 次元データから所望の面のデータを取り出すのは大変な作業である。また、時系列解析を行うので、多くのデータについて同様の作業を繰り返し行わなければならない、ユーザにとっては手に余る作業である。

そこで本ツールでは、再解析データをハンドリングし、ユーザが設定する面に沿って 3 次元データから必要な部分を切り出し、VRML (Virtual Reality Modeling Language)を用いて 3 次元表示する。また、切り出したデータと地形との関係をわかり易く表示するために、GTOPO30 の DEM と重ね合わせる。また、データの要素によって、カラー陰影、等値線、矢印等、表現方法を工夫する。例えば、気温はカラー陰影、ジオポテンシャル高度は等値線、風速は矢印で表現する。

(ii)について、様々な種類のデータの重ね合わせたいというニーズがある。これは、現象を解析する際に、1 種類のデータのみを眺めるのではなく、その他のデータも相互に見ながら統合的に解析を行うためである。

そこで本ツールでは、ユーザが設定する再解析データ作成機関、要素、気圧面(気象学において指定された気圧が一定である面)に沿って 3 次元データから所望

の部分を切り出し、複数のデータを重ね合わせて VRML を用いて 3 次元表示する。また、切り出したデータと地形との関係をわかり易く表示するために、DEM と重ね合わせる。また、データの要素によって、カラー陰影、等値線、矢印等で表現方法を工夫する。どのデータを重ね合わせるかはユーザが選択できる。AIRS データの可視化ツール[6]を用いて、チベット高原に入ってくる水蒸気の方向についての知見が地球環境工学の研究者によって明らかにされているが、このツールによってモデル出力からの知見の検証が可能となる。

(iii)において、再解析データを作る各数値予報センター同士でデータを比較表示したいというニーズがある。これは、各数値予報センターから提供されているデータで同じ物理量をモデル間比較することによって、それぞれどのような特徴があるかを捉えるためである。例えば、アジアモンスーンにおいて非常に重要な役割を担っているチベット高原を中心に比較を行ったり、その他の主要な地域で比較したりすることで、気象数値モデル毎に全球での特徴を調べる。また、前述のような比較や衛星や地上からの観測データを用いてモデルの精度を検証し、モデルへのフィードバックを行うために必要とされている。

そこで本ツールでは、ユーザが設定する再解析データ作成機関、要素、気圧面に沿って 3 次元データから所望の部分を切り出し、VRML を用いて 3 次元仮想空間を機関毎にそれぞれ作成して表示し、比較分析できるようにする。

本論文のツールの特徴として、他にはない多彩な面の切り出し機能を有すること、ユーザのデータハンドリング作業の必要がないこと、本ツールはフリーのプラグインを用いていること、データダウンロードは必要最小限であること等があげられる。これは、ユーザの計算機環境の敷居が低く、発展途上国の研究者にとっても本システムが使用可能と考える。

3.4. 可視化方法

本節では、前節で検討した指針に基づいて開発したツールを述べる。

Web ブラウザによるデータ検索画面は図 2 のようにレイアウトした。対象範囲が全世界であり興味のある領域の緯度経度を指定しやすいうように、全世界の地図をグリッド線入りで表示した。データ検索のために、対象期間、データの領域、再解析データ名、要素(例えば、気温、ジオポテンシャル高度等)及び気圧面等を選択できるようにした。また、データ可視化処理後の等値線図の線の太さや値の刻み幅、時系列表示方法(スライド方式またはアニメーション方式)も選択できるようにした。

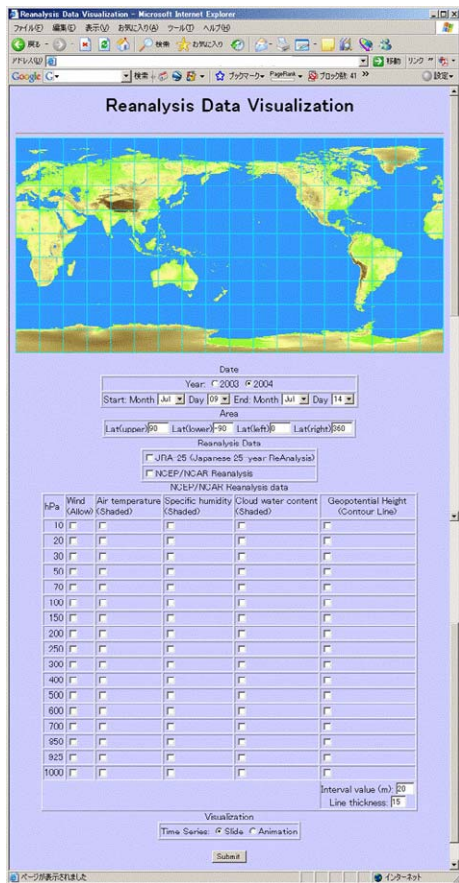
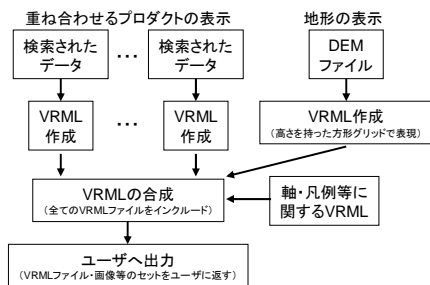
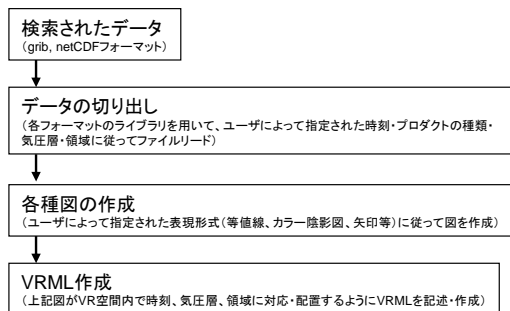


図2 再解析データ可視化のためのデータ検索画面



(a) 可視化の処理方法



(b) (a)のVRML作成の詳細

図3 可視化の流れ

図2によって指定されたパラメータを用いて図1の流れで検索されたデータは、図3の方法によって可視化される。

図3(a)において検索されたデータはVRMLファイルが作成される。その詳細が図3(b)である。

図3(b)において、検索されたデータはgrib[12], netCDF[13]という特殊なフォーマットであるため、それらのライブラリを用いてデータがハンドリングされる。次に、ユーザによって指定された時刻・プロダクトの種類・気圧層・領域に従ってファイルシークおよびリードが行われ、切り出しデータが作成される。切り出されたデータは、ユーザによって指定された表現形式(等値線図, カラー陰影図, 矢印等)に従い、GrADS[15]というソフトを用いて図が作成される。作成された図に対して、仮想現実空間内で時刻・気圧層・領域に対応・配置するようにVRMLを記述し、VRMLファイルが作成される。この処理が終わると、図3(a)に戻る。なお、図3(b)の処理は、重ね合わせる全てのプロダクトに対してそれぞれ行われる。

図3(a)の地形の表示については、DEMファイル(2バイト, グリッド座標, ヘッダ無しバイナリデータ)を読み込み、高さを持った方形グリッドに変換・記述したVRMLファイルを作成する。また、軸・凡例に関してもVRMLで記述する。

それぞれのVRMLファイルを作成後、全てのVRMLファイルをインクルードした、親のVRMLファイルを作成し、合成する。この結果をユーザのWebブラウザに表示し、可視化処理が終了する。

上記の処理方法により、前節の要件(i)および(ii)が実現可能である。また、前節の要件(iii)は、上記の処理方法を再解析作成機関毎に繰り返し、フレームレイアウトでWebブラウザに表示することで実現される。

3.5. 再解析データの表示

本節では、3.3節の要件(i)および(ii)について、本ツールの結果を述べる。

まず、図2の検索画面において、対象期間、データの領域、再解析データ名、要素(例えば、気温、ジオポテンシャル高度等)及び気圧面を選択する。入力されたパラメータをもとに、サーバはストレージから対象のデータ引き出し、図3の可視化処理を行う。その結果をユーザのWebブラウザに3次元表示する(図4)。

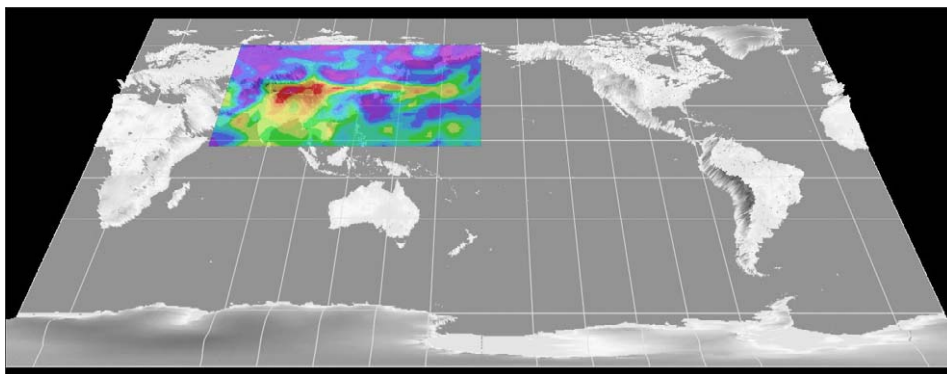
図4(a)は、ある時刻におけるJRA-25の500hPaの比湿をカラー陰影図で可視化した例である。カラー陰影図はVRMLで透過型画像と設定し、比湿の下の地形が見えるように工夫している。図4(b)は、ある時刻におけるJRA-25の500hPaのジオポテンシャル高度を等値線図で可視化した例である。等値線図は背景透過型画像で表示し、他のデータとの干渉を最小限に抑えてい

る。また、検索画面において比湿およびジオポテンシャル高度の両方を選択した場合、図 4(c)のようになり、2つのプロダクトが重ね合わされて表示される。このように重ね合わせることで、その当時の気象状況を理解し易くなるという利点がある。

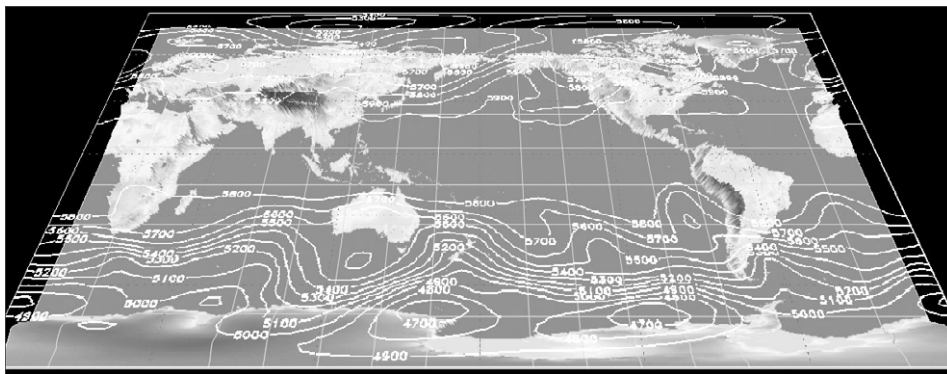
一方、3次元の衛星データである AIRS データを本ツールで重ね合わせることも可能である。これは既に開発されている AIRS データ可視化ツール[6]を本ツールに追加することによって実現される。AIRS データ可視化ツールでは、ユーザによって入力された曲面上の点の座標情報から連続した曲面を計算し、この結果を用いて原データから曲面へ再配列を行い、その面を2次

元画像に変換する[16]。2次元画像は、横軸を地図上のパス、縦軸を気圧、カラーをその位置における水蒸気量として画像化される。この切り出し画像は、図 5(a)のように再解析データの仮想現実空間内に曲面として重ね合わされる。

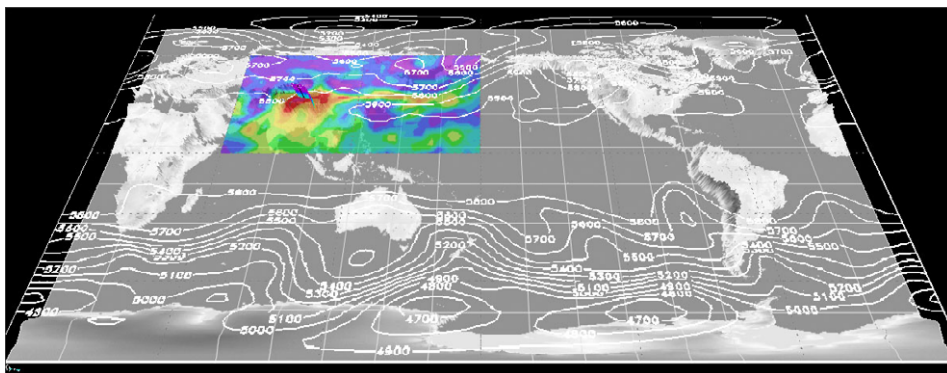
本ツールでは、VRML 2.0 に準拠したブラウザを用いることで、図 5(b)のように、ユーザは仮想空間中に配置されたデータをウォークスルーしながら閲覧すること、関心のある領域には自由に接近して任意の角度・距離からデータを確認することが可能である。



(a) 比湿のカラー陰影表示

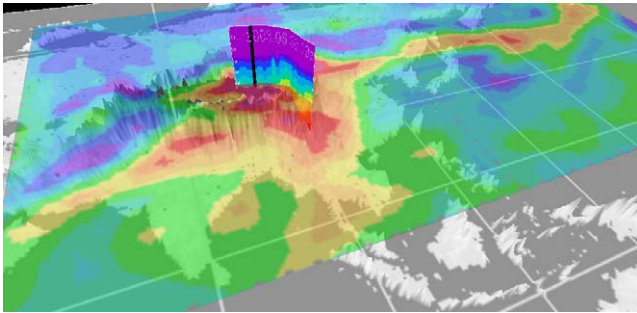


(b) ジオポテンシャル高度の等値線表示

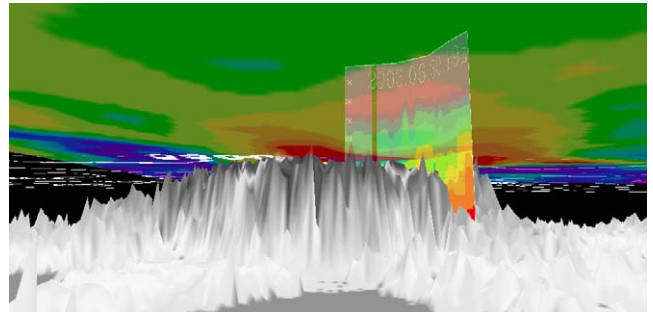


(c) 比湿とジオポテンシャル高度の重ね合わせ

図 4 再解析データの表示



(a) 再解析データと AIRS データの表示



(b) 視点およびアングルの変更

図5 再解析データと衛星データの重ね合わせ

3.6. 再解析データの比較表示

本節では、3.3 節の要件(iii)について、本ツールの結果を述べる。

まず、図2の検索画面において、対象期間、データの領域、要素及び気圧面を選択する。また、比較対象のモデル名(再解析データ名)も選択する。1つのモデル名に対して、サーバはストレージから対応する期間のデータを引き出し、図3の可視化処理を行う。上記の処理をモデル名毎に繰り返す。結果をユーザの Web ブラウザに並べて表示する(図6)。

図6では、JRA-25 及び NCEP/NCAR の再解析データを選択し、2003年7月1日0時(UT)の500hPaのジオポテンシャル高度と比湿を選択したときの結果である。上方が JRA-25 の再解析データで、下方が NCEP/NCAR 再解析データである。等値線図はジオポテンシャル高度、カラー陰影図は比湿である。このように比較表示することによって、同じ時刻、同じ要素であってもモデルによって値が異なることが認識しやすくなる。さらに地形に沿ってモデル間の違いを見ることで、モデルの特徴を捉えることが可能となる。また、図6には、衛星や地上からの観測データを重ね合わせることも可能であり、モデルの精度を検証することができ、モデルへのフィードバックのためのツールとして使うことができる。なお、図6の例でも、両モデルに対して任意の視点およびアングルが変更可能である。

3.7. 評価

上記の結果より、本ツールは再解析データ表示及び再解析データ間比較表示が可能であることを示した。このことにより、気象現象解析における VRML を用いた Web による解析環境をユーザに提供する準備が整った。

そこで、ユーザである地球環境解析者に本ツールを試用していただいたところ、感想や意見が寄せられた。下記に主なものを示す。

良かった点：

- 指定した気圧面のみが表示されるのでデータが見易い
- 透過型の図なので地形を参照し易い
- 視点をマウスで簡単に換えられるので地形に沿ってデータを理解し易い

改善要望：

- データのない領域が広すぎるのでその部分を切り落とす設定が欲しい
- ある値以上・以下の領域だけ表示できると、より解析がし易くなる可能性がある

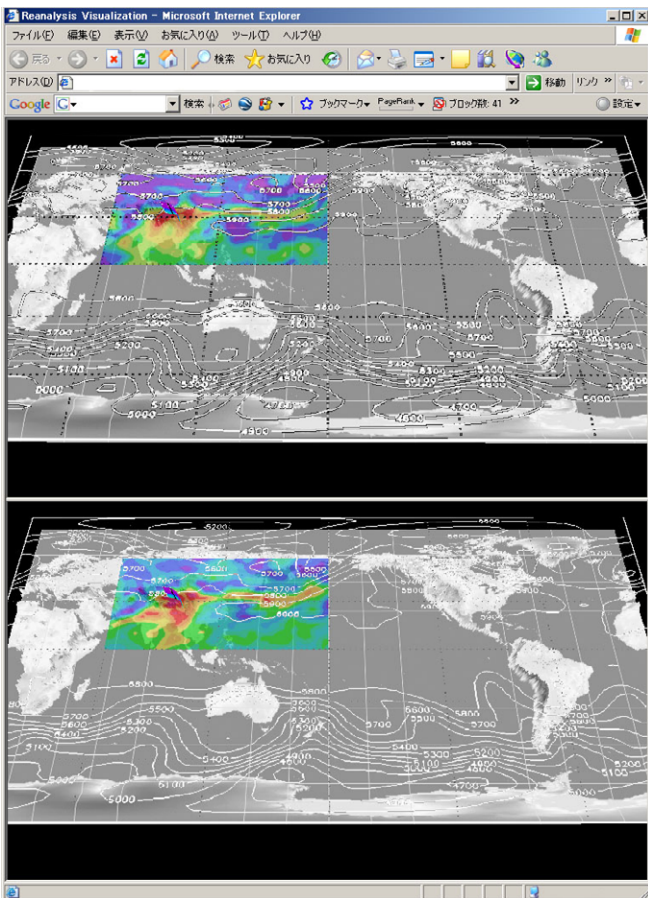


図6 再解析データの比較表示

上記から、データ可視化に関する当初のニーズはほぼ達成されており、地形表示に関する若干の改善とデータ可視化の追加ニーズのための機能拡張が必要であることがわかった。現在、ユーザ数は少数であるため、上記の改善が完了した時点で、ユーザ数を増やして定量的な評価を行う予定である。

4. まとめ

我々は地球環境データの3次元可視化システムの構築を行っている。本論文では、3次元の気象データである再解析データの仮想現実空間における表示、複数要素の重ね合わせ表示、衛星データの重ね合わせ表示、再解析データ間の比較表示機能について、手法および実装結果を述べた。

再解析データの表示及び複数要素の重ね合わせ表示、衛星データの重ね合わせ表示では、入力されたパラメータ(対象期間、データの領域、再解析データ名、要素、気圧面)をもとに、サーバはデータの検索、データの切り出し、データ画像化等を施し、DEMと重ね合わせて仮想現実空間内に表示できるようにした。この機能により、ユーザによるデータ切り出し作業と画像化の手間が省けると同時に、仮想現実空間内で地形に沿ってデータ観察することが可能となった。

再解析データ間の比較表示機能では、上記の入力パラメータに加え、比較対象のデータ作成機関を選択し、作成機関毎に3次元仮想空間のVRMLファイルをそれぞれ作成してそれらを並べて表示できるようにした。この機能により、再解析データ間の違いを捉えることが可能となった。また、衛星や地上からの観測データを重ね合わせることで、再解析データの精度を検証することが可能となった。

また、本ツールは東京大学生産技術研究所の集中型データ統合システムとリンクしており、このシステムの強化に貢献している。このツール開発により、モイスターフロー解析における、VRMLを用いた多面的な再解析データの閲覧や再解析データ間の比較を閲覧する環境が整った。今後、チベット高原における水蒸気流入解析の進展、他の地域におけるモデル特性の調査、モデル間比較や観測データを用いたモデル改良へのフィードバックが期待される。

現在、多種多様な3次元地球環境データを収集しており、取り扱えるデータの範囲を広めることが今後の課題である。しかし、3次元可視化ツールの機能拡張においては、全てのユーザの全てのニーズに対応する予定はなく、データの閲覧・検証・解析において大多数が使うであろうコアな機能に限定して開発を進める方針である。具体的には地面上のモデル出力の表示

やそのモデル間比較表示、ユーザによって設定される任意曲面における複数種類のデータの重ね合わせ表示等があげられる。

文 献

- [1] U.S. Department of Commerce, "Earth Observation Summit," <http://www.earthobservationsummit.gov/2003>.
- [2] 文部科学省, "第2回地球観測サミット," http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/earth/summit2/index.htm 2004.
- [3] Jet Propulsion Laboratory (NASA), "AIRS - Atmospheric Infrared Sounder -," <http://www-airs.jpl.nasa.gov/>
- [4] Masaru Kitsuregawa, Toshihiro Nemoto, Masaki Yasukawa, Eiji Ikoma, Kenji Taniguchi, Toshio Koike, "Centralized Data Archiving and Integration System: University of Tokyo Contribution," CEOP (Coordinated Enhanced Observing Period) Newsletter, No.9, pp.5, Feb. 2006.
- [5] Coordinated Enhanced Observing Period (CEOP), "CEOP," <http://www.ceop.net/>, 2006.
- [6] 安川雅紀, 野本卓也, 小池俊雄, 喜連川優, "3次元情報をもつ地球観測衛星データの一つであるAIRSデータにおける可視化システムの開発," 日本データベース学会 DBSJ Letters, Vol.4, No.1, pp.61-64, 2005.
- [7] J. Behnke, T. H. Watts, B. Kobler, D. Lowe, S. Fox, and R. Meyer, "EOSDIS petabyte archives: tenth anniversary," Proc. 22nd IEEE / 13th NASA Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies (MSST'05), pp.81-93, Monterey, California USA, Apr. 2005.
- [8] 気象庁 地球環境・海洋部 気候情報課, "長期再解析: JRA-25," <http://jra.kishou.go.jp/>, 2006.
- [9] Kalnay et al., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, pp.437-470, 1996.
- [10] NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, "The NCEP / NCAR Reanalysis Project," <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>, 2007
- [11] U.S. Geological Survey (USGS): "GTOPO30 - Global Topographic Data -," <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>
- [12] World Meteorological Organization (WMO), "Guides for GRIB 1 and GRIB Edition 2," <http://www.wmo.ch/web/www/WMOcodes.html>, 2006.
- [13] University Corporation for Atmospheric Research, "NetCDF (network Common Data Form)," <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>, 2007.
- [14] Space Science and Engineering Center, "Vis5D," <http://www.ssec.wisc.edu/~billh/vis5d.html>, 1998.
- [15] Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA), "GrADS Data Server (GDS)," <http://grads.iges.org/grads/gds/gds.html>
- [16] 高木幹雄, 下田陽久 (監修), "新編 画像解析ハンドブック," 東京大学出版会, pp. 1762- 1764 2004.