

AIRS データ可視化システムにおける多種データ重ね合わせ 表示機能の開発

安川 雅紀[†] 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, [‡] {taniguti, tkoike}@hydra.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし 近年、衛星リモートセンシングにおける地球観測では、水平方向だけでなく鉛直方向に関しても高い分解能および精度を有するセンサが用いられる時代になっている。AIRS(大気赤外サウンダ)がその一例である。そこで我々は、AIRS データを用いたモイスチャーフロー解析への使用のために、AIRS データの可視化システムを開発している。本稿では、仮想現実技術を用いて再解析データやモデル出力等の外部のデータとの重ね合わせ表示機能を開発したので報告する。この機能により、AIRS データを用いたモイスチャーフロー解析における地形に沿った場の構造や動きを閲覧することが可能となった。また、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 地球観測衛星データ, AIRS, 可視化, VRML

Development of a Function for Overlapping and Displaying Many Kinds of Data on AIRS Data Visualization System

Masaki YASUKAWA[†] Kenji TANIGUCHI[‡] Toshio KOIKE[‡] and Masaru KITSUREGAWA[†]

[†] Institute of Industrial Science, The University of Tokyo 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505 Japan

[‡] Department of Civil Engineering, The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

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

Abstract Recently, the sensor with high resolution and high accuracy about not only horizontal direction but also perpendicular direction is used in the earth observation by the satellite remote sensing. AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) is one of the sensor. Then we are developing the AIRS data visualization system in order to analyze the moisture flow using AIRS data. In this paper, we developed a function using the virtual reality technique for overlapping and displaying many kinds of data such as the reanalysis data and the model output. By this function, the researchers of earth environment engineering can understand the structure and the flow along the geographical topology on the moisture flow analysis using the AIRS data. Moreover, this system is being improved by the feedback from the researchers of earth environment engineering.

Keyword Earth Observation Satellite Data, AIRS, Visualization, VRML

1. はじめに

G8 サミット(2003 年年 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、全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 10 年間実施計画が採択された。今後、様々な地球観測データの取得が期待

され、地球環境解析の分野では追い風となるが、データの種類やデータ容量の爆発的増大が見込まれる。そのため、地球観測データに関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。

一方、近年の衛星リモートセンシングにおける地球観測では観測技術が発達し、水平方向だけでなく鉛直方向に関しても高い分解能および精度で観測できるセンサが用いられる時代になっている。AIRS (Atmospheric Infrared Sounder)がその一例である[3]。衛星データを用いて地球環境を解明しようとしている研究者は、膨大なデータ量や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について従来から課題を抱えていたが、AIRS データの存在により、3 次元データに対する取り扱い方に関しても課題を抱えることとなった。例えば、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方法で眺め、必要な領域あるいは曲面をどのように切り出すかということであり、従来のツールでは対応できない部分である。これは、ユーザが地形に沿って観測データを眺めることが多いことに起因する。もう一つは、多種データの重ね合わせである。これは、データを解析する際に、AIRS データのみを眺めるのではなく、モデル出力や再解析データ等のシミュレーションによる外部データを重ね合わせ、複合的に解析を行うためである。

本研究では、上記の背景を鑑み、3 次元の地球観測衛星データの効率的な利用を目標とし、AIRS データをサンプルとした 3 次元可視化システムの構築を行っている。上記一つめのデータの可視化の課題に対して、仮想現実技術を用いた 3 次元データの可視化、ユーザが必要とする任意曲面の切り出し機能およびそのデータセットのダウンロード機能を Web 上で実現した[4]。本稿では、この可視化システムを解析システムへと拡張していくために、二つめの課題であるデータの重ね合わせについて検討し、仮想現実技術を用いて再解析データやモデル出力等の外部のデータとの重ね合わせ表示機能を開発したので報告する。この機能により、AIRS データを用いたモイスチャーフロー解析における地形に沿った場の構造や動きを閲覧することが可能となった。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

2.1. AIRS データ

地球観測衛星データは、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比較して、以下に示す性質を有している。

- ・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

近年では観測技術が発達し、AIRS (Atmospheric Infrared Sounder)などのように、水平方向だけでなく鉛直方向に関しても観測が可能となっている。AIRS は米国 NASA の Aqua 衛星に搭載されている地球観測センサの一つであり、NASA / JPL (Jet Propulsion Laboratory)が設計した。AIRS は、 $3.74\sim 15.4\mu\text{m}$ の波長帯においてスペクトル分解能($\lambda/\Delta\lambda$)1200 で 2378 チャンネルの同時観測を行う赤外分光計と、 $0.4\sim 1.0\mu\text{m}$ の波

長帯において、4 チャンネルでの観測を行う可視/近赤外センサを有する。空間分解能は直下で 13.5km、鉛直分解能は 1km、観測幅は 1650km である[5]。また、Aqua 衛星に搭載される他のセンサによる観測データを使用することで、赤外データから雲の影響を除去することができ、高い鉛直分解能および精度で、大気温度鉛直分布や大気湿度鉛直分布等を得ることができる(表 1)。その他、2 次元のプロダクトには、陸・海面温度、積算水蒸気量、積算オゾン量等がある[6]。

表 1 AIRS 高次プロダクト

プロダクト名	内容(単位)
TSurfStd	Retrieved surface skin temperature (K)
TSurfAir	Retrieved surface air temperature (K)
totH2Ostd	Total precipitable water vapor in air column (kg/m2)
totO3Std	Total ozone burden in air column (Dobson Units)
TAirStd	Retrieved atmospheric temperature profile (K)
H2OMMRStd	Retrieved water vapor mass mixing ratio (gm/kg dry air)
H2OMMRSat	Retrieved water vapor saturation mass mixing ratio (gm/kg dry air)
O3VMRStd	Retrieved ozone volume mixing ratio (ppm)

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 で約 100m 以内である[7]。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、本研究でもデータ重ね合わせのための外部データとして用いる。

2.3. NCEP/NCAR 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。

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、海面気圧、ジオポテンシャル高度、風、大気温度、相対湿度等である。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[8]。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。

3. AIRS データと外部データの重ね合わせ

3.1. 使用データの導入

本研究では、AIRS データの可視化システムを構築するにあたり、まず、AIRS データおよび NCEP/NCAR 再解析データの導入作業が行われる。

AIRS データは NASA のサイト[6]からダウンロードされ、フォーマットが認識され、等緯度経度直交座標系に再配列され、BSQ フォーマットでストレージにアーカイブされている。対象範囲はモンゴル周辺(東経 75~105 度、北緯 25~40 度)、解像度は 0.25 度、鉛直方向の層数は 28、プロダクトの種類は水蒸気量および気温、期間は 2003 年 1 月より現在まで、データ量は 4GB 超(4 bytes/pixel, float 型)である。

NCEP/NCAR 再解析データは、NOAA のサイト[8]からダウンロード後、フォーマット変換され、BSQ フォーマットでストレージにアーカイブされている。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、データの種類はジオポテンシャル高度および気温、期間は 2003 年 1 月より現在まで、データ量は 20MB(4 bytes/pixel, float 型)程度である。

3.2. システムの設計指針

最近では、インターネットの普及とともに、本研究で対象としているような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 AIRS 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パラメータを設定して、データの検索を行う。

そして、検索された AIRS データの可視化に対して、以下の 3 つの機能について検討を行い、構築を試みる。

- (i) AIRS データの 3 次元表示
- (ii) 任意曲面切り出し画像と地形データの重ね合わせ
- (iii) 多種データ重ね合わせ

(i)において、まず AIRS データをそのまま眺めてみたいという要望がある。ただし、AIRS データは 3 次元データであるために、市販のビューワーでそのまま表示することは困難である。また、層毎に 2 次元に分割して表示する方法も考えられるが、層同士で繋がりがなくなってしまうため、データが眺め難くなる懸念がある。そこで本システムでは、VRML (Virtual Reality Modeling Language)を用いた 3 次元表示を取り入れる。しかも、データの位置をかわりやすくするために、GTOPO30 の DEM を重ね合わせる。

次に、(ii)において、AIRS データから所望の曲面を取り出したいという要望がある。ユーザがデータを 3 次元のまま解析に使用することはほとんどなく、関心のある地形に沿った部分のみを解析に使用するのが一般的である。しかし、ユーザ自身で 3 次元データから

所望の曲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、多くのシーン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。そこで本システムでは、ユーザが設定した座標に従って 3 次元の AIRS データから任意曲面を切り出して表示するツールを開発する。また、切り出し画像と地形との関係をわかりやすく表示するために、DEM との重ね合わせを行う。

(iii)は、本可視化システムを解析システムへと拡張していくための基礎的部分となる。具体的には、(ii)で開発される機能に、外部の気象関連データ重ね合わせ機能を付加する。外部の気象関連データとしては、NCEP/NCAR 再解析データのジオポテンシャル高度や気温等を使用する。ジオポテンシャル高度は、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。AIRS データとジオポテンシャル高度が重ね合わせられることによって、モイスチャーフロー解析における地形に沿った場の構造や動きを捉えることが可能となる。

以下では、上記に基づいて開発した本システムを具体的に述べる。

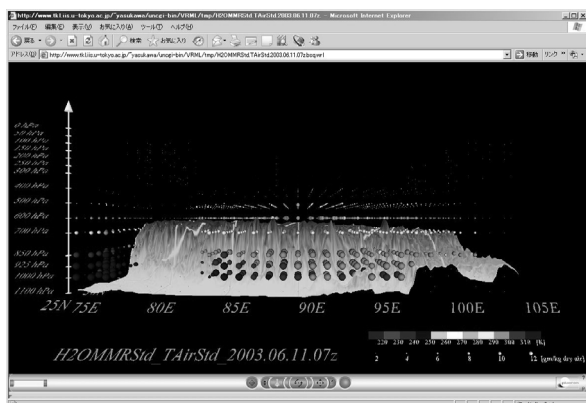
3.3. VRML の利用

本システムでは、VRML 2.0 に準拠したブラウザを用いることで、AIRS データを 3 次元的に見ることが可能である。VRML を用いることにより、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を行い、関心のある領域には自由に接近して任意の角度・距離から確認することが可能である。

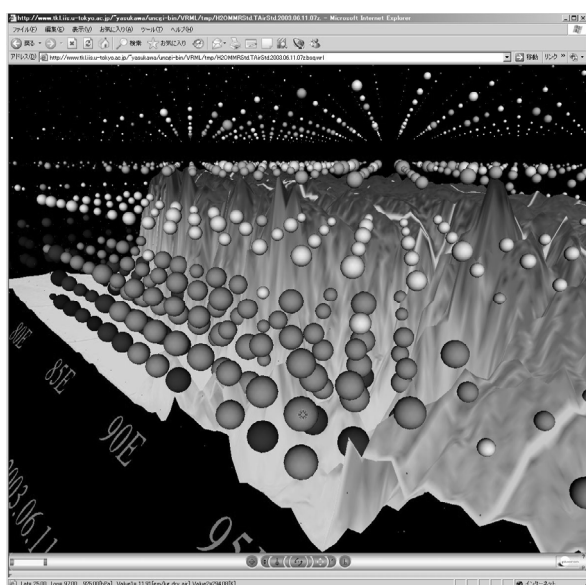
まず、検索画面において、プロダクトの種類(例えば、水蒸気量、気温等)、時刻、解像度、ボクセル形状を選択すると、データが検索され、データの VRML への変換処理が行われ、図 1(a)のように、VRML を用いて、緯度・経度・気圧を軸として、観測データが格子状に表示される。また、この空間に GTOPO30 の DEM を重ね合わせることで、地形に沿ってデータが表示される。

VRML により、ユーザは任意の視点・角度からデータを眺めることが可能である(図 1(b))。また、各格子にマウスカーソルを合わせると、プロダクトの値が Web ブラウザのステータスバーに表示できるようになっており、仮想現実空間上で詳細情報も確認できる。AIRS データと地形データを重ね合わせることで、地形と観測データとの関係が視覚的に確認できる。

図 1 の例では、水蒸気量を格子の大きさ、気温を色で示すことにより、複数のプロダクトを重ね合わせて表示しており、異なるプロダクト間の相関性の解析に有用である。



(a) 検索結果の概観



(b) 視点の変更

図 1 VRML を用いた 3 次元可視化

3.4. 任意曲面の切り出し

本節では、3 次元の AIRS データからユーザが設定した座標に従って曲面を切り出し、仮想現実空間内に表示するツールについて述べる。

まず、検索画面(図 2)において、プロダクトの種類、対象期間を選択する。そして、切り取られる曲面の座標入力、曲面上の点を複数選び、緯度・経度をテキストフィールド内に書き込む。切り出し画像を 3 次元表示する際は、可視化選択で 3D を選ぶ。

サーバは入力されたパラメータをもとにストレージからデータを引き出し、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[9]。2 次元画像は、横軸を換算された距離、縦軸を気圧とし、図 3 のように観測値はカラー画像化される。切り出し画像は、図 4 のように、仮想現実空間内の地形図上に、切り出し曲面に沿って重ね合わせられる。

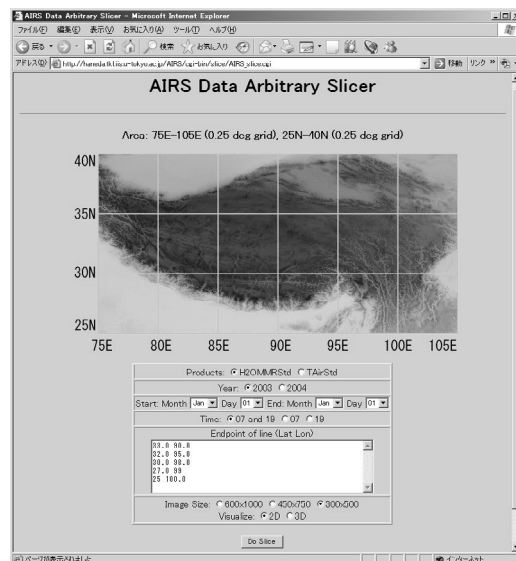


図 2 任意曲面切り出しのトップページ

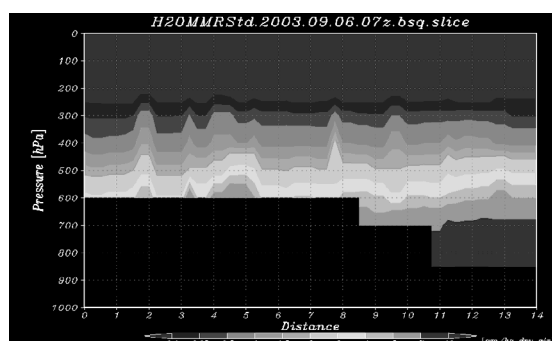


図 3 切り出し画像

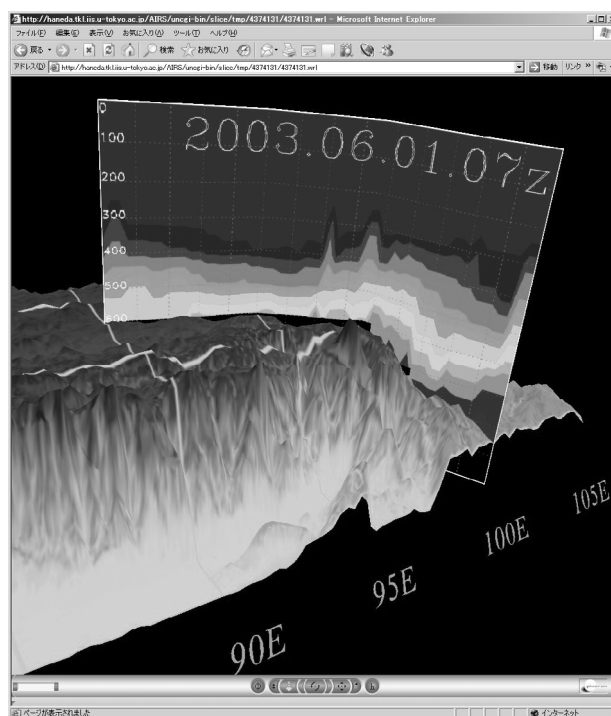


図 4 切り出し画像と地形データの重ね合わせ

ただし、図 3 の切り出された曲面データは、3.1 節で述べた通り 4 バイトデータであるが、Web 上にはそのまま表示できないため、ここでは GrADS というソフトを用いて GIF 画像に変換している。GrADS は水文系の地球環境研究者を中心として広まった地球環境データベースサーバのソフトウェアであるが、データの画像化、データの演算など、多種の機能を備えている[10]。

また、対象期間を同じ面で切り出しているのので、切り出された時系列データから、アニメーション GIF を作成して図 4 で表示することで、時系列変化を見ることが可能であり、データの確認には効果的である。

3.5. 多種データ重ね合わせ

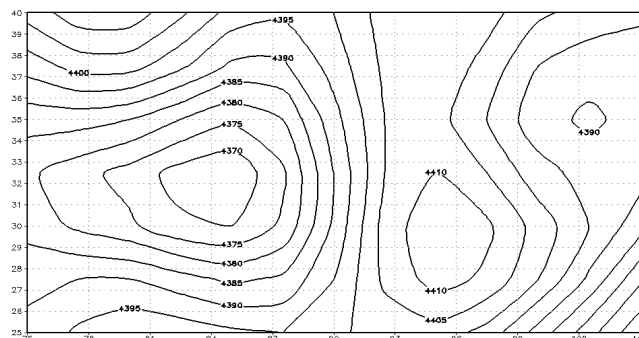
本節では、前節で開発された任意曲面の切り出し機能を拡張し、切り出し画像と外部データとの重ね合わせ表示機能について述べる。この機能は、本可視化システムを解析システムへと拡張していくための基礎的部分となる。

外部データとしては、NCEP/NCAR 再解析データのジオポテンシャル高度等を使用する。ジオポテンシャル高度は時々刻々と変動し、例えば、2003 年 6 月 1 日 6:00(UT)の 600hPa 面におけるジオポテンシャル高度の等値線は図 5 のようになっている。なお、縦軸は緯度、横軸は経度である。この等値線は、高層における気象解析に有用である。

まず、図 6 の検索画面において、AIRS プロダクトの種類(例えば、水蒸気量、気温等)、対象期間を選択する。そして、切り取られる曲面の座標入力、曲面上の点を複数選び、緯度・経度をテキストフィールド内に書き込む。また、NCEP/NCAR 再解析データに対しては、データの種類(ジオポテンシャル高度、気温等)、重ね合わせる層(複数選択可)を指定する。そして、時系列表示方法(スライドまたはアニメーション)を選択する。

サーバは入力されたパラメータを基に、任意曲面の AIRS データ切り出し画像が作成され、指定された層における NCEP/NCAR 再解析データの等値線図が作成される。切り出し画像と NCEP/NCAR 再解析データの等値線図は、図 7 のように、仮想現実空間内の地形データ上に重ね合わせられる。なお、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。

時系列の表示方式として 2 種類あるが、これは様々なシチュエーションが考えられるため用意されている。「場の構造」を詳細に見る場合には、アニメーションでは目と頭が追いつかないため、スライドが適している。一方で、「動き」を捉えるにはアニメーションが適している。また、重ね合わせる層については、一度に全ての層を見ることはないので、選択式としている。



上記のように、NCEP/NCAR 再解析データの重ね合わせは、ユーザリクエストに柔軟に対応できるように、重ね合わせる層、時系列表示方法をユーザが指定できる。このことにより、モイスチャーフロー解析における地形に沿った場の構造や動きを捉えることが可能となった。したがって、本可視化システムを解析システムへ拡張していくための基礎的部分を構築できた。

3.6. システム構成

全体のシステムとしては、表 2 のハードウェア・ソフトウェアを用いて構成されている。AIRS データやその他の外部データは、このハードウェアに付属のストレージにアーカイブされている。サーバは、Web ブラウザによるユーザからのリクエストに応じたデータを、ストレージから検索・取得し、上記の可視化を行って Web ブラウザに結果を表示する。

クライアント側は 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 3 の環境下で行っている。

表 2 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

表 3 動作確認ブラウザ

OS	ブラウザ
Windows 2000	Internet Explorer 5.5 以上 Netscape Communicator 4.78 以上
Windows XP	Internet Explorer 5.5 以上 Netscape Communicator 4.78 以上
IRIX 6.5	Netscape Communicator 4.05

4. まとめ

我々は、3 次元データである AIRS データの可視化システムの構築を行っている。本論文では、AIRS データと地形データを重ね合わせた 3 次元表示機能、任意曲面の切り出し画像と地形データを重ね合わせた 3 次元表示機能、任意曲面の切り出し画像と外部データとの重ね合わせを行える多種データ表示機能について、具体的な手法および実装結果を述べた。

AIRS データと地形データを重ね合わせた 3 次元表示機能では、VRML を使用して仮想現実空間上に AIRS データを配し、任意の視点での可視化を実現した。また、任意曲面の切り出し画像と地形データを重ね合わせた 3 次元表示機能では、ユーザが設定した座標をもとに曲面をサーバが計算し、曲面に AIRS データを再配列することで、曲面のデータを可視化し、その時系列データを仮想現実空間内に表示できるようにした。

このシステムにより、ユーザによる AIRS データ切り出し作業の負担軽減に貢献するとともに、データの時系列変化を観察することが容易となった。任意曲面の切り出し画像と外部データとの重ね合わせを行える多種データ表示機能では、サンプルとして NCEP/NCAR 再解析データを重ね合わせて表示できるようにした。なお、重ね合わせ方は、ユーザリクエストに柔軟に対応できるように、重ね合わせる層、時系列表示方法をユーザが設定できる。このことにより、モイスチャーフロー解析における地形に沿った場の構造や動きを捉えることが可能となった。

将来、多種多様な 3 次元地球環境データが収集される予定であるため、現在の機能を拡張し、解析支援およびデータ検証が行えるようなシステムを構築することが今後の課題である。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。

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] 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, 2005. (掲載予定)
- [5] 地球観測センター(宇宙航空研究開発機構), "地球観測データ利用ハンドブック-AMSR-E 編-, " http://www.eoc.jaxa.jp/amsr-e/amsr-e_handbook_j.pdf
- [6] NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) / Distributed Active Archive Center (DAAC), "AIRS Data Products," http://disc.gsfc.nasa.gov/data/datapool/AIRS_DP/
- [7] U.S. Geological Survey (USGS): "GTOPO30 - Global Topographic Data - , " <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>
- [8] NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, "The NCEP / NCAR Reanalysis Project , " <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>
- [9] 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.
- [10] Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA), "GrADS Data Server (GDS)," <http://grads.iges.org/grads/gds/gds.html>