

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

安川 雅紀[†] 野本 卓也[‡] 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, [‡] {nomoto, 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。この様な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、従来から抱えている様々な課題に加えて、3次元データの取り扱い方に関する課題を抱えることとなった。そこで本研究では、AIRS データから新しい知見を発見できるような、3次元表示、プロダクトの融合や任意の面の切り出し等を有する可視化システムの構築を行っている。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, 可視化, VRML, AIRS

Development of Visualization System in Earth Observation Satellite Data with Three-dimensional Information such as AIRS Data

Masaki YASUKAWA[†] Takuya NOMOTO[‡] 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, [‡] {nomoto, 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. Though the researchers who try to clarify the earth environment by using the data have various problems to handle the two-dimensional data up to now, a new problem about effective use of the three-dimensional data also occurred. Then we are developing the visualization system of AIRS data including the three-dimensional visualization, the fusion of various products, and cutting out of demanded arbitrary surface. By this system, a new finding can be discovered from the AIRS data. Moreover, this system is being improved by the feedback from the researchers of earth environment engineering.

Keyword Earth Observation Satellite Data, Visualization, VRML, AIRS

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、これを受けて地球観測に関する作業部会(GEO)が設置された[1]。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ている。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た[2]。そして、2005 年 2 月に開催される第 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る予定である。これにより、今後、地球観測データはより多種多様で容量の爆発的増大が

見込まれ、地球観測データに関するデータセンターのハード面、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[3]。この様な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、従来から抱えている様々な課題に加えて、3次元データの取り扱い方に関する課題を抱えることとなった。例えば、検索されたデータの視覚化がその一つである。

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、Web上で3次元データを柔軟に可視化し、あるいはユーザが必要とする領域あるいは任意の曲面を切り出して可視化し、即解析可能なデータを提供できるようなツールを開発している。本研究では特にAIRSデータをサンプルとして扱っている。このようなシステムにより、研究者が実際に解析を行うための前処理の部分について負担軽減を目指す。なお、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。

2. 3次元地球観測衛星データ

本章では、一般的な地球観測衛星データの特徴、本研究で対象としている3次元地球観測衛星データの1つであるAIRSデータの概要、3次元地球観測衛星データの可視化の必要性について述べる。

2.1. 地球観測衛星データの特徴

本研究で対象としているAIRSデータを含む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
地球観測衛星データの容量は非常に大規模である。例えば、2000年度に米EOSDIS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1.5TBに達する[4]。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容量は増加する。しかも、ここで示したデータ量はあくまで受信時の原画像のものであるため、一次処理である幾何補正あるいは高次処理等を施したものも含めるとこの数倍にも数十倍にもなる。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。
- 時系列データ
地球観測衛星データは定期的に得られるため、時系列データである。属性として観測された時刻情報を持つことが多い。その時刻情報を用いた検索のニーズが高く、ユーザが設定した期間のデータをまとめて加工処理することが多い。
- 空間・時間解像度の多様性
空間解像度や時間解像度がセンサによって異なるのも特徴である。具体的な利用においても、必ずしも高い空間解像度や時間解像度を必要としない場合もあり、用途に応じた処理を行わなければ、処理時間の浪費や記憶領域の圧迫などの点でユーザにとって不利益を生じる。そのため、ユーザの利用形態に柔軟な処理が求められる。
- データ間の相関性
衛星データの場合、波長帯の異なった多くのセン

サを用いて同時観測されるため、それぞれで得られるデータの相関性が高い。また、現地観測などの異なった手法によって得られたデータや、あるデータが別のデータを誘引する要素となっているもの(例えば、降水量データ、土壌分類データ、植生データ、河川の流量データ)も相関性が高い。

- 3次元データ

近年では、観測されたデータが、次節で述べるようなAIRSなどの3次元であるものが出現している。従来の水平2次元に加えて、鉛直方向にも拡張され、立体的な地球環境解析が可能となりつつある。シミュレーションから得られた風のデータなど様々な地球環境データを融合することで、地球環境の新しい知見の発見が期待できる。

以上のように、地球観測衛星データは様々な特徴を有している。可視化を行う際には、上記を考慮したシステムを構築する必要がある。

2.2. AIRS データ

大気赤外サウンダ(AIRS)は、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: ジェット推進研究所)が設計した。また、AIRSは、アメリカ海洋大気庁(NOAA)が将来の実用気象衛星への搭載を計画している高分解能赤外サウンダに対する要求事項を満足するように設計されている。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[5]。

表1に主要諸元を示す。AIRSは、3.74~15.4 μm 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、0.4~1.0 μm の波長帯において、4チャンネルでの観測を行う可視/近赤外センサを搭載した高分解能サウンダである[5]。

表1 AIRS センサ主要諸元

項目		諸元
赤外分光計	観測周波数帯	3.74~15.4 μm
	スペクトル分解能	($\lambda/\Delta\lambda$)1200
可視/近赤外	観測周波数帯	0.4~1.0 μm
分解能		空間分解能: 13.5km(直下) 鉛直分解能: 1km
観測精度		温度: 1K, 放射率: 0.05
視野角/瞬時視野角		$\pm 49.5^\circ / 1.1^\circ$
観測幅		1650km
データレート		1.30Mbps

表 2 には, AIRS 高次プロダクトの一部を示す. AIRS のプロダクトには, 陸・海面温度, 気圧毎の水蒸気量, 積算水蒸気量, 気圧毎のオゾン量, 積算オゾン量, 気圧毎の気温等, 様々な種類がある[6].

表 2 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/m ²)
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)

2.3. 可視化システムの必要性

地球観測衛星データは, 上記のように多くの特徴を持ち, 用途も非常に多岐に渡る. しかし, データの膨大さや多様さのために, ユーザである研究者にとっては扱い難く, データが十分に活用されずに眠ったままになっていることが多い.

そこで, 地球環境データの提供サービス[7],[8]の構築によって, ユーザが Web を通して様々なデータを検索し, ダウンロードできるようになった. 一方で, 近年, 3次元の地球観測衛星データが得られるようになり, データが2次元から3次元になることで容量は格段に大きくなり, データの容量の面で扱い難さが増している. また, データが従来の2次元から3次元になることで, 実際の地球環境解析において, 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等について新たな課題となっており, 現状の検索ツール等では対応できない部分である. この課題は, ユーザが観測データと地形データと融合させて, 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. そして, 従来の2次元データと比べて次元が増えた3次元データから, ユーザ自身が所望の領域や任意の曲面を切り出すのは負担が大きすぎるのも事実である. つまり, 3次元データを Web 上で表示し柔軟に切り出してダウンロードできる機能が求められている.

本研究の目標である3次元地球観測衛星データの効率的な利用に対して, 上記の課題を解決することが不可欠であり, Web 上で3次元データを柔軟に可視化し,

ユーザが必要とする領域あるいは任意の曲面を切り出して再可視化し, 即解析可能なデータをダウンロードできるようなツールを開発する. これにより, 研究者が実際に解析を行うための前処理の部分について負担軽減を目指す.

3. AIRS データの可視化

3.1. 可視化システムの設計指針

本研究では, AIRS データの視覚化システムを構築するにあたり, まず, AIRS データの導入作業が行われる.

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 データの視覚化に対して, 以下の2つの機能について検討を行い, 構築を試みる.

- (i) 3次元表示
- (ii) 任意曲面の切り出し画像表示

まず, (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, 2次元画像として表示することは困難である. また, 層毎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. VRMLを用いることで, データの大局的なものを知りたい, データが3次元であるので任意の場所・角度から眺めたい, ユーザサイドで眺める場所・角度を自由に変更したい, 複数種類のプロダクトを重ね合わせて見てみたい, 時系列で連続表示させて値の変化を見たい, といった要望に対して容易に実現可能である.

次に, (ii)において, AIRS データの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. 3次元データは2次元データに比べて容量が格段に大きく, 解析ではマシンパワーが要求される. だからといって, ユーザが3次元データから所望の曲面のデータを取り出すのも大変な作業である. 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 データから曲面を切り出して, 表

示するツールを開発する。これにより、ユーザは GUI を使って曲面が所望のものになるまでパラメータを繰り返し変更でき、所望の曲面に沿った時系列のデータセットの取得が容易となる。また、切り出された時系列データをアニメーション化して検索結果に表示することで、時系列変化を見ることが可能である。

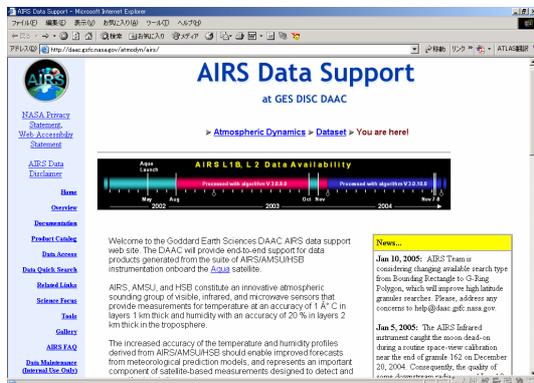
以下では、上記に基づいて、本システムで用いた具体的な手法を述べる。

3.2. AIRS データの導入

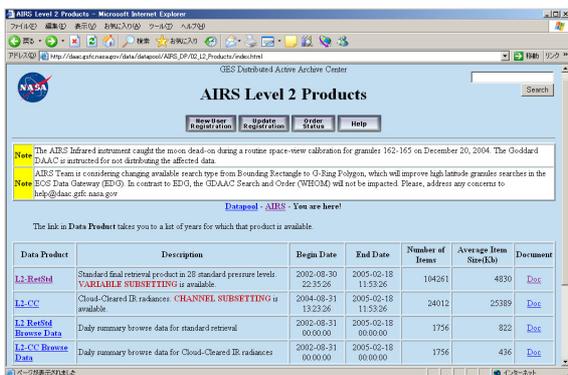
本研究で使用した AIRS データの仕様を表 3 に示す。AIRS データは NASA のサイト[6]からダウンロードされ(図 1)、フォーマットが認識され、等緯度経度直交座標系に再配列され、BSQ フォーマットで保存されて、そのデータがストレージにアーカイブされている。

表 3 アーカイブされた AIRS データの仕様

対象範囲	モンゴル周辺 (E75~E105, N25~N40)
座標系	等緯度経度直交座標系
解像度	0.25 度
鉛直方向の層数	28 (1,2[hPa])
プロダクトの種類	水蒸気量, 気温
期間	2003 年 1 月~
容量	> 4GB (4 bytes/pixel, float)



(a) フロントページ



(b) 使用する高次プロダクトのページ

図 1 NASA の AIRS データサポートページ

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(図 2)、図 3(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。各格子にマウスカーソルを合わせると、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。また、この空間に GTOPO30[9]など標高データを重ね合わせることで、3 次元的なデータ地図を表現することができる。このことにより、地形と観測データとの関係が視覚的に確認できる利点を持っている。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 3(b))。

また、仮想現実空間の利点を活かし、複数のプロダクトを同時に表示することも可能である。例えば、水蒸気量を格子の大きさ、気温を色で示すことにより、2 種類のプロダクトを同時に見ることが可能である。このことにより、異なるプロダクト間の相関性の解析に有用である(図 4)。

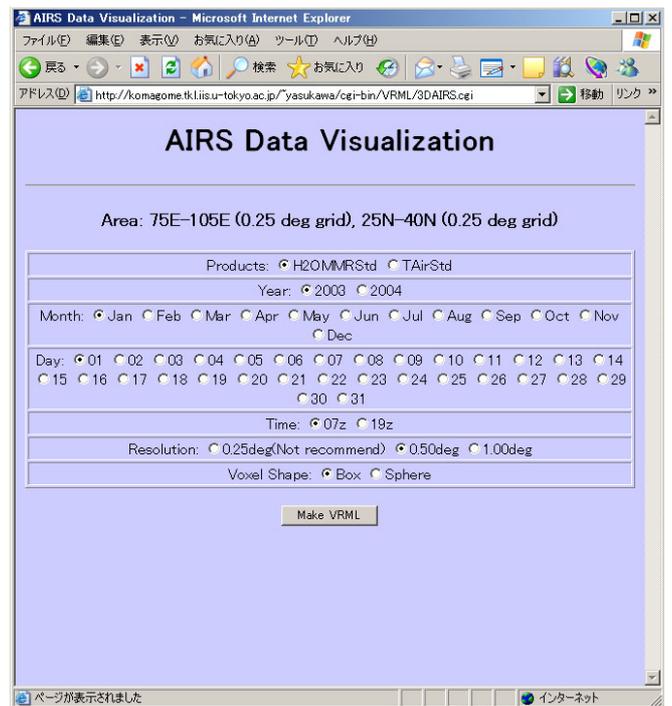
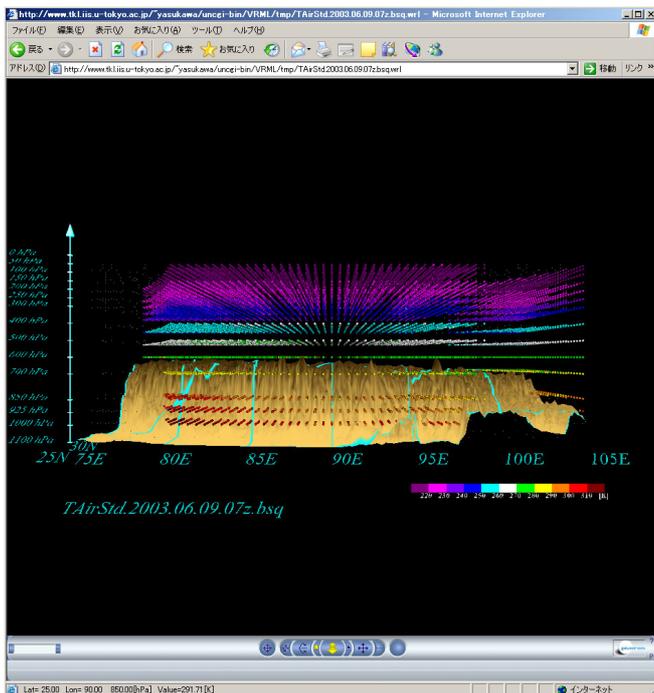
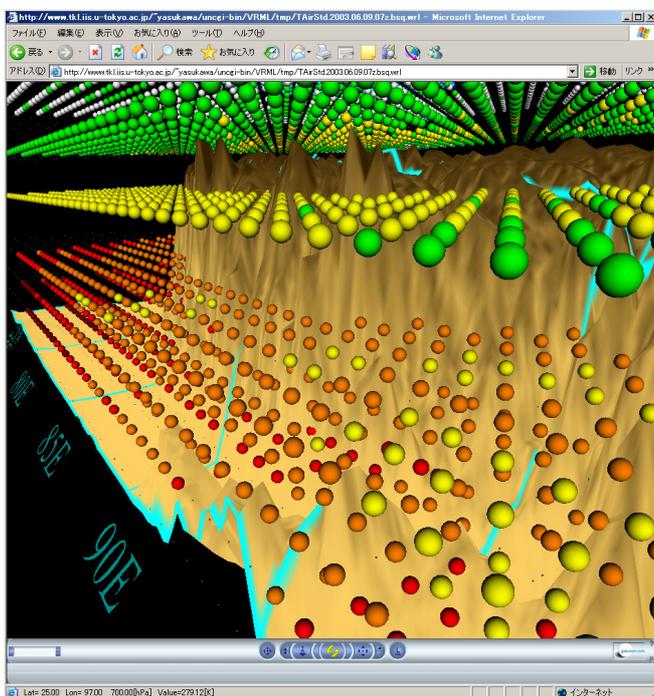


図 2 3 次元可視化のための検索ページ



(a) AIRS データの 3 次元可視化



(b) (a)における視点・角度の変更
図 3 VRML を用いた 3 次元可視化

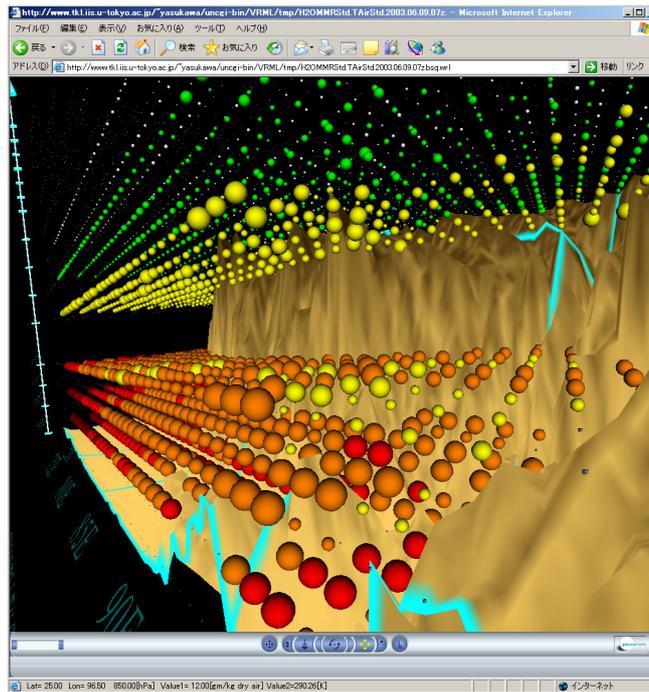


図 4 複数プロダクトの重ね合わせ

さらに、アニメーションを VRML と Java を用いて実現することで、3 次元的な時系列変化の解析等の用途が考えられる。また、地球環境モデルによるシミュレーションの出力等も重ね合わせることにより、関心領域内における系の解明に対して、ユーザの解析支援ツールへの機能拡張が考えられる。

3.4. 任意曲面の切り出し

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 データから曲面を切り出して、表示するツールを開発した。

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)、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んで緯度・経度をテキストフィールド内に書き込む(図 5)。

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、この結果を用いて引き出されたデータから曲面へ再サンプリングを行い、その面を 2 次元画像に変換する[10]。2 次元画像は、横軸を換算された距離、縦軸を気圧として観測値をカラー画像で視覚化し、これを検索結果として表示する(図 6(a)下部および図 6(b))。併せて、切り出された面の位置についても表示する(図 6(a)上部の赤線)。ただし、切り出された曲面データは表 3 の通り 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(図 6(b))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[11]。

また、対象期間を同じ面で切り出しているの、切り出された時系列データから、アニメーション GIF を作成して検索結果に表示することで、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(図 6(c)下部)。

そして、当然であるが、この切り出された時系列データセットはダウンロード可能である(図 6(c))。ダウンロード可能なファイルは、切り出された位置の画像、切り出されたデータ(4 バイトデータ)、切り出されたデータの GIF ファイル、GIF ファイルを作成するための切り出しデータのメタ情報および GrADS スクリプトファイル等である。これらのデータをユーザに提供することにより、ユーザは直ちに時系列解析が行える利点がある。

一方で、VRML を用いて、切り出されたデータを仮想現実空間内に配置して、3 次元可視化することも可能であり、機能を拡張していく予定である。また、VRML では AIRS データと他のデータとを重ねることで、複合的な解析環境を提供できる可能性もあり今後の検討課題である。

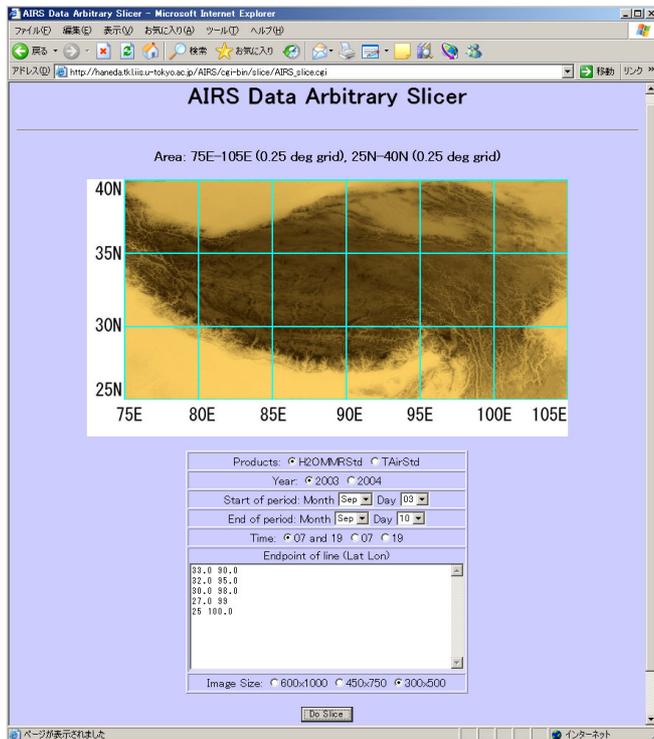
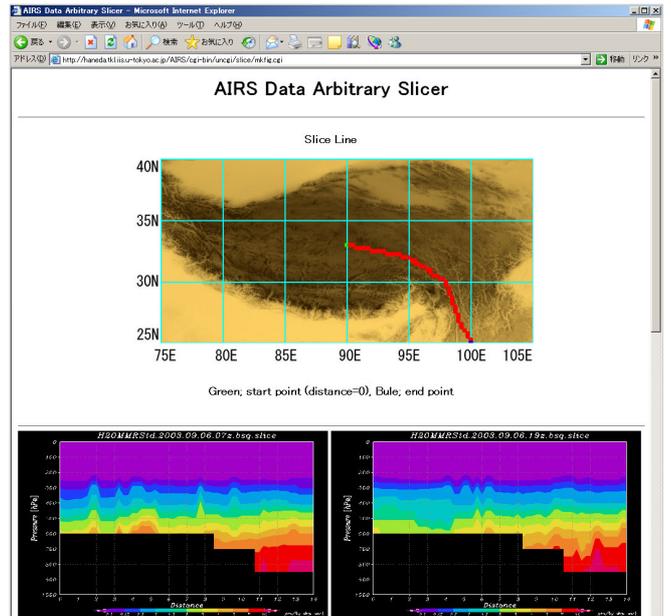
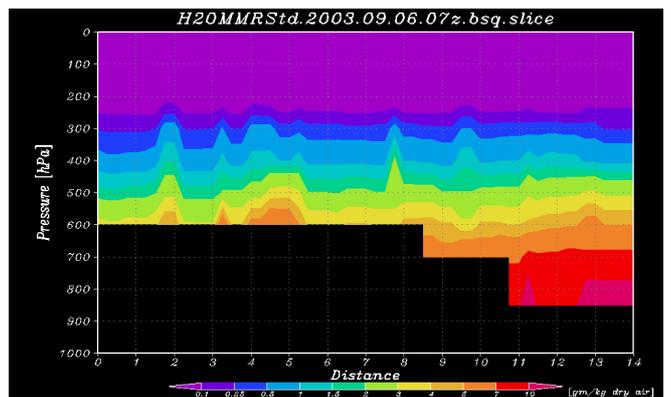


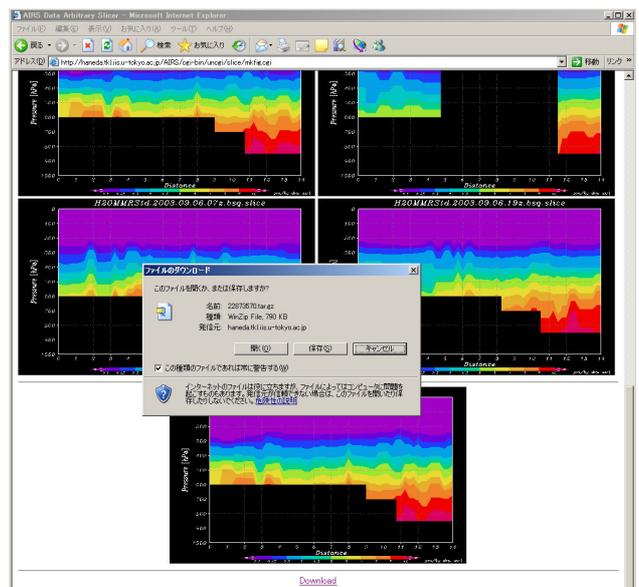
図 5 任意曲面の切り出しページ



(a) 曲面の切り出し可視化画像および切り出し位置



(b) GrADS による GIF イメージ化



(c) アニメーション GIF およびダウンロード

図 6 任意曲面の切り出し結果

3.5. システム構成

全体のシステムとしては、表 4 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 データは、3.2 節のプロセスによって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、記憶装置から検索・取得し、3.3 節および 3.4 節の視覚化を行って 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 5 の環境下で行っている。

表 4 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	Sun Fire 4800 (UltraSPARC III 900 MHz * 4, 16GB Memory)
ソフトウェア	OS: Solaris 8 Web サーバ: Apache 1.3.27 その他: csh, c, java 1.3, vrm12.0 等

表 5 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

東京大学生産技術研究所では、多種多様な地球環境データをアーカイブしている。このデータを提供するため、以前から運用されてきた本所の地球環境データ提供サービスの実績を踏まえ、検索機能の充実やデータ視覚化機能を導入した地球デジタルライブラリの構築を行っている。今後、AIRS データのような 3 次元データは、益々増加していく予定であり、上記システムに加えて、3 次元データを柔軟に扱える新たなツールが必要になってきている。

そこで、本研究では、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。特に、本稿では、開発された AIRS データの 3 次元表示機能、任意曲面の切り出し機能における具体的な手法および実装結果を述べた。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、任意の視点での視覚化を実現した。また、任意曲面の切り出し機能では、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、曲面のデータを視覚化し、その時系列データをダウン

ロードできるようにした。

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、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る予定である。

文 献

- [1] U.S. Department of Commerce, "Earth Observation Summit," <http://www.earthobservationsummit.gov/>, Oct. 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, Apr. 2004.
- [3] Jet Propulsion Laboratory (NASA), "AIRS - Atmospheric Infrared Sounder -," <http://www-airs.jpl.nasa.gov/>
- [4] Jeanne Behnke, Alla Lake, "EOSDIS: Archive and Distribution Systems in the Year 2000," Proceeding of 8th NASA Goddard Conference, pp.313-324, Mar. 2000.
- [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/amser-e/amser-e_handbook_j.pdf
- [6] NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) / Distributed Active Archive Center (DAAC), "AIRS data support," <http://daac.gsfc.nasa.gov/atmodyn/airs/>
- [7] Kitsuregawa Lab., "Satellite Image Archive at Institute of Industrial Science, University of Tokyo," <http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/SIAIIS/>
- [8] Kitsuregawa Lab., "Data Visualization System for Earth Environmental Researchers," <http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp:8080/DV/>
- [9] U.S. Geological Survey (USGS), "GTOPO30 - Global Topographic Data -," <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>
- [10] 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, Sep. 2004.
- [11] Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA), "GrADS Data Server (GDS)," <http://grads.iges.org/grads/gds/gds.html>