

3 次元情報をもつ地球観測衛星データのの一つである AIRS データにおける可視化システムの開発

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

安川 雅紀[†] 野本 卓也[‡]
小池 俊雄[‡] 喜連川 優[†]

Masaki YASUKAWA Takuya NOMOTO
Toshio KOIKE Masaru KITSUREGAWA

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曲面の切り出し等の機能を有する可視化システムの開発を行っている。このシステムにより、地形に沿った AIRS データの閲覧が可能となった。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。

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 visualization system of AIRS data including the three-dimensional visualization, the fusion of various products, and the 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.

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

[†] 正会員 東京大学生産技術研究所

{yasukawa, kitsure}@tkl.ijs.u-tokyo.ac.jp

[‡] 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

{nomoto, tkoike}@hydra.t.u-tokyo.ac.jp

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、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、検索されたデータの視覚化がその一つである。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。

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上での3次元データの柔軟な可視化、ユーザが必要とする領域あるいは任意曲面の切り出しおよびその可視化等のシステムを開発している。また、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。

2. 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 ~ 15.4 μ m の波長帯においてスペクトル分解能 ($\Delta/\Delta\lambda$)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 μ 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[4]。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。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[5]。

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。AIRS データは NASA のサイト[5]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

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, 市販のビューワ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.

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.

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.

3.2 VRML の利用

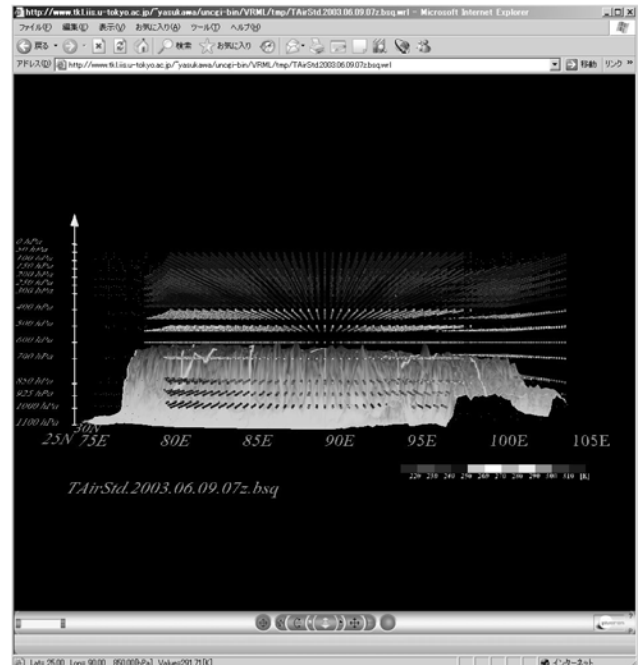
本システムでは, VRML 2.0 に準拠したブラウザを用いることで, AIRS データを 3 次元的に見ることが可能である. VRML を用いることにより, ユーザは仮想空間中に配置されたデータをウォークスルーしながら閲覧を行い, 関心のある領域には自由に接近して任意の角度・距離から確認することが可能である.

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. 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. また, この空間に GTOPO30[6]など標高データを重ね合わせることで, 地形に沿ってデータ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 1(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

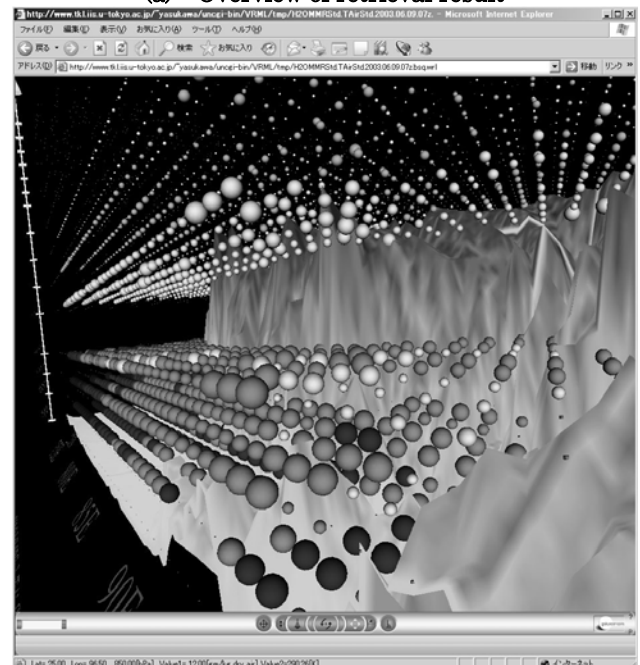
を同時に見ることができる. これは, 異なるプロダクト間の相関性の解析に有用である(図 1(b)).

さらに, アニメーションや Java を用いることで, 3 次元的な時系列変化の表示ができると考えられる. また, 地球環境モデルによるシミュレーションの出力も重ね合わせることで, 関心領域内における系の解明が可能な解析支援ツールへの機能拡張が考えられる.



(a) 検索結果の概観

(a) Overview of retrieval result



(b) 視点の変更および複数プロダクトの重ね合わせ

(b) Change of view and fusion of products

図 1 VRML を用いた 3 次元視覚化

Fig.1 3D Visualization Using VRML

3.3 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(図2)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は、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。

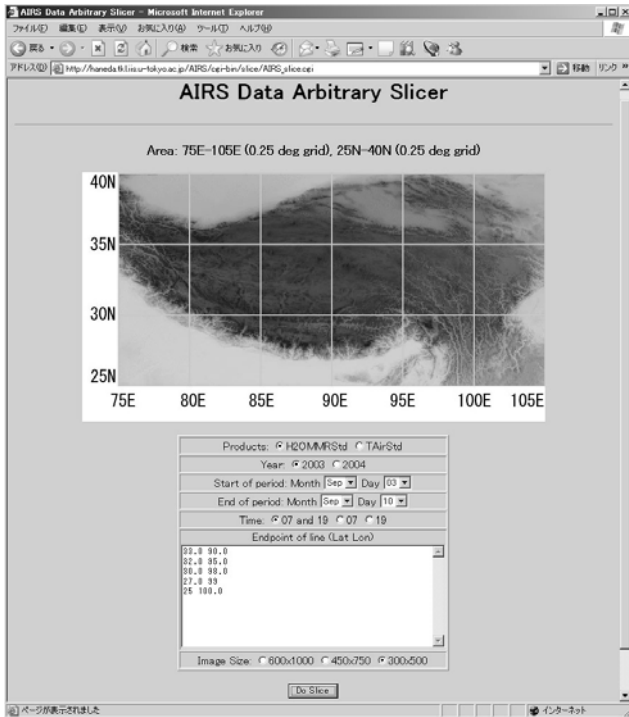


図2 任意曲面切り出しのトップページ

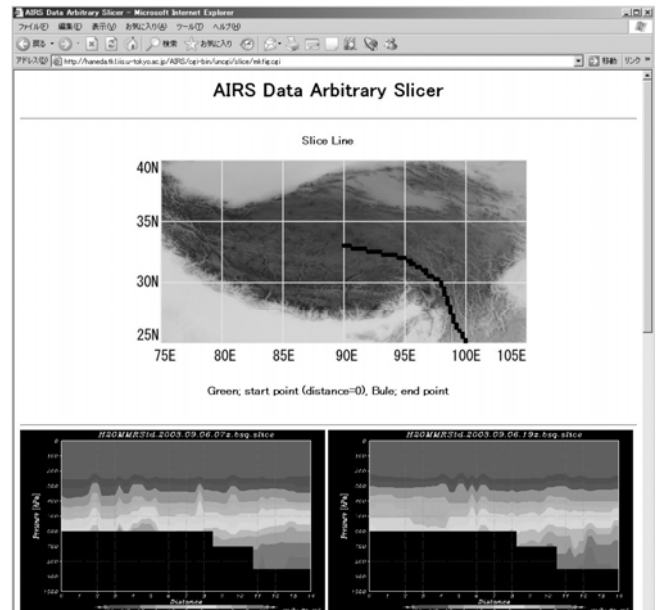
Fig.2 Top Page of Arbitrary Surface Slicer

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[7]。2次元画像は、横軸を換算された距離、縦軸を気圧とし、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3(a)下部および図3(b))。併せて、切り出された面の位置についても表示する(図3(a)上部の線)。ただし、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(図3(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[8]。

また、対象期間を同じ面で切り出しているため、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3(c)下部)。

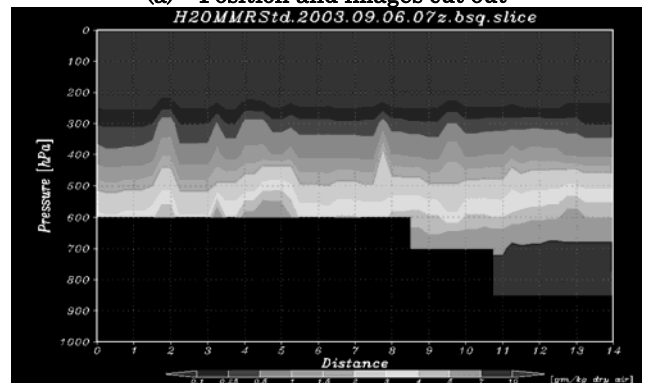
そして、この切り出された時系列データセットはダウンロード可能である(図3(c))。ダウンロード可能なファイルは、切り出された位置の画像、切り出されたデータ(4バイトデータ)、切り出されたデータのGIFファイル、GIFファイルを

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。



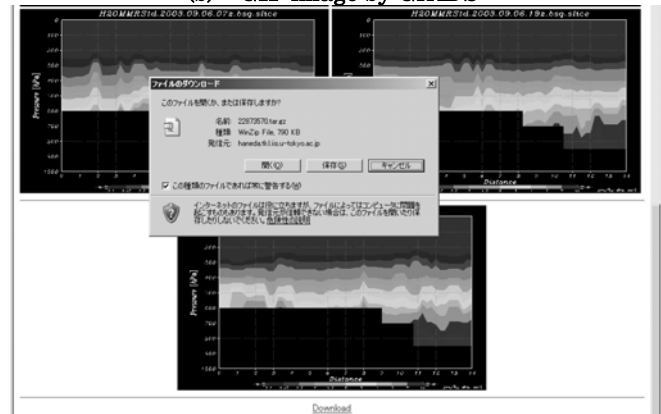
(a) 切り出し位置および切り取られた画像

(a) Position and images cut out



(b) GrADSによるGIFイメージ

(b) GIF image by GrADS



(c) アニメーションGIFおよびダウンロード

(c) Animation GIF and download

図3 任意曲面の切り出し結果
Fig.3 Result of Surface Cut Out

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,AIRSデータと他のデータを重ね合わせることで,解析機能を有するシステムを構築していく予定である.

3.4 システム構成

全体のシステムとしては,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.AIRS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,3.2節および3.3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2の環境下で行っている.

表1 構成ハードウェア・ソフトウェア
Table 1 Specification of Hardware and Software

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, vrml2.0等

表2 動作確認ブラウザ
Table 2 Supported Browser

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. まとめと今後の課題

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が,本論文では開発された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.このシステムにより,ユーザが解析に取りかかるまでの前処理と呼ばれる部分の負担軽減に大きく貢献できる.

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] 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/amr-e/amr-e_handbook_j.pdf
- [5] 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/>
- [6] U.S. Geological Survey (USGS): "GTOPO30 - Global Topographic Data -," <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>
- [7] 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).
- [8] Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA): "GrADS Data Server (GDS)," <http://grads.iges.org/grads/gds/gds.html>

安川 雅紀 Masaki YASUKAWA

東京大学生産技術研究所 科学技術振興特任研究員.2003年東京理科大学大学院基礎工学研究科博士後期課程単位取得満期退学.2004年博士(工学).衛星画像処理,地球環境データを対象としたデジタルライブラリに関する研究に従事.日本データベース学会,電子情報通信学会,映像情報メディア学会,日本写真測量学会各会員.

野本 卓也 Takuya NOMOTO

環境省地球環境局総務課.2005年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了.衛星データを使用した水循環研究に従事.

小池 俊雄 Toshio KOIKE

東京大学大学院工学系研究科教授.1985年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了,工学博士.水循環,衛星リモートセンシング研究に従事.統合地球水循環強化観測期間プロジェクト(CEOP)リードサイエンティスト.著書に「地球環境論」(岩波書店,共著)など.

喜連川 優 Masaru KITSUREGAWA

1983年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了,工学博士.現在,東京大学生産技術研究所教授.平成15年4月より,同所戦略情報融合国際研究センター長.データベース工学,並列処理,Webマイニングに関する研究に従事.本会理事,情報処理学会フェロー,SNIA-Japan顧問,ACM SIGMOD Japan Chapter Chair (H11-H14),電子情報通信学会データ工学研究専門委員会委員長(H9,10).VLDB Trustee,IEEE TKDE Assoc. Editor,IEEE ICDE,PAKDD,WAIM Steering Comm. Member.