

Google Earth を用いた宇宙空間科学データの ショーケース・システム Dagik とその活用例の紹介

京都大学大学院理学研究科附属
地球磁気世界資料解析センター 吉田 大紀

京都大学大学院理学研究科 地球惑星科学専攻 齊藤 昭則

概要

地球の衛星画像や地形データを3次元グラフィックスとしてPC上で再現するソフトウェアは、virtual globe と呼ばれ、その代表的なもの1つに2005年に公開されたGoogle Earth [1]がある。本稿では、Google Earth を利用した、地球周辺の宇宙空間の多種多様な科学データを表示、共有するシステムDagik (ダジック, Daily Geospace data in KML [2]) 構築の取り組みを紹介する。またDagik を用いた教育・アウトリーチ活動についても報告する。

1. Virtual globe

2005年にGoogle社よりGoogle Earthが公開されて以来、コンピュータ上で地球の衛星画像や航空写真を3次的に全球表示する“virtual globe”や“geobrowser”は、学術関係者やGIS (Geographic Information Systems) 関係者のみならず、広く一般に知られるようになった。PC上で動作するGoogle Earthはデジタル地球儀とも言うべきもので、ユーザーは画面に表示する緯度・経度・高度や視点の向きなどを自由に変えながら操作することができる。ズームレベルを変更すれば、地球全体から都市部の高解像度写真まで、スムーズに拡大・縮小して閲覧することができる。地図上に表示される画像やオブジェクトは、表示する視点や描画範囲に応じて自動的にウェブ上のサーバーからダウンロードされ、またサイドバーにあるチェックボックスのオン・オフで、表示・非表示を切り替えることができる。Google Earthに先行して公開された地図サービス、Google Mapsと同様に、KML (Keyhole Markup Language) という形式でデータを記述することで、地図上にさまざまな要素を自由に追加でき、公開することができる。この特徴を活かしてGoogle Earth, Google Mapsを利用し、地図上にオンライン・データを展開するサービスは、商用・非商用を問わず多数の応用が見られる。学術的な利用については、GIS分野に限らず、地球科学データについても早くから応用例が報告されている [3]。

2. ジオスペースの科学データ

ここで地球科学分野、その中でも特に地球周辺の宇宙空間 (geospace, ジオスペース) を対象とする、宇宙空間物理学や超高層物理学と呼ばれる分野でのデータの扱いに目を転じてみる。この分野は、極域の夜空を彩るオーロラや電離層の電波伝搬、磁気嵐などのさまざまな電磁気現象を研究対象として発達してきた学問領域である。現在では、太陽から放出される高速プラズマ流・太陽風と、太陽風プラズマに満たされた惑星間空間に浮かぶ地球の固有磁場とが相互作用する、複雑系としてとらえられている。いわゆる地学分

野の1つであり、観測、理論、計算機実験を主な手法として研究は進められている。地上からの観測方法としては、磁力計などによる磁場観測、レーダーやアンテナによる上空超高層大気電磁波観測、大気光カメラによる光学観測などの手段がある。1960年代より、人工衛星やロケットなどの飛行体による観測も開始され、飛行領域の電磁場や大気などの物理量を直接取得する観測のほか、電波や光の撮像などの遠隔観測も行われている。対象となる領域は、上空高度約100kmから60,000km以上にまで及ぶ。このような広い領域の現象を理解する上では、同じ時系列に於いて多点で観測されたデータを比較検討し、解析することが非常に重要となる。

近年、さまざまな観測データや数値シミュレーションの結果が集積され、データベースとしてデジタル・データが公開されるようになってきている。特に1990年代半ばよりのウェブ (World Wide Web) の発達とともに、データベースはウェブ上に構築され、ネットワークを介したデータの利用環境は飛躍的に向上した。データベース・サービス提供機関のサイトの中には、ユーザーのリクエストに応じて電子データの配布からプロットの動的生成まで行うものもある [4]。また、算出されるデータの大規模化、複雑化に対応し、データの利用を容易にするための、メタデータベースの整備 [5] や、分散データベース・アプリケーションの開発 [6] など推進されている。ジオスペースの研究者にとって、ネットワークを通してデータを取得する環境は、日々改善されつつある。

しかし解析に用いるデータが多岐にわたる場合は、それらの対象とする物理量の性質、時間的・空間的な領域や分解能などが異なるため、必要となる予備知識も増え、データを扱い、可視化にあたっての困難さが増すことになる。特に利用者が専門分野以外のデータを扱う場合には、そのデータの取得や処理に不慣れであることが障壁となりうる。また、例えば地震を原因とする電離層の擾乱のように、同じ地球惑星科学分野でも従来の研究分野を横断するような現象も報告されている [7]。分野を横断するデータの相互利用をさらに促進するためには、それぞれの研究者に対し異分野のデータを可視化して提供する、従来よりも簡便な仕組みが必要であろう。そのような仕組みとして、我々はデータ・ショーケース・システムを提案する。

3. データ・ショーケース・システム

データ・ショーケース・システムは、地球科学分野に於いて、さまざまな科学データを組み合わせて複合的な解析を行うことを促進するための仕組みである。それぞれのデータについて、場所・時刻・物理量などの情報を可視化すると同時に、データベースへのポータ

ルとしての機能も併せ持つ。閲覧したデータに興味を持ったユーザーは、より詳細なデータを求める場合には、個々のデータベースへとスムーズに導かれることになる。

例えば衛星観測のデータと地上観測のデータを比較する場合のように、複数のデータを比較するには、データを同時に表示し、空間的、時間的な対応を確認する必要がある。そのためには、それぞれのデータの持つ場所と時刻の情報を正しく反映し、同時に描画することが、不可欠である。地理的な対応を直感的に確認できるためには、自由に拡大・縮小などができる、スケーラビリティを持つものが望ましい。またデータの時間分解能は1 Hz以上のものから1日1データというものまで多岐にわたり、時間的なスケーラビリティを持つことも要求される。さらに、さまざまなデータを扱うためには、オンラインの各所に分散しているデータを自由に取得できるなど、ネットワークを利用できることも欠かせない。

まとめると、地球科学に於ける、データ・ショーケース・システムの要件は、以下の3点が挙げられる。

- 1) データを可視化するにあたり、空間3次元に時刻情報を加えた、4次元の属性を表現できること。
- 2) 空間的にも、時間的にも、スケーラビリティを持つこと。
- 3) ネットワークを利用できること。

4. Dagik : Google Earth を利用したデータ・ショーケース・システムの実例

上記の考えに基づき、我々のグループでは、ジオスペースの科学データのためのショーケース・システムとして“Dagik” (Daily Geospace data in KML) を開発した。Dagik では、データファイルをKMLで記述し、Google Earthをデータブラウザとして利用する。KMLは、要素に緯度・経度・高度などの属性を含めて記述できる、GISのためのXML (eXtensible Markup Language) の拡張の1つであり、Google Earth (およびその前身であるKeyhole) とともに開発が進められてきた。表現できる要素としては、アイコン、画像、ポリゴン、3Dモデルなどのオブジェクトがあり、これらについて位置情報の他にも、要素の持つ時間 (開始時刻と終了時刻)、要素の説明のオブジェクト、Google Earth 上に表示する際の視点の位置や角度などの情報をあわせて指定することができる。

Google Earth は、PC 上に地球の衛星画像や航空写真を全球表示する virtual globe の1つである。フレーム内の空間にさまざまなオブジェクトが表示でき、簡単に表示・非表示を切り替えることができる。時刻情報を持ったオブジェクトの表示を行う場合には、自動的に時系列に沿ってオブジェクトの表示・非表示が切り替わり、データの時間変化を再生することも可能である。また、Google Earth は、地球表面の画像だけでなく、KML ファイルに指定されたネットワーク上の画像やデータ、他のKML ファイルなども、必要に応じて自動的に取得、解釈される (“network link”) 機能を持つ。以上の点から、Google Earth は、データをKMLで用意することで、

データ・ショーケースの要件を満たしたデータブラウザとなる。ただし、要素すなわちデータを配置できる範囲が、地球表面から高度62,252kmまでに制限されている点は、注意が必要である。

ユーザーがDagikを使ってデータを閲覧する手順は、次の通りである。

- 1) Google Earth をインストールしたPCでDagikのサイト [2]へアクセスし、dagik.kmlをダウンロードしGoogle Earthで表示する。
- 2) dagik.kmlには、データを閲覧できる日付の一覧が含まれている。このカレンダー上の任意の日付を指定すると、その日の観測データのリストがサイドバーに展開される。
- 3) 閲覧したいデータのチェックボックスをONにすると、Google Earth 上で表示される。このチェックボックスを使い、ユーザーはデータの表示・非表示を簡単に切り替えることができる。

Dagik がそのサイトで提供しているのは、各観測およびシミュレーション結果へのネットワークリンクの集合である。それぞれのデータを含むKMLファイルやKMZファイル (KMLファイルや画像ファイル等をzip形式でアーカイブしたもの) はDagikのサイトのほか、協力研究機関のサイトで、作成、提供されている [表1]。

科学データ	提供研究機関/データベースURL
大気光観測全天カメラ	名古屋大学太陽地球環境研究所 http://stadb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/omti/
DMSP SSIES	テキサス大学ダラス校 http://cindispace.utdallas.edu/DMSP/
EISCAT	情報・システム研究機構国立極地研究所 http://polaris.nipr.ac.jp/eiscat/eiscatdata/
GPS-TEC	京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 http://stegps.kugi.kyoto-u.ac.jp/
DARTS	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 http://darts.isas.jaxa.jp/index.html#en
Super DARN Hokkaido Radar	電気通信大学・名古屋大学太陽地球環境研究所 http://skdb1.stelab.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/
IMAGE-FUV: SSL	カリフォルニア大学バークレー校 http://sprg.ssl.berkeley.edu/image/
Ionosonde data	情報通信研究機構 http://wdc.nict.go.jp/IONO/index_E.html
MIT-TEC	マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所 http://madrigal.haystack.mit.edu/madrigal/
地上磁場データ・地磁気指数	京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/

表1 主な協力研究機関の提供するデータとそれぞれのデータベース (2008年12月現在)

それらのデータは、日付ごとに、太陽活動関連・地磁気指数・地上磁場観測・GPS観測・電波観測・光学観測・衛星観測・衛星軌道・数値モデル・その他の地球科学データの、10種類のカテゴリに分類されている。

これらのデータを直感的にわかりやすく比較できるように、データの可視化とKML化に際して以下のルールを設けている。

- 1) 1つのファイルに含まれるデータは、世界時 (Universal Time) 0時から24時間の1日分を単位とする。
- 2) スクリーン上に表示するデータプロットの位置、サイズを統一する。

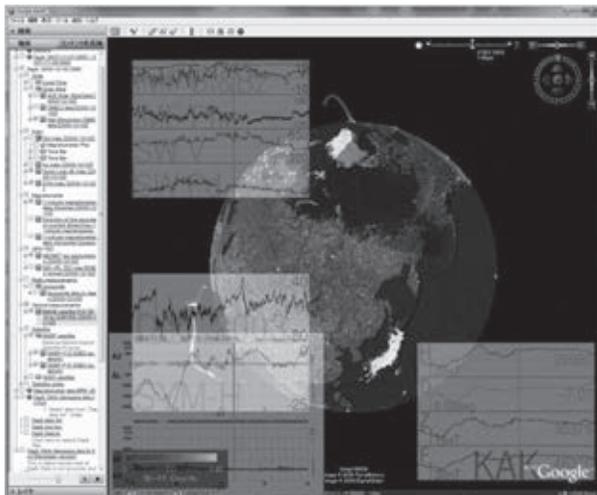


図 Dagik でのデータ表示の例 (2003年12月2日のオーロラ、地磁気活動と太陽風)

Google Earth では、時刻情報の与えられた要素を表示しようとすると、時間軸に沿って、全ての要素が一定の実時間内に逐次表示される。つまり、異なる時間幅の要素を同時に複数表示すると、それぞれのデータを確認することが難しくなる。この問題を回避するため、Dagik では予め作成するデータは 1 日 1 ファイル (“Daily”) とした。

一部のデータの時系列プロットは、スクリーン上にパネルとして表示される。図の例では、左上に地球近傍の太陽風パラメータが、左下にはオーロラ活動を示す地磁気指数のパネルが表示されている。これらはその性質上、特定の地理情報は持たない。また、右下はある観測所 (KAK- 柿岡) の地上磁場データである。それぞれのパネルに入った赤い線は現在表示している時刻を表している (図では 13 時 47 分)。位置やサイズが統一された透過パネルを重ね合わせることで、時間的な比較が容易に可能となる。要素の透過には Google Earth の透明化の機能を利用している。

データ提供者が、観測データやシミュレーション結果などを Dagik に新たに提供する場合、次の 3 つの手順を踏むことになる。

- 1) データの KML/KMZ 化
- 2) 任意の WWW サーバー上での公開
- 3) Dagik 管理者への URL とデータ説明等の登録申請

データの KML 化作業は、データ提供機関に於いて行うため、データ利用者が処理を行うよりも効率が良い。また KML や Google Earth を利用した技術については、地球科学に限らず、多くの情報が得られる点も有利である。加えて Dagik を開発した我々のグループでも、データ提供者に対してサンプルの作成や変換スクリプトの提供など、KML 作成の支援を行っている。データ提供機関から申請された URL にはクローラーが巡回し、確認したデータファイルをリストに追加する作業を行っており、公開された KML/KMZ ファイルは、準リアルタイムで自動的に Dagik 上の共有リストに反映される。これらのデータのやりとりは http を介して行われるので、basic 認証等を利用することで、データ提供者が公開範囲を一部のユーザーに制限することも簡単に実現されている。

5. アウトリーチ・教育活動への応用

Dagik により、さまざまなジオスペースおよび地球科学のデータについて、1 つのフレームの中で手軽に時間的・空間的な比較を行うことができる、データ・ショーケース・システムが実現された。さまざまなデータを手軽に可視化し共有することで、研究者間での利用を促進しようという試みであるが、同時に、データの立体的な可視化を利用して、地球科学の非専門家への解説などにも活用されている [表 2]。

開催期間	開催場所
2007年8月	京都大学オープンキャンパス
2008年4月～8月	京都大学総合博物館 2008年春季企画展「京の宇宙学」
2008年7月	情報通信研究機構(NICT)一般公開
2008年8月	京都大学オープンキャンパス
2008年10月	地球電磁気・地球惑星圏学会アウトリーチイベント 「体感!日本の惑星研究最前線」仙台市天文台
2008年11月	京都大学11月祭 理学部地球惑星科学系研究室紹介
2008年11月	電気通信大学オープンキャンパス
2008年12月	国立科学博物館

表2 Dagik を利用したアウトリーチ活動 (2008年12月現在)

Dagik を利用して、ジオスペースに於けるさまざまな現象や観測などの活動を解説するに当たり、プロジェクトで平面のスクリーンに画面を投影する代わりに、白い半球状のスクリーンを導入した。具体的には、大型の雑貨店などで入手できる、発泡スチロール製の菓玉 (の半分) である。この半球に Google Earth の画面の地球がぴったりと合うように調整すると、実際に地球がそこに浮いているかのように立体的に表示される。

また、指定した KML ファイルを Google Earth 上で順に自動的に表示するように、Google Earth COM API を利用したアプリケーションを Visual Studio で開発した。Google Earth のデフォルトの機能にあるような指定した KML を自動的に巡回するだけのものではなく、それぞれの要素について時間を指定して表示することができ、また同時に音声の再生なども可能となっている。表示したいコンテンツを KML で作成しておき、このアプリケーションを利用



写真 Wii リモコンを使い、宇宙天気予報に関するデータと解説が表示されたデジタル地球儀を操作する児童たち (2008年7月、情報通信研究機構一般公開にて)

することで、解説プログラムは自動運転で上映される。

さらに、解説プログラムが上映されている間も、閲覧者は自由に Google Earth を操作して地球儀を回転させ、あらゆる角度からデータを確認することが可能となっている。展示は、球面状の迫力のある映像と、マウスの代わりに Nintendo Wii のリモコンを使っていることもあってか、幅広い年齢層の関心を集めることに成功した[写真]。

コンテンツは当初のオープンキャンパスなどでは、ジオスペースに関連する分野のデータを網羅的に紹介するものを中心としていた。2008年10月と12月に行われた展示では、主として小学校低学年を対象として想定し、内容をオーロラに関する簡単な映像と解説にしぼり、加えて小冊子を配布し、クイズ形式で理解を確認するものを展開した。また、上映されるコンテンツの横で解説員が補足を加えるなど、さまざまな形式を試している。回数を重ねるごとに、得られたフィードバックをもとに、コンテンツの吟味やアプリケーションの操作性の改良などの作業を行っている。

6. まとめと今後の課題

ジオスペースの科学データを KML で記述しネットワークリンクを通して共有することで、Google Earth 上でデータを手軽に比較・閲覧できる、データ・ショーケース・システム Dagik を構築した。我々のグループでは 2007 年 3 月より開発を進めてきたが [8]、このような試みは世界でも他に例がなく、今後もさらにさまざまなデータ提供者やデータベース提供機関との連携を密にし、発展させていく予定である。計画として、1) 提供するデータをジオスペースのものから地球科学全体へと対象を拡げる、2) 提供するデータの時間分解能の幅を拡げる、という 2 つの方向性がある。すなわち、“Daily Geospace data”から“Data of Geoscience”への拡大である。提供するデータの種類が増加すると、データの検索性や Google Earth そのものの操作性などが問題となってくる。データの検索については、現在 Dagik のウェブサイトですimpleな検索用の CGI が稼働しているが、2009 年 3 月をめどに改良が加えられる予定である。Dagik を利用したアウトリーチ・教育活動については、他の本格的な設備と比べて、格段に安価に (PC とプロジェクタ、半球など) 設営が可能である点などを活かし、博物館や小中学校などの学校教育機関への周知活動などを継続する予定である。解説プログラムを再生するアプリケーションについては、現在は関係者のみへの限定的な公開にとどまっているが、こちらも 2009 年 3 月をめどに公開の予定である。

謝 辞

Dagik の開発にあたりご協力いただいた、全ての研究機関の研究者、大学院生、データ提供者に感謝します。

参考文献

- [1] Google Earth: <http://earth.google.com/>
- [2] Dagik: <http://www-step.kugi.kyoto-u.ac.jp/dagik/>
- [3] D. Butler, “The web-wide world”, NATURE, Vol 439, pp.776-778, 2006
- [4] CDAWeb: <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>
- [5] Virtual Solar Terrestrial Observatory: <http://vsto.org/>
- [6] STARS: <http://www.infonet.cite.ehime-u.ac.jp/STARS/>
- [7] Iyemori, T. et al., “Geomagnetic pulsations caused by the Sumatra earthquake on December 26, 2004”, Geophysical Research Letters, 32, L20807, 2005
- [8] 齊藤昭則, 村田健史, PLAIN センターニュース No.164, 独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部宇宙科学情報解析センター, 2007

吉田 大紀
Yoshida Daiki

京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター教務補佐員 京都大学大学院理学研究科博士課程研究指導認定退学, 修士(理学)。専門は磁気圏物理学。元京都コンピュータ学院講師。

齊藤 昭則
Saito Akinori

京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻助教 京都大学大学院理学研究科博士課程修了, 博士(理学)。専門は電離圏・超高層大気物理学。