

パーソナルコンピュータをベースにした地球環境データ管理・ 検索・表示システムの開発

木村典嗣*¹・吉村俊哉*¹・井上 潮*²・岡田喜裕*³

Development of a PC-based system for earth environmental data
management, retrieval and display

Noritsugu KIMURA, Toshiya YOSHIMURA, Ushio INOUE and Yoshihiro OKADA

Abstract

In the recent years, various institutions all over the world have observed earth environmental data through diverse means. Many of these data are now accessible to the public on the Internet, and are widely used in research investigations. However, it is often difficult for the researchers to make optimum use of such data because of diverse contents and various types used to store the data. Researchers are required to develop the database system to use these data effectively. A flexible search engine and proper visualization system are necessary for effective use of such database system. The purpose of this study is to design a personal computer-based system that can load, manage, retrieve, and display various kinds of the earth environmental data with user-friendly interface. The earth environmental data to be handled with this system include satellite images as well as meteorological and oceanographic observation data. The system can retrieve and display information by using the earth maps as the interface. We demonstrate this interface enables users to recognize the relative relation between the positions of the retrieved data intuitively.

1. はじめに

地球規模で周期的に観測可能な Landsat 1号が1972年に打ち上げられてから30年が経過した。アメリカ、ヨーロッパ、日本などの国々では Landsat 衛星以外にも多くの地球観測衛星や気象観測衛星が運用され、それらの画像は様々な機関で管理されてきた。また、衛星観測以外にも、船舶による海洋観測や AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System: 地域気象観測システム) のような気象観測が世界中で行なわれ、それらの観測結果が様々な機関で管理されてきた。これらのような位置と時間と種類で管理することが可能なデータ (以下、空間データとする) が多く存在している。

本来、もっと活用されるべきデータなのに、組織毎や空

間データ毎に管理しているために、研究者は様々なデータベースから空間データを収集する必要があり、利用されていないデータがほとんどである。空間データを利用するために、Gore (1998) は、1998年1月に「デジタルアース構想」(Digital Earth) を提言した。デジタルアース構想とは、大量の空間データの探索や相互運用性がある仮想空間上に表現した3次元の地球上を「魔法のじゅうたん」に乗っているように、サイバースペースを飛び回りながら、情報の検索や閲覧を行なうことができるようにすることである。Gore (1998) は、「デジタルアース構想」を実現するために、ネットワークで結ばれたブラウザ上で様々な解像度で3次元の地球を表現する視覚化システムの開発や、異なるフォーマットで生成されている各データを検索、表示する技術の開発や、様々なデータから必要な情報のみ抽出するメカニズムの開発や、生データを付加価値データに

2006年5月17日受理

*1 株式会社 NTT データ (NTT Data Corporation)

*2 株式会社 NTT データ (現 東京電機大学 工学部 情報通信工学科) (Tokyo Denki University)

*3 東海大学海洋学部地球環境工学科 (Tokai University)

変換する方法の開発が必要であると提言している。この提言をうけて、世の中にある様々な地球環境データについて統合的に管理し、ネットワークを介して取得、閲覧するための試みが行なわれている。たとえば、NASA (Crockett, 1998) では、保有している数多くの衛星画像を広く一般公開するために、Web ベースによるシステム構築を行なっている。福井ほか (1998) では、インターネット上の多様な空間データ (防災情報やニュースなど) を統合的に管理する次世代インターネット GIS について提案している。生駒ほか (2000) では、研究室で受信している NOAA/AVHRR 画像や GMS 画像などの衛星画像を自動的に登録して、内容と時間と位置について切り替えながら画像の検索を行ない、検索結果を視覚化する大規模なシステムを構築している。しかし、これらの研究では、グラフィックワークステーションによりシステムの開発が進められてきたが、システム本体の価格や計算機自身の物理的な大きさや操作性や普及度に問題がある。また、今までの空間データの管理システムでは衛星画像と他の観測データを一緒に管理することがなかった。そこで、本報告の目的は、様々な地球環境データを登録、管理、検索、表示する PC

ベースのシステムを開発することである。開発するにあたり、地球規模の画像から数キロ四方の航空写真や、地球上に偏在する観測データを管理するための手法や、インターフェースや表示パフォーマンスを維持するための手法について検討する。本報告では、システムの機能と特徴、ユーザアンケートによる評価と改善策について述べる。PC ベースのシステムは、グラフィックワークステーションでシステム開発するよりも、初期投資コストと維持管理コストを数十分の一に削減する効果が期待される。

2. データベースシステムの機能と特徴

2.1 空間データの特徴

本報告で対象としている空間データは、一般のデータベースなどで対象としている文書データや数値データなどと異なる特徴を有している。空間データは、それぞれのデータの容量、空間解像度、データの取得間隔などが多様で、種類が豊富である。データ容量の多様性とは、1 枚数100メガバイトの衛星画像や1回の観測が数キロバイトの観測データまで存在していることである。空間解像度の多様性

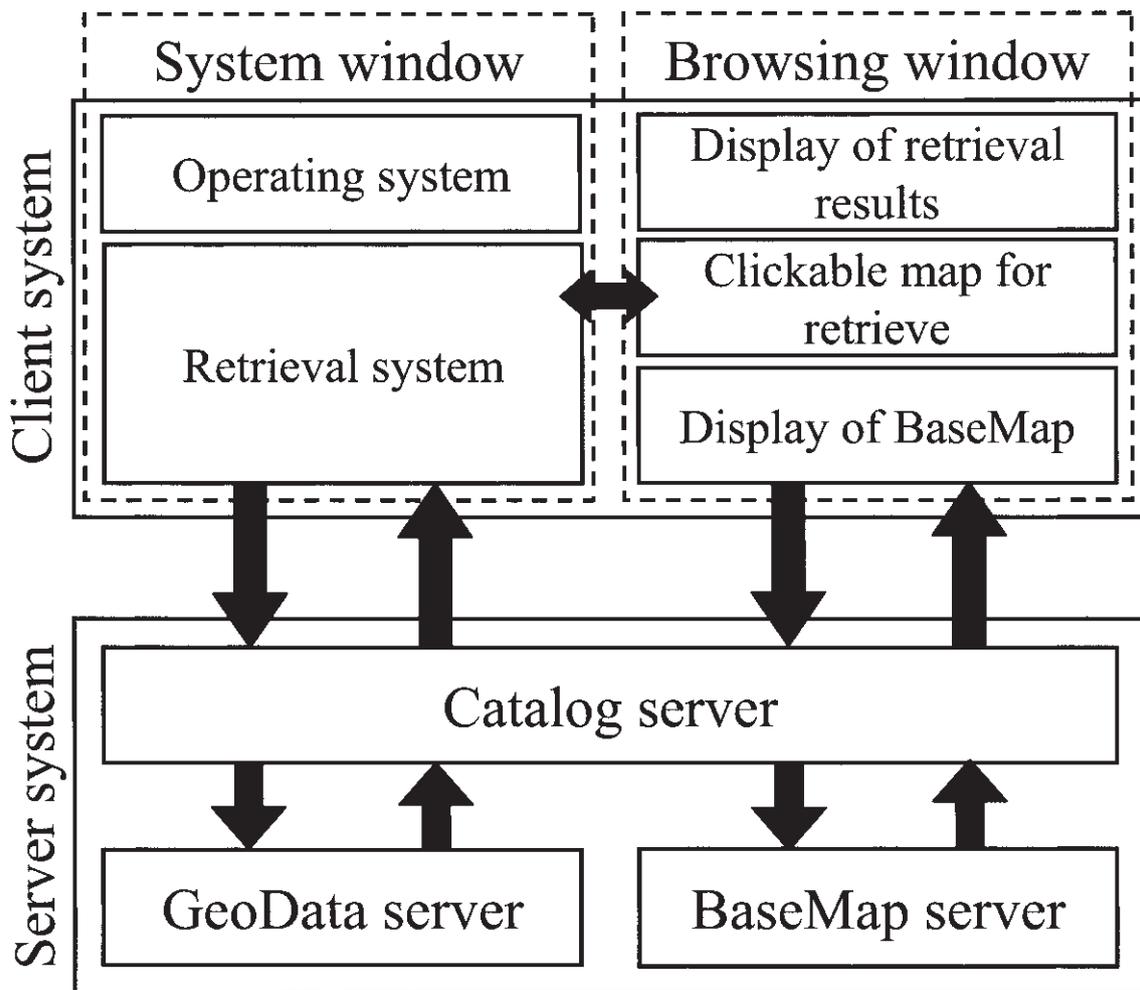


Figure 1 System configuration of database system

とは、1画素のサイズが5 kmで全球を観測しているデータから、1画素のサイズが25cmで1キロメートル四方を観測している航空写真まで存在していることである。データの取得間隔の多様性とは、毎分に観測されたデータから1年間に観測されたデータを処理した画像まで存在していること。また、不定期に更新や観測や撮影されるデータも存在するという意味である。このような多種多様なデータを一元的に管理をする必要がある。

2.2 システムの構成とその特徴

本研究では、システムの背景に常に表示している画像のことをベースマップ、システムで管理をしている空間データをジオデータと呼ぶことにする。本システムの構成をFigure 1に示す。本システムはクライアントサーバ型システムである。クライアントシステム (Figure 2) は、検索や表示の設定を行うシステムウィンドウと地球上を飛び回るように表示できるブラウジングウィンドウで構成されている。システムウィンドウで操作するメニューをFigure 3にまとめた。ブラウジングウィンドウではクリックマップによる地図上の位置の抽出や検索結果の表示と、視点高度と視線角度の調整をすることができる。ブラウジングウィンドウでは、ユーザが地球を動かすような操作方法とユーザ自身が地球上を動きまわるような操作方法を実装した。これらの操作方は、システムウィンドウのメニューにより、任意の時に切り替えが可能である。

サーバシステムは、カタログサーバとベースマップサーバとジオデータサーバの3つの異なるシステムから構成されている。カタログサーバは、ベースマップとジオデータのメタデータをXML (eXtensible Markup Language) で記述して、管理をしている。メタデータとして記述されている項目は、レベル、緯度経度情報、属性、データの所在である。本システムでは、背景画像として表示するベースマップを視点高度毎に4つのレベルに分割した。4つのレベルとは、視点高度毎に5000km以上の地球レベル、5000~800kmの大陸レベル、800~35kmの国レベル、35 km以下の都市レベルである。本研究で開発したシステムでは、ベースマップとして、地球レベルで解像度36000mの全世界の画像、大陸レベルで解像度1000mの全世界の画像、国レベルで解像度50mの日本周辺の画像、都市レベルで解像度0.5mの東京周辺の画像を管理している。レベルの分割の目的は、効率的にカタログサーバで表示するベースマップを決定するためである。地球レベルでは国名、大陸レベルでは大都市名、国レベルでは都道府県名、都市レベルでは市町村名を管理することにより、視点高度に応じた地名を表示できるようになった。地球レベルでは5 kmメッシュの標高データ (GTOPO 30)、大陸レベルでは1 kmメッシュの標高データ (ETOPO 2)、国レベルでは国土地理院発行の数値地図250mメッシュ (標高) のデータ、都市レベルでは国土地理院発行の数値地図50mメッシュ (標高) のデータを管理している。ジオデータの検索結果は、すべてのレベルで表示するように設定をしてある。

バとジオデータサーバの3つの異なるシステムから構成されている。カタログサーバは、ベースマップとジオデータのメタデータをXML (eXtensible Markup Language) で記述して、管理をしている。メタデータとして記述されている項目は、レベル、緯度経度情報、属性、データの所在である。本システムでは、背景画像として表示するベースマップを視点高度毎に4つのレベルに分割した。4つのレベルとは、視点高度毎に5000km以上の地球レベル、5000~800kmの大陸レベル、800~35kmの国レベル、35 km以下の都市レベルである。本研究で開発したシステムでは、ベースマップとして、地球レベルで解像度36000mの全世界の画像、大陸レベルで解像度1000mの全世界の画像、国レベルで解像度50mの日本周辺の画像、都市レベルで解像度0.5mの東京周辺の画像を管理している。レベルの分割の目的は、効率的にカタログサーバで表示するベースマップを決定するためである。地球レベルでは国名、大陸レベルでは大都市名、国レベルでは都道府県名、都市レベルでは市町村名を管理することにより、視点高度に応じた地名を表示できるようになった。地球レベルでは5 kmメッシュの標高データ (GTOPO 30)、大陸レベルでは1 kmメッシュの標高データ (ETOPO 2)、国レベルでは国土地理院発行の数値地図250mメッシュ (標高) のデータ、都市レベルでは国土地理院発行の数値地図50mメッシュ (標高) のデータを管理している。ジオデータの検索結果は、すべてのレベルで表示するように設定をしてある。

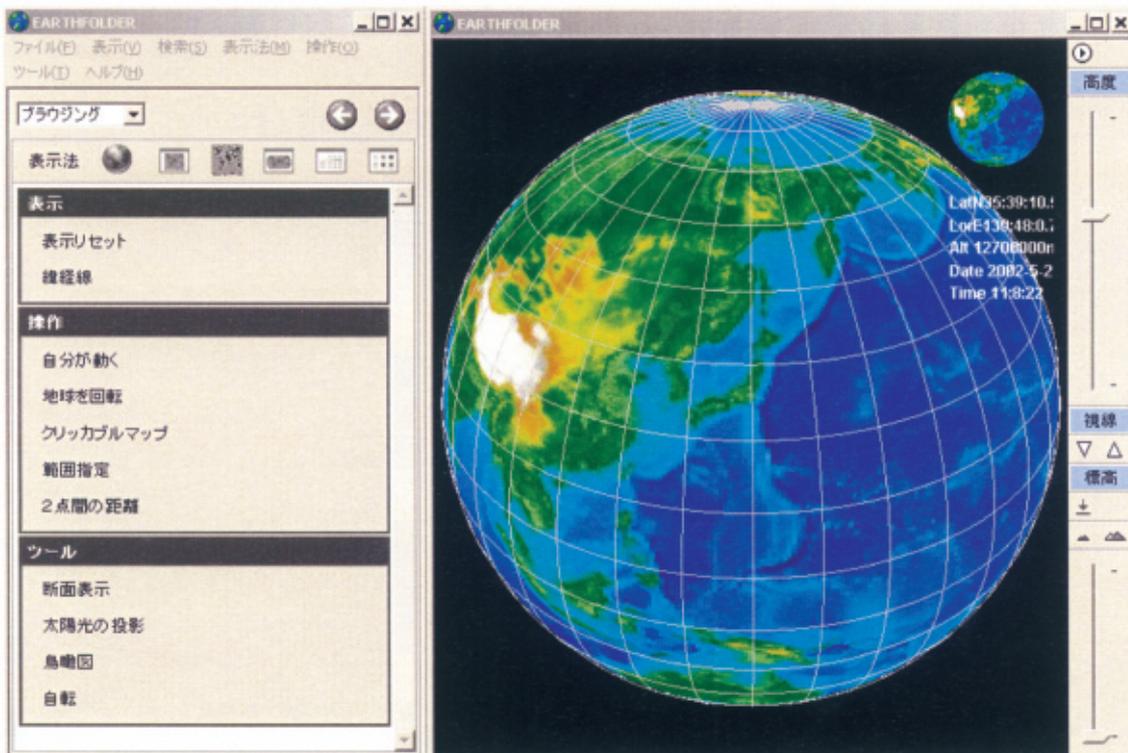


Figure 2 Client system of database system. Left side is the system window. Right side is the browsing window.

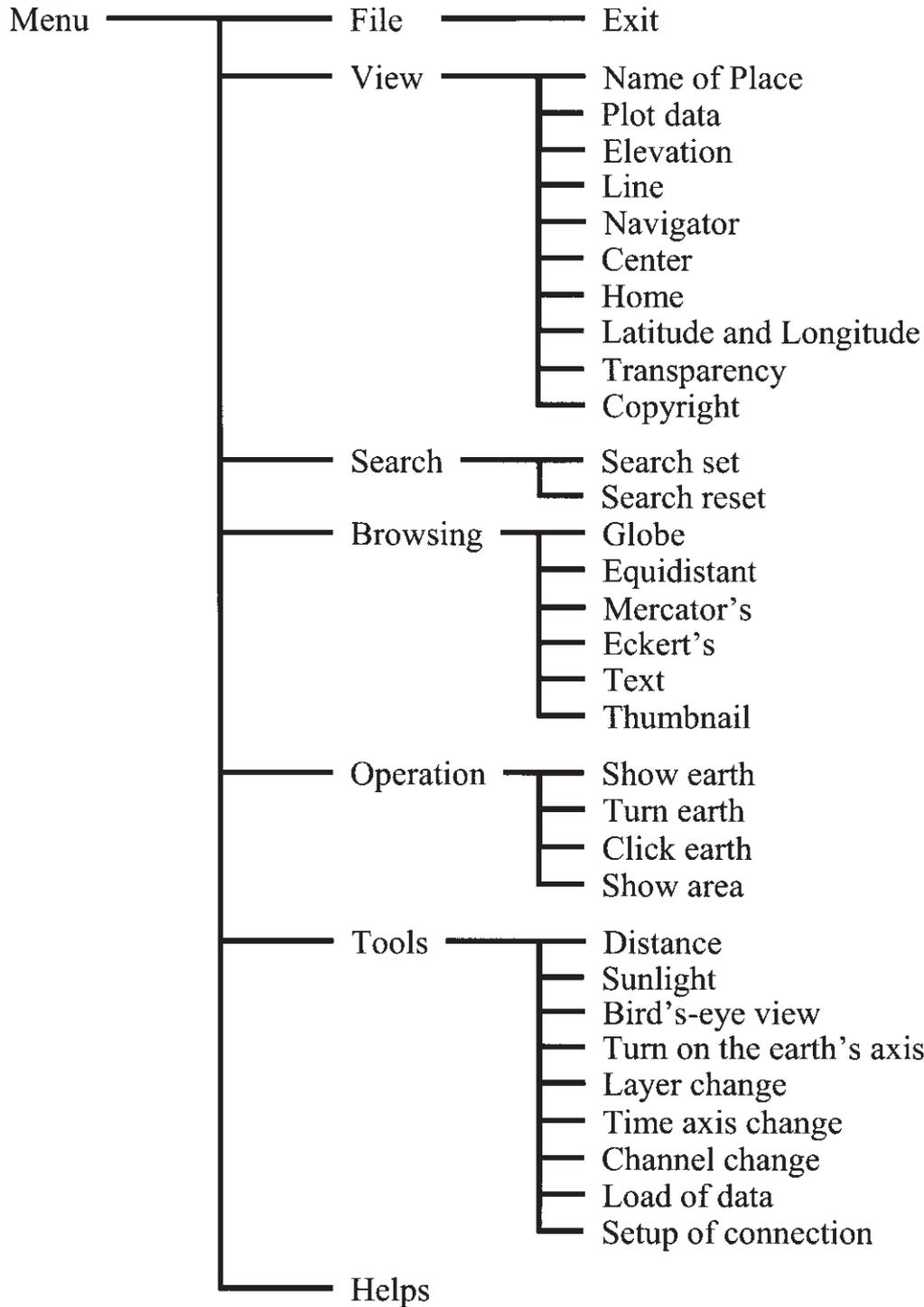


Figure 3 Menu of developed database system

ベースマップサーバは背景に表示する画像と標高データを管理している。背景画像を表示するためには、ブラウジングウィンドウの中央の緯度経度と視点高度情報をカタログサーバに転送する。カタログサーバでは、位置情報に対応する画像ファイルを決定して、画像ファイルの情報をベースマップサーバに転送する。ベースマップサーバは、転送されてきた画像ファイルの情報をもとに表示する画像ファイルをカタログサーバに転送をする。カタログサーバ

は、ブラウジングウィンドウに貼り付けるために、転送されてきた画像ファイルとカタログサーバで管理している画像ファイルの位置情報をクライアントシステムへ転送する。ジオデータサーバは空間データを管理している。

本システムは、低コストで開発をするために、オープンソースのソフトウェアを導入した。サーバのOSはRed-HatLinux、データベースはPostgreSQL、WebサーバにはApache、アプリケーションサーバはプラグインとして

JSP (Java Server Pages) を処理するために Tomcat を導入した。

次に、使用した PC の仕様について述べる。サーバは Pentium III 1GHz, メモリ 1GB, HDD 20GB のマシンである。クライアントは、Pentium II 500MHz, メモリ 768MB, HDD 20GB のマシンである。クライアントのマシンには、nVidia 社製 GeForce2 Ultra 64MB の LSI チップが搭載されたビデオカードを追加している。PC ベースのシステムでは、3次元表示をする時に、3D ライブラリを使用する必要がある。Windows では、Direct3D, OpenGL などのライブラリが存在する。本研究のクライアントシステムでは、描画速度や他のプラットフォームへの移植性を考慮して、OpenGL 1.2 による実装を採用した。マウス、キーボードと異なるインターフェースとしてゲームパッドタイプのコントローラで操作できるように実装した。

2.3 各システムの機能とその特徴

本研究で開発したデータベースシステムの機能は、ジオデータ・ベースマップ登録システムとジオデータ検索システムと表示システムである。以下にそれぞれのシステムの機能と特徴について説明をする。

ジオデータ・ベースマップ登録システムの機能と特徴

ジオデータ・ベースマップ登録システムでは、ベースマップ登録とジオデータ登録とジオデータ削除機能から構成されている (Figure 4(a))。ベースマップ登録機能は、画像データと標高データをベースマップとして、一件毎または一括に登録することができる。画像を登録する際には、ファイル名と緯度経度による範囲指定と登録する画像の解像度を指定する。画像のファイル形式をシステムが自動的に認識して、ベースマップサーバに画像を、またカタログサーバに画像の位置情報を自動的に登録する (Figure 4(b))。ジオデータ登録機能は、ジオデータを一件毎または一括に登録することができる (Figure 4(c))。ジオデータ登録機能は、GMS 画像のような、ある一定の時間間隔

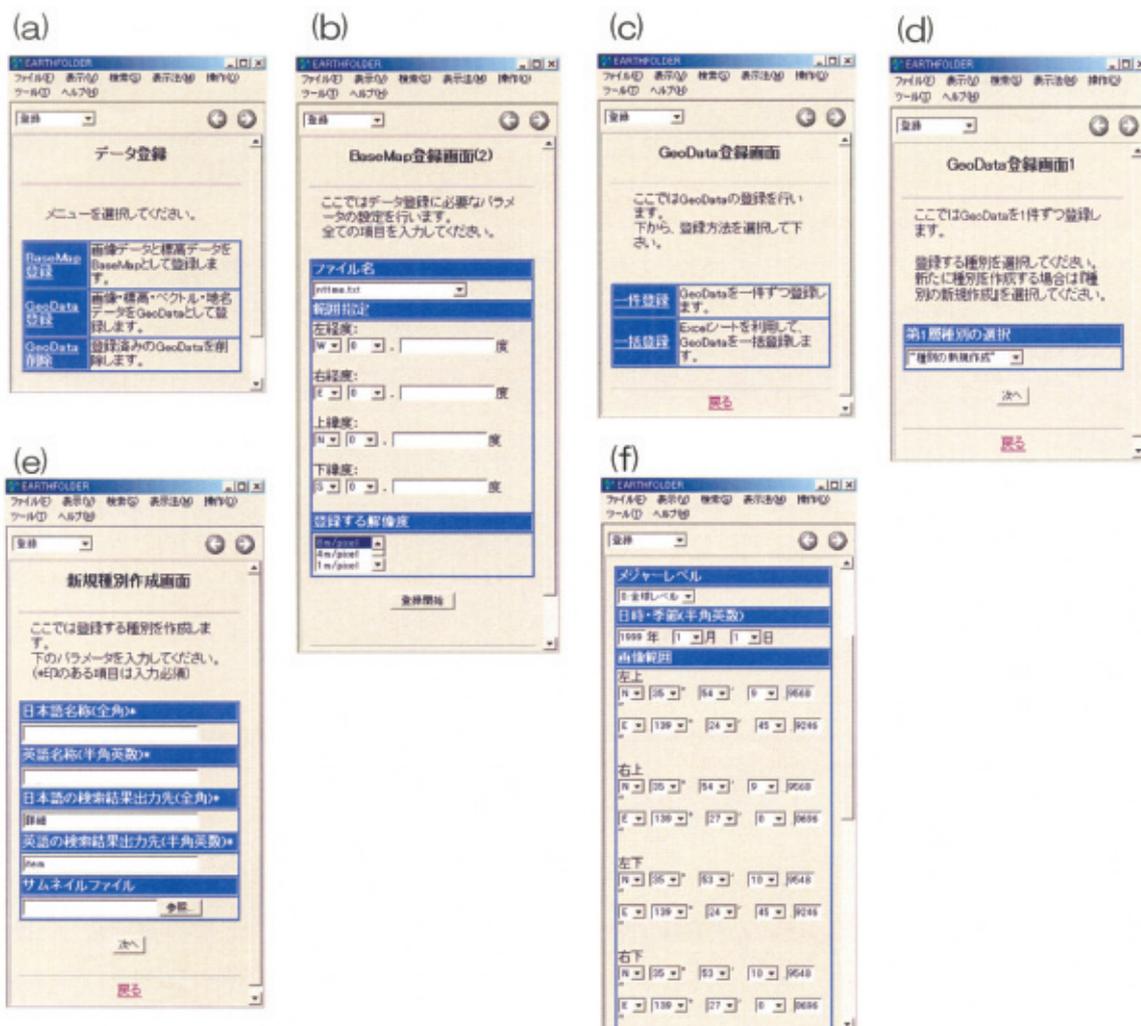


Figure 4 Loading system of BaseMap and GeoData (a) Main menu of loading system. (b) Loading menu of BaseMap. (c) Loading menu of GeoData. (d) Loading menu of GeoData by pull-down menu. (e) Menu for newly loading GoeData. (f) Loading menu of GeoData.

毎に同じエリアを撮影された画像や高分解衛星画像のように撮影間隔も撮影エリアもバラバラな画像を効率的に登録できることが必要である。同じ種類の空間データを登録することを考慮して、プルダウンによる登録方法を実装した (Figure 4(d), (e))。ファイル名と画像の範囲を指定することのみで登録することができるようになっている (Figure 4(f))。

ジオデータ検索システムの機能と特徴

現在、地球環境データ関連のシステムでは、空間や時間などの単一の条件でしか検索することができない。データ種類や空間解像度や時間が多岐にわたる場合には、これらを組み合わせた検索方法が有効であると考えられる。生駒ほか (2000) ではデータの種類や位置や時間を組み合わせた検索が可能であるが、位置情報による検索方法で世界規模の地図しか用意されていないため局所的な空間を設定することが困難である。本システムでは、生駒ほか (2000) と同様にデータの種類や位置や時間を組み合わせた検索インターフェースを実装し、ブラウジングウィンドウからも位置情報の抽出ができるようにした。実際の地球上を飛び回るような感覚で、地球全域から都市域までの様々な広さの範囲について、検索位置を設定することができるようになっている。

データ種類による検索では、システムウィンドウで検索を選択すると格納されているデータが表示される (Figure 5(a))。データの検索に慣れていないユーザにも簡易にデータの検索ができるように考慮し、格納されているデータ種類のみではなく、データ種類に対応する時間情報 (年月日季節など) を表示することができるようになっている。

時間情報による検索に関しては、2つの手法を提案している。第1の手法は、プルダウン方式により数値を指定することで検索開始と終了の年月日時分秒まで設定する方法である (Figure 5(b))。事前にデータ種類による検索ウィンドウでデータ種類を決定しておくことにより、データ種類に対応した年月日時分秒を設定できるようになっている。つまり、年しかない空間データに月日時分秒を入力しなくても良いようになっている。空間データには、季節により合成した画像があることから、季節による検索方法も導入した。第2の手法は、時間軸として表示されたスケールバーにより設定する方法である (Figure 5(b))。

位置情報による検索に関しては、2つの方法を提案している。第1の方法は左上と右下座標をプルダウン方式により設定する方法である (Figure 5(c))。南北緯、東西経の区別を選択して検索を行なう。あらかじめ検索対象範囲が明確にわかっている場合に有効である。第2の方法はクリックマップによる設定である (Figure 5(c))。ブラウジングウィンドウに表示されている画像上で検索領域を設定することができることから、都市レベルなどの局所的な位置の設定に有効である。本システムでは、緯度経度が

0.01秒までの範囲を設定できることから実空間で0.09平方メートルよりも広い範囲の設定をすることが可能である。プルダウン方式による方法とクリックマップによる方法を連動させることにより、クリックマップでおおよその範囲を決定してから詳細な範囲をプルダウン方式で設定できるようにした。

表示システムの機能と特徴

表示システムの機能は、クライアントシステムのブラウジングウィンドウでベースマップをシームレスに表示することとジオデータ検索システムで設定された検索結果を表示することである。

表示システムでは、シームレスにベースマップを表示するために、PCに搭載されるグラフィックカードの性能を考慮することが必要である。衛星画像や航空写真などのリモートセンシング画像の画素数は、一般に縦数千×横数千画素である。ベースマップサーバでは、リモートセンシング画像をPCでストレス無く扱えるテクスチャサイズに分割して管理している。ブラウジングウィンドウで高解像度の画像を一度に表示させると、表示が終わるまでに時間がかかることから、複数の分割された画像を個別にフェードイン・フェードアウト効果を利用し、表示できるようにした。この方法により、全体の表示パフォーマンスを向上させることが期待できる。表示パフォーマンスを向上させるために、ブラウジングウィンドウをスクロールさせている時はベースマップを新規に表示させないようにして、ベースマップのスクロールを停止させると画面中央から外側へとベースマップを表示させるようにカタログサーバへ画面の位置情報を転送するようにした。表示システムでは、標高データからワイヤーフレームを形成して、ベースマップと組み合わせて表示することにより、3次元表示をすることができるようになっている。本システムでは、システムウィンドウのメニューにより、任意の時に3次元表示と非表示を切り替えることができる。

表示システムでは、ジオデータ検索システムの各検索ウィンドウで指定された条件により検索を実行して検索結果を表示する。本システムではテキストとマークによる表示 (Figure 6(a)) とサムネイルによる表示方法 (Figure 6(b)) を採用した。それぞれの表示方法は任意の時に変更することが可能である。検索結果は Figure 2 の右側のブラウジングウィンドウに貼り付けて表示することができる (Figure 6(c))。全球画像でなくても緯度経度情報をもとに地球上のその位置に画像 (Figure 6(d)) や画像の上にポイントデータを貼り付けることができる (Figure 6(e))。ポイントデータをダブルクリックすることにより、詳細なデータを表示できるようになっている。ブラウジングウィンドウで表示された検索結果は、レイヤー情報として管理していることから、表示順序を任意の時に変更したり、近接する複数枚の画像を同時に表示することができる。



Figure 5 Retrieval system (a) Contents. (b) Time. (c) Area.

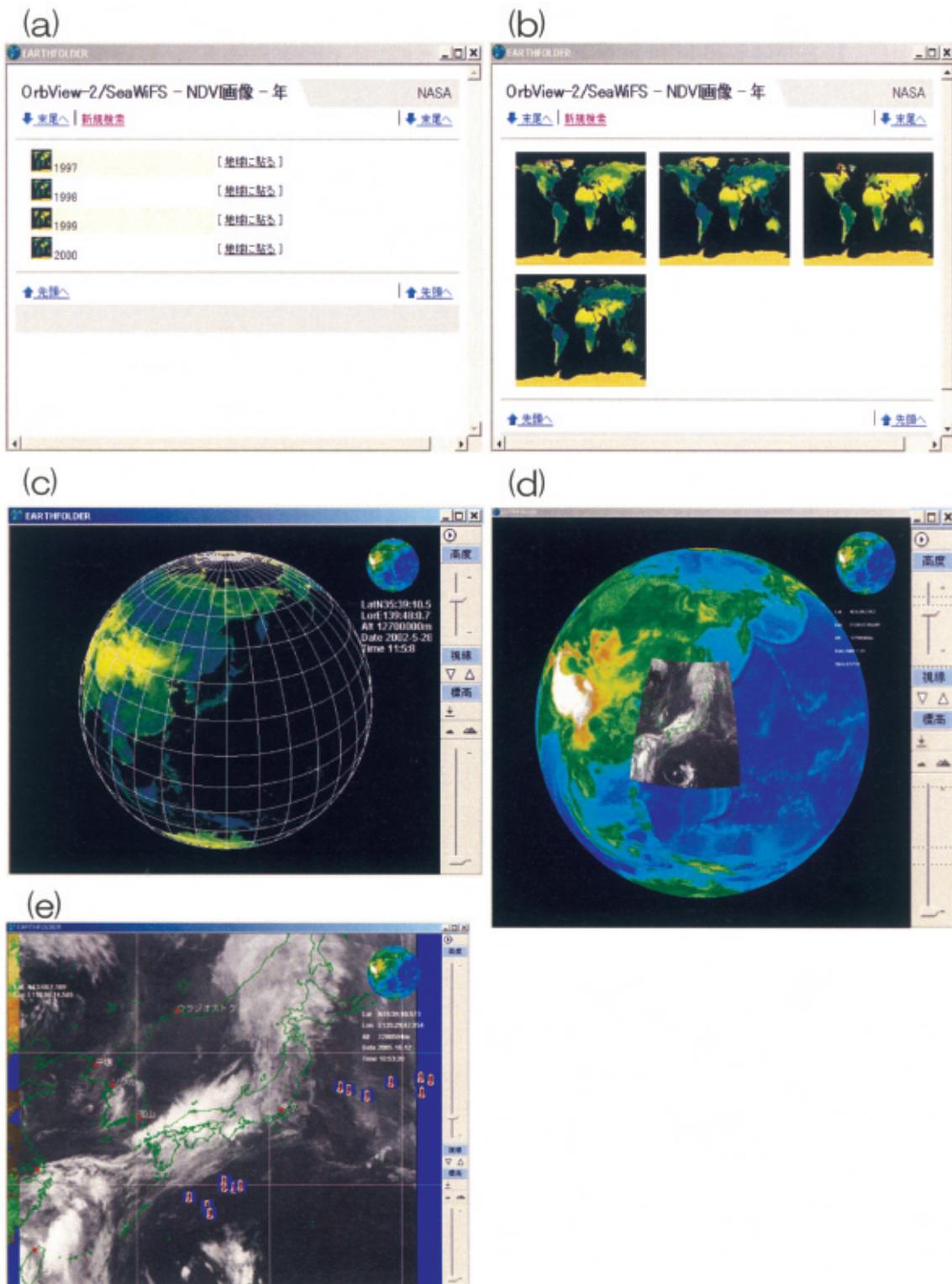


Figure 6 Display of retrieval results (a) Texts and marks. (b) Thumbnails. (c) Global image. (d) Partial image. (e) Point data and satellite image (GMS-5). Marks of a thermometer show observation points.

3. 評価及びシステムの改善策

本システムの客観的な評価をしてもらうために、2002年12月から2003年3月31日までインターネットで公開をして、ユーザへのメールによるアンケートを実施した。インターネットでホームページからクライアントシステムをダウンロードするとき、メールアドレスを登録してもらうようにした。その結果、154名の登録があり、その内訳は、日本国内から66名（ドメイン名: jp）、アメリカ教育機関から24名（ドメイン名: edu）、アメリカ政府系組織から17名（ドメイン名: org）、アメリカ商業機関から12名（ドメイン名: com）、その他が35名であった。

登録されたメールアドレスへ日本語と英語のアンケート用紙を添付して送信をした。システムに対する意見収集を目的としたことから、ユーザ名や所属を記入してもらうことをしなかったが、日本語で記入してアンケートを返信してきた人が19名、英語が12名で、合計31名からアンケートの結果を収集することができた。アンケートの項目は、表示システム、検索システム、システムの操作性について気づいたことや不満なことについて、自由に記述をしてもらうようにした。アンケートの結果からユーザが不満に思っていたことは、ベースマップの表示とジオデータの表示についてであった。以下にそれぞれの問題点と改善策とシステムの優位性について報告をする。

ベースマップ表示の問題点と改善策

従来のこの種の地理情報システムでは、背景画像を表示する方法として、画像表示の要求によって、キャッシュに蓄えておく画像の枚数を超えた場合、はじめに表示した画像からキャッシュを消去することにより、表示パフォーマンスを一定に保つ方法が用いられてきた。しかし、本システムに従来の方法を導入したが、水平方向や垂直方向へ往復して表示させていくとブラウジングウィンドウの中心付近に表示されている画像が消去されるということがわかったので、これから表示しようとしている画像の位置情報と表示されている画像の位置情報を比較して、画像と画像の位置情報をキャッシュから消去するようにした。

ユーザは、ブラウジングウィンドウで上空から地表面方向へ移動する時に表示されたベースマップが拡大されていき、レベルが切り替った瞬間に、詳細な解像度の画像が表示されることによる視覚の違和感を覚えていることがわかったので、レベル間の解像度の違いをなくすために多階層化を実施した。4段階のマスターレベルと9段階のサブレベルを設定することにより、レベル間の解像度の差が最大で100倍（50m 解像度の画像から 0.5m 解像度の画像に切り替る）生じていたが、多階層化処理により、最大で9倍（36000m 解像度の画像から 4000m 解像度の画像に切り替る）に縮小することができた。

ジオデータ表示の問題点と改善策

数メガバイトから数100メガバイトの衛星画像をブラウジングウィンドウに表示しようとする、検索決定後から表示完了までに数十秒から数分かかることがわかったので、CAD等で用いられる LOD (Levels Of Detail) を用いることで表示にかかる時間を数秒に短縮することができるようになった。

システムの優位性

本システムでは、ブラウジングウィンドウ内にある地球をユーザが回しながら閲覧可能な「地球を回す」というインターフェースと自分が空を飛び回りながら検索範囲の設定や検索した結果を閲覧可能な「自分が動く」というインターフェースを実装した。今までの空間データの管理システムでは、Figure 6(a) や Figure 6(b) のような表示の仕方しかできないためにユーザにとって実空間と検索結果のデータとの対応を理解することが困難であった。特に高分解能衛星画像や航空写真は、局所的な地域を撮影した画像であるため、画像のみから場所を特定することが難しい、検索結果を地球上に貼るという機能がユーザには大変好評であった。

今まで、衛星画像と海洋の観測データの検索システムが別々だったために、衛星画像が撮影された時の観測データを検索することが困難であった。衛星画像と海洋の観測データを同じシステムで検索できるようになったので、観測地点が雲に覆われているのかどうかを簡単に確認でき、衛星画像の値と観測データの比較に有用であるという評価を得た。

今後さらにデータ種類やデータ量が増加すると予想される。それらの効率的な検索に対応可能なデータベースや、よりユーザビリティの高いインターフェースの開発に地球環境の研究者のニーズを取り込み、システムを構築することが必要である。

謝 辞

本研究の一部は、海洋科学技術センター（現 独立行政法人海洋研究開発機構）国際海洋環境情報センター パーチャルアースシステムのために開発され、2002年4月から運用をされています。開発に当たり適切なアドバイスをいただきました海洋科学技術センター 情報管理室 元室長 土屋利雄 博士と情報管理室の皆様へ感謝をいたします。表示システムに関して、御意見御指導を賜りました東京大学生産技術研究所 教授 喜連川 優 博士 東京大学空間情報科学研究センター 助手 生駒栄司 博士に感謝をいたします。最後に、本報告を教育的かつ良心的に査読していただいた諸先生方に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 生駒栄司・沖 大幹・喜連川 優 (2000): 内容・空間・時間に基づいた地球環境データ検索インターフェースシステムの構築, 電子情報通信学会技術研究報告, **100**(31), 121-128.
- 福井弘道・望月義晴・竹島喜芳 (1998): Web-GIS を用いた仮想地球空間 (Digital Earth) の構築とその利用, 地理情報システム学会講演論文集, **7**, 217-222.
- Crockett, T.W. (1998): Digital Earth: A New Framework for Geo-referenced Data, ICASE Research Quarterly, **7** (4), 3-8.
- Gore, A. (1998): The digital earth: understanding our planet in the 21st century, <<http://www.digitalearth.gov/VP19980131.html>>.

要 旨

近年, 世界中で様々な環境データが観測され, インターネットで公開されてきている。しかし, 研究者は, データの所在が分散していることや様々なフォーマットが存在していることにより, それらのデータを有効に利用できていない。これらのデータを効果的に利用するために必要なデジタルライブラリの開発が望まれている。本研究の目的は, 様々な地球環境データを登録, 管理, 検索, 表示するパーソナルコンピュータベースのシステムを開発することである。本システムは, クライアント・サーバシステムで構成され, 衛星画像などの面のデータと気象や海洋観測などの点のデータを管理することができる。本論文では, 各システムの機能と特徴について報告をしている。本システム開発後に, 四ヶ月間にわたりインターネットで一般公開を実施して, 一般公開終了後にユーザにアンケートを実施した。アンケートの結果からベースマップの表示とジオデータの表示とシステムの操作性について問題があることがわかった。指摘されたシステムの問題点について, 検討と改修を実施した。