



情報 30

学位請求論文

地球環境デジタルライブラリの構築手法に関する研究

指導教官 喜連川 優 教授

東京大学大学院工学系研究科
電子情報工学専攻

77111 生駒 栄司

目次

内容梗概	1
1 序論	5
1.1 はじめに	5
1.2 論文の構成	7
2 地球環境デジタルライブラリの現状	8
2.1 地球環境データの特徴	8
2.2 現在公開されている地球環境デジタルライブラリ	10
2.3 現状システムにおける課題	15
3 デジタルライブラリへのデータ導入ツールの開発	17
3.1 データ導入の現状	17
3.2 地球環境データのローディング手法の検討	18
3.2.1 認識手順	18
3.2.2 処理手法	19
3.3 データローディング実験	29
3.4 結果検討	32
4 内容・時間・空間に関するアクセスを可能とする検索・結果表示インターフェースの実装	34
4.1 設計指針	34

4.2	内容, 空間, 時間の 3 方向からの検索	36
4.2.1	内容情報に基づいた検索	40
4.2.2	空間情報に基づいた検索	42
4.2.3	時間情報に基づいた検索	42
4.3	スクラッチパッドウィンドウの利用	46
4.4	柔軟な検索結果提示システムの開発	46
4.4.1	検索結果の一覧	48
4.4.2	詳細データの表示	48
5	可視化手法を用いた地球環境データ視覚化ツールの高度化に関する検討	54
5.1	データの 3 次元視覚化	55
5.2	時系列データの視覚化	57
5.3	大容量データの視覚化	60
5.4	大規模な可視化設備を用いた手法の検討	62
6	アプリケーションとの連携: SiB2 ワークベンチの開発	67
6.1	陸面植生モデル SiB2	68
6.2	SiB2 ワークベンチの設計指針	69
6.3	Web 上でのワークベンチ実装	71
6.3.1	パラメータ設定部	71
6.3.2	SiB2 実行部	81
6.4	地球環境デジタルライブラリとの連携	88
6.5	本ワークベンチの実装環境	92
7	システム構成と利用実績	95
7.1	システム構成	95
7.2	利用実績	96
8	結論	100
8.1	本研究で提案した手法および実装について	100

8.2	今後の課題	101
8.3	おわりに	102
A	SiB2 感度分析実験	105
A.1	前提条件	105
A.2	パラメータの感度分析	106
A.3	パラメータ調整	109
A.4	感度分析実験のまとめ	112

表目次

2.1	各システムの持つ検索機能	10
3.1	地球環境データの持つ属性の表記例	24
3.2	実験対象データ	29
3.3	フォーマット認識実験結果	32
3.4	属性抽出実験結果	33
4.1	内容情報の例	40
5.1	VR ドームの諸源	64
6.1	SiB2 入力データ	70
6.2	SiB2 出力データ	70
6.3	初期パラメータ	74
6.4	SiB2 入力データ	75
6.5	SiB2 on Web におけるユーザが変更可能な植生パラメータ	76
6.6	土壌およびその他のパラメータ	77
6.7	植生および土壌関連の既定パラメータセット	78
6.8	相関関係を持つパラメータ	79
6.9	あらかじめ登録されている SiB2 のバージョン	83
6.10	あらかじめ登録されている結果データセット	84
6.11	出力データの分類	86
6.12	出力可能なグラフ形式	88

6.13	従来システムと本ワークベンチの操作性に関する比較(1)	89
6.14	従来システムと本ワークベンチの操作性に関する比較(2)	90
7.1	用いたハードウェア・ソフトウェア	95
7.2	各データの持つ属性のRDBMSへの登録例	97
A.1	入力パラメータの熱フラックス成分への影響(10月上旬における日平均値(W/m^2))	107
A.2	パラメータ調整後の熱フラックス算定値(10月上旬における日平均値(W/m^2))	112

目次

2.1	米国の地球環境データベース関連ページ	11
2.2	日本で運用されているサイト	12
2.3	NASA Visualization of Remote Sensing Data Homepage	14
3.1	データローディングの流れ	19
3.2	バイトオーダーの推定	20
3.3	地球環境データを含むファイル構造	21
3.4	1データの構造	22
3.5	連続データを含むファイル構造	23
3.6	特徴的な輪郭形状を持つ図法	27
3.7	45度単位での位置探索	28
3.8	各データの時間解像度分布	30
3.9	各データの空間解像度分布	30
3.10	フォーマット認識率の推移	31
4.1	従来の検索手法	35
4.2	本研究で提案する検索手法	35
4.3	3情報に基づいた検索ページ	37
4.4	ステータスウィンドウ	38
4.5	検索の流れ	39
4.6	内容情報に基づいた検索	41
4.7	クリックابلマップによる検索	43

4.8	緯度経度による検索	44
4.9	数値入力による時間指定検索	44
4.10	時間条件 87/3/16 ~ 87/3/22 を GUI で指定する例	45
4.11	スクラッチパッドウィンドウ	47
4.12	結果出力ウィンドウ	49
4.13	時系列に整列した配置	50
4.14	内容に応じ分散した配置	51
4.15	詳細表示ウィンドウ	52
4.16	詳細表示ウィンドウで提供されるデータ	53
5.1	3D マップ	55
5.2	GMS データの 3 次元可視化	56
5.3	複数データの重ね合わせた表示	58
5.4	2 つの VRML 可視化データを並べた表示	59
5.5	空間 LOD 制御を用いたメディアスケーリングの例	61
5.6	時間 LOD 制御手法	63
5.7	VR ドーム	63
5.8	3 枚のスクリーンを用いたインターフェース配置	65
5.9	実装例	66
5.10	複数の VR 空間を使ったインターフェース	66
6.1	SiB2 on Web トップページ	72
6.2	操作画面	73
6.3	パラメータ入力ウィンドウ	79
6.4	パラメータ相関図	80
6.5	パラメータ設定画面のパーソナライズ	82
6.6	結果出力設定画面	85
6.7	グラフ描画面	86
6.8	各形式でのグラフ表示	87

6.9	SiB2 ワークベンチと地球環境デジタルライブラリの連携	91
6.10	システム構成図	93
7.1	アクセス数の月別推移 (1998.Dec ~ 2000.Jul)	98
7.2	トップドメイン別アクセス数割合	98
7.3	データ種別のアクセス数	99
7.4	SiB2 on Web における SiB2 実行回数の推移	99
A.1	SiB2 による熱フラックス算定値と観測値との比較	110

内容梗概

昨今の地球環境への関心の高まりとともに、リモートセンシングデータを始めとするさまざまな地球環境データへの需要が高まっている。地球環境データは非常に多様なフォーマットを持ち、現状では多くの研究者はその膨大な生データに圧倒されている状況と言っても過言ではない。米国ゴア副大統領も指摘しているが、各データの取り扱いの煩わしさ故に地球環境に関する多くのデータは未利用のまま眠っているとさえ言われている。

このような背景に加え、インターネットの普及とともに地球環境データを対象としたデジタルライブラリが数多く公開されるようになった。その多くは一般に公開されており、インターネットを通して自由に利用が可能であるが、現状では、(1) 日本における地球環境情報ポータルへの欠如。(2) 操作性の不十分なユーザインターフェース。(3) 地球環境情報に対するデータローディングツールの欠如。(4) アプリケーション統合化機能の欠如。などへの問題が存在する。

本研究ではこれらの点を考慮し、(1) 多様な地球環境データに対応したローディングツールの開発。(2) 実用的なデータ検索ユーザインターフェースの実装。(3) 効果的なデータ視覚化ツールの開発。(4) 外部アプリケーションとの柔軟な連携。の4点について新しい手法の提案を行った。すなわち、十分に活用されるポータルとして植生、土壌、気温など幅広い分野の約1000種類、約30000データを対象とした地球環境デジタルライブラリの構築と運用を行い、その有効性を明らかにした。

本研究では、第1に、多様な情報源から収集されるデータをデータベースに導入するため

のデータローディングツールの開発を行った。現在公開されている地球環境デジタルライブラリシステムは、そのデータ収集形態から2つのタイプに分類される。1つは自組織で取得したデータをそのまま公開するタイプであり、この場合は各データ形式は既知であるため、特にデータローディングツールは必要としない。他の1つは他組織で収集されたデータを取得し公開するタイプであるが、地球環境データを対象としたデータローディングツールが一般に存在しないため、人手で各データ形式ごとに個別に対応を行っているのが現状である。そのため、収集するデータの種類の数には限界があり、幅広い種類のデータに対応したシステムは存在しない。そこで本研究では、取得データに対し海岸線マッチングや出現頻度分析など9段階のデータ処理を行うことにより、ファイルの構造や時空間情報、欠損表記法などの属性情報の抽出とデータの自動認識を行う手法を提案した。本手法を前述の約30000ファイルへ適用した結果、約80%の認識率でデータ導入の自動化処理が可能となった。

第2に、データ検索インターフェースの検討を行った。現在、一般に用いられる検索キーは、データの内容情報・空間情報・時間情報の3つに大きく分類できる。公開されているWebサイトを調査すると、これらいずれか1つの属性に対してのみの検索条件指定しか可能でない場合が殆どであり、地球環境データを用いた研究を本格的に行う利用者には十分とは言えない。例えば「アフリカ地域の夏の降水量と植生分布」に示されるような、各条件を組み合わせた結果が求められる場合には、各条件を個別に指定して検索を行い、その結果を手作業で集計する必要がある。本研究では、内容、空間、時間に関する条件設定を自在に切り替えながら検索を行うことが可能なインターフェースを提案を行った。本手法では各条件が指定されると同時にその条件に従ったSQLを生成され、RDBMS上で検索が行われる。その結果は直ちにサムネイル画像として一覧表示される。従って、本手法のインターフェースを用いることで、従来の手法では不可能であった各条件による検索結果を確認しながら更に検索を行うことが可能となり、より柔軟な条件に設定が実現された。また、後述の視覚化インターフェースと組み合わせることにより、属性条件指定だけでは特定が困難な場合においても、各データを閲覧しながらの検索を行うことが可能となった。

第3に、検索によって出力されたデータの視覚化に関し、幾つか効果的な手法の検討を行った。現在公開されている可視化インターフェースの多くは2次元画像の表示に限られている。容易に実現可能である反面、極付近の確認が困難であるなど問題点も多い。そこで本研究では、PCやワークステーションのディスプレイ上に仮想的に3次元空間を生成・表示する手法として近年幅広く普及しているVRMLを用いた地球環境データの可視化手法を提案した。本手法を用いることにより、対象オブジェクトに対する視点や角度をユーザ側で任意に操作できるため、例えば北極から赤道までの上空を移動しながらの閲覧などが容易に可能となった。また、上述の検索結果の出力インターフェースとして、候補データを各データの内容情報ごとにクラスタ化しVRML仮想空間中に配置する手法を提案した。本手法を実装することにより、ユーザは仮想空間中を自由にウォークスルーすることにより必要とするデータを探ることが可能となった。VRML空間中で各データを示すオブジェクトに当該データの詳細情報を含むページをリンク先として設定を行うことにより、関心のあるデータをクリックするだけで原データのダウンロードや後述の3次元時系列可視化などが容易に実現される。さらに、地球環境情報やリモートセンシングデータの多くは時系列で取得されているため、この情報を考慮した視覚化手法が有用である。本研究では、動的变化の把握には時系列アニメーションの利用が有効であると考え、一般的な2次元画像のアニメーション表示に加え、上述のVRMLで表記された各オブジェクトの時系列アニメーションの機能も導入している。さらに、PCやワークステーションの機能的制約にとらわれない大規模なVR視覚化システムを対象とした可視化手法の検討を行い、地球環境データベースに適した従来にない新しい視覚化ツールを提案し、本研究所で所有するVRドーム上に実装を行った。

第4に、本システムは外部アプリケーションとの柔軟な連携を考慮して構築を行った。一般的に、これら地球環境データはGCM(Global Climate Model)などに代表される将来予測を行うアプリケーションの初期データとして利用される場合が多い。例えば、水文分野で非常に幅広く用いられ、現在最も信頼性が高いと言われるSiB2(Simple Biosphere Model 2)の場合、植生関連や土壌関連など約80種類の初期値と12種類の時系列値が入力データとして

必要とされる。しかし、現在利用可能なデジタルライブラリでは、データの表示やダウンロードの機能しか提供されていないため、ユーザは必要なデータを手作業で取得し整形を行い利用しているのが現状である。そこで本研究では、データベースから容易にデータの取得を行い、アプリケーションの設定から結果表示までを統一的なインターフェースで実行可能なワークベンチを提案し、Web 上に実装を行い地球環境工学分野の研究者を対象として運用を行った。本ワークベンチ上ではデータベースから取得された多くのパラメータを GUI で容易にチューニングが可能であり、各ユーザの利用履歴から動的に構成が変更されるパーソナリゼーション機能や、初心者利用を考慮したヘルプ機能や入力値の妥当性の検証および相関係数の自動計算機能など、多くのユーザ支援機能を実装した。また、地球環境工学分野の研究者と協力し、本ワークベンチを用いた LSM 上の熱フラックス算定値に対する入力パラメータ感度分析実験を行い、実研究における有用性を実証した。

本研究では以上のような各要素を取り入れたシステムの構築を行い、1998 年 10 月から一般に公開運用を行ってきた。2000 年 7 月現在で毎月 8000 件以上のアクセスを記録しており、地球環境工学分野の研究者にその実用性が高く評価されている。また、アプリケーションと連携したワークベンチにおいては、海外を含めた水文関係の研究者が実際の研究に利用し成果を出しつつある。これらのシステムはユーザからの多くのフィードバックを元に更に改良を続けている。

第 1 章

序論

1.1 はじめに

近年, 社会は地球及び地球全体の活動に関する非常に膨大な量のデジタル情報の生成および蓄積を行っており, 地球環境への関心の高まりとともにさまざまな地球環境データへの需要も高まっている. さらに計算機やストレージデバイスの低価格化, リモートセンシング技術の進歩によるデータ取得方法の多様化などによってさらにそのデータ量は増加し続けている.

しかし, それらのデータ種類・形式は多岐に渡っており, 米国ゴア副大統領も指摘している如く [1], 多くの研究者はその膨大な生データに圧倒されているのが現状である. そのため, 莫大な費用と労力をかけて取得した有益なデータの多くは未利用のまま眠っているとさえ言われている. 例えば, NASA のランドサット計画は地球上の全域をカバーする写真を 2 週間ごとに撮影しており, すでにそのデータは 20 年以上蓄積されてきているが, その必要性にもかかわらず未だに全データを利用するには到底至っていない. その一つの障壁は, 地球環境科学分野の研究者にとってのデータの取り扱いの煩わしさによるところが大きく, 多くの場合, 取得したデータを個別に手作業で処理し利用せざるを得ないのが現状である.

こうした状況に対し, 1998 年 1 月, アメリカ合衆国のゴア副大統領は「デジタルアース構

想 [1] を発表した。デジタルアースとは自然科学, 文化, 歴史などさまざまな分野を包含した, 非常に幅広い地球参照型データを統合するシステムと位置づけられ, NASA を中心とした幅広い機関にその開発が呼びかけられた。

以上のような背景から, 近年これら地球環境データを一元的に管理し, ネットワークを経由して自由に取得・閲覧可能な地球環境デジタルライブラリの研究開発と Web 上での公開が多方面で行われつつある [2][3][4][5][6][7]。また, 昨今のインターネットの普及により, これらのデータの利用者である地球環境工学分野の研究者にとってもその利用環境が整いつつある。

本研究室でも, 1983 年からアメリカの NOAA 衛星, 1995 年からは日本の GMS データの受信を行い, そのデータの蓄積と Gopher, Web を通したデータ配布サービスを提供してきており [11][12], 現在までに地球環境分野の研究者に幅広く利用されてきている。

しかし, 公開されている多くのサイトの調査を行った結果, 現状では地球環境分野の研究者にとって未だ十分実用的に利用可能なシステムが存在していないことが分かった。その原因として, 次の 2 点が考えられる。1 点は実用的に利用可能なデジタルライブラリへのデータローディングツールの欠如に起因する利用可能データ数の不足にあり, 他の 1 点は旧来の ftp や gopher サービスで用いられていた原始的な手法が中心である検索インターフェースの操作性や柔軟性の欠如にある。

そこで本研究では, 地球環境分野の研究者と協力し, 多様なデータが容易かつ柔軟な操作性を持つインターフェースで利用可能な, 実用的な地球環境デジタルライブラリ構築に必要なとされる手法の検討と提案を行い, その成果を実装した地球環境デジタルライブラリの構築と運用を行った。

本研究は有効に利用されず眠っている貴重なデータを容易に利用可能とすることも 1 つの目的であるが, それにも増して地球環境研究者の実際の研究に資することを目的として運用を行った結果, 限られたユーザ層を対象としているにもかかわらず毎月 8000 件以上のアクセスを記録し, その高い実用性を示した。

1.2 論文の構成

本論文は「地球環境デジタルライブラリの構築手法に関する研究」と題し、以下に示す七つの章から構成されている。各章の概要は次の通りである。

第一章は「序論」であり、本研究の背景および目的について概観し、本論文の構成をまとめる。

第二章は「地球環境デジタルライブラリの現状」と題し、一般的な地球環境デジタルライブラリの概要と現在公開されているシステムの特徴、現状の問題点の明確化を行う。

第三章は「デジタルライブラリへの地球環境データ導入ツールの開発」と題し、本研究で提案するデジタルライブラリへのデータローディング手法の特徴と約1100種類の土壌・地表面気候データに対する実験結果を示す。

第四章は「内容・時間・空間に関するアクセスを可能とする検索・結果表示インターフェースの実装」と題し、地球環境データを内容・空間・時間情報に関して3方向から柔軟に検索が可能なユーザインターフェースの開発について述べる。

第五章は「可視化手法を用いた地球環境データ視覚化ツールの高度化に関する検討」と題し、VRMLなど最新の視覚化手法を取り入れた地球環境データの視覚化ツールの開発と、第四章で開発した検索インターフェースへの実装および大規模なVR可視化施設上における実装について述べる。

第六章は「アプリケーションとの連携：SiB2ワークベンチの実装」と題し、実研究における利用が可能なデジタルライブラリとの連携したワークベンチの開発および実装、さらに実研究への適用について述べる。

第七章は「利用実績とシステム構成」と題し、1998年10月から運用を行った本システムの利用実績とシステム構成を示す。

第八章は「結論」であり、本研究において得られた知見を総括し、今後の課題を述べる。

第 2 章

地球環境デジタルライブラリの現状

昨今のインターネットの普及により、多くの研究者が Web の利用環境を容易に手にいれることが可能となるにつれ、Web を用いてこれらのデータを容易に利用可能なシステムの構築が求められるようになりつつある。また、データの閲覧・取得に加え、より現実的な利用法である地球環境シミュレーションモデルとの連携など、直ちに研究の実用に供するシステムへの需要も増加している。さらに、ゴア副大統領によるデジタルアース構想が発表されたことで [1]、現在までに多くの地球環境デジタルライブラリが開発・運用されつつある。

本章では現在運用されているいくつかのサイトを例に、そこで対象としている地球環境データの特徴および各サイトの機能内容を概説し、現状のシステムにおける課題を検討する。

2.1 地球環境データの特徴

地球環境デジタルライブラリが対象とする地球環境データは、一般のデータベースなどで利用される文書データや数値データなどと比較して、以下に示すような特徴的な性質を有している。

- データフォーマットの多様性

リモートセンシングデータを始めとする地球環境データは、データ取得手法の多様化に伴い現在非常に多方面で収集・蓄積が行われている。しかし、そのデータフォーマットの統一的な基準が存在しないため、各組織ごとに独自の様式で管理を行っているのが現状である。そのため、デジタルライブラリの構築に際しては、その各データのローディング作業に膨大な労力が必要とされている。

- 時間属性および空間属性の重要性

多くの場合地球環境データは属性としてその内容属性に加え、データが対象とする位置属性と、取得あるいは算出された時間属性を同時に持つ。さらに時間属性に関しては、ある地域の月毎平均気温データなど、同一地域における継続的な時系列データとして取得されている場合が多い。そのため、検索時には内容・空間・時間の3属性に関する条件設定が可能なインターフェースの設計が望まれる。また、視覚化時には、時間に関する動的変化の把握などが容易に実現可能な手法の検討が重要である。

- 異なる観測データ間の相関性

地球環境データは地球上のある地域における諸現象を数値化したものであり、これらの現象は、例えば同一地域の降水量と気圧の関係のように非常に高い相関性を持つものも多い。また、同一内容を異なった手法によって算出しデータを作成する場合も多く、データ間の差異は重要な要素である。そのため、各データの比較を支援する視覚化手法の検討が必要である。

- 利用形態の広範性

地球環境データの主要な利用方法として、データそのものの閲覧に加え、さまざまな外部アプリケーションの初期データとしての需要も多い。GCM(Global Climate Model)などに代表される将来予測を行うアプリケーションなどでは、幅広い種類の地球環境に関する時系列データが必要とされる場合も多く、利用の実状に柔軟に対応可能な手

システム名 (運用機関)	データ ソース	内容検索	空間検索	時間検索	複合検索	備考
US GeoData (USGS)	自組織	△ (ツリーのみ)	○	×	×	ベクター形式 も公開
USGS GLIS (USGS)	他組織	○	×	×	×	telnet ベースの独自 インターフェース
EOSDIS (NASA-EROS)	自組織 他組織	○	○	△ (10日単位)	×	
GSS(NOAA)	自組織	○	×	○	×	縮小画像のみ
地球環境 DB (国立環境研)	他組織	△ (ツリーのみ)	×	×	×	CD の郵送
衛星データ 検索システム (千葉大)	自組織	△ (衛星名のみ)	×	○	×	

表 2.1: 各システムの持つ検索機能

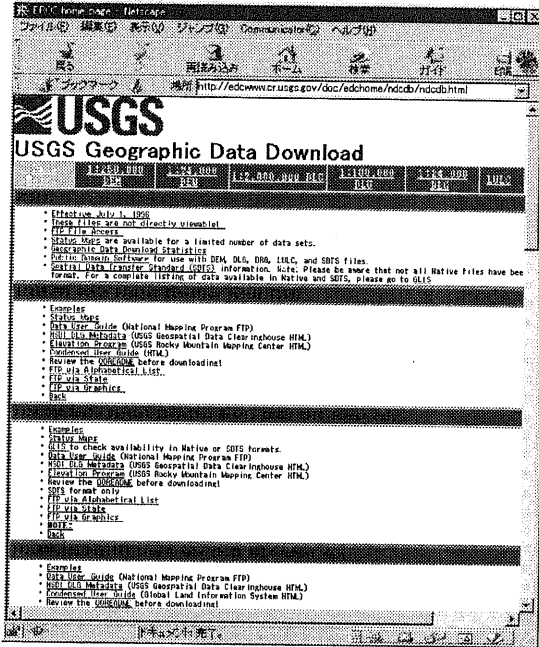
法が必要である。

上述のように地球環境データは、一般のデジタルライブラリが対象とする文書データや数値データと異なった特性を有しているため、これらを考慮した地球環境情報指向の新たな手法が必要とされる。

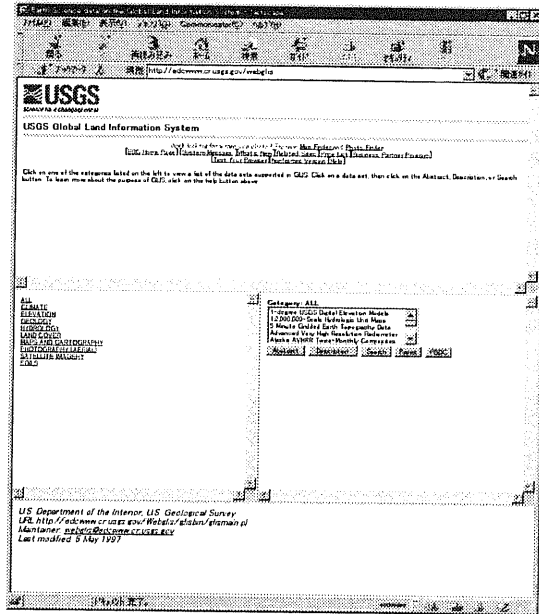
2.2 現在公開されている地球環境デジタルライブラリ

本節では図 2.1 に示す代表的なサイトの特徴の分析を行い、その検索に関する機能一覧を表 2.1 に示す。データソースについては、システムを運用している機関あるいはその協力機関が収集したデータを公開しているタイプは「自組織」と表記し、外部の機関のデータをデータローディングツールなどを用いて取得し公開しているタイプを「他組織」と記述している。

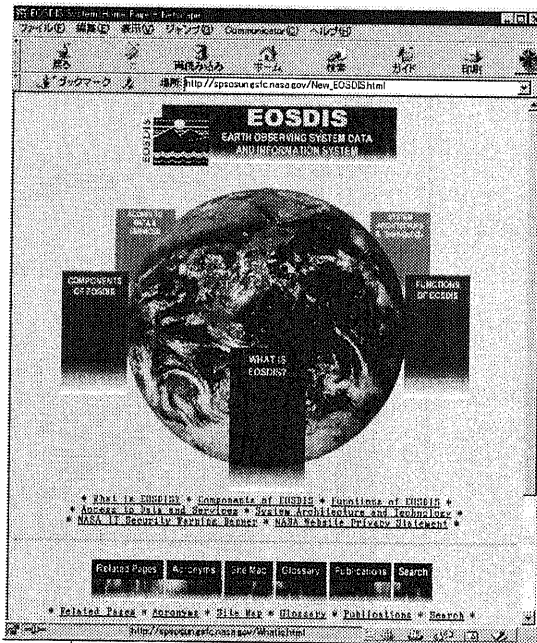
- US GeoData HomePage[5](図 2.1(a))



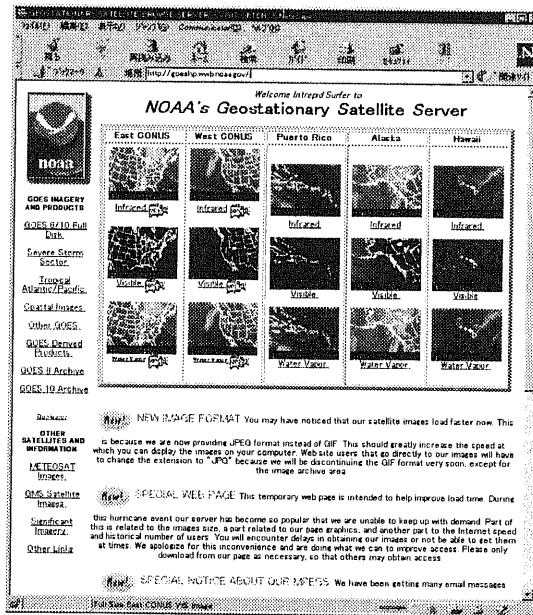
(a) USGS



(b) GLIS

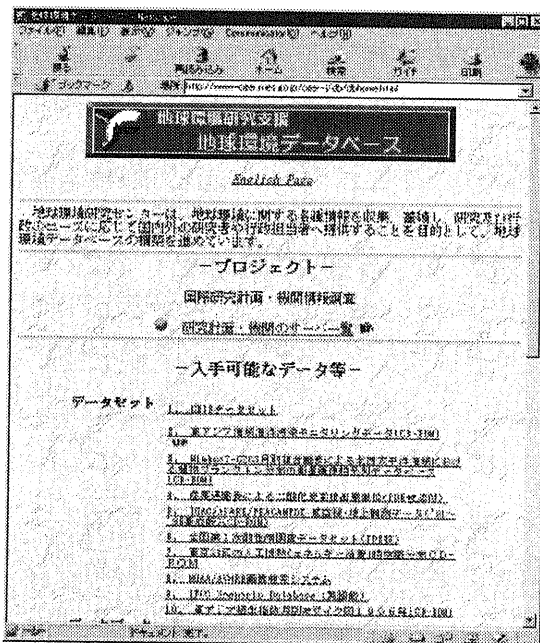


(c) EOSDIS

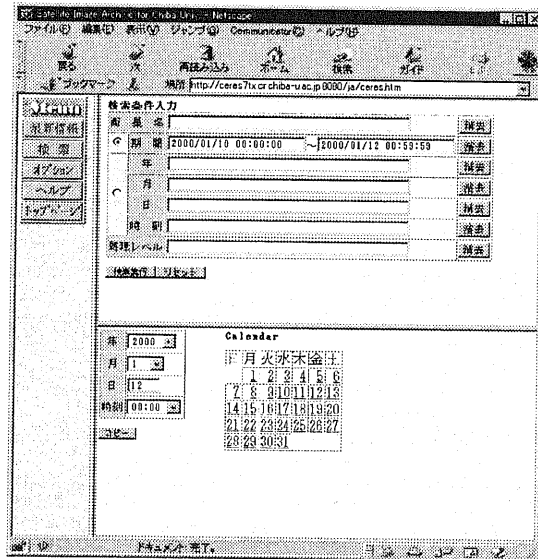


(d) NOAA

図 2.1: 米国の地球環境データベース関連ページ



(a) 国立環境研



(b) 千葉大 CEReS

図 2.2: 日本で運用されているサイト

米国 USGS が公開している US GeoData では、あらかじめ用意されたさまざまな解像度のデジタルマップをベクター形式およびラスター形式で公開しており、ユーザには ftp サービスに準じた形式でのアクセスインターフェースが提供されている。しかし、検索機能は実装されておらず、データ一覧時にアルファベット順や緯度経度順でのソートのみ可能である。

- USGS EDC Global Land Information System (GLIS)[6]

WWW が普及する前から独自ブラウザを開発・配付してデータを公開してきており、蓄積されているデータ種類は非常に広範であり、地理学、地質学、気象学、水文学、土壌学などさまざまな分野の基礎データを網羅している。メニュー形式での選択を行うインターフェースが提供されているが、データ製作元からのデータをそのまま受け入れているために、各データごとにフォーマットが統一されておらず、利用に当たってはドキュメントを参考にしながらのユーザ側処理が必要とされる。

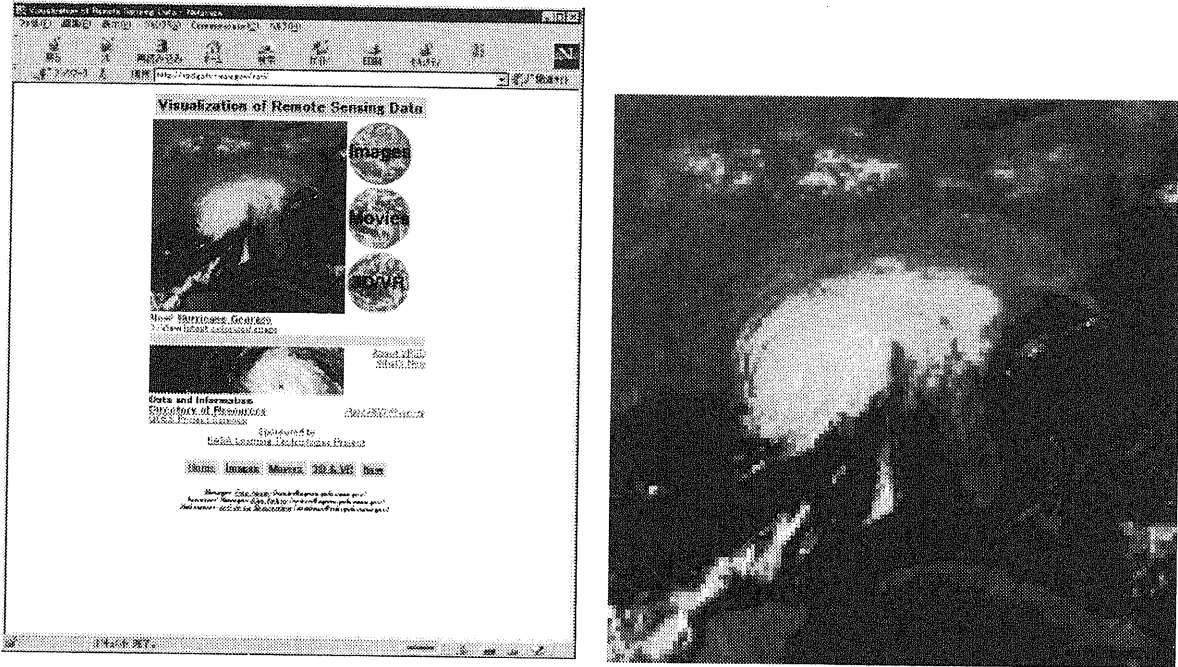
- NASA's Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS)[7]

EROS(Earth Resources Observation System) Data Center が公開している EOSDIS (Earth Observing System Data and Information System) は NOAA,Landsat,SAR など約 10 種の衛星のデータを収集・公開している。このサイトでは、まずデータの種類を選び、関心のある地域の緯度および経度を指定することにより、その領域を含む 10 日単位のデータの一覧が表示される。ユーザはその中から関心のあるファイルのダウンロードが可能であるが、データ種類、位置、時間という固定された手順での指定のみが可能であり、その他の手法は提供されていない。

- NOAA's Geostationary Satellite Server[13]

NOAA(アメリカ海洋大気庁)の運用する Geostationary Satellite Server では、NOAA, GOES, METEOSAT, GMS の最新データをクイックルック画像一覧から選択・表示が可能である。しかし、過去のデータに関しては、データ種類を選択後に各データごとに観測時刻による検索機能のみが提供されている。

- NASA Visualization of Remote Sensing Data[14]



(a) トップページ

(b) ハリケーンの QTVR 画像

図 2.3: NASA Visualization of Remote Sensing Data Homepage

NASA がハリケーンなど特徴的な気象画像を集めて紹介している。一般的なデータベースシステムではなく、子供の教育用プログラムの一貫ということで制作されている。QTVR¹などさまざまな視覚化技術を用いて構成されている (図 2.3)。

- 国立環境研地球環境データベース [15]

環境庁国立環境研究所地球環境研究センターの運営するシステム (図 2.2(a)) で、主に東南アジアや日本地域のデータを配布している。詳細なデータ説明書とともに入手可能であるが、多くは Microsoft Excel 形式データの CD-ROM での郵送による配布である。ネットワーク経由のものは環境研内にある GRID-つくば (国連の地球資源情報データベースの日本側窓口)[16] が配布するもののみであり、利用可能なデータは現在のところ数種類しか実装されていない。

¹Quiet Time VR, Apple 社の開発した VR 記述手法。

- 千葉大学 CEReS 衛星データシステム [17]

千葉大学環境リモートセンシングセンター (CEReS) が運営しているシステム (図 2.2(b)) で、千葉大で受信した GMS および NOAA データを提供している。最新データも逐次導入されるが、一般の利用ではあらかじめ生成された縮小画像の閲覧のみであり、検索項目は衛星名と取得日時の指定が可能である。

- その他の日本のサイト

東北大 [18], 高知大 [19] などでも公開されているが、実験的なものが中心であり、国内で本格的に運用されているものはほとんど存在しないのが現状である。

2.3 現状システムにおける課題

前節でいくつかの代表的なデジタルライブラリの特徴を紹介したが、いずれも地球環境工学分野の研究においては未だ実用的に利用されていないのが現状である。

その直接的な要因として、

- 利用可能なデータ種類数の不足
- 検索時の容易な操作性の欠如
- 効果的なデータ視覚化手法の欠如
- 外部アプリケーションとの連携機能の欠如

の4点が挙げられる。

第1の要因については、多様なデータをデジタルライブラリに導入するためのローディングツールの欠如に起因すると考えられる。これら地球環境データは、GCM(Global Climate Model) などに代表される将来予測を行うアプリケーションの初期値として用いられる場合が多いが、例えば現在水文分野で最も信頼性が高いため幅広く用いられている SiB2(Simple Biosphere Model 2) の場合、植生関連や土壌関連など約 80 種類の地球環境データが必要とされる。しかし、各機関で取得されたデータは固有の異なったフォーマットを持つ事が多く、画一的なデータローディングツールを用いたデータ導入は困難である。そのため、各フォーマッ

トに対応したツールを人手で準備しているのが現状であり、データ種類の拡充には膨大な労力が必要となる。

第2の要因については、現行のシステムでは従来のftpやgopherサービス上で用いられていたディレクトリ形式によるインターフェースや、時間や位置などいずれか1条件に限った検索条件指定、あるいはあらかじめ既定された順序での検索条件追加手法しか提供されていないことによる。研究用途において利用する場合には、複合条件の柔軟な組合せによる検索など、より高度な条件設定を容易な操作性で実現可能であることが求められるため、現状システムは満足のものとは言い難い。

第3の要因については、既存のいくつかのシステムにおいて個別データの画像による表示、原データ圧縮ファイルのダウンロードなどがサービスされているが、データ名称の一覧表示に限られるなど効果的な閲覧・視覚化手法が提供されていない。サンプル的に時系列データをMPEGやQuickTime Movieで表示可能なサイト([14],[19])や、VRMLやQTVRを用いてナビゲーションが可能なところ([14])もあるが、ユーザが関心のあるものを任意の形式で視覚化する手法の提供は行われていない。また、大容量の画像や動画のダウンロード時においても、低速回線への特別な考慮は行われていないため、その機能を十分に利用できる環境下を除くと実用的には利用が困難なケースが多い。

第4の要因については、既存の各システムは個別のデータを単独で取得することを前提に設計されているため、前述のGCMのように多種のデータを必要とする利用形態を考慮していないことに因る。そのため、実研究の分野においては、個別に取得したデータをユーザ側の手作業で編集・集約を行いGCMに導入しているため、ユーザにとって大きな負担となっているのが現状である。

本研究では、以上のような現状システムにおける課題の検討を行い、次章以降に述べる具体的な解決手法の提案とその手法を実装したシステムの構築を行った上で、約1年半に渡りWeb上で一般に公開運用実験を行った。

第 3 章

デジタルライブラリへのデータ導入ツールの開発

本研究では、多様な地球環境データを効率的に導入する手法として、地球環境データの持つ特徴的性質を用いることにより多様なフォーマットの自動認識を可能とするいくつかの手法の提案を行い、この手法を組み合わせることでデータを実装することによりデータを可能な限り自動的に導入するツールの開発を試みた。本章ではこれらの提案手法を取り入れ開発した認識ツールについて述べ、約 30000 ファイルの実際のデータに対して適用した結果を示す。

3.1 データ導入の現状

地球環境データのデジタルライブラリへの導入に関しては、現時点では有効なデータローディングツールが存在せず、多くのサイトでは人手による処理が行われているのが現状である。独 ART + COM[20] や米 USGS[5] などでは、同一フォーマットに従ったデータごとに個別に手作業によってフィルタを作成し、データベースへのローディングを行っている。そのため、異なったフォーマットを持つデータセットを多量に導入することが困難であり、デジタルライブラリへの新規データの導入は同一のフォーマットを持つデータセットの更新が中心となっている。

また、導入手法が明らかでないその他のサイトを定期的に調査したが、毎回新たに拡充さ

れたデータの発見は少なく、実際に存在するデータの多様性を考慮するとデータ導入の自動化はほとんど行われていないと推測される。そのため、GCM などでの利用に対応できる豊富なデータ種類を持つシステムが未だ存在しないのが現状である。

そこで本研究では、GCM などにも十分対応が可能な多様なデータを持つ地球環境デジタルライブラリの構築が今後重要であるとの認識から、地球環境データのローディングに際し、手作業に依存せず可能な限り自動でデータ導入を行うことが可能なローディングツールの開発を行うこととした。

3.2 地球環境データのローディング手法の検討

第2章で述べた現状システムにおける1番目の問題点であるデータローディングツールの開発を行うにあたり、本研究では地球環境データを対象に各データの持つ特徴を利用したデータフォーマットの自動認識手法の提案を行った。本節では本研究で提案する手法およびその手法を実装して試作したデータローディングツールについて、その適用手順に従って述べる。

3.2.1 認識手順

本研究では各処理対象データに対し、次の順序で処理を行うことで認識を試みた。

1. 解凍処理, アスキー変換
2. ファイルの分割, 属性の分離
3. 数値型認識
4. ヘッダ部等データ部以外からの日時情報等の属性抽出
5. データ部の解析による欠損データ表記法および縦横画素数の決定
6. 投影法認識, 変換
7. 位置認識

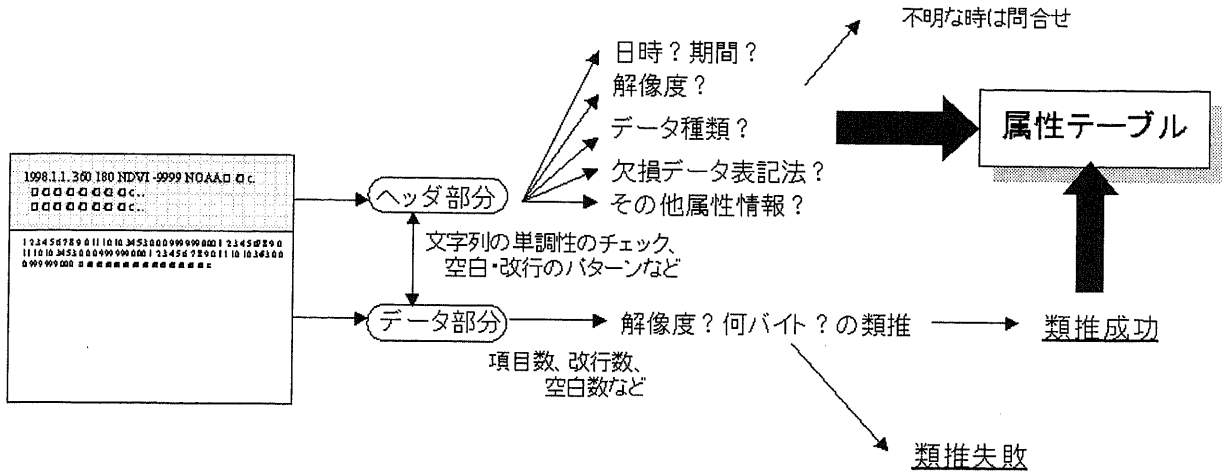


図 3.1: データローディングの流れ

- 8. 検出失敗ファイルのチェック
- 9. その他メタ情報の参照

このうち,1. ~ 4. および 5. の縦横画素数の決定まではデジタルライブラリへの導入時に各処理の成功が必須の処理段階であり, 失敗した場合にはその時点で処理を中断し自動導入を放棄することとした. また,6.7. は認識が失敗した場合にもその時点での認識結果に基づいてデジタルライブラリに登録を行うこととした. 8.9. は自動処理が困難である段階であり, ユーザへの問合せによる手動の処理である.

3.2.2 処理手法

図 3.1に示すようなこれらの各段階の処理について, 前節で示した順に具体的手順とともにその内容を以下に述べる.

1. 解凍処理, アスキー変換

本処理では, 最初にデータ圧縮の有無および圧縮方法の推定を行う. 拡張子からの推定, ヘッダ部に記述されたキーワードからの類推, データ形式の認識などを行い, 主に

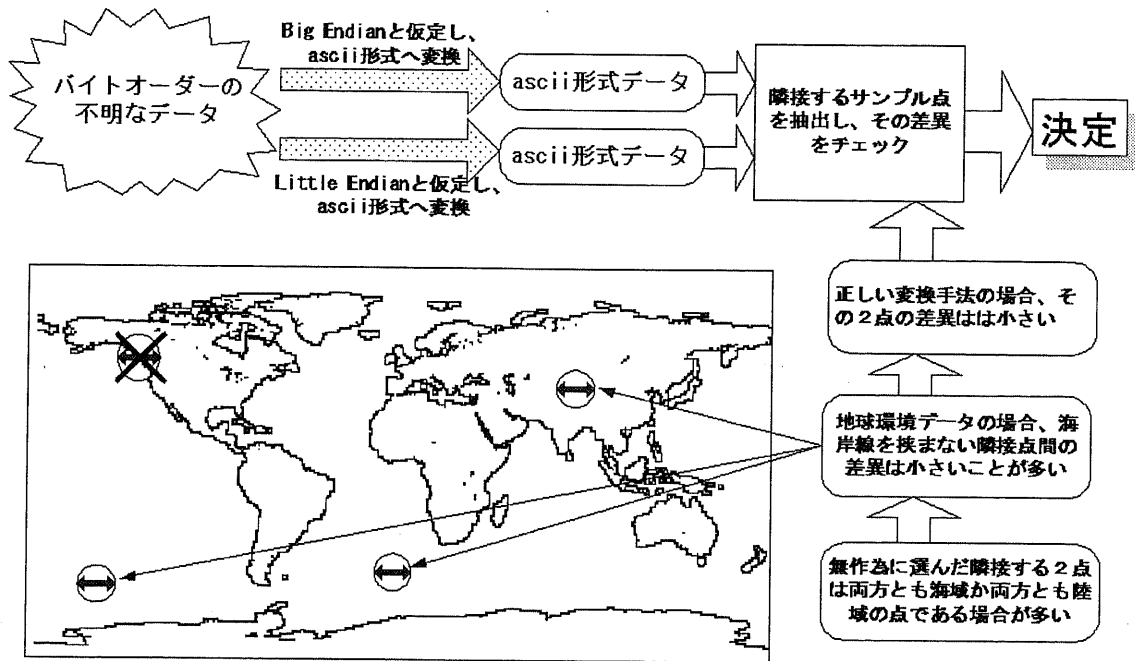


図 3.2: バイトオーダーの推定

UNIX系で使われるgzip,compressとWindows系で用いられるlha,zip形式の判定と解凍処理を行う。また、解凍処理を行ったデータに対し、バイナリフォーマットの場合はアスキー変換を行うため、バイトオーダーがBig EndianかLittle Endianかの判別を行う。本手法では、Big Endianである場合とLittle Endianである場合のそれぞれの変換ツールを用意し、対象データに適用する。その結果のアスキー形式のデータに対し、複数のサンプル地点の値を抽出し、隣接地点の値との比較を行う。地球環境データの場合、海岸線など陸域と水域の境界など稀な場合を除き、隣接点の差異は小さい傾向があるため、両結果で差異が小さい処理手法のバイトオーダーと判定し、アスキー形式への変換結果とする(図3.2)。

2. ファイルの分割, ヘッダの分離

本処理では、複数のデータが結合されたファイルの分割を行う。ここで、本論文ではある1つの地域を示す1種類の内容の値の集合を「1データ」と呼び、ファイルシステム

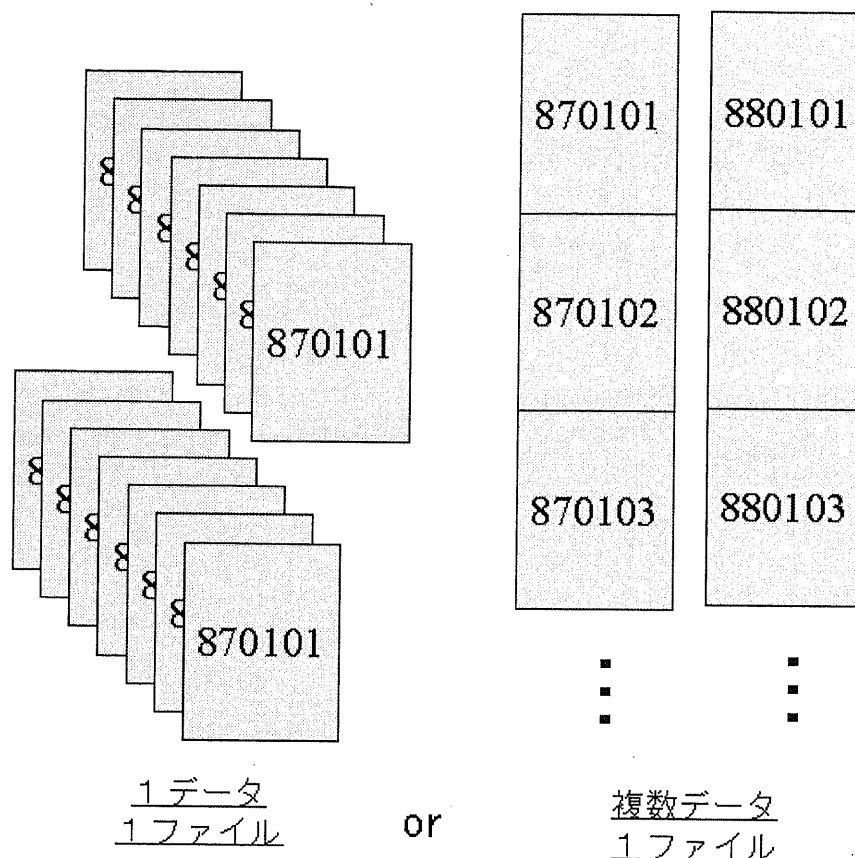


図 3.3: 地球環境データを含むファイル構造

上の1つのファイルを「1ファイル」と呼ぶものとする。一般に地球環境データを含むファイルは、図3.3に示すように、1データにつき1ファイルを構成している場合と、1データセットにつき1ファイルを構成している場合が存在する。前者の場合には特に処理は不要であるが、後者の場合には各データごとにファイルを分割する必要がある。

そこで、地球環境データのデータ部の文字列はヘッダ部に比較して単調な表現形式である点(図3.4)を利用し、ファイルの分割とヘッダ・データ・フッタ部の分離を行った。分割が必要な形式の場合、図3.5に示すようにヘッダ部、データ部、フッタ部が交互に連続した構造になっている。この場合、3データ以上を含んでいる場合が多数であるため、データ部と推測される規則的な数値列が、ヘッダ部あるいはフッタ部と類推される不

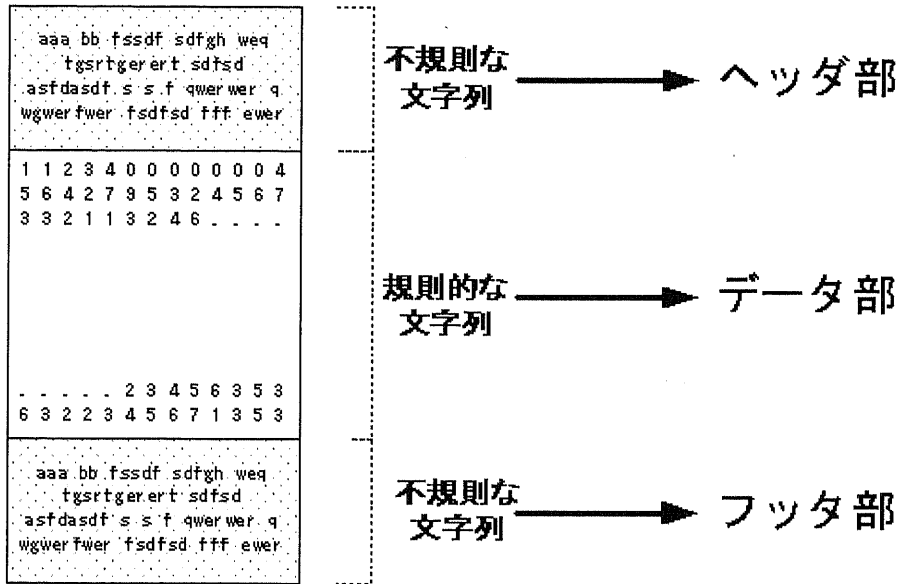


図 3.4: 1 データの構造

規則で文字列を含む部分を挟んで3度以上出現した時点で、ファイルの分割が必要であると判断し、分割処理を行う。

最初に、該当ファイルの先頭から単調表現部分の先頭直前までをヘッダ部として抽出し、そのサイズをヘッダサイズとする。次に、ヘッダ部の直後から次の不規則数値列の直前までの間をデータ部として抽出する。その後続く不規則数値列はフッタ部と次のデータのヘッダ部の結合されたものであるため、最初に算出されたヘッダサイズを元にフッタ部とヘッダ部の分割を行って抽出する。以降、同様にヘッダ部、データ部、フッタ部の抽出を行い、最後の不規則数値列はフッタ部のみから構成されるものとして処理を行う。

3. データの数値型判定

2. で抽出されたデータ部に含まれる各データ値について、その数値型 (整数 or 小数) の認識と正負符号の有無を判定する。ここではデータ部に含まれるすべてのデータ値に対して検査を行い、1つでも小数表記があれば浮動小数点型とする。また、全データ値の

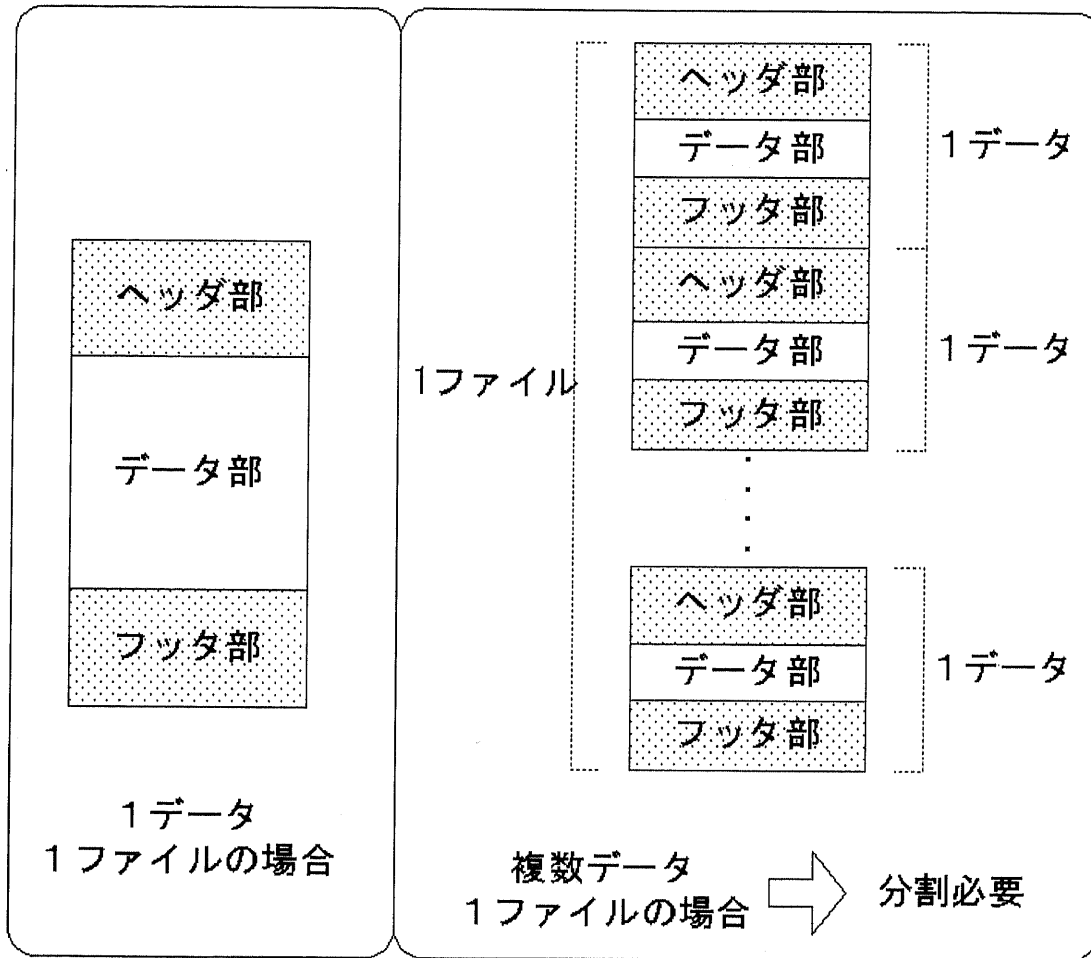


図 3.5: 連続データを含むファイル構造

属性名	属性例	備考
年月日時	19YYMMDD, 19YYMMDDhh, 19YYM-MDDhhmm, YYMMDD, YYMMDDhh, YYMMDDhhmm, YY-MM-DD, YYMMなど.	YY=年, MM=月, DD=日, hh=時間, mm=分を示す. それぞれの取得する数値範囲で上下限を設定.
期間	24, 7, 1, 3, 6, 12	年月日時の差分との対比
欠損データ表記	0000, 9999, -32767, -9999, -00.00, -99.99, -99, 99 など	
縦横画素数	180, 360, 72, 36, 1440, 720, 3600, 1800 など	縦横比 2:1 を持つものも抽出
その他	mmHg, km, m, deg, mb, copyright, reserved など	

表 3.1: 地球環境データの持つ属性の表記例

操作時に同時に最大値および最小値の検出も行う.

4. ヘッダ部等データ部以外からの日時情報等の属性抽出

本処理では, 表示形式や最大値など, データ部で認識された属性以外で, 主にヘッダ部から抽出可能な属性の認識を行う. 本手法では, 表 3.1 に示す代表的な表記パターンとの比較により, 地球環境データの次の5つの属性情報抽出処理を試みている.

- 年月日時情報

予め作成した代表的な表記パターンテーブルとの比較により, 数値列中から年, 月, 日, 時刻の推定を行う. 年や月を示す数値である可能性を有する数値範囲および表記方法との対照を行い, さらに時刻における「:」など特有の表記方法を検出して認識を行う. また, 年月日時情報が記述されていると推定される箇所と同一の箇所を, 同時に取得した他データから抽出し, 各数値の変化量が一定の範囲内に

含まれると同時に各データに周期性が類推されれば年月日時情報と決定する。

- 期間

前述のテーブルとの比較により、ヘッダ部から24(時間),7(日 / 週),3,6,12 など期間を表現していると推定される数値を抽出する。また、前述の年月日時情報のデータ間による差分情報も利用し判定する。

- 欠損データ表記法

本処理では、データ中に存在する欠損データ表記法の推定を行う。本手法では、「9999」「0000」など地球環境データにおける典型的な欠損データ表記法を登録した参照テーブルと、本手法を適用して処理を行った際に、欠損データとして認識された値を登録する履歴テーブルの2つを保持し、ヘッダ中から両テーブルに含まれる値の検索を行い、該当するデータを欠損データ表記法の候補とする。この決定は後述のデータ部解析時に行う。

- 縦横画素数推定

一般に地球環境データは緯度方向と経度方向について格子状に配列された構造を持っており、本研究ではそれぞれ緯度方向のデータ数を横画素数、経度方向のデータ数を縦画素数と呼ぶ。本処理では、ヘッダ部中の検索を行い、地球環境データにおいて典型的な画素数表記である180(度)の倍数および約数、あるいは2:1の比を持つ数値列を検索し、縦横画素数の候補とする。この決定も後述のデータ部解析で行う。

- その他属性

数値単位や Copyright 表示など、典型的な表記形態を表記パターンテーブルとの比較によって抽出する。

5. データ部解析による欠損データ表記法および縦横画素数の決定

本処理では、データ部分の解析により、前処理で抽出された欠損データ表記法および縦横画素数の推定候補値の中から、適当なものを選定する。

- 縦横画素数の決定

前処理で候補が抽出されている場合は、データ部の項目数との比較による決定を行う。また、改行コードが存在する場合は、改行コード間の項目数を横方向画素数と類推し前述の候補と比較を行う。両者とも存在しない場合、この段階で自動処理を中止する。

- 欠損データ表記法の決定

最初に、前処理で推定された候補値から、データ部において最も出現頻度が高い値を抽出する。この値が参照・履歴テーブル内に含まれる値の場合は欠損データ表記法として決定する。含まれない場合においても、データ部の値の分布から著しく逸脱し高頻度な値が1つだけ存在する場合には欠損データ表記法と決定し、新たに履歴テーブルへの登録を行う。高頻度な値が2つ以上出現する場合は本処理を停止し、この段階で自動処理を中止する。

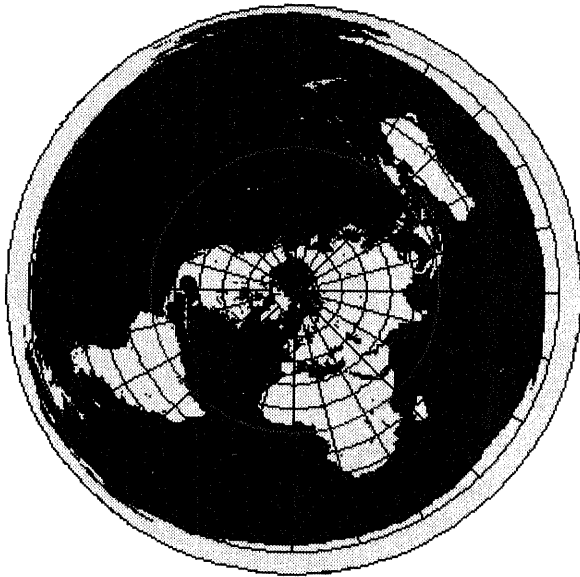
6. 投影法認識, 変換

本処理では、地球環境データの投影法の類推と等緯度経度座標系への変換を行う。対象データの全点に値が存在しない場合には、特徴的な輪郭形状を持つ正距方位図法やボンヌ図法、グード図法、モルワイデ図法の各図法(図3.6)から等緯度経度座標系への変換処理を行い、処理データの輪郭形状を等緯度経度座標系の輪郭と比較を行い推定する。全点にデータが入力されている場合、輪郭形状での類推は不可能のため等緯度経度座標系か一部領域のデータと推定する。この決定は7.の位置認識処理で行う。

7. 位置認識

本処理では前処理で行った等緯度経度座標系への変換後、地球環境データの地球上における対応位置の認識を行う。最初に等緯度経度座標系に投影した全球の海岸線データと比較を行う。45度単位で南北・東西方向に移動を行い、最も海岸線と一致する位置で決定し、緯度経度0度を中心座標とする系に移動する(図3.7)。一致しない場合、部分領域の可能性を考慮し、1度単位での移動を行い対応地点を検索する。この処理でも対応地点を発見できない場合は位置認識を中止する。

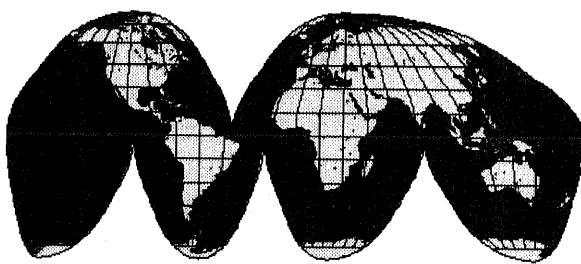
以上の処理を行って抽出された地球環境データの属性情報を、等緯度経度座標系に変換したデータとともにデジタルライブラリに登録する。本ツールにおいては、1データにつき



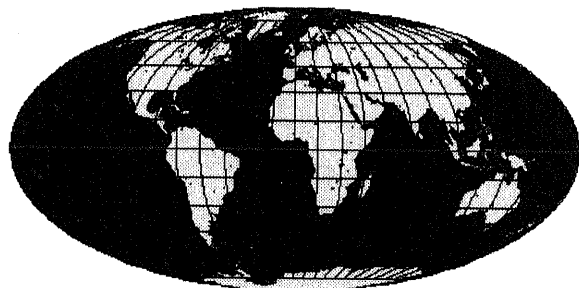
(a) 正距方位図法



(b) ボンヌ図法



(c) グード図法



(d) モルワイデ図法

図 3.6: 特徴的な輪郭形状を持つ図法

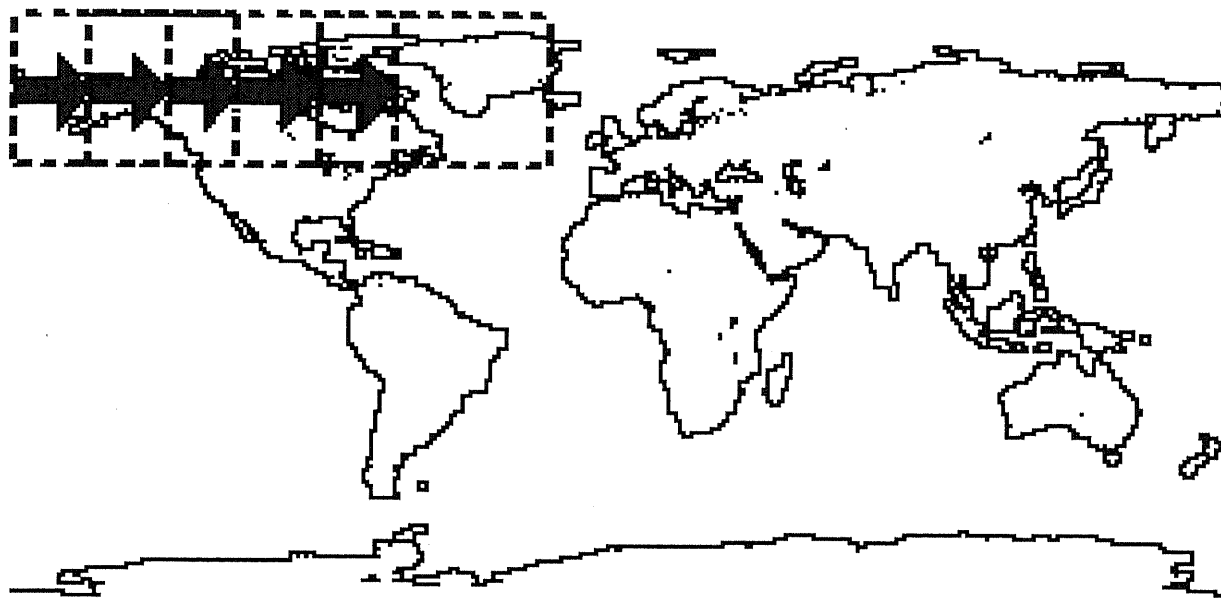


図 3.7: 45 度単位での位置探索

以下の 19 種類の属性を RDBMS 上で管理を行っている。

- データソース:SRC
- データ分類:GRP
- データ名称:NAME
- データファイル保管場所:DIR
- 始点経度:START_X
- 始点緯度:START_Y
- 終点経度:END_X
- 終点緯度:END_Y
- 縦画素数:RES_X
- 横画素数:RES_Y
- 日時:TIME
- 期間:TERM
- 欠損表記:LOSS
- 属性:ATT
- 投影法:PROJ
- 数値型:NUMERIC
- 最大値:MAX
- 最小値:MIN
- その他:ETC

データ名称 (配付元)	内容
Global Data Sets for Land- Atmosphere Models (NASA Goddard DAAC)	植生, 土壌, 雪氷, 雲, 放射量, 海水面温度, 湿度など多様な分野の地表面気候に関するデータを元に生成された約 600 種類 20000 ファイル, 圧縮状態で約 12GB に及ぶデータセット. 時間解像度は 3 時間 ~ 1 カ月, 各 2 年分.
Global Soil Wetness Project Data (GSWP, ISLSCP, GEWEX)	上述 Global Data Sets for Land-Atmosphere Models を用いて, 本プロジェクトに参加している 10 の研究機関が土壌水分などに関し各自のポリシーの基づいたモデルに従い算出したデータ集. 時間解像度は 3 時間 ~ 1 カ月, 各 2 年分. 約 500 種類, 10000 ファイル, 圧縮状態で約 8GB.

表 3.2: 実験対象データ

3.3 データローディング実験

前節で述べたデジタルライブラリへのデータローディング手法を用い, 本研究では降水量, 雲量, 湿度など気候に関する観測による約 600 種類のデータと, 土壌に関するモデルによって生成された約 500 種類のデータを対象とし, データローディングのためのフォーマット認識実験とデータに含まれる属性情報抽出の実験を行った.

これらのデータは, 表 3.2 に示す約 30000 ファイル, 約 20GB に達する膨大なものであり, そのデータフォーマットおよび空間時間解像度が非常に多岐に渡る (図 3.8, 図 3.9) データセットである.

- フォーマット認識実験

本研究で開発したデータローディングツールを用い, 地球環境デジタルライブラリへローディングを行うためのフォーマットの認識実験を行った.

本システムへのローディングには, 前節で示した認識処理のうち 1. ~ 3. および 4., 5.

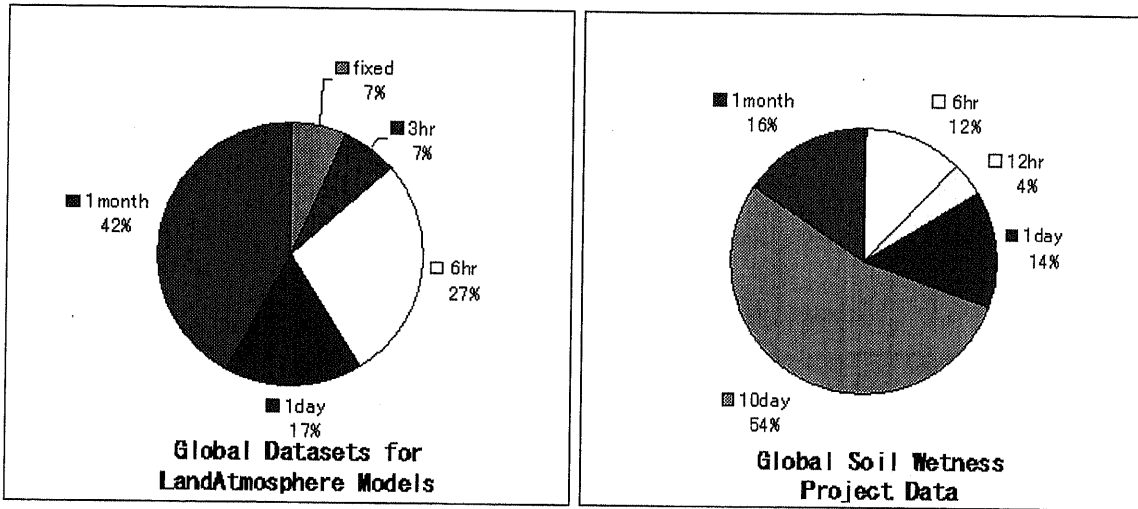


図 3.8: 各データの時間解像度分布

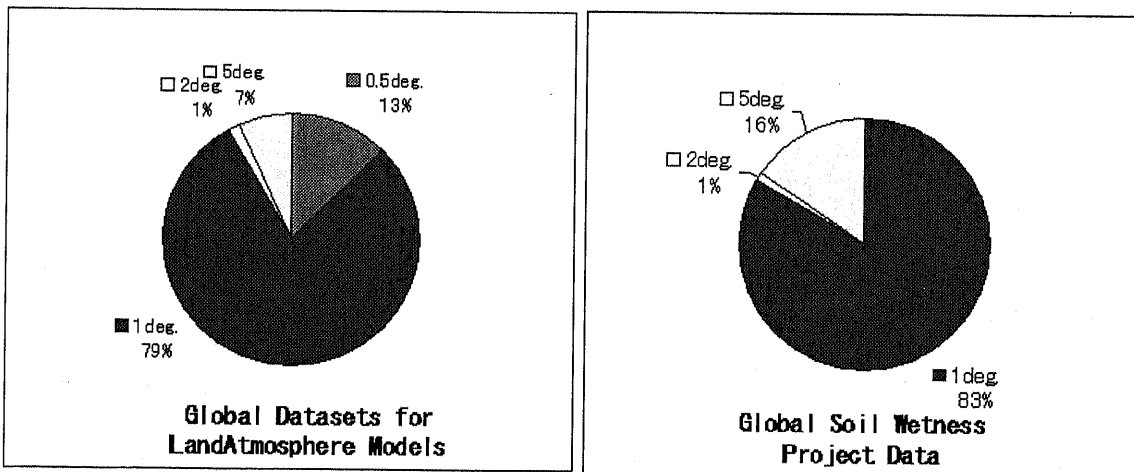


図 3.9: 各データの空間解像度分布

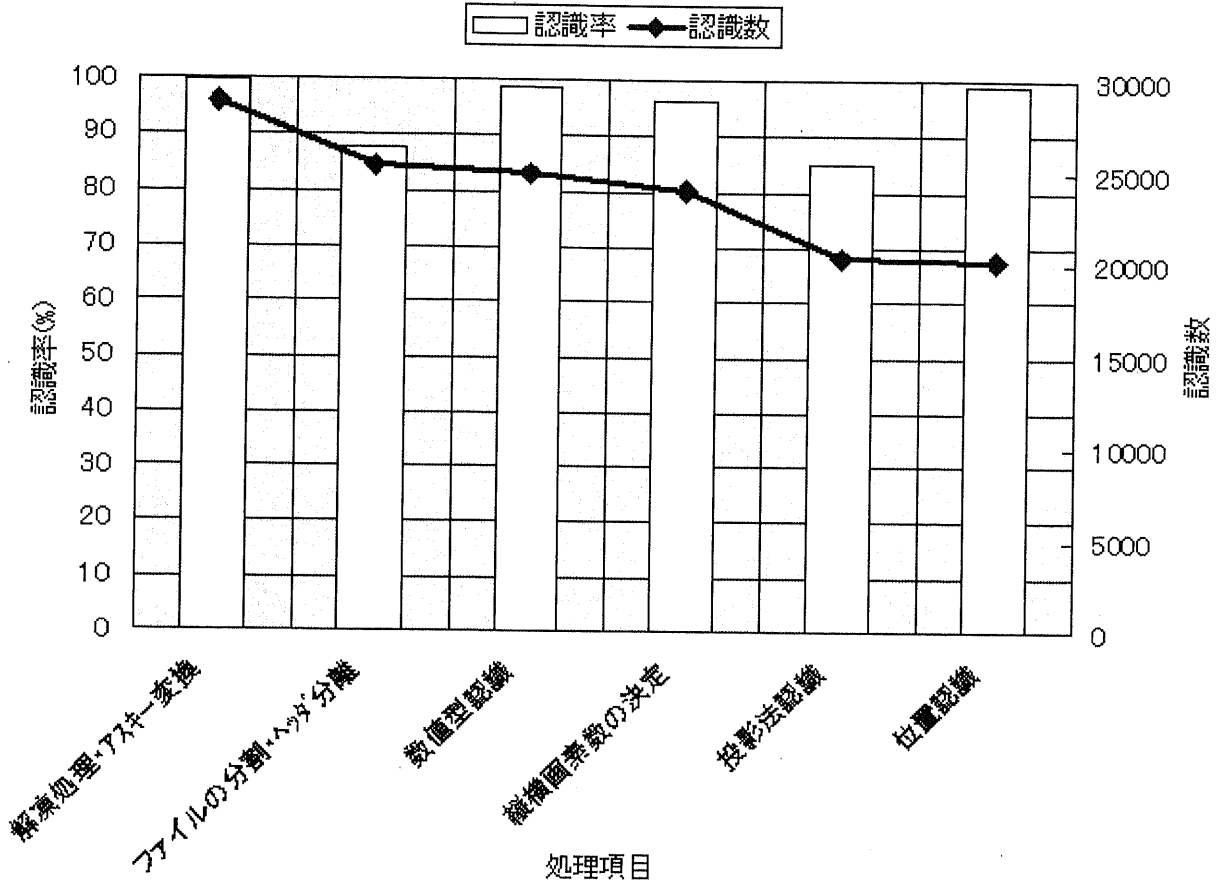


図 3.10: フォーマット認識率の推移

から導出される縦横画素数が必要であり、認識が必須ではない6.,7.の処理も含めたこれらの処理の認識率を表3.3に示す。また、これらの処理は1段階前の認識が成功したものに対してのみ次の処理を行っており、その認識率の推移結果を図3.10に示す。

- 属性抽出実験

本ローディングツールを用い、前節で示した認識の流れの4.,5.の段階で行われるヘッダ部・ファイル名・データ部からの属性抽出実験を行った。認識処理を行う対象データならびにその属性と認識が成功した認識数を表3.4に示す。

認識処理内容	対象数	認識数	認識率
解凍処理, アスキー変換	28921	28813	99.9
ファイルの分割, ヘッダの分離	28813	25319	87.9
数値型認識	25319	24991	98.7
縦横画素数の決定	24991	24051	96.2
投影法認識	24051	20372	84.7
位置認識	20372	20160	98.8

表 3.3: フォーマット認識実験結果

ヘッダ部からの属性抽出実験は、フォーマット認識実験のファイル分離・ヘッダの分割処理が完了した 25319 データのうち、ヘッダ部が抽出できた 3815 データを対象として行った。ファイル名からの属性抽出実験は、前実験の解凍処理・アスキー変換が完了した 28813 データを対象とし、データ部の解析による属性実験は数値型認識の処理が完了した 24991 データを対象としている。

3.4 結果検討

本研究で開発したデータローディングツールを適用することにより、実験対象とした地球環境データのうち、約 80% のデータが本デジタルライブラリ登録のために必須とした縦横画素数認識処理までの自動認識が実現され、約 70% のデータが位置認識処理までも含めた自動認識が実現された。

この値は、現在は手動で個別にフィルタ開発を行って処理されているデータローディング段階の作業量を大幅に軽減可能な実用的なレベルであると言える。また、未知のデータに対しても、本手法を適用することによりある程度の自動認識が可能であると推測され、手作業でフィルタを作成する技術のないユーザにとっても非常に有効な手法の提供を可能とした。

1 番目のフォーマット認識実験に関しては、投影法認識の認識率が表 3.3 で示すように最

属性	認識数	認識処理を行う対象データ (対象データ数)
年月日時	731	ヘッダ部から (対象データ:3815)
期間	3025	
縦横画素数候補	3211	
欠損表記法	201	
年月日時	21031	ファイル名から (対象データ:28813)
圧縮形式	1339	
欠損表記	3302	データ構造から (対象データ:24991)

表 3.4: 属性抽出実験結果

も低い値になっている。現状では正距方位図法、ボンヌ図法、グード図法、メルワイデ図法をサポートしているが、今後さらに機能拡張を行うことにより改善されると予想される。

2番目の属性抽出実験における年月日時の抽出については、ファイル名からの抽出が中心であるが、一部はヘッダ部からの認識も可能であることが分かる。今後はデータセットに付随するドキュメントファイルの解析等も行うことにより、さらに多くの属性情報を抽出する手法を検討する必要があると思われる。

第 4 章

内容・時間・空間に関するアクセスを可能とする検索・結果表示インターフェースの実装

本研究では、ユーザが地球環境データを検索する際に直接利用する検索インターフェースについて、既存の問題点を解決する新たな手法として内容・空間・時間に関する 3 方向からのアクセスが可能な検索手法の提案を行い、その有効性を示すために本研究で構築したデジタルライブラリ上に実装し公開運用を行った。本章ではその構成と特徴ならびに実装結果を示す。

4.1 設計指針

第 2 章で述べたように、現在公開されている地球環境デジタルライブラリを調査すると、空間や時間など単一の条件での検索のみ可能である場合や、複数の条件に対しても固定された順での検索のみが可能である場合が殆どである。しかし、実研究分野においては、これらが柔軟に複合した検索の需要が高いにもかかわらず、ユーザにとって容易な手法が提供されていないのが現状である (図 4.1)。

そこで本研究では、複数の条件に関して、順序を問わず何度も自由に切り替えながらの検

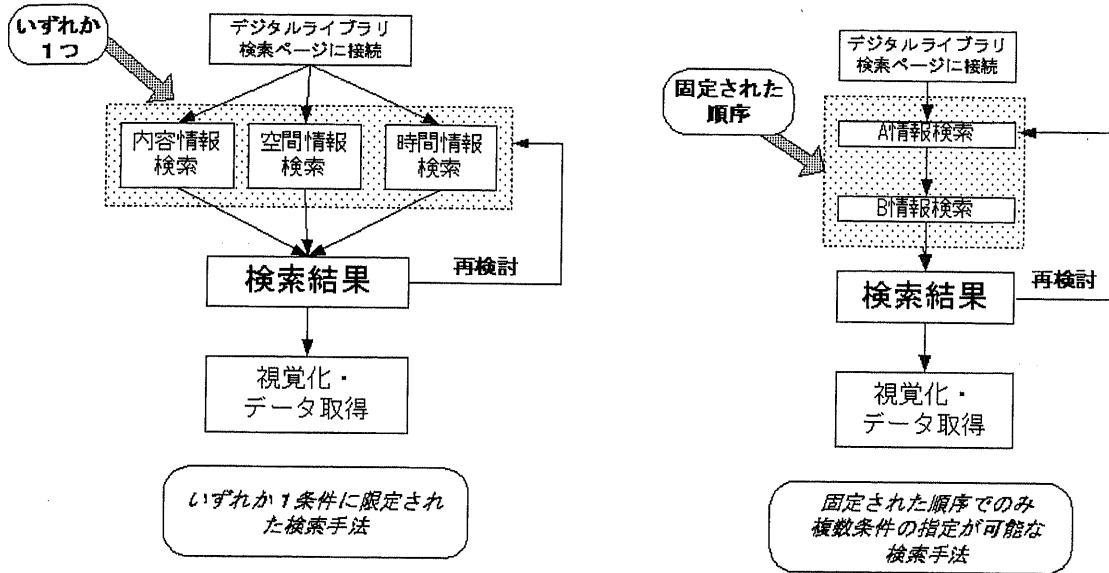


図 4.1: 従来の検索手法

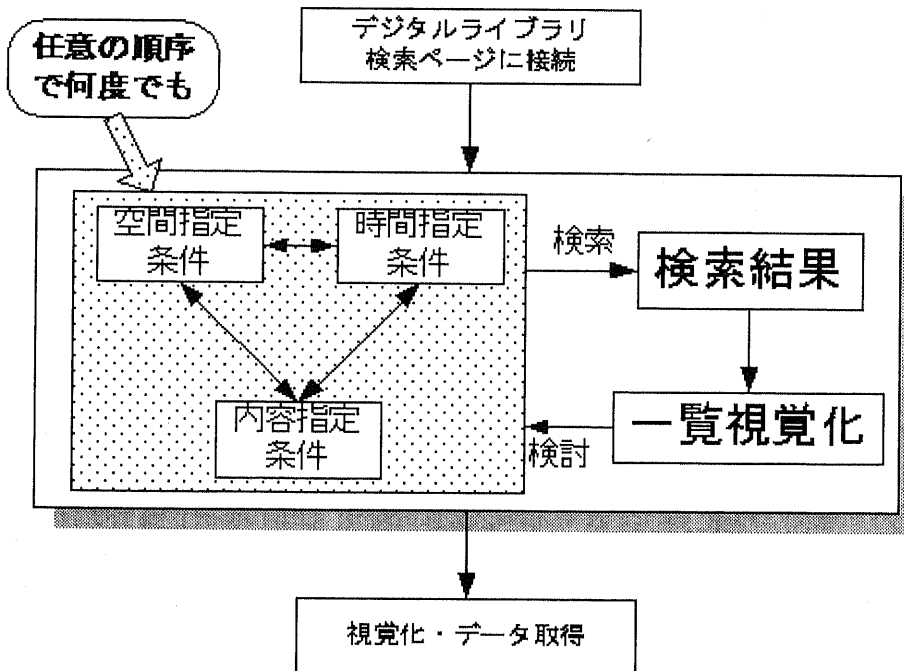


図 4.2: 本研究で提案する検索手法

索が容易に実行可能であり、その検索結果を確認しながらさらに別の検索を連続して実行が可能な検索手法(図4.2)を開発することとした。

また、その有用性を実証するために、地球環境工学分野の研究者との詳細な検討の結果、以下の3種の情報に基づいた検索を任意に組み合わせて行うインターフェースをWeb上に実装した。

- 内容情報に基づいた検索
- 空間情報に基づいた検索
- 時間情報に基づいた検索

各情報に基づいた検索手法の具体的な実装およびその利用法について、以下に述べる。

4.2 内容、空間、時間の3方向からの検索

本インターフェースの実装に際しては、内容、空間、時間の各情報検索インターフェースを図4.3のように配置した。左上のフレームに検索結果を表示するウィンドウがあり、その周囲に内容、空間、時間情報に関する検索ウィンドウが配置されている。

本インターフェース上では、ユーザが各検索ウィンドウで条件指定を行うと同時に、その内容に従ったSQLが生成され、RDBMS上で検索が実行される。例えば、次のような条件が指定された場合には、第3章で構築した本デジタルライブラリのRDBMSに対し、次のようなSQLが生成される。

- 内容はA,B,Cのいずれかを含む
- 緯度経度が(X1,Y1)から(X2,Y2)の領域を含む
- 時間はT1からT2

```
((NAME = ' A')OR(NAME = ' B')OR(NAME = ' C'))  
AND  
(((START_X < X1)AND(START_Y < Y1))AND((END_X > X2)AND(END_Y > Y2)))  
AND  
((TIME > T1)AND(TIME < T2))
```

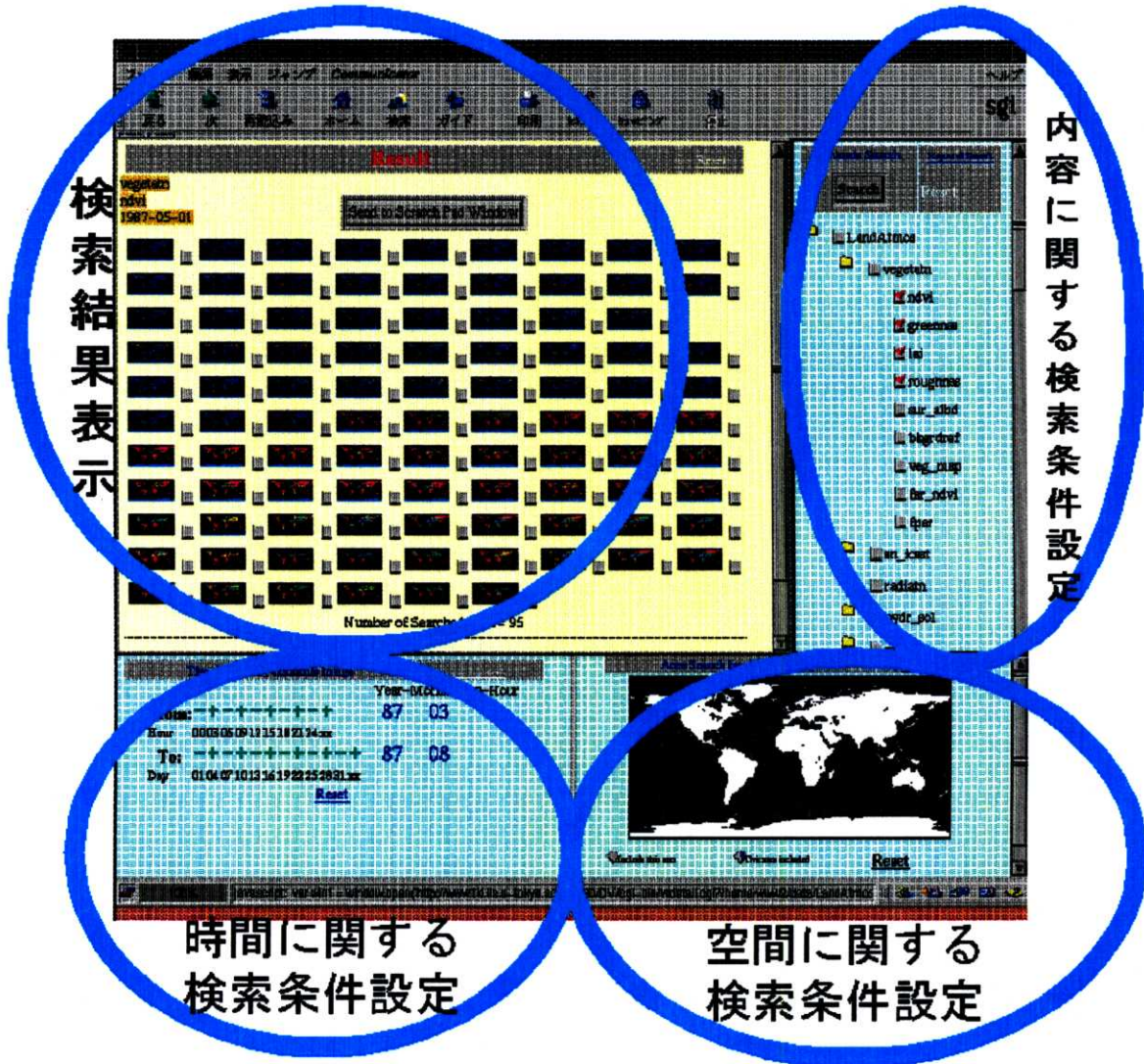


図 4.3: 3 情報に基づいた検索ページ

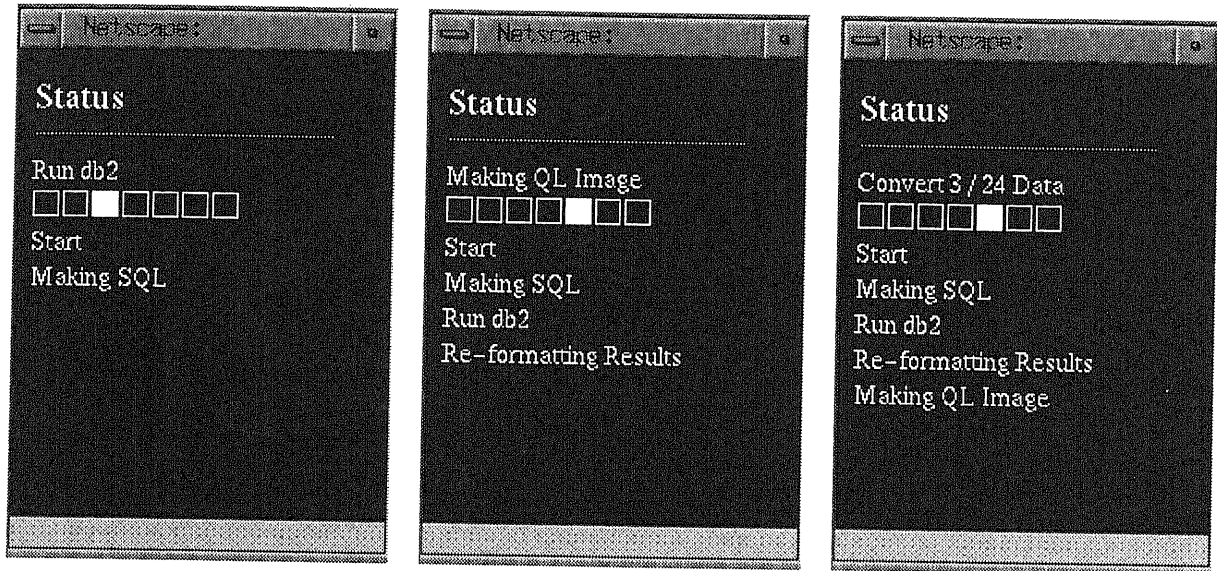


図 4.4: ステータスウィンドウ

本インターフェース上で指定された3種の情報に関する検索条件は論理積 (AND) で結合され、検索が実行される。ただし、時間および空間に関する検索において、始点や開始時刻などそれぞれの条件に対しても論理積で結合を行うが、内容に関する条件に関しては、選択されたいずれかの内容を含むデータの検索であるため、論理和 (OR) で結合を行っている。

こうして実行された検索の結果に対し視覚化処理が行われ、結果表示ウィンドウに表示される。検索が行われている間は、ステータスウィンドウ (図 4.4) に処理の進行状況が表示されるため、ユーザはリアルタイムに実行されている処理内容を知ることができる。

1つの検索ウィンドウで条件を指定後、別の検索ウィンドウで指定することにより結果出力ウィンドウ上の検索結果はさらに絞り込まれた検索結果が表示される。この操作は繰り返し任意の順序で実行できるため、ユーザは各検索条件を自由に行き来しながら必要とするデータの検索を進めることが可能である (図 4.5)。

Web ブラウザ上に実装された本手法のインターフェースを用いることにより、従来の手法に比べ各条件による検索結果を確認しながら更に検索を行うことが可能であるなど、条件

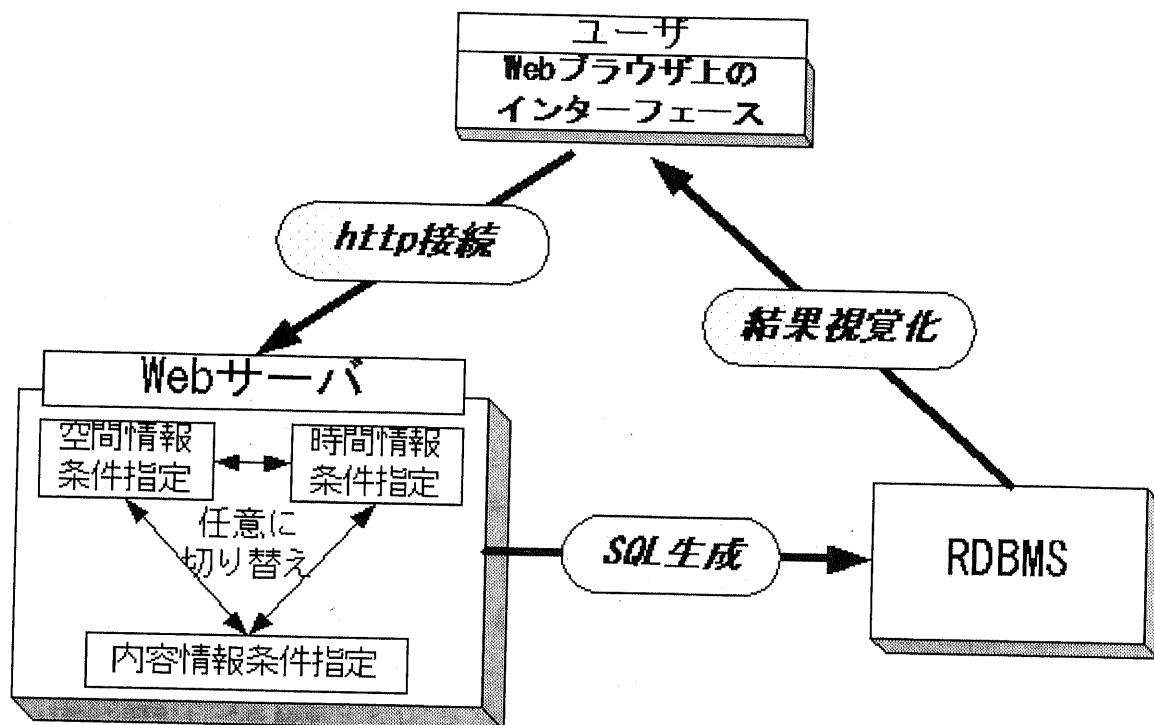


図 4.5: 検索の流れ

データ種類	具体例
データ内容	月平均気温, 年間降水量, 月別植生指標, 平均土壌水分量など
データ取得機関	NASA, USGS, MeteoFrance, UCAR など
データ分類	植生, 土壌, 温度, 海水, 放射量など

表 4.1: 内容情報の例

数およびその順序においてより柔軟な検索が実現された。各情報に基づいた検索インターフェースの特徴は次の通りである。

4.2.1 内容情報に基づいた検索

地球環境データの検索の際に最も一般的な手法は、データの内容情報に基づいた検索である。各データの取得機関やその分類、データ名など、各データの持つ表 4.1 に示すような内容情報についての条件を設定し検索する手法であり、本システムではツリー構造による検索とキーワードからの検索の2手法のインターフェースを実装している。

キーワードによる検索は、そのキーワードが含まれるデータ種類名を検索し、該当データがその分類情報とともに選択肢として表示される (図 4.6(a))。その中から必要なデータにチェックを入れて検索することにより結果表示ウィンドウに該当データが表示される。本手法を導入することにより、例えばキーワード検索を用いて他組織で収集された同種のデータを同時に閲覧して比較するなど、データ内容に関し取得組織を超えた検索を実現した。

ツリー構造からの検索は、格納されているデータが階層ごとにツリー構造で表示される。各分類名の先頭をクリックすることで1段階深い階層のデータ一覧が表示され、同様に必要なデータにチェックを入れることで検索される。この際、上位階層にある項目にチェックを入れることで、それより下の階層にあるすべてのデータにチェックが入る。ツリー構造からの検索ページでは、格納されているデータが属性情報に基づいて階層的に表示されるため、ユーザは必要に応じた階層での選択を行い検索を実行する。本手法では、同一組織で収集された多様なデータを一度に閲覧可能とすることで、取得組織ごとにデータ分類を超えた検索を実現した。

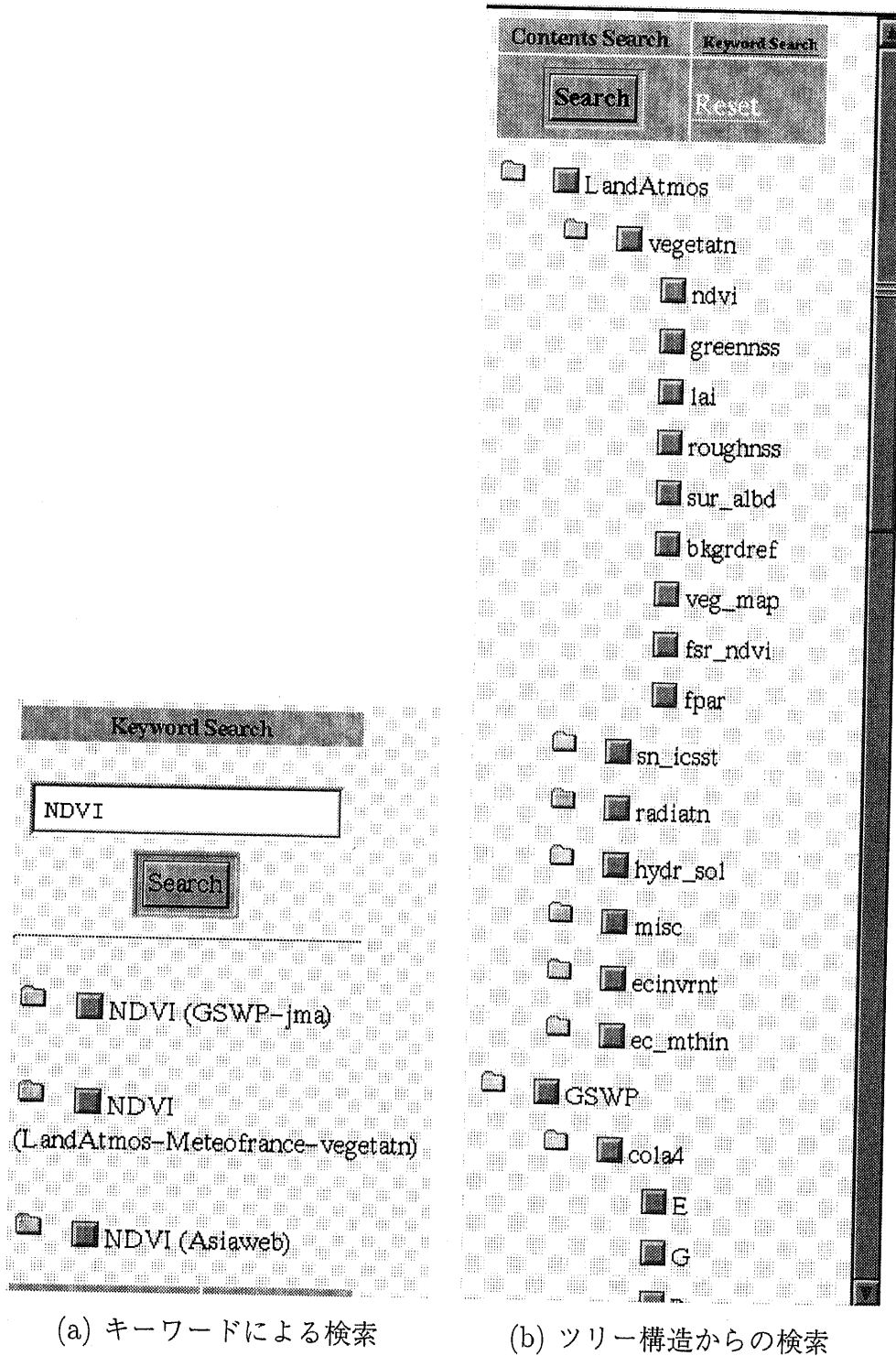


図 4.6: 内容情報に基づいた検索

4.2.2 空間情報に基づいた検索

空間情報による検索ウィンドウでは、クリックابلマップによる検索と緯度経度による検索の2種類のインターフェースを実装している。

クリックابلマップによる検索は、表示されている地図上で検索領域の左上座標と右下座標を順にクリックすることにより指定が行われる手法を実装した。本手法では、最初のクリックで左上座標が確定されるため、その点より右下に位置する領域が拡大され表示される。次のクリックでは同様に右下座標が確定されるため、前回のクリック点とで定義される領域が同様に拡大され表示される。以降、繰り返し左上座標と右下座標の指定を交互に行うことにより、より高解像度な地図上での領域指定が可能となる。(図4.7)。

緯度経度による検索は、図4.8に示すような画面で、検索する領域の左上座標および右下座標の入力を行い、南北緯、東西経の区別を選択して検索を行う。あらかじめ検索対象領域が明確に分かっている場合など、領域を正確に指定したい際に有用である。

4.2.3 時間情報に基づいた検索

時間情報を用いた検索に関しても、2つの手法を提供している。数値を入力することにより検索開始日時および終了日時を指定する手法と、図4.10に示すように、表示された時間軸をマウスで選択していくことにより指定する手法である。

マウスによる指定の場合、最初に開始年に該当するところをクリックすると、その値が右に表示され、開始時刻欄は次の階層である開始月が表示される。同様にクリックすることにより開始日が表示され、順に詳細な時間の設定が行える。この際、終了時刻を示す時間軸は、初期入力時を除いて開始時間欄の一階層上位の時間軸を示している。すなわち、開始時刻欄で開始日を指定する際には、終了時刻欄には月を表示した軸が表示されている。すなわち各入力時には、開始時刻のより詳細な階層の指定か、同一階層での終了時刻の指定かを選択する。

また、両手法において、「**」を選択することによりその階層の値を任意とすることが可能である。

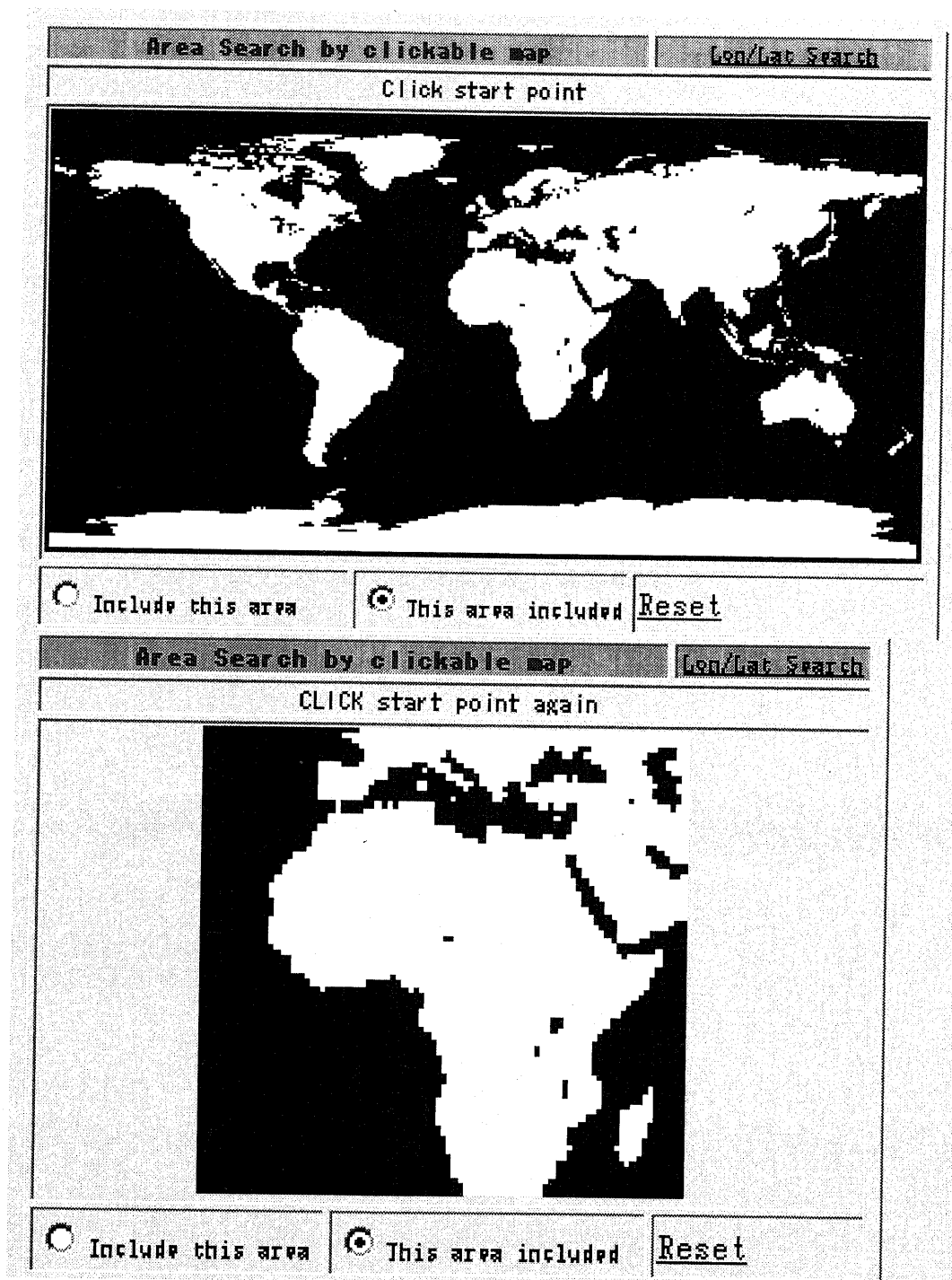


図 4.7: クリックابلマップによる検索

Area Search by Lon/Lat		Map Search		
	Lat	N/S	Lon	W/E
From:	<input type="text" value="35"/>	<input type="text" value="N"/>	<input type="text" value="130"/>	<input type="text" value="E"/>
To:	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="N"/>	<input type="text" value="145"/>	<input type="text" value="E"/>
	<input checked="" type="checkbox"/> Include this area		<input checked="" type="checkbox"/> This area included	

図 4.8: 緯度経度による検索

Time Search by pop-up menu		clickable search		
	Year	Month	Day	Hour
START:	<input type="text" value="87"/>	<input type="text" value="Oct"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>
END:	<input type="text" value="88"/>	<input type="text" value="Apr"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="24"/>

図 4.9: 数値入力による時間指定検索

Time Search by clickable image

Year-Month-Day-Hour

From: --+--+--+--+--+--+--+--+--+--+

Year 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 xx

To: +--+--+--+--+--+--+--+--+--+

Year 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 xx

Reset

Time Search by clickable image

Year-Month-Day-Hour

From: --+--+--+--+--+--+--+--+--+--+ 87

Month 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 xx

To: +--+--+--+--+--+--+--+--+--+

Year 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 xx

Reset

Time Search by clickable image

Year-Month-Day-Hour

From: --+--+--+--+--+--+--+--+--+--+ 87 03

Day 01 04 07 10 13 16 19 22 25 28 31 xx

To: --+--+--+--+--+--+--+--+--+--+ 87

Month 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 xx

Reset

Time Search by clickable image

Year-Month-Day-Hour

From: --+--+--+--+--+--+--+--+--+--+ 87 03 16

Hour 00 03 06 09 12 15 18 21 24 xx

To: --+--+--+--+--+--+--+--+--+--+ 87 03

Day 01 04 07 10 13 16 19 22 25 28 31 xx

Reset

Time Search by clickable image

Year-Month-Day-Hour

From: --+--+--+--+--+--+--+--+--+--+ 87 03 16

Hour 00 03 06 09 12 15 18 21 24 xx

To: --+--+--+--+--+--+--+--+--+--+ 87 03 22

Hour 00 03 06 09 12 15 18 21 24 xx

Reset

☞ 開始側の「年」から順に指定開始

☞ 次に開始側の「月」を指定するか、終了側の「年」が指定可能。

☞ この条件指定には開始側が「日」まで指定する必要があるの
で、ここでは開始側の「月」を指定

☞ 同様に、開始側の「日」を指定

☞ これで開始側の指定は完了したので、次は終了側の指定

☞ 既に終了側の「月」までは開始側の内容が反映されているため、終了側は「年月」の指定は不要で「日」のみの指定で完了。

図 4.10: 時間条件 87/3/16 ~ 87/3/22 を GUI で指定する例

4.3 スクラッチパッドウィンドウの利用

地球環境データを対象としたデジタルライブラリの利用方法として、本システムで想定した同時に複数の条件を設定し検索を行った結果を利用するケースに加え、個別に異なった条件設定を行った検索を何度も繰り返す場合が考えられる。あるいは、前節で述べた3種の情報に関する検索に関し、その論理和 (OR) で結合された検索が必要とされる場合も考えられる。これらのような場合には、各検索によって出力された検索結果を蓄積し、最終的な検索が終了した後にはまとめて処理を行うインターフェースが必要とされる。

本研究では、検索によって生成される検索結果ウィンドウ上で、各データの横に表示されるチェックボックスをマークすることにより、そのユーザ専用のスクラッチパッドウィンドウが生成され、チェックされたデータのみが表示される (図 4.11) インターフェースを実装した。このスクラッチパッドウィンドウは、一連の検索処理が終わるまで常時表示され、異なった条件で行った検索の結果に対しても同様に登録が可能である。また、スクラッチパッドウィンドウに登録された各データは、縮小画像横に表示されるチェックボックスにマークすることでいつでも削除が可能となっている。

本手法により、ユーザは1回の検索では十分にその条件指定が困難な複雑な検索を行いたい場合においても、スクラッチパッドウィンドウを利用し、複数回に分けて検索を行うことによって容易に実現が可能となった。

4.4 柔軟な検索結果提示システムの開発

現在利用されているシステムにおいて、検索機能を持つインターフェースの大部分は、結果出力には取得日時やデータ名称などテキスト情報の一覧表示が行われる。そのため、各検索結果の概要を知るためにも1データずつ個別にダウンロードし表示する必要があった。

そこで本インターフェースでは、画像の提示が概要の把握には不可欠との地球環境工学研究者の意見に基づき、検索結果の出力はすべて画像で行うこととした。画像1つ1つが検索結果を示しており、そのクリック等でさらに処理を進めることができる。

本節ではこの結果出力部について、その手法と利用方法について述べる。

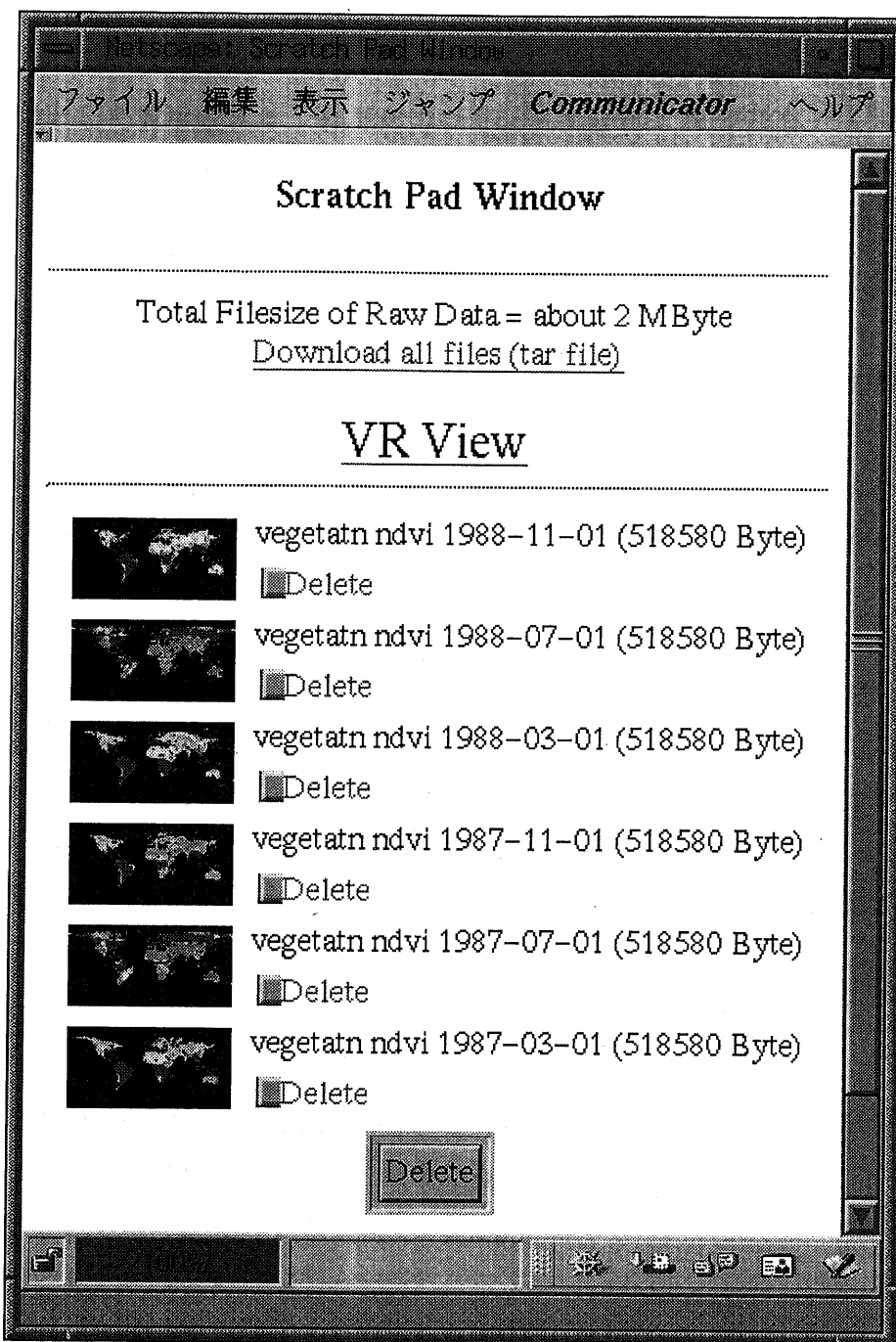


図 4.11: スクラッチパッドウィンドウ

4.4.1 検索結果の一覧

各検索ウィンドウで指定された条件に基づいた検索結果は、左上部の結果表示ウィンドウに縮小画像として表示される。結果出力ウィンドウ上では、検索該当データ数に応じ、その表示上限数以下の場合には1画面中に全データが表示されるように各データのサイズが動的に変更され表示される(図4.12)ため、常に検索結果のすべてが同時に閲覧が可能である。

これによって、地球環境研究者は検索結果概要を視覚化して把握することが可能となり、大きく利便性を改善することができた。

さらに本システムでは、特に検索結果数が多い場合に1つ1つのデータの確認が困難であることを考慮し、VRMLを用いたブラウジングインターフェースを実装した。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各検索結果データをウォークスルーしながら閲覧を行い、関心のあるデータには自由に接近し任意の角度・距離からの確認が可能である。

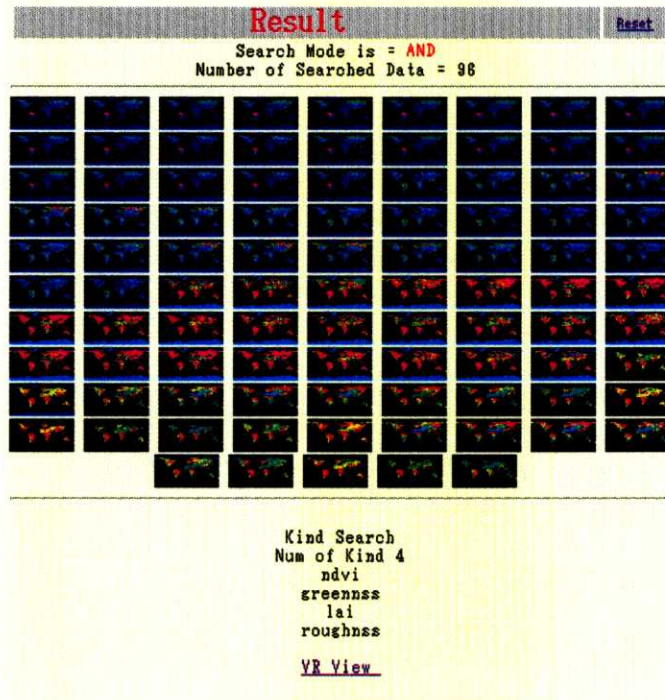
VRMLを用いたブラウジングインターフェース手法として、容易に時間による変化を確認することが可能な同一時刻のデータが隣り合う配置(図4.13)と、データの内容ごとに分類して閲覧するインターフェース(図4.14)を提供している。

スクラッチパッドウィンドウ上でも、同様に「VR View」ボタンをクリックすることでスクラッチパッドウィンドウ上に登録されたデータのみを対象として動的にVRMLファイルが生成され、視覚化が実現される。このVRMLウィンドウ上においても、検索結果表示時のVRMLと全く同様の詳細表示が可能である。

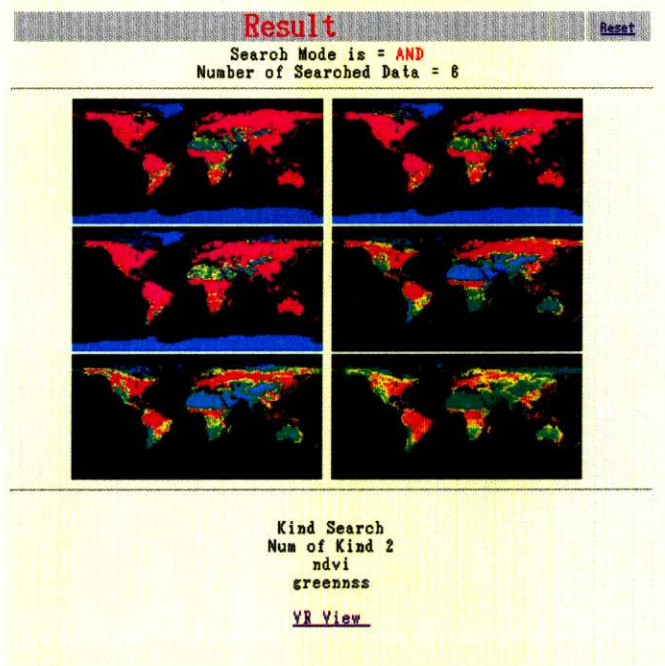
4.4.2 詳細データの表示

上述の検索で表示された検索結果およびスクラッチパッドウィンドウに登録されたデータの1つ1つについては、一覧画面中の画像あるいはVRMLブラウジングインターフェース上の各オブジェクトをクリックすることで、より詳細なデータの表示およびダウンロードが可能なウィンドウが開く(図4.15)。

このウィンドウ上では、画像化を行っていない段階の原データ(図4.16(a))や詳細な画像表示(図4.16(b))、当該データのVRML視覚化(図4.16(c))に加え、時系列データをアニメーション表示したMPEG動画およびその動画のVRML視覚化が可能である。



(a) 検索結果数 = 96



(b) 検索結果数 = 6

図 4.12: 結果出力ウィンドウ

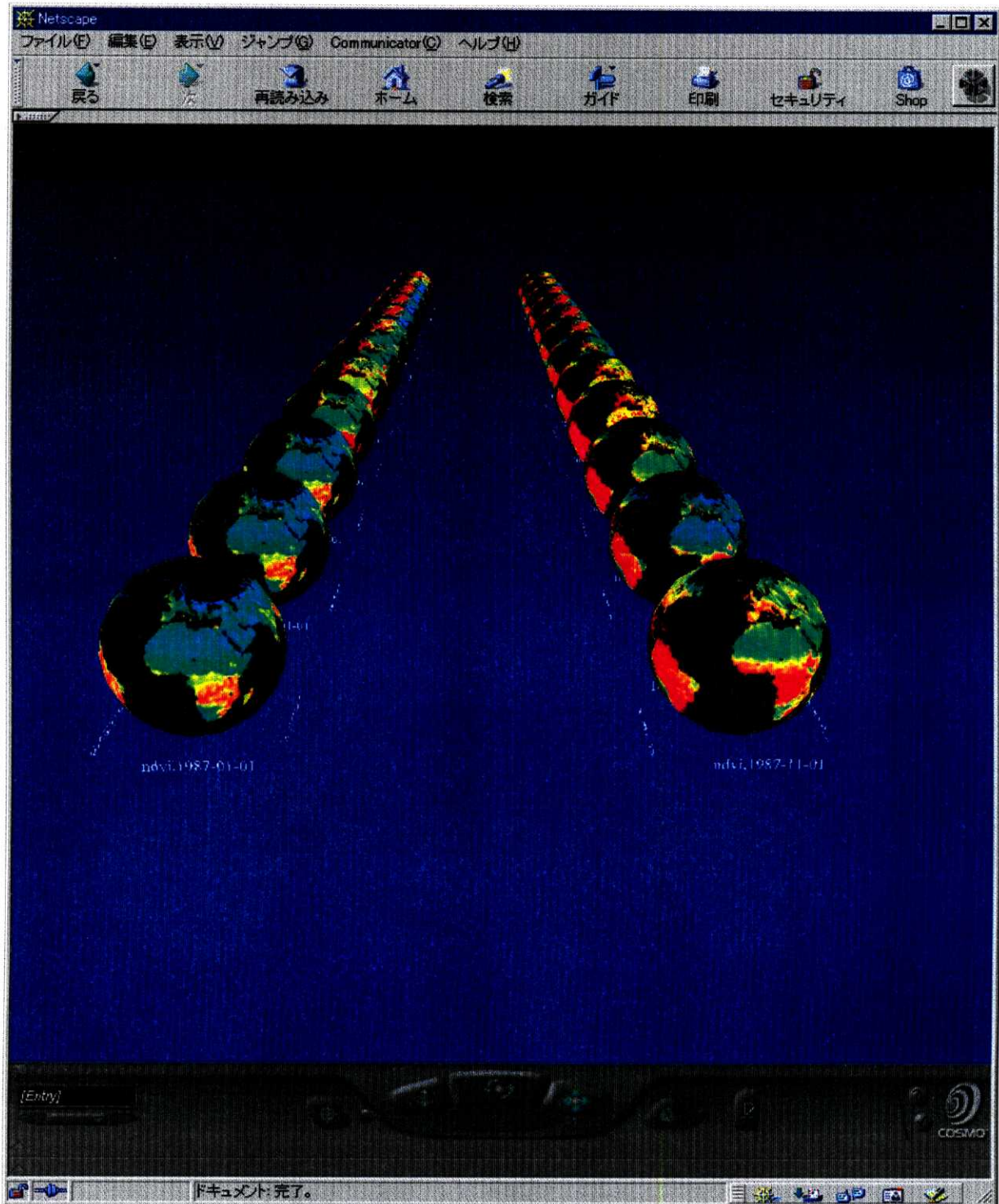


図 4.13: 時系列に整列した配置



図 4.14: 内容に応じ分散した配置

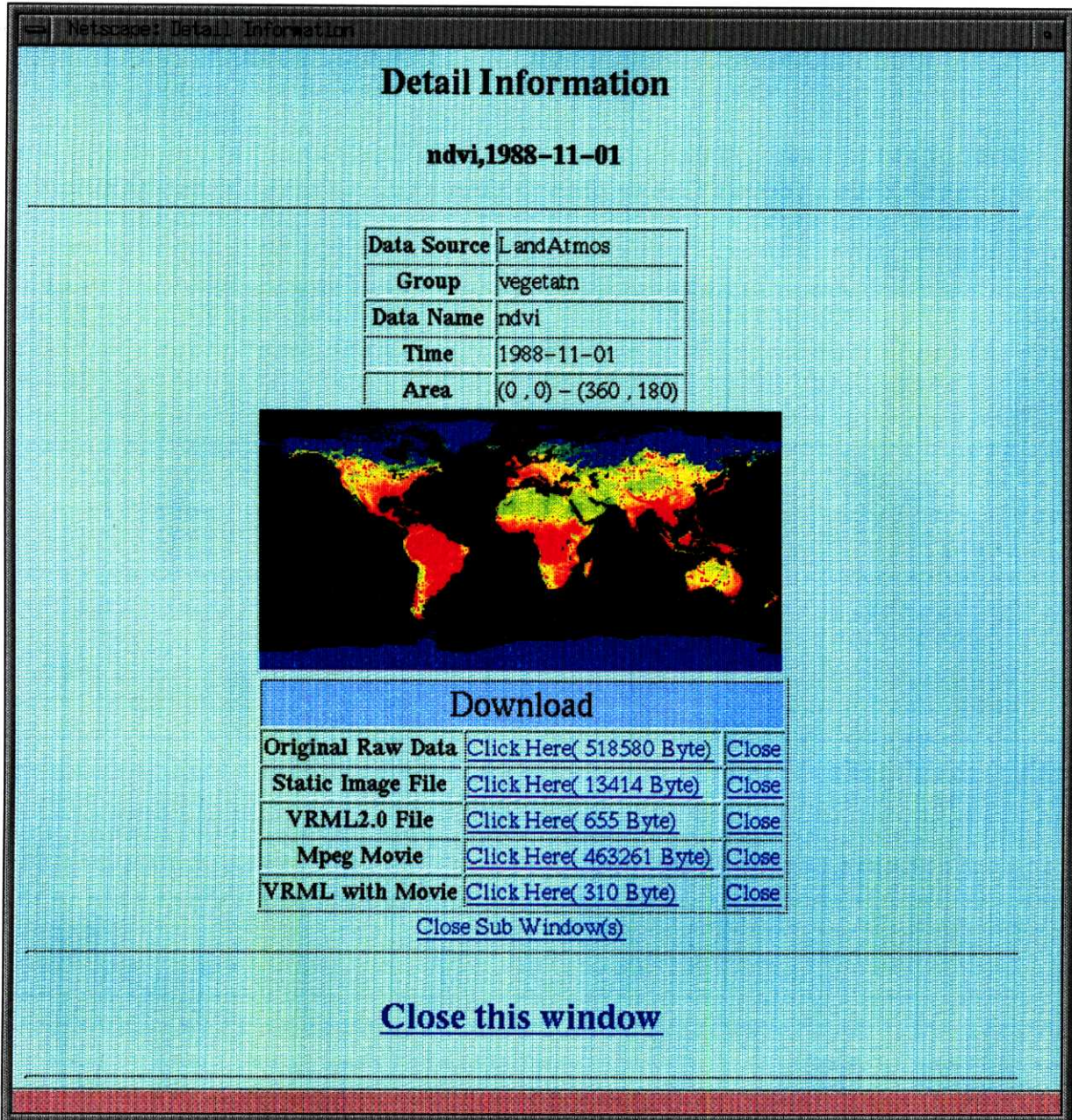
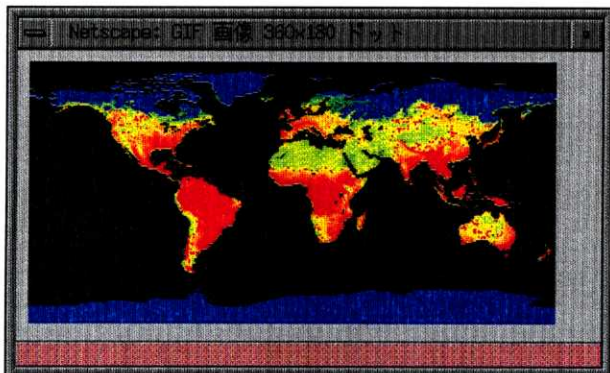


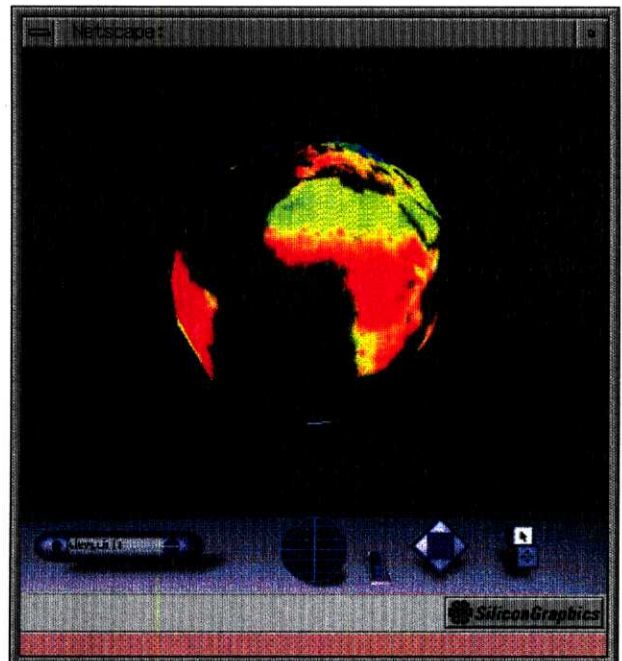
図 4.15: 詳細表示ウィンドウ

ファイル	編集	表示	ジャンプ	Communicator	ヘルプ			
500	0.381	0.314	0.424	0.395	0.416	0.320	0.398	0
488	0.400	0.344	0.400	0.459	0.438	0.363	0.375	0
404	0.373	0.404	0.420	0.465	0.396	0.395	0.385	0
406	0.373	0.406	0.402	0.424	0.385	0.416	0.373	0
420	0.410	0.422	0.416	0.322	0.328	0.330	0.389	0
422	0.400	0.377	0.402	0.322	0.256	0.355	0.354	0
377	0.318	0.305	0.357	0.377	0.273	0.379	0.324	0
330	0.355	0.357	0.314	0.377	0.336	0.342	0.324	0
363	0.348	0.357	0.346	0.346	0.355	0.334	0.354	0
414	0.365	0.354	0.354	0.352	0.385	0.369	0.342	0
430	0.369	0.357	0.379	0.396	0.406	0.404	0.375	0
439	0.387	0.346	0.416	0.416	0.410	0.422	0.426	0
387	0.398	0.447	0.420	0.449	0.449	0.400	0.455	0
408	0.477	0.457	0.480	0.498	0.510	0.000	0.000	0
496	0.521	0.473	0.449	0.477	0.000	0.000	0.000	0
508	0.568	0.543	0.521	0.490	0.000	0.000	0.000	0
463	0.537	0.555	0.541	0.508	0.000	0.000	0.000	0
455	0.531	0.539	0.510	0.488	0.000	0.000	0.000	0
514	0.502	0.523	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
496	0.340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0

(a) 原データ



(b) 詳細画像表示



(c) VRML 視覚化

図 4.16: 詳細表示ウィンドウで提供されるデータ

第 5 章

可視化手法を用いた地球環境データ視覚化 ツールの高度化に関する検討

前章で述べた検索インターフェースによって検索および一覧表示された地球環境データを対象とし、本研究では VRML など最新の視覚化手法を適用し、地球環境データのもつ特徴的な性質を有効に利用した視覚化ツールの開発を行った。

本研究では、地球環境データの持つ特徴のうち次の点に着目した。

1. 高度や深度など、3次元空間を示す値を持つデータが存在
2. 異なったデータ間に相関性が存在し、その対比が重要
3. 多くのデータが時系列連続性を持つ
4. 時間的に頻度が高い、あるいは空間的に解像度が高いためにデータ量が膨大

これらの点を考慮し、以下に述べる視覚化手法の提案と可視化ツールの開発を行い、Web上の構築を行った検索インターフェース上への実装および大規模な VR 可視化施設への実装を行った。

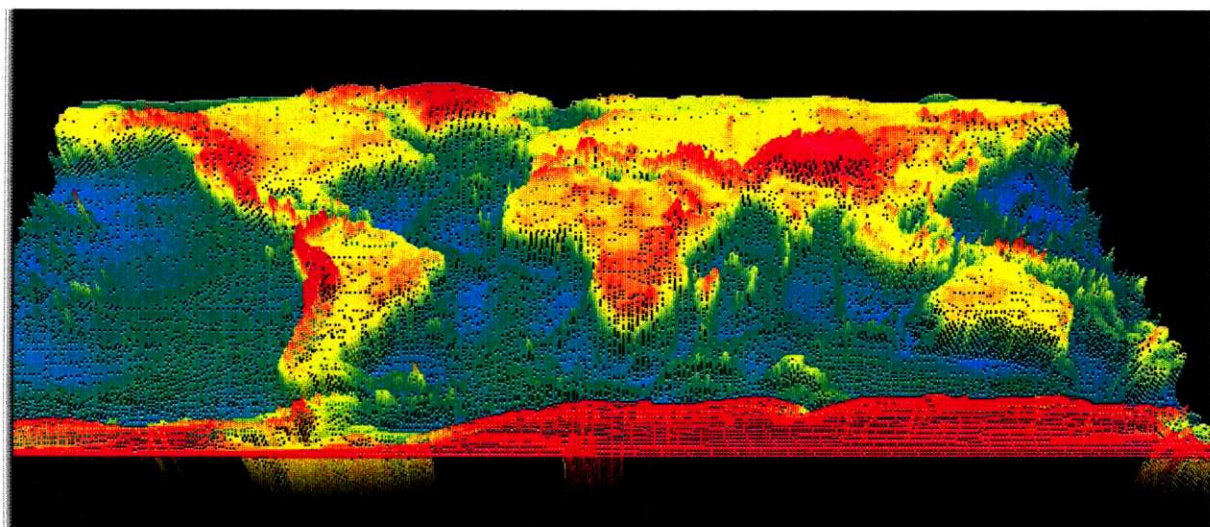


図 5.1: 3D マップ

5.1 データの 3 次元視覚化

第 1 点目の特徴として、データそのものが 3 次元情報を示すものが含まれる点がある。ETOPO5¹ や GTOPO30²などに含まれる標高データや海の深度を示すデータの場合、3 次元的な視覚化は非常に有効である。

そこで、一般の Web ブラウザで容易に 3 次元表示が可能な VRML を用いることにより、図 5.1 に示すような標高・深度を持つ 3 次元地図上へのデータ視覚化を行った。また、衛星画像における雲高度のように、前処理によって高さ方向の情報が算出可能なデータに関して、同様に高度情報を算出後 3 次元可視化を試みた (図 5.2)。高度情報を VRML を用いて 3 次元的に表現することにより、一般的な 2 次元画像でのデータ表示に比べ、より現実的な現象分析に有効な視覚化を実現した。

さらに、第 2 点目の特徴であるデータ間の相関性の存在についても、VRML を用いた視覚化手法の検討を行った。一般的な 2 次元表示では、地図上のある点に対する情報の表示とし

¹ETOPO5: 米 NGDC が公開している 5 分メッシュの陸海域高度データ

²GTOPO30: 米 EROS データセンターが公開している 30 秒メッシュの陸域標高データ

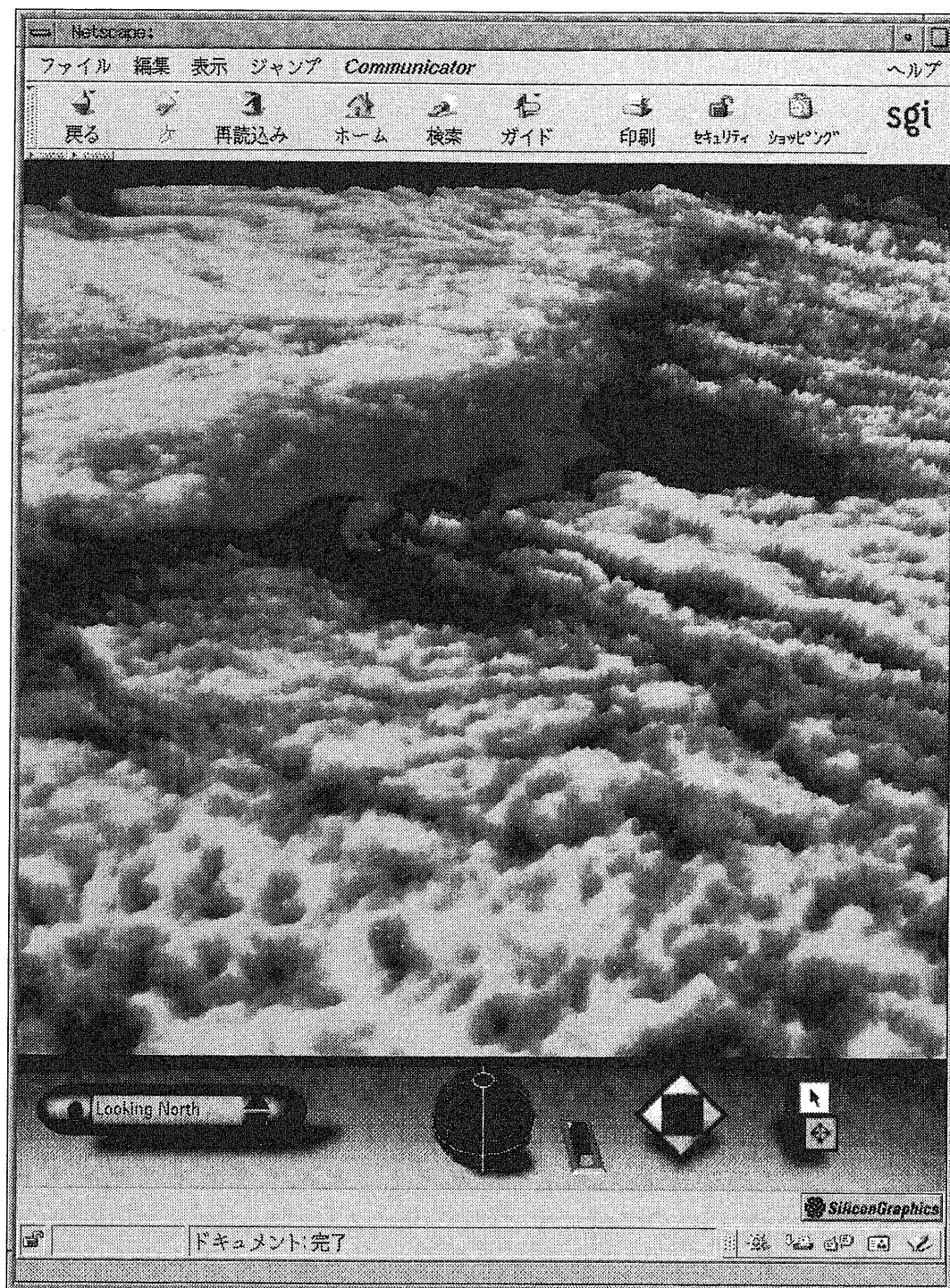


図 5.2: GMS データの 3 次元可視化

て色情報を用いているが、VRML 空間中ではさらにその点に高さに相当する情報を表現することが可能である。即ち、地図上の1点に対して2つの情報、ある情報を色で示した平面的な画像に別のデータを高さ情報として与えることにより、複数のデータの観察とその相関性の分析に有用な視覚化を試みた(図5.3)。

また、VRML 空間中において、複数の球面にマッピングを行ったデータを図5.4のように並べて配置することにより、任意の視点から観察した相関性の認識が容易に実現された。

これらの VRML による視覚化手法に前述の時系列アニメーション手法を組み合わせ、3次元表示のアニメーション可視化も試みたところ、より効果的な動的变化の観測を行うことができた。

5.2 時系列データの視覚化

第3点目の特徴として、地球環境データにおいては取得されるデータそのものが時系列属性を持つ場合が多いため、画像を連続的に表示するアニメーションを利用することはその動的变化の把握に非常に有効である。

そこで、検索によって得られたデータに対し、各静止画像を連続表示したアニメーションを生成・表示するツールの試作を行った。その際、ユーザがそのアニメーションに対して、時間範囲および空間範囲に加え、以下の条件を設定することを可能とした。

- 時間解像度
- 空間解像度
- 動画フォーマット
- MPEG 圧縮率

時間解像度で単位時間あたりに表示するフレームの枚数を決定し、空間解像度で画素の精密度を決定する。動画フォーマットの条件は MPEG, アニメーション GIF, Java Applet からの選択を可能とし、MPEG を選択した場合にはその圧縮率の指定を可能とした。

現状のシステムにおいても、時系列アニメーションを提供するものは存在するが、データ提供元で事前に作成された動画のみ利用可能な場合が多い。しかし、各ネットワーク要素の処理能力は均質なものではなく、端末の CPU 能力、中間に介在するルータの能力によっては

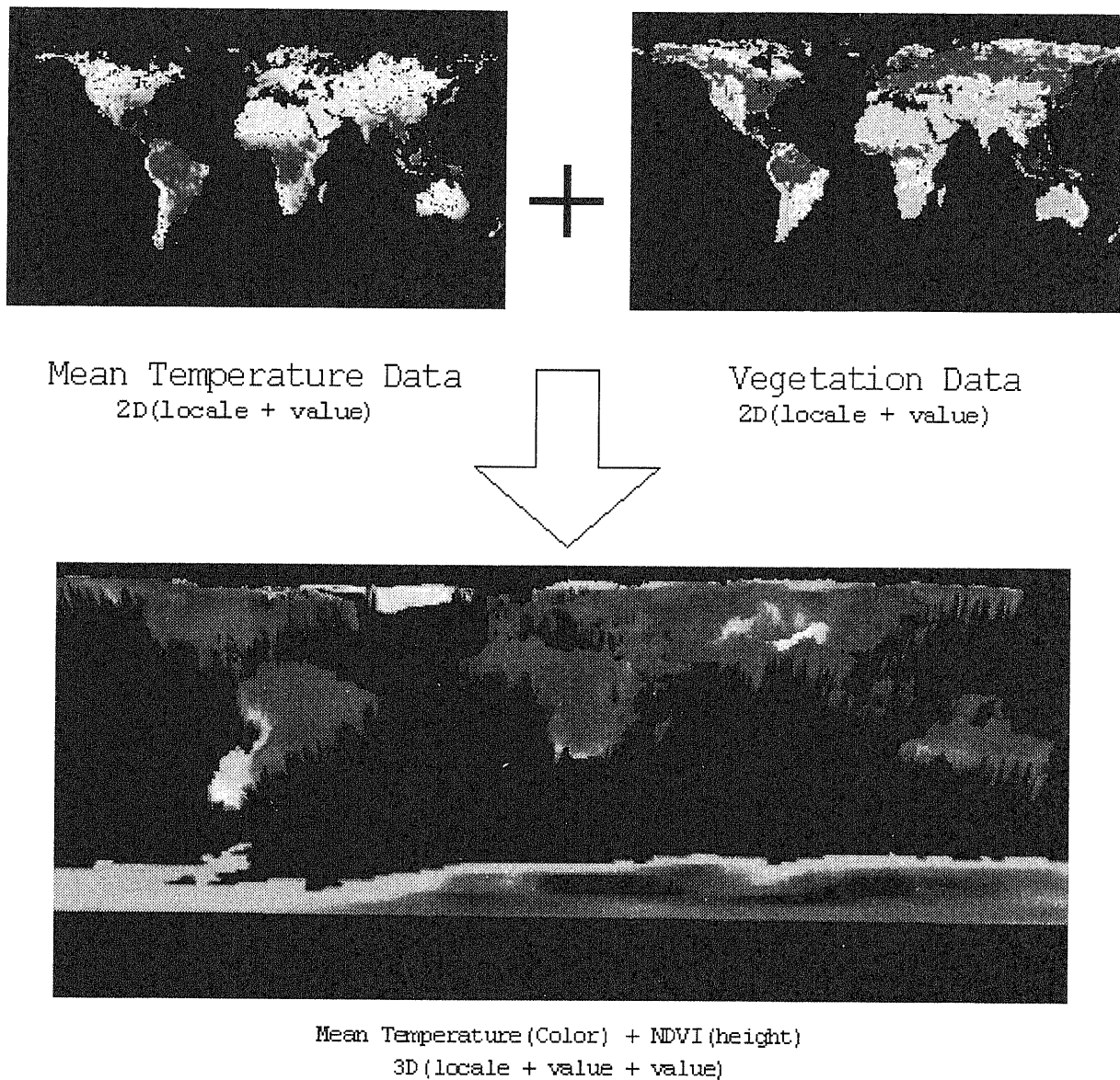


図 5.3: 複数データのを重ね合わせた表示

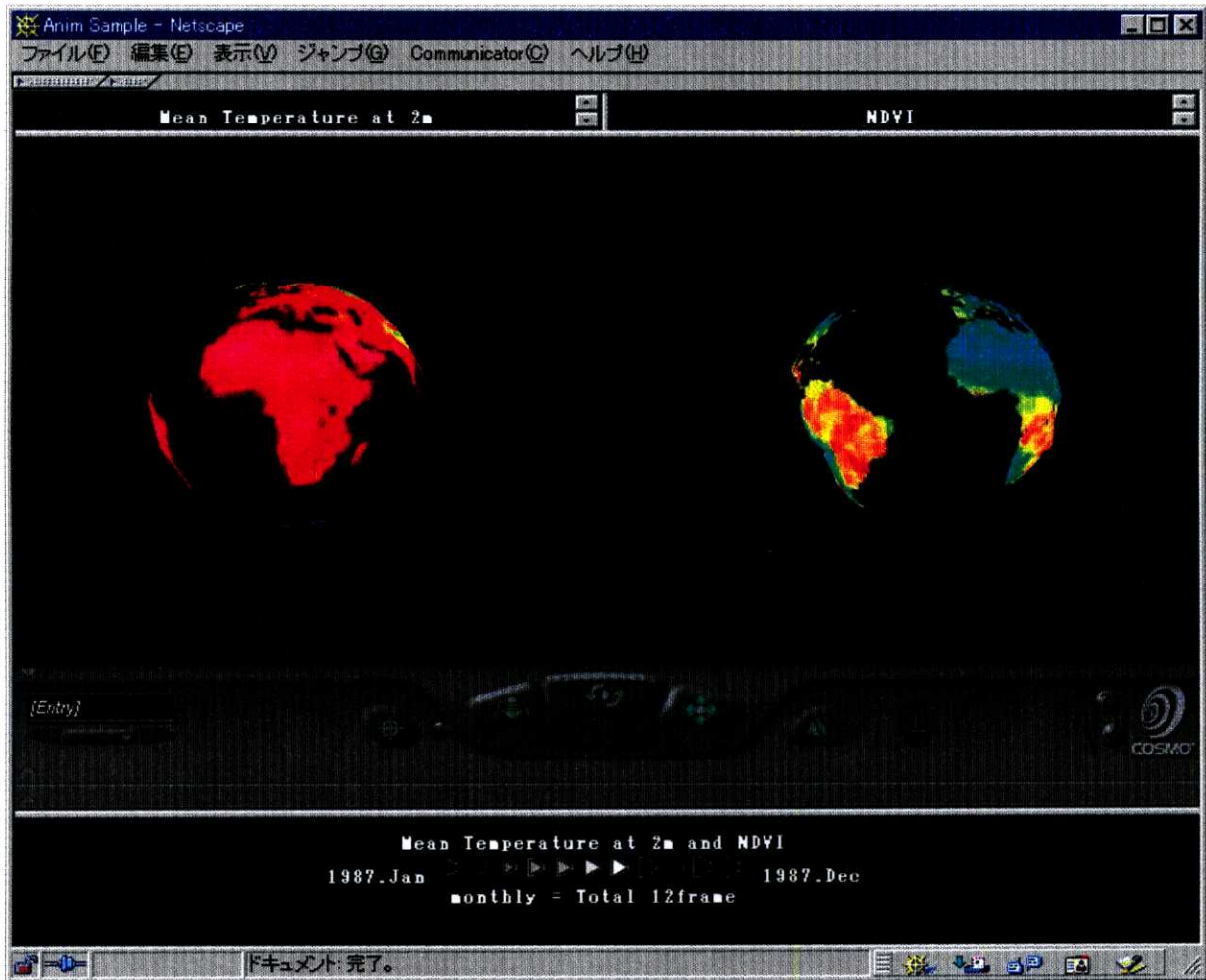


図 5.4: 2つの VRML 可視化データを並べた表示

送信側の情報をスケーリングする必要があると言える。本ツールはユーザ側の条件に応じたアニメーションを動的に作成するため、ユーザの用途や利用環境に適したメディアスケーリングを実現している。

5.3 大容量データの視覚化

第4点目の特徴として、地球環境データは時間あるいは空間解像度の高さによっては非常に大容量になる点がある。ネットワークコストの高価な現在のインターネット環境では、大容量になりがちな高解像度のデータを視覚化したデータを受信できる環境は限られているため、現状のシステムでは低解像度や非常に狭い範囲での画像のみの提供を行っているケースがほとんどである。

そこで本研究では、通常の数値形式や2次元画像の表示に加え、LOD (Levels of Detail) 制御技術を採用し、動的なメディアスケーリングを可能とした時系列アニメーションおよびVRMLを用いた視覚化システムの実装を試みた。即ち、LODの制御によるメディアスケーリングを空間および時間軸に対して用いることにより、狭帯域な伝送路を有効に利用している。

ユーザとオブジェクトとの距離により表示する画像の解像度を変化させる空間LOD制御を用いることは、衛星画像データのような巨大なファイルには非常に有効な手法である。本研究では図5.5に示すように、VRML空間中において雲頂高度を3次元可視化したGMSデータを対象とし、ユーザとオブジェクトの距離に応じ、段階的に接近したエリアのみ高精細なデータを視覚化する実験を行った。

本手法を用いることにより、オブジェクトとの距離が近づくにつれて視点の中心部は解像度が上がるが、その周辺のデータは送信を行わないため、データ転送量の増加を抑えつつ詳細な画像の視覚化が可能となった。

また本研究では、この距離におけるLOD制御を用いた手法に加え、オブジェクトの形状の複雑さに起因するポリゴン数に応じたLOD制御を用いた手法の検討も行った。この場合、複雑な形状を持つ領域はより近接しない限り詳細なデータは表示されず、単調な形状の領域はオブジェクトとの距離が遠い場合でも高精細なデータが表示される。VRMLなど3次元可視化手法の場合、転送時間を遅延させる原因であるファイルサイズはこのポリゴン数に依るところが大きいため、ユーザにとってのレスポンスの改善には非常に有効である。地球環

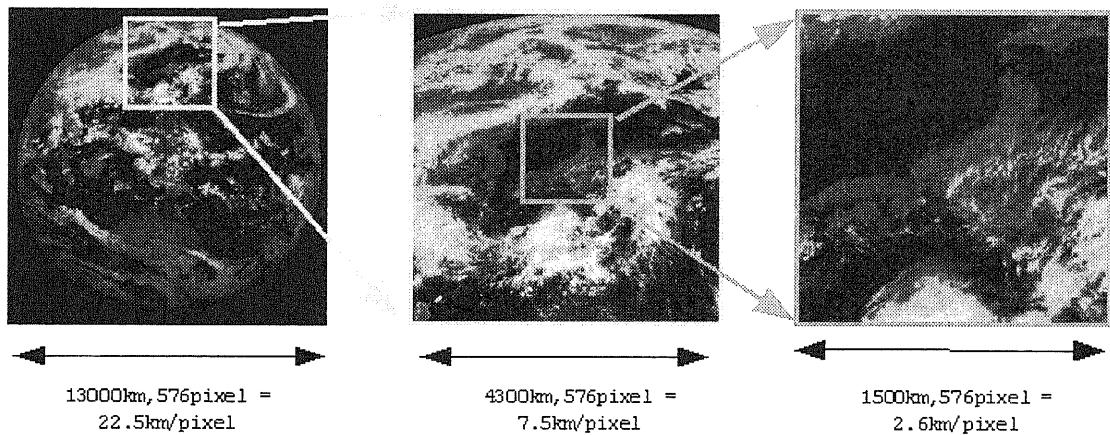
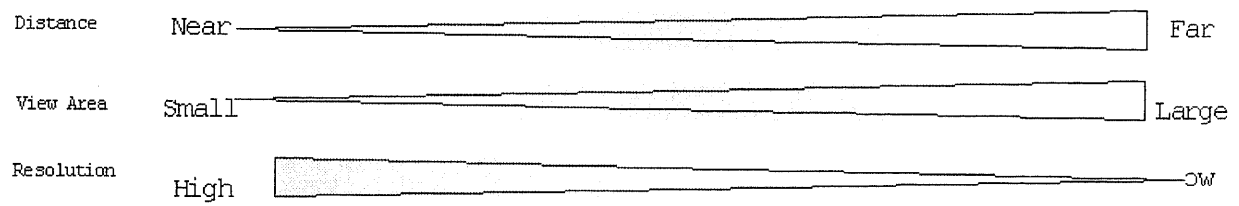


図 5.5: 空間 LOD 制御を用いたメディアスケージングの例

境データの場合、データによっては海域における値の変化量は陸域に比較すると大幅に小さいなど、同一データ中にも領域によってその形状の複雑さには大きな違いがあるため、ポリゴン数による LOD 制御を用いた手法は効果が大きいことを実証した。

さらに、上述のアニメーションファイルのメディアスケーリング手法として、時間的な LOD 制御を用いた手法の検討を行った。

図 5.6 に示すように、長期間に渡るアニメーションを送信する際には、最初はその単位時間あたりのフレーム数を大幅に減少させたデータの送信を行う。次に、ユーザが関心を持つ時間域を指定させ、その時間域のみを抽出し、フレーム数を増加させフレーム間隔を短くしたデータを動的に作成し送信を行う。この処理を繰り返し行うことにより、高フレーム数なデータのうち関心の高い時間域のみを送信することが実現された。

これらの手法は、関心の低い空間領域あるいは時間領域の送信を極力減少させることで通信量の削減を行い、ユーザにとっての大幅なレスポンスの改善が実現された。しかし、単位時間あたりの送信量が制限された場合に、空間的解像度および時間的解像度のいずれを適応的にスケーリングを行うべきかについては、そのデータの空間的あるいは時間的な変化状況などを考慮した検討が必要である。

5.4 大規模な可視化設備を用いた手法の検討

本研究では、一般の PC やワークステーションなどを対象とした可視化手法の検討に加え、より大規模な視覚化システムを対象とした手法の検討も行った。実験には東大生産技術研究所で所有している、表 5.1 の機器で構成される VR ドーム (図 5.7) を利用した。

本設備は 3 パイプ構成のサーバで運用されているため、各ノードに内蔵された 3 枚のビデオカードに接続されている 3 台のプロジェクターがスクリーンに投影を行っている。この 3 つの出力画像に対し、ソフト的に境界を接合することで、巨大な 1 枚のスクリーンとしての利用も可能な設備である。

PC やワークステーションでの利用を前提とせず、本研究で利用した VR ドームのような設備を用いた視覚化の場合には、専用の機器が存在する場所以外での利用が不可能であるという欠点もあるが、以下のような利点がある。

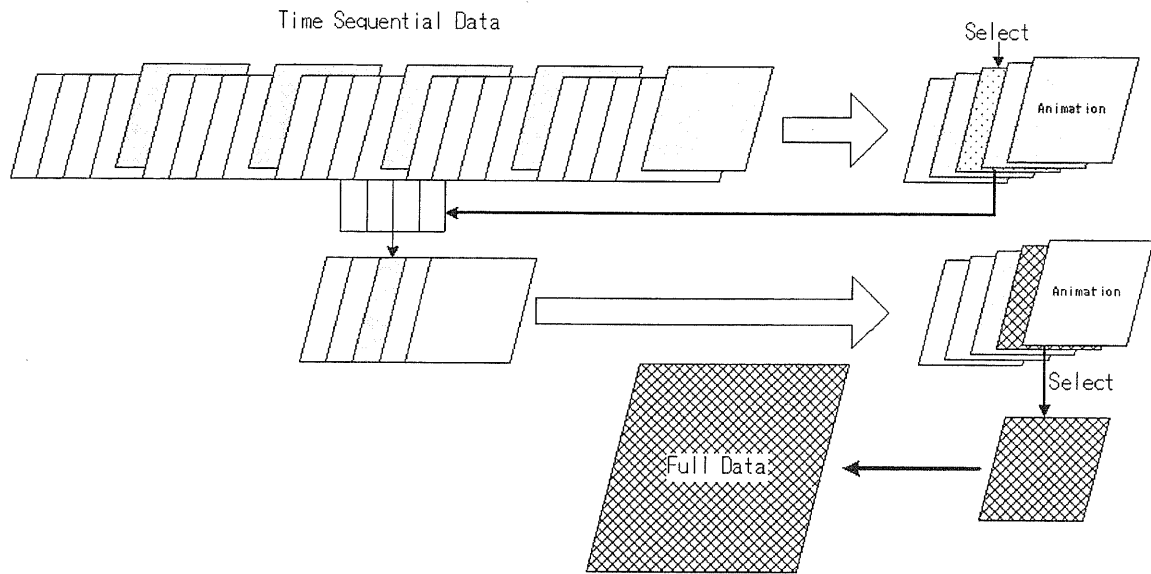


図 5.6: 時間 LOD 制御手法

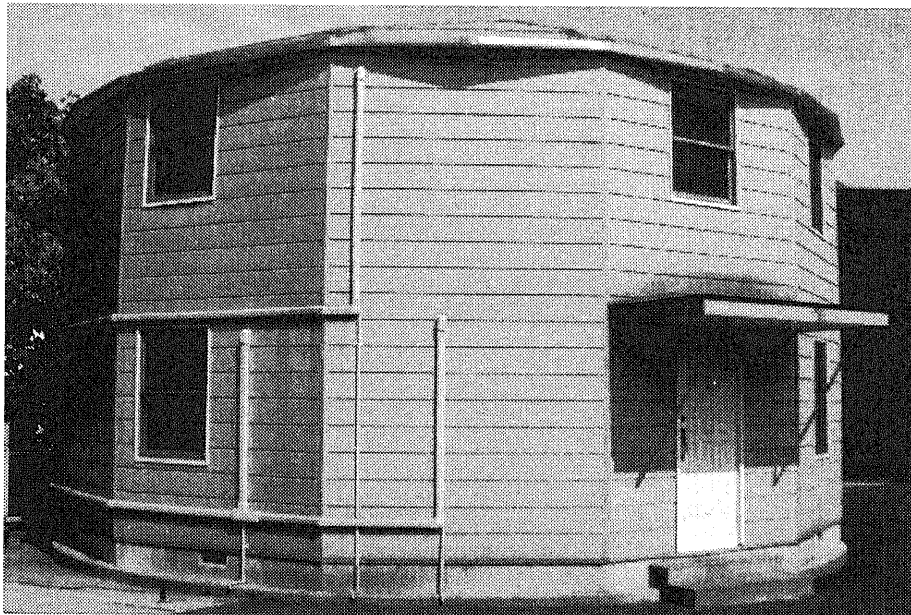


図 5.7: VR ドーム

サーバ	SGI Onyx2 InfiniteReality 3-PIPE (R10000 CPU x 4, 512M メインメモリ, 64M テクスチャメモリ)
プロジェクタ	BARCO 3D 対応 GRAPHICS プロジェクタ 1209s(2500 x 2000) x 3
スクリーン	シリンダリカルスクリーン (R3500mm, 水平 =150 度, 高さ 2500mm)
入力デバイス	位置測位センサ, JOY STICK
視覚化デバイス	StereoGraphics 社製 液晶シャッターメガネ Crystal EYES

表 5.1: VR ドームの諸源

- 表示画面が大きいため, PC やワークステーションのディスプレイに比べ同時に表示可能な情報量が大きい
- 複数のユーザが同時に閲覧可能
- 通常は問題となるユーザ側の PC やワークステーションの計算機性能による制限がなく, サーバの持つ能力を最大限利用が可能

本設備を地球環境デジタルライブラリのインターフェースとして利用する場合, これらの点を考慮に入れた利用手法としては次のような例が考えられる.

1. 複数のウィンドウが同時に表示可能な点を利用し, 検索や閲覧などを同時に表示しながらの利用
2. 液晶シャッターメガネなどの高度な 3 次元視覚化装置を利用した, より現実的な 3 次元可視化手法の適用
3. サイバークローブや位置測位センサなどを用い, キーボードやマウスでは困難であるような仮想空間中のブラウジング

本研究ではその第 1 段階として, Web 上に実装を行ったインターフェースシステムをベースとし, VR ドーム上で 3 画面を用いた試作システムの実装を行った.

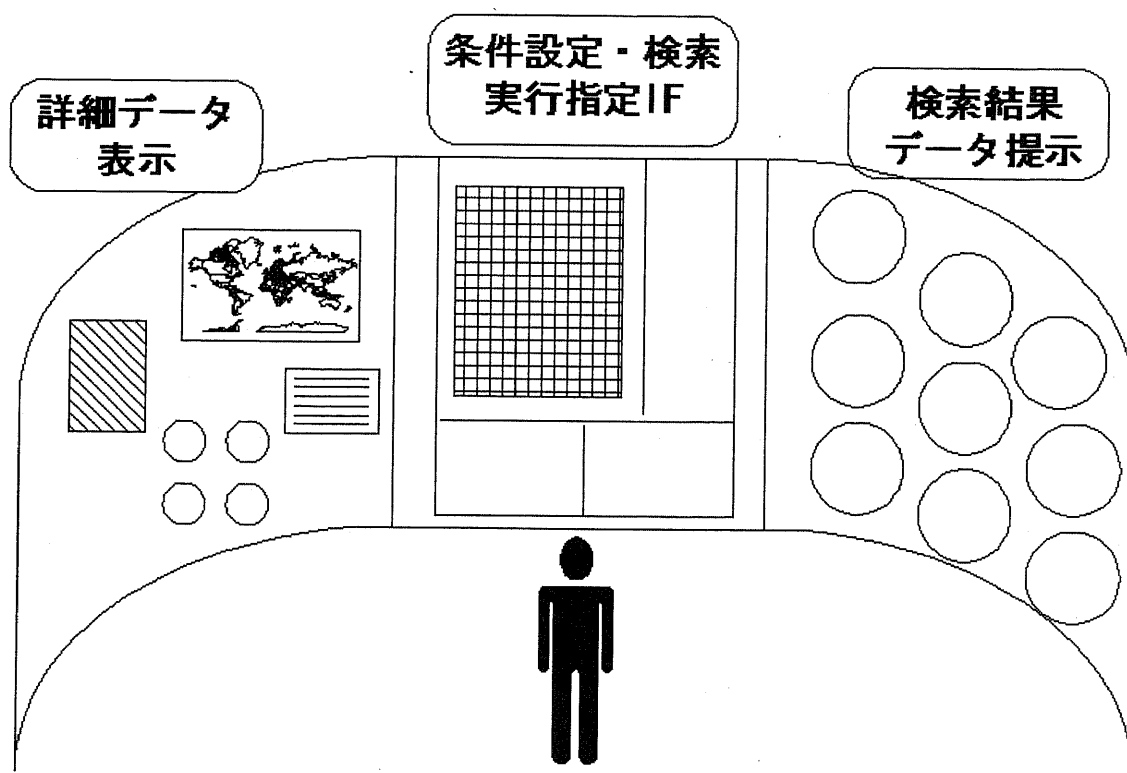


図 5.8: 3枚のスクリーンを用いたインターフェース配置

図 5.8のような構造で中央にデータ検索ウィンドウを配置し、右側にその結果閲覧ウィンドウ、左側に詳細データ表示ウィンドウを配置している。このように配置することにより、ユーザは従来の画像によるデータ一覧を行いながらの検索に加え、右エリアによる VR 空間中のブラウジングを行いながらの検索や、左エリアにおける個別データの詳細な内容を確認しながらの検索が容易に実現された(図 5.9)。

また、図 5.10に示すように、3画面をすべて VRML 空間表示用に用いることで、各ウィンドウ個別ごとに別々の視点からの同一オブジェクト閲覧や、同種データの異なった形式での視覚化表示などを実現した。



図 5.9: 実装例

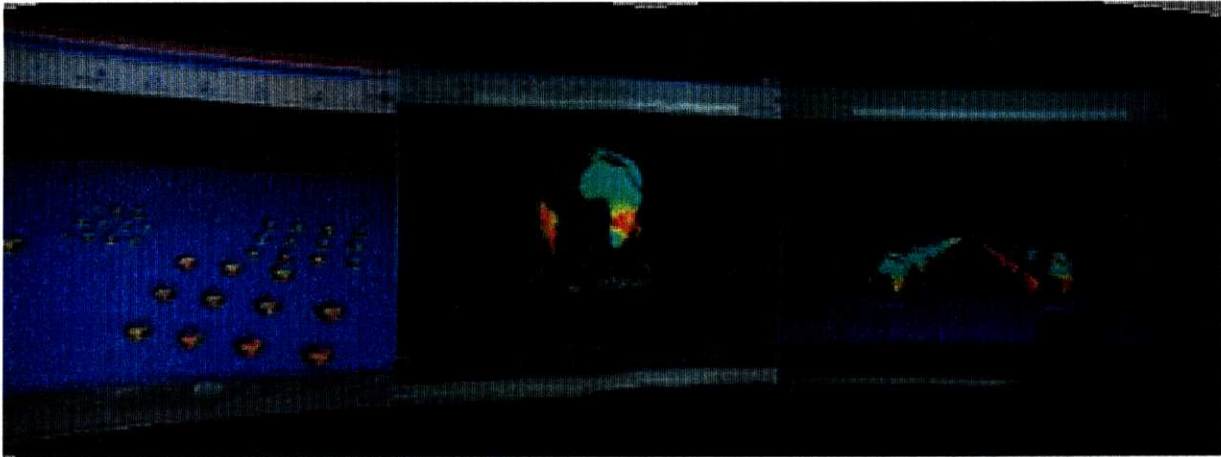


図 5.10: 複数の VR 空間を使ったインターフェース

第 6 章

アプリケーションとの連携: SiB2 ワークベンチの開発

本研究で対象としている地球環境デジタルライブラリの最も典型的な利用形態として、水文、植生、土壌など地球環境に関する大規模なシミュレーションを行うアプリケーションへの利用が挙げられる。これらのアプリケーションの多くは、より現実的な状況を表現するため、幅広い分野のフォーシングデータを必要とする。しかし、現在利用可能な多くのデジタルライブラリは、各データ個別での取得および閲覧を前提として設計されているため、その利用の際には各データを手作業で1つずつ取得・加工し利用しているのが現状である。

本研究で構築したデジタルライブラリは、汎用的な SQL を用いてデータベースとの通信を行っているため、さまざまなインターフェースを容易に実装が可能になっている。そこで、本デジタルライブラリが外部アプリケーションとも柔軟な連携が可能な点を利用し、両者を連携させたワークベンチの開発を行った。地球環境デジタルライブラリと連携を行うことで、アプリケーションで必要とされるデータは、ユーザが意識することなくデータベースから渡され、ユーザはそのアプリケーション実行時に必要なパラメータ等の入力のみで実行が可能となる。

また、入力データに加え、出力結果や実行時のユーザによるパラメータ設定などの情報もすべてデータベースに格納し利用することで、ユーザの操作性を考慮したグラフィカルユーザインターフェースの実装も同時に行った。

本研究では大規模地球環境シミュレーションアプリケーションの一例として、現在気象・水文分野で非常に多く用いられており、地球規模の諸現象を予測可能な現在もっとも進んだモデルとされる SiB2 (SimpleBiosphere Model 2)[22] を対象とした。また、本ワークベンチの有効性を実証するため、地球環境工学分野の研究者と共同で実際に比較的複雑な LSM パラメータの鋭敏性の検討について、本ワークベンチを用いた実験を行った結果を付録 A に示す。

6.1 陸面植生モデル SiB2

LSM は、水収支のみを考慮したモデル、植生による物理的効果を考慮した Biophysical モデル、そして植生の生理学的作用も含めた Biochemical モデルの 3 つに大きく分けることができる [23]。Bucket モデル [24] は 1960 年代に開発されたもので、単純でありながらもパラメータが極めて少ないため良く使われてきた。しかし、植物被覆面の特徴が無視されているという問題がある。Biophysical モデルは 1980 年代に開発されたもので植物被覆面を表すための単純なスキームが含まれており、Sellers ら [25] によって開発された Simple Biosphere Model (SiB) もここに含まれる。SiB は Bucket モデルに比べて植物被覆面の熱フラックスがより現実に表現されるため、GCM に SiB を結合した結果、Bucket モデルを使用した場合に比べてより高い精度で地球規模の諸現象を予測することができるようになったとされる [26]。

SiB2 [27] の様な Biochemical モデルでは、植物群落による二酸化炭素と水の伝達過程をより適切に表現するため光合成や気孔コンダクタンスがモデル化され、これによって植物群落による二酸化炭素の吸収量が予測できる様になり、より信頼性の高い温暖化予測実験が可能となった [28]。また、植生の季節変化を考慮するため、SiB2 では人工衛星データから得られる正規化植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) をモデル内で利用する様に構成されていて、LSM としての信頼性がより高められた [29][30]。

このように SiB2 は現在 LSM としては最も進んだモデルの一つであり、かつ SiB2 の 1 次元版に関してはソースコードが公開されている。そこで、本研究で開発する陸面植生水文モデルワークベンチの LSM としては SiB2 を用いることとした。

6.2 SiB2 ワークベンチの設計指針

上述のように LSM としては非常に高い信頼性を持つ SiB2 であるが、種々のパラメータの導入の結果、その駆動は極めて複雑になり、旧来の Fortran プログラムによるシミュレーション環境では極めて操作性が悪く、その利用の大きな阻害要因となりつつある。

SiB2 は入力パラメータとして植生、土壌、太陽高度など初期値となる約 80 種類の値と、radiation や heat flux など表 6.1 に示す 12 種類の時系列データを必要とし、実行後は表 6.2 に示す 5 つのファイルに分けて合計 38 種類の時系列データを生成する。

しかし、利用に際しては、1986 年に発表された SiB([?]) を元にした単調なプログラム構成になっており、その実行はこれらのデータを利用し次のような操作を CUI ベースで行う必要がある。

1. 初期パラメータ設定
2. 入力データの取得
3. SiB2 の実行
4. 結果の出力

初期パラメータの設定はテキストファイルの直接編集が必要とされ、入力データは既定のファイル名で SiB2 実行ファイルと同一のディレクトリに置く必要がある。実行後の結果も表 6.2 の各値が時系列に並べられたテキストファイルで出力され、その内容の把握にはさらに別の処理を行うケースが多い。一般的には、ある地点においてある時期に収集された表 6.1 に示すデータを入力値とし、シミュレーション初期値をさまざまに変更を行い、最適な結果の生成が行えるパラメータセットの導出を行うような利用が行われている。

そこで本ワークベンチの実装に際し、パラメータ設定部、SiB2 実行部、結果視覚化部の各段階ごとに問題点の検討を行うとともに、それぞれに対し解決を試みた。すなわち、複雑な SiB2 プログラムに習熟していないユーザにも容易に利用可能な操作性をユーザインターフェースに実装すると共に、容易な操作でシミュレーション結果の効果的な視覚化が可能な機能を提供することを目標とした。

さらに、本研究で開発した地球環境デジタルライブラリとの密な連携を可能とするシステムとし、初期値入力や結果出力の一括した管理を目指した。

カラム	変数名	内容 (単位)
1	iqcaes	data quality index
2	swdown	downward short wave($W m^{-2}$)
3	rnetm	measured net radiation($W m^{-2}$)
4	zlwd	downward long wave($W m^{-2}$)
5	em	mixed layer vapor pressure(mb)
6	tm	mixed layer temperature(K)
7	um	mixed layer wind speed($m s^{-1}$)
8	tprec	precipitation(mm)
9	iqchyd	data quality index
10	mevap	latent heat flux($W m^{-2}$)
11	msensh	sensible heat flux($W m^{-2}$)
12	mustar	friction speed($m s^{-1}$)

表 6.1: SiB2 入力データ

ファイル名	含まれるデータ
fort.35	www1 www2 www3 ppl
fort.38	roff trant canil evapg etmass ppl
fort.42	tc tw tg td tm tgeff capac1 capac2 snoww1 snoww2
fort.45	radn zlwup radswd radswa radtot elat hflux gstor shf1 whf1
fort.48	Tair Tsoil Twater IRT pF1 pF2 pF3 vcover

表 6.2: SiB2 出力データ

6.3 Web 上でのワークベンチ実装

本研究では前節で述べた設計指針に基づき、地球環境デジタルライブラリと連携し、パラメータ設定から結果表示まで一貫して Web インターフェースを用いたユーザインターフェースを有するワークベンチ SiB2 on Web(図 6.1) を構築し、以下の URL で Web 上に公開した。

<http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp:8080/DV/sib2/>

本ワークベンチは図 6.2 のような操作画面で利用可能であり、以下に各部における問題点の明確化と本ワークベンチに於いて実装した各機能の特徴について述べる。

6.3.1 パラメータ設定部

- 入力インターフェース

SiB2 を実行する際には、表 6.3 に示される約 80 種類のパラメータ値を含むテキストファイルが必要となる。ファイル中の各数値は厳密にその順序が規定されており、利用者はマニュアルにある各パラメータの内容とその位置を確認しながらテキストエディタなどで編集を行っているのが現状である。また、表 6.1 に示す 12 種類の時系列入力データに関しても同様であり、特にそのシミュレーション時間が長期に渡る場合は時系列データの量は膨大となり、パラメータならびに時系列データの準備はユーザにとって大きな負担となっている。

そこで本ワークベンチでは、Web 上で入力可能なインターフェースを開発を行った。本インターフェースでは入力パラメータを表 6.5、表 6.6 に示すのようにその内容から植生関連、土壌関連、その他の 3 つに分類し、簡単なマウス操作でページを切り替えながらその内容とともに示される関心のあるパラメータを探すことを可能とした。ユーザは [22] で発表された表 6.7 に示される代表的なパラメータセット (植生:10 種、土壌:8 種) の中から任意のものを選択し、必要であればさらに任意のパラメータを修正することが可能である。これは地球環境工学研究者が SiB2 の実際の利用形態を想定してこの様なパラメータ入力が最も妥当と判断したものである。以下の各項目で紹介する様々な機能も同様に地球環境工学研究者との頻繁な意見交換によって実現した。

各パラメータ間には表 6.8 のように、関数として表現される相互関係を持つものもあ

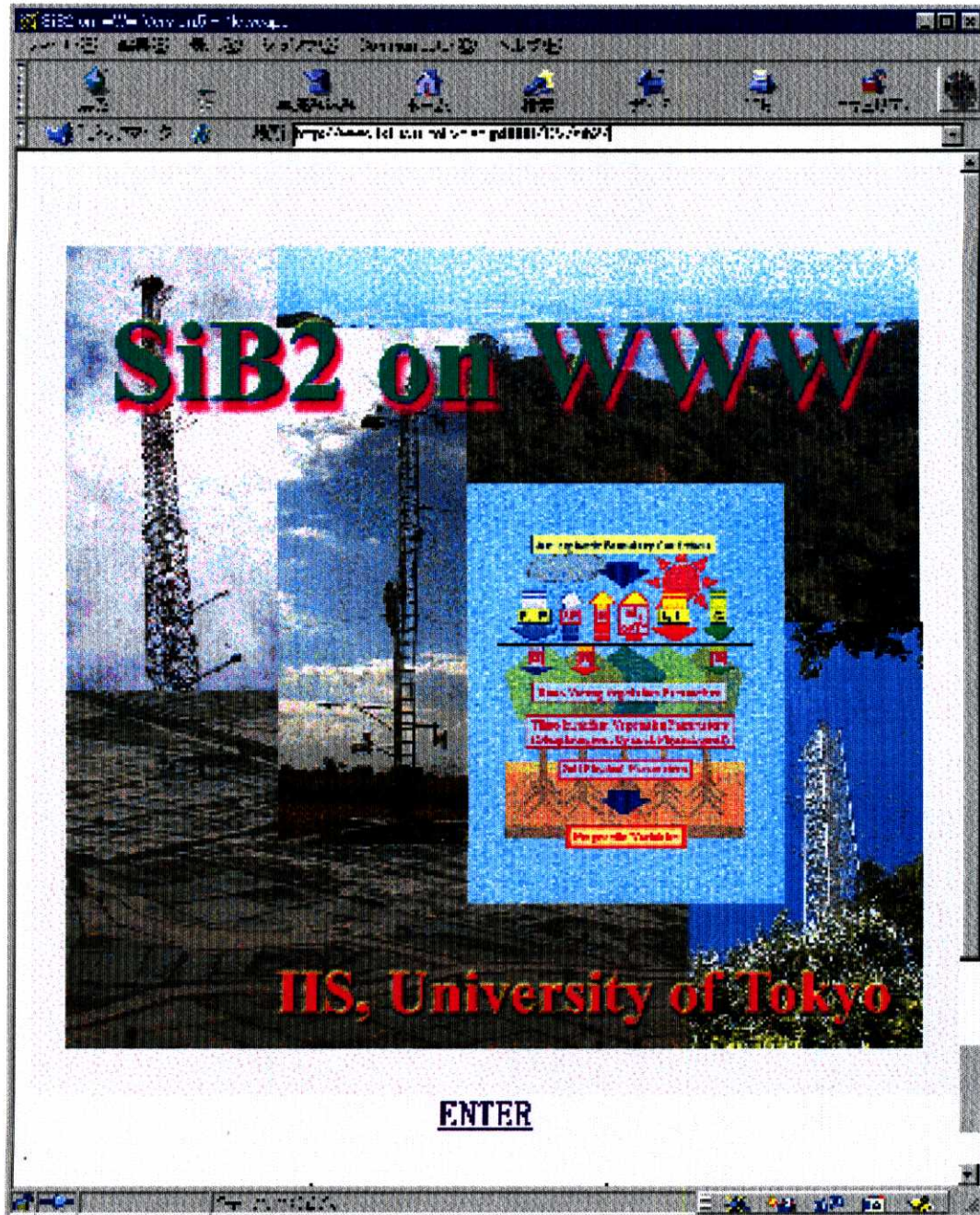


図 6.1: SiB2 on Web トップページ
<http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp:8080/DV/sib2/>

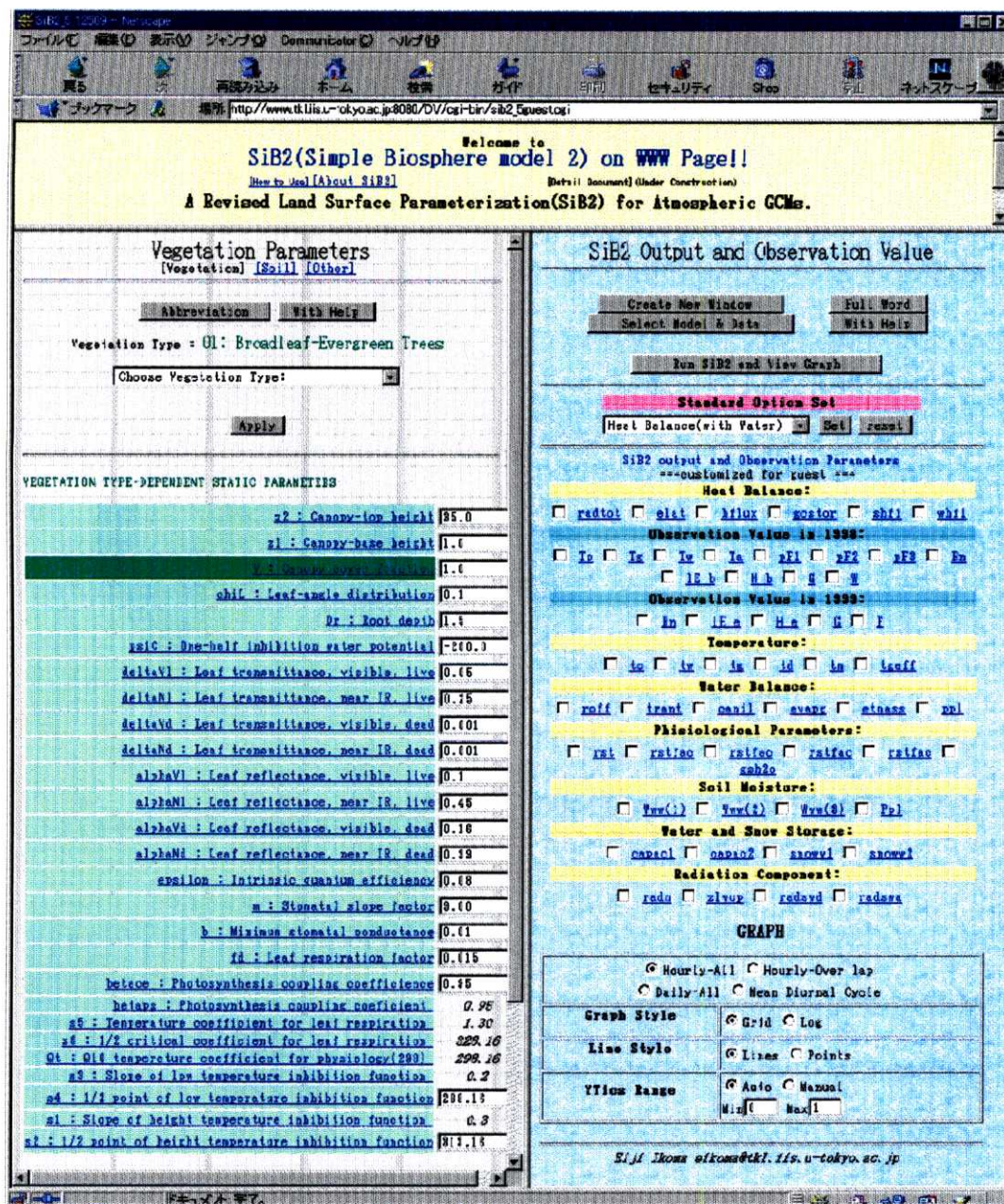


図 6.2: 操作画面

SIB 0-D PARAMETERS FOR TEST RUNS OF SIB-2C (VEGINC) 99.05.26
VEGN. TYPE—————(I,J)
9
VEGN. TYPE-DEPENDENT STATIC PARAMETERS—————(IVTYPE)
1.0 0.1 .98 -0.3
1.0 -200.0
0.0700 0.2500 0.2200 0.3800
0.1050 0.5800 0.3600 0.5800
0.08 9.00 0.01 0.015 0.98 0.95
1.30 328.16 298.16 0.2 281.16 0.3 308.16
SOIL TYPE, SOIL DEPTH, SOIL
REFLECTANCES(VIS,NIR)————(I,J)
5 1.5 0.10 0.15
SOIL TYPE-DEPENDENT STATIC PARAMETERS—————(ISTYPE), No5
8.52 -0.36 2.5E-06 0.48 0.08
VEGN. : PHENOLOGICALLY-VARYING APARC (FROM NDVI)————(I,J,T)
0.999 X 0.601 0.29263
DERIVED OR SECONDARY PARAMETERS—————(I,J,T), 389 barley
0.0001 0.54 0.95 5
0.13 0.64 9.30 278.00
PARAMETERS REQUIRED FOR RASITE OPERATION ONLY
0.111 19.112 0.50 1.449 0.801 0.801 11.785 8.00 8.00
SITE LOCATION, NUMBER OF ITERATIONS, INITIAL CONDITIONS (NON-VEGINC)
3600. 20 3
17.0 100.0 23.5 8 267. 1997. 18264
302.0 304.0 298.0 299.0 299.0 0. 5.5
1.000 1.00 1.00
0.0 0.0 0.0

表 6.3: 初期パラメータ

カラム	変数名	内容 (単位)
1	iqcaes	data quality index
2	swdown	downward short wave(Wm^{-2})
3	rnetm	measured net radiation(Wm^{-2})
4	zlwd	downward long wave(Wm^{-2})
5	em	mixed layer vapor pressure(mb)
6	tm	mixed layer temperature(K)
7	um	mixed layer wind speed(ms^{-1})
8	tprec	precipitation(mm)
9	iqchyd	data quality index
10	mevap	latent heat flux($W m^{-2}$)
11	msensh	sensible heat flux($W m^{-2}$)
12	mustar	friction speed($m s^{-1}$)

表 6.4: SiB2 入力データ

植生関連

略号	データ内容
z2	Canopy-top height
z1	Canopy-base height
V	Canopy-cover fraction
chiL	Leaf-angle distribution
Dr	Root depth
psiC	One-half inhibition water potential
deltaV,l	Leaf transmittance, visible, live
deltaN,l	Leaf transmittance, near IR, live
deltaV,d	Leaf transmittance, visible, dead
deltaN,d	Leaf transmittance, near IR, dead
alphaV,l	Leaf reflectance, visible, live
alphaN,l	Leaf reflectance, near IR, live
alphaV,d	Leaf reflectance, visible, dead
alphaN,d	Leaf reflectance, near IR, dead
epsilon	Intrinsic quantum efficiency
m	Stomatal slope factor
b	Minimum stomatal conductance
fd	Leaf respiration factor
betace	Photosynthesis coupling coefficient
s5	Temperature coefficient for leaf respiration
s6	1/2 critical coefficient for leaf respiration
Qt	Q10 temperature coefficient for physiology
s3	Slope of low temperature inhibition function
s4	1/2 point of low temperature inhibition function
s1	Slope of height temperature inhibition function
s2	1/2 point of height temperature inhibition function
trop	Q10 temperature coefficient for physiology Leaf-angle distribution

表 6.5: SiB2 on Web におけるユーザーが変更可能な植生パラメータ

分類	パラメータ名
土壌関連	soiltype DT asV asN Dw Capa WrefV WrefN B psis ks thetas omegas
その他	Vmax0 gmudmu N z0 d C1 C2 corb1 corb2 ha G1 G2 G3 ztz0 zwind zm dtt itrunk ilw zlat zlong time month day year maxit Tc Tw Tg Td Ta Tm ht qa www1 www2 www3

表 6.6: 土壌およびその他のパラメータ

り, 利用者はその依存関係を理解した上で該当箇所をその都度計算をして入力を行っているのが現状である. 本ワークベンチでは, 相互関係を持つパラメータに関して, ユーザが該当箇所を編集すると関連パラメータを計算する JavaScript をクライアント側に実装し, サーバ側との通信を行うことなく軽快に処理が可能な様にした. 更にユーザ固有の設定傾向に関しては, 後述するパーソナリゼーションにより更なる負担軽減を試みた.

- ヘルプ機能

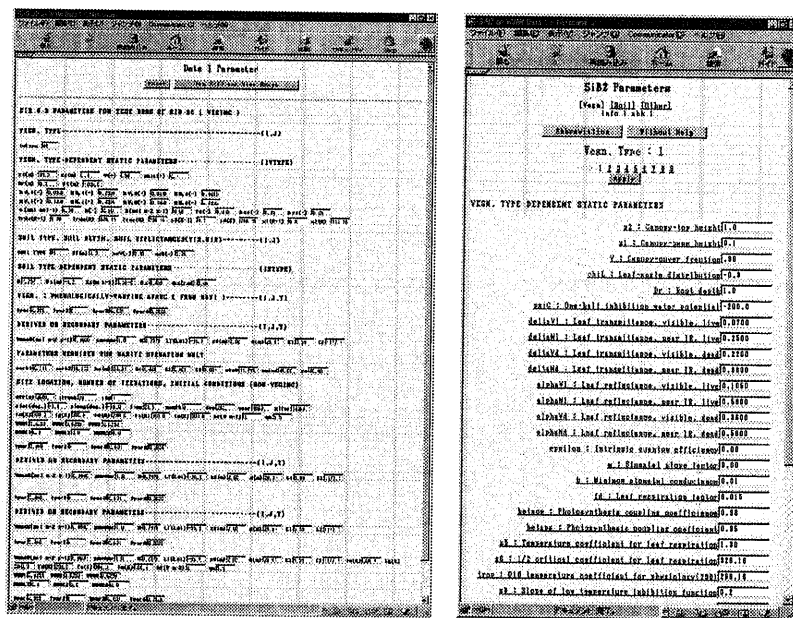
現在の SiB2 におけるパラメータ入力の際には, 多くの場合その変数名は適宜省略された形式で表記されている. SiB2 を頻繁に利用し, そのプログラム中の変数名も含めて十分理解している場合には大きな問題とはならないが, SiB2 の操作に習熟していないユーザには利用に際しての大きな障壁になっている. 本ワークベンチでは, ユーザの熟練度に応じて図 6.3(a) に示すように各パラメータを省略形で示す通常ウィンドウと, 図 6.3(b) に示すようにパラメータ名を省略せずに示す詳細表示ウィンドウの切り替えを可能とした. また, その中間的なレベルのユーザを対象としたポップアップヘルプ機能も実装しており, 省略形で表示されたパラメータの上でしばらくマウスを静止させることで, 別ウィンドウ上にその詳細説明が表示される. 各パラメータ間の物理的・生物的, あるいはモデル的な依存・制約関係については, 関連するパラメータをクリックすることで図 6.4 に示すような相関図が表示される.

植生関連	
分類番号	内容
01	Broadleaf-Evergreen Trees
02	Broadleaf-Deciduous Trees
03	Broadleaf and Needleleaf Trees
04	Needleleaf-Evergreen Trees
05	Needleleaf-Deciduous Trees
06	Short Vegetation / C4 Grassland
07	Broadleaf Shrubs with Bare Soil
08	Dwarf Trees and Shrubs
09	Agriculture / C3 Grassland
10	Manual
土壌関連	
分類番号	内容
01	Sand
02	Sandy Loam
03	Loam
04	Clay Loam → Sandy Clay Loam
05	Clay → Clay Loam
06	Ice
07	Organic
08	Manual

表 6.7: 植生および土壌関連の既定パラメータセット

算出元	算出されるパラメータ
zlat, day, chiL	gmudmu
z1	z0d
z1, z2, fd	dd
z1, z2, fd	ha
z1, z2	beta1
z1, z2, s3	beta2
z1, z2, s4	beta3
z1, z2, fd, b	z0
z1, z2, psiC, Dr	um

表 6.8: 相関関係を持つパラメータ



(a) 通常モード

(b) 詳細表示モード

図 6.3: パラメータ入力ウィンドウ

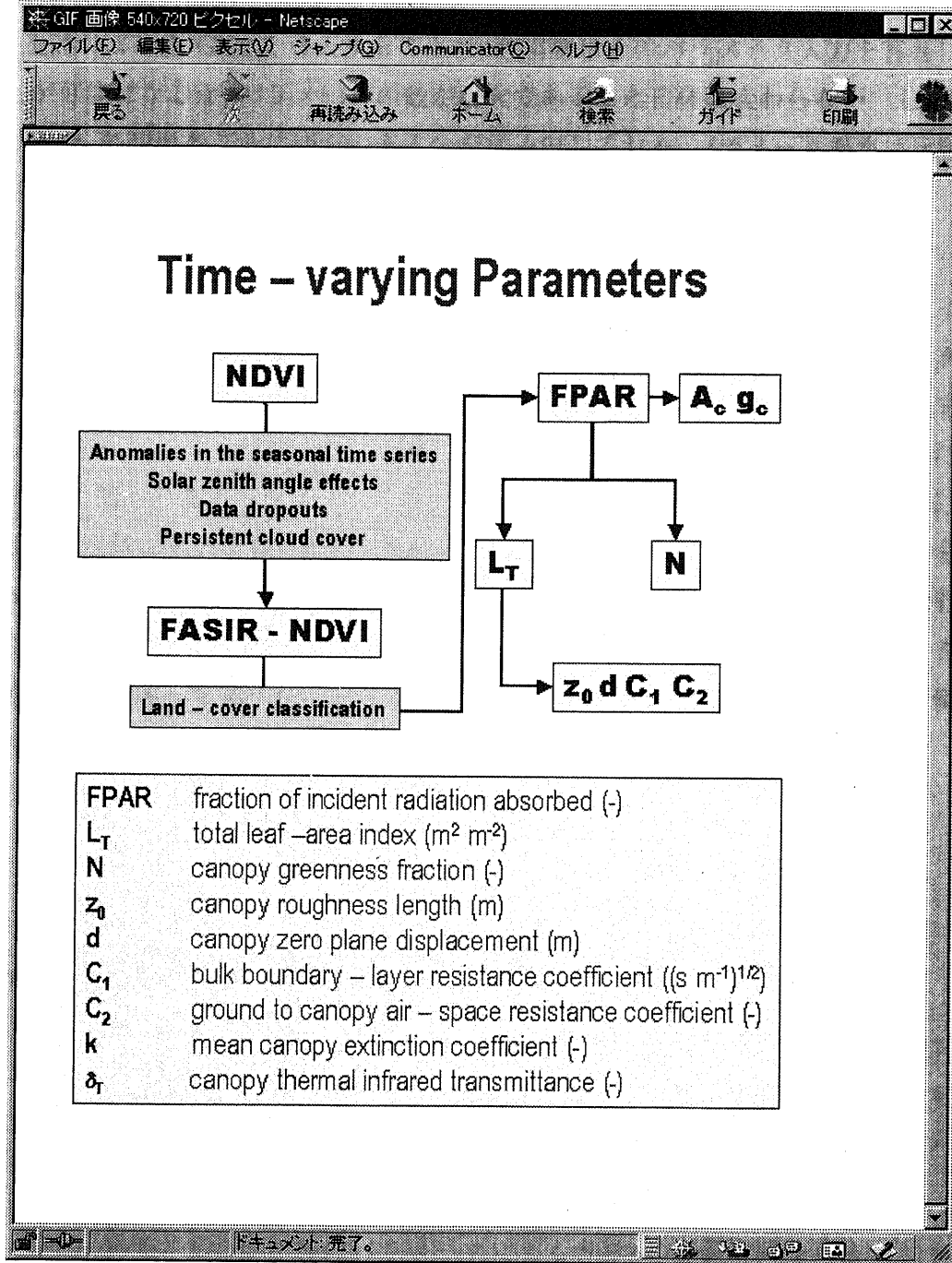


図 6.4: パラメータ相関図

- パーソナリゼーション

上述のような GUI を導入することで、利用者はそのパラメータ入力を容易に行うことが可能になるが、パラメータの数が膨大であること自体は変わらない。しかし、多くの場合、各利用者ごとに関心のある分野は一定しており、パラメータ編集は比較的少数個に限定されることが多いことがプロトタイプの利用状況からわかった。

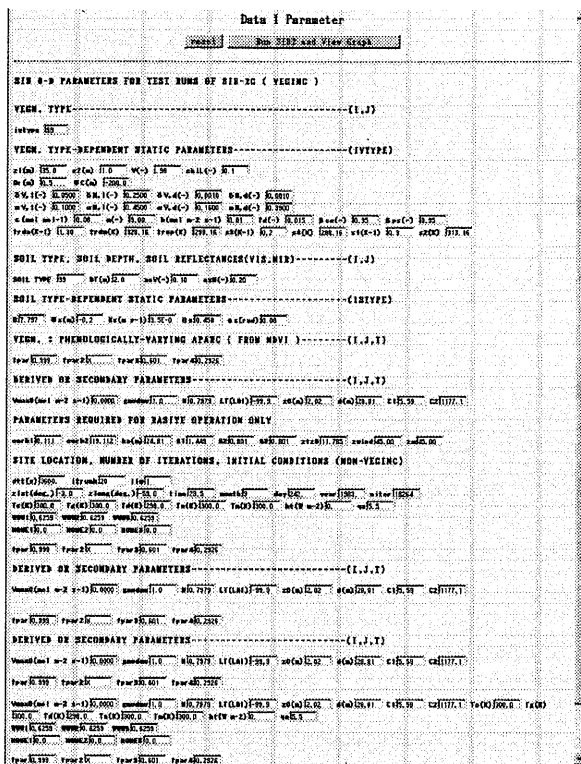
そこで本ワークベンチでは、各利用者ごとの操作履歴に基づくパーソナリゼーションを試みた。パラメータ入力時には、各パラメータごとに過去に編集、変更を行った頻度の算出を行い、高頻度なものほどユーザの関心が高いと判断し、そのパラメータ名および入力部分のフォントサイズを変更したもの(図 6.5(b)) および背景色の濃度を上げたもの(図 6.5(c)) の2種を試作し、利用者の意見から後者を実装することとした。これにより、関心のあるパラメータの場所を容易に発見することを可能とした。また、結果出力設定時においては、過去の選択回数に基づいたパラメータ順序の再配置を行っており、頻繁に参照されるパラメータほど上位に配置される。ただし、利用の試行実験の結果、ユーザは結果出力時には各パラメータよりむしろ同一種類のパラメータグループに対する関心を示す傾向があることがわかったため、グループ内の順序の変更を行わずグループ単位での再配置を行った。

6.3.2 SiB2 実行部

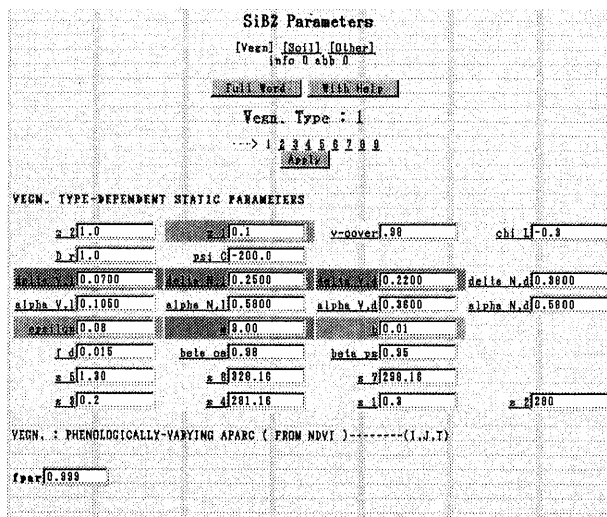
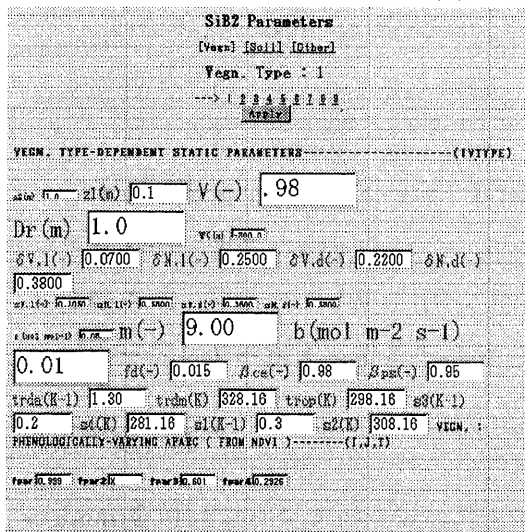
- 連続実行

従来は各パラメータファイルやデータファイルを既定の場所に置き、CUI(文字的ユーザインターフェース)上でコマンド名を入力することで実行を行っていたが、そのファイル名や実行パスを変更できないなど制約も多く、同一環境下での異なったパラメータでの実行が必要な際には、煩雑な繰り返し操作が必要であった。

本ワークベンチでは複数のパラメータによる SiB2 の連続実行を行う機能を実装した。一般的に各利用者は同一のパラメータに関心を示し、その箇所を繰り返しチューニングすることでより現実的な値の導出を行う場合が多い。本機能では1つのパラメー



(a) パーソナライズなし



(b) 文字サイズによるパーソナライズ

(c) 色の濃淡によるパーソナライズ

図 6.5: パラメータ設定画面のパーソナライズ

プログラム名	内容
SiB2 Original	Sellers らによるオリジナル SiB2
SiB2 with Water	水深データを考慮したバージョン
SiB2 for Paddy Field	水深データに加え、水体における熱収支も考慮したバージョン

表 6.9: あらかじめ登録されている SiB2 のバージョン

タに対し最大値, 最小値および間隔を入力することでその間の値を順次設定し実行する。さらに, 本ワークベンチでは Web 上に実装を行っているため, 複数ユーザからの同時利用を想定して SiB2 を並列して実行する機能を持たせた。そのため, 複数のパラメータ設定時にも計算機の処理能力が許す限り実行し, レスポンスの向上を図っている。

- プログラム及びデータのバージョン管理

SiB2 はそれ自体高い精度を有するが, より高度な精度を追究する際にはアプリケーションプログラムソースそのものの改良を行う場合がある。

本ワークベンチではプログラムおよび初期入力時系列データのバージョン管理機能を実装している。プログラムに関しては, 表 6.9 に示すシステム側で登録する 3 種のプログラムに加え, 利用者側で作成したバージョンの SiB2 を http 経由でサーバ側に導入することを可能としており, 本機能は同一パラメータにおける各バージョンのプログラムの妥当性の検証などに有効である。データに関しても, 標準で選択可能な全 13 種類のデータセット (表 6.10) に加え, 利用者側であらかじめ作成したファイルをアップロードして利用する機能を実装した。

3) 結果視覚化部

- Java を用いたインターフェース上でのグラフ化

SiB2 を実行すると表 6.2 に示す合計 38 種類のデータが 5 つのファイルに分割されて出力される。各ファイルは時刻情報とともに単純な時系列数値データで構成されて

データセット名	データ
Heat Balance(With Water)	elat, hflux, shf1, whf1, Rn, lE, H, G, W
Heat Balance(Original)	elat, hflux, gcstor, Rn, lE, H, G
Temperature	Tc, Tw, Tg, Tsoi, Twater, IRT
Water Balance	roff, trant, canil, evapg, etmass, ppl
Soil Moisture	www(1), www(2), www(3)

表 6.10: あらかじめ登録されている結果データセット

いるため、従来その検討には必要なパラメータ部分を抽出後に外部のグラフ作成アプリケーションなどで視覚化する必要があった。

本ワークベンチでは前述の図 6.6 に示すような GUI を実装し、出力データを表 6.11 に示す 7 種に分類し、関心のあるパラメータをクリックするのみで図 6.7 のようなグラフを設定パラメータ表示する Java アプレットを生成する機能を実装した。本グラフ上では、任意の領域をマウスで囲むことで、クライアント側のみの低負荷な処理で関心のある領域を自由に拡大が可能である。

また、水文分野の研究者からの強い要望により、表 6.12 に示すような時間に関する処理に関しても、結果出力設定時に指定することで同様のグラフを作成可能とした。その際、同時に各グラフの最大・最小・平均値が計算され表示される。各出力結果を図 6.8 に示す。

● 外部データとの比較

実際の水文気象学的研究では、SiB2 を用いて導出された結果は野外観測などで取得された値や他のモデルから算出された値と比較し検討されることが多い。そこで、本ワークベンチでは算出結果と実測値を同一グラフ上に描画する機能を実装した。

SiB2 の実行を行った時間的空間的条件と一致するデータがデジタルライブラリ中に存在する場合、シミュレーションの結果と同様に結果表示設定ウィンドウ上にそのデータを示す選択肢が表示される。ユーザは比較を行いたいデータをクリックするだけで

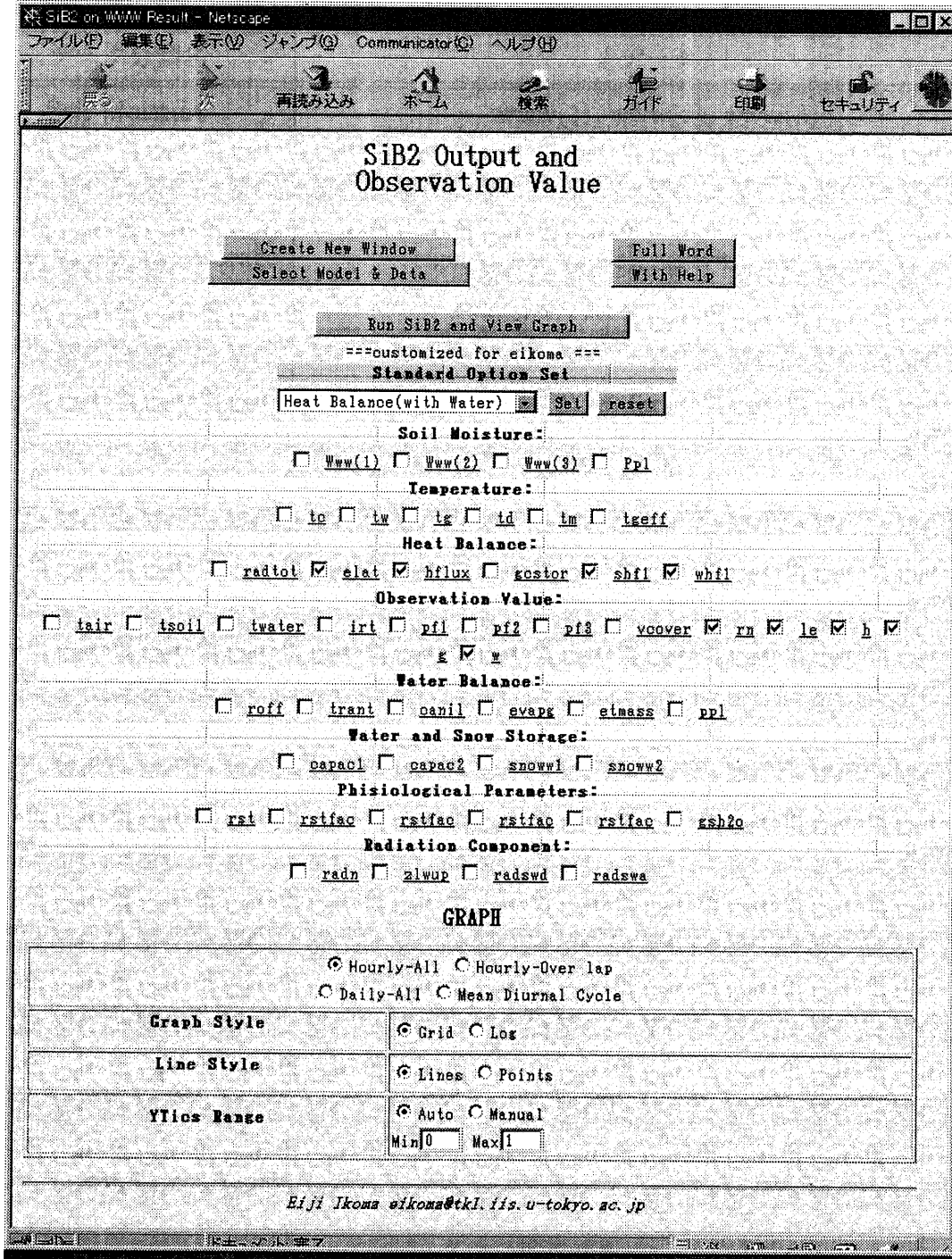


図 6.6: 結果出力設定画面

データ分類名	データ
Soil Moisture	www(1), www(2), www(3)
Water Balance	roff, trant, canil, evapg, etmass, ppl
temperature	tc, tw, tg, td, tm, tgeff
Water and Snow Storage	capac(1), capac(2), snoww(1), snoww(2)
Radiation Component	radn(3,2), zlwup, radswd, radswa
Heat Balance	radtot, elat, hflux, gcstor, shf1, whf1
Physiological Parameters	rst, rstfac(1), rstfac(2), rstfac(3), rstfac(4), gsh2o, assimn

表 6.11: 出力データの分類

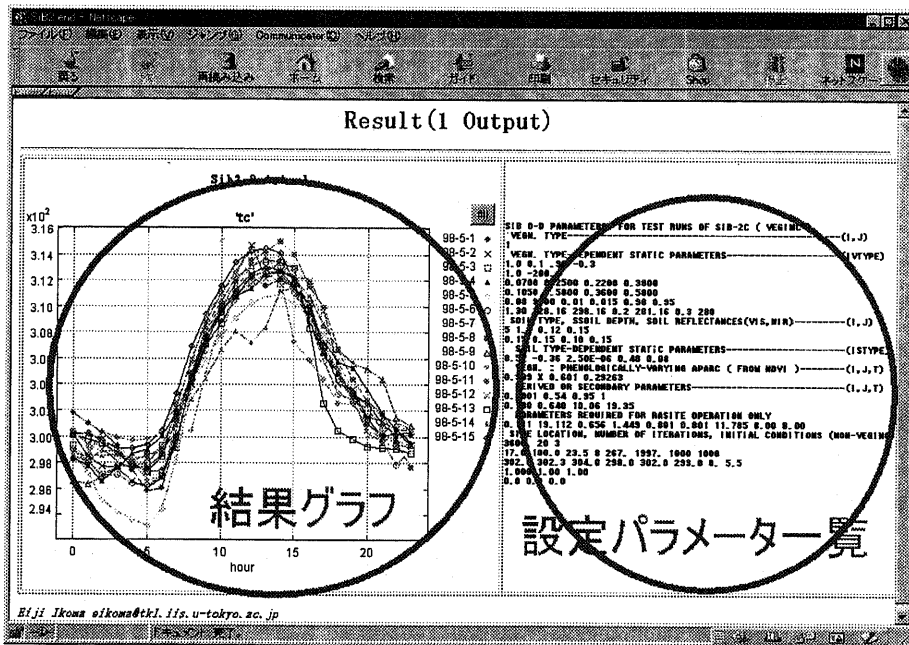
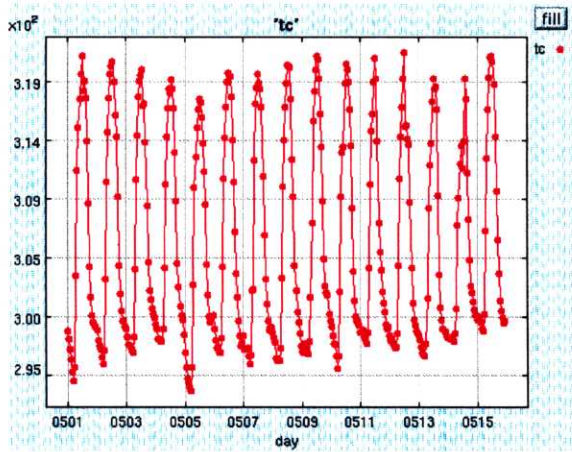
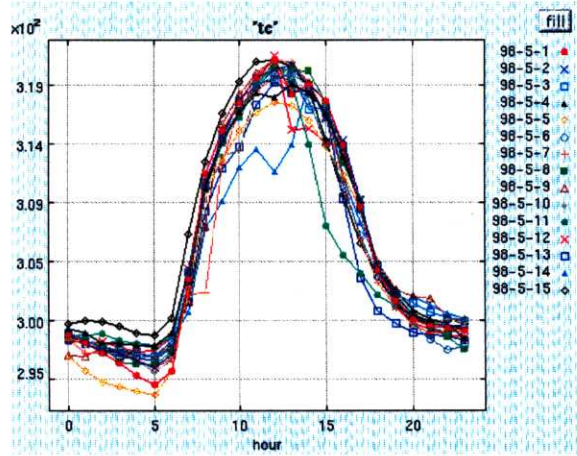


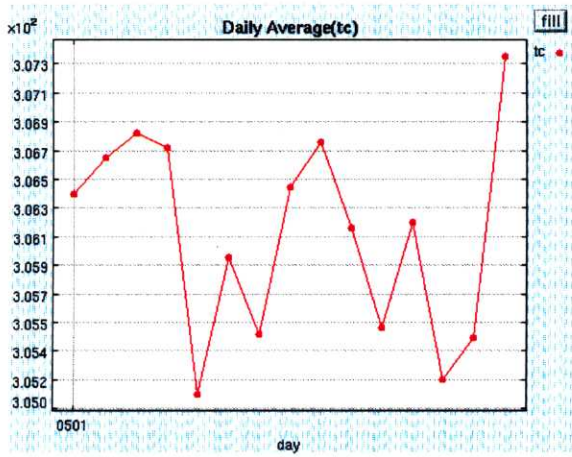
図 6.7: グラフ描画面面



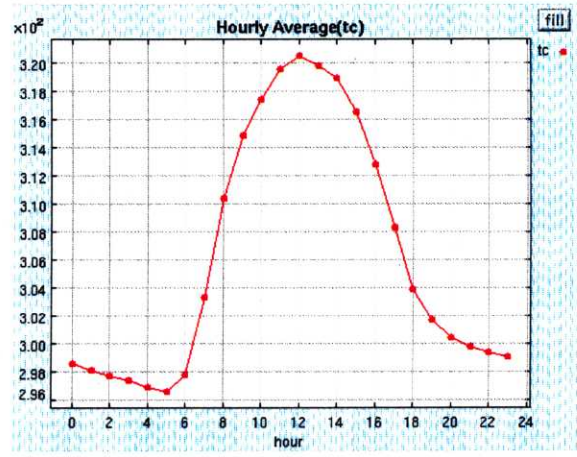
(a) Hourly-All



(b) Hourly-Over Lap



(c) Daily-All



(d) Mean Diurnal Cycle

図 6.8: 各形式でのグラフ表示

処理名	処理内容
(a)Hourly-All	実行期間全てを横軸にとる時間変化グラフ
(b)Hourly-Over Lap	0時から24時を横軸とし、日付ごとにグラフを重ねて描画した日周期グラフ
(c)Daily-All	横軸に日付を取り、各日の時間平均値をプロットしたグラフ
(d)Mean Diurnal Cycle	横軸に時間を取り、期間中の全日の時間ごとの平均値

表 6.12: 出力可能なグラフ形式

両者が同一グラフ上に表示されるため、非常に容易に検討が可能となった。

上述の如く本ワークベンチの特徴を示したが、これらの中には旧来の Fortran プログラムを Web 化することだけで大幅に操作性が向上した点と共に、利用者からの種々のフィードバックにより元の Fortran プログラムにはない機能あるいは従来の実行環境では容易に実現できない機能も多数含まれる。表 6.13 および表 6.14 にこれら 2 つの観点から、従来システムの問題点と本システムの利便性を比較・整理する。

6.4 地球環境デジタルライブラリとの連携

本 SiB2 ワークベンチは、本研究において実装した地球環境デジタルライブラリの持つ外部インターフェースを通し、図 6.9 に示すようにデータの取得を行っている。

ワークベンチ上において必要とされるパラメータ名がパラメータ入力ウィンドウ上で指定された期間、時間間隔、植生分類、土壌分類などから導出され、データ内容、開始時刻、終了時刻の 3 つの属性を 1 組みとしたリストが作成され、SQL が生成される。地球環境デジタルライブラリはこの SQL に従い、該当するデータをワークベンチに返し、ワークベンチは位置情報をもとに該当する地点のデータの抽出処理を行い、そのデータを SiB2 のアプリケーションに送信を行う。SiB2 は、実行後にある 1 点に対する時系列データを結果として出力する。その結果は可視化処理を行われ、ユーザ側のインターフェースに表示される。

本ワークベンチは、ユーザ側からの入力を受け、SQL の生成を行った後に地球環境デジタ

Web 化による利便性の向上機能		
操作内容	従来手法における問題点	本ワークベンチを用いる利点
パラメータ値の入力	ドキュメントを参照しながらテキストファイルを直接編集することが必要であるため、外部エディタの準備やその利用のための知識が必要とされる。また、パラメータファイルは記述位置を厳密に規定された数値列のみから構成されており、コメント行などを自由に付加することが不可能であるため、入力誤りが生ずることが多い	パラメータの内容に関する豊富なヘルプ機能を持った Web ブラウザ上の GUI 入力環境が提供されるため、SiB2 の利用に習熟していないユーザも容易に利用が可能
パラメータ内容の確認	パラメータ毎に SiB2 のドキュメントなどの外部文書を手作業で参照する必要があるため、SiB2 に習熟したユーザ以外は非常に不便	ヘルプウィンドウ、詳細表示モードなどユーザレベルに応じたヘルプ機能が実装されているため、幅広い層のユーザが Web 上で容易に利用が可能
反復利用時の操作	限られた箇所での操作のみを繰り返す場合でも、毎回全ての手順を同様に行う必要がある	利用毎に過去の入力履歴に基づいたパーソナリゼーションが実行されるため、各ユーザの利用形態に適したインターフェースが動的に生成され高い操作性を実現
異なったバージョンのプログラムやデータの管理	手作業による管理のため、新規のプログラムやデータの登録には複雑な作業が必要とされる	Web 上から登録および利用が可能であるため、改良したプログラムやデータの利用時にも容易に更新が可能
出力結果可視化	結果データの手作業による処理後、外部アプリケーションへの受け渡しと表示作業が必要のため、その処理作業と利用知識が必要とされ煩雑	実行後即座に Web ブラウザ上で自由に拡大可能なグラフ表示されるため、容易な操作で利用が可能
入出力処理の一括した操作	入力、出力ともに個別にプログラムを行って処理するため、煩雑な操作が求められる	Web 上の統一的な画面操作のみで入出力の一括した操作が可能であるため、実験の生産性が大きく向上する

表 6.13: 従来システムと本ワークベンチの操作性に関する比較 (1)

水文気象分野の研究者と情報科学分野の研究者との連携に基づく追加機能		
作業内容	従来手法における問題点	本ワークベンチを用いる利点
入力データの妥当性の検証	他の資料を参照しながら手作業で行うため、SiB2 の内容に対する経験と知識が少ない場合は非常に時間と手間が必要	入力時に即座に各パラメータの数値範囲の妥当性が判断される。また、相関性のある別パラメータとの大小関係の検証、および相関式の存在するパラメータ値の自動計算も同時に行われるため、SiB2 の操作に習熟していないユーザも容易に妥当なシミュレーションが実行可能
変化させたパラメータによる複数回実行	各条件ごとにパラメータファイルを作成し、各データを別途集計するため、煩雑な操作が必要	パラメータの変化条件を指定することにより、各条件に基づいた実行が行われると同時に、それらの集計結果も同一グラフ上に表示されるため、変化数が多い場合にも少ない操作で実行可能
過去履歴など別データとの対比	各データを個別に手作業で適当な形式へ加工し、外部アプリケーションを用いて処理を行う必要がある	結果出力時に設定することで同一グラフ上に各データが表示されるため、容易に比較と検証が可能
日平均, 時間平均, 最大最小値計算	各データを手作業で集計するため、煩雑な手間と時間が必要	当該機能はシステムに組み込まれているため、結果出力時に設定することで、ユーザは最小限の労力で計算された結果を確認可能

表 6.14: 従来システムと本ワークベンチの操作性に関する比較 (2)

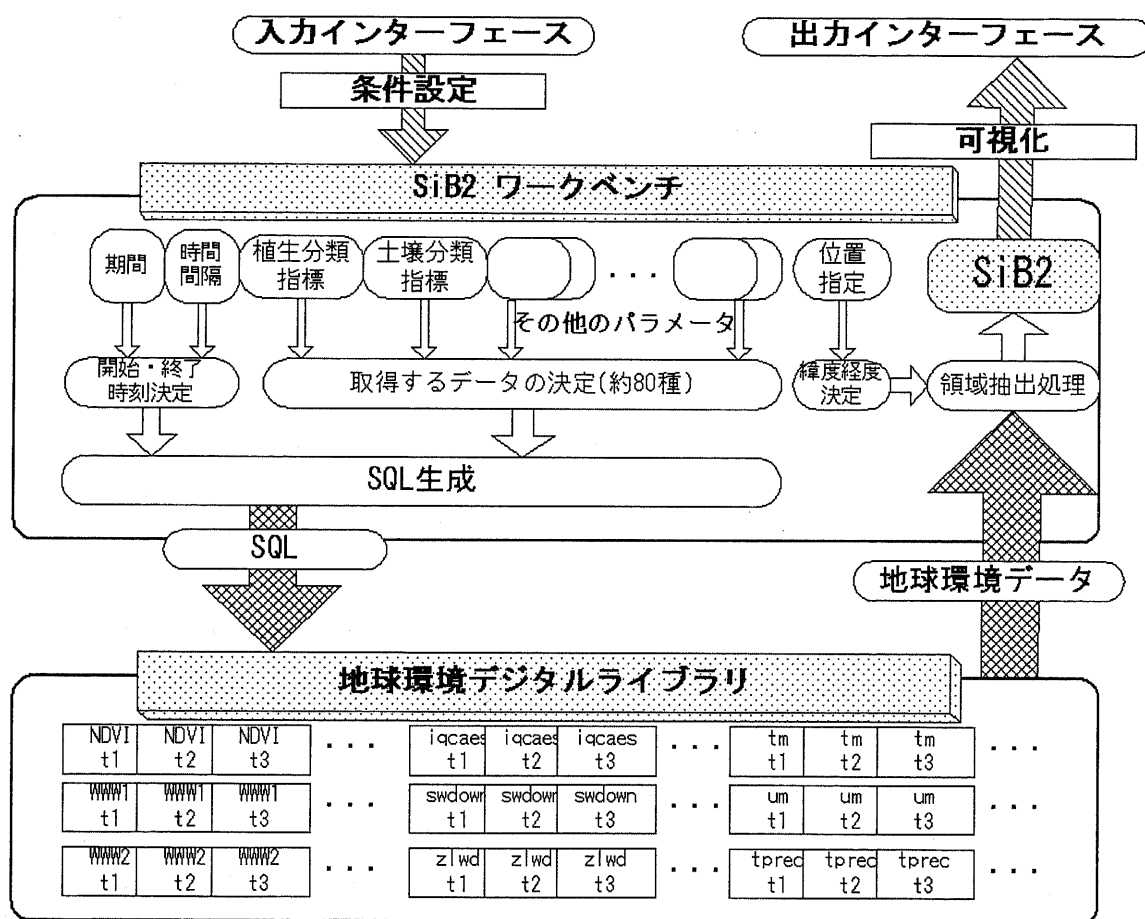


図 6.9: SiB2 ワークベンチと地球環境デジタルライブラリの連携

ルライブラリに接続する。その後、SQL に従ったデータが送信されて来るとそのデータは SiB2 アプリケーションに渡され、処理後に視覚化インターフェースに渡す役割を果たしている。すなわち、ユーザとの入出力、デジタルライブラリとの入出力の中継を行っており、この部分を変更することで同様の別の LSM への対応も容易に実現される。

現状の SiB2 は、ある 1 点に対する時系列データを結果として出力する。そのため、現状では上述のような 1 次元グラフを用いた視覚化のみを行っている。しかし、SiB2 を面的に拡張したバージョンの開発を現在行っており、それを用いることで SiB2 を 1 点ではなく 1 領域に適用が可能となり、その出力結果は 2 次元データとなる。これは時系列データであるため、前章で述べた時系列アニメーションなど視覚化ツールの適用も可能となり、より効果的なデータ解析が実現される。

6.5 本ワークベンチの実装環境

本ワークベンチは図 6.10 のように構成されており、サーバ側およびクライアント側はそれぞれ次のような処理を行っている。

- サーバ側

http サーバはユーザから Web ブラウザを通して初期パラメータ設定値を受け取り、その内容に従って SiB2 を実行するアプリケーションサーバおよびグラフ作成アプリケーションに実行の指示を出す。必要に応じてアプリケーションサーバは SQL を発行しデータベースにアクセスを行い、データストレージからデータを取得する。その後、アプリケーションサーバは SiB2 を起動し、出力結果をグラフ作成アプリケーションに送る。グラフ作成アプリケーションは http サーバからのパラメータ指示に従ってグラフアプレットを生成し、http サーバを通してユーザ側の Web ブラウザに結果を表示する。

- クライアント側

ユーザはログインページにてパスワードを用いたユーザ認証を受ける。ログイン後、SiB2 用パラメータおよびグラフ化用パラメータを設定するフレームを持ったウィンドウが開かれるので、必要な箇所の入力および修正を行い、引きつづき結果出力用パラメータの設定を行う。SiB2 によって出力されるパラメータ名が表示されているので、視覚化を

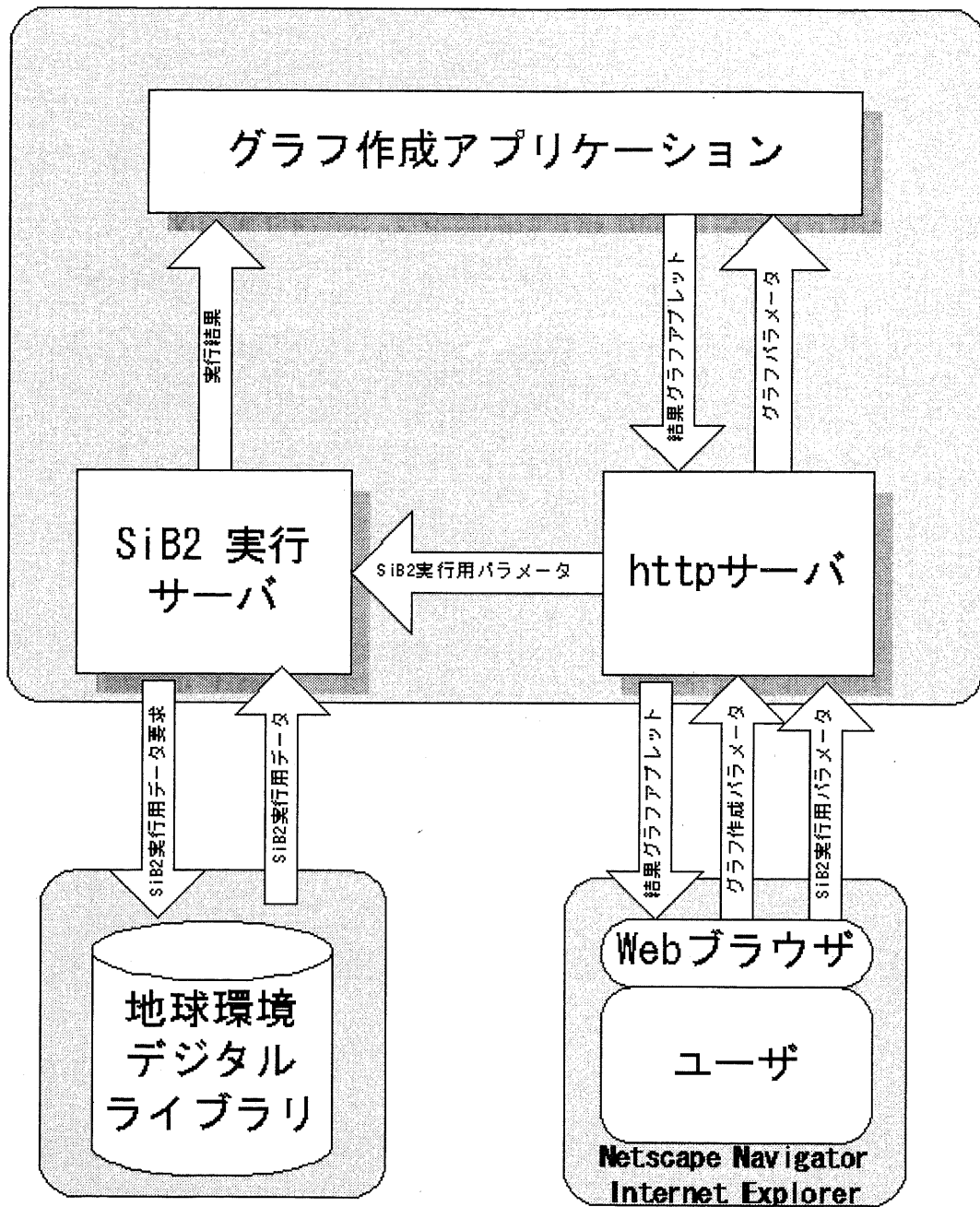


図 6.10: システム構成図

行うパラメータをマウスで選択を行う。また、日平均、時間平均、日周期の計算などの処理も同時に実行される。さらに、必要があればグラフの表示形式を定義するパラメータを設定後、SiB2 の実行を行う。SiB2 の実行後に生成されたグラフアプレットは別ウィンドウとして開かれる。結果確認後、必要に応じて再度初期パラメータの設定や結果表示の設定を行い、繰り返し実行を行う。

開発時には IRIX6.5.6 上 Netscape Navigator 4.51, WindowsNT 4.0 上の Internet Explorer 5.0, Netscape Navigator 4.7 にて動作を確認している。

第 7 章

システム構成と利用実績

7.1 システム構成

本デジタルライブラリシステムは、大きくデータローディング部、データベース部、インターフェース部の 3 部から構成されている。

データローディング部には第 3 章で述べたように本研究で開発したデータローディングツールを利用し、インターフェース部は第 4 章で示した Web ベースのインターフェースを実装し公開している。システムを構成するハードウェア・ソフトウェアは表 7.1 の通りである。

データ処理サーバ	Sun Enterprise 6500 (UltraSPARC-300MHz × 6,2GB Memory)
Web サーバ	
大規模記憶装置	Sun StorEdge A5000(250GB)
ソフトウェア	OS:Solaris 2.6 httpd:Apache httpd-1.3.0 DBMS: IBM DB2 V6.1

表 7.1: 用いたハードウェア・ソフトウェア

データベース部における導入されたデータの管理には、IBM社のRDBMSであるDB2を用いている。各データは表7.2に示す各属性がデータベースに登録され、ユーザへ公開される。

投影法は正距方位、ボンス、グード、メルワイデ、等緯度経度の各図法をそれぞれ1～5としており、数値型は1を整数、2を小数としている。該当する値がない場合は空白であり、位置認識段階まで行われなかったデータの属性に関しては、認識が成功した属性に関してのみ登録が行われる。

7.2 利用実績

本研究において実装した地球環境デジタルライブラリシステムは、

<http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp:8080/DV/>

において運用を行っており、1998年12月の外部公開以来のアクセス状況は図7.1の通りである。専門的なデータにもかかわらず利用者数は増加傾向にあることが判る。一時的にアクセス数の減少した1999年9月はシステムメンテナンスのためにしばらくの間サービスを停止したためであると思われる。図??に示すように海外からのアクセスが約3割を占めるなど、国内に限らず幅広く利用されていることが分かる。

図7.3はデータの種類ごとのアクセス件数であり、多くのGCM(Global Circulation Model: 大気大循環モデル)において必要とされる放射量に関するデータへのアクセスが多くなっているのが分かる。また、モデルにより生成された結果の妥当性の比較に用いられることが多い水文関連のデータへの関心も高い。

アプリケーション連携したワークベンチであるSiB2 on Webに関しては、

<http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp:8080/DV/sib2>

において1999年10月から登録ユーザ制で運用を行っているが、図7.4に示すように、限られた専門家を対象としたアプリケーションにも関わらず、国内外から多くの利用があり、既存の利用手法に比較して大幅に操作性の向上した本ワークベンチへの関心の高さを示している。また、地球環境工学研究者による本ワークベンチを用いた研究成果も発表されており[31]、実研究における有用性も実証しつつある。

属性名	例 1	例 2
データソース	gswp	CTR
データ分類	NCEP	
データ名称	Fld	WOA
ファイル場所	/home/data/gswp/ ncep/fld	/home/data/CTR/ woa
始点緯度	-90	-35
始点経度	-180	-10
終点緯度	90	30
終点経度	180	60
画素数縦	360	100
画素数横	180	100
日時	870101	9401
期間	1 day	1month
欠損表記	-9999	-32767
属性	mmHg	
投影法	5(等緯度経度)	1(正距方位)
数値型	1(整数)	2(小数型)
最大値	132	-23.4
最小値	51	-48.1
その他	Global Soil Wetness Project	Sea Temp Depth 1000

表 7.2: 各データの持つ属性の RDBMS への登録例

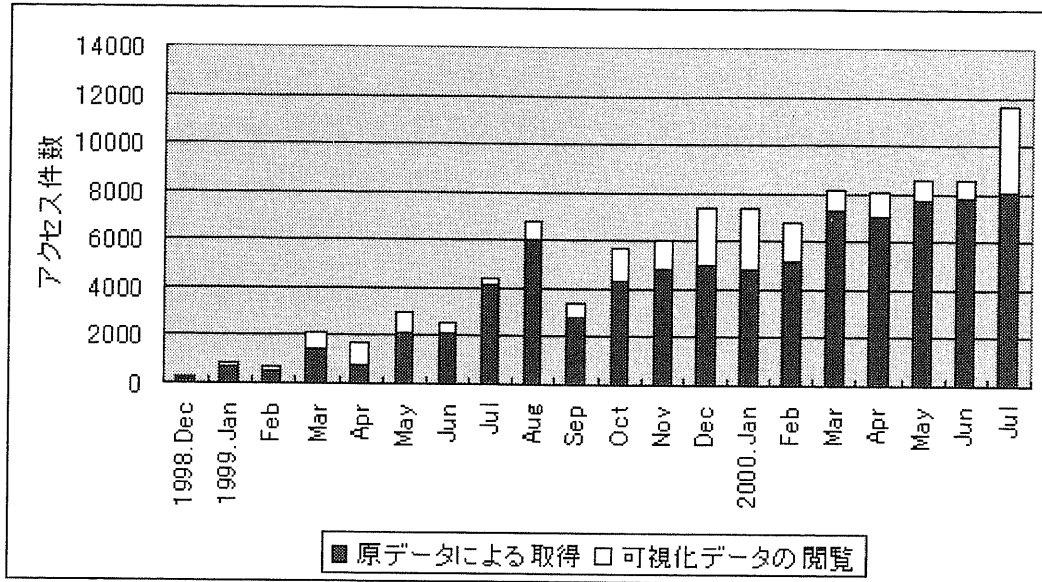


図 7.1: アクセス数の月別推移 (1998.Dec ~ 2000.Jul)

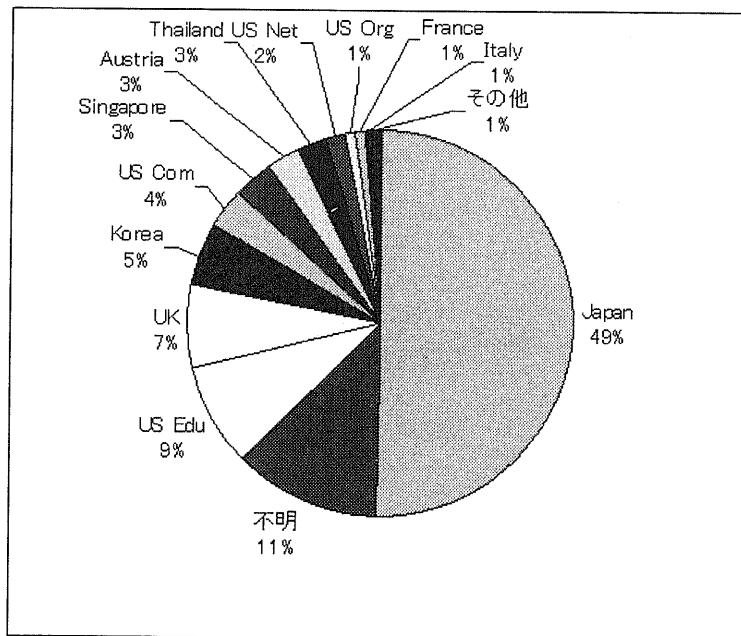


図 7.2: トップドメイン別アクセス数割合

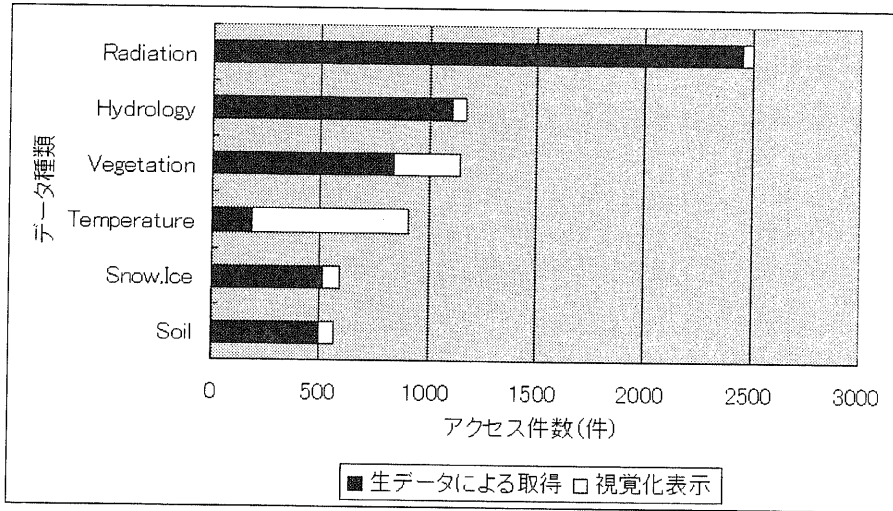


図 7.3: データ種別のアクセス数

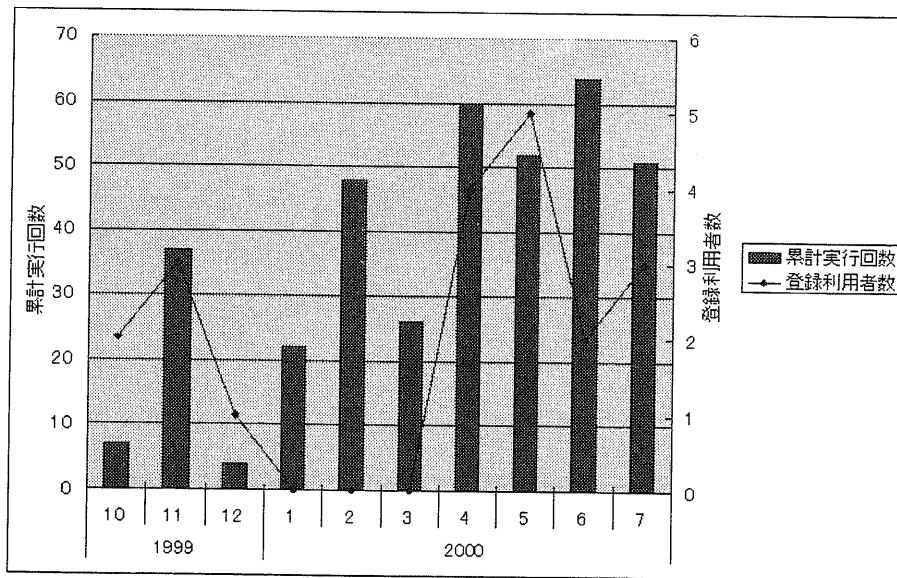


図 7.4: SiB2 on Web における SiB2 実行回数の推移

第 8 章

結論

本章では、本研究でその構築手法の検討と実装・運用を行った地球環境デジタルライブラリについて、本論文で述べたことを総括する。

8.1 本研究で提案した手法および実装について

本研究では、実用的な地球環境デジタルライブラリ構築の技術的課題の明確化を行い、(1) 多様なデータに対応したデータローディングツールの開発、(2) 実用的なデータ検索インターフェースの実装、(3) 効果的なデータ視覚化手法の検討、(4) 外部アプリケーションとの柔軟な連携、の4点について、新しい手法の提案と実装を行った。

データローディングツールに関しては、取得データに対し海岸線マッチングや出現頻度分析など9段階のデータ処理を行うことにより、ファイルの構造や時空間情報、欠損表記法などの属性情報の抽出とデータの自動認識を行う手法を提案し、約30000ファイルの実際の地球環境データに適用し約80%の認識率でデータ導入の自動化処理が可能となった。

検索インターフェースに関しては、内容、空間、時間を自在に切り替えながら検索を行うことが可能なインターフェースの提案と実装を行い、従来の手法に比べ各条件による検索結果を確認しながら更に検索を行うことが可能である為、より柔軟な条件に設定が可能となった。

視覚化手法に関しては、地球環境データの特徴を有効に利用した時系列アニメーション

や VRML を用いた 3 次元表示手法を試み、一般的な 2 次元画像による視覚化に比べて現象把握に効果的なビジュアライゼーションツールの提供を行った。また、大規模な可視化設備を用いた、より効果的な視覚化手法の検討も行った。

外部アプリケーションとの連携に関しては、例として水文分野で非常に幅広く用いられている SiB2 を対象とし、デジタルライブラリとシームレスに連携して利用が可能なワークベンチを実装した。当該分野の研究者と協力して、実研究での利用実験も行った。多様なユーザ支援機能も実装することにより、地球環境工学の研究者にとって十分に実用に供することができた。

本研究では以上のような各要素を取り入れたシステムの構築を行い、1998 年 10 月から一般に公開運用を行っている。2000 年 7 月現在で国内外から毎月 8000 件以上のアクセスを記録しており、地球環境工学分野の研究者にその実用性が高く評価されることとなった。

8.2 今後の課題

本研究で検討した地球環境デジタルライブラリ構築手法について、今後の課題として以下の点が挙げられる。

1. ユーザインターフェースの充実

- 効果的なメディアスケール手法の検討

本論文では、地球環境データの可視化時に問題となるデータ量の増大に関し、動的にメディアスケールを行う手法として、空間解像度に関する LOD 手法と時間解像度に関する LOD 手法を取り入れたツールを開発し、衛星画像データを対象とした試作でその有効性を示した。しかし、より効果的なメディアスケール手法としては、この空間および時間に関する LOD 手法を組み合わせた実装が考えられ、互いのスケールをどのように組み合わせるかが課題である。

- VR 可視化における多様なデバイスの利用

本論文では、主に PC やワークステーションなどインターネットを経由した Web ベースでの利用を想定したインターフェースの実装に加え、より大規模な VR 可

視覚化設備における効果的な視覚化手法の検討を行った。このような仮想現実感を提供可能な設備を用いる場合、その視覚化に加え、バーチャルグローブなど新たな入出力デバイスの利用も効果的であると思われ、データ検索や閲覧時における利用も検討を行う。

2. データベース機能の検討

- API の高度化

本研究で構築した地球環境デジタルライブラリは、API を通じて外部アプリケーションとの連携を実現しているが、その機能は時間や位置情報などから生成される SQL を通じた基本的な機能しか実装を行っていない。今後はより多様なアプリケーションに対応が可能となる柔軟な API の検討が課題である。

- より多様な地球環境データに対応可能なローディングツールの開発

本研究では、地球環境データの特徴を考慮したデータローディングツールを開発することにより、多くの地球環境データの自動導入を実現した。今後は自動認識が不可能であったケースの検討を行い、さらに高い認識率の実現と多様なデータの導入が課題である。

3. デジタルライブラリ連携についての検討

- 2次元シミュレータとの連携

本研究で実装を行った SiB2 は、ある 1 点における時系列シミュレーションアプリケーションであり、その視覚化は単純な 1 次元グラフしか行っていない。今後は 2 次元的な面におけるシミュレーションとの連携を実装し、本デジタルライブラリの持つ効果的な視覚化ツールとの連携も検討を行う。

8.3 おわりに

本研究において実装したシステムは運用開始以来順調にアクセス数が増加しており、その需要の高さを示した。近年の地球環境データへの関心の高さに加え、多くの地球環境デー

タが存在するにもかかわらず未だ実用的に利用可能なデジタルライブラリが存在していなかったことに因ると思われる。また、アプリケーションと連携したワークベンチにおいても、水文関係の研究者が実際の研究用として利用するなど、その実用性の高さを示すことができた。

今後もユーザの意見をフィードバックしつつ、さらにシステムの改良を進め実用性の高いシステムを構築する手法の検討を続ける所存である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、昼夜を問わず懇切丁寧に御指導下さり、他に類を見ない研究環境を整えて下さいました喜連川優教授に心から感謝の意を表します。

修士課程在籍時に多大にお世話になり、東京大学を御退官後も多くの適切な御助言を下さいました東京理科大学の高木幹雄教授にも深く感謝致します。

生産技術研究所第5部の沖 大幹助教授には、地球環境工学の視点からさまざまな御指導を賜わり、感謝致します。

沖研究室の新井 崇之さんには、本システムの設計当初から相談に乗って頂き、運用開始後も繰り返し利用して貴重な御意見を数多く頂きました。同じく沖研究室の金 元植さんには、幅広いSiB2に関する知識に基づいた多くの助言を頂きました。新井さん、金さんには論文の執筆などの際にも多大にお世話になり、感謝致します。

喜連川研究室の中野美由紀助手、根本利弘助手には日頃の研究環境の整備に御尽力を頂き、深く感謝致します。特に根本助手には、衛星データ処理関連の環境整備に大変お世話になりました。喜連川研究室の方々には、研究のみならず日々の生活も含めて多くの助言や指導を賜りました。博士研究員の豊田 正史さんには、ユーザインターフェースの専門家として本システムの操作性に関する助言を多く頂きました。短期職員である丹羽麻由美さん、大西規子さん、塩崎雅巳さん、井崎葉子さんには、日々の研究が滞りなく進められるようさまざまな面から御支援、ご配慮頂きました。

本研究において構築した地球環境デジタルライブラリを利用し、多くの御意見を下さった世界中のユーザの方々に感謝致します。

最後に、陰ながら常に支えてくれた父、母、姉、妹に感謝致します。

付録 A

SiB2 感度分析実験

本節では、本研究で構築したワークベンチの適用例として、地球環境工学分野の研究者と協力して実際に比較的複雑な LSM 熱フラックス算定値に対する、各入力パラメータの感度分析を行った実験について述べる。

A.1 前提条件

ユーザは本研究で開発したワークベンチを利用してデータベース側で管理されている SiB2 のソース、初期値パラメータ、フォーシングと比較検証用データを任意に選択し実験を行う。

今回の実験では、モデルとして SiB2 に水体における熱収支を導入した SiB2-Pad[31] を用い、また初期値パラメータは [27] 中に示された標準的な値を用いた。入力データとして初期設定値、フォーシングデータおよび検証データはタイ・チャオプラヤ川盆地流域の中流部 (東経 99.7 度, 北緯 17.1 度, 標高 50m) にある Sukhothai 水田における GAME-Tropics による観測データを利用した。また、比較のための実測データは、同じ場所で 10 分に 1 回測定を行って取得された値の 1 時間平均値を検証データを用いている。

A.2 パラメータの感度分析

計算に必要な入力値として、葉面積指数 ($LAI = 5$)、植生の被覆率 ($V = 0.98$)、植生の緑色部の割合 ($N = 0.95$)、水田の水深 ($WD = \text{観測値}$) を与えた。また、植生の構造に依存する空気力学的パラメータは、[23] の小麦の値を利用した。

C3 植物の耕地と分類される植生の中で見られる相違を各パラメータの変動幅として設定した。また空気力学パラメータに関しては、Sellers らが SiB においてモデル化の過程を考慮し推定した変動幅を利用した。

潜熱の最大値あるいは平均値に比較的大きな ($\pm 2\%$ 以上) 影響を持つパラメータに関して感度分析の結果をまとめたのが表 A.1 である。こうした感度分析がワークベンチの導入によって簡便に行なえる様になった。

1. 植生タイプに依存するパラメータ: $N, LAI, V, \chi_L, G(\mu)/\mu, Z_2$

N は葉の緑色部の割合であり、植物の成長段階と環境によって異なった値になる。緑色の部分と茶色の部分では透過率と反射率が異なり、キャノピー層の入射量が増加する。感度分析の結果では緑色部の減少によって潜熱 (IE) が減少し、顕熱 (H) が増加している。葉からの蒸散を制御する気孔抵抗の制限因子の計算値を見ると、葉温、葉面の相対湿度 (葉温、及び光合成量に影響される) の因子において同程度の変化が見られた。すなわち、キャノピー層への入射量の増加による葉温の増加、葉緑体の減少による光合成活動の低下によって蒸散が抑制され、IE が減少したと考えられる。

LAI は単位面積当たりの葉の総面積であり、分析の結果では LAI の増加によって、IE のピークが増加し、水体への熱の貯留 (W)、地中熱流量 (G) のピークが低下している。 LAI の増加による IE のピークのメカニズムは二つあるが、ひとつは葉が光を消散する効果が大きくなり、結果としてキャノピー層の入射量が増加し、光合成活動が増加することによって、IE が増加するメカニズムである。二つめは蒸散の交換面の増加により、IE が増加するメカニズムである。W, G のピークの減少は、地表面への入射量の減少に因っている。 LAI を増加させることによる算定値の変動は、観測値に近づく変動であり、光の消散、交換面の面積を現実再現するには、より正確な LAI の測定が必要であると考えられる。また LAI の観測値としては、日本における成長段階の等しい水

Param.	Default	New Val.	IE		H		G		W	
			Avg.	Peak	Avg.	Peak	Avg.	Peak	Avg.	Peak
Obs.	-	-	115.2	424.7	22.6	94.6	-1.9	9.9	0.0	42.6
Ctrl.	-	-	126.4	401.4	16.4	83.8	-6.8	5.0	0.3	76.4
<i>N</i>	0.95	0.70	-8.2	-36.8	+8.1	+27.2	0.0	+0.3	0.0	-0.2
<i>LAI</i>	5.0	8.5	+3.4	+19.9	-1.5	-0.1	-1.6	-4.9	-0.4	-22.0
<i>V</i>	0.98	0.73	+4.3	+2.7	-7.7	-30.4	+1.3	+9.1	+0.6	+38.9
χ_L	-0.30	-0.05	-0.4	+2.2	+0.9	+3.7	-0.4	-1.1	-0.1	-6.7
$G(\mu)/\mu$	0.54	0.79	-6.8	-44.9	+6.7	+25.1	0.0	+0.3	0.0	+0.7
<i>Z</i> ₂	1.0	0.7	-5.6	-10.6	+4.8	+9.0	-0.6	+0.6	+0.1	-0.8
<i>C</i> ₁	7.0	3.5	+1.6	+10.5	-1.5	-3.3	-0.1	-0.1	0.0	-0.7
<i>C</i> ₂	-	14.0	-2.9	-15.3	+2.7	+8.6	+0.1	+0.5	0.0	-1.7
	232.5	116.0	+3.5	+15.4	-1.7	-4.8	+1.5	-2.0	-0.3	-2.6
<i>V</i> _{max0}	-	464.0	-2.7	-10.9	+0.7	+2.7	+1.5	+1.9	+0.3	+1.2
	0.00010	0.00006	-12.3	-63.4	+12.3	+48.9	0.0	+0.4	0.0	+1.5
<i>s</i> ₂	308	313	+3.0	+17.4	-2.9	-10.3	0.0	0.0	0.0	-0.1

表 A.1: 入力パラメータの熱フラックス成分への影響 (10月上旬における日平均値 (W/m^2))

稲における値を想定しており、現地の LAI とは ± 1 程度の誤差があると考えられる。

V は植生の被覆率である。感度分析の結果、変動が顕著であるのは、 H のピークの減少、 W, G の増加である。これは V の減少により、キャノピー層に入っていた放射の一部が水面に入り、キャノピー層の温度が低下してキャノピー層からの H が減少したためであり、水温、地温も上昇して W, G のピークが大きくなったためである。計算された期間は葉の良く育った時期にあたり $V = 1.0$ であるが、成長段階においては $V = 0.0 \rightarrow 1.0$ であり、 V の観測値は正確に定める必要があることがわかる。

χ_L は葉の空間分布を表すパラメータであり、 $-1 < \chi_L < 1$ の範囲で変化し、 -1 は垂直、 1 が水平分布を表す。 $\chi_L = -0.3$ は草原の値をもとにした SiB2 の分類での値であり、変動後の -0.05 は成熟した小麦の値である。今回対象としている水稻は -0.05 に近い値なのだと考えられる。分析の結果を参照すると、 W のピークに与える影響が大きいが、これは、葉の分布が垂平に近づくことでキャノピー層への入射量が増加し、水面に到達する光の減少が原因であると考えられる。また χ_L は $G(\mu)/\mu$ を計算する際に使われるが、 $G(\mu)/\mu$ が熱フラックスへ与える影響も大きいため、 χ_L の設定を注意深くする必要がある。

$G(\mu)/\mu$ は単位葉面積当たりにおける直達光の光学的深さであり、葉の光吸収に関するパラメータで、光合成速度および葉温に影響を与える。 $G(\mu)/\mu$ の増加は、光合成速度の増加に結びつき、気孔抵抗を低下させ、キャノピーからの IE を増加させる。一方、葉による光の吸収が大きくなり、葉温の上昇にも影響を与える。分析結果では、 IE のピークの大きな減少と H のピークが大きく増加した。即ち、 $G(\mu)/\mu$ の値を上げることによって、光合成速度の増加よりも、葉の温度が上昇し、それに伴う植物の温度ストレスの増加が光合成速度を低下させ、 IE の減少と H の増加を引き起こした結果であると考えられる。

Z_2 は植生の頂上の高さであるが、 Z_2 の値は直接キャノピー層内の風速プロファイルに影響を与え、熱フラックスに対しては抵抗の大きさを決めるファクターとして影響を与える。分析の結果では Z_2 が小さくなることによって、 IE が減少し、 H が増加している。

2. 空気力学的パラメータ: C_1, C_2

C_1 はバルクキャノピー境界層抵抗の係数で、 C_1 が大きいほどキャノピーからの熱フラックスが小さくなる。 C_2 は地面とキャノピー内空気との間の空気力学的抵抗係数で、 C_2 が大きいほど地面からの熱フラックスが小さくなる。 また、空気力学パラメータは LAI, Z_2 など植生の構造から計算されるが、計算式における仮定などによる影響が大きく、熱フラックス算定値を参照してパラメータを調整することができる。 また、気象条件による影響が大きいため、調整は毎回必要になってしまう。 従って、パラメータセットをつくる際には、この調整はさほど有効ではないと考えられる。

3. 植生の生理学的パラメータ: V_{max0}, s_2

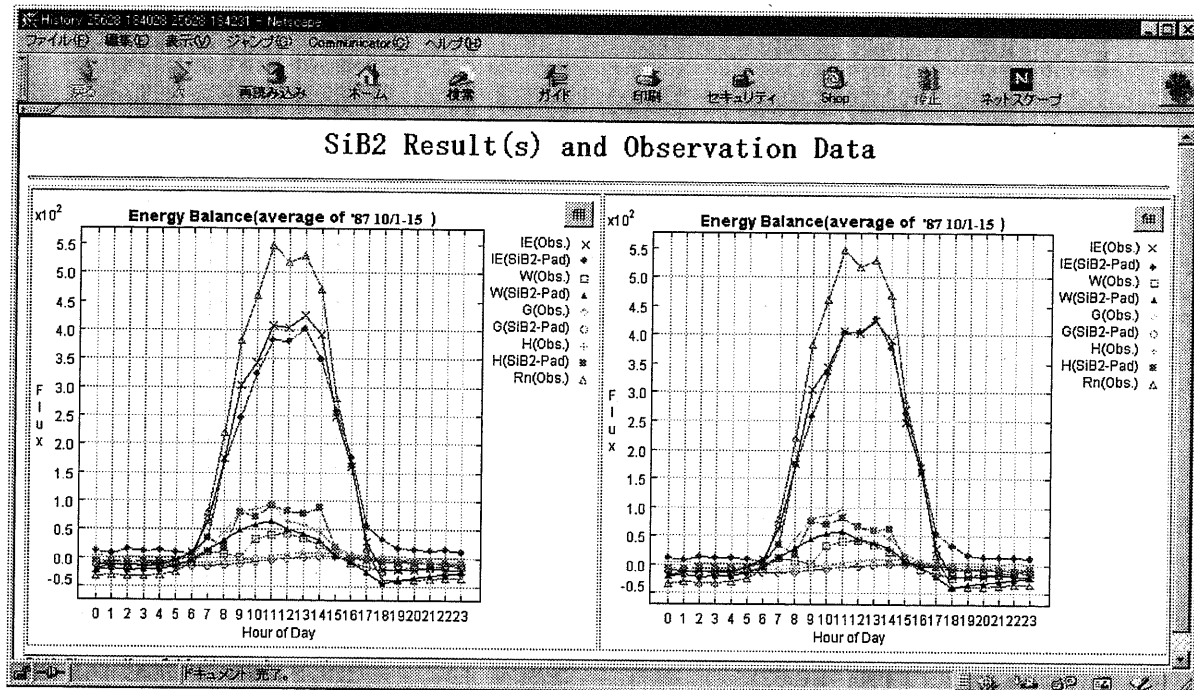
V_{max0} は、キャノピー層の頂上における光合成活性酵素の処理能力で、 V_{max0} が増加すると光合成速度が大きくなり、蒸散速度も増加する。 分析の結果より V_{max0} は IE, H に大きく影響を与えることが分かるが、植生分類ごとに標準値として与えられているものはいくつかの検証のみに基づいていると考えられる。 従って適正值にはある程度の幅があると考えられるので、チューニングの対象としてよいであろう。

s_2 は、光合成速度に対する高温ストレスファクタであり、設定された s_2 の温度以上では光合成が制限され、蒸散が抑制される結果、 IE が増加し、 H のピークが減少している。 葉温の計算結果を参照すると、算定値のピーク値は観測値を上回っていた。 従って、デフォルトにおける IE は、熱帯の農作物に対応していないため、気孔抵抗を現実より大きく計算してしまい IE が小さく計算されていたと考えられる。

A.3 パラメータ調整

ワークベンチでは、結果の可視化の際に、リファレンスとなる観測データ、あるいは別のモデル推定値などをデータベースと結び付けて比較表示することが可能である。 そこで、前節の分析結果に基づいてパラメータの調整を行った。 まず、 χ_L, Z_2 の様に、対象とする植物によって詳細に設定すべきであり、かつ感度分析において影響が大きいとされたパラメータを調整して熱フラックスを算定した (図 A.1(a))。

モデル算定値と観測値との間には最大で $50W/m^2$ ほどのずれが見られるが、観測値にお



(a) $\chi_L = -0.05, Z_2 = 0.7, LAI = 5$ (b) $\chi_L = -0.05, Z_2 = 0.7, s_2 = 313, LAI = 5.7$

図 A.1: SiB2 による熱フラックス算定値と観測値との比較

いてもある程度の誤差は認められる。従って、観測値と算定値のどちらが真値に近いかを正確に判断することは困難である。しかし、モデル算定値を観測値に合わせるためにはどのようにモデルパラメータの調整を行えば良いかを知ることは、LSMの挙動の理解、あるいはモデルが想定している地表面エネルギー・水収支の因果律の理解につながる。そこで、ワークベンチを利用してパラメータを調整し、観測値にモデル算定値を合わせる様にした過程と結果を以下に示す。なお、パラメータ設定に関するパーソナリゼーションやパラメータの変更範囲を定めた連続実行等のワークベンチへの実装によって、特にこうした対話的なモデルの操作が簡便となった。

算定値の傾向を見ると、IEは昼の間に小さく、また夕方の減少が遅く、夜間にもプラスになっている。このような結果は、SiB2に水体を考慮することによって現れた結果であり、より現実性の高い結果であると考えられる。しかし、観測に用いた熱フラックスの観測方法である熱収支ボーエン比法は夜間にその精度が落ちることが考えられるので、平均値を合わ

せるのではなく、昼の間の値を合わせるようにパラメータを調整することとした。これに対してHは昼過ぎに過大となっているため、最大値を観測値と合わせると共に、昼過ぎの値を小さくするように調整することとした。ワークベンチ上では、表示されている図の任意の部分をマウスで領域指定してスムーズに拡大・縮小が可能ないように設計されており、こうした昼夜別、あるいは全体と詳細の吟味が行ないやすくなっている。

Wは全体的に過大となっている。ただし朝方の過大評価は、水温変化がモデルにおいて大きく計算されていたためであった。この時間帯はIEの過小評価も見られ、蒸散モデルの特性が熱収支式を通して、水温の変化に影響を及ぼしているとも見られる。それに対し、IEがピークとなる時間帯はIE算定値が観測値と近く、水温変化も観測値と合わせやすいと考え、この時間帯のWの値が合うようにパラメータを調整することとした。なお、Gは値が小さいため、調整の対象としなかった。パラメータの調整方法としては、まず一つのパラメータを変動させ算定値を調整し、その上で他のパラメータによって調整していく方法をとった。

温度と熱フラックスの算定値と観測値の比較を参照すると、日中にキャノピー温度が観測値と比べて大きく計算されている日にのみIEが小さく計算されていることが分かった。そこで、葉温のストレスファクタである s_2 に着目し、熱フラックス算定値の調整を行った。 s_2 を高くした場合、IEのピークのずれが見られた日においてのみ算定値の改善が見られ、ピーク値以外に算定値に影響を与えないことが判明したため、 s_2 による調整は妥当であったと言える。次に、残りのIEのピークのずれを他の熱フラックス要素であるH、Wの値を考慮しながら調整することとした。 LAI を大きくした場合、IEのピークが大きくなると同時にWのピークは小さくなり、観測値に近くなる結果が得られた。一方、 V_{max0} 、 C_1 、 C_2 、 $G(\mu)/\mu$ を大きくした場合は、IEのピークが大きくなるとHは全体的に小さくなり、Wも観測値に近くなることはなかったため、 s_2 による調整後の調整は、 LAI のみで行った。そこで、IEの算定値を観測値に合わせた結果、 $s_2 = 313(K)$ と $LAI = 5.7$ が得られた。

図A.1(b)はパラメータ調整後の算定値と観測値を比較したものである。また表A.2に算定値の日平均値、最大値を示した。パラメータ調整を行った結果、潜熱(IE)に関しては、ピークを観測値に合わせることができた。また、顕熱(H)に関しては、調整後の方が観測値からずれる結果となったが、そのずれは、IE、Wの改善方向への変化量と比べて小さかった。またWに関しては、ピークが下がり、観測値に近づいており、Gの日平均値においてもマイナ

	IE		H		G		W	
	Avg.	Peak	Avg.	Peak	Avg.	Peak	Avg.	Peak
Obs.	115.2	424.7	22.6	94.6	-1.9	9.9	0.0	42.6
Control	126.4	401.4	16.4	83.8	-6.8	5.0	0.3	76.4
Adjusted	130.0	424.2	15.6	79.0	-9.6	0.7	0.3	64.9

表 A.2: パラメータ調整後の熱フラックス算定値 (10月上旬における日平均値 (W/m^2))

スが見られたが、調整によりその傾向が進む結果となった。

A.4 感度分析実験のまとめ

上記の様な感度分析を行う際には、計算結果の可視化だけでなく日最大値、平均値がボタンクリック1つで表示される機能を持つワークベンチを構築したことは有効であった。また、日変化のグラフに合わせて、最大値、平均値が表示されるため、最大値に寄与している時間帯、どのような日変化が平均されているのか、など付帯的な情報も得ることができるという利点もあった。さらに、パラメータ調整による日変化の算定結果の改良に対してもワークベンチは有効であった。それは、パラメータの入力と結果のグラフ化が一体となっているため、そうした場合に必要の一連の作業が大きく簡略化されているからである。また、簡略化されているが故に、感度分析や調整の際に対象とするパラメータの数を増やすことや、より多くの算定結果について、吟味することが可能となり、陸面エネルギー・水収支の理解をワークベンチの実装が助ける結果となった。

ここではパラメータの調整によってモデル算定値を観測値に近づけることを検討したが、開発したワークベンチではモデル自体を変更して同じデータセット、同じパラメータセットに対して適用することも可能である。実際、このワークベンチはオリジナルの SiB2 を当初利用していたが、水田の再現性に困難があったため、本ワークベンチの持つバージョン管理機能を利用し、水田を適切に考慮できる SiB2-Pad を開発して本研究では利用した。

参考文献 · URL

- [1] Al Gore, "The Digital Earth: Understanding our planet in the 21th Century", <http://www.digitalearth.gov/speech.html>.
- [2] USGS, "Digital Earth Explorer", <http://dss1.er.usgs.gov>
- [3] Cornell Univ. INSTOC, "Cornell's Digital Earth", <http://atlas.geo.cornell.edu/>
- [4] Microsoft, "Microsoft TerraServer", <http://terraserver.microsoft.com/>
- [5] USGS, "US GeoData HomePage", <http://edcwww.cr.usgs.gov/doc/edchome/ndcdb/ndcdb.html>
- [6] USGS, "USGS EDC Global Land Information System (GLIS)", <http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/glis.html>
- [7] EROS Data Center Distributed Active Archive Center (EDC DAAC) , "NASA's Earth Observing System Data and Information System(EOSDIS)", <http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/>
- [8] NASA Virtual Environment Lab. "Digital Earth Project", <http://holodeck.gsfc.nasa.gov/digitalearth/digitalearth.html> <http://atlas.geo.cornell.edu/>
- [9] Jeanne Behnke, Alla Lake: "EOSDIS: Archive and Distribution Systems in the Year 2000", Proceeding of 8th NASA Goddard Conference, pp.313-324, Mar.2000.
- [10] ART+COM, "Terra Vision", http://www.artcom.de/project/t_vision/

- [11] M.Takagi, "Data Reception, Processing, Distribution and Archives Activities at the Institute of Industrial Science, University of Tokyo", Third AVHRR Users Meeting, Oxford, Dec. 1987.
- [12] M.Takagi, "NOAA Satellite Data Reception and Processing at the Institute of Industrial Science, University of Tokyo", Proc. of 2nd Korea-Japan Symp. "Environmental Monitoring from space", Dec. 1993.
- [13] NOAA National Environmental Satellite, Data, and Information Service, "NOAA's Geostationary Satellite Server", <http://goeshp.wwb.noaa.gov/>
- [14] NASA Learning Technology Project, "Visualization of Remote Sensing Data", <http://rsd.gsfc.nasa.gov/rsd/>
- [15] 国立環境研究所 地球環境センター, "地球環境データベース", <http://www-cger.nies.go.jp/index-j.html>
- [16] 国立環境研地球環境研究センター, "GRID つくばホームページ",
- [17] 千葉大学環境リモートセンシングセンター, "Satellite Image Archive for Chiba University", <http://ceres7tx.cr.chiba-u.ac.jp:8080/ja/ceres.htm>
- [18] 東北大学地球環境物理学講座, "GMS Image Collection", http://www.pol.geophys.tohoku.ac.jp/~kizu/satellite_images/gms/main.html <http://www-cger.nies.go.jp/grid-j/index.html>
- [19] 高知大学理学部情報科学科, "Kochi Univ. Weather Home", <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/>
- [20] ART+COM, "Terra Vision", http://www.artcom.de/project/t_vision/
- [21] "Open GIS Consortium Inc.", <http://www.opengis.org/>
- [22] Eiji Ikoma, Taikan Oki, Masaru Kitsuregawa, "Development of an Earth Environmental Database System which Interacts with Application Software", Proc. of

1999 International Symposium on Database Applications in Non-Traditional Environments(DANTE99), pp.252-255, Nov. 1999.

- [23] Sellers, P.J., R.E. Dickinson, D.A. Randall, A.K. Betts, F.G. hall, J.A. Berry, G.J. Collatz, A.S. Denning, H.A. Mooney, C.A. Nobre, N. Sato, C.B. Field and A. Henderson-Sellers, (1997): Modeling the exchanges of energy, water, and carbon Between continents and the atmosphere, *Science*, **275**, pp.502-509.
- [24] Manabe, S. (1969): Climate and the ocean circulation. I. The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, pp.739-774.
- [25] Sellers, P.J., Y. Mintz, Y.C. Sud and A. Dalcher (1986): A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models, *J. Atmos. Sci.*, **43**, pp.505-531.
- [26] Sato, N., P.J. Sellers, D.A. Randall, E.K. Schneider, J. Shukla, J. Kinter, Y. Hou, and E.R. Albertazzi (1989): Effects of implementing the simple biosphere model (SiB) in a GCM, *J. Atmos. Sci.*, **46**, pp.2757-2782.
- [27] Sellers, P.J., D.A. Randall, G.J. Collatz, J.A. Berry, C.B. Field, D.A. Dazlich, C. Zhang, G.D. Collelo and L. Bounoua (1996): A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part I: Model formulation, *J. of Climate*, **9**, pp.676-705.
- [28] Sellers, P.J., L. Bounoua, G.J. Collatz, D.A. Randall, S.O. Los, J.A. Berry, I. Fung, C.J. Tucker, C.B. Field and Jensen (1996): Comparison of radiative and physiological effects of doubled atmospheric CO_2 on climate, *Science*, **271**, pp.1402-1406.
- [29] Sellers, P.J., S.O. Los, C.J. Tucker, C.O. Justice, D.A. Dazlich, G.J. Collatz and D.A. Randall (1996): A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data, *J. of Climate*, **9**, pp.706-737.
- [30] Randall, D.A., D.A. Dazlich, C. Zhang, A.S. Denning, P.J. Sellers, C.J. Tucker, L. Bounoua, J.A. Berry, G.J. Collatz, C.B. Field, S.O. Los, C.O. Justice and I. Fung

(1996): A revised land surface parameterization (SiB2) for GCMs. Part III: The greening of the Colorado State University general circulation model, *J. of Climate*, **9**, pp.738-763.

[31] 新井崇之・金元植・沖大幹・虫明功臣 (2000): 熱帯水田への SiB2 の適用と水田スキームの導入, *水工学論文集*, **44**, pp.175-180.

発表文献

論文誌

1. 生駒 栄司, 新井 崇之, 金 元植, 沖 大幹, 喜連川 優, 「陸面植生モデルワークベンチの開発と熱帯水田観測データの適用」, 水文・水資源学会誌, 第 13 卷, 第 4 号, pp.291-303, 2000 年 7 月.
2. 生駒 栄司, 喜連川 優, 「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」, 情報処理学会誌 (投稿中).

国際会議

1. Eiji Ikoma, Masaru Kitsuregawa, “Development of an Earth Environmental Digital Library”, 2000 Kyoto International Conference on Digital Libraries: Research and Practice, Nov. 2000.(発表予定)
2. Eiji Ikoma, Taikan Oki, Masaru Kitsuregawa, “Development of an Earth Environmental Database System which Interacts with Application Software”, Proceedings of 1999 International Symposium on Database Applications in Non-Traditional Environments (DANTE99), pp.252-255, Nov. 1999.
3. Eiji Ikoma, Vuthichai Amonpornaramveth, Akiko Aizawa, Kinji Ono, Masaru Kitsuregawa, “Multi Resolution Image Viewing System on the WWW”, Proceedings of the 5th International Workshop on Academic Information Networks and Systems, pp.39-44, Dec.1998.

4. Eiji Ikoma, Masaru Kitsuregawa, "Visualization System for Earth Environmental Data", Proceeding of International Symposium on Remote Sensing(14th Fall Symposium of KSRS and 7th Annual Workshop of EMSEA), pp.280-285, Sep.1998.
5. Eiji Ikoma, Mikio Takagi, "A satellite image database featuring WWW", Proceeding of International Symposium on Remote Sensing (12th Fall Symposium of KSRS and 5th Annual Workshop of EMSEA), pp.281-286, Oct. 1996.

研究会

1. 生駒 栄司, 沖 大幹, 喜連川 優, 「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」, 電子情報通信学会データ工学研究会 (DE2000), 信学技報 Vol.100, No.31, pp.121-128, May. 2000.
2. 生駒 栄司, 喜連川 優, 「地球環境データ視覚化システムの構築」, 第11回データ工学ワークショップ (DEWS2000), Mar. 2000.
3. 生駒 栄司, 喜連川 優, 「陸面植生シミュレータと連携した地球環境データベース可視化システムの構築」, 情報処理学会研究報告 Vol.2000, No.10, pp.153-160, Jan. 2000.
4. 生駒 栄司, 喜連川 優, 「Web でアクセス可能な SiB2 利用システムの構築」, 1999 年度 GAME 国内研究集会, Dec. 1999.
5. 生駒 栄司, 喜連川 優, 「SiB2 利用のための Web を用いたインターフェースシステム構築」, 1999 全球陸面フラックス分布と気候変動研究に関するワークショップ, Sep. 1999

大会論文

1. 生駒 栄司, 喜連川 優, 「デジタルアース可視化システムの試作」, 情報処理学会第59回秋季全国大会予稿集 Vol.3, pp.205-206, Sep. 1999.
2. 生駒 栄司, 高木 幹雄, 「WWW による衛星画像データベースの検索」 1997 年電子情報通信学会春季大会情報システム講演論文集 D-12, pp.789, Apr.1997.

3. 生駒 栄司, 高木 幹雄, 「WWW を用いた衛星画像データベースの構築」 1996 年テレビジョン学会年次大会予稿集 8-2, pp.156-157, テレビジョン学会, Jul.1996.

その他

1. 生駒 栄司, 喜連川 優 「Web でアクセス可能な SiB2 利用システムの構築」, GAME NEWS LETTER No.5, May. 2000.
2. Eiji Ikoma, Masaru Kitsuregawa, 「Visualization System for Earth Environmental Data with VRML- 地球環境データの可視化」 AMCP'98 Dynamic Media Contest, Nov.1998
3. Eiji Ikoma, Akiko Aizawa, Kinji Ono, 「Interactive Large-Scale Pictorial Information Retrieval System for the Internet」 学術情報センター紀要第 11 号 (ISSN 0913-5022) pp.87-92, Apr. 1999