

# 大規模地球環境データアーカイブシステムにおける データマイニングツールの構築

生駒 栄司<sup>†</sup> 谷口 建司<sup>††</sup> 小池 俊雄<sup>††</sup> 喜連川 優<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 東京大学空間情報科学研究センター 〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1

<sup>††</sup> 東京大学大学院工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

<sup>†††</sup> 東京大学生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: †eikoma@csis.u-tokyo.ac.jp, ††{taniguti,tkoike}@hydra.t.u-tokyo.ac.jp,  
†††kitsure@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp

あらまし 昨今の観測技術の進歩により取得される地球環境データの量は爆発的に増大しつつある一方、これらのデータを利用する研究者が処理出来るデータ量が増加量に追いつかず、貴重なデータが十分利用されず眠っているのが現状である。そこで本研究では当該分野の研究者と密接に協力し、データマイニング技術を用いて超大規模地球環境データを対象とした解析ツール群を開発し、非計算機分野の研究者にも容易に操作可能なインターフェースを実装したシステムを構築することで、従来手法では解析が困難であった多様な自然現象解明のための支援システムを構築した。また、本稿では本システムを利用することで得るに至った新たな知見についても概説する。

キーワード 空間DB, 時間DB, データマイニング, データの可視化, ユーザインタフェース

## Development of Data Mining Application for Huge Scale Earth Environmental Data Archiving System

Eiji IKOMA<sup>†</sup>, Kenji TANIGUCHI<sup>††</sup>, Toshio KOIKE<sup>††</sup>, and Masaru KITSUREGAWA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo  
Komaba 4-6-1, Meguro-ku, Tokyo, 153-8904 Japan

<sup>††</sup> Graduate School of Engineering, The University of Tokyo  
Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

<sup>†††</sup> Institute of Industrial Science, The University of Tokyo  
Komaba 4-6-1, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505 Japan

E-mail: †eikoma@csis.u-tokyo.ac.jp, ††{taniguti,tkoike}@hydra.t.u-tokyo.ac.jp,  
†††kitsure@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp

**Abstract** The amount of earth environmental data has become increased explosively because of the advance of recent observation technique. On the other hand, it is true that such valuable data has not been used adequately because the amount which the researchers using those data can handle is less than the increasing amount. In this research, we collaborate deeply with some researchers of the field, and develop a support system for analyzing various kind of natural phenomena which is difficult to analyze with past methods. This was enabled by developping analyzing toolkit for huge amount of earth environmental data with using data mining technique, and developing interface system for non-computational researchers with easy operation. Moreover, we review about some new knowledge which was acquired using this system.

**Key words** Spatial DB, Temporal DB, Data Mining, Data Visualization, User Interface

## 1. はじめに

昨今の地球環境に関する観測技術の大幅な進歩に伴い、衛星データに代表されるリモートセンシングデータ、各種地上観測機器から得られるポイントデータ等はその質・量ともに大幅に向上しつつある。その結果、従来は取得が困難であったさまざまな次元におけるより詳細かつ有用なデータが容易に提供されるようになり、当該分野の研究の発展に大きく貢献しつつある。反面、そのデータ量が膨大であるが故に、非計算機分野の研究者にとって従来の解析手法では扱うことが困難となり、貴重なデータが十分活用されず眠っている場合も多くあるのが現状である。

そこで本研究では、上述のような超大容量地球環境データを実際に利用し研究を行っている研究グループと協力し、実データを対象とした解析を支援するためのデータマイニングツールの開発を行った。また、実際の利用者である非計算機関連の研究者が容易かつ柔軟に利用が可能であるインターフェースを開発し実装することにより、より実研究を支援するシステムの構築を行った。

さらに、本研究で開発したツール群を用いて実際に解析を行った研究例に関して概説する。

## 2. 研究の背景

### 2.1 地球環境データの増大とアーカイブ

衛星技術の向上とそれに伴う観測衛星の増加および観測機器の開発によって、衛星観測によって得られる地球環境データの量は飛躍的に増大しつつある。また、計算機の発達によって、気象学や気候変動に関する研究における数値予報や数値シミュレーションの結果としての出力データは時間的・空間的な分解能が向上しつつある。

一方で一人の研究者が年間に取り扱うことのできるデータ量は限られており、爆発的な研究者の増加も考えにくい。さらに、このような状況の中で、今後もデータは次々と蓄積され、十分に使われることのないデータも生み出されてしまう可能性がある。

以上のような背景のもと、宇宙開発進行機構 (JAXA)、米国航空宇宙局 (NASA)、欧州宇宙機関 (ESA) やアジア・ヨーロッパ・南北アメリカの各国気象予報センターの協力により、統合強化観測期間 (Coordinated Enhanced Observing Period: CEOP) が実施されることとなった。CEOP では 2002 年 10 月から 2004 年 9 月までの 2 年間に強化観測期間 (Enhanced Observing Period: EOP) として、その間に得られる衛星観測データ、各数値予報センターによる予報値、同時期に実施されている現地観測プロジェクトや現業の気象観測データ、そして研究機関によって観測値と予報値を同化したプロダクトを一箇所に集約するという、今までにない多様かつ膨大なデータのアーカイブプロジェクトが進行している (図 1)。

CEOP の期間中に得られるデータは一年間に衛星観測によるものが約 90 テラバイト、数値予報データ及び客観解析データが約 55 テラバイト、さらに現地観測によるデータが加えられ

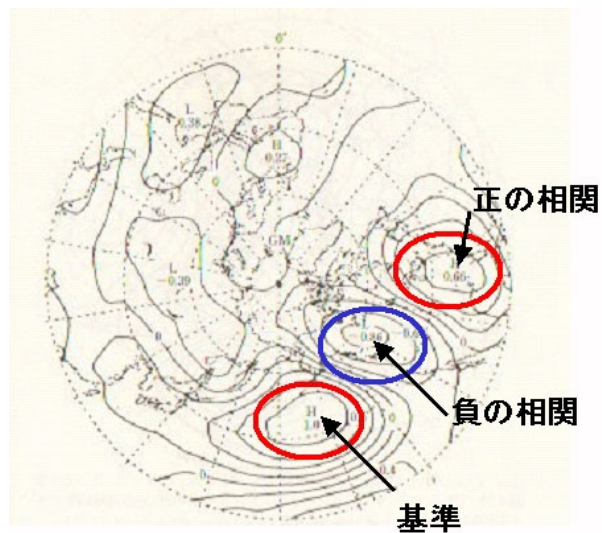


図 2 相関係数を用いた現象の発見例  
Fig.2 Example of Correlation Analysis

る予定である。

しかし一方で、集約された膨大なデータに対してどのように高度な解析を行い、高次の情報を抽出し、これまでに得られなかった知見を得るかということに関しては、まだ十分研究されていないのが現状である。

### 2.2 自然現象の相関解析

気象学においては従来より統計解析による現象間の関連抽出手法が用いられてきた。その中でも最も一般的なもののひとつが相関係数を用いたものである。Wallace and Gutzler [3] らは北緯 45 度、東経 165 度の格子点における 500hPa 面の高さの変動を基準として、相関係数の分布を調べた。その結果、北太平洋とアメリカ中部から東岸に正の相関域、アメリカ西岸から中部にかけて負の相関域が存在することが明らかとなった。図 2 は、基準となる格子点の気圧が高くなると、正 (負) の相関域では気圧が高く (低く) なることを示している。このような相関係数の分布は太平洋からアメリカにかけて分布していることから PNA テレコネクションパターン (PNA: Pacific/North America) と呼ばれている。この現象は現在では力学的には赤道域における熱源により励起された定在ロスビー波として解釈されており、相関解析による発見が理論的にも説明されている。

このように、旧来の物理的理論から現象発見へとアプローチする手法とは逆に、まず現象間の関連性を発見しておいてからそれを物理的な理論に従って説明あるいは解釈していくという方向も自然現象解析のための一手法であると考えられる。

## 3. 地球環境データを対象としたデータマイニングシステムの構築

昨今の IT 技術の進歩により、より高速に大容量のデータの処理が可能なコンピュータが安価に普及しつつあるが、これまで述べたような地球環境データを対象とした自然現象の解明を行う上での大きな問題点として、実際に解析を行う研究者が上記のような計算機の高度利用は容易ではないという点がある。

# 統合強化観測期間 (Coordinated Enhanced Observing Period: CEOP)

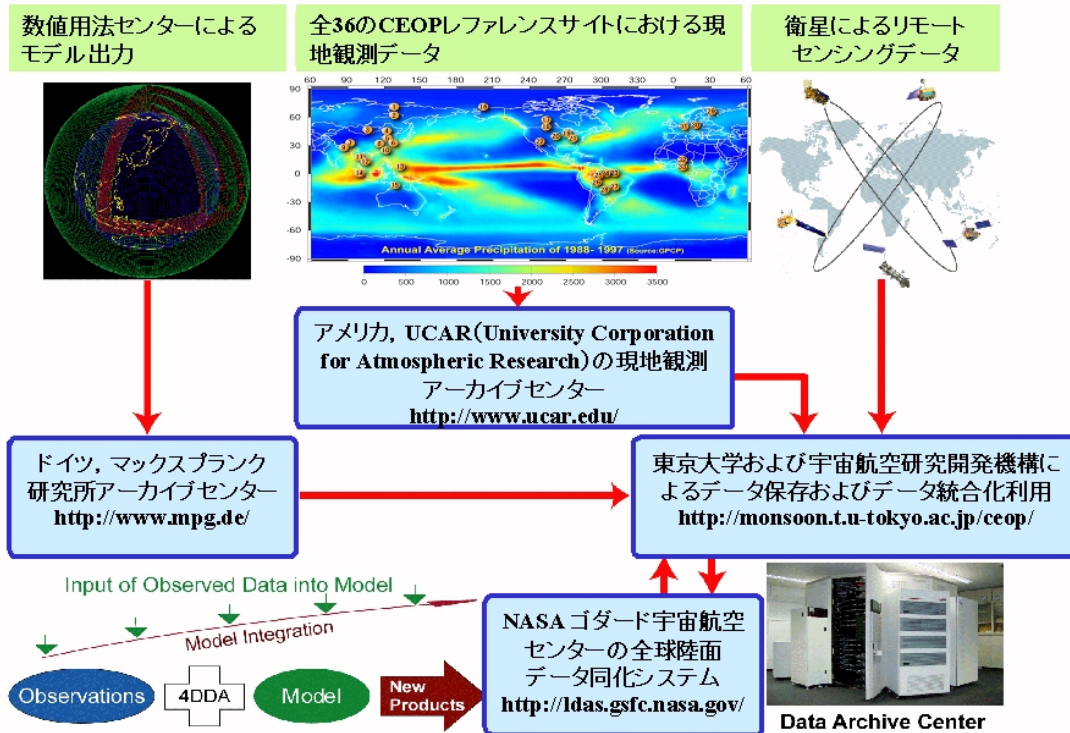


図1 CEOPプロジェクト

Fig.1 CEOP Project

実際、データ解析的な処理を行う際、多くの地球環境データを扱う研究者は、簡単に扱うことのできるパーソナルコンピュータ上で市販の表計算ソフトを用いているのが現状である。そのため、上述のように整備されつつある大規模データを眼前にしながらか適宜必要なデータを間引いて利用する機会が多く、せっかくの有用なデータを用いた知見創出の機会を逸しているケースも想定される。

そこで本研究では、地球環境工学分野の研究者と密接に協力し、超大規模データアーカイブシステムと連携し大容量地球環境データを解析処理するためのツールの開発を行うとともに、実研究において容易に利用が可能な Web ベースのユーザーインターフェースを実装したシステムの構築を行った。

本章では現在収蔵しているデータ、開発した解析ツール、ユーザーインターフェースとその利用方法、システム構成および視覚化に関してを述べる。

### 3.1 対象とした事象

夏季アジアモンスーンは、人口が集中し、社会的にも発展著しいアジア域において様々な形で大きな影響を与える。しかし、その季節進行あるいは年々変動の物理過程の大部分は明らかではない。夏季インドモンスーンに関しては、早くから研究され、インド洋およびアラビア海上を通りインド亜大陸に吹き込む強い西風が、インド亜大陸に水蒸気を運び、降水をもたらすと考えられてきた。しかし、この強い西風形成過程に関する詳細な理解は未だなされていないのが実際である。こうした背景には、使用できるデータの時間的、空間的解像度が低く、日変化を十

分に追う事が出来なかったという制限があったことも否めない。しかし一方、近年の観測技術の向上や計算機技術に向上に伴い、様々な種類の有用な地球環境データが提供されるようになってきた。そこで本研究では、これら多くの有用なデータを十分に活用しながら、インドモンスーン開始期に着目してその形成過程の解析を例として取り上げた。

### 3.2 現在の利用データ

夏季モンスーン期間における降水分布と季節変化の解析用として全球降水気候計画 (Global Precipitation Climatology Project: GPCP) のデータのうち、1979年から現在に至るまでの月平均降水量と、1997年から現在までの日平均降水量を用いており、空間解像度は1度×1度である。また、熱帯域における対流活動の指標として外向き長波放射 (Outgoing Long-wave Radiation: OLR) も夏季モンスーンの記述に関して有用であるため、米国大気海洋庁 (National Oceanic and Atmospheric Administrator: NOAA) から提供されている1975年から現在に至るまでのOLRデータを用いた。空間解像度は2.5度×2.5度である。風速、ジオポテンシャル高度、大気温度といった大気データに関しては National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) の再解析データを用いた。これらは空間解像度が2.5度×2.5度の日平均データである。雲の季節変化には国際衛星雲気候計画 (International Satellite Cloud Climatology Project: ISCCP) のデータを用いた。時間解像度は3時間であり、空間解像度は2.5度×2.5度である。海面水温は熱帯降

雨観測衛星 ( Tropical Rainfall Measuring Mission : TRMM ) 搭載のマイクロ波放射計 ( TRMM Microwave Imager : TMI ) による観測データを用いた、空間解像度は 0.25 度 × 0.25 度であり、1997 年 12 月からの各日に対しての 3 日平均値を用いた。データサイズは以上の合計で約 900GB である。

### 3.3 相関解析ツールの開発

2.2 に示したように、気象学分野において統計解析的な手法で現象間の関連抽出が行われてきた例はあるが、本研究で想定するような大容量データを対象とする場合、上述のような汎用ソフトウェアで処理するのは非常に困難である。

また、本研究で対象としているデータは、単純な 2 データの相関計算にとどまらず、時間・空間・変量を超えた相関性を持つ可能性があるため、柔軟な条件指定で大容量データを扱った解析を実現するツールが必要である。

そこで本研究では、大規模データアーカイブシステムと連携し、時間・空間・変量に加え時間解像度や空間解像度などを柔軟に指定して相関解析が可能なツールを開発した。本ツールでは、現象は常に同時に起こるとは限らず、数日の遅れをともなって発現する場合がある ( 時間ラグ ) ことを想定し、時間に差を与えたデータ間で解析を行うラグ相関解析の機能も実装している。

その手法を図 3 に示す。

例えば、データ A の北緯 20 度 ~ 45 度、東経 150 度 ~ 170 度の地域における 1981 年 3 月 11 日 ~ 20 日の時系列データを基準とする場合、

( 1 ) まず、当該領域の空間平均を算出し、比較元データとしてその時系列データを作成する。

( 2 ) 続いて、対象とするデータ B , C , D の地球上の全点 ( 解像度が 1 度の場合、360 × 180 = 64800 点 ) の 1981 年 3 月 11 日 ~ 20 日の時系列データを準備する。

( 3 ) そして、比較元データと上記 64800 個の時系列データとの相関計算を行い、各点ごとに相関係数を算出する。

( 4 ) 次に、時間ラグを含めた解析を行なう。対象データの日付を 1981 年 3 月 9 日 ~ 18 日、3 月 10 日 ~ 19 日、1981 年 3 月 12 日 ~ 21 日、1981 年 3 月 13 日 ~ 22 日のように、時間方向にずらした時系列データを 2、と同様に全点において作成する。

( 5 ) 3. と同様に各点ごとの相関係数を算出する。

という手順で計算を行なう。この手法により、空間的に離れた相関性の算出に加え、さらに時間的なずれ ( 何日か遅れて発生する事象など ) を含んだ相関性の発見も行なうことが出来る。

さらに、その解析時の各種条件指定や結果表示を Web ベースの GUI で利用可能なシステムを構築し、複数のリモート環境からの利用にも対応可能なものとした。

### 3.4 システム構成

本システムの構成は図 4 のようになっている。

ユーザが Web インターフェース上で指定した条件や処理内容は Web サーバを経由してマイニング処理部およびデータ視覚化処理部にその内容が送られる。その条件に基づいてマイニング処理部は SQL を生成しデータアーカイブシステムのデータベースにデータ要求を出す。得られたデータはマイニング処

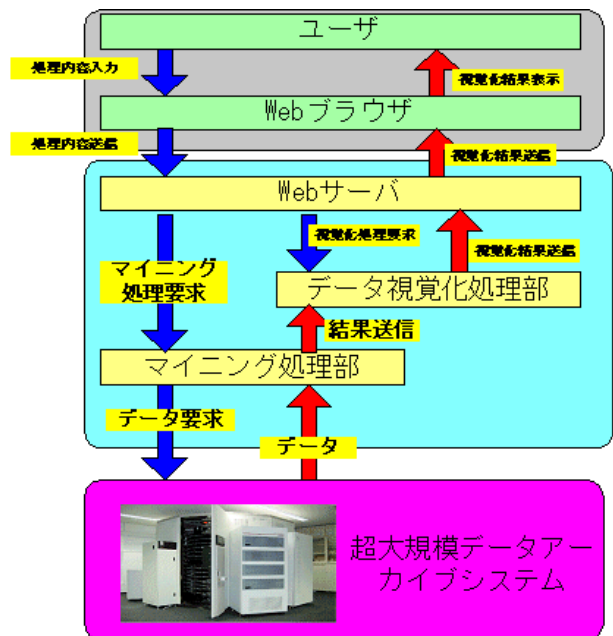


図 4 システム構成

Fig. 4 System Structure

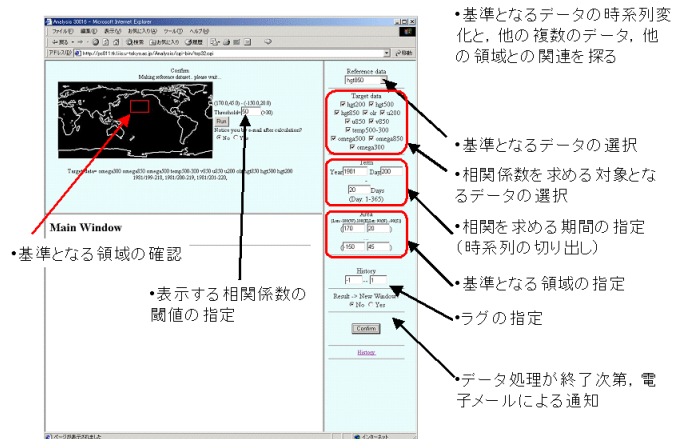


図 5 トップページ

Fig. 5 Toppage

理部で処理内容に基づいた相関解析計算が行われ、結果をデータ視覚化処理部に送る。そこで Web サーバから受信した視覚化条件に基づいた視覚化処理が行われ、その結果は Web サーバを通してブラウザに表示され、ユーザが結果の確認を行う。

用いたハードウェア・ソフトウェアは表 1 の通りである。

### 3.5 相関解析システム

まず、本システムにログインすると図 5 のようなトップページ画面が表示される。

ここでは右側フレームで

- 相関解析の比較元となるデータ ( 1 データ )
- 比較対象データ ( 複数選択可能 )
- 比較年月日
- 期間
- 比較元となるエリア
- 結果表示ウィンドウ指定 ( 別ウィンドウか、同一ウイン

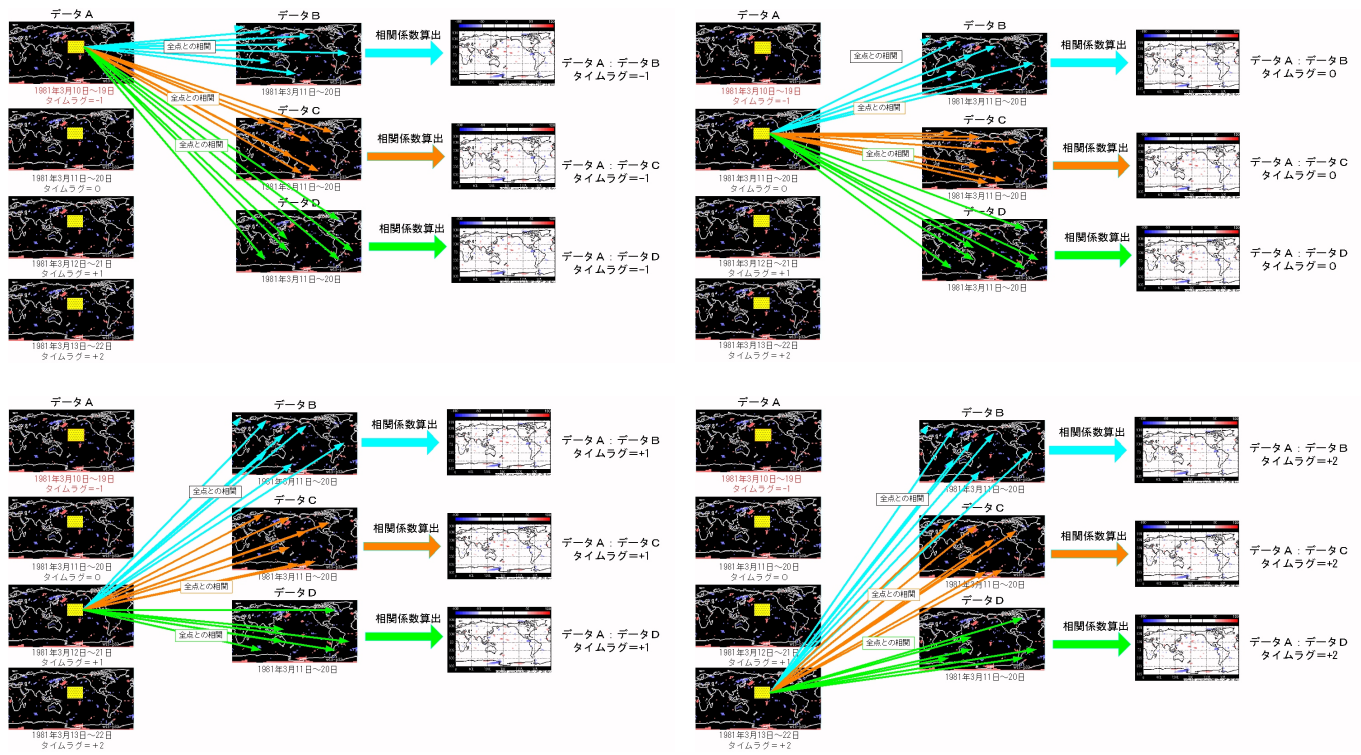


図 3 時空間ラグ相関計算の手順

Fig. 3 Methods of time-spatial lag correlation analysis

Web サーバ・データアーカイブサーバ	Sun Enterprise 6500(UltraSPARC-336MHz × 8,4GB Memory)
マイニング処理サーバ	Dell Poweredge1600c(Redhat Linux9,Xeon-3.2GHz × 2,4GB Memory)
視覚化処理サーバ	SGI OCTANE2(IRIX6.5,600MHz-R12000 × 2, 4GB Memory)
大規模記憶装置	Sun StorEdge A5000(250GB), STK WolfCreek 9960 + RedWood SD-3 System(0.5PB)
視覚化装置 (大型ディスプレイウォール)	MITSUBISHI LVP-FD10(50 型) × 10
RDBMS	PostgreSQL 6.5.2
その他	apache httpd,csh,awk,sed,c,java1.0,vrml2.0 など

表 1 本システムを構成するハードウェア・ソフトウェア

ドウ内か)

の各要素の指定を行う。すると、左上フレームに確認のため世界地図上に指定したエリアが表示され、同時に視覚化表示時の閾値設定および処理モード選択(即座に実行し結果を表示するか、計算後にメールで通知し結果を確認するか)を指定する。

ここで実行ボタンを押すと処理が実行され、図 6 のような結果画面が表示される。

この図で横方向はラグ日数の異なる結果が並び、縦方向は異なる変数を示している。すなわち、1つの結果データは、比較元データの既定領域の領域平均時系列データと、ある比較先データの、比較元とのある時間ラグのある年月日の、全球全点における相関解析計算の結果を示しており、正相関は赤、負相関は青のそれぞれ濃淡で大きさを示している。従って、横方向に結果を比較していくことで、時間の推移による相関性の変化(どの程度の時間ラグがあって影響を及ぼしたか)が理解でき、縦方向の対比で比較元データがどのデータと相関性が高いかの把握が可能となる。

また、この図 6 で、関心のあるデータをクリックすることで

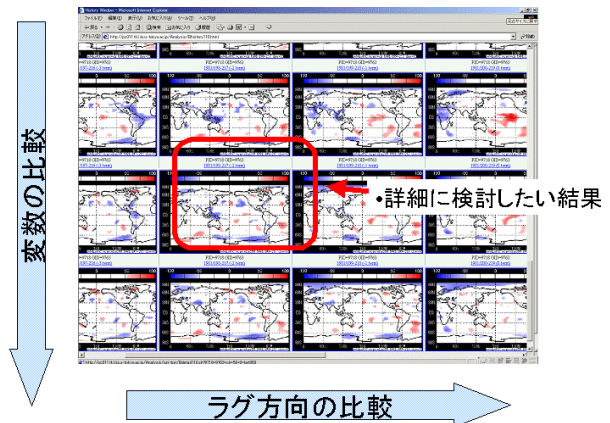


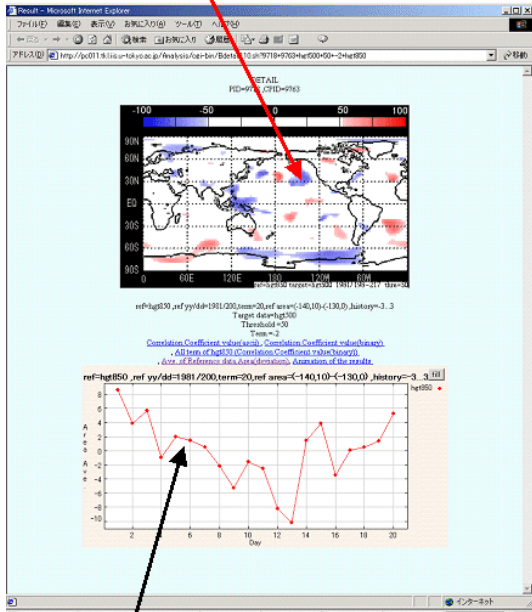
図 6 相関解析ツールによる結果

Fig. 6 Result of correlation analysis

図 7 に示すウィンドウが表示される。

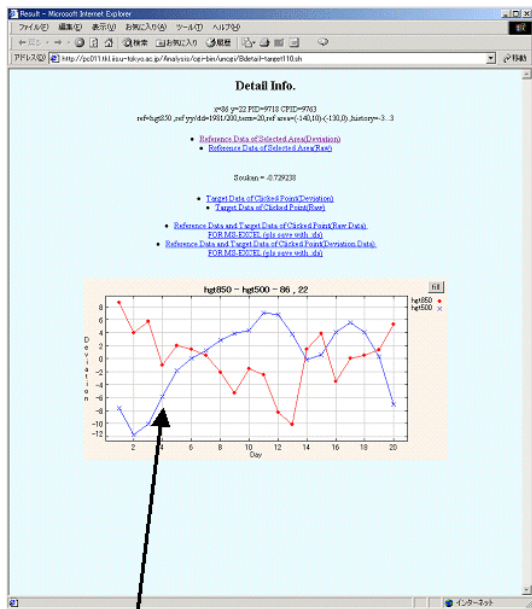
このウィンドウでは、選択した結果のより高解像度な相関解析結果が表示されており、ウィンドウ下側にはその比較元データの領域平均時系列値がグラフ表示されている。このウィンド

•詳細に検討したい領域



•基準となるデータ時系列

図 7 1データの詳細表示  
Fig.7 Result of 1 detail data



•クリックした点の時系列

図 8 時系列比較  
Fig.8 Comparison of time series data

ウの全球図上で、特に相関性の高い地点など関心のある点をクリックすると、図 8 や図 9 のようなウィンドウが表示され、各点・各時刻ごとのより詳細な結果確認が可能となっている。

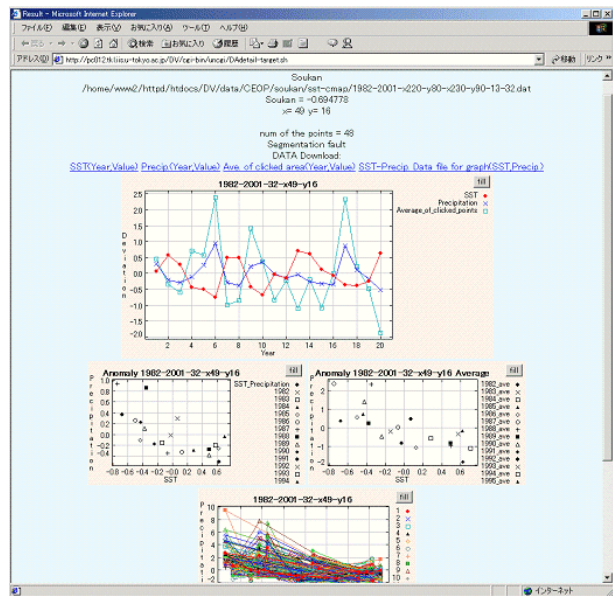


図 9 詳細な解析結果  
Fig.9 Result of detail analysis

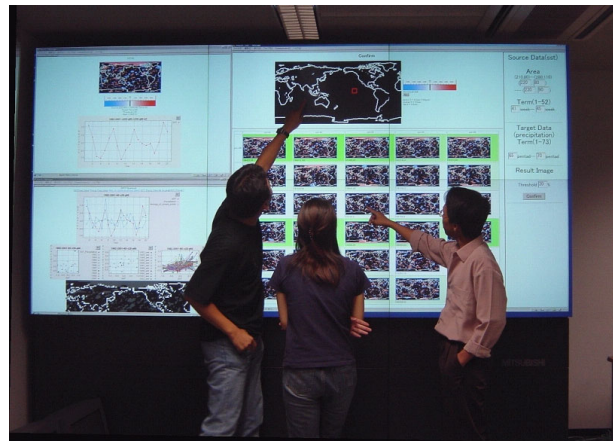


図 10 大型ディスプレイウォール上の視覚化表示  
Fig.10 Visualization on Display Wall

3.6 大型ディスプレイウォールを用いたビジュアライゼーションに関する検討

本研究で開発したシステムは、非計算機関係分野の研究者による利用を想定しているため、一般的に容易にその利用環境が得られる Web ブラウザを視覚化インターフェースとして用いているが、図 10 に示すような大型ディスプレイウォールによる結果のビジュアライゼーションに関する検討も行なっている。

一般のモニターに比較して圧倒的に高解像度であるため、より詳細あるいは同時に多くのデータを表示し確認することが可能である。現在はまだ試行中であるが、本システムで解析された結果どうしの比較を専門的知見を持った研究者が行なったところ、従来手法では見落としていた現象が既に幾つか発見されたケースもあり、今後も継続して検討を行なう予定である。

4. 実研究への適用—インド モンスーンの解析—

現在、本研究で開発したマイニングツール群を用い、文部科学省科学技術振興調整費「水循環インフォマティクス」プロジェ

Year	Onset (pattern)	Year	Onset (pattern)
1981	6/4 (Non-Cyclone)	1992	6/16 (Non-Cyclone)
1982	6/7 (Non-Cyclone)	1993	6/4 (Non-Cyclone)
1983	6/16 (Cyclone)	1994	6/7 (Cyclone)
1984	6/1 (Non-Cyclone)	1995	6/10 (Non-Cyclone)
1985	5/26 (Non-Cyclone)	1996	6/10 (Cyclone)
1986	6/8 (Cyclone)	1997	6/16 (Non-Cyclone)
1987	6/3 (Cyclone)	1998	6/9 (Cyclone)
1988	6/4 (Non-Cyclone)	1999	5/19 (Cyclone)
1989	5/29 (Non-Cyclone)	2000	5/16 (Non-Cyclone)
1990	5/18 (Cyclone)	2001	5/17 (Non-Cyclone)
1991	6/5 (Cyclone)	2002	6/15 (Non-Cyclone)

表 2 各年のモンスーン開始日と特徴

Table 2 The monsoon onset day and feature of each year.

クトにおいて実際にインドモンスーンの解析に関する研究が行われている。本章では、その概要を述べる。

#### 4.1 背景

安定で効果的な水資源計画の実現のためには、長期的な気候変動予測に加え、中期および短期の気象予報においても、高い精度が必要とされる。アジア域においては、夏季アジアモンスーンが上記に非常に大きな影響を与えるが、その季節進行あるいは年々変動の物理過程の大部分は明らかになっていないのが現状である。そこで、近年の観測技術の向上に伴って利用可能となった多様かつ有用なデータと、本研究で開発したツール群を用いて、特にインドモンスーン開始期に着目し解析を行うこととした。

#### 4.2 研究概要

詳細は本研究の共同研究者らによる論文 [4] にあるが、本研究で開発したツールを用い、本システムで利用可能な約 22 年分の多変量の日平均データを詳細に事例解析を行った。

その結果、夏季インドモンスーン期に降水をもたらす西風の形成に関しては、夏季インドモンスーンの開始にはサイクロンによって大気場の変化がもたらされる場合と、特別なイベントによらず徐々に西風が吹く場が形成される二つの季節進行のパターンに分類できることが分かった。1981 年から 2002 年までについて西風形成までの季節変化を調べ、それがサイクロンによってもたらされたものかどうかを解析した。が表 2 である。なお、モンスーン開始は西風の形成日とし、東経 60 度-70 度、北緯 10 度-15 度、850hPa において領域平均した風速が 9m/s より大きくなった日とし、風系のプロットとも比較して定義している。

22 年の対象年のうち、9 年がサイクロンによって西風形成に至ったものである。サイクロンは急激な大気場の変化をもたらすが、その発生時期や場所は年によって異なる。一方、Non-Cyclone とした場合は 2001 年の季節進行に共通する点が見出された。その季節進行を要約すると、インド亜大陸およびイラク-パキスタン領域の加熱によって中東域からインド亜大陸の西岸に沿った北西風が形成され、それによって運ばれる陸域の暖かい空気がアラビア海を暖める。アラビア半島の加熱が十分に進行すると、アラビア海との間の温度傾度によってアフリ

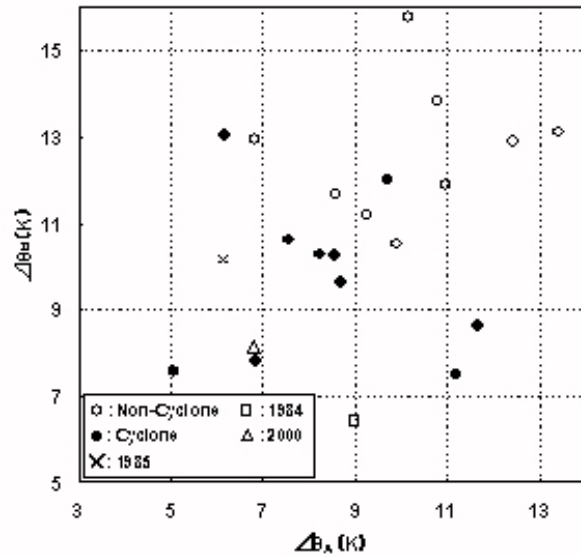


図 11 西風形成日の温度傾斜

Fig. 11 temperature inclination of the monsoon onset

カ東部からアラビア海に吹き込む南西風が形成され、再びアラビア海の温位が低下する。アラビア半島とイラン-パキスタン領域の高温位域とアラビア海の低温位域との間の温度傾度が大きくなることによって、アラビア海に強い西風が形成される。すなわち、アラビア半島とアラビア海の温度傾度と中東域とアラビア海との温度傾度が形成されることがモンスーンの西風形成に必要であると言える。

図 11 は、西風形成日における上記二つの温度傾度をプロットしたものである。

Cyclone の場合の西風形成期における温位差は Non-Cyclone の場合に比べて小さい。すなわち、十分に温位差が大きくなった状況では既に西風が形成されており、そこに至る過程で Cyclone が発生するか否かが二つの西風形成パターンを左右するものといえる。従って、温位差が十分でない時期に Cyclone の発生・発達を予測することが、西風形成すなわちインドモンスーン開始のパターンおよび開始時期の予測につながるという知見が得られた。

#### 5. おわりに

気象学・気候学など、地球環境データを用いる分野における観測技術の発達は、その膨大なデータ増加量から導かれる新たな発見の可能性を広めるとともに、その効率的な処理方法と実用的な利用環境の必要性といった課題をもたらした。

本研究では、地球環境データを利用した研究を行っている分野の研究者と密接に協調し、実際のデータを超大規模データアーカイブシステムに導入した上でデータマイニング技術を用いた解析ツールの開発を行った。また、当該分野の研究者が容易に利用する環境を構築するため、Web ベースのユーザーインターフェースを実装し、専門的解析を支援する環境の構築を行った。

その結果、実利用におけるニーズを多く取り込んだ上で構築

した環境上で夏季インドモンスーンの解析研究が行われ、その形成過程には2つの季節進行パターンがあることが発見され、従来は得られていなかった知見を得るに至った。

今後はより高次な解析ツールの開発を目指し、実利用者からのフィードバックを生かしながらさらに柔軟かつ効率的なシステムの研究を行う予定である。

また、本システムを利用した研究が実際に進行しているのを生かし、その利用ログからの新たな知見創出を目指した研究も今後行なう所存である。

## 謝 辞

本研究は文部科学省 科学技術振興調整費「水循環インフォマティクス」(代表: 東京大学大学院工学系研究科 小池俊雄)の成果の一部である。また、本研究で使用したデータは全球降水気候計画(GPCP), NCEP/NCAR, 米国大気海洋庁(NOAA)より提供されたものを用いた。ここに記して謝意を表します。

## 文 献

- [1] CEOP Homepage(<http://www.ceop.net/>).
- [2] National Centers for Environmental Prediction (<http://ncep.noaa.gov/>).
- [3] Wallace, J.M. and Gutzler D.S., "Teleconnections in the geopotential height field during the Northern hemisphere winter", *Mon. Wea. Rev.*, vol.109, pp.785-812, 1981.
- [4] 谷口健司, 小池俊雄, 生駒栄司, 喜連川優, "データ統合活用による夏季インドモンスーン形成過程の研究", *水工学論文集*第48巻, 2004年2月.
- [5] Webster, P. J., Magana, V. O., Palmer, T. N., Shukula, J., Thomas, R. A., Yanai, M. and Yasunari, T.: Monsoons: Process, predictability, and the prospects for prediction, *J. Geophys. Res.*, Vol.03, pp.451-510, 1998.
- [6] Chelliah, M. and Arkin, P.: Large-scale variability of monthly longwave radiation anomalies over the global tropics, *J. Climate*, Vol.5, pp.371-389, 1992.
- [7] Schiffer, R.A., and Rossow, W.B.: The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP): The first project of the World Climate Research Program, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol.64, pp.779-784, 1983.
- [8] 廣田 勇: 気象解析学, 東京大学出版会, 1999年.
- [9] 鳥羽良明編: 大気・海洋の相互作用, 東京大学出版会, 1996年.