

地震データ解析のための震源分布の 3D 表示システム

海渡麻美* 渡邊絵美* 中貴俊** 山田雅之*
遠藤守* 宮崎慎也* 長谷川純一***

*中京大学情報科学部 **中京大学大学院情報科学研究科
***中京大学生命システム工学部

あらまし 気象庁は、国内で発生した地震の震源地(緯度・経度・深さ)、時間、マグニチュードなどの数値データを収めた「一元化震源リスト」を Web 上に公開している。このリストから得られる震源の 3 次元分布は大域的な震源分布の特徴を示すものであり、専門家による地震のメカニズム解明において重要な役割を果たすと考えられる。しかしながら、地震は微小なものを含めると 1 日平均 300 回ほど発生しており、リストに含まれる震源の数は膨大である。そこで本研究では、震源の空間分布や特徴量を視覚的に把握しやすい形で表示するための方法を提案する。震源分布の 3D 表示においては、液晶シャッター式眼鏡による立体視表示における視認性に関する実験を行う。

キーワード 地震, 解析, 3D 表示, 可視化, 分布データ

A 3D Display System of Seismic-center Distribution for Earthquake Data Analysis

Mami Kaito* Emi Watanabe* Takatoshi Naka** Masashi Yamada*
Mamoru Endo* Shinya Miyazaki* Junichi Hasegawa***

* School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo University
**Graduate School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo University
***School of Life System Science and Technology, Chukyo University

E-mail: {*kaito | *watanabe | **naka}@om.sccs.chukyo-u.ac.jp
*{ myamada | endoh | miyazaki } @sccs.chukyo-u.ac.jp
***hasegawa @life.chukyo-u.ac.jp

Abstract The Japan Meteorological Agency presents a unified data set of seismic-center distribution in the web, such as three dimensional position, magnitude and time in which the earthquake occurred. It is useful for grasping the global feature of the distribution and analyzing earthquake phenomena. About three hundred earthquakes per day occur on average, including small ones. To display those large number of seismic-center points, we investigate the comfortableness of stereo display for distributed points. Effective ways to display feature quantities of the seismic-center distribution are also examined.

Keyword Earthquake, Analysis, 3D display, Visualization, Distribution data

1 はじめに

近年、東海地震や南海地震などの大型地震が近い将来発生するとの予測もあり、地震防災への関心が高まっている。地震防災を的確に行うためには、地震現象のメカニズムを解明し、地震予知や被害予測を精度よく行うことが必要であり、現在、多くの研究機関がこれに

取り組んでいる。地震現象のメカニズムの解明やシミュレーションには、過去の地震データ、地殻変動データ、地下構造に関するデータなど多種のデータを用いる必要がある[1]、その量は膨大である。そのため、大規模・多変量データの可視化技術や解析支援のための技術は必要不可欠となっている。例えば、震源分布を把握す

ることにより、ボーリング調査が困難な地域の地盤構造や活断層をある程度推定することができる。

そこで我々の研究グループは地震防災だけでなく、都市計画の専門家とも連携して、地震被害の予測システムの開発を進めている。その中で本論文では特に、地震に関する各種データの、専門家による解析を目的とした可視化表示システムについて述べる。

1.1 関連研究

地震データの可視化に関する研究は、大きく次の2種類に分けられる。1つは、地殻変動や地震波伝播などのシミュレーション結果を可視化するためのレンダリング手法に関するものであり、例えば文献[2]では地球シミュレータにより得られた膨大な数値結果から、地震波伝播の現象を3次元アニメーション表示するための並列ボリュームレンダリング手法について述べている。これは、大容量の数値データを可視化する効果を示すものとして興味深い成果であるが、地震解析を行うための汎用的なツールとなるべき機能を兼ね備えているわけではない。

もう1つは、観測された様々な地震データ間の関連や、個々のデータの特徴を解析するための表示方法に関するものであり、文献[3]では代表的表示手法である震央分布図、時空間分布図、積算曲線などについて、それぞれの表示の役割、読み取れる情報、欠落する情報などを述べ、これら表示の改善の可能性を検討している。ここで、震央分布図は震源の地図上の分布を表現した図、時空間分布図は震源位置を1次元空間に投影して分布を表現し、その時間的変化を表現した図、積算曲線は単位時間あたりの地震発生回数の時間的変化を表現した図である。本論文の提案手法はこれらのうち後者に深く関係するが、特に点群震源分布の表示手法および時系列解析のためのCGを用いた可視化表示の機能を新たに提案している。

1.2 提案手法の概要

気象庁は、国内で発生した地震の震源位置(緯度・経度・深さ)、発生時刻、マグニチュードなどの数値データを収めた「気象庁一元化震源リスト」を数年前からWeb上に公開している。このリストから得られる震源の3

次元分布は大域的な震源分布の特徴を示すものであり、地震現象のメカニズム解明に重要な役割を果たす。しかしながら、地震は微小なものを含めると1日平均300回ほど観測され、リストに収められる震源の数は膨大であるため、震源分布の様子を把握し、メカニズム解明につながる特徴を見つけるのは容易ではない。実際には、震央分布図や断面図などの2次元表示から3次元構造を推定する作業が行われているのが現状であり、視認性の高い3D表示を提供することにより、3次元構造の把握が正確かつ効率的になることが期待できる。

震源分布は、基本的には震源の3次元位置を点群としてレンダリングすることで3D表示できるが、震源の数が膨大なため、単純な表示ではその分布構造を把握することは困難である。曲面パッチを用いて大まかな分布構造を表示する試みは行われているが[4]、この方法は個々の震源位置の詳細を把握するには適していない。

そこで我々は、液晶シャッター式眼鏡[5]を用いる方法により震源分布を点群として立体視表示し、その表示方法の有効性を検証した。視覚系の理論研究では、従来から点群の立体視(ランダムドット・ステレオグラム)に関する研究が数多く行われてきた[6]。それらは面の連続性と対象の非透過性を前提としているものであり、点群を立体視したとき、もとの形状の曲面や稜線を知覚する心理的なプロセスを解明することが主な目的である。一方、我々が扱う震源分布は膨大な数で、かつ、個々の点が独立した分布であり、上述のような連続性は保証されない。このような独立点群の多数分布を立体視表示したとき、視覚による判別を容易にする表示方法を調査することが本研究の目的の1つである。既存の地震解析システムのなかで、震源分布をステレオ表示するものが既にあるが、視認性を考慮した表示については研究の対象外となっている[7]。

地震データの時系列解析は地震活動の同定や大型地震の予知に有効なアプローチの1つである。例えば、地震データの時間的変化から異常現象を発見し地震を予知する試みや、震源の空間情報と関連づけて活断層地震の連鎖現象を解明する試みが実際に行われている[8][9]。地震データのような多変量データの時系列解析には、一般に相関分析など統計的手法が用いられるが、これにより得られる数値的結果のみで時系列の特

徴を理解することは難しい。そこで我々は、地震データの時間的変化を3次元相関グラフで表示することにより、その特徴を視覚的に把握できるようにした。3次元相関グラフは時系列上の類似パターンや周期性の発見などに有効な表示手法の1つであり、カオス現象を含む複雑系の同定や予測などに使われている[10][11]。地震データの時系列解析においても、従来から使われている積算曲線などの単純なグラフ表示に加え、3次元相関グラフを用いることにより、時系列の特徴を多様な視点から解析できる。

本論文では、まず地震データの可視化表示システムについて述べ、次にこのシステムで用いる立体視表示手法とその有効性の検証実験について述べる。最後に3次元相関グラフを用いた実データの解析例について述べる。

2 地震データの3D表示システム

ここでは地震データ解析のための3D表示システムについて述べる。このシステムは震源分布の立体視表示、地殻変動データの可視化表示、時系列解析のための3次元相関グラフ表示などの機能を持つ(図1)。以下ではまず、このシステムで扱うことができる地震データについて述べ、次に各表示機能の詳細について述べる。

2.1 地震データ

本表示システムが扱う地震データには震源データと地殻変動データの2種類がある。

【震源データ】地震の発生場所やその強さに関する観測値を震源データと呼ぶ。本システムでは震源データとして、気象庁が公開する「気象庁一元化震源リスト」を用いる。これには、大学など各研究機関の観測データをもとに気象庁・文部科学省が算出した、個々の地震の発震時刻・緯度・経度・深度・マグニチュード・震源地域名などが記録されている[12]。

【地殻変動データ】地殻変動とは、地盤の境界面が堅い岩盤を破壊して動く運動であり、群発地震や大型地震に伴って急激に生じる場合や、プレート運動やマグマ活動に伴ってゆっくり進行する場合がある。地震の発生前後には関連する地殻変動が必然的にあり、地震

と最も関連が深い現象の1つであるため、本システムでは震源データとあわせて地殻変動データも扱う。国土地理院はGPS連続観測システムで、全国の地殻変動を観測しており、観測点における緯度、経度、東西方向への移動距離、南北方向への移動距離を測定し、そのデータを公開している[13]。

2.2 震源分布の3D表示機能

震源分布の3D表示機能では、震源の緯度、経度、深度の震源データに基づいて震源を点または球として3D空間に配置し、表示する。また、視覚的に震源を分類できるよう、マグニチュード、深度、地域のデータに基づいた彩色や球の大きさを設定する。図2は震源を地域別に彩色し、震源分布を表示した例である。このように地震データに基づいた様々な表示を提供することで、震源分布の特徴を様々な観点から解析できる。

また、マウス、キーボード操作により視点、注視点を移動しながら立体視表示により観察できる。図3は浅い震源ほど赤く、深い震源ほど青くなるよう彩色し、異なる視点から見たときの表示である。図3上図の表示からは太平洋側に深い震源が多く分布しているのが確認できる。図3下図は上図矢印で示す水平方向から見たときの表示であり、大陸プレートの下に潜り込んでいる海洋プレートの様子を震源の分布により確認できる。

2.3 地殻変動のベクトル表示機能

地殻変動データは、GPS連続観測局(基準点)の水平位置変化(移動距離と方向)であり、これを地殻水平変動ベクトルという。本システムはこのベクトルを基準点座標に基づき地表面上に配置して表示する。このとき、ベクトルの始点は赤丸で表現し、ベクトルの方向と大きさは赤い線分で表現する。図4は2004年1年間の地殻変動ベクトルと震源分布を地表面垂直方向から見たときの表示である。

2.4 時系列パターンの3D表示機能

本システムでは、地震データの時系列解析のため、3次元相関グラフを用い、地震データの時間的変化の特徴を視覚的に把握できるようにした。以下では3次元相関グラフを生成表示する手順を述べる。

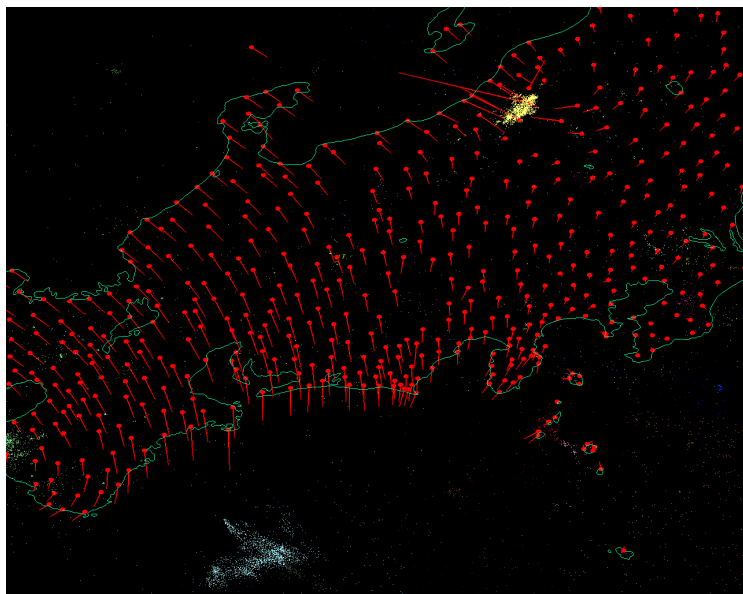


図4 地殻水平変動ベクトルの表示

3次元相関グラフを作るには、埋め込みという操作を行う。一般に埋め込みとは時系列 C_0, C_1, \dots, C_n に対し、 m 次元の点 $V(i) = (C_i, C_{i+s}, C_{i+2s}, \dots, C_{i+(m-1)s})$ を作ることをいう。ここで、 m を埋め込み次元、 s を遅れ時間とよぶ。 i を1ずつ増やして得られる $V(i)$ の軌跡を埋め込み曲線とよび、埋め込み曲線は時系列の変化パターンに対応しており、次のような特徴がある。1) 時系列の長さに関わらず、ある限られた空間に収まる。2) 時系列の同一変化パターンは同じ曲線上に埋め込まれる。3) 時系列の変化パターンの類似性は埋め込まれた空間における距離で評価できる。このような特徴から、埋め込みは時系列の特徴の把握、類似パターンや周期性の発見などに有効な操作である。

埋め込み次元 m は、カオス特徴量を調べる際にはフラクタル次元を用いる場合が多いが、埋め込み曲線を可視化するには $m=2$ または 3 とする必要がある。本システムでは、 $m=3$ とし、 (C_i, C_{i+s}, C_{i+2s}) を3次元空間の1点に対応させ、埋め込み曲線を3D表示し、これをさまざまな視点方向から観察できる。また遅れ時間 s はシステム上で任意に設定できる。

本システムでは、ある単位時間における地震発生回数や最大マグニチュードの時系列に対し、その埋め込み曲線を生成表示できる。ここではこのようにして得られた表示を3次元相関グラフと呼ぶ。図1には、ユーザーが指定した範囲内の震源データから、地震発生回数の

時系列を求め、その3次元相関グラフを表示した例を示す。まず、左側画面で地域範囲を指定すると、右上画面にその地域範囲の震源分布が3D表示される。さらに右上画面で深さを指定し、3次元的范围を決める。指定した範囲内の震源に関する3次元相関グラフが画面右下に表示される。

3 震源分布の立体視表示

大量の震源の分布から大域的な特徴や個々の震源位置を把握するため、本システムでは通常の3D表示に加え、液晶シャッター式眼鏡を用いる方法により震源分布を立体視表示する。立体視に関する心理的実験は、奥行き距離知覚を始めとして数多くの研究成果が報告されているが、表示物が多数点群の場合の視覚

による判別のしやすさに関する研究はあまり行われていない。

液晶シャッター式眼鏡を用いた立体視表示では、視差を含めた左目用、右目用の各画像を予め用意し、シャッターを左右交互に切り替え、左目には左目用画像、右目には右目用画像のみを提示することにより立体視を実現する。観測者は左右両画像の同一要素を対応付けることにより融像し、主に要素間に生じる相対視差から奥行きを知覚する[6]。融像のプロセスは、単純な3次元形状を対象とする場合は容易であるが、震源分布のように、個々が独立した3次元点を多数表示する場合、左右の画像から個々の同一点を対応付けることが困難となり、その結果、融像が困難となる。

そこで本研究では、多数の3次元点群を立体視する際、画像や個々の点に付加情報を与えて表示し、融像を容易にする方法を検討した。そして人工的な3次元点群データによる検証実験を行い、その有効性を確認した。

以降では、まず、**3.1**、**3.2** で色や図形などの付加情報が点群分布の立体視表示に与える影響を調べる立体視の心理実験を行う。その結果に基づいて **3.3** で、本可視化表示システムにおける表示方法の有効性を示すための確認実験を行う。

3.1 点群立体視のための表示手法

融像を容易にするため、ここでは以下 i)~iv)による表示方法を検討する。

- i) 個々の点の差別化
- ii) 融像しやすい物体の付加
- iii) 幾何学的情報の付加
- iv) 光学的情報の付加

ここで、i)は同一点の対応づけを容易にするものであり、ii)は輻輳運動による両眼視差の決定を補助するものである。iii)とiv)は遠くにあるほど小さく、また、暗く見えるという経験に基づく奥行きを知覚を促すものであり、これらの情報と両眼視差とを併用することにより、融像がより容易になることが期待できる。

上記 i)~iv)を実現する具体的な表示方法として、ここでは、①個々の点をランダムに着色、②補助線の付加、③個々の点を異なる大きさの球で表示、④個々の点の輝度値を奥行きに応じて設定、の4つの表示方法をあげ、これらの効果について実験を行った。各方法の詳細を以下に述べる。

①ランダムに着色： 個々の点の差別化を行うため、各点にランダムに異なる色をつけて表示する。ただし、左右画像の対応点同士は同一色である。

②補助線の付加： 両眼視差の決定を補助するため、補助線を追加表示する。

③球による表現： 点を大きさの異なる球として表示する。この場合、透視変換により視点から遠いほど小さく表示され、これは奥行きに関する幾何学的情報となる。また、球の大きさの違いから個々の点を差別化する効果もある。

④奥行きに応じた輝度値の設定： 視点からの距離が遠い点ほど輝度値を小さくし、暗く表示する、いわゆるデプス・キュー処理を施す。視点から照明をあてたことと同様の描画になり、光学的情報を与えたことになる。また、輝度値の違いから、個々の点を差別化する効果もある。

3.2 検証実験

上述の4つの表示方法により、左右画像の同一点の対応付けや奥行きを知覚が、どの程度改善されるかを実験により検証する。

【実験方法】

地震に関する特別な専門知識を持たない一般の被験者7人に対して立体視実験を行った。3次元空間の立方体領域に一様に分布する点群を人工的に生成し(以下、人工点群と呼ぶ)、下記5種類の場合について、被験者が点群のステレオ画像を融像し、奥行きを知覚できたと判断できるまでの時間をそれぞれ測定した。また、下記C1からC5の順番は被験者ごとにランダムに設定した。

- C1. 各点を単色で表示
- C2. 各点をランダムに着色して表示
- C3. 補助線を付加して表示
- C4. 補助線を付加し、点を大きさをもつ球で表示
- C5. 補助線を付加し、デプス・キュー処理を施す

C1, C2の表示方法によるステレオ画像を図5に、C3~C5の表示方法によるステレオ画像を図6に示す。(ステレオ画像は交差法により立体視できる。)

【結果と考察】

立体視できるまでの時間は、2回の測定の平均とした。それらの値を表1に示す(単位は秒である)。(C2)ランダム配色や(C3)補助線を付加した表示では、被験者によらずいずれも、(C1)単色の点のみの表示の場合より立体視できるまでの時間が短縮されていることから、点の差別化や両眼視差の決定を補助する物体の付加は、融像を容易にする効果があると考えられる。

(C4)補助線と球表現を用いた表示は、立体視できるまでの時間は短縮されるが、その効果については個人差が大きい。(C5)補助線とデプス・キュー処理を用いた表示は、5つの場合の中では一番安定して時間の短縮がみられた。球による表現やデプス・キュー処理を用いた表示は同一点を対応付けしやすくし、奥行きも表現できることから点群の立体視に有効と考えられる。以上の結果より、少なくともこれらの方法を併用することにより、立体視を効果的に改善することができるがわかる。

なお、幾何学的情報・光学的情報は経験的な奥行き情報であるので、その効果に若干の個人差も見られる。主に、裸眼立体が得意な人は、補助線だけでも十分に

表1 人工点群を用いた立体視実験(単位:秒)

	A	B	C	D	E	F	G	平均
C1: 単色の点	18	7	46	12	38	37	12	24
C2: ランダム配色	6	5	13	6	23	29	12	13
C3: 補助線付加	4	4	17	8	17	19	8	11
C4: 補助線+球表現	3	8	6	8	4	15	10	7
C5: 補助線+デプス・キュー	6	7	3	5	4	9	9	6

表2 震源分布表示の立体視実験(単位:秒)

	A	B	C	D	E	F	G	平均
C6: 単色の点(+海岸線)	13	2	6	21	11	20	6	11
C7: 配色+球+デプス・キュー(+海岸線)	5	5	2	6	6	14	3	6

時間の短縮が見られ、奥行きのための表示がかえって融像の妨げになり、逆に苦手な人は、奥行きのための表示が融像に役立ち立体視しやすくなる傾向がみられた。

3.3 震源分布の立体視表示への適用

3.2の実験結果をふまえ、本可視化表示システムにおける表示方法の有効性を確認するために以下の検証実験を行った。

【実験方法】

3.1, 3.2の人工点群を用いた立体視実験では配色や球の大きさをランダムとしたが、実際の震源分布を立体視表示する場合には、解析等の目的から、震源データに含ま

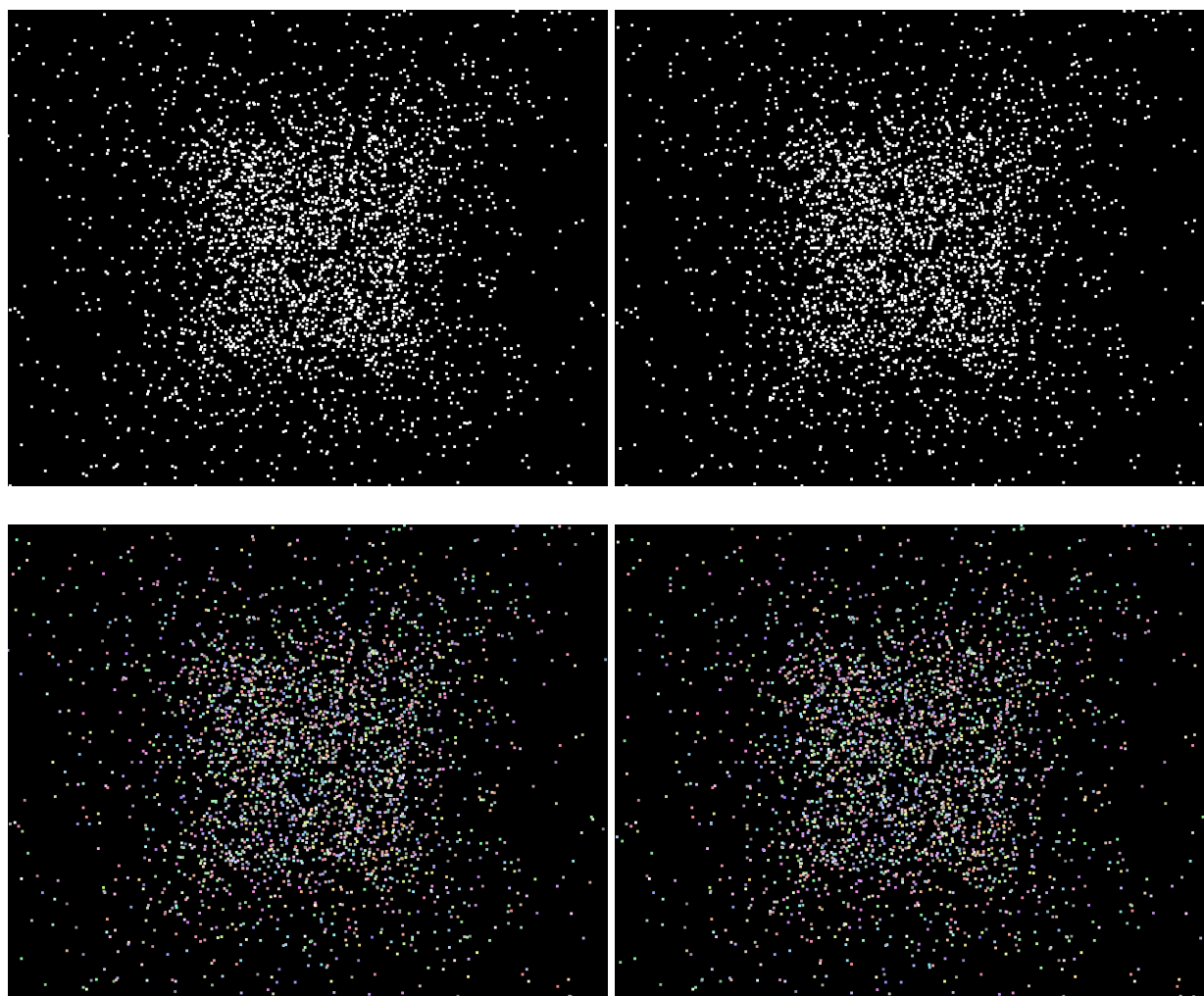


図5 人工点群の立体視実験用ステレオ画像1

(C1) 各点を単色で表示(上), (C2)各点をランダムに着色して表示(下)

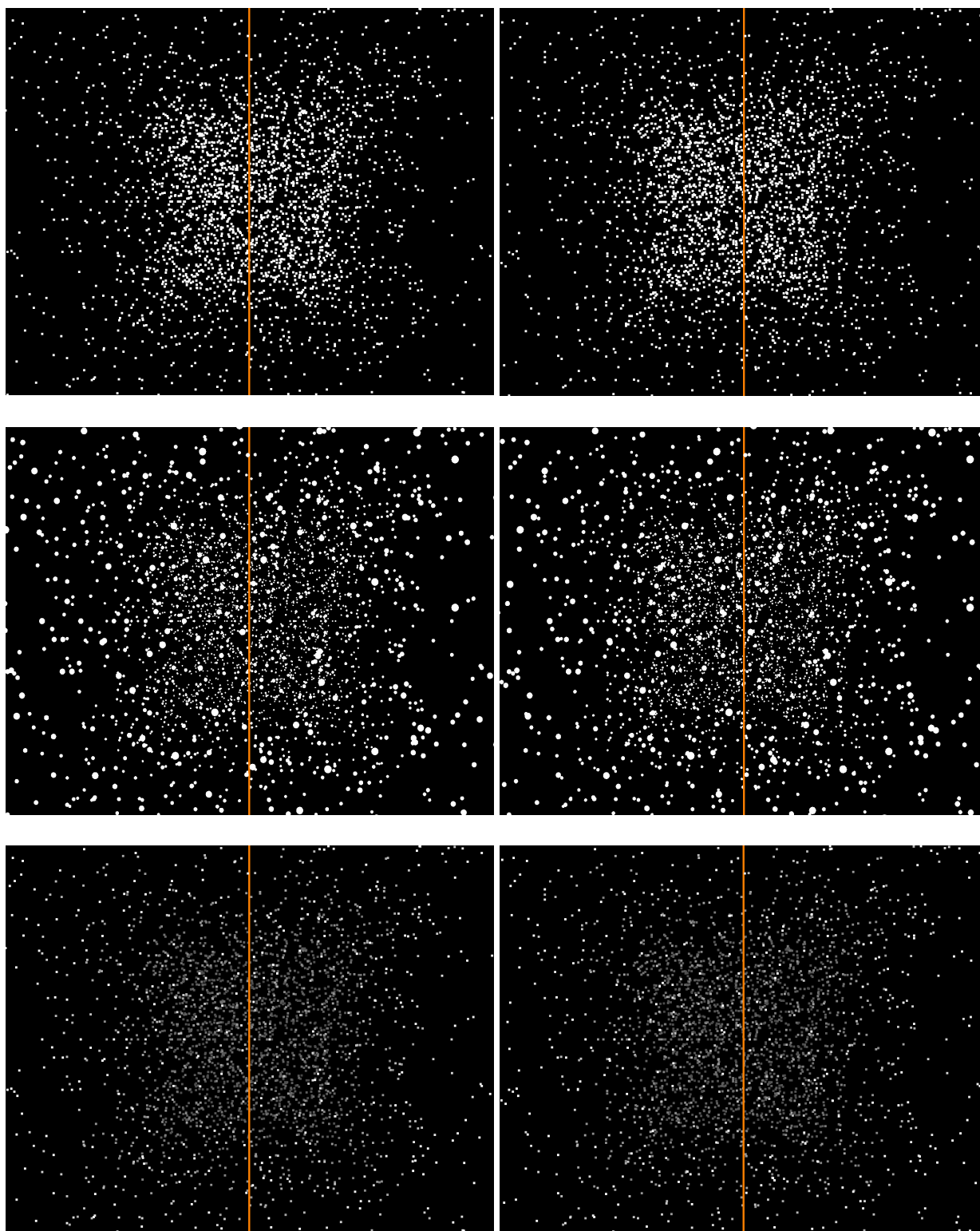


図 6 人工点群の立体視実験用ステレオ画像 2
(C3)補助線を付加して表示(上)
(C4)補助線を付加し, 点を大きさをもつ球で表示(中央)
(C5)補助線を付加し, デプス・キュー処理で表示(下)

れるマグニチュード値や深さ，地域名などを付加情報として用いることが考えられる．そこで，本実験ではマグニチュードに基づいて配色や球の大きさを定めた場合に，人工点群を用いた場合の実験と同様の効果が得られるかどうかを確認する実験を行った．また，日本の海岸線が補助線と同じ役割を担うとみなし，特に付加的な補助線の表示は行わないこととした．実験被験者は実施時期の違いにより人工点群による実験とは異なる．

実験は海岸線の表示を行い，(C6)震源を単色点で表示した場合と，(C7)マグニチュードに基づく付加情報を用いて表示した場合について，それぞれ立体視できるまでの時間を計測した．C7において，配色はマグニチュードが大きくなるにつれ，緑→黄→赤と変化するように

した．また球の大きさは，マグニチュードの大きさに比例して大きくなるようにした．また，C7では，効果の認められたデプス・キュー処理も行った．この実験で用いた震源分布は2004年10月23日に発生した新潟県中越地震のものであり，図7に，そのステレオ画像を示す．図7上はC6，図7下はC7の場合の表示である．

C6. 海岸線を付加し，震源を単色点で表示

C7. 海岸線を付加し，震源をマグニチュードに基づく配色と可変サイズ球で，デプス・キュー処理を施して表示

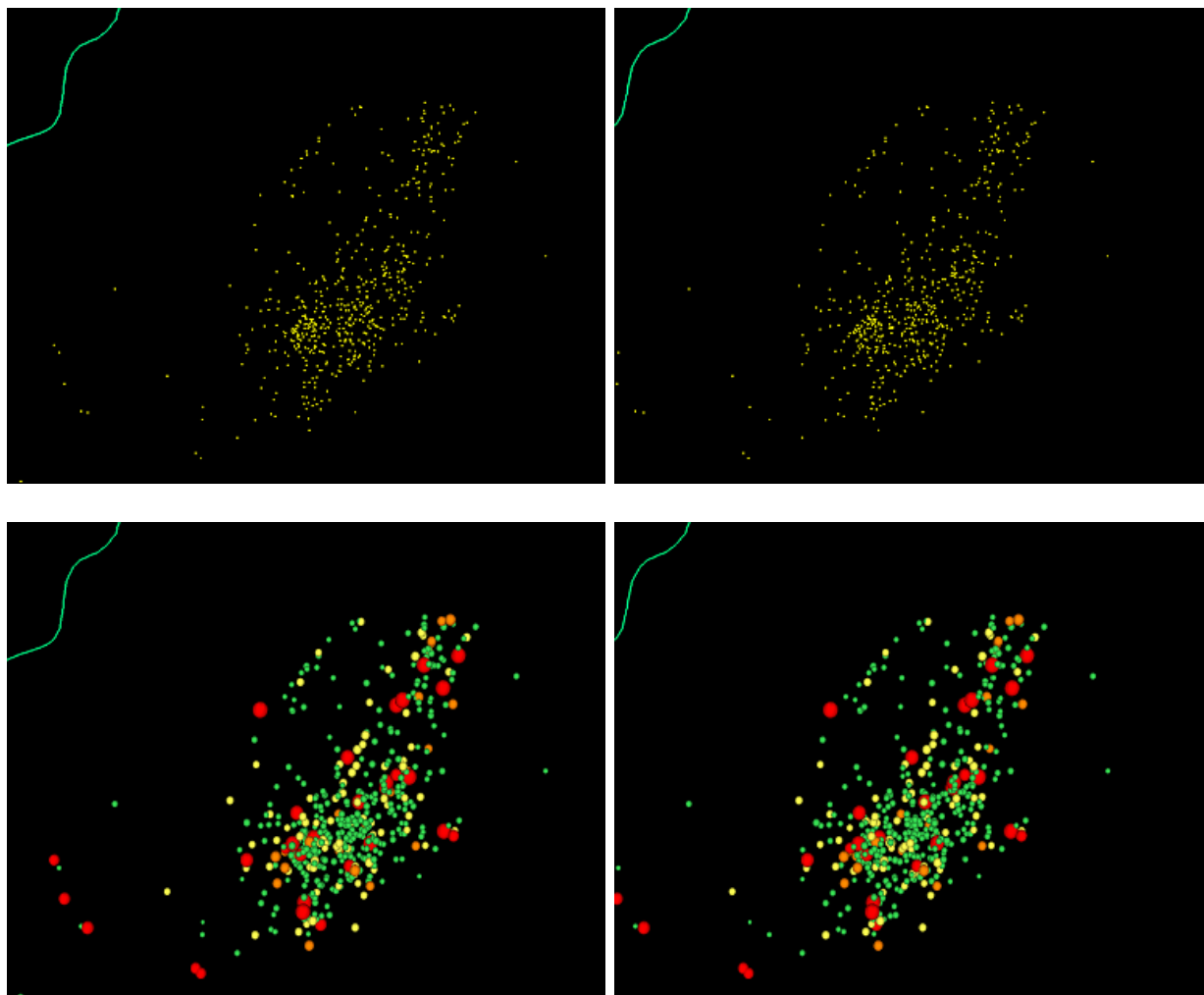


図7 新潟県中越地震の震源分布の立体視実験用ステレオ画像
(C6) 震源を単色点で表示(上)，(C7) 付加情報を追加して表示(下)

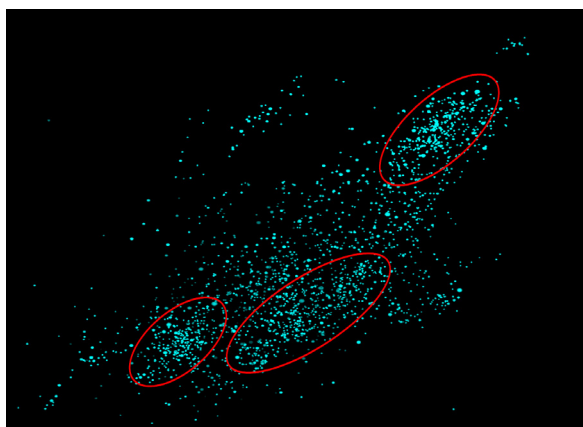


図 8 新潟県中越地震の震源分布クラスタ

【結果と考察】

立体視できるまでの時間を表 2 に示す. 7 人中 6 人について C6 よりも C7 のほうが立体視を容易に行えるという結果が得られた. 被験者から得た実験の感想においても, C7 では点の間に違いが感じられ立体視がしやすい, 震源の重なりがわかりやすい等の意見が得られた. 7 人中 1 人は単色点の方が奥行きを感じやすいという回答であったが, これは人工点群の実験の考察でも述べたように, 裸眼立体視の得手不得手等の個人差によるものと考えられる.

また, 新潟県中越地震では本震および余震が 3 つの

断層上で発生したが, 震源分布には, これを裏付けるように図 8 に赤丸で示されている 3 つのクラスタが存在している. C7 の表示方法でも, 単眼視では球の重なり具合によって震源の前後の関係はわかるが, クラスタの存在は確認することが難しい. 立体視することによって, 個々のクラスタの形状やクラスタ間の位置関係を把握できる, との意見も得られた.

以上の結果から, 今回用いた表示方法は震源分布の立体構造を把握しやすい方法であり, 地震データ解析に有効であるといえる.

4 震源データの解析例

ここではシステムの 3 次元相関グラフ表示機能を用い, 地震発生回数と最大マグニチュードの時系列を解析した例について述べる.

解析例 1: 24 時間平均地震発生回数

図 9 上図の棒グラフは, 2002 年 6 月 3 日～年末および 2003 年 1 月～11 月に全国で 1 日に起きた地震を 1 時間毎に集計し, その平均値を表したものである. この棒グラフから, 1 日のうち最も地震発生回数が多いのは深夜 0～2 時頃で, 昼にかけて減少し, また夜にかけて

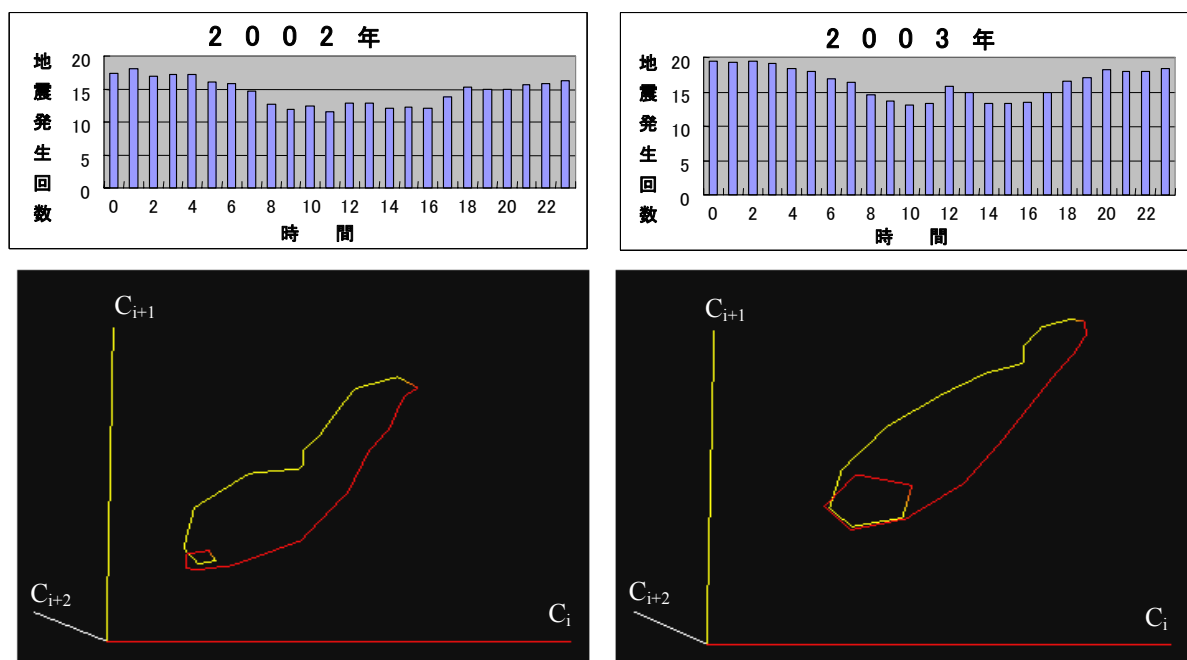


図 9 24 時間地震発生回数と 3 次元相関グラフ (左 2002 年, 右 2003 年)

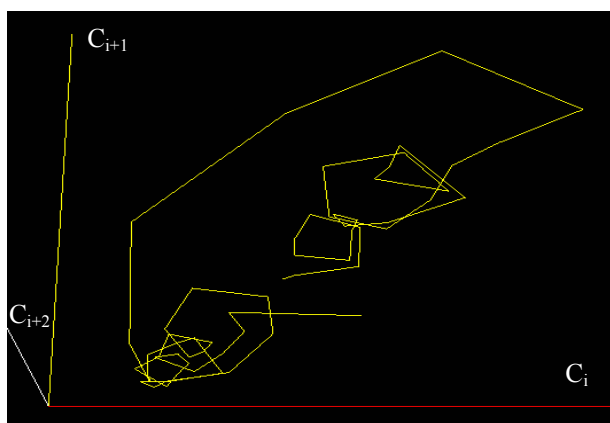
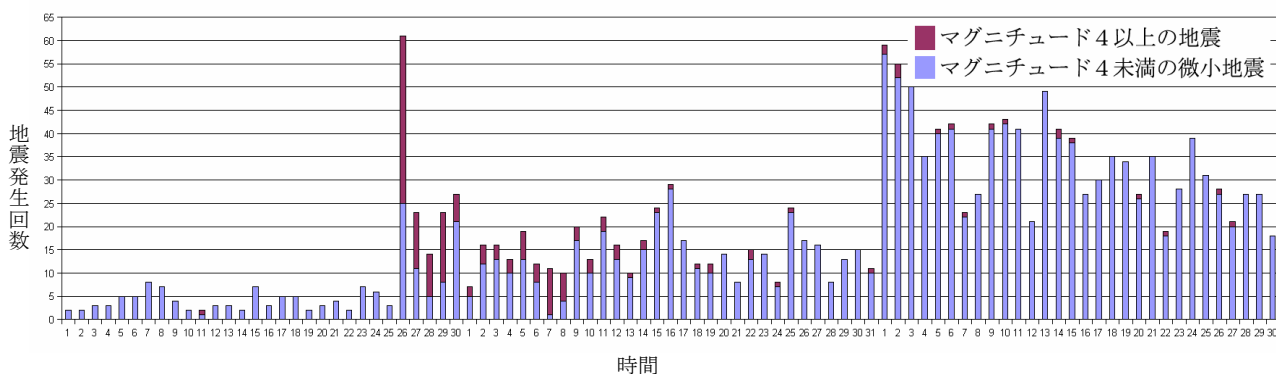


図 10 十勝地区の地震発生回数(上)と 3次元相関グラフ(下)

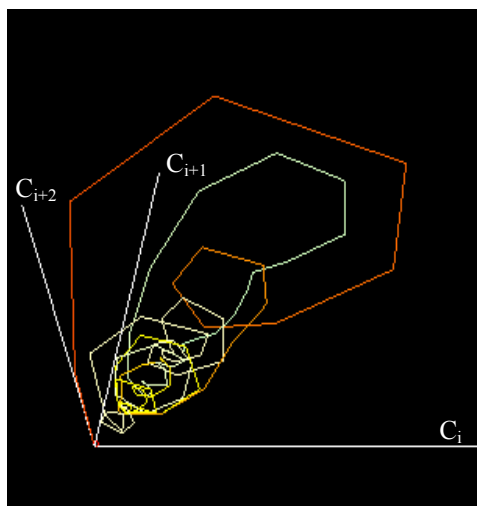


図 11 新潟県中越地方の3次元相関グラフ

増加していることがわかる。12 時付近で一時的に地震発生回数が増加するという傾向もみられる。

このような時系列パターンを 3 次元相関グラフで表現すると、図 9 下図のように、その形状は大きい円と小

い円からなる 2 重ループ型の周期構造になる。2002 年、2003 年ともにこの構造を持つことから、類似したパターンであることが理解できる。

解析例 2: 十勝地震

大きい地震の本震と余震の関係からその地震を特徴づけることができる。2003 年 9 月 26 日の十勝地震は最大マグニチュード 7.7 を記録した。この地区の 9 月 1 日から 11 月 30 日までの地震発生回数を図 10 上図に示す。十勝地震では本震の後にもマグニチュード 5~6 程度の地震が何度か観測されたが、微小地震を含めた発生回数は 11 月 1 日に急激に増え、その後徐々に減った。このような余震のパターンは 3 次元相関グラフでは図 10 下図のようになる。はじめ原点近くでループを繰り返した軌道が、急に原点から離れ、またループを繰り返しながら徐々に原点方向へ移動する。これは余震回数が急激に増え、その後、増減を繰り返しながらも、長期的には徐々に減少することを示している。

解析例 3: 新潟県中越地震

図 11 の 3 次元相関グラフは、2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震のものである。時間の経過と共にグラフの色が、赤から黄色になり、緑に変化する。このグラフは、始め原点付近に集中しており、地震はあまり起こっていない。その後、地震回数が急激に増え、増減を繰り返して螺旋を描きながら原点に戻ってきて、また原点から遠のいていることから、増減をくりかえしながら一時的に余震が減り、また増加していることがわかる。また、徐々に小さな螺旋になっていることから、増減の周期が短くなっていることもわかる。

解析例 4: 兵庫県南部地震

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震はマグニチュード7.3を記録した。図12には、1995年1月14日から2月14日の間にその周辺で発生した地震について、6時間単位の最大マグニチュードに関する時系列を生成し、その3次元相関グラフを異なる視点から見たときの表示を示す。曲線は時間が経つにつれ紫→赤→黄と変化するよう彩色した。異なる視点からグラフを観察することにより、埋め込み曲線の3次元的形状が把握できる。

本章では、通常1次元の変量である地震に関する特徴量データの時間的推移を3次元相関グラフで表示することにより、膨大な量の数値データ列を限られた空間の中で視覚的に把握しやすい形で表示する方法を提案した。本方法は時系列が膨大となる長期的な特徴の解析などで2次元グラフでは読み取りにくい特徴を、形状の特徴として読み取れる可能性がある。今回の例でも、2次元グラフ上の特徴に対比する特徴は3次元相関グラフ上にも現れることは確認できたが、これは今後予定している専門家を交えた共同研究においても、より詳細な特徴の読み取りなどに、その効果が期待できる。

5 むすび

本論文では、地震データを可視化表示するシステムについて述べた。特に、震源分布を立体視するための表示手法について検証実験を行い、その有効性を確認した。また、地震発生の時系列的特徴を視覚的に把握するために3次元相関グラフを用い、実データの解析例として、1日における地震発生パターンの周期性や十勝地震勝、新潟中越地震の余震パターンの特徴について述べた。本論文で提案した地震の3次元相関グラフについては、現段階では具体的な評価を得るには至っていないが、地震防災の専門家から、地震の発生頻度およびパターンを判りやすく提示できる方法であり、都市計画における合意形成ツールとしての利用可能性大との意見も得ている。

今後は、より多くの種類の時系列データについて解析するための機能、地震波や地盤データなど今回とり

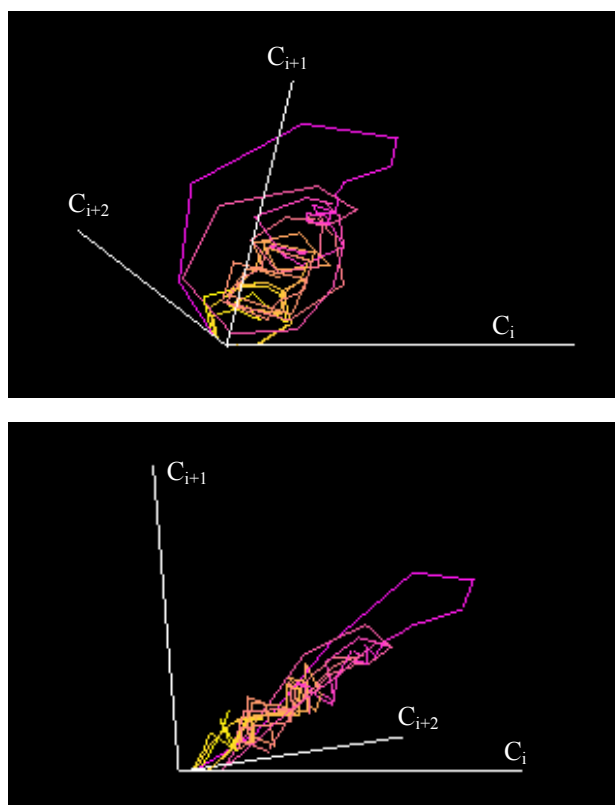


図12 兵庫県南部地震の関わる震源について、最大マグニチュード時系列の3次元相関グラフを異なる視点から見たときの表示

あげなかったデータの可視化機能の追加など専門家の要求に応じてシステムを拡充し、実際の解析実績を通して本システムおよび個々の提案手法の有効性を実証する必要がある。また、立体視については奥行き知覚距離に個人差があるため、その差を軽減する表示手法も今後検討が必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたりご協力頂きました財団法人名古屋産業科学研究所菅井径世氏に深謝致します。なお、本研究の一部は平成16年度文部科学省科学研究費補助金、文部科学省私立大学ハイテク・リサーチ・センター補助金による。

参考文献

- [1] 日本地質学会, “地震列島日本の謎を探る”, 東京書籍, 2000
- [2] T. Furumura and L. Chen, “Large Scale Parallel Simulation and Visualization of 3D Seismic Wavefield Using the Earth Simulator”, *Computer and Mathematical Engineering Sciences*, Vol.6, No.2, pp.153-168, 2004.
- [3] 住友則彦, 渡辺邦彦, 松村一男, 竹内文朗, 渋谷拓郎, 中尾節郎, 今田幸史, “山陰地方における地震活動の時間的空間的変動の特徴”, 京都大学防災研究所年報, Vol.42, B-1, 1999.
- [4] 理化学研究所, CHIKAKU システム,
<http://www.riken.go.jp/lab-www/CHIKAKU/>
- [5] 館璋, “人工現実感の設計 - 究極のインタフェースを求めて”, 培風館, 2000.
- [6] デビット・マー, “ビジョン - 視覚の計算理論と脳内表現”, 産業図書, 1987.
- [7] 雷興林, 西沢修, 佐藤隆司, 楠瀬勤一郎, “Windows 版AEデータ収録処理ソフト(WinAE)とその応用”, 地質調査所月報, Vol.48, No.8, pp.447-457, 1997.
- [8] 地震予知研究センター,
<http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/>
- [9] 中尾節郎, 片尾浩, 渋谷拓郎, 渡辺邦彦, “兵庫県北部の地震(2001年1月12日, $M_j=5.4$)と一連の地震活動について”, 京都大学防災研究所年報, Vol.45, B, pp.561-569, 2002.
- [10] 合原一幸編, “カオス時系列解析の基礎と応用”, 産業図書, 2000.
- [11] ニコラス・B・トゥフイーロー他, “非線形動力学とカオス - トポロジカルなアプローチ”, アジソン・ウェイレス・パブリッシャーズ・ジャパン株式会社, 1994.
- [12] 防災科学技術研究所, 高感度地震観測網 Hi-net,
<http://www.hinet.bosai.go.jp/>
- [13] 国土地理院, 日本列島の地殻変動,
<http://www.gsi.go.jp/>
- [14] 海渡麻美, 渡邊絵美, 中貴俊, 山田雅之, 遠藤守, 宮崎慎也, 長谷川純一, “地震データ解析のための震源分布の 3D 表示システム”, 第 20 回

NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp.107-112, 2004.

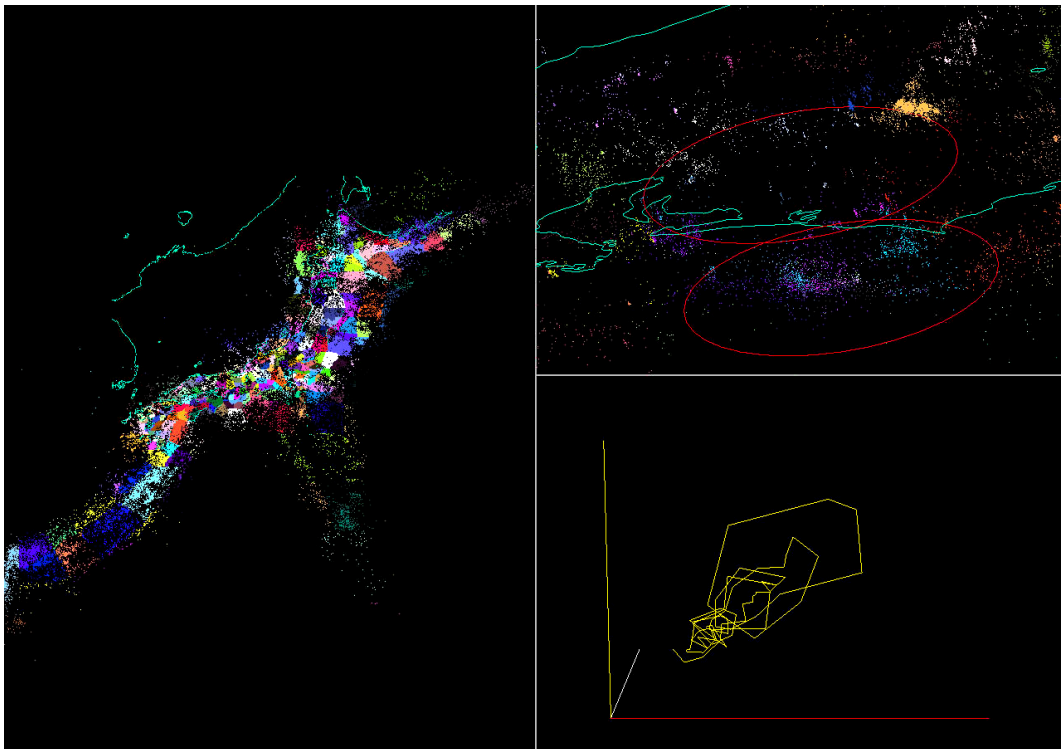


図1 地震データ可視化表示システムによる表示例

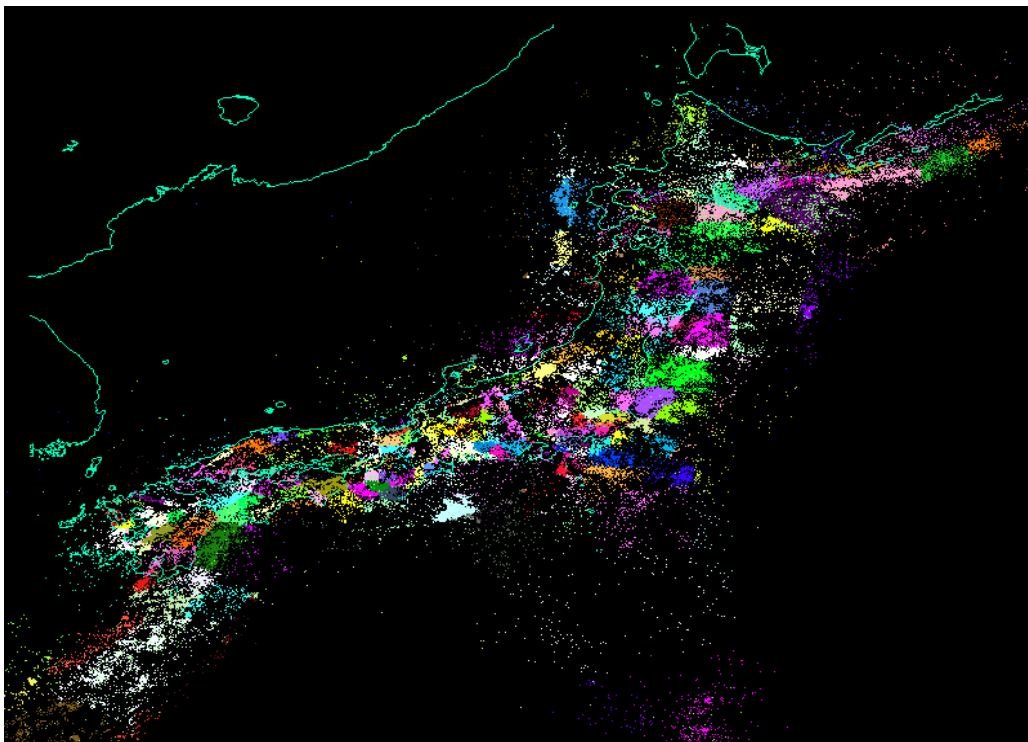


図2 地域ごとに彩色した震源分布表示

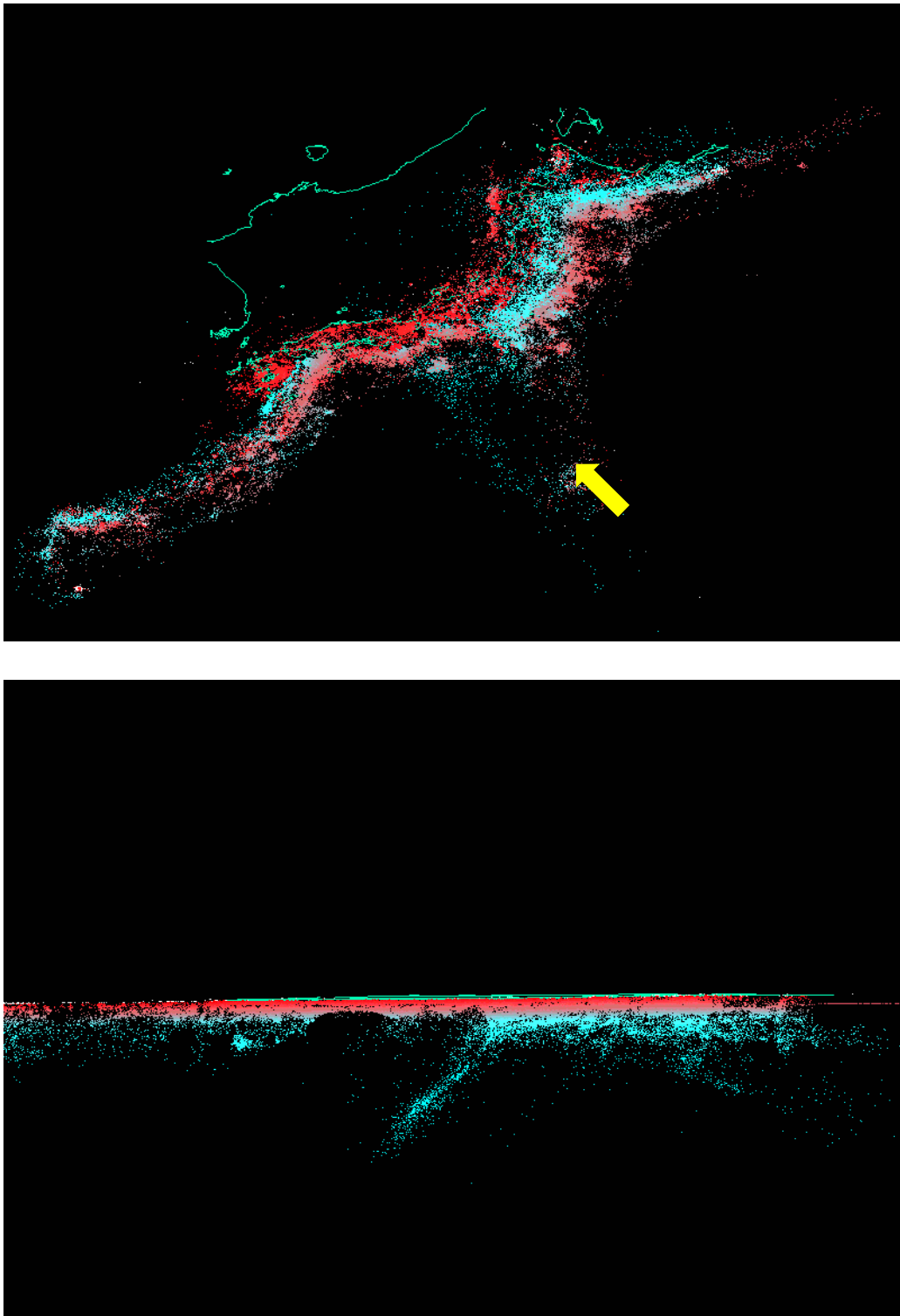


図3 深度に応じて彩色し, 海洋プレートの様子観察するための異なる視点からの表示