

修士論文

2009 年度

高解像度立体視環境を用いた  
ビジュアル・データマイニングに関する研究

佐藤 創

(学籍番号 : 80833217)

指導教員 小木 哲朗 教授

2010 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

# 論 文 要 旨

|   |          |     |      |
|---|----------|-----|------|
| 学籍番号  | 80833217 | 氏 名 | 佐藤 創 |
| 論文題目：<br>高解像度立体視環境を用いた<br>ビジュアル・データマイニングに関する研究  |          |     |      |
| (内容の要旨)   |          |     |      |
| <p>現代はあらゆる情報がデジタルデータとして記録される時代である。オンラインでアクセス可能なデータの量は増大し続けており、データマイニングの重要性も増大している。データマイニングの分野において、機械学習等の自動処理の有効性が知られている一方で、データマイニングの目的は、存在することがわかっている情報を定型処理で抽出することではなく、既存のデータから未知の情報を発見することであり、適切な自動処理を設計することが原理的に難しいという問題がある。このため、データマイニングは試行錯誤のプロセスにならざるを得ず、特にその初期段階においては、生に近い状態のデータを人間が見て理解することが非常に重要である。</p> <p>上記のように、従来のデータマイニングのプロセスにおいても、可視化は重要な位置を占めているが、特に可視化部分に着目した手法群はビジュアル・データマイニングと呼ばれている。</p> <p>近年の計算機の高性能化・表示機器の高性能化は、従来よりも格段に大量の情報を呈示することが出来るという点で、このビジュアル・データマイニングのプロセスに変化をもたらす可能性がある。</p> <p>本研究では、データマイニングプロセスにおける人間の介在とそのことがもたらす情報伝達における限界に注目した。</p> <p>4K 立体視環境において、最大解像度に関する実験、呈示データ点数あるいはデータ呈示の空間的範囲と立体視の関係に関する実験を行い、人間の認知特性・認知限界への配慮がビジュアル・データマイニングにおける可視化手法の設計・選定において重要であることを示唆する結果を得た。</p> <p>また、データマイニングは期待する結果が得られることが保証されるプロセスではないため、事前処理に大きな負担をかけずにビジュアル・データマイニングを始められることが重要であるとの観点から、汎用の立体視ビジュアル・データマイニング環境を構築し、地震データの可視化を題材に、ビジュアル・データマイニングを試みた。</p> |          |     |      |

## SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

|  |          |      |         |
|--|----------|------|---------|
| Student Identification Number  | 80833217 | Name | So SATO |
| Title<br>A Study on Visual Data Mining using Super High Definition Three-Dimensional Environment   |          |      |         |
| Abstract<br><p>Now, almost all information is recorded as digital data. The quantity of accessible data continues increasing online, and the importance of the data mining also increases. In the field of the data mining, effectiveness of automatic processing such as the machine learning is widely accepted, but the purpose of data mining is not extracting information by routine processing but discovering unknown information from existing data. So it is theoretically difficult to design the appropriate automatic processing beforehand. For this reason, data mining process must be trial and error, and watching nearly raw data to understand it is very important especially in the initial stage.</p> <p>As above, visualization occupies the important position in conventional data mining, and it is called visual data mining when the process pays more attention to visualization.</p> <p>And the rapid progress on visualization devices, like super high definition stereo display that can display much more data, can bring change to the existing visual data mining processes..</p> <p>In this study, I paid attention to the communication channel from computer to human, especially in human cognitive limitation.</p> <p>From the experiments performed in the 4K stereo environment, we got the results that suggest importance of consideration to the human recognition characteristic / recognition limit when in designing visual data mining process.</p> <p>Because data mining processes do not guarantee expecting result, it is important that users can start visual data mining without paying high cost for preprocessing. From that point of view, we build general-purpose stereo visual data mining environment and tried visual data mining on seismic data with it.</p> |          |      |         |

# 目次

## 序論 3

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 1. データマイニングへの要請と背景 .....             | 1  |
| 1.1. データマイニングとは.....                 | 1  |
| 1.2. データマイニングの課題.....                | 1  |
| 1.2.1. データマイニング対象のスケール.....          | 1  |
| 1.2.2. データ量の増大とアクセス性.....            | 1  |
| 1.2.3. 定型処理の限界.....                  | 1  |
| 1.2.4. 高次元データの呈示における次元縮減の問題.....     | 2  |
| 1.2.5. 可視化における前処理のトレードオフ.....        | 2  |
| 1.4. ビジュアル・データマイニング.....             | 2  |
| 1.5. 関連研究.....                       | 3  |
| 2. 立体視環境についての基礎実験 .....              | 5  |
| 2.1. 実験環境について.....                   | 5  |
| 2.2. 二直線の弁別限界に関する実験.....             | 6  |
| 2.2.1. 実験手法.....                     | 6  |
| 2.2.2. 実験結果.....                     | 8  |
| 2.3. 点群表示時の認知限界に関する実験.....           | 10 |
| 2.3.1. 実験1 奥行き深さの感覚量についての実験.....     | 10 |
| 2.3.2. 実験2 ニア一面と奥行き幅の関係.....         | 13 |
| 2.3.3. 実験3 空隙の位置検出.....              | 16 |
| 2.3.4. オクルージョンの影響について.....           | 19 |
| 2.3.5. まとめと課題.....                   | 20 |
| 3. 汎用環境の構築.....                      | 21 |
| 3.1. ビジュアル・データマイニングにおける汎用環境への要請..... | 21 |
| 3.2. 想定される要求.....                    | 21 |
| 3.3. 機能群.....                        | 21 |
| 3.3.1. システム構成.....                   | 24 |
| 4. 地震データにおける事例.....                  | 26 |
| 4.1. データセットについて.....                 | 26 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 4.1.1. 地震の位置データの変換処理 .....            | 26 |
| 4.1.2. 海岸線データ .....                   | 26 |
| 4.2. 震源データの可視化.....                   | 26 |
| 4.3. グーテンベルグ・リヒター則の b 値.....          | 29 |
| 4.3.1. b 値の推定法.....                   | 31 |
| 4.3.2. アプローチ 1 : 領域指定によるリアルタイム計算..... | 31 |
| 4.3.3. アプローチ 2 : 事前計算結果の表示 .....      | 32 |
| 4.3.4. アプローチ 2-1 震源位置での計算 .....       | 33 |
| 4.3.5. アプローチ 2-2 格子点上での計算 .....       | 35 |
| 4.4. 課題 .....                         | 39 |
| 4.5. 専門家による評価 .....                   | 39 |

## 結論 41

## 謝辞 42

|           |    |
|-----------|----|
| 参考文献..... | 42 |
|-----------|----|

|                        |    |
|------------------------|----|
| 付録 A. データベース関連情報 ..... | 43 |
|------------------------|----|

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| A.1. データベース VDM .....           | 43 |
| A.1.1. テーブル ABS_VALUE .....     | 43 |
| A.2. データベース seismic.....        | 43 |
| A.2.1. テーブル MHypoCenters .....  | 43 |
| A.2.2. テーブル B_VALUES_LOC2 ..... | 44 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 付録 B. OpenCABIN Library..... | 47 |
|------------------------------|----|

|                        |    |
|------------------------|----|
| 付録 C. 地震データの可視化例 ..... | 48 |
|------------------------|----|

## 図表目次

|        |                       |    |
|--------|-----------------------|----|
| 図 1-1  | ビジュアル・データマイニング概念図     | 3  |
| 図 1-2  | ビジュアル・データマイニングの構成要素   | 3  |
| 図 2-1  | ディスプレイサイズ             | 5  |
| 図 2-2  | 実験コンフィギュレーションと座標系     | 6  |
| 図 2-3  | 2直線の弁別限界距離            | 8  |
| 図 2-4  | 実験コンフィギュレーション         | 10 |
| 図 2-5  | 呈示点数と奥行き幅感覚           | 12 |
| 図 2-6  | 呈示点数と奥行き幅間隔           | 12 |
| 図 2-8  | NEAR面の両眼立体視への影響       | 14 |
| 図 2-9  | 奥行き幅と立体視[NEAR1M]      | 14 |
| 図 2-10 | 奥行き幅と立体視[NEAR2M]      | 15 |
| 図 2-11 | 奥行き幅と立体視[NEAR3M]      | 15 |
| 図 2-12 | 実験コンフィギュレーション         | 16 |
| 図 2-13 | 両眼立体視の有効な条件           | 18 |
| 図 2-14 | 両眼立体視でオクルージョンが発生しない確率 | 19 |
| 図 3-1  | 表示データへのマッピング処理        | 23 |
| 図 3-2  | システム構成図               | 24 |
| 図 4-1  | 地震のマグニチュード別発生数        | 29 |
| 図 4-2  | 地震マグニチュードと発生頻度        | 31 |
| 図 4-3  | サンプル数とB値              | 36 |
| 図 4-4  | 半径20KMでのB値のデータ数       | 36 |
| 図 4-5  | 最小マグニチュードとデータ数        | 37 |
| 図 4-6  | B値の表示例                | 38 |
| 図 4-7  | B値の表示例                | 39 |
| 表 2-1  | ディスプレイの解像度とサイズ        | 5  |
| 表 2-2  | 実験アプリケーションの操作法        | 7  |
| 表 2-3  | 実験アプリケーションの操作法        | 13 |
| 表 2-4  | 実験アプリケーションの操作法        | 17 |
| 表 4-1  | 震源データ可視化時のデータ対応       | 26 |
| 写真 2-1 | 点群の表示例(一部を拡大)         | 11 |
| 写真 2-2 | 点の分布密度のみで空隙が判別できる例    | 17 |
| 写真 3-1 | PCで動作するGUIアプリケーションの画面 | 25 |

|        |                             |    |
|--------|-----------------------------|----|
| 写真 3-2 | PC に接続された MIDI コントローラ ..... | 25 |
| 写真 4-1 | 震源データの可視化例 .....            | 27 |
| 写真 4-2 | 震源データの可視化例 .....            | 27 |
| 写真 4-3 | 震源データの可視化例 .....            | 28 |
| 写真 4-4 | 震源の可視化例(Z:マグニチュード).....     | 30 |
| 写真 4-5 | B 値をリアルタイムに計算した例.....       | 32 |
| 写真 4-6 | B 値を色で表現した表示例 .....         | 33 |
| 写真 4-7 | 高さ方向を時間に対応させた表示例 .....      | 34 |
| 写真 4-8 | B 値が経時変化する表示例 .....         | 34 |

## 序論

近年、さまざまな分野における情報量の増大により情報可視化の重要性がますます増大しており、データ保存コストの低下は、既存データからの知識発見を目指すデータマイニングの発展をもたらした。データマイニングは、一般に計算機による自動処理で実現されるが、表示装置の高性能化を背景に、人間の介在するプロセスとしてのビジュアル・データマイニングの可能性も高まっている。

本研究は、このような背景をもとに、4K立体視環境における有効なビジュアル・データマイニング環境の構築を目標とするものである。

近年の表示装置の著しい高性能化は、コンピュータから人間への視覚情報伝達におけるボトルネックの変化と、それに伴うプロセス全体の変化を、立体視ビジュアル・データマイニングにもたらすと予想される。また、データマイニングは期待する結果が得られることが保証されるプロセスではないため、事前処理に大きな負担をかけずにビジュアル・データマイニングを始められることが重要であるとも考えられる。

これらの観点から、4K立体視環境における被験者実験を行うとともに、汎用の立体視ビジュアル・データマイニング環境を構築し、地震データの可視化を題材に、ビジュアル・データマイニングを試みた。

## 1. データマイニングへの要請と背景

### 1.1. データマイニングとは

データマイニングは、KDD(Knowledge Discovery in Database)とも呼ばれ、既存のデータから未知の傾向・構造等を発見するプロセスである。人の意思決定に先立つ情報収集手段として実用の要請から生まれ、マーケティング分野での実用ツールとして利用されてきた。データベースをSQLで利用する一般的な業務システムにおける、購買履歴データ、取引履歴データ等にOLAPツール等での比較的浅い(SHALLOW)データを対象とするものは広く普及している。

現在は、あらゆる人間の活動が電子データとして記録される時代であり、電子データを対象とするデータマイニングはマーケティング分野にとどまらず、科学技術分野も含め広範に適用可能であると考えられる。

### 1.2. データマイニングの課題

広く有効性が知られているデータマイニングであるが、以下のような未解決の問題がある。

#### 1.2.1. データマイニング対象のスケール

計算機によるデータ処理は、ミクロな近傍処理アルゴリズムによるもの、統計量の抽出等マクロなものは比較的有効だが、メゾスコピックな構造を抽出することは不得意である。この観点から、従来も情報可視化との組み合わせにより人間の視覚を利用する方法が有効に活用されてきた。

#### 1.2.2. データ量の増大とアクセス性

データマイニングは、ある目的を持ってデータ収集をするのではなく、既存のデータを渉猟することで新しい知見を得ようとする側面が強いアプローチであるため、収集元のデータ量は必然的に大きくならざるを得ない。

ストレージ規模の増大とそれに伴うデータと保存コストの低下はデータマイニングの発展に大きく寄与したが、一方でデジタルデータの廃棄に関するスキームはまだ提案されていない。長期的には、保持自体のコスト以上に有用な情報へのアクセスに対するコストが問題になることが予想される。検索エンジンにみられる、強化学習型のアプローチは、ほとんどの情報を死蔵させる結果をまねく。

#### 1.2.3. 定型処理の限界

データマイニングにおいては、大量のデータが自動で処理され何らかの結果が得られることが望ましい。一方で、発見的な成果を期待する状況においては、何をノイズとし、何をシグナルとみなすのかということ自体が大きな課題である。このことが、データの自動

処理を難しくしている。

#### 1.2.4. 高次元データの呈示における次元縮減の問題

人間の視覚は本質的に 2 次元でありそれを超える次元は何らかの手法で縮減させる必要がある。量的尺度を持つデータの次元縮減手法としては、主成分分析の有効性が良く知られている。

また、データマイニングの古典的な手法としてクラスタリングが知られているが、独立な次元の数が多くなると、すべてのデータ点が距離的に離れてしまうため、データ間距離を元にした手法が機能しなくなる問題が知られている。

#### 1.2.5. 可視化における前処理のトレードオフ

仮に無限のデータを呈示できる装置が存在したとしても、人間の認知能力には限界があるため、可視化前に何らかの処理により情報量を削減する必要があるが、そもそも呈示されていないデータは原理的に知覚することが出来ない。

このトレードオフの最適化を自動的に行う一般的な手法は知られておらず、必然的にデータマイニングは試行錯誤のプロセスとなり、効率化にはインタラクティブ性が求められる。

### 1.4. ビジュアル・データマイニング

データマイニングは、既存データの中から新しい情報を引き出すことが目的であり、結果の最終的な受け取り手は人間である。受け取り手が人間である場合に何らかの可視化は必須であり通常のデータマイニングプロセスの中でも可視化は重要な位置を占める。数値表をグラフ化することも情報可視化であり、有効性は広く知られている。

近年提唱されているビジュアル・データマイニングは、データマイニングと情報可視化の境界領域に位置するといえる。

ビジュアル・データマイニングを、図 1-1のように知識発見のためのヒューマン-コンピュータのインタラクションのプロセスとして捉えると、プロセス全体を流れる情報量を増大させるには、データ可視化時に呈示される情報量自体を増大させることが有効である可能性があり、高精細・立体視という1つの方向が考えられる。

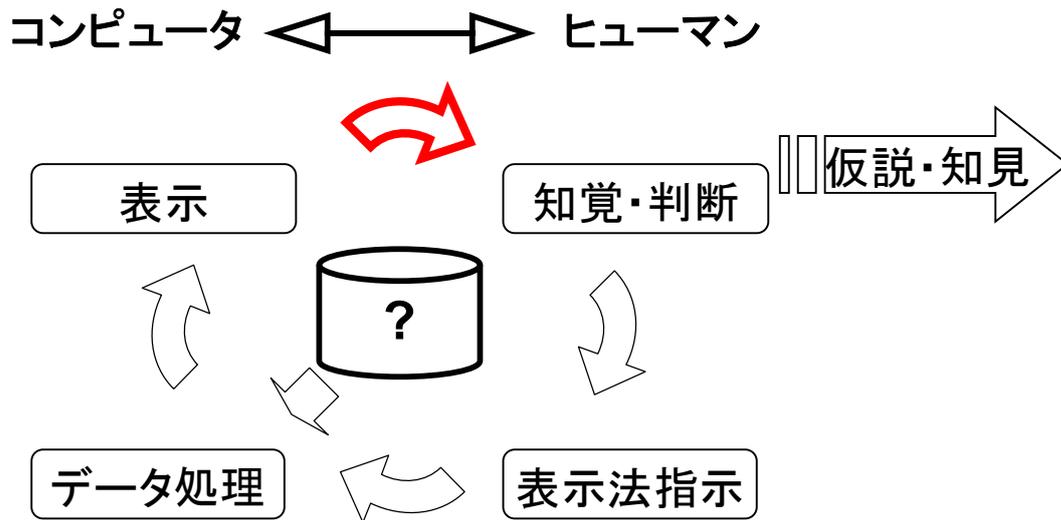


図 1-1 ビジュアル・データマイニング概念図

### 1.5. 関連研究

図 1-2 のように、ビジュアル・データマイニングは多数の要素技術にまたがる総合的なプロセスであり、それぞれの手法の長所・短所を見極めたうえで、対象データと目的に適う手法を適切に組み合わせることが、成否に大きな部分を占める。

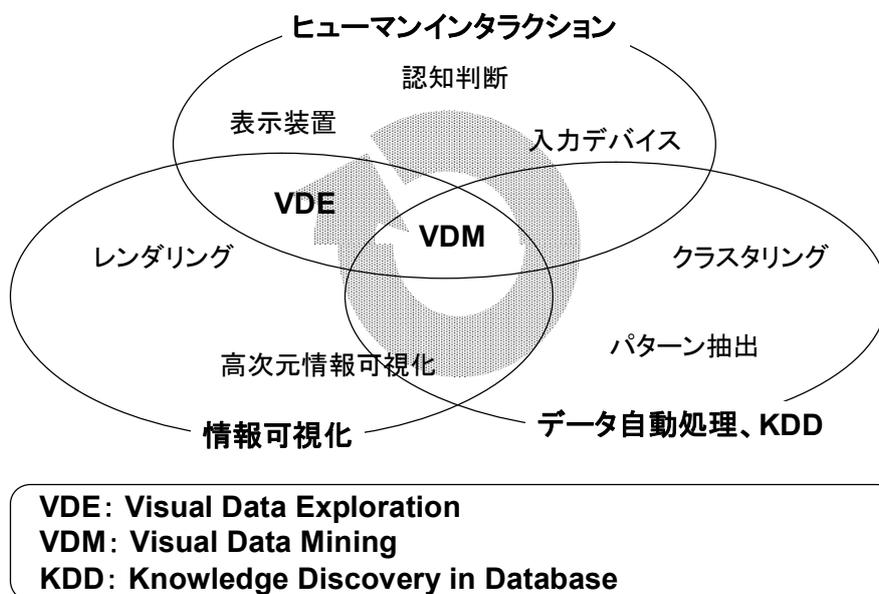


図 1-2 ビジュアル・データマイニングの構成要素

## ヒューマンインタラクション

知覚心理学の分野での立体視の研究、認知心理学の分野での **visual searching** に関する研究[1]が知られている。特に **visual searching** の **pop-out** と呼ばれる現象は興味深い。

## データ自動処理

マシンラーニング・パターン発見 アルゴリズム等についてもデータマイニング分野での先行事例は枚挙に暇がない。本研究は、ビジュアル・データマイニングの可視化部分に着目するため、この分野には立ち入らない。

## 情報可視化

情報可視化の手法についても古くから多数の取り組みがあり、3以上の次元を持つ情報を直接的に可視化しようとする試みも多く知られている。

2次元ずつ組み合わせて散布図を多数表示する散布図行列、各次元を平行な座標軸で表し、それらを結ぶ折れ線として一つのデータを表す平行座標表示 等の静的な表現のほかに、**ggobi** にみられる動的なマッピング(各次元を異なる周期で変動する係数により X-Y にマッピングする)による方法がある。

没入型の環境のデータマイニングへの利用についての試みもすでに行われている[2][3][4]。本研究の新規性は、高解像度(4K)環境を利用し、固有の問題を特定することにあるといえる。

ビジュアル・データマイニングの一分野として、ビジュアル・データエクスプロレーションが提唱されている[5]。ビジュアル・データエクスプロレーションは、動的な可視化で人間の能力をプロセスに取り込むことにより、データ処理の初期段階で「気づき」を得ることを目標とする。自動処理よりもヒューマン-コンピュータのインタラクションに注目した本研究の内容は、ビジュアル・データエクスプロレーションに近いといえる。

## 2. 立体視環境についての基礎実験

高解像度立体視環境の効果を定量化する目的で、下記の実験を行った。

### 2.1. 実験環境について

本研究においては、慶應義塾大学協生館 CDF 教室の環境を利用した。後方投影の 4K プロジェクタ 2 台による 180 インチのパッシブステレオディスプレイ環境である。

表 2-1 ディスプレイの解像度とサイズ

|                         | x(横方向) | y(縦方向) |
|-------------------------|--------|--------|
| ビデオボード画素数[ピクセル×ピクセル]    | 3840   | 2160   |
| プロジェクタ画素数[ピクセル×ピクセル]    | 4096   | 2160   |
| 画面サイズ[mm×mm]( 図 2-1 参照) | 3990   | 2245   |

※プロジェクタの解像度は 4096 × 2160 である。コンバージョンの影響は定量化が難しいため、今回は無視してビデオボードの理論値を利用する。

※ 画面サイズは、スクリーンのサイズではなく、実際に投影された映像のサイズを計測した。

上記より、1 ピクセルのサイズ[横 mm × 縦 mm] = 1.04 × 1.04 となり、最前列の座席から中央付近での 1 ピクセルを見た場合の視野角は

$$\theta \doteq 2 \tan(\theta/2) = 1.04 / 5000 = 0.000208[\text{rad}] \text{となる。}$$

これは、視力 1.0 の人間が識別できる最小視野角 0.00029[rad]よりも小さい。

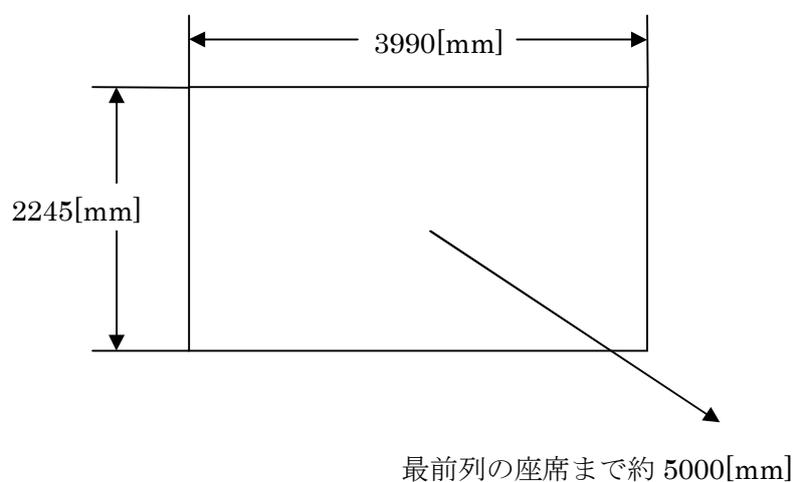


図 2-1 ディスプレイサイズ

## 2.2. 二直線の弁別限界に関する実験

高解像度であること自体が今回の環境の特長であるため、解像度の視点から情報呈示の限界性能を測る目的で、以下の実験を行った。

前節のような簡単な幾何計算でピクセルサイズ等は求められるが、実環境ではコントラスト・立体視を利用することの影響等が無視できないため、人間も含めたシステム全体としての性能検証が必要であると考えられる。

実際に、プロジェクタとワークステーションの出力解像度は異なり、変換の影響は避けられない。また、左右のプロジェクタのレジストレーションずれの影響も存在する。

### 2.2.1. 実験手法

図 2-2 のように、被験者から等距離となる 2 本の鉛直な直線を表示し、その間隔を認識できる限界の距離を求める手法を採用した。

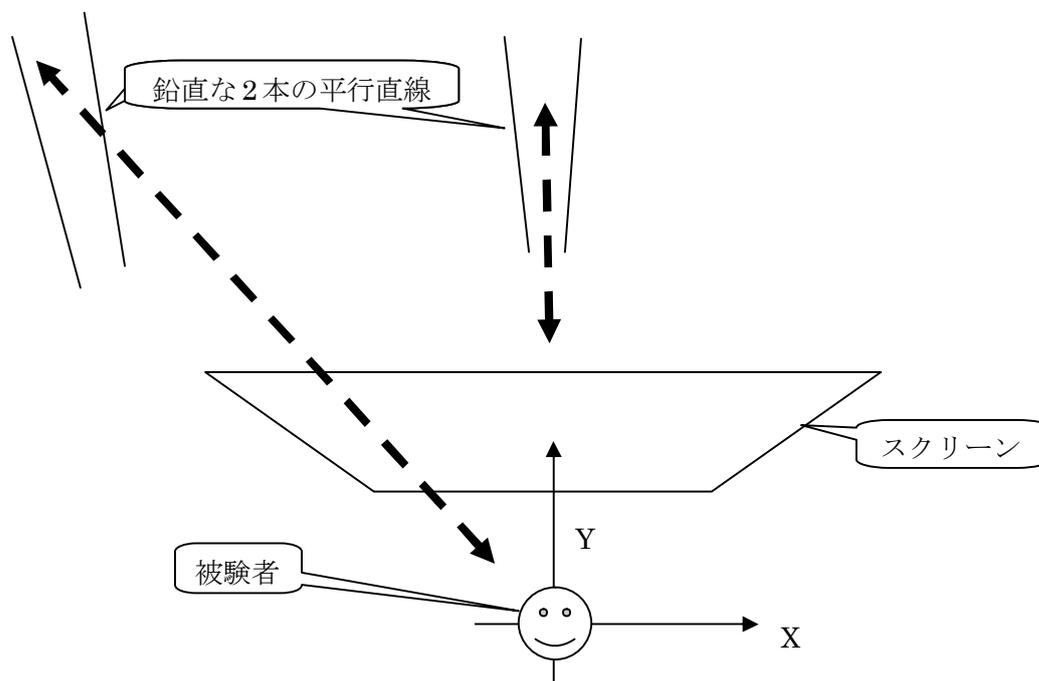


図 2-2 実験コンフィギュレーションと座標系

スクリーンから3mの位置の被験者に対し、仮想空間内に2本の鉛直な直線を視線に正対するように配置した場合に、視点からの仮想的な距離が増大するにしたがって、2直線の見た目の間隔は狭まり、ついには1本に見えるようになる。2本の直線が2本に見える最も遠い距離を記録する。

被験者は、コントローラで 2 直線を移動させ、間隔が認識できる限界の距離で、コント

ローラのボタンを押下し、距離を繰り返し記録する。呈示される 2 直線の間隔と方向は、あらかじめ設定された組み合わせがランダムな順序で選択される。間隔は、0.5mm, 1.0mm, 2.5mm, 5mm, 10mm の 5 種類であり、方向は、0 度 (Y 軸方向), 5 度, 10 度, 15 度, 20 度, 25 度, 30 度の 6 種類が存在する。

表 2-2 は実験時のマニュアルから抜粋したコントローラの操作方法である。

表 2-2 実験アプリケーションの操作方法

| 番号 | 操作対象・ボタン  | 動作   |
|----|-----------|--|
| 1  | 右ジョイスティック | 縦棒までの距離を大まかに操作する。<br>上が遠くで、下が近く。               |
| 2  | 左ジョイスティック | 縦棒までの距離を細かく操作する。<br>上が遠くで、下が近く。                |
| 3  | ○         | 2 本に見える一番遠くで押す。                                |
| 4  | □         | 近くしても 2 本に見えない場合に、<br>立体視できる一番近くで押す。           |
| 5  | ×         | フレームアウトの可能性もあるので、<br>縦棒の位置を操作しても見えない場合にはこれを押す。 |

※ CDF 教室はヘッドトラッキング装置がない環境であるため、呈示される映像のスケール(呈示されている仮想物体の実寸と、その仮想物体までの距離)は任意に想定できるが、今回実験用アプリケーションの開発に利用した OpenCABIN Library[6]は没入型の環境を想定しており実寸を採るため、被験者の位置を固定し、仮想空間のすべての寸法を実寸として扱った。また、座標系については、スクリーンに向かった被験者(の頭)を原点とし、スクリーンに平行かつ水平右方向に X 軸、スクリーン奥行き方向に Y 軸、鉛直上方に Z 軸を取る右手系の座標を利用した。他の実験でもこの座標系を共通に利用した(図 2-2 参照)。

### 2.2.2. 実験結果

5人の被験者に対し実験を行い、有効回答の平均値として、図 2-3 の結果を得た。

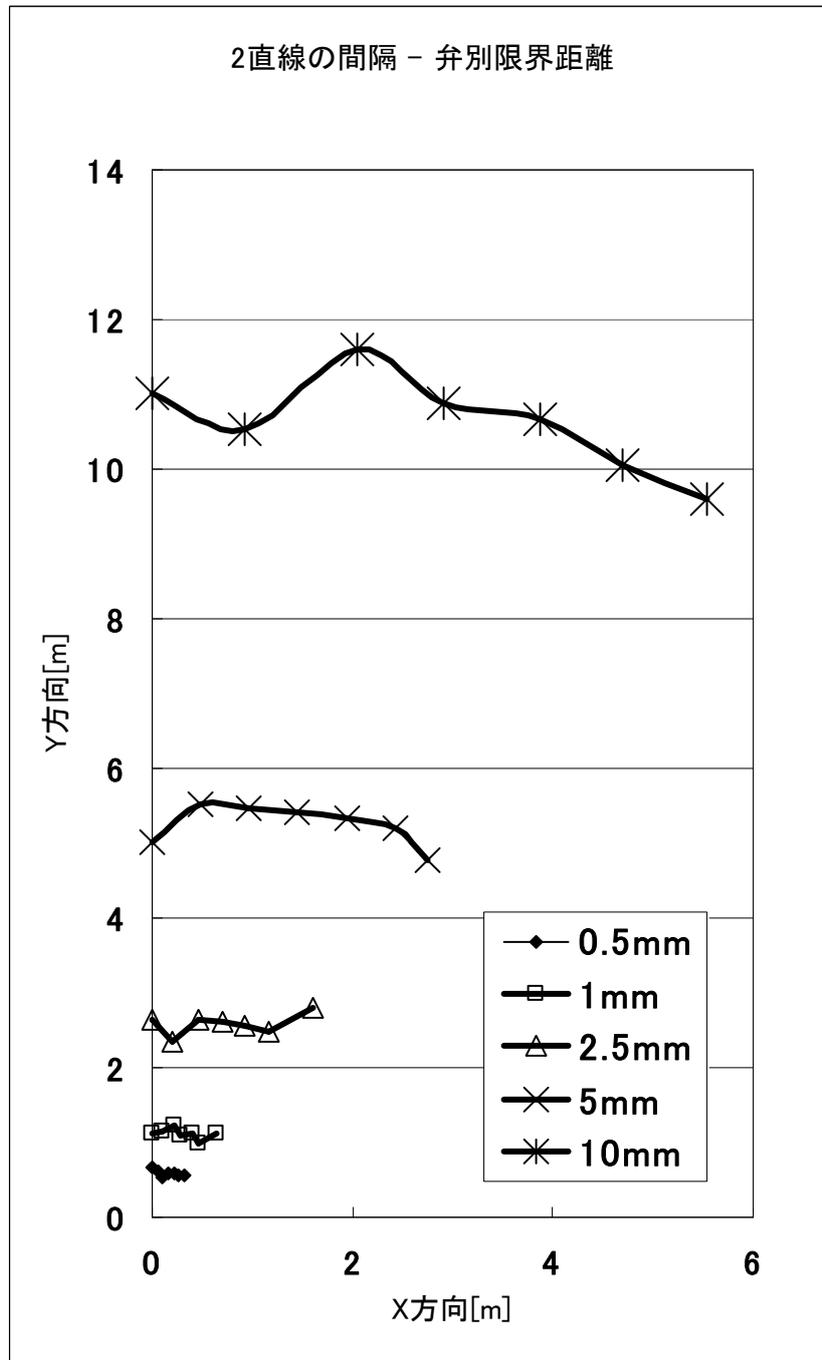


図 2-3 2直線の間隔 - 弁別限界距離

絶対値について：

被験者はすべて(矯正)視力 1.0 以上であり、計算上はスクリーン上の 1mm の間隔を弁別できる。

実験条件の直線の間隔については、直線の中心間の間隔である。今回の環境では、直線は1ピクセル幅で表示されるため、直線自体の幅の分だけ狭くなる。このため、計算上は、スクリーン上に表示される2mm間隔の条件の直線間の空隙の幅は1mmとなる。実験結果では、2.5mm間隔の直線の弁別限界が、スクリーンより手前になっている。これは、ピクセルサイズによる換算値を下回る。この現象の原因としては結像のにじみ等が考えられる。

両眼立体視による超解像：

スクリーン自体に投影されるピクセルの解像度はほぼ1mmだが、立体視を利用することで、それよりも細かい0.5mmの間隔を呈示できることがわかる。

高解像であることと、手が届くほど近くに情報を呈示できることは、実験環境の持つ大きなメリットと考えられる。

スクリーンの影響：

今回の実験では、被験者に正対する向きに2本の直線を呈示しており、実際の環境であれば、被験者を中心とした同心円状に弁別限界が存在するはずであるが、実験結果には、スクリーンに平行な配置への偏りが見られる。

1ピクセルの持つ見た目の幅は、距離と角度の影響で、スクリーン中央から横に位置がずれるに従い小さくなっていく。仮に、表示解像度の限界がそのまま弁別の限界になっているとするならば、実験結果はスクリーンに平行になると考えられる。

これらは、依然として表示解像度がボトルネックになっている可能性を示唆する結果とも考えられる。

### 2.3. 点群表示時の認知限界に関する実験

実際に、ビジュアル・データマイニングを試みる過程で、3次元状に分布する点群を人間が知覚する能力にボトルネックが存在することが疑われる状況があった。それらの認知限界を定量化し実際の環境にフィードバックする目的で、以下の実験を行った。

#### 2.3.1. 実験1 奥行き深さの感覚量についての実験

##### 実験の目的

呈示されるデータ点数が増えるに従い立体視による奥行きの知覚が難しくなる傾向がある。この効果を計測することを目的とする。

##### 実験手法

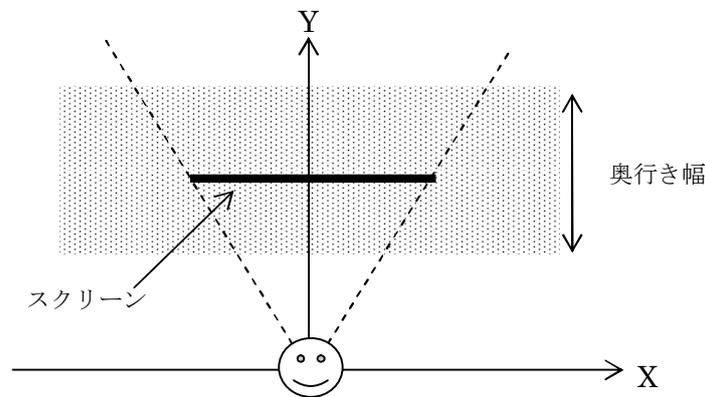


図 2-4 実験コンフィギュレーション

図 2-4 のように、空間内の直方体状の領域内にランダムに着色した点をランダムに分布させた刺激を呈示する方法を採用した。※乱数はいずれも一様分布に従う。

標準刺激と比較刺激を交互に呈示し、「標準刺激の奥行き幅を 100 とした場合の奥行き幅の感覚」を数値で回答する方式を採用した。比較刺激の数は 50 であり、事前に用意した共通の刺激を、被験者毎にランダムな順で呈示した。

※ スクリーンの画角(図中の破線)を越えるサイズの直方体を呈示したため、被験者には形状は認識されず、写真 2-1 のような点群の層状の分布として知覚される。



写真 2-1 点群の表示例 (一部を拡大)

### 実験結果

9人の被験者に対し実験を行い、図 2-5 の結果を得た。

標準刺激は被験者から 3m の点を中心に 1.5m の奥行き幅を持たせた分布であり、比較刺激には、奥行き幅 1m の刺激と 2m の刺激が同数存在する。よって正しく知覚できた場合には、呈示点数によらず、 $2/3$ 、 $4/3$  の 2 値の近傍に結果が集中するはずであるが、点群が実際に分布する奥行き幅と感覚された奥行き幅に相関は認められない(相関係数-0.103182)。一方で、呈示される点数(面密度)が多くなると感覚された奥行き幅が狭くなる傾向は認められる。

呈示される点数の増加に伴い、オクルージョン(視線上の手前の点により奥にあるはずの点が見えなくなる現象)の影響が無視できなくなるが、今回の環境では、計算上大きな影響はないものと考えられる(2.3.4. オクルージョンの影響について 参照)。

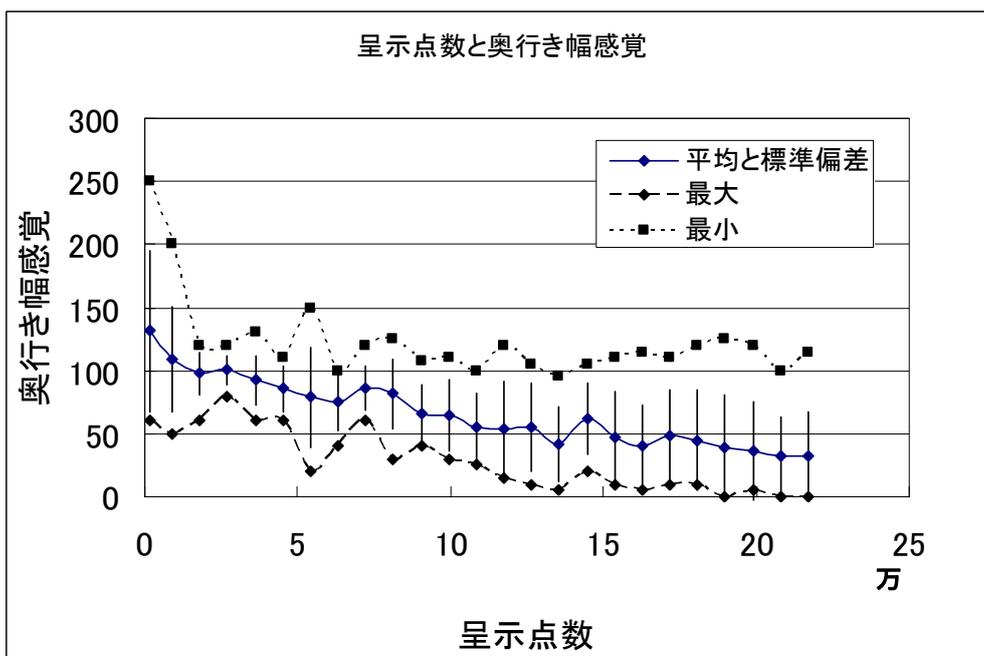


図 2-5 呈示点数と奥行き幅感覚

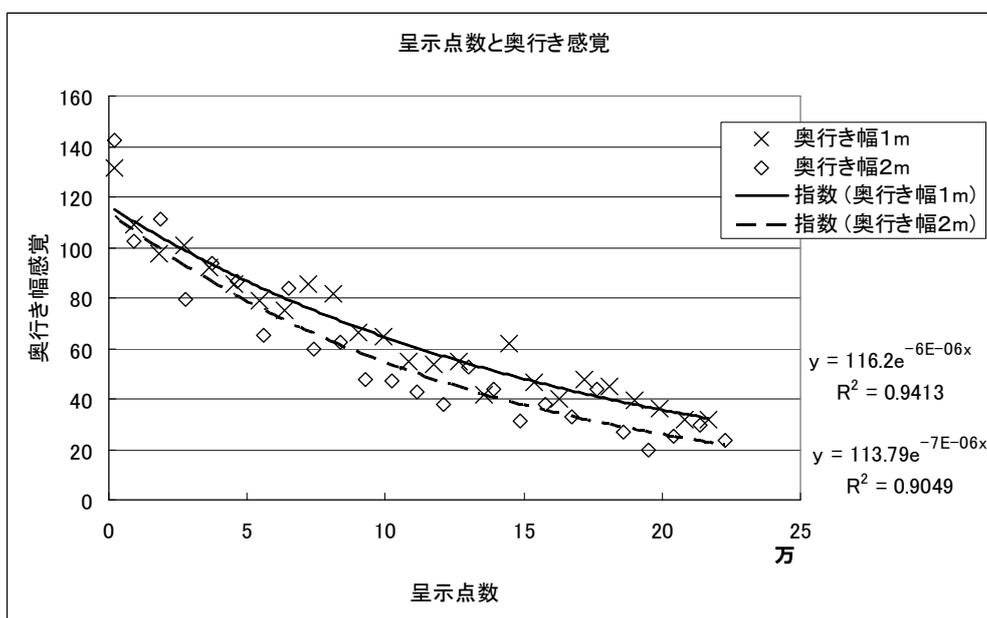


図 2-6 呈示点数と奥行き幅間隔

図 2-6 は同じ実験結果を奥行き幅別にプロットしたグラフである。奥行き幅 1m と 2m の刺激に分けて指数回帰を計算すると、むしろ奥行き幅 2m の比較刺激のほうが感覚された奥行き幅が狭い傾向がある。

呈示点数と、奥行き幅による二元配置の分散分析をおこなった(呈示点数は連続的に分布している値であるが、5水準に分割した)ところ、危険率 1%で有意(P=0.006773)な差が認められた。奥行き幅が大きいこと、もしくは、手前に刺激が呈示されることが、両眼立体視に

マイナスに働くこともあわせて示唆される結果となった。

### 2.3.2. 実験 2 ニア一面と奥行き幅の関係

#### 実験の目的

点群を分布させる領域の位置と形状が、立体視に及ぼす影響を調べる。

#### 実験手法

実験 1 同様に、ランダムに呈示した刺激について、コントローラにて立体視の可否を回答する方式を取った。呈示点数の他、被験者から点群の分布領域までの距離(near 面)、点群の分布領域の奥行き幅(depth)も変えて実験を行った。near 面は、1m,2m,3m の 3 種類、depth は、1.0m,1.5m,2.0m,2.5m の 4 種類の値を利用した。これらの組み合わせにより、刺激の数は合計 144 となった。

表 2-3 は実験におけるコントローラの操作方法である。同じ刺激に対して複数の回答が存在する場合には、タイムスタンプの新しい方を採用した。

表 2-3 実験アプリケーションの操作法

| 番号 | 操作対象・ボタン | 動作                       |
|----|----------|--------------------------|
| 1  | ○        | 立体視できる場合に押す。             |
| 2  | ×        | 立体視が出来ない場合に押す。           |
| 3  | △        | ○×の判断に迷う場合に押す。           |
| 4  | ←ボタン     | 操作ミス等の場合に押す。直前の刺激が呈示される。 |

#### 実験結果

被験者数 9 名について上記の実験を行った。

○を 2 点、△を 1 点、×を 0 点とし、全被験者の回答の平均値をプロットしたところ図 2-7 の結果を得た。被験者から点群の分布領域境界への距離(near 面)が被験者に近いほど、立体視が行いにくいという結果が得られた。

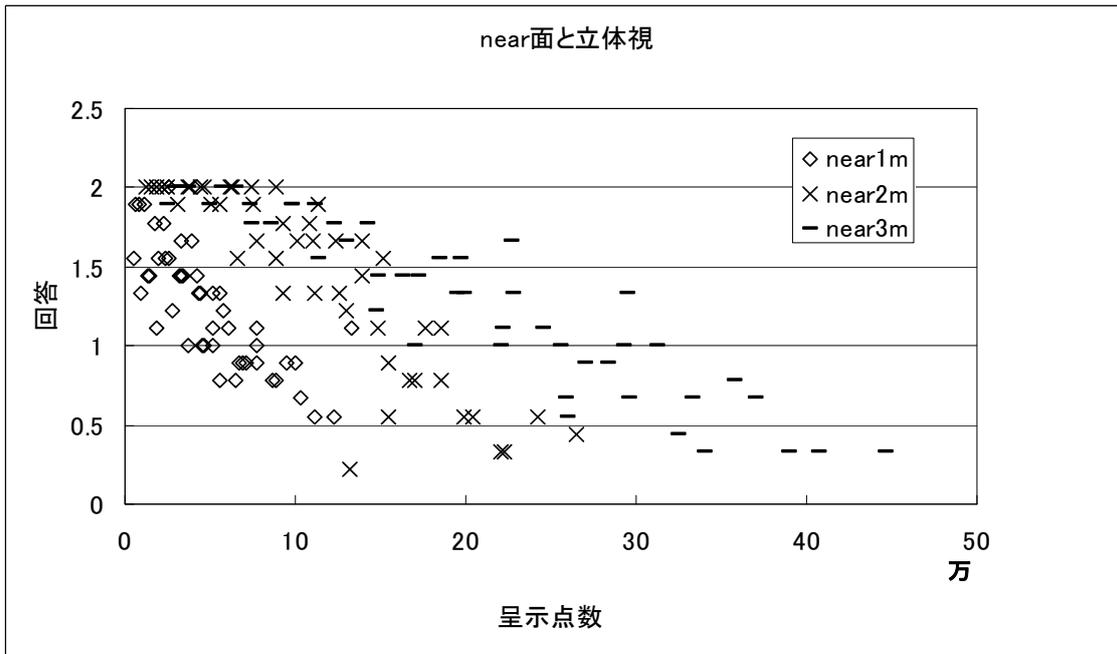


図 2-7 near 面の両眼立体視への影響

図 2-8、図 2-9、図 2-11 は、near 面一定の条件で、点群の分布領域の奥行き幅毎にプロットした結果である。奥行き幅の平均値と立体視の成立に直接の関係は認められない結果に見えるが、分散分析の結果(呈示点数は 5 水準に分割した)、回答に対して母平均は有意な差を持つという結果が示された。near 面についても有意差( $P < 0.01$ )が示された。

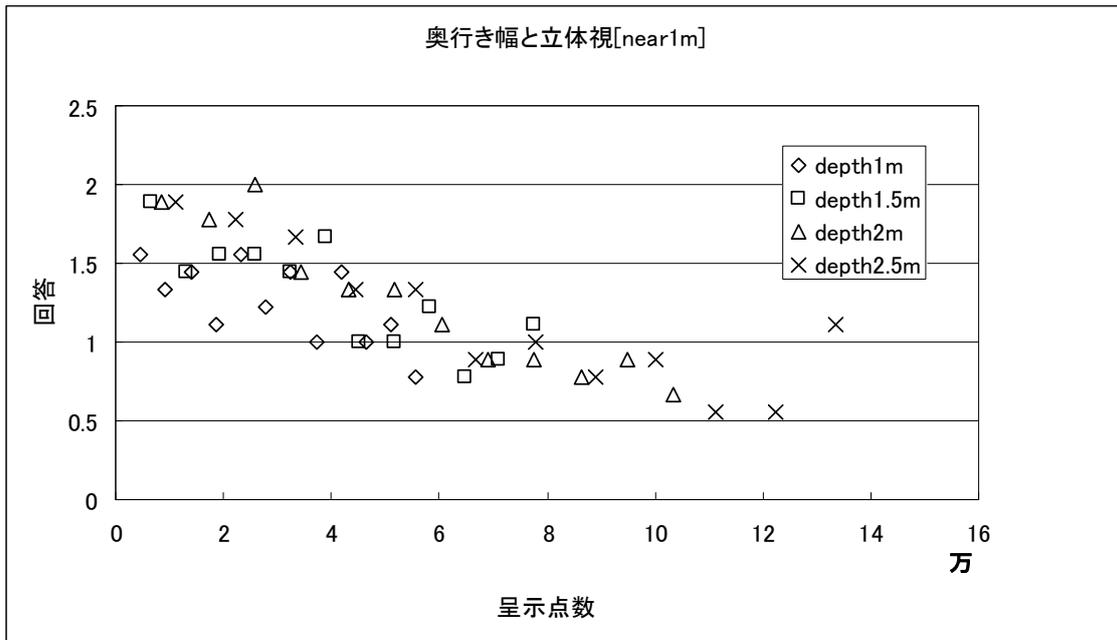


図 2-8 奥行き幅と立体視[near1m]

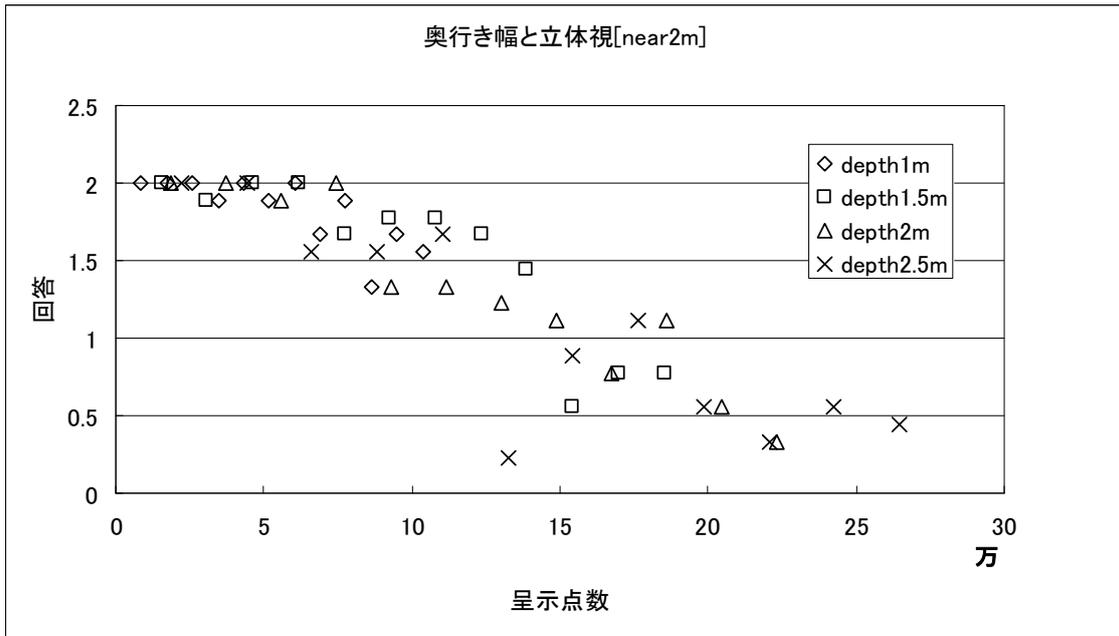


図 2-9 奥行き幅と立体視[near2m]

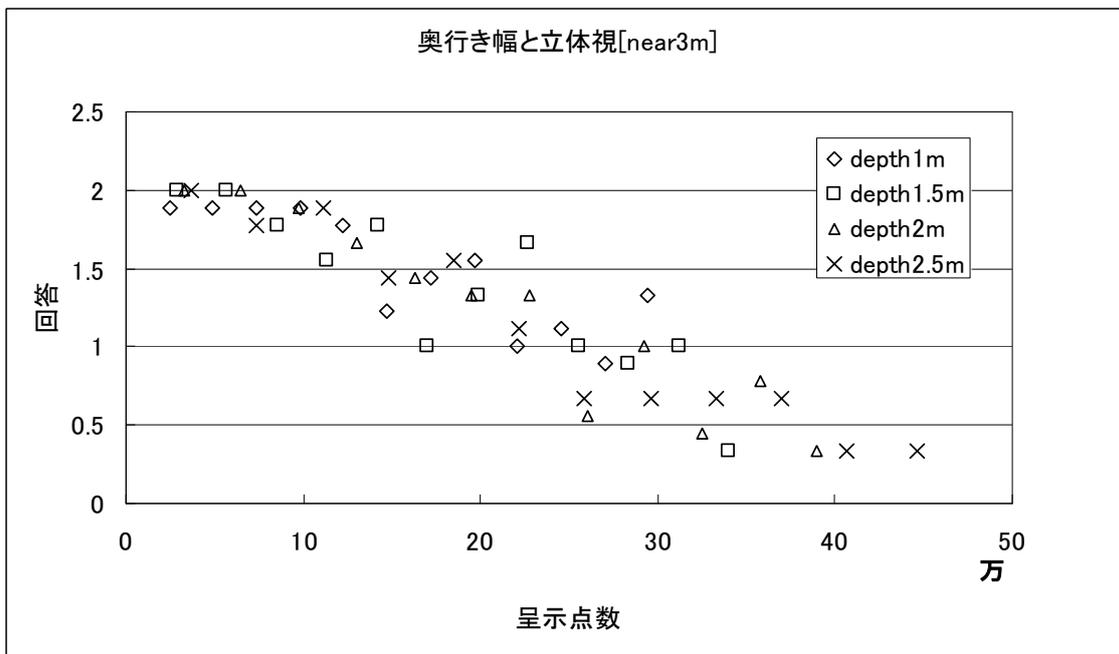


図 2-10 奥行き幅と立体視[near3m]

### 2.3.3. 実験3 空隙の位置検出

#### 実験の目的

ビジュアル・データマイニングにおいては、立体感が呈示できることよりも、呈示されたデータの構造を正しく把握できることが重要である。より実際のビジュアル・データマイニングに近い状況で、実際の点群の分布を検出する能力を直接計測することを目的とする。

#### 実験手法

前出の実験同様に一様に分布した点群の中に(分布中央の Y 座標は 3m)、図 2-11 のように球状の空隙(半径 0.3m)がある刺激を作成し、空隙の位置を回答する方式を取った。空隙は、右側もしくは左側 1m の位置を中心に存在するか、もしくは存在しないかの状態を取る。空隙の位置と、呈示点数の密度と、点群の奥行き幅(1m、1.5m、2m の 3 種類)を組み合わせ、刺激の総数は 108 個とした。

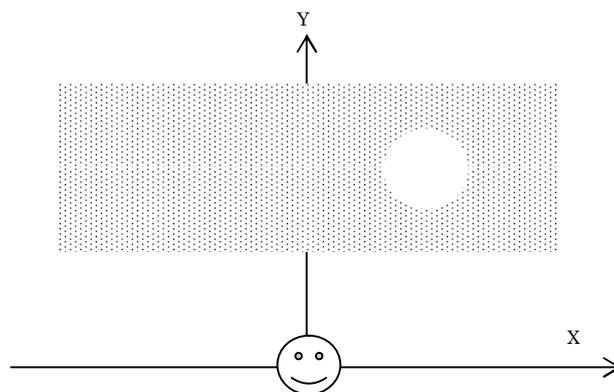


図 2-11 実験コンフィギュレーション

写真 2-2 のように、点の分布域が狭く密度が高い場合には、表示点の分布密度の変化により、両眼立体視を行わずとも位置が特定できる可能性が高いため、立体視を利用しない対照実験もあわせて行った。



写真 2-2 点の分布密度のみで空隙が判別できる例

表 2-4 は実験におけるコントローラの操作方法である。同じ刺激に対して複数の回答が存在する場合には、タイムスタンプの新しい方を採用した。

表 2-4 実験アプリケーションの操作法

| 番号 | 操作対象・ボタン | 動作                       |
|----|----------|--------------------------|
| 1  | ○        | 空隙が向かって右側に見える場合に押す。      |
| 2  | □        | 空隙が向かって左側に見える場合に押す。      |
| 3  | △        | 空隙が見えない場合に押す。            |
| 4  | ←ボタン     | 操作ミス等の場合に押す。直前の刺激が呈示される。 |

#### 実験結果

被験者 9 名に対し実験を行った結果を集計した。左側に空隙が存在する場合を-1、空隙が存在しない場合を 0、右側に存在する場合を 1 とし、刺激と回答の積を評価関数として利用した。

図 2-12 は、両眼立体視を利用した場合としない場合について、被験者全体の評価関数の平均値に差異があった条件についてプロットしたものである。両眼立体視の効果が大きいほど、図中の○が大きくなる。□は両眼立体視を行わないほうが評価関数の値が大きいも

のである。奥行き幅が狭く(1m)、表示点密度が高い条件では、立体視の効果は現れないが、これは、両方の条件で正答していることから、密度分布のみで判定が可能な条件と考えられる。奥行き幅 1.5m 以上の一定の条件下では、両眼立体視が有効であることが示された。

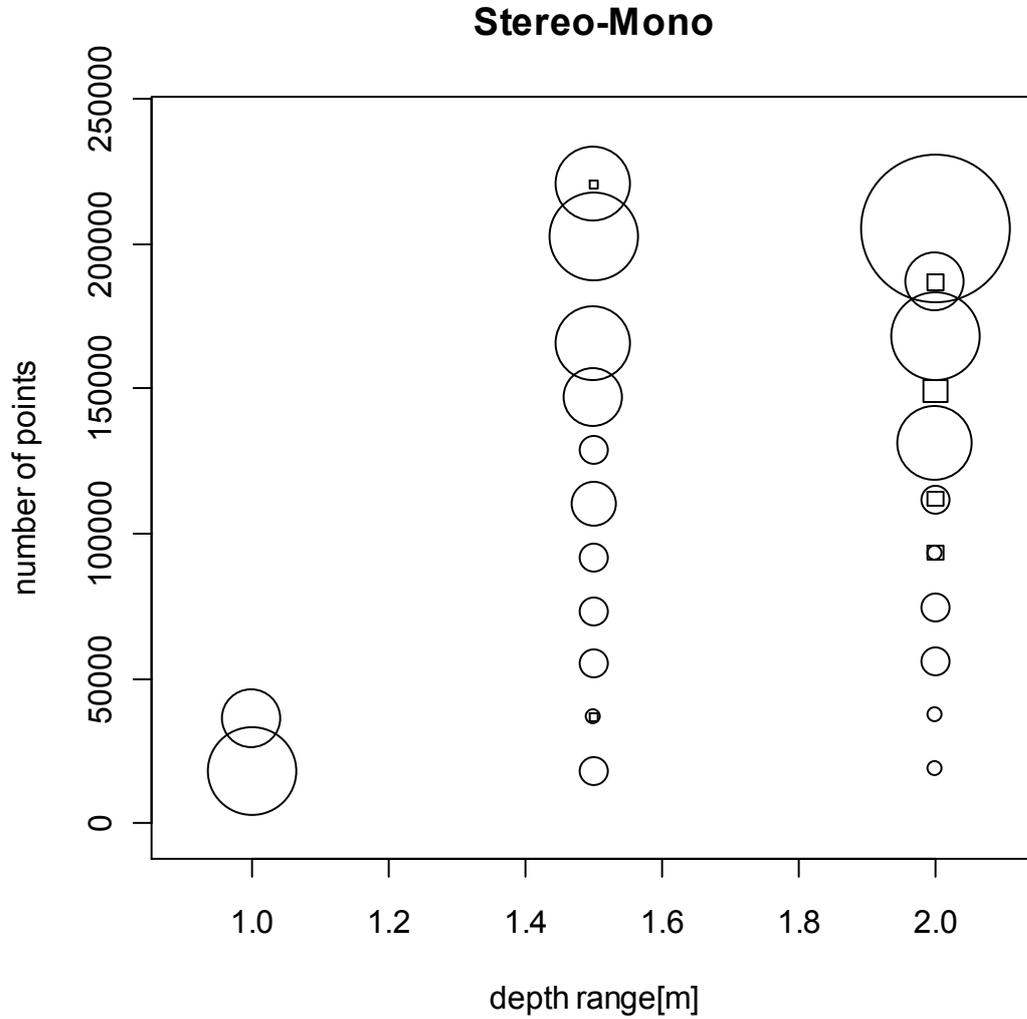


図 2-12 両眼立体視の有効な条件

#### 2.3.4. オクルージョンの影響について

認知限界の実験を行うに当たって、装置側のデータ呈示能力の限界を測る目的でオクルージョンの発生確率をシミュレーションした。

今回の実験結果における呈示点数の上限は 20 万点程度であり、4K 環境では、95%以上が、立体視可能な状態で呈示されている計算となる。

1 データの呈示に 1 ピクセルを使用すると仮定すると、オクルージョンの発生確率は、 $(\text{総画素数} - 1) / \text{総画素数}$ を公比とする等比級数となるので、解像度の影響は大きい。XGA の環境であれば、今回の実験におけるオクルージョンの影響を排除できない。

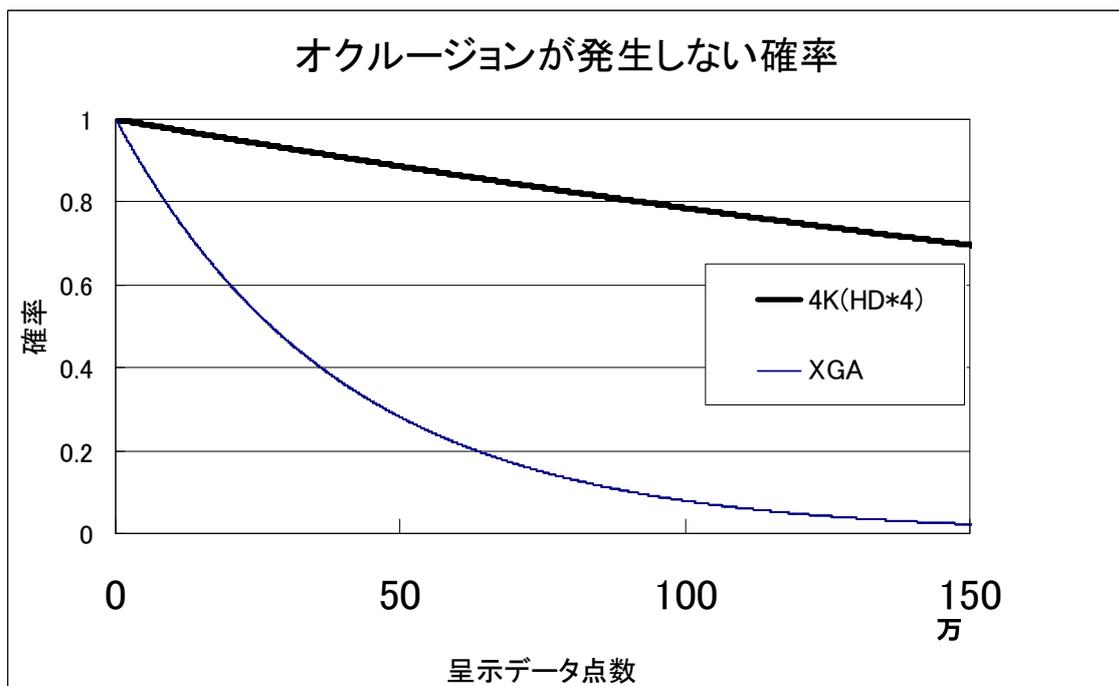


図 2-13 両眼立体視でオクルージョンが発生しない確率

### 2.3.5. まとめと課題

一連の実験結果より、点の表示密度による認知限界が両眼立体視の成立に大きな影響を持つことが示された。実際のビジュアル・データマイニングにおける可視化処理時には、呈示するデータ点数の上限に配慮する必要がある。

また、両眼立体視による奥行き方向の量的感覚は信頼すべきではなく、視点変更等による単眼性の情報を活用することが重要であることも改めて示された。

点群の分布が被験者に近いことも両眼立体視の成立を難しくすることも改めて示された。没入型のデータマイニングを目指す場合には、手で触れられることが望ましく、利用者のなるべく近くにデータを呈示する要求が想定されるため、注視点以外のデータ呈示を行わない等の工夫が必要となる。

### 3. 汎用環境の構築

#### 3.1. ビジュアル・データマイニングにおける汎用環境への要請

データマイニングは、確立された手順にしたがって既に存在することが明白である情報を取得するプロセスではなく、未知の定性的な発見を目指すものである。そのため、全体プロセスの計画を事前に立てることが非常に難しい。実際に行われるデータマイニングの成否には、この計画フェーズが大きくかかわっているが、属人性が高く、対象分野毎に大きく異なるため、共通化されたフレームワークの提案はされていない現状がある。

成功するプロセスを事前に設計することが難しいという事実を受け入れた場合には、手戻りの負荷を可能な限り低くするアプローチが現実解として考えられる。

人間の印象が複雑な作業手順により消えてしまうことを防ぐという面からも、理想的には、「ツールの選択・組み合わせ」と表示された結果を見ながらのパラメータ調整をインタラクティブかつ直感的に行えることが要請となる。

本研究においては、上記の状況を踏まえて、多次元数値データの点群表示に対象を絞り、高精細立体視環境でのビジュアル・データマイニングのための環境を構築した。プリミティブな方法であるがゆえに汎用性が高いこと、面による表示よりも高解像度の影響が出やすいと考えられることから、点群表示を採用した。

一般に利用可能な共通のプラットフォームの開発を目指しているが、実際のビジュアル・データマイニングのプロセスでなにが問題になるのかを抽出することが、当面の目標である。

#### 3.2. 想定される要求

前節の汎用環境には下記の要求が想定される。

- 高解像度立体視環境を利用できる。
- 既存データを可視化するまでの作業負荷が低い。
- インタラクティブに表示・操作が出来る。

#### 3.3. 機能群

前節の要求を満たすため、下記機能群を実装した。

データ取得機能：

通常データは、RDBMS に保存されるケースが多い。RDBMS からのデータ取得機能により、一般化が可能であると考え ODBC(Open Data Base Connectivity)規格による抽象データテーブルへのアクセス機能を持たせた。抽象データテーブルは 8 次元の数値データ

とそのデータ ID を保持する (付録 A 参照)。

このテーブルを VDM 専用のデータテーブルにアクセスすることで、各対象事例と汎用環境とのシステム境界とする。

※8次元という制約は、利用者側の制約を想定して設定した特に根拠のない数字である。非常に高次元であることが本質的なデータは、本質的にビジュアル・データマイニングに適さないと考えられるため、なんらかの事前処理により 8次元程度に次元縮退されているべきであるとする。

マッピング機能：

数値データを 8次元で保持している一方で、立体視環境にプロットするに当たって、X,Y,Z の 3次元位置と表示色(チャンネル C)の 4次元にまで射影する必要がある。

次元 1 から次元 8 までのデータを、X,Y,Z,C の 4次元にマップするにあたっては、単純な  $8 \times 4$  の重み係数行列による射影変換を利用している。

※後述の R チャンネルも合わせると、実際には表示用データは 5次元となり、行列も 8行 5列となる(図 3-1 参照)。

この行列の設定により表示内容は大きく変化するが、PC 上での GUI アプリケーションによりこの射影行列の設定を行う。任意の線形結合を表現できるため、たとえば主成分方向を X に取るというような設定も可能である。また、C チャンネルに関しては、実際の色にマップするために、もう一段最大値、最小値の指定が必要となる。C チャンネルの値が最小値に満たないデータ点はグレーに表示され、最大値を超えるデータ点は白く表示される。

GUI アプリケーションの開発には、開発効率・移植性を考慮して、Qt を採用した。

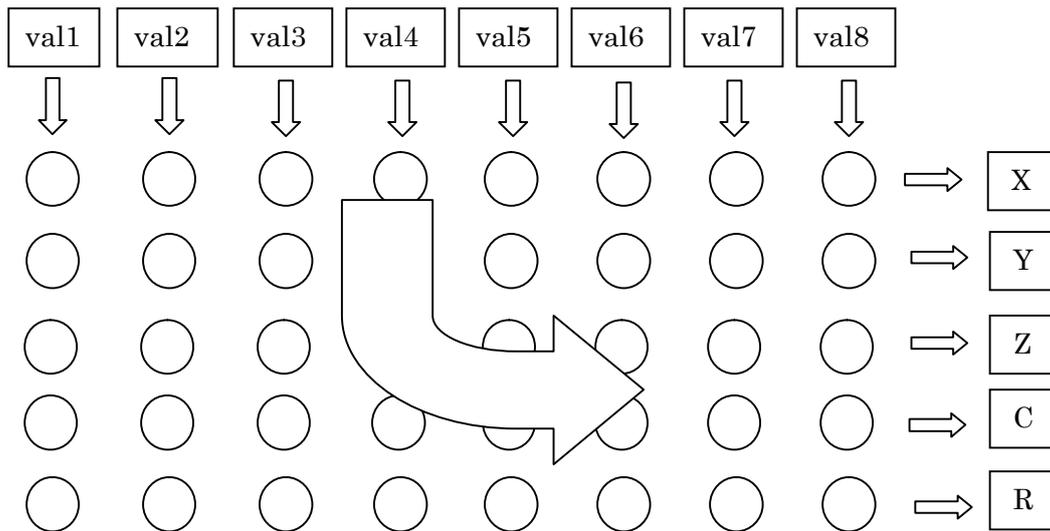


図 3-1 表示データへのマッピング処理

表示データフィルタ機能：

マッピング処理において、表示のフィルタに利用する参照値のチャンネルを **R** として用意した。この **R** チャンネルの値で範囲を指定し、インタラクティブなフィルタ表示を行うことが出来る。範囲指定は中央値と範囲幅で行う。同時に表示される点数の制御は実際にはこの機能で行うことになる。

スライダによる設定操作機能：

音楽制作・演奏を目的として MIDI 規格に準拠した USB 接続のスライダデバイスが、市販されている。これを導入することにより、直感的な操作が可能となる。

GUI アプリケーションはスライダ形のウィジェットにより数値を設定するが、このウィジェットにデバイスのスライダを対応づけて利用する。複数のパラメータを同時に変更できること、操作に当たって画面から目を離す必要がないことは、利用者の注意を阻害しないために重要であり、マウスによる GUI 操作より有利だと考えられる。

両眼立体視用表示機能：

暗黙の前提ともいえる機能であるが、OpenCABIN Library(以下 OCL。付録 B 参照)を利用することで、両眼立体視を実現している。

### 3.3.1. システム構成

図 3-2 に、システム全体の構成を示す。リンクは OPM 記法を参考にした。点線は計算機の H/W 境界であり、下線は H/W 境界を越える通信でのプロトコルを表す。

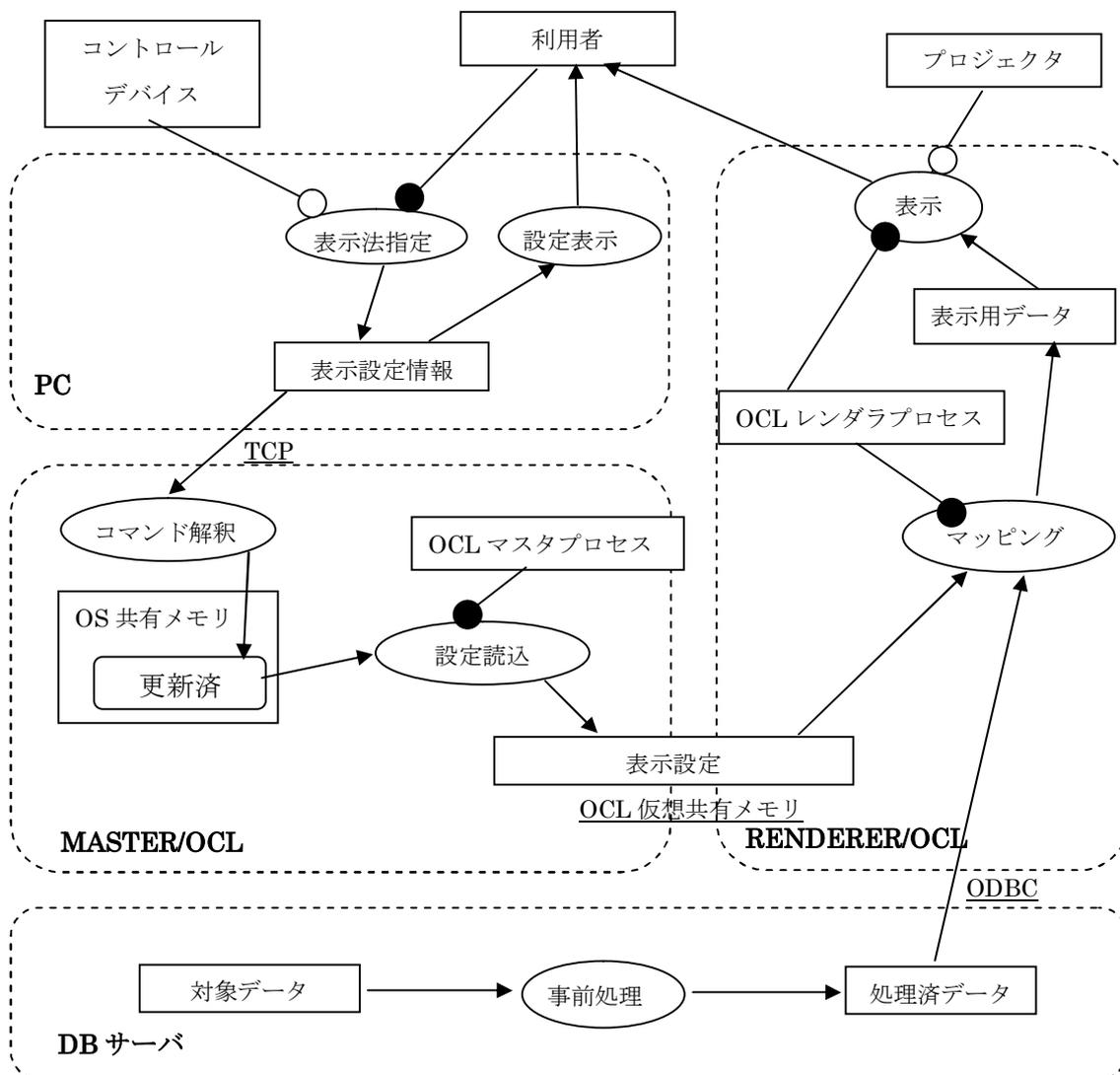


図 3-2 システム構成図

利用者は PC の GUI アプリケーションによって、マッピング、視点位置等を設定する。PC の GUI アプリケーションは、MASTER/OCL マシン上で動作する TCP サーバプロセスに、テキストベースの独自プロトコルによって表示設定を送信する。表示設定を受取ったサーバプロセスは、linux の共有メモリを保持しており、そこに受信した表示設定を書き込む。OCL のマスタプロセスは、この共有メモリの表示設定を読み込み、OCL の仮想共有メモリ

を書き換える。この仮想共有メモリを左右両眼に対応する RENDERER/OCL のマシン上で動作するレンダラプロセスが読み取り、射影処理を行い表示用の点群データを作成する。この際、必要に応じて、DB サーバからデータを取得する。点群データは、設定に応じてフィルタされ、2 系統の高精細プロジェクトにより利用者に呈示される。

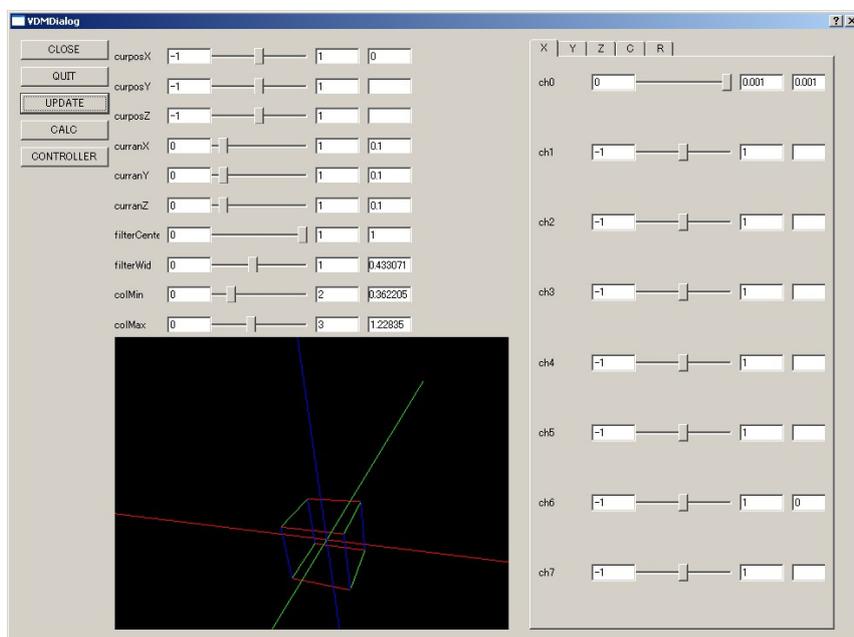


写真 3-1 PC で動作する GUI アプリケーションの画面

写真 3-1 は、表示設定を行う GUI アプリケーションの画面である。左半分のスライダは写真 3-2 エラー! 参照元が見つかりません。の MIDI コントローラにより操作が可能になっている。右側は、抽象データから表示用データへのマッピング処理の設定を行う部分である。



写真 3-2 PC に接続された MIDI コントローラ

## 4. 地震データにおける事例

前章で構築した汎用環境において、地震データを題材とし、ビジュアル・データマイニングを試みた。

### 4.1. データセットについて

震源データは、防災科学技術研究所の Hi-Net[7]によるデータを利用した。公開されている検測値データの 2003 年 1 月 1 日から 2007 年 12 月 31 日発生分のうちマグニチュードが正の値を持つものを基本データセットとして利用した。総データ数は 594714 件である(付録 A. 参照)。

#### 4.1.1. 地震の位置データの変換処理

地震の震源位置は、緯度[°]、経度[°]、深度[km]で記録されているが、2 点間の距離計算等において簡便に処理を行うため、直交座標系への変換を行った。地球を半径  $20000/\pi$  [km]の球体として、東経 135.0° 北緯 34.5° 標高 0m を原点とし、東方向に X、北方向に Y、高さ方向に Z の直交座標系に変換を行った。

#### 4.1.2. 海岸線データ

呈示される情報の位置を直感的に理解するため、国土地理院による日本の海岸線のデータを重畳表示した。海岸線情報も緯度経度で記録されているため、地震の位置データと同じ方法で、事前に直交座標系への変換を行い、その後に曲率によるデータ量の削減処理をした。OpenCABIN Library の機能を利用し、点群の表示とは別プラグインとして実装している。

### 4.2. 震源データの可視化

前節のデータセットを、前章の汎用アプリケーションにて可視化した。データマイニング用抽象データテーブル VDM.ABS\_VALUE には、表 2-2 のようにデータを設定した。

表 4-1 震源データ可視化時のデータ対応

| テーブル名                | フィールド名        |    |      |      |      |      |
|----------------------|---------------|----|------|------|------|------|
|                      | VDM.ABS_VALUE | id | val0 | val1 | val2 | val3 |
| seismic.MHypoCenters | hc_id         | X  | Y    | Z    | TS   | MAG  |

写真 4-1 は、マグニチュード[0,3.5]で色をつけた例である。色範囲の最大値を超えた震源に対応する点は白色で表示される。

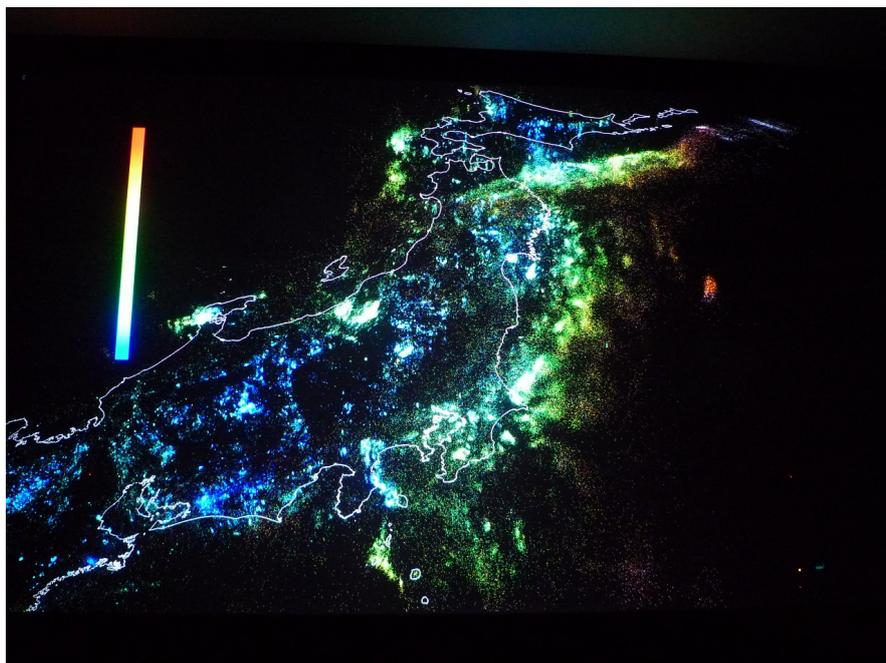


写真 4-1 震源データの可視化例

写真 4-2 は、Z 方向の情報を val3 にマッピング変更した例。val3 から Z の変換時に、10 の-8 乗でスケーリングを施している。



写真 4-2 震源データの可視化例

写真 4-3 は、同じく Z 方向に val3 をマッピングした状態での、2004 年 9 月 5 日の紀伊半島沖地震の近傍の様子である。時間とともに余震のマグニチュードが低下する様子を見て取ることが出来る。

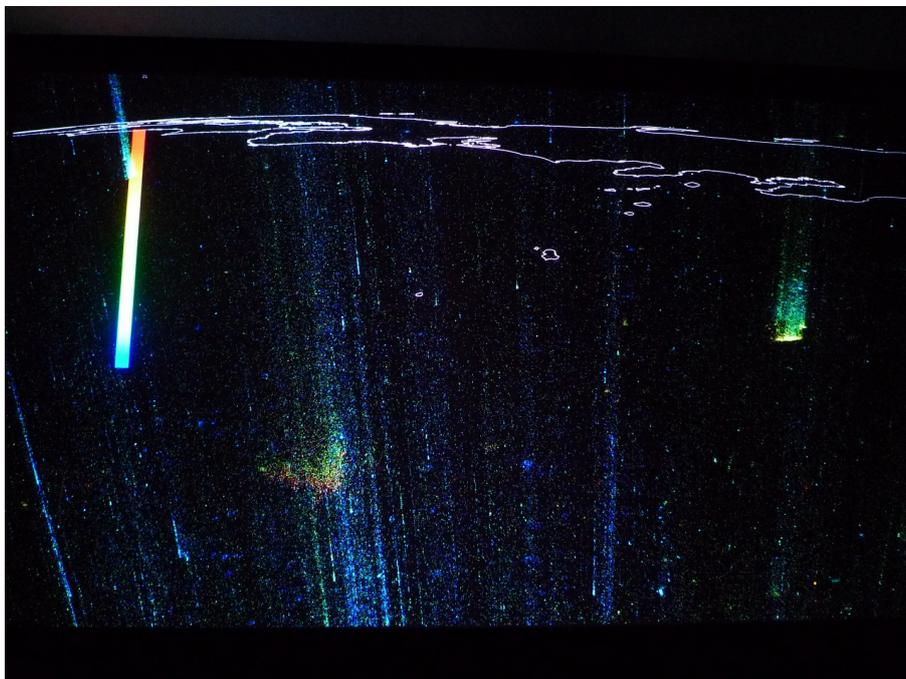


写真 4-3 震源データの可視化例

#### 4.3. グーテンベルグ・リヒター則の b 値

地震の発生頻度はマグニチュードの増大に対して指数的に減少していくことが経験的に知られている。

この関係をグーテンベルグ・リヒター則といい、マグニチュード  $M$  の地震の発生数  $n(M)$  の対数は、定数  $a, b$  とマグニチュード  $M$  による一次式で、下記のように表される。

$$\log n(M) = a - bM$$

グーテンベルグ・リヒター則の  $\log$  の底は 10 であり、 $b=1$  の場合には、マグニチュードが 1 大きくなると地震の発生数は  $1/10$  になる。

上式の  $b$  値は、時間・空間的な計算範囲の取り方、最小マグニチュードの取り方により様々な値をとるが、ある地点での  $b$  値の時間変動を計測することによる地震予知の可能性が指摘されているため、地震データに対するマイニング対象として有効性が期待される。

図 4-1 は、利用したデータセットにおけるマグニチュードと頻度の関係である。マグニチュード 1 以下で頻度が低下する傾向が見られるのは観測限界の影響と思われる。写真 4-4 より、実際にマグニチュードの小さい観測値は、観測点が存在する陸地の近傍に集中している

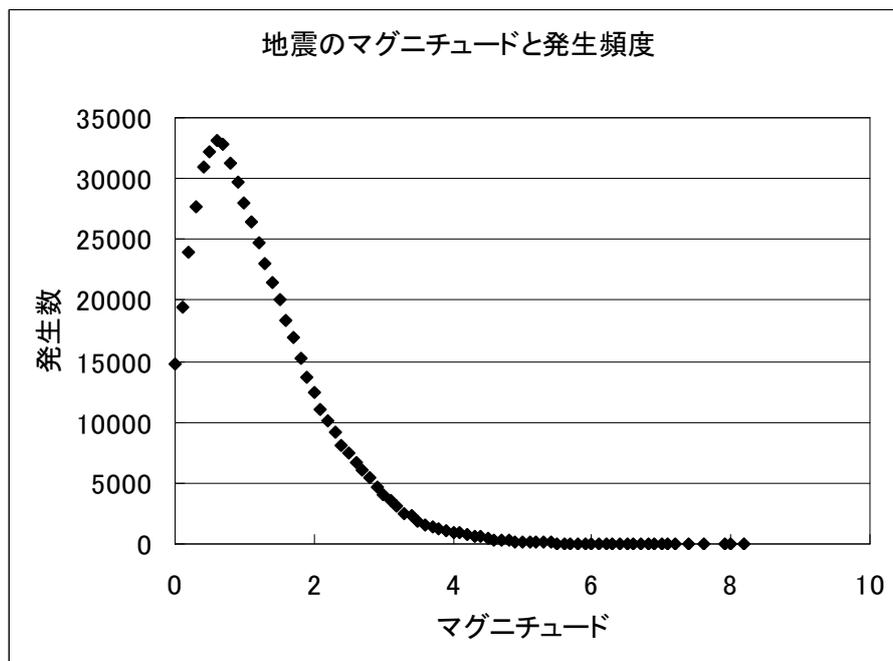


図 4-1 地震のマグニチュード別発生数



写真 4-4 震源の可視化例(Z:マグニチュード)

図 4-2 では、マグニチュード 1.5 以上の地震について、発生数の対数とマグニチュードについて、最小二乗法での近似曲線を求めた。この場合 0.7185 が  $b$  値に相当する。  
上記より、今回利用したデータセットについても、グーテンベルグ-リヒター則はよく成り立っていることが判る。

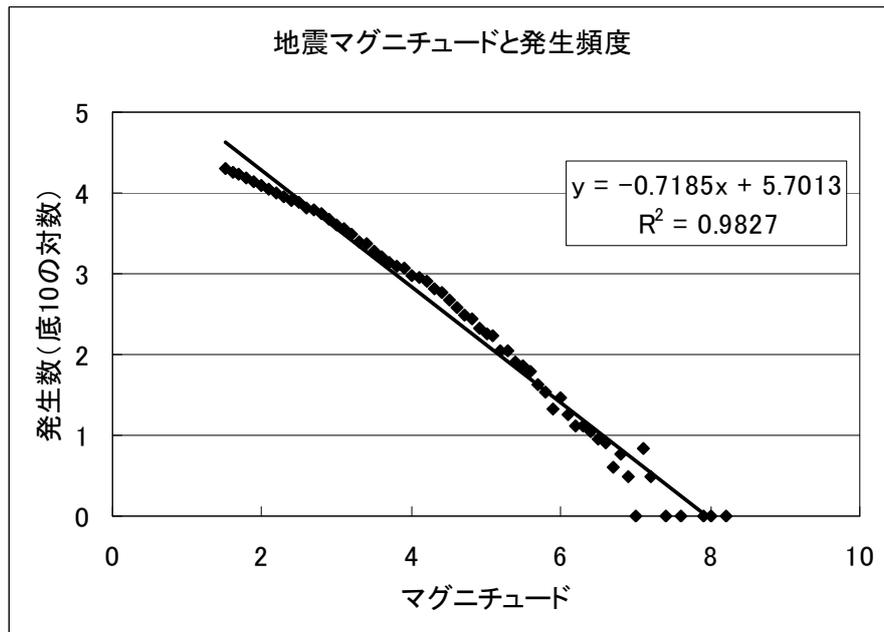


図 4-2 地震マグニチュードと発生頻度

#### 4.3.1. b 値の推定法

ある時間・空間的な範囲における b 値は、下式にて推定[8]できる。

$$b = \frac{\log e}{E[M - Ms]}$$

ここで、M は範囲内で発生した地震のマグニチュードであり、Ms はサンプル基準となる最小マグニチュードである。最小マグニチュードは、小規模地震の観測限界の影響を除去する目的で導入される。

b 値の変動と巨大地震発生との関連については専門家の判断を待つこととし、b 値自体の何らかの傾向を発見すべく、ビジュアル・データマイニングを試みた。

#### 4.3.2. アプローチ 1：領域指定によるリアルタイム計算

前項の推定式からわかるように、b 値は、時間範囲・空間範囲・最小マグニチュードと複数の計算パラメータに依存する。

アプリケーションの開発時に目指した汎用化という方向とは相反するが、写真 4-5 のように直方体状の空間領域をインタラクティブに指定して、都度 b 値の計算を行うカスタマイズを行い、ビジュアル・データマイニングを試みた。

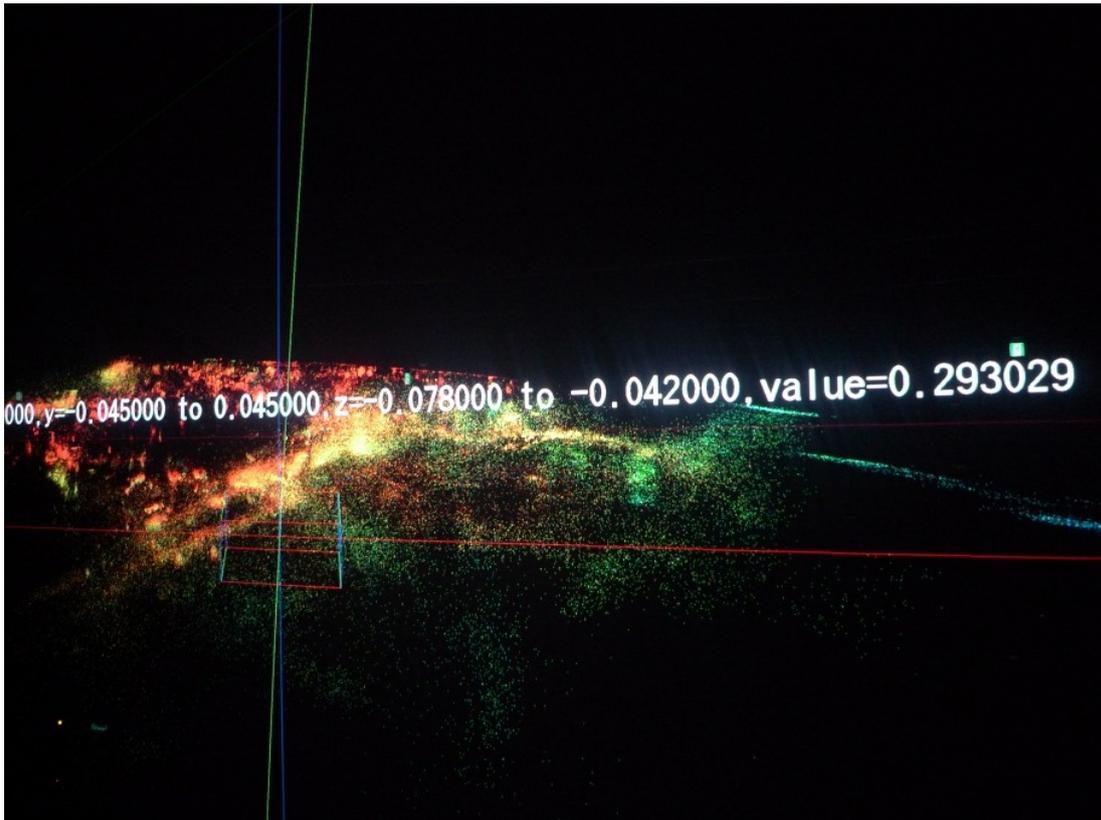


写真 4-5 b 値をリアルタイムに計算した例

実際に試用してみると、以下のような難点が明らかになったため、別アプローチを試すこととなった。

1. 空間・時間範囲は 4 次元量であり、いずれかの次元を捨てて 3 次元の範囲にしないとインタラクティブに範囲指定することが難しい。
2. 震源データを見ても、どの範囲を指定するべきかの判断が難しい。
3. 注目した領域の b 値しか表示されないため、作業効率が悪く、異なる地点での b 値の比較も難しい。

#### 4.3.3. アプローチ 2：事前計算結果の表示

アプローチ 1 の反省を踏まえ、多数の b 値を一度に表示することにより分布傾向を把握する方法を試みた。

震源データの数を  $N$ 、b 値計算のサンプル点の数を  $M$  とすると、 $N \times M$  の計算時間がかかるため、震源データからの b 値の計算は、事前処理として行い、計算結果を RDBMS のテーブルに保持することとした。(付録 A 参照)

#### 4.3.4. アプローチ 2-1 震源位置での計算

b 値は任意の位置について計算可能であるが、地震発生との関係に主たる興味があるため、震源位置をそのままサンプル位置に利用し b 値の事前計算を行った。

※ 定義上、地震の全く発生していない空間・時間区間では、b 値の推定自体が行えない。

写真 4-6 は、震源の位置をスケーリング(1000km を 1m に変換)のみでそのまま表示し、b 値を色で表現した例である。地震の発生地域毎に b 値の傾向に違いが見られる。

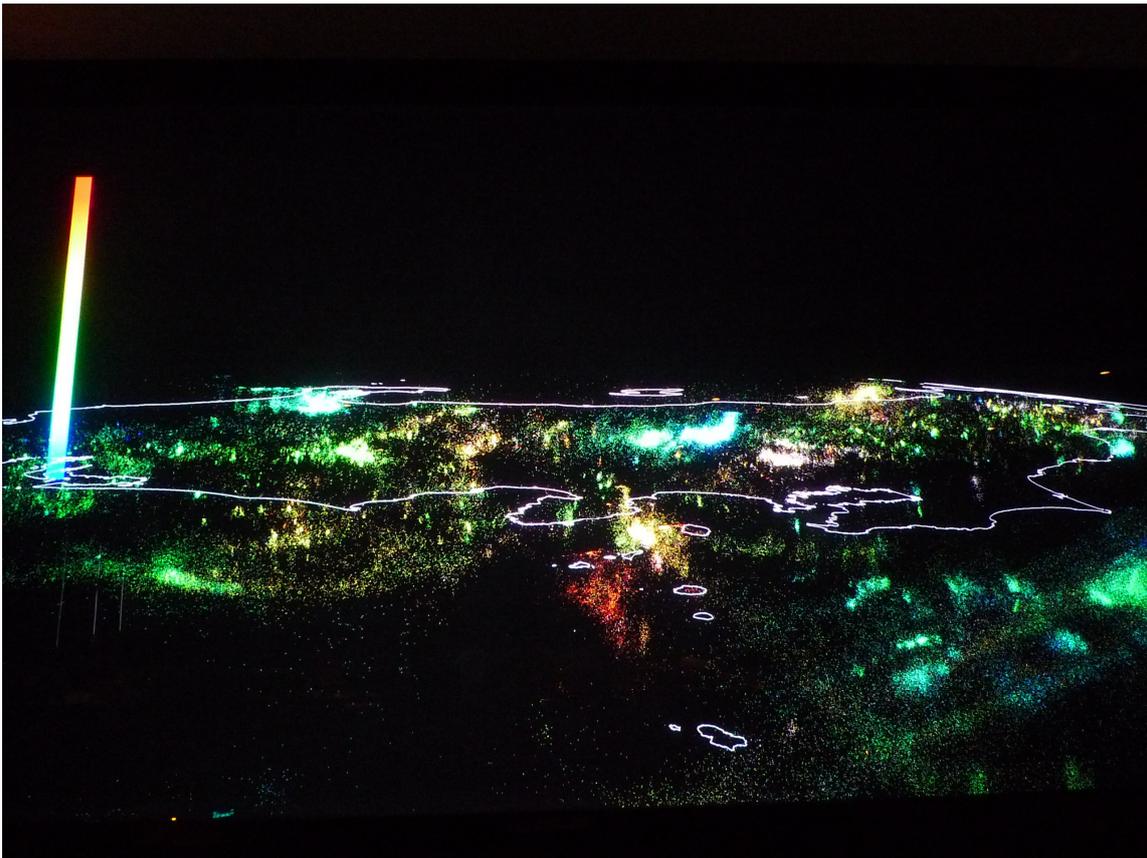


写真 4-6 b 値を色で表現した表示例

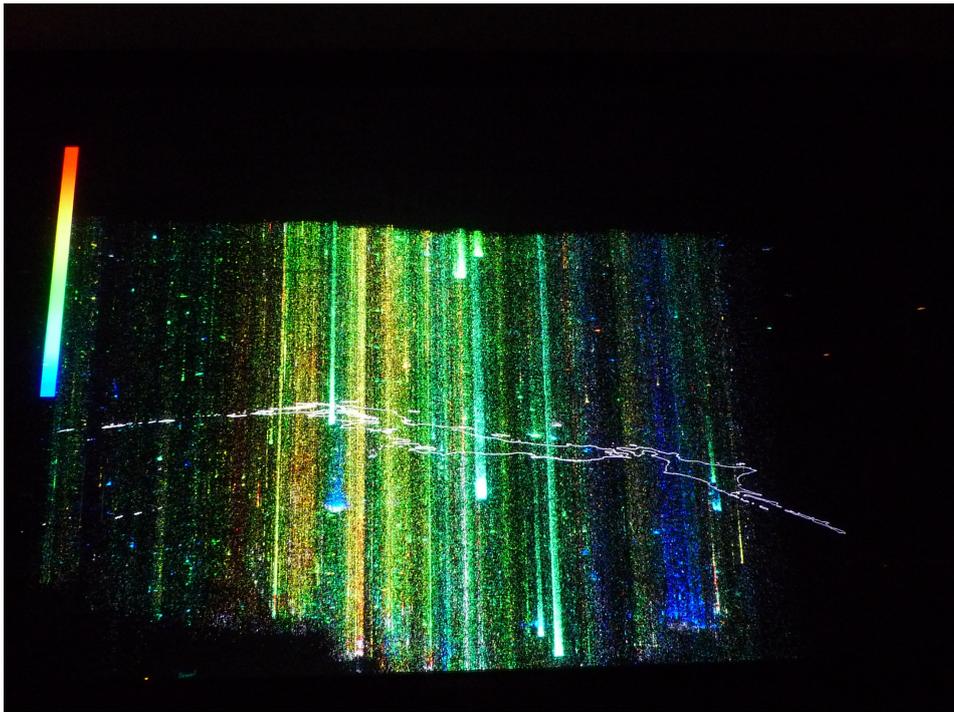


写真 4-7 高さ方向を時間に対応させた表示例

写真 4-7 は、高さ(Z)方向を、震源深さではなく、発生時刻に対応付けた例である。余震の発生が見て取れるが、同じ緯度経度で発生した深さの異なる地震は区別できないというデメリットもある。

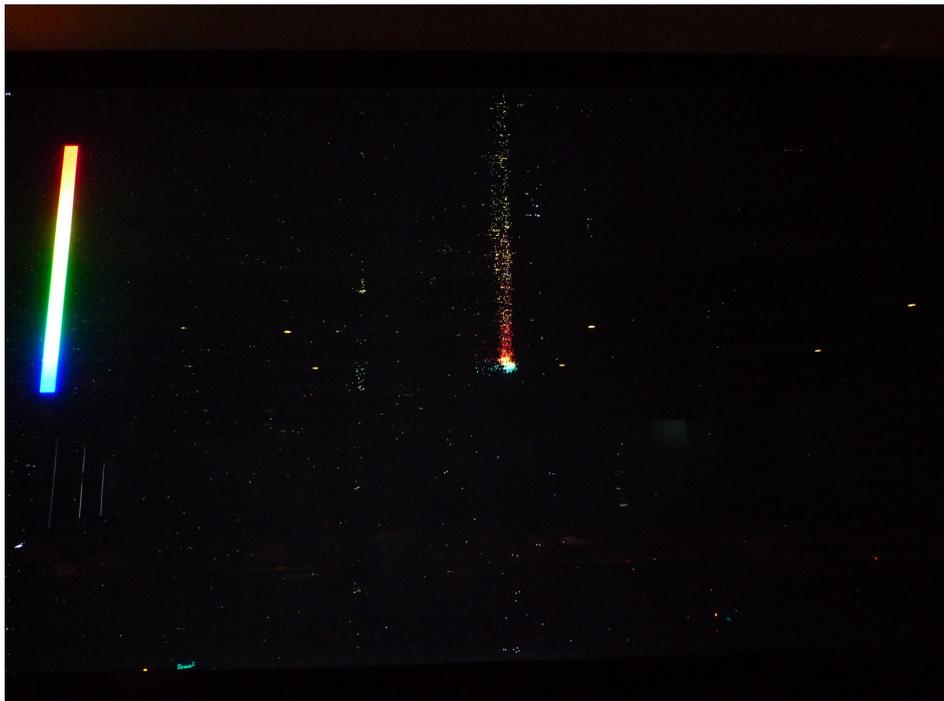


写真 4-8 b 値が経時変化する表示例

写真 4-8 からは、時間経過に従い b 値が変化している様子が見て取れる。

#### 4.3.5. アプローチ 2-2 格子点上での計算

震源位置での計算結果の表示を試みた時点で、東京大学地震研究所の古村教授よりコメントを頂いた。(2009/07/06 筑波大学において小木教授へのコメント)

- ・緯度、経度、深さ方向にメッシュ分割し、各メッシュ内の地震に対する  $b$  値を事前に計算しておく。
- ・メッシュ分割の大きさは目安としてデータ数が 100 個程度になるようにする。
- ・できれば 0.1 度間隔、0.01 度間隔など幾つか用意しておき、インタラクティブに切り替えられるようにする。
- ・ $b$  値の値は色で表示する。メッシュ分割のブロックごとに色分けされる。
- ・深さ方向を深さ以外の値の呈示に使うという方法は経験がないのでいいかどうかは分からない。
- ・インタラクションとしては、メッシュサイズ、時間範囲等をスケールバーで変更しながら描画映像を変える。

上記を参考に、格子点上で  $b$  値を事前計算する方法を試みた。

$b$  値は領域に対して推定される値であり、本来の形に近いといえる。一方で、 $b$  値は不連続な値であり、変動を検出する目的からは格子間隔を狭く設定したい。このことから、計算負荷・可視化時のデータ点数の増大が問題となることが予想される。

#### $b$ 値推定とサンプル数

$b$  値はサンプルとして採用された震源データのマグニチュードの平均値の逆数として推定されるため、推定の精度はサンプル数に大きく依存する。

地震の発生は、時間・空間的に偏って発生するため、一様な格子上の点において  $b$  値の推定を行う場合には、サンプル点数の少ない  $b$  値が発生し、これら推定精度の低い  $b$  値はノイズとなる可能性がある。

図 4-3 は、サンプリング範囲を半径 20km, 前 30 日とした場合の、サンプル数と  $M_s=1.5$  の  $b$  値の推定結果の図である。サンプル数 10 未満では標準偏差が急激に大きくなるが、大部分の推定値がその範囲に属することがわかる。

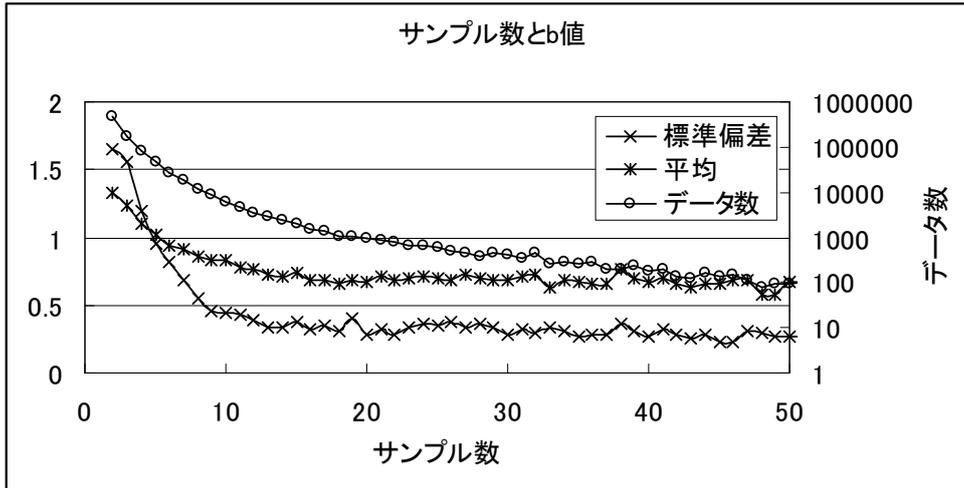


図 4-3 サンプル数と b 値

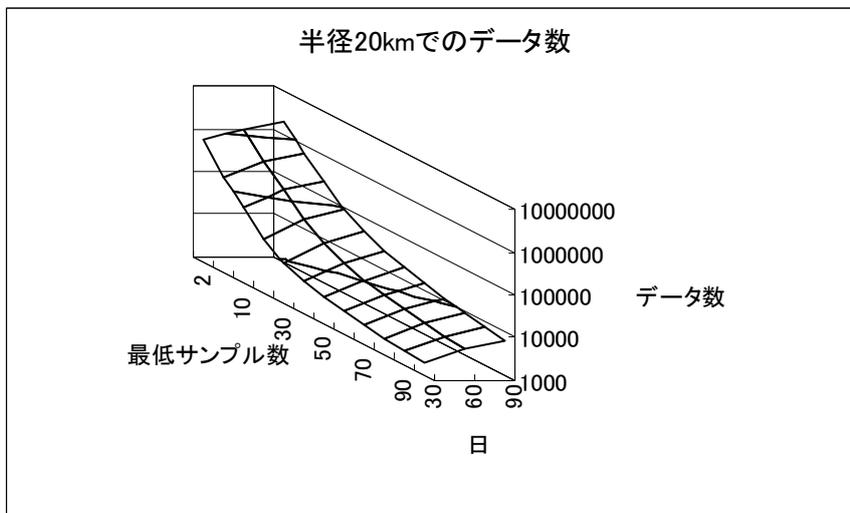


図 4-4 半径 20km での b 値のデータ数

図 4-4 は、サンプリング範囲を半径 20km とした場合の、 $M_s=1.5$  の b 値のデータ点数(サンプル数に対しての分布ではなく、最低サンプル数以上のサンプル数を持つデータの累計)である。b 値の推定値として採用するための最低サンプル数が大きくなるに従い急激にデータ点数が減少するので、古村教授より当初のガイドラインとして呈示されたサンプル数 100 を一律に確保することは現状のデータセットでは難しいことがわかる。

図 4-5 は、サンプル対象の最小マグニチュード  $M_s$  とデータ数の関係である。 $M_s$  を小さく取ることによってサンプル数は向上するが、観測自体の誤差の影響とのトレードオフの問題となることが予想される。

上記より、汎用環境へのデータ挿入時にサンプル数が低いデータは対象外とすることで、パフォーマンスと可視化結果の向上が期待される。

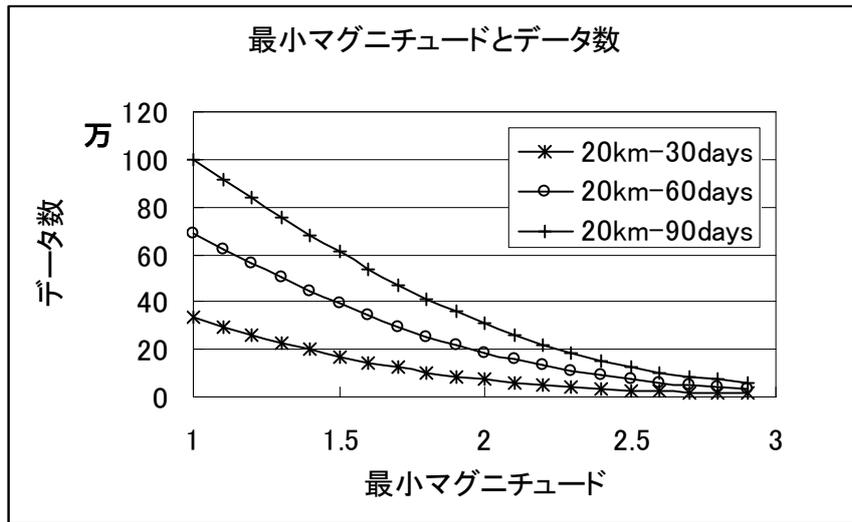


図 4-5 最小マグニチュードとデータ数

表示例

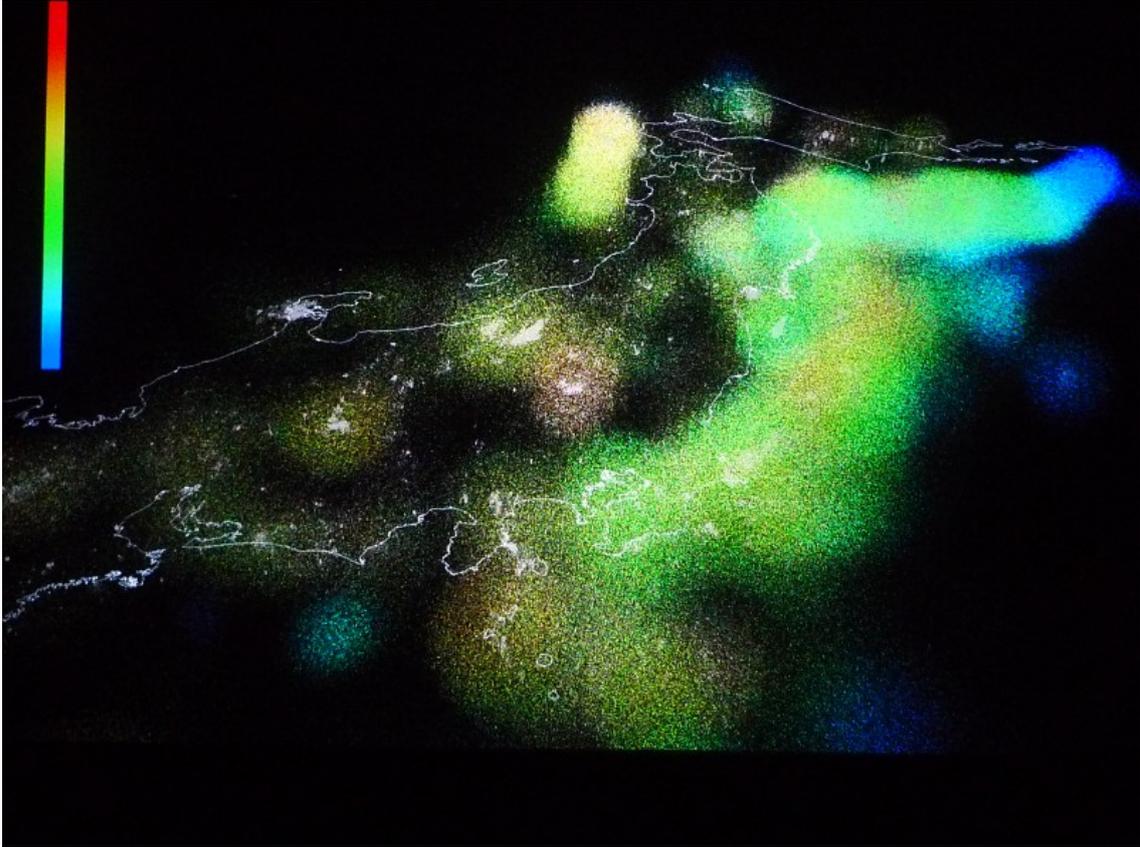


図 4-6 b 値の表示例

図 4-6 は、グリッド間隔  $10\text{km}(\approx 0.1^\circ)$  サンプル半径  $40\text{km}$  での表示例である。海岸線と震源の位置情報を白色で重畳表示している。

規則的な格子上で  $b$  値を計算していることに起因する干渉縞の発生を防ぐため、 $b$  値の表示位置にグリッド間隔の半分を上限とするノイズを乗せている。サンプル数 5 以上をすべて採用しているため、 $b$  値の点数が多く、サンプル半径近くまで  $b$  値の計算結果が表示されている。この状態では、表示点数が多すぎるため、 $b$  値の分布の表面しか知覚できないことが問題となる。

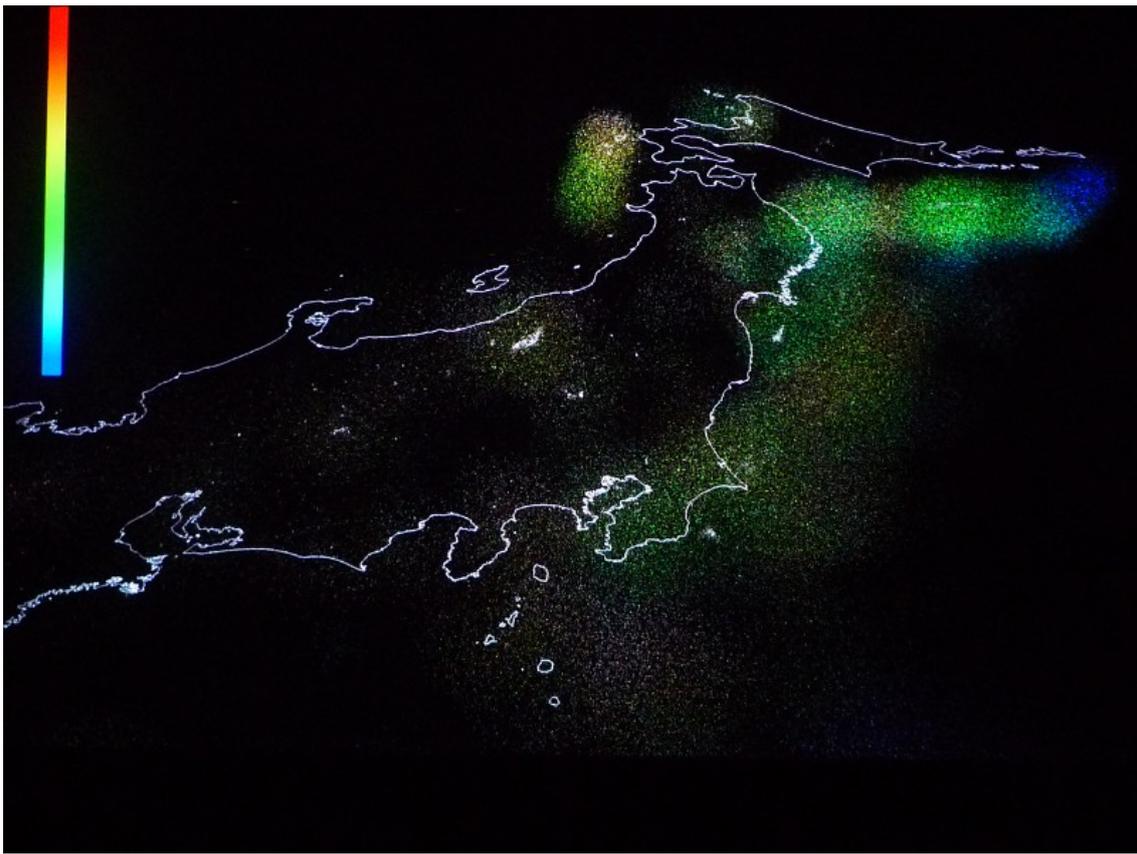


図 4-7 b 値の表示例

図 4-7 は、時間範囲でフィルタをかけた表示例である。この程度の呈示データ量であれば、点群の内部も十分見ることが出来る。

#### 4.4. 課題

データ点数が増大すると、インタラクションに必要な実時間処理を行う計算機、呈示された情報を見て受取る側の人間の双方に負荷がかかる。

これらの負荷を軽減する方策としては、事前計算されたデータの選択的表示というアプローチにならざるを得ないが、パラメータの組み合わせ、データ点数自体の増大を招き、ストレージ容量、ネットワークスループットも問題になる。

データ圧縮等のアルゴリズム改善、計算機性能の更なる向上等により、現状の問題が解決することが期待される。

#### 4.5. 専門家による評価

2010 年 1 月 29 日に、古村教授に実際にシステムを体験していただいた上で下記のコメントを頂いた。

※当日は、サンプリング範囲半径 20km、前 20 日の条件で、10km 間隔で計算した b 値を、震源データと重畳した状態で利用した。

コメント1.

将来的にはオンラインの情報を多地点で利用したい。現状では、事前の計算・可視化のための準備が必要であるが、これらは自動化できるはずである。

コメント2.

なんらかの詳細度管理の仕組みがないと、人間がみてわかるのは難しい。

コメント3.

色相環を回る量が多いと、人間の中で変換が必要になる。緑から赤に変化する等の単純な変化でも良いかもしれない。

コメント4.

時間変化はアニメーションか、スライド等によるインタラクションで見たい。現状でも地震の頻発地域が移動する様子は見て取れた。

コメント5.

3次元状に分布するデータを呈示する手法として、点群を呈示する方法は、この環境に限っては有効だと感じる。

コメント6.

b 値の推定値自体の信頼性が低く、性質も良くわかっていないため、自動処理によるフィルタリングをせずに表示するだけの理由はある。

コメント7.

その他の情報との重畳表示に興味がある。プレート地震の積算エネルギー、メカニズム分類(走向・傾斜・すべり角・地震モーメント)等はデータが利用可能である。

コメント1,2,3は現状の問題点であり、コメント4,5,6は、現状を評価できる点、コメント7に関しては、今後の課題という整理が可能かと思われる。

コメント5は、今回の環境の高精細という特徴によって、新たな可視化手法の可能性が示唆されたとも考えられるが、同時に、点の数による限界も既に明らかになっており、コメント2での課題へとつながっている。

## 結論

本研究では、数値データの点列表示に特化することで、汎用的な立体視ビジュアル・データマイニング環境の構築を行い、地震の震源データと、震源データを加工して得られるグーテンベルグ・リヒター則の  $b$  値の可視化を行った。今回は、ビジュアル・データマイニングに際して発生する問題の洗い出しを主目的としたため、有用性は度外視しているが、実際の利用に際しては、汎用性と有用性のトレードオフをバランスさせることが重要である。汎用環境の有用性を高めるためには、下記のような課題が想定される。

### ・ データ処理手法の充実

ビジュアル・データマイニングとビジュアル・データエクスプロレーションを区別するものとして、可視化のサブプロセス中でのKDD的な自動処理が挙げられる。認知限界の範囲内に呈示される情報量を抑えるためにも、何らかのデータ処理との組み合わせが必要となる。

### ・ インタラクションのためのインターフェイス充実

ビジュアル・データエクスプロレーションの要件のうち、**details on demand**を実現するためには、特定のデータに対するポインティング等のインターフェイスが必要となる。

### ・ 対象データの拡大

本研究は、数値データのみを取り扱ったが、データマイニング対象として大きな割合を占める量的尺度を持たないデータ、テキスト等の非構造データへの対応が必要となる。

また本研究においては、高解像度立体視環境における情報呈示に関する基礎的な実験を行い、立体視に一定の効果が認められること、装置側の解像限界よりも人間の認知限界がボトルネックになる可能性があることを示唆する結果を得た。本研究におけるような高解像度立体視環境が普及した場合には、データの可視化において、注視点以外のデータをデフォーカスする等の従来は必要でなかった処理が必要になることが予想される。

2008年2月に全米科学財団(NSF: National Science Foundation)により発表された「14 grand engineering challenges for the 21st century」の中に、下記の2項目が含まれている。

- Enhance virtual reality
- Engineer the tools for scientific discovery

立体視環境でのビジュアル・データマイニングは、これら2項目にまたがる分野であり、今後も長期にわたる発展が期待される分野であると考えられる。

## 謝辞

本研究に当たっては、慶應義塾大学の小木哲朗教授、東京大学地震研究所の古村孝志教授より、多くのご指導、助言を頂きました。この場を借りて深く感謝し、お礼を申し上げます。

また、実験の被験者を快く引き受けていただいた方々にも、深くお礼申し上げます。

震源データは、気象庁・文部科学省が協力してデータを処理した気象庁一元化処理震源による。

この処理には、独立行政法人防災科学技術研究所、気象庁、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、独立行政法人産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市、及び独立行政法人海洋研究開発機構のデータを使用しています。

## 参考文献

[1] Anne Treisman, Perceptual Grouping and Attention in Visual Search for Features and for Objects, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and performance*, Vol. 8, No. 2, pp 194-214, 1982

[2] Edward J. Wegman, Jurgen Symanzik, Immersive Projection Technology for Visual Data Mining, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, Vol. 11, No. 1, pp 1-26, 2002

[3] 小木哲朗, 大貫智士, 古村孝志, 伊藤祥司, 没入型ビジュアルデータマイニング環境を用いた地震データの可視化, *計算機工学講演会論文集* Vol. 13, 2008

[4] 大倉典子, データウォークスルーによるデータマイニング, *IEICE technical report. Data engineering*, 100(31), pp.169-173, 2000

[5] Daniel A. Keim, Information Visualization and Visual Data Mining, *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, Vol. 7, No.1, pp 100-107, 2002

[6] Yoshisuke Tateyama, Tetsuro Ogi: OpenCABIN Library for Developing Applications on Large Display Systems, *ASIAGRAPH 2009 in Tokyo Proceedings*, Vol.3, No.1, pp 47-48, Tokyo, 2009.10.22-25

[7] 小原一成, 最近の地震観測網整備について, *自然災害科学*, Vol. 19, pp 397-402, 2001

[8] 宇津徳治, 8.地震の規模別度数分布に関連する諸問題(I), *北海道大学地球物理学研究報告*, Vol. 17, pp 85-112, 1967

## 付録 A. データベース関連情報

本研究では、フリーの RDBMS である MySQL を利用した。データ型等は MySQL での規則に従う。

### A.1. データベース VDM

ビジュアル・データマイニング用のデータを保持するデータベースであり、3 章で構築した汎用環境から参照する。

#### A.1.1. テーブル ABS\_VALUE

ビジュアル・データマイニング対象の抽象データテーブル。

| フィールド名 | データ型       | コメント   |
|--------|------------|--|
| id     | bigint(20) | データの ID を保持させる目的のカラム。運用の柔軟性を重視し、インデックスは利用していない。<br>※検索が発生する場合には、この値をキーに元データのテーブルを検索する。 |
| val0   | float      | 数値データを保持する。  |
| val1   | float      | 数値データを保持する。  |
| val2   | float      | 数値データを保持する。  |
| val3   | float      | 数値データを保持する。  |
| val4   | float      | 数値データを保持する。  |
| val5   | float      | 数値データを保持する。  |
| val6   | float      | 数値データを保持する。  |
| val7   | float      | 数値データを保持する。  |

### A.2. データベース seismic

地震データ用のデータベースであり、震源情報とグーテンベルグ・リヒターの b 値を保持する。※ データベース seismic では、独自の直行座標系を採用した(4.1.1.参照)。

#### A.2.1. テーブル MHypoCenters

震源情報を保持するマスタ。2003 年 1 月 1 日から 2007 年 12 月 31 日に発生した地震を保持させている。

| フィールド名 | データ型       | コメント      |
|--------|------------|-----------|
| hc_id  | bigint(20) | プライマリキー   |
| name   | char(24)   | 地震の名称     |
| LAT    | float      | 震源の緯度[北緯] |
| LNG    | float      | 震源の経度[東経] |

|       |           |                |
|-------|-----------|----------------|
| DEPTH | float     | 震源の深さ[km]      |
| MAG   | float     | マグニチュード        |
| TS    | timestamp | 発生時刻           |
| X     | float     | 直交座標系での座標値[km] |
| Y     | float     | 直交座標系での座標値[km] |
| Z     | float     | 直行座標系での座標値[km] |

#### A.2.2. テーブル B\_VALUES\_LOC2

グーテンベルグ・リヒター則の b 値を保持するテーブル。

| フィールド名       | データ型       | コメント   |
|--------------|------------|--|
| ix           | int(11)    | X 方向へのインデックス。モジュラーを取ることで、データの間引きに利用する。以下、iy,iz,it も同様。 |
| iy           | int(11)    | フィールド ix 参照。   |
| iz           | int(11)    | フィールド ix 参照。   |
| it           | int(11)    | フィールド ix 参照。   |
| X            | float      | 直交座標系での X[km]  |
| Y            | float      | 直交座標系での Y[km]  |
| Z            | float      | 直交座標系での Z[km]  |
| t            | bigint(20) | サンプリング時刻[unixtime]                                     |
| ns           | int(11)    | b 値の計算に利用した震源の数。                                       |
| value        | float      | b 値。   |
| radius       | float      | 空間方向のサンプリング半径[km]                                      |
| ms           | float      | サンプリング対象の最小マグニチュード。                                    |
| periodBefore | bigint(20) | サンプリング時刻から過去方向へのサンプリング範囲[s]                            |
| periodAfter  | bigint(20) | サンプリング時刻から未来方向へのサンプリング範囲[s]                            |

- ・地震データをデータマイニング用テーブルに設定する DML の例

```
--
-- delete data
--
delete from ABS_VALUE;

--
-- insert b-values
--
-- 1120468533 is avg(b.t) ; b.t is in Unix-time
-- 10.0 is grid cell-size
insert into ABS_VALUE(id,val0,val1,val2,val3,val4,val5,val6,val7)

--select 0, b.X, b.Y, b.Z, b.t - 1120468533, b.ns, b.value
-- add noise to avoid moare : original mesh size is 10.0[km]
select
0,
b.X + 10.0*rand() - 5.0,
b.Y + 10.0*rand() - 5.0,
b.Z + 10.0*rand() - 5.0,
b.t - 1120468533, b.ns, b.value
,1,0 -- for the filtering sake

FROM
B_VALUES_LOC2 as b
WHERE
b.Ms = 1.5
AND
--b.ns >=5
b.ns > 5
AND
--b.radius = 20.0
b.radius = 40.0
--b.radius = 80.0
;
```

```
--
-- overlay HypoCenters
--
-- setting val4 to 0 to descreminate Hypocenters from b-values
insert into ABS_VALUE(id,val0,val1,val2,val3,val4,val5,val6,val7)

select
m.hc_id,
m.X,
m.Y,
m.Z,
unix_timestamp(m.TS) - 1120468533,
0,
m.MAG + 10
,0,1 -- for the filtering sake

FROM
seismic.MHypoCenters as m
;
```

## 付録 B. OpenCABIN Library

本研究でのアプリケーション開発には、OpenCABIN Library(以下 OCL)を利用した。

OCL は、linux 環境での没入型アプリケーション開発のための基盤となるソフトウェアプラットフォームであり、以下の特徴・機能を持つ。

- マスタ・レンダラによる分散構成の隠蔽
- 仮想共有メモリによる通信の隠蔽
- 両眼立体視環境の視体積計算の隠蔽
- ヘッドトラッキング対応
- ジョイスティックコントローラによる入力処理対応

図 B-1 は OpenCABIN Library の動作環境となる H/W 環境を含めた概念図である。OCL では、アプリケーションはプラグインの形態をとる。

アプリケーション開発者は、マスタ・レンダラそれぞれで実行されるコールバック関数の内部を記述することで、shared object としてプラグインを作成する。この際に、仮想共有メモリを利用することで、マスタ・レンダラ間の通信を直接意識することなく分散アプリケーションの感発が行える。

実行時には、各マシンに shared object をコピーした上で、マスタマシン上で実行されるマスタプロセスのプロンプトに、プラグインの実行を指示することでアプリケーションが実行される。

尚、OCL は、Source Forge にて公開されている。

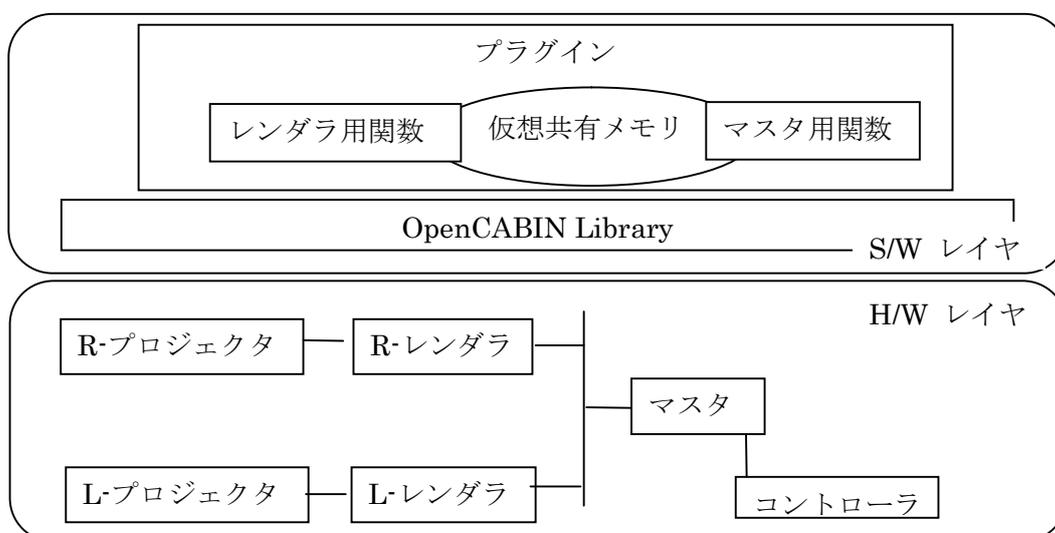
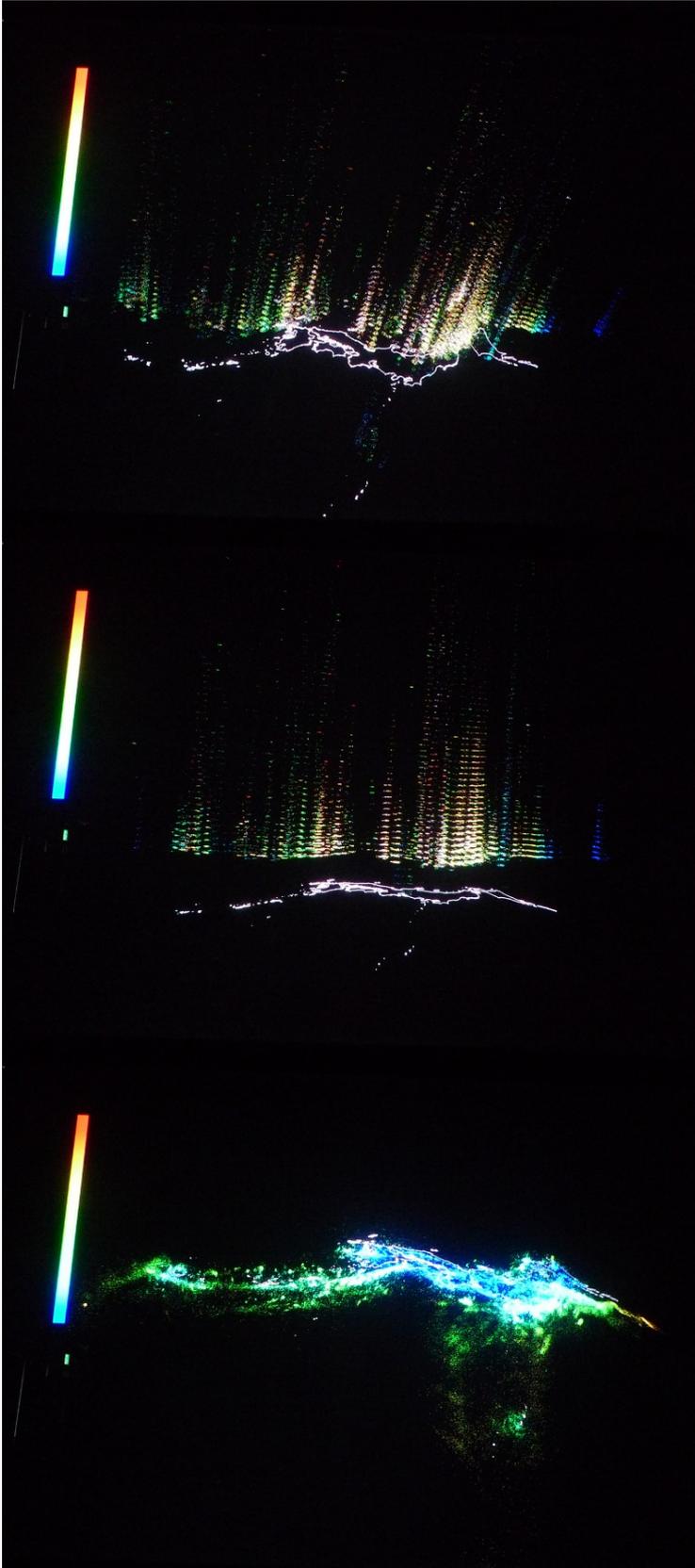


図 B-1 Open CABIN Library 概念図

## 付録 C. 地震データの可視化例

本文中に採録しなかった、地震データの可視化例を以下に示す。すべての可視化例は、同一のデータを利用している。



マッピング条件

|   |                |
|---|----------------|
| X | 0.001X         |
| Y | 0.001Y         |
| Z | 0.05ns         |
| C | B: 範囲[0.1,1,1] |

サンプル数が低いデータが多い。

サンプル数が大きいデータについても色の違いが見える。

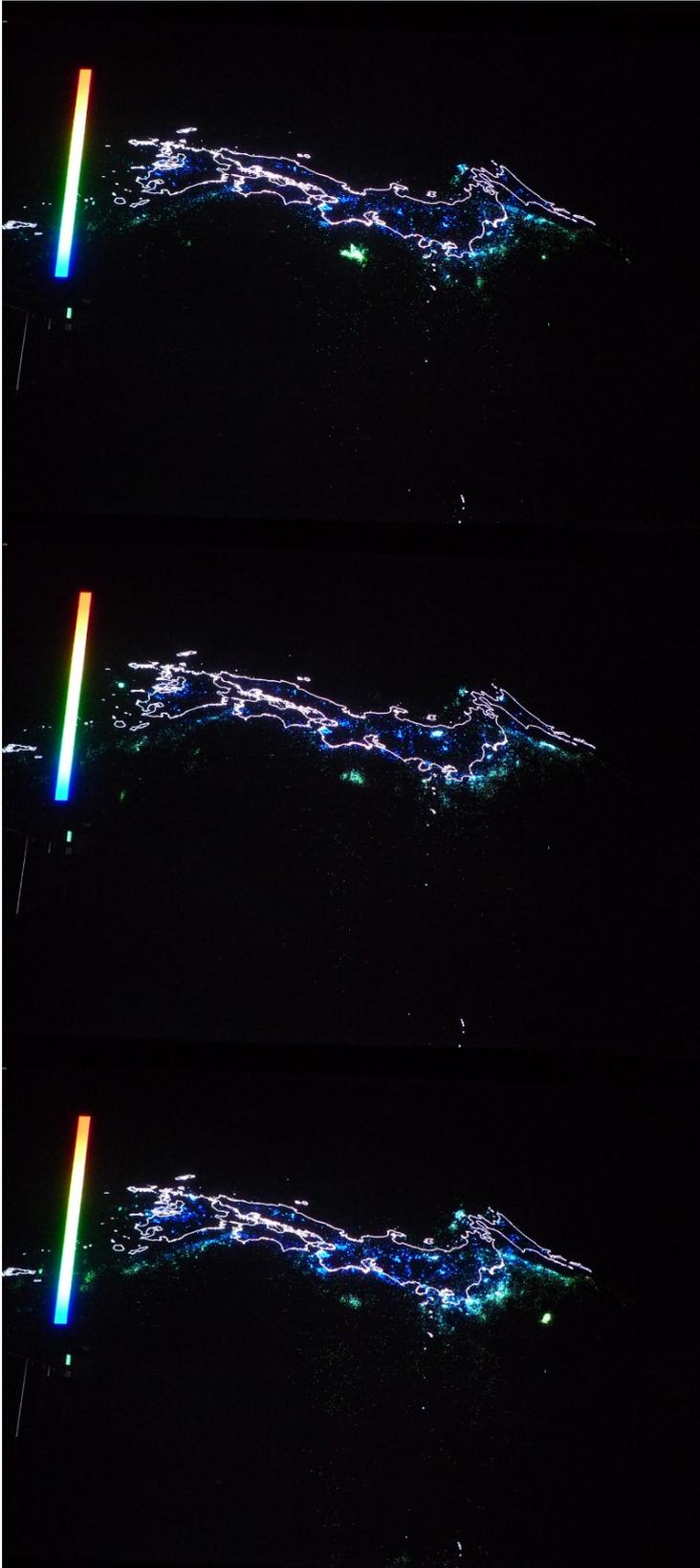
マッピング条件

|   |                |
|---|----------------|
| X | 0.001X         |
| Y | 0.001Y         |
| Z | 0.05ns         |
| C | B: 範囲[0.1,1,1] |

マッピング条件

|   |              |
|---|--------------|
| X | 0.001X       |
| Y | 0.001Y       |
| Z | 0.001Z       |
| C | MAG: 範囲[0,7] |

全震源データを表示。



マッピング条件

|   |               |
|---|---------------|
| X | 0.001X        |
| Y | 0.001Y        |
| Z | 0.001Z        |
| C | MAG : 範囲[0,7] |

時間でフィルタした例。  
紀伊半島沖地震が発生した。

マッピング条件

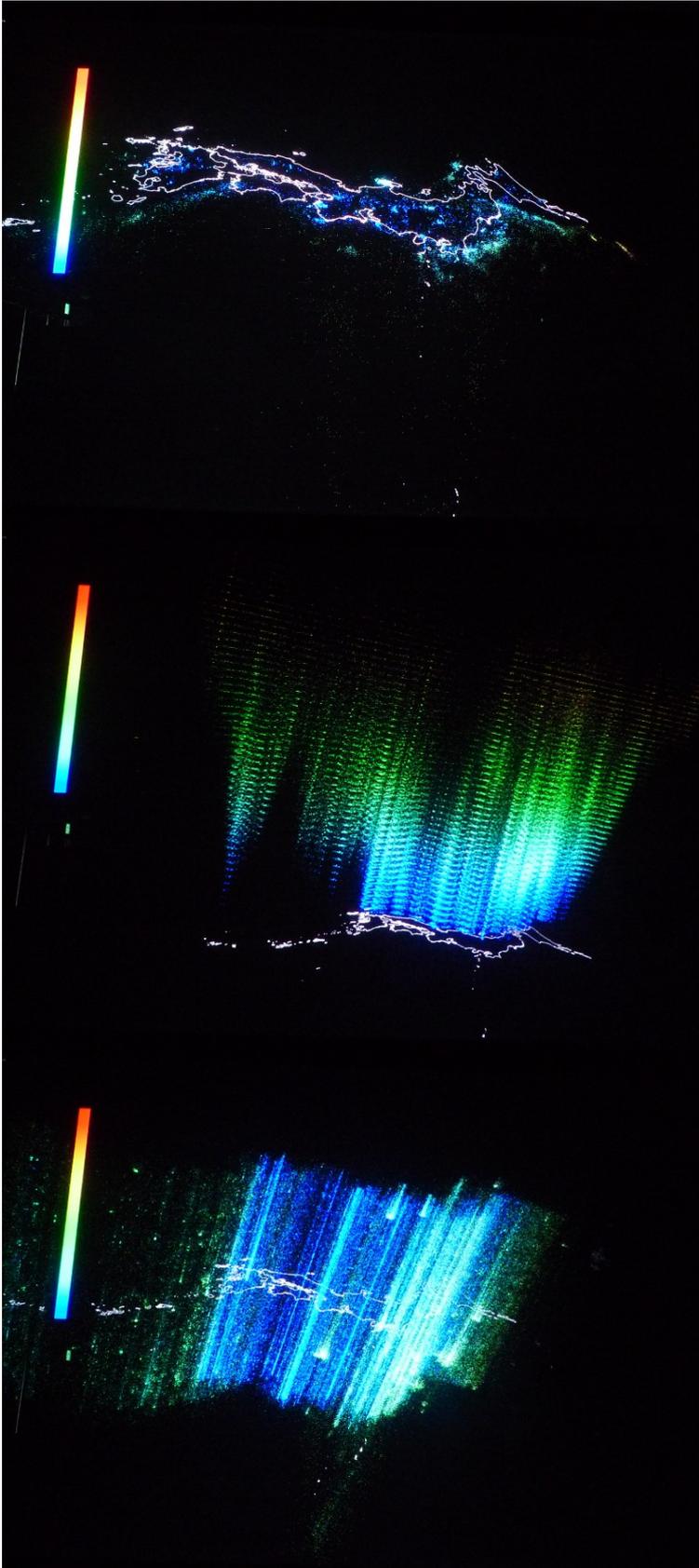
|   |               |
|---|---------------|
| X | 0.001X        |
| Y | 0.001Y        |
| Z | 0.001Z        |
| C | MAG : 範囲[0,7] |

中越地震が発生した。

マッピング条件

|   |               |
|---|---------------|
| X | 0.001X        |
| Y | 0.001Y        |
| Z | 0.001Z        |
| C | MAG : 範囲[0,7] |

宮城沖地震が発生した。



マッピング条件

|   |               |
|---|---------------|
| X | 0.001X        |
| Y | 0.001Y        |
| Z | 0.001Z        |
| C | MAG : 範囲[0,7] |

若狭地震が発生した。

マッピング条件

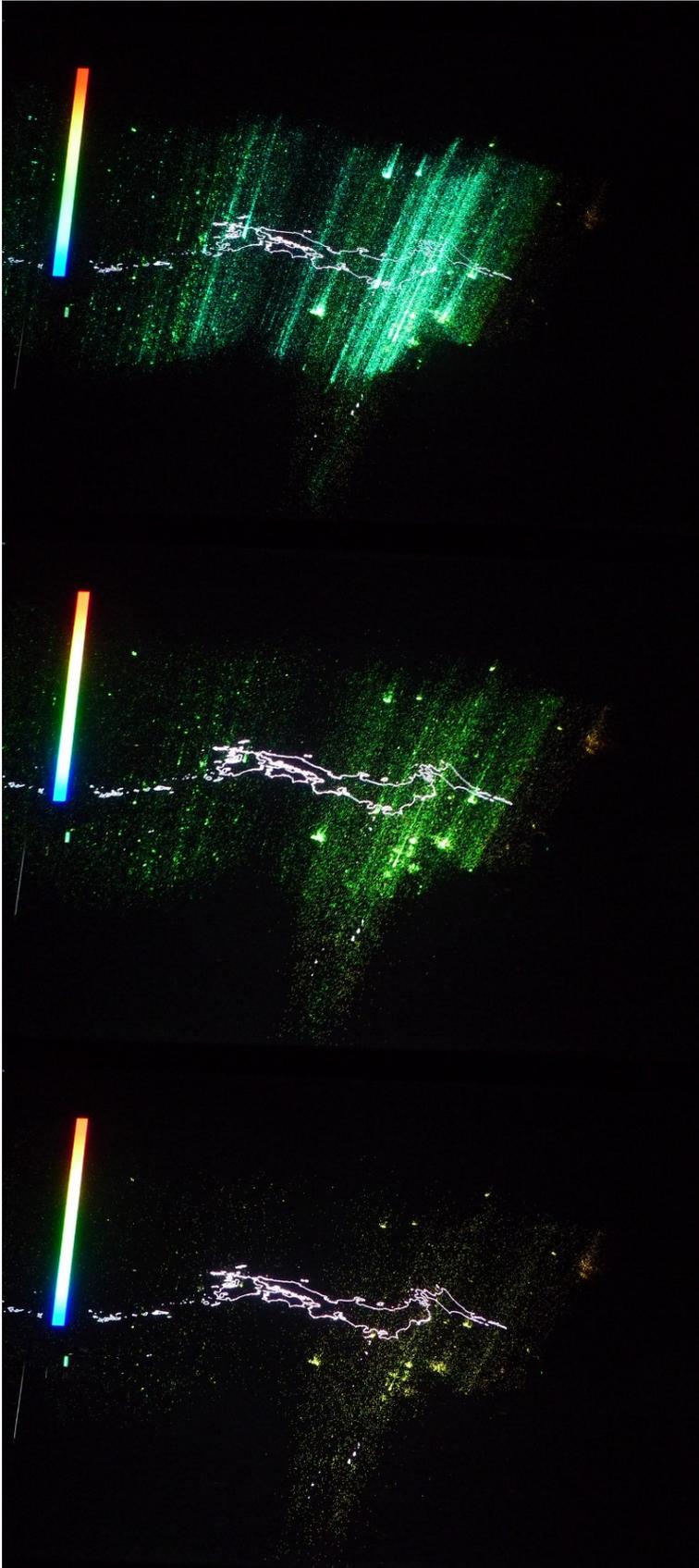
|   |               |
|---|---------------|
| X | 0.001X        |
| Y | 0.001Y        |
| Z | MAG           |
| C | MAG : 範囲[0,7] |

マグニチュードを高さ方向にマッピングすると、小さい自身は観測点(陸)の近くでしか観測されていないことがわかる。

マッピング条件

|   |               |
|---|---------------|
| X | 0.001X        |
| Y | 0.001Y        |
| Z | 1e-8t         |
| C | MAG : 範囲[0,7] |

時間を Z にマップした。



マッピング条件

|   |               |
|---|---------------|
| X | 0.001X        |
| Y | 0.001Y        |
| Z | 1e-8t         |
| C | MAG : 範囲[0,7] |

時間を Z にマップし、マグニチュードでフィルタした。

マッピング条件

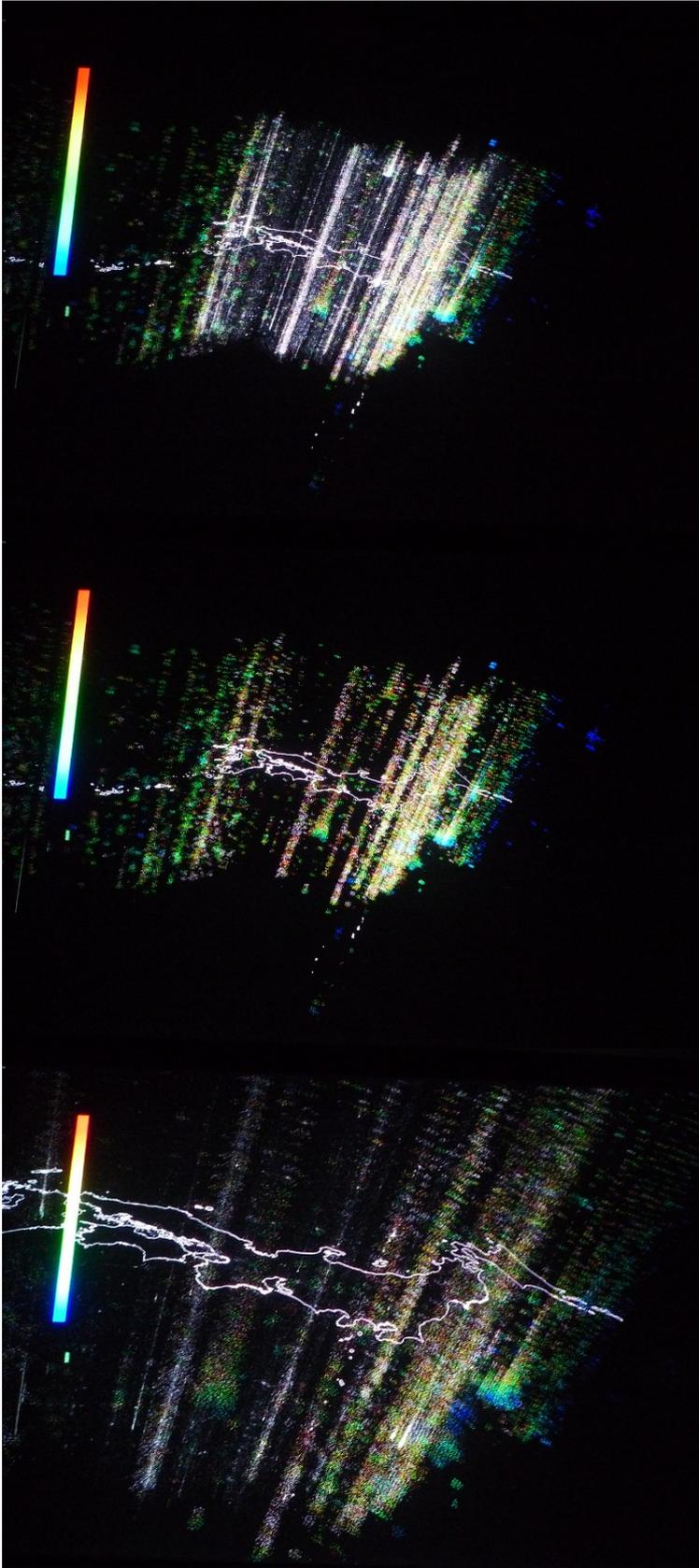
|   |               |
|---|---------------|
| X | 0.001X        |
| Y | 0.001Y        |
| Z | 1e-8t         |
| C | MAG : 範囲[0,7] |

時間を Z にマップし、マグニチュードでフィルタした。

マッピング条件

|   |               |
|---|---------------|
| X | 0.001X        |
| Y | 0.001Y        |
| Z | 1e-8t         |
| C | MAG : 範囲[0,7] |

時間を Z にマップし、マグニチュードでフィルタした。



マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 1e-8t           |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

時間を Z にマッピングし、b 値と震源 (白) を重畳表示した。

マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 1e-8t           |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

時間を Z にマッピングし、b 値と震源 (白) を重畳表示した。

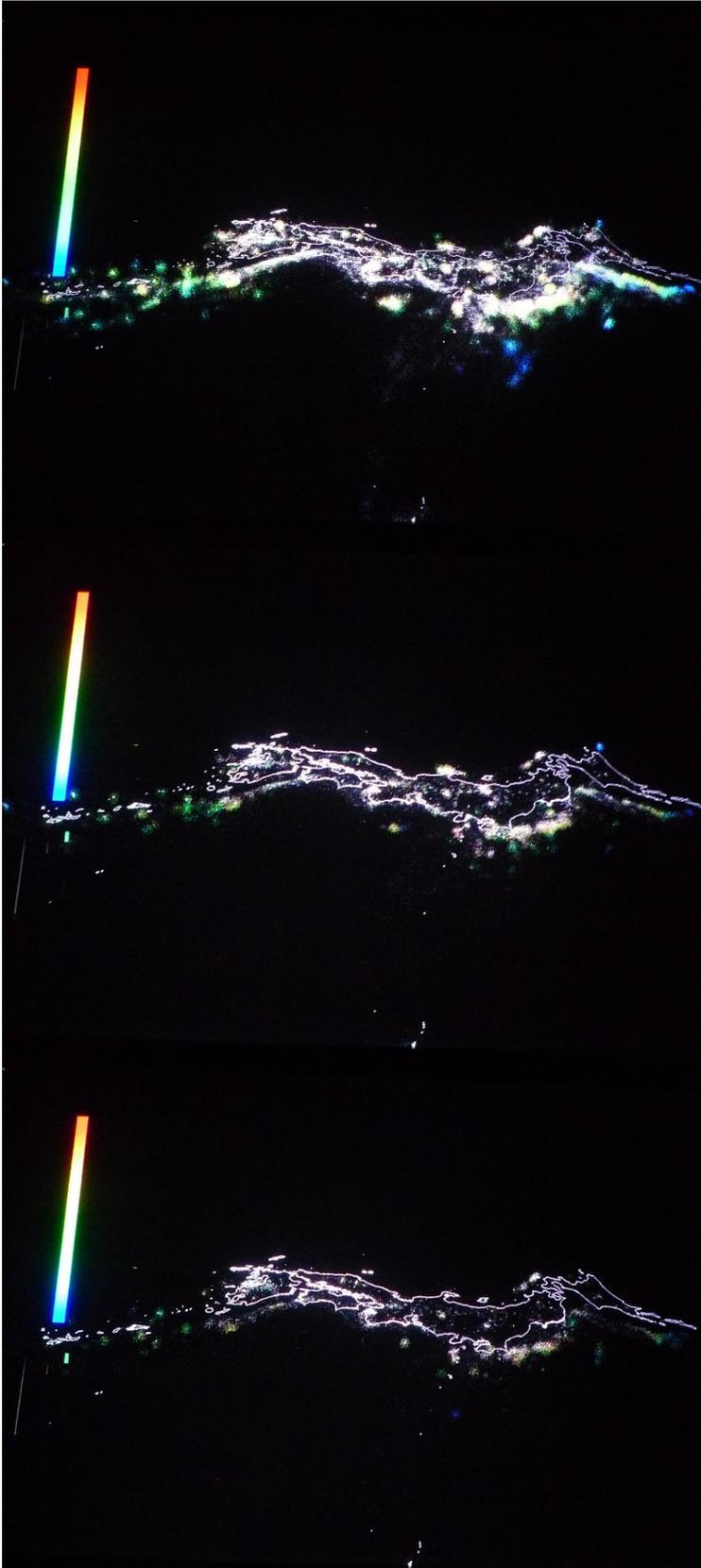
時間でフィルタをかけた例。

マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 1e-8t           |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

時間を Z にマッピングし、b 値と震源 (白) を重畳表示した。

時間でフィルタをかけた例。



マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。全時間区間を表示した例。

マッピング条件

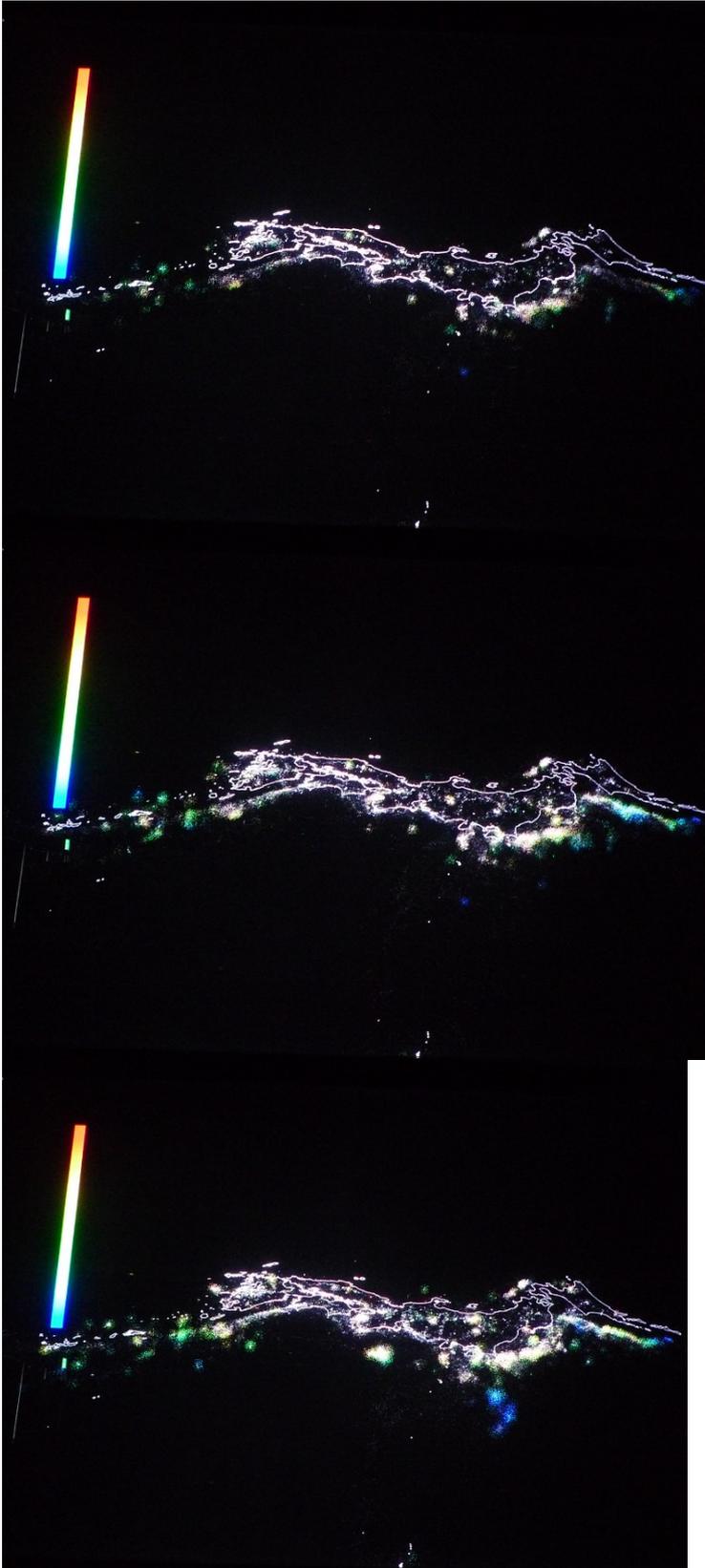
|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。

マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。



マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。

マッピング条件

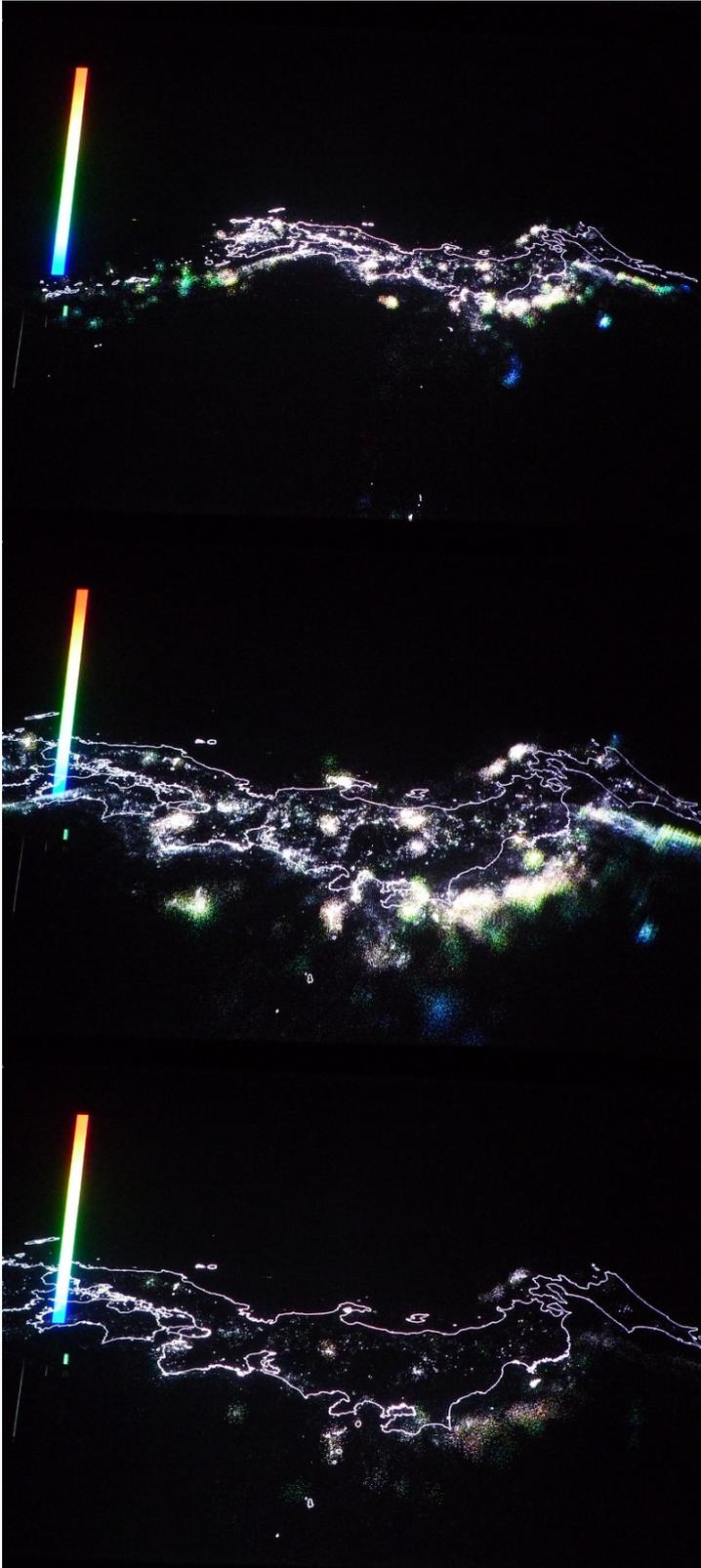
|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。

マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。紀伊半島沖地震発生。



マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。宮城沖地震発生。

マッピング条件

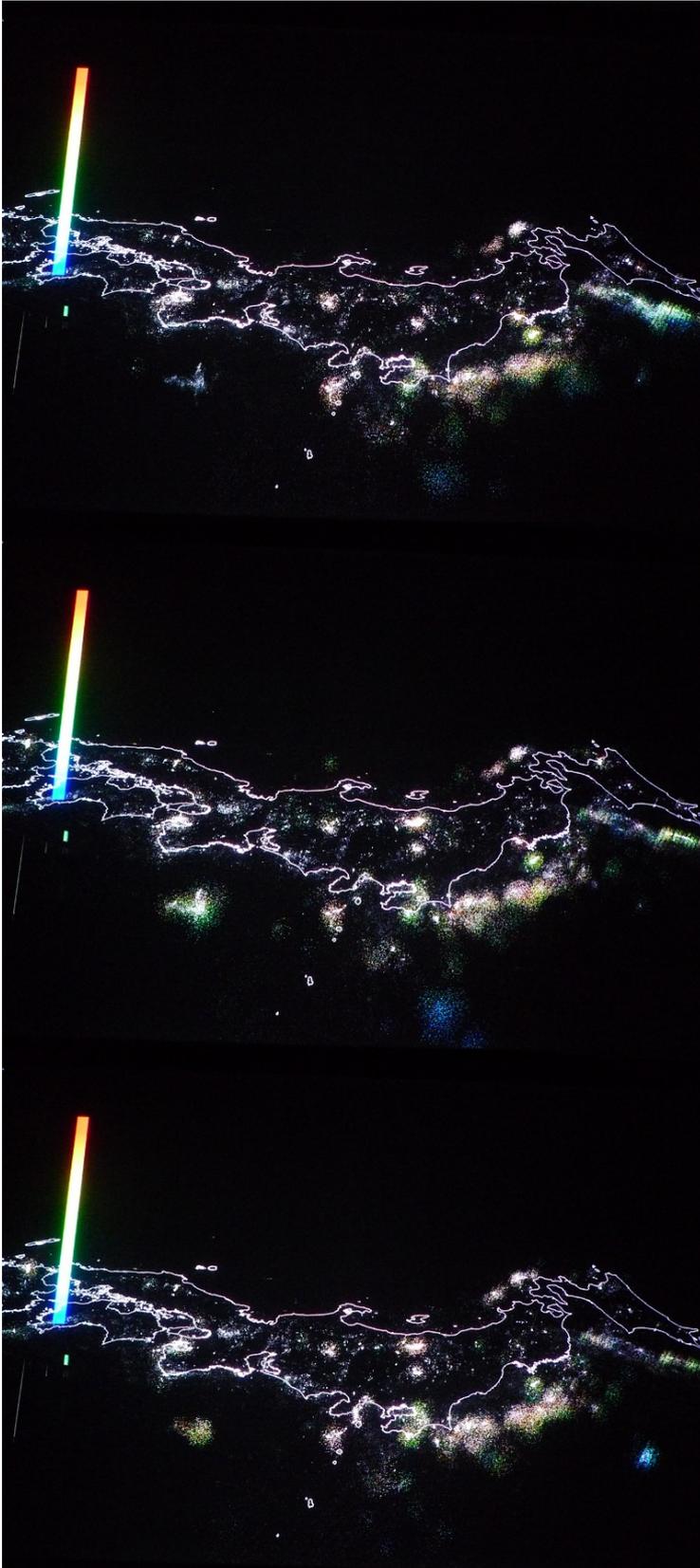
|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。全時間区間を表示。

マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。この程度のデータ点数で有れば、分布した点群の内部が見える。



マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。

マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。紀伊半島沖地震、中越地震が発生している。

マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。宮城沖地震が発生している。



マッピング条件

|   |                 |
|---|-----------------|
| X | 0.001X          |
| Y | 0.001Y          |
| Z | 0.001Z          |
| C | b: 範囲[0.1, 1.1] |

b 値と震源（白）を重畳表示した。時間でフィルタした例。若狭地震が発生している。