

# 汎用ソリッド・モデラを用いた 深成岩地域と火山岩地域の 3次元地質構造可視画像化

桜井英行<sup>1)</sup>・難波治之<sup>1)</sup>・古賀小枝子<sup>1)</sup>  
古宇田亮一<sup>2)</sup>・升本眞二<sup>3)</sup>・原田芳金<sup>4)</sup>

## 1. はじめに

廃棄物の地層処分事業の円滑な推進においては、地域住民を対象とした3次元地質構造の分かり易い説明が必要不可欠である。また、トンネルやダム、地下発電所等の一般土木構造物の計画推進の観点からも、地下地質構造の可視化の必要性が今後は高まると予想される。

一方、地質構造は、地表踏査、ボーリング等の離散的な情報から地質の専門家によって推定される3次元のイメージであり、モデル化された3次元形状として具現化されることは少なく、5万分の1地質図に典型的なように、通常は、地質平面図と代表的な地質断面図によって示されるに過ぎない。したがって、2次元情報の組み合わせから複雑な3次元地質構造を想像する必要があり、専門家でも容易でないことが多い。

この問題は、地質構造の3次元構造モデルを製作することにより解決することができるが、最近では、コンピュータによる3次元モデリングが、比較的手軽に行えるようになってきている。その一手法であるソリッド・モデリングは、特に機械設計の分野で急速に発展した技術であり、概念設計段階から商品パンフレット用の画像作成に至るまで、広く用いられている。ただし、地質構造に適用された例はほとんどないのが実状である。また、市販されている地質専用のソフトウェア・システムも地質調査・解析を対象とした専門色の濃いシステムであり、よほど高度な場合で

すら、サーフェス・モデラを主体としていることもあって、可視化表現の面では、必ずしも十分な機能を提供しているとは言い難い。

著者らは、地形データ、複数の地質断面図のデジタル化データ、及びそれらの3次元的な関係を示すデータから、3次元地質構造をソリッド・モデルとして作成する方法を提案し、実在する地質構造に適用することで、コンピュータ・グラフィクスの多様な画像表現による可視化が、複雑な地質構造の3次元的な理解に有効であることを示した(樋田ほか, 1991; 桜井ほか, 1994, 1995, 1996; Namba et al., 1994)。ここでは、地質構造のソリッド・モデルの作成方法とそのためのシステム、及び適用事例を紹介する。

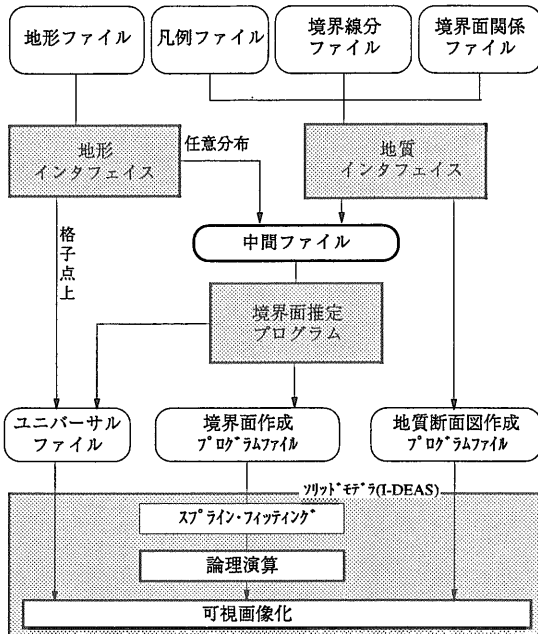
適用事例は、我が国の代表的な地質構造である深成岩地域(神戸を中心とする地域)と火山岩地域(秋田駒ヶ岳を含む地域)の2地域であるが、これらは、十分な情報が得られることから選んだ地域であり、地層処分等の特定の事業計画とは無関係であることは自明である。むしろ、一般的な地質環境解明に意義が高いために選ばれた。堆積岩地域より火成岩地域の方がモデリングが、より困難である。

## 2. システムの概要

本システムは、第1図に示すように、地形インタフェイス、地質インタフェイス、境界面推定プログラム、及びソリッド・モデラで構成される。ソリッド・モデラは、市販のソフトウェア(米国SDRC社のI-DEAS)を

1) 清水建設(株) 電力・エネルギー本部 〒105 港区芝浦1-2-3  
2) 地質調査所 国際協力室  
3) 大阪市立大学  
4) 財原子力環境整備センター

キーワード: ソリッド・モデル, 3次元地質構造モデル, コンピュータ・グラフィクス, クリッピング



第1図 システムフロー。

最上流の4種のファイルが入力データ、ハッチをかけた要素がシステムを構成するプログラム群である。最下流のソリッド・モデラは市販の汎用システムを用いた。入力データは開発したプログラムを通してソリッド・モデラ用のデータやマクロ命令に変換される。

用いることとし、その他のプログラムは新たに開発を行った。市販ソフトウェアでここまで実現できたことは世界的にも希有である。

入力データは、以下の4種であり、標準データファイル形式によりデータベース管理している(宮島ほか, 1994; Miyajima et al., 1994; 宮島ほか, 1996[本号])。データの仕様、及び作成方法等の詳細は、宮島ほか(1996)を参照されたい。

- 1) 地形ファイル: メッシュ上のラスタ形式標高値データ。または、等高線上のベクタ形式標高値データ。
- 2) 凡例ファイル: 地層の名称・記号のデータ。
- 3) 境界線分ファイル: 地質断面図の位置座標データ(地質断面図をデジタル化したファイルである)。
- 4) 境界面関係ファイル: 境界線分ファイルで与えられる2次元地層境界線の3次元元的なつながりを記述したデータ。

これらのデータは、インタフェイスによりユニバー

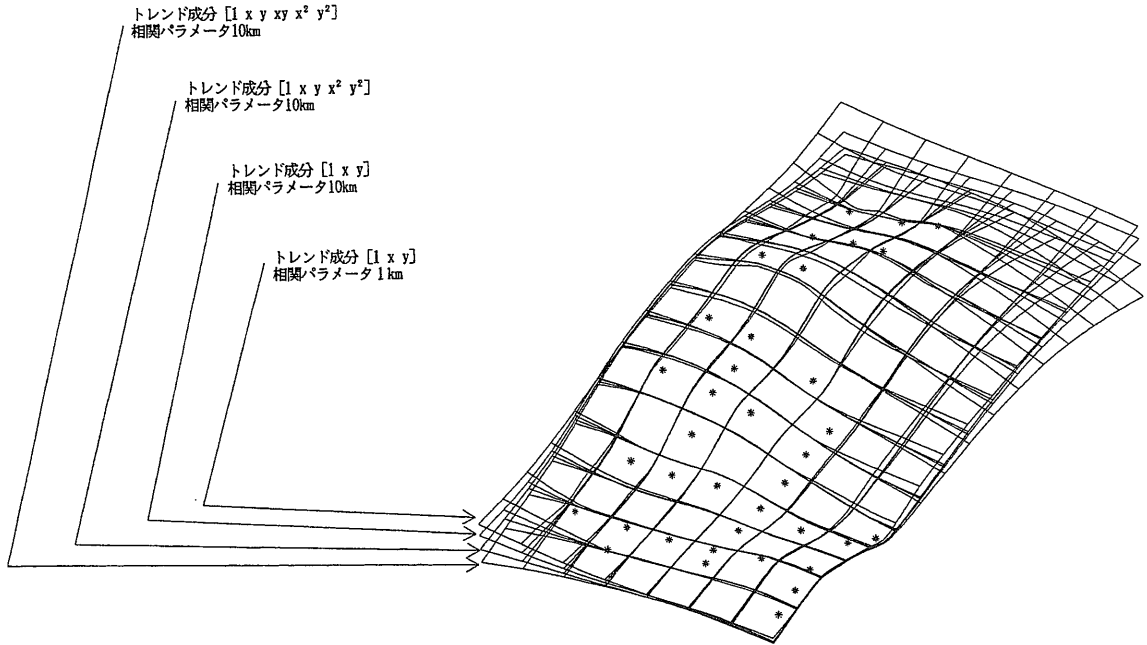
サル・ファイル(米国SDRC社ユニバーサル・ファイル・フォーマットに準拠したデータ)やプログラム・ファイル(I-DEAS言語で記述されたマクロ)に変換され、ソリッド・モデラ内に取り込まれる。境界面推定プログラム、及びソリッド・モデラで行う論理演算の詳細は、後述のとおりである。

### 3. 地層境界面のモデリング

地質インタフェイスは、境界線分ファイルと境界面関係ファイルから中間ファイルを作成する(第1図参照)。この中間ファイルは、断面図単位のデータを地層境界面単位のデータに再編成したファイルである。境界面推定プログラムは、このデータから地質統計学的手法であるクリッキングにより、モデリングに必要な地層境界面を求める(Matheron, 1963; 鈴木誠ほか, 1988; Nishi and Suzuki, 1994)。曲面モデリングにクリッキングを採用した理由としては、内挿および外挿が可能で、トレンド成分(平均値関数)や相関パラメタ(相関距離)により曲面形状をコントロールでき、柔軟性があること、多くの実績があることが挙げられる。第2図はクリッキングにより求めた曲面の例であり、\*印は断面図から得られる既知の座標、メッシュは求められた曲面形状を表す。第2図より、トレンド成分や相関パラメタにより曲面形状が変化することが分かる。特に、第2図の右上部分のように、データの少ない部分および外挿部分では、曲面形状は選択したトレンド成分の次数に左右される。つまり、データの少ない部分をどの様にモデリングするかは、トレンド成分に反映させることになる。したがって、積極的なモデリングという観点からは、トレンド成分として非対称な多項式を選択することや、褶曲構造の場合は、多項式に固執せず、三角関数を導入すること等も有効であると考えられる。

### 4. ソリッド・モデリング

ソリッド・モデリングは、主に機械設計の分野で近年急速に発達した手法であり、製品開発初期段階の概念設計から詳細設計、図面作成といった一連のエンジニアリング業務を支援するCAE(Computer Aided Engineering)ツールの中核を成す3次元形状モデラである。逆に、地質分野では応用例が少な



第2図 クリッキングによる曲面推定.

\*印が既知の座標，メッシュが曲面形状を表す。図は，トレンド成分や相関パラメタが異なる四つの推定結果を比較しており，本手法では，これらのパラメタを積極的に変化させて地層境界面を求める。

い。しかし，可視画像化の観点からみると，ソリッド・モデリングは，地質分野で不可欠の方法である。一般に，ソリッド・モデルは，プリミティブ（円柱，球，立方体等の基本要素），スウィープ（指定した二次元断面の回転，押し出し等による3次元形状）等の立体モデルと自由曲面モデル，それに論理演算（和，差，積等の幾何学的な集合演算）ツールを備えており，それらの組み合わせで複雑な3次元形状を作成する。

地質構造のソリッド・モデルは，地形面およびクリッキングにより求めた地層境界面群をソリッド・モデル内に取り込み，それらの論理演算の組み合わせにより作成する。つまり，ここでの論理演算とは，地形面，断層面，地層境界面で囲まれた空間，言わば，地質ブロックを抽出するための処理である。このような処理が，従来みられることは少なく，困難が多かった。

また，本手法では，地層境界面の断層での不連続性を表現するため，対象領域を断層面，または，その延長でブロック分けし，そのブロック単位でモデリングを行う方式を採用した。したがって，論理演算も以下のような手順となる。

#### (1) 地形モデルの作成

まず，地形面にスプライン曲面をフィットし，第3図に示すような，地質の区別のないソリッド・モデル（地形モデル）を作成する。この地形モデルをベースとし，第4図に示すような断層面群および第5図の地層境界面群との論理演算により，3次元地層モデルが順次作成される。

#### (2) 断層ブロックの作成

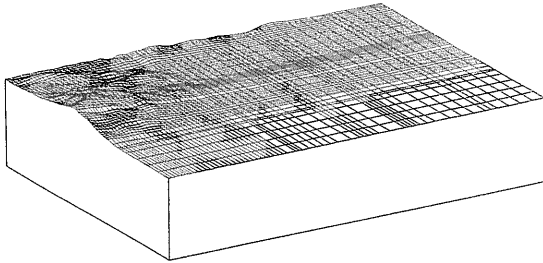
断層面（またはその延長）と地形モデルの論理演算により，地形モデルのブロック分割を行う。第6図は，地形モデルから三つの断層面に囲まれた断層ブロックを抽出する例である。このブロック分割を第4図のすべての断層面を用いて行う。

#### (3) 地層ブロックの作成

各断層ブロックと地層境界面群との論理演算により地層ブロックを作成する。第7図に示す例では，断層ブロックを，水平方向に分布する2枚の地層境界面で分割することにより，薄い地層ブロック（堆積岩層の地質体）を作成している様子を表している。

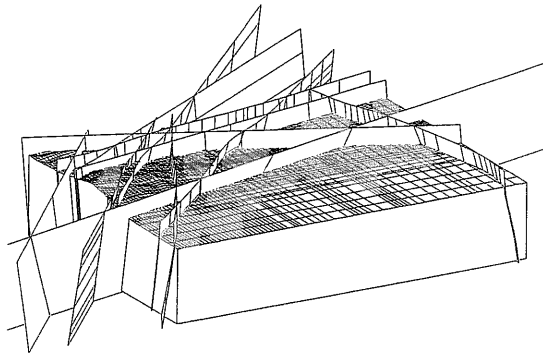
#### (4) 地層グループの作成

地層ブロックは，各断層ブロックごと個々に作成さ



第3図 地形モデル

地層の区別のない均質な地盤モデルである。このソリッド・モデルが、出発点となり各地層のソリッド・モデルが作成される。地表のメッシュは、曲面(地形)を表示するための特徴線であり、入力データの密度を表すものではない。



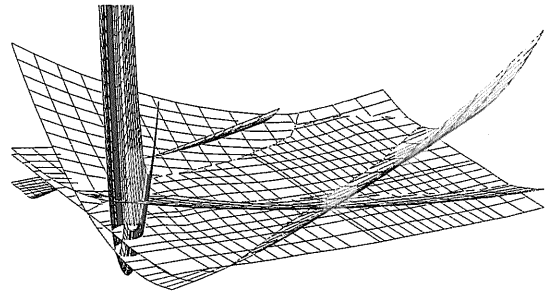
第4図 断層面群。

地形モデルに差し込まれた鉛直方向に分布する曲面が断層面またはその延長である。

れるため、すべて独立である。ここで、同一地質の地層ブロックをグループ編成することで地層グループを作成する。これは、論理演算ではない。第8図は花崗岩の地層ブロック群をグループにした例である。この地層グループの作成を全地質に対して行うことにより最終的な地質構造ソリッド・モデルが完成する。

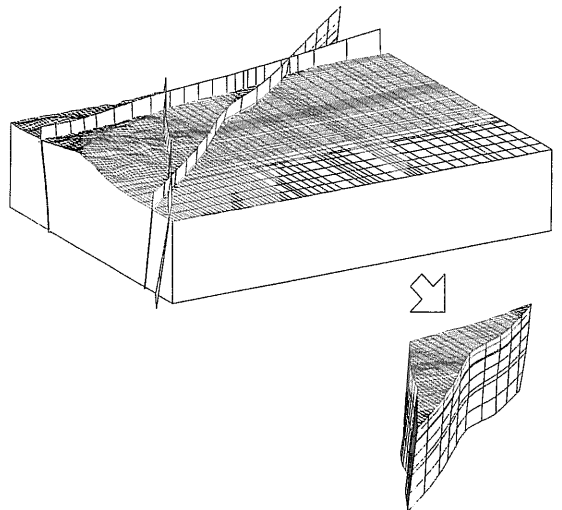
## 5. 深成岩地域の可視化例

口絵1は、数値地図250メッシュ(標高)の「京都及び大阪」を用いて表示した3次元地形図である。深成岩地域の対象としては、図中の一点鎖線で示される六甲山、大阪平野、大阪湾に跨がる東西25km×南北19kmの領域を選んだ。口絵2は、ソリッド・モデルとは別に、詳細な地質平面図データからモデリングしたその部分の表層地質図である。地質学的な



第5図 特徴的な地層層界面。

論理演算に用いる堆積岩層や貫入岩等の様々な形状の地層層界面の同時表示である。



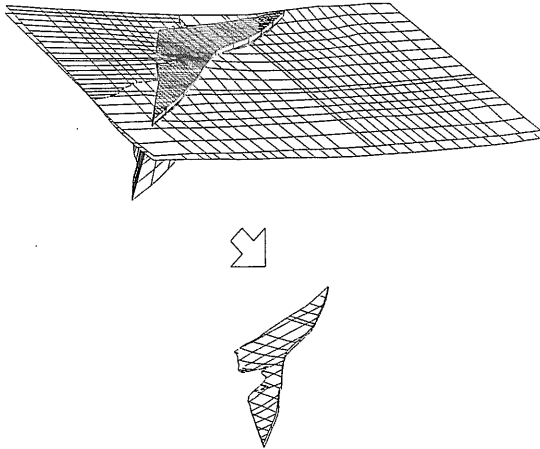
第6図 断層ブロックの作成例。

断層面で地層の不連続性をモデリングするため、地形モデルを断層面またはその延長で分割した断層ブロックを作成する。図は三つの断層面で囲まれたブロックを抽出する例である。

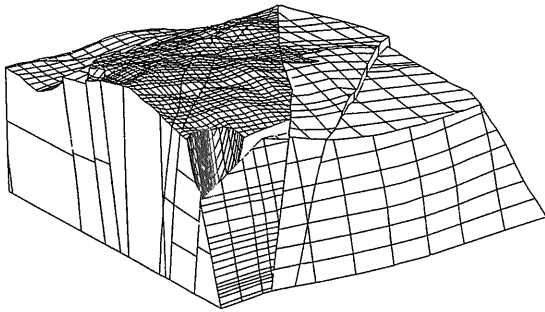
詳細については、迫垣内ほか(1996)、または本号の特集(迫垣内ほか、1996)に別途記載があるので、参照されたい。

口絵3は、入力データとなった東西の11断面、南北の12断面、計23断面の地質断面図である。深度は、EL-5kmまでとした。代表的な地質区分は、六甲花崗岩、領家花崗岩類、有馬層群、神戸層群、丹波層群、大阪層群最下部、大阪層群下部、大阪層群上部、段丘堆積物・沖積層の9種である。

口絵4~7に、作成したソリッド・モデルのコンピュータ・グラフィクス画像を示す。口絵4は、南西の4分の1部分を分割・移動した画像であり、分割面で断



第7図 地層ブロックの作成例。  
断層ブロックから堆積岩層の上下面を用いて地層ブロックを作成する例である。



第8図 地層グループ。  
地質区分が同一である地層ブロックの集合体として地層グループを定義する。

層のズレの様子が確認できる。口絵5は、大阪層群を鉛直方向に分離した表示例であり、それらの分布状況、及び基盤岩類上面の分布を容易に把握できる。これら二つの画像は、ソリッド・モデル特有の表現と言える。また、口絵6、7は、半透明表現による画像であり、口絵6は、領域中央から北西方向に広がる六甲花崗岩の分布、口絵7は、白い曲面で表した断層面の分布を示す画像である。市販ソリッド・モデルを用いてこのような表現を可能にした例は、他にないであろう。

## 6. 火山岩地域の可視化例

火山岩地域としては、口絵8の「秋田」の地形鳥瞰図に一点鎖線で示す秋田駒ヶ岳を中心とする東西

24km×南北19kmの領域を選んだ。口絵9は、別途作成したその部分の表層地質鳥瞰図である。

本地域でも、深成岩地域と同様、東西11断面、南北12断面の地質断面図(深度EL-5kmまで)を入力データとした。地質区分は、基盤岩類、貫入岩類、門前階、台島～西黒沢階下部、台島～西黒沢階中部、台島～西黒沢階上部、女川階、船川階下部、船川階上部、天徳寺階、第四紀層の11種である。口絵10～12に、作成したソリッド・モデルのコンピュータ・グラフィクス画像を示す。口絵10は、北東の4分の1部分を分割・移動した北東方向からの鳥瞰図であり、レンズ状の地層もモデリングされている様子が確認できる。口絵11は、基盤岩類と貫入岩類のみの画像であり、両者の分布状況や断層によるズレがよく分かる。口絵12は、第四紀層を分離・移動して第三紀層の上面の分布状況を表現した画像である。

## 7. おわりに

3次元地質構造の可視化の例として、深成岩地域と火山岩地域のソリッド・モデリングによるコンピュータ・グラフィクス画像を紹介した。ここで示した3次元画像は、実際の画面上では、ハードウェア機能によりダイナミックに視点を変えながら見る事が可能なので、地質構造の3次元的な理解は一層容易になる。

問題点としては、ソリッド・モデル作成プロセスのほとんどがマニュアル・オペレーションであり、ソルバーやプリプロセスに比較して多大な時間を要することが挙げられる。現在は、その合理化を検討中である。また、並行して、ボクセル・モデルによる可視化システムの開発を行っており、地理情報や探査・調査データ等を含めた地下情報の総合的な可視画像化を目指している。これについては、本誌no.501号(1996年5月号)と本号(1996年6月号)の特集に関連記事が掲載されている。その成果についても、いずれ本誌上でご紹介できる機会があると思う。

謝辞：東京理科大学の川井忠彦教授、資源環境技術総合研究所の山口 勉研究調査官、電子技術総合研究所の村木 茂主任研究官、エンジニアリング振興協会の星野一男理事には、地質構造の可視画像化について、ご指導いただきました。また、

三井金属鉱業の迫垣内薫室長補佐，住友金属鉱山の水落幸広担当課長には，地質の専門の立場からの助力を賜りました。厚く感謝申し上げます。

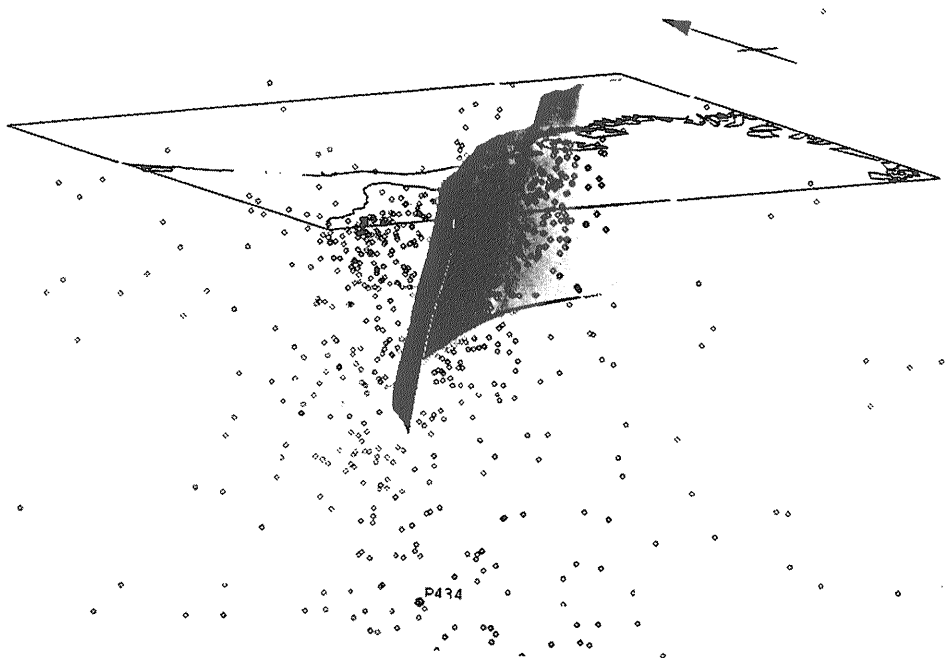
#### 文 献

- Matheron, G. (1963) : Principle of geostatistics, *Economic Geology* 58, 1246-1266.
- 宮島 繁・桜井英行・迫垣内薫・原田芳金・古宇田亮一 (1994) : 標準データファイル形式を使用した地質構造の可視化のためのデータベース。地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用—デジタル時代の地理学・地形学・地質学—, 日本情報地質学会, 87-92.
- Shigeru Miyajima, Hajime Kurasawa, Yoshikane Harada, Ryoichi Kouda (1994) : A Model Architecture of Database System Using CFI Format for the Subsurface Visualization. *Proceedings of 1994 International Association for Mathematical Geology*, Vol.1, 236-241.
- Namba, H., Sakurai, H., Sakogaichi, K., Harada, Y., Shinbo, T., Kouda, R. (1994) : A Geological Analysis and Its Visualization of a Subterranean Structure Using Computer Aided Solid Modeling. *Proceedings of 1994 International Association for Mathematical Geology*, Vol.1, 254-259.
- 日本地図センター (1992) : 数値地図ユーザーズガイド (改訂版). 1-25.

- Nishi, T. and Suzuki, M. (1994) : A 3-D visualization system for geological modeling integrated with a GIS, *Proceedings Seventh International Congress, International Association of Engineering Geology*, 4501-4506, Lisboa, Portugal.
- 迫垣内薫・原田芳金・西村 進 (1996) : 3次元地質構造可視化のための地下断面図。地質ニュース, no.502, 29-35.
- 桜井英行・難波治之・迫垣内薫・原田芳金・古宇田亮一 (1994) : ソリッドモデラを利用した地質構造の可視画像化。資源・素材'94 (大阪), 講演要旨集L, 5-8.
- 桜井英行・難波治之・迫垣内薫・原田芳金・古宇田亮一 (1995) : ソリッド・モデラを用いた三次元地質モデルの作成。情報地質, 6, 2, 73-80.
- 桜井英行・難波治之・原田芳金・古宇田亮一 (1996) : 深成岩地域と火山岩地域の3次元地質構造可視化。資源・素材'96 講演要旨集D, 17-20.
- 鈴木 誠・石井 清・黒田英高 (1988) : 3次元地質構造の推定と画像出力。清水建設研究報告, 第48号, 79-85.
- 樋田吉造・桜井英行・松原正芳・鈴木 誠・黒田英高 (1991) : HLW 地層処分のための画像出力。FAPIG 127, 55-59.

SAKURAI Hideyuki, NAMBA Haruyuki, KOGA Saeko, KOUA Ryoichi, MASUMOTO Shinji and HARADA Yoshikane (1996) : Three dimensional geological visualization of plutonic and volcanic regions with a solid modeler.

<受付: 1996年5月10日>



[付図] 本文の方法で，兵庫県南部地震余震分布(丸点)に重ね合わせた，推定活断層面。平行四辺形部分が地表で南西から鳥瞰視。