



# 広域地下水流動研究における三次元地質構造モデルの構築

太田久仁雄 天野 健治 須山 泰宏  
三枝 博光

東濃地科学センター

資料番号 : 4 - 11

3D Geological Modelling in Regional Hydrogeological Study in the Tono Area

Kunio OTA Kenji AMANO Yasuhiro SUYAMA  
Hiromitsu SAEGUSA  
Tono Geoscience Centre

東濃地域において実施している広域地下水流動研究では、研究の進捗状況や問題点等を適時、効率的に把握するために、地質環境特性のモデル化を取り込んだ、調査・解析・評価からなる一連の研究プロセスを確立させることが必要である。その研究プロセスの確立に向けた第1段階として、広域地下水流動研究の実施領域において地表調査や試錐孔調査等が既に実施された一部の領域を対象に、地質・地質構造のモデル化を行った。その結果、より現実的な三次元地質構造モデルを構築するためには、数学的手法によるモデル化を行うだけでなく、地質学的情報をもとにした専門的判断・解釈を加え、モデルの作成と修正の繰り返しが必要であることが確認できた。また、ある時点における地質・地質構造についての理解の程度やモデルの問題点なども明らかにすることができた。

It is important to establish comprehensive investigation techniques with which geological modelling is integrated, in order to effectively carry on the current regional hydrogeological study in the Tono area. As the first step, construction of the 3D model of sub-surface structure was attempted following field and borehole investigations in a part of the study area. This was aimed mainly at developing appropriate modelling methodologies. Through these modelling studies, a methodology for developing and improving a realistic, well-constrained model was defined. In addition, the most significant application of geological modelling in the regional hydrogeological study was recognised.

キーワード

広域地下水流動研究、地質環境、地質構造モデル、モデル化作業プロセス

Regional Hydrogeological Study, Geological Environment, Conceptual Geological Model, Modelling Process

## 1. はじめに

東濃地域において実施している「広域地下水流動研究」は、広域（約10km四方）における地表から地下深部までの地質・地質構造、地下水の水理及び地球化学的特性を明らかにするために必要な調査・解析技術並びに調査・解析結果の妥当性を評価する手法の開発を目的としている。この広域地下水流動研究を効率的に進めていくためには、調査・解析・評価からなる一連の研究プロセスの繰り返しに、地下深部の地質環境特性（本報告では特に、地質・地質構造、地下水の水理及び地球化学特性をさす）を三次元的に表現する「モデル」を効果的に取り込むことが必要である。こ

れによって、適時、研究の進捗状況や問題点等を把握することが可能となる。

筆者らは、その研究プロセスの確立に向けた第1段階として、広域地下水流動研究の実施領域（以下、研究実施領域）の一部を対象に実際に場を表現するための地質・地質構造のモデル化を試みた。

本報告では、まず、広域地下水流動研究における「地質構造モデル」の必要性について述べ、次に、実際に行った三次元地質構造モデルの構築の一例を紹介する。最後に、そのモデル化を通して得られた、研究プロセスの確立に資する知見等について報告する。

## 2. 広域地下水流動研究における地質構造モデル

### 2.1 地質環境特性に関するモデル化の必要性

広域地下水流動研究が主目的としている技術開発には、個々の調査技術、調査機器の開発・改良とともに、研究対象となる項目の明確化、調査・解析・評価技術の開発が含まれている。さらに、地表から地下深部までの地質・地質構造、地下水の水理及び地球化学的特性を明らかにするための一連の調査技術としての体系化を行うために、これまでに開発した個々の調査技術を実際に適用し、地質学的、水理学的及び地球化学的データを取得することが必要となる。これらの目的を達成するために、広域地下水流動研究では以下に示すような研究プロセスの繰り返しによって調査・研究を実施している<sup>1)</sup>。

既存情報の収集による場・現象の予測（作業仮説の設定）

地表や試錐孔等における各種の調査・試験によるデータの取得

取得データの集約・解釈（場の理解）

その場で生じる現象の解析

新規データによる解析結果の検証

一連の調査・解析手法の妥当性の評価

このプロセスの繰り返しは、これまでに、東濃鉦山において実施された立坑掘削に伴う地下水流動影響調査研究<sup>2)</sup>や、国外における比較的広範囲を対象とした地質環境調査（あるいはサイト特性調査<sup>3), 4)</sup>などの事例からも明らかのように、調査・研究の成果とともに一連の調査技術の信頼性を向上させるためには極めて有効な手法である。このような研究プロセスにより調査・研究を進めていくうえで、地質環境特性に関するモデルを構築し、新たな知見をもとに適宜そのモデルを改良していくことは、特に以下の観点から必要であると考えられる。

ある時点（あるいは研究の節目節目）までに取得したデータを利用することにより、その時点における研究の現状、すなわち、それぞれの地質環境特性についての理解の程度、情報の過不足や不確実性等を明確にすることができる。

ある時点における研究の現状を明確にすることにより、その時点以降において必要とされる調査・研究内容を具体化でき、優先順位の設定や手法の決定など、調査・研究の指針を与えることができる。

さらに、以下に述べるような効果が期待できることから、モデルを一つの有効なツールとして組み込んだ調査・研究の必要性を論じることがで

きる。

各時点でのデータやモデル等の情報を記録しておくことにより、研究全体が時系列的に整理され、同様の調査・研究計画等を効率的に策定するための情報を提供することができる。

多種多様の技術的情報をモデル化し可視化することにより、分野の異なる研究者間における認識の共有化のみならず、専門家以外の人達への情報提供を容易にする。

### 2.2 地質構造モデルの位置付け

広域地下水流動研究において、個々の調査技術を適用し実際に行う調査・研究は、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学の三項目に大別できる（図1<sup>1)</sup>）。したがって、前述の研究プロセスにしたがい、～のそれぞれの研究項目に対応した調査・試験を実施するとともに、取得したデータの集約・解釈を行い、地質環境特性に関するモデル（「地質構造モデル」、「水理地質構造モデル」、「地下水の地球化学モデル」）を構築する。これらのモデルのうち、地質構造モデルは、研究実施領域となる場（地下水流動場）の地質（例えば、堆積岩、花崗岩といった岩相の

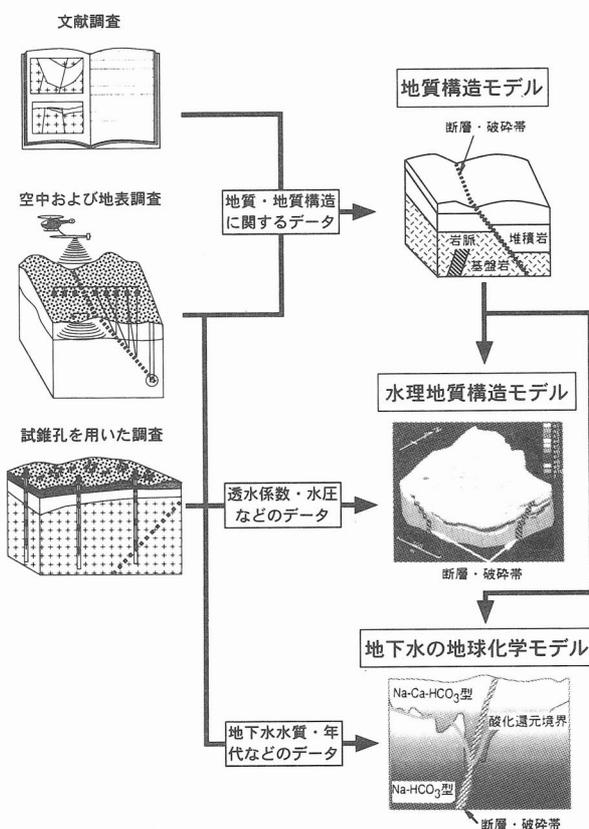


図1 地質環境にかかわるモデルの構築

違い等)をより現実的に表現し、その特性の理解を促進させるものであり、地下水の流動や水質形成などに影響を及ぼす可能性がある地質構造(例えば、3.2に述べる断層の分布等)についても適切に表現するものである。言い換えれば、地質構造モデルは、水理地質構造モデル及び地下水の地球化学モデルの基盤となるものと位置付けられる。

### 3. 小領域を対象とした三次元地質構造モデルの構築

前述のような地質環境特性のモデル化を効果的に取り込んだ体系的な調査・研究手法は、スイス北部地域、エスボ島硬岩研究所(スウェーデン)、エル・ペロカルサイト(スペイン)などにおける広域地質環境調査に既に適用され、その有効性や妥当性等が確認されてきている<sup>4)~6)</sup>。一方、国内においては、地質・地質構造、地下水の水理及び地下水の地球化学のそれぞれに対応する調査・研究にモデルが活用されているものの<sup>2), 7)~9)</sup>、ある領域において、その場(地質・地質構造)とそこで生じる現象(地下水の流動及び水質形成など)を総合的に理解するための一連の調査・研究に、2.1に述べた必要性の観点からモデルが十分に活用された例は非常に少ない。したがって、地質環境特性に関するモデル化手法を開発し、そのモデルを効果的に組み込んだ研究プロセスを確立させることが、広域地下水流動研究において必要不可欠であると考えられる。その第1段階として、ある領域において既に調査・試験データが取得された前提条件の下で実施した、三次元地質構造モデルの構築について以下に述べる。この内容は2.1に述べた～の研究プロセスのうち、に対応するものである。

#### 3.1 モデル化対象領域

広域地下水流動研究の研究実施領域は、図2に示すように、東濃鉾山周辺領域における涵養域(降雨などの流入域)から流出域までを囲む約10km四方の地下水流動場である。今回、三次元地質構造モデルの構築を試みたのは、研究実施領域の西部に位置する東濃地科学センターを中心とする約3.1km×4.1kmの領域である(図2)。この領域の東側境界は稜線、西側境界は研究実施領域の境界、南側境界は既知の断層(月吉断層)及び北側境界は稜線に対応しており、以下の理由から、この範囲をモデル化の対象領域として設定した。

約10km四方の研究実施領域における局所的

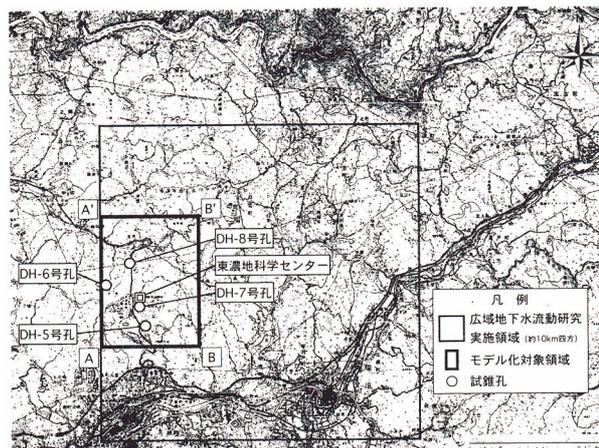


図2 モデル化対象領域

な地下水流動場としてとらえることが可能である。

この領域において深度1,000mまでの試錐孔(DH-5・6・7・8号孔)を用いた調査・試験を行っており、深度方向にもデータが取得されている。

また、深度1,000mまでの試錐孔を用いて地下水流動を把握するための調査・研究を実施していることから、深度約1,000mまでの地下水流動に与える影響を考慮し、地表(標高220~360m)から深度1,720~1,860m(標高-1,500m)までを対象とした。

このモデル化対象領域は、中生層(美濃帯堆積岩類)とそれを貫く後期白亜紀花崗岩体(土岐花崗岩)により基盤が形成され、その基盤が地表に直接露出、あるいは上位の第四紀堆積層(瀬戸層群)に覆われる地質構造をなしている。広域地下水流動研究においては、特に基盤の土岐花崗岩体を主な研究対象としている。

#### 3.2 地質構造モデルの要素

地質構造モデルには地形に加え、層序や異なる岩盤の分布等を現実的に表現する必要がある。さらに、2.2に述べたように、地質構造モデルは地下水の流動や水質形成等に影響を及ぼす可能性がある地質構造についても適切に表現するものである。

そこで、今回のモデル化においては、東濃鉾山周辺領域におけるこれまでの調査・研究<sup>10), 11)</sup>により取得した情報、及び国内外において花崗岩体を対象として実施した原位置試験研究並びに地質環境調査<sup>4)~6), 12)</sup>において得られた知見をもとに、地下水の流動や水質形成等に影響を及ぼす可能性が

ある以下の地質構造を抽出した。

地下深部から表層に達するような地質学的  
(水理学的)不連続構造

不連続構造として、断層、割れ目(帯)、岩脈  
があげられ、これらの不連続構造自体が地下水の  
流動経路となる場合と、これらの不連続構造に沿  
った地下水流動が生じる場合とが考えられる。

岩盤が有する水理学的な不均質性

水理学的な不均質性として、高透水性領域とな  
りうる風化・変質帯及び低透水性領域となりうる  
岩盤のマトリックス部が考えられる。

### 3.3 地質構造モデル化の手順

モデル化対象領域における三次元地質構造モデ  
ルの構築は、以下に述べるような手順で試みた。  
なお、図3には適用したモデル化の手順のフロー  
を示す。

#### (1) 地質構造要素に関する情報の集約

モデル化対象領域における地質構造要素(地質  
構造モデルにおいて表現する必要がある地質・地  
質構造)に関する情報は基本的に、文献調査、  
地表調査、及び試錐孔における調査の結果か  
ら取得し、それぞれの情報を統合化することによ  
り集約・整備した。それと合わせて、集約・整備  
した情報の相互比較を行うことによって、情報の

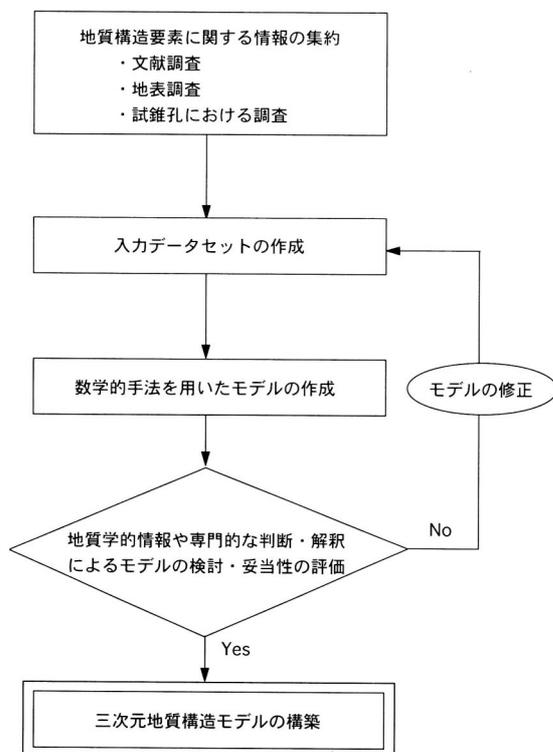


図3 適用した三次元地質構造モデル化の作業プロセス

妥当性を確認した。

#### (2) 入力データセットの作成

それぞれの地質構造要素の分布に関する前述の  
情報は、三次元可視化ソフトウェアへ入力するた  
めに数値情報に変換した。

#### (3) モデルの作成と妥当性の評価

一般的に不規則な形状や広がりをもつ地質構  
造要素をモデル化する場合、情報量の不足に起因  
する不確実性の発生は避けられず、その不確実性  
は情報の不足量に応じて増加することとなる<sup>13)</sup>。  
十分な三次元的分布・量の入力データを与えるこ  
とがその最も有効な対策であると考えられるが、  
現実的には取得できる情報の三次元的分布・量に  
はある程度の制約が生じることは避けられない。

そこで、より確からしい三次元地質構造モデ  
ルを構築するための一つの手法として以下のモデル  
化作業プロセスの適用を試みた。

数学的手法によりデータを補完し三次元地質  
構造モデルを作成する。

構築した初期のモデルについての妥当性の検  
討を行う。

特に調査・試験データ等を直接取得していない  
領域(例えば、試錐孔間)のモデル化について、

既存の地質学的情報や専門的な判断・解釈に  
より地質構造要素の三次元的分布を現実的に推  
定し、モデルを修正する。

この ~ のモデル化作業プロセスをそれぞれ  
の地質構造要素ごとに繰り返すことにより、三次  
元地質構造モデルを構築した。

### 3.4 三次元地質構造モデルの構築

#### (1) 地質構造要素に関する情報の集約

##### 1) 地表における地質・地質構造の情報

地質・地質構造のモデル化においては、その骨  
格となる地表地質図が必要不可欠である。モデル  
化対象領域における地表地質については、既存の  
地質図のうち最も精度が高いと考えられる糸魚川  
による1/25,000地質図<sup>14)</sup>を参照することとした。

また、既存の文献<sup>14)~17)</sup>から、3.2に述べた地下  
深部から表層に達するような地質学的(水理学的)  
不連続構造として、次月断層、月吉断層、定林寺  
湖西岸で観察される北北西走向の断層並びに石英  
斑岩岩脈を抽出した(図4)。これらの断層及び  
岩脈は土岐花崗岩体中に分布し、瀬戸層群によ  
って覆われている。

一方、岩盤の水理学的な不均質性に対応する地質  
構造として、土岐花崗岩体中の風化帯が地表に露出  
していることを確認した。これらの情報の信頼性

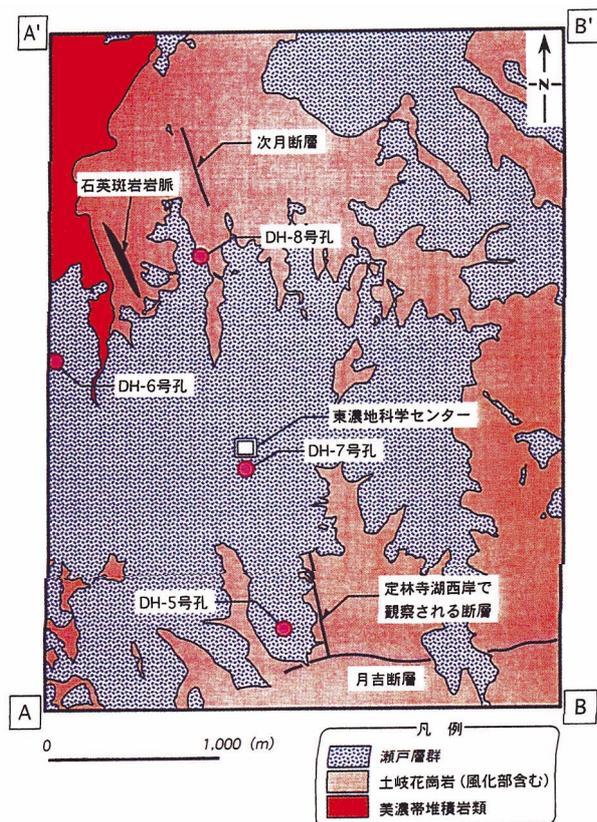


図4 モデル化対象領域における地表地質図

を高めるために、モデル化対象領域において地質調査を行い、抽出した地質・地質構造の分布・位置・方向性に関する情報の確認及び修正を行った。

2) 地表から地下深部にわたる地質・地質構造の情報

地表から地下深部にわたる地質・地質構造についての情報は、モデル化対象領域内に掘削した深度1,000mまでの試錐孔 (DH - 5・6・7・8号孔 :

図4)の岩芯の観察・調査、ボアホールテレビによる試錐孔内の観察及び物理検層の結果<sup>18), 19)</sup>から取得し整理した (図5-1, 5-2)。

モデル化対象領域における層序、特に土岐花崗岩体と美濃帯堆積岩類との不整合面の深度については、DH - 6号孔における調査結果を、土岐花崗岩体と瀬戸層群との不整合面の深度については、DH - 5・7・8号孔における調査結果に加え、既存の調査データ<sup>10)</sup>を用いた。

考慮すべき地質構造要素の一つである断層としては、DH - 5号孔の深度476.3~477.6m (図5-1中のA)、DH - 7号孔の深度122.5~132.5m (図5-2中のB)及び深度394.2~400.6m (図5-2中のC)の3区間を抽出した。これらの区間においては、条線 (岩盤のズレによる筋状のきず跡) が認められる角礫状に破碎された母岩の岩片に、粘土鉱物や細粒の碎屑物等からなる未固結ないし半固結の充填部を伴う岩石組織が観察され、密度・比抵抗・孔径等の物理検層項目に他の割れ目とは異なる変化が認められることから、このような不連続構造は断層であると判断した (表1)。Sibsonの分類<sup>20)</sup>に従えば、前述の岩石組織は、断層角礫及び断層ガウジを伴う断層岩に特徴的に認められるものである。さらに、DH - 6号孔の深度95.8~134.4m及び深度817.3~897.5m、DH - 7号孔の深度179.0~212.0m及び深度607.0~665.9mの4区間においては、北北西ないし北北東走向で土岐花崗岩に貫入する石英斑岩岩脈を確認した。

一方、岩盤の水理学的な不均質性に対応する地質構造としては、各試錐孔から取得した岩芯を用いた岩石学・鉱物学的調査の結果から、風化帯の分布 (深度) を推定した。Fuji<sup>17)</sup>によれば、土岐花崗岩体中の風化帯は褐鉄鉱化で特徴づけられ、

表1 モデル化対象領域において確認された断層の特性

確認された断層	特性	断層の幅	断層の走行・傾斜	断層の変位 (変位量)	断層岩の種類	断層ガウジの主要構成鉱物				参考文献
						Sme	Ser	Chl	Cal	
DH-5号孔 深度476.3~477.6m		約1m	N17W 70W	---	断層ガウジ、断層角礫					11)、18)
DH-7号孔 深度122.5~132.5m		約10m	N83E 64S	---	断層ガウジ、断層角礫					19)
DH-7号孔 深度394.2~400.6m		約1.7m	N23W 75W	---	断層ガウジ、断層角礫					19)
次月断層		約0.2m	N25W 90	逆断層 (約60m)	断層ガウジ					15)
定林寺湖西岸で観察される断層		---	N25~30W90	逆断層 (-)	断層ガウジ					---
月吉断層		約0.2m	N80W 65~75S	逆断層 (約30m)	断層ガウジ、断層角礫					16)

鉱物名: Sme (スメクタイト)、Ser (絹雲母)、Chl (緑泥石)、Cal (方解石)  
 相対量: (多量) (少量) (微量)

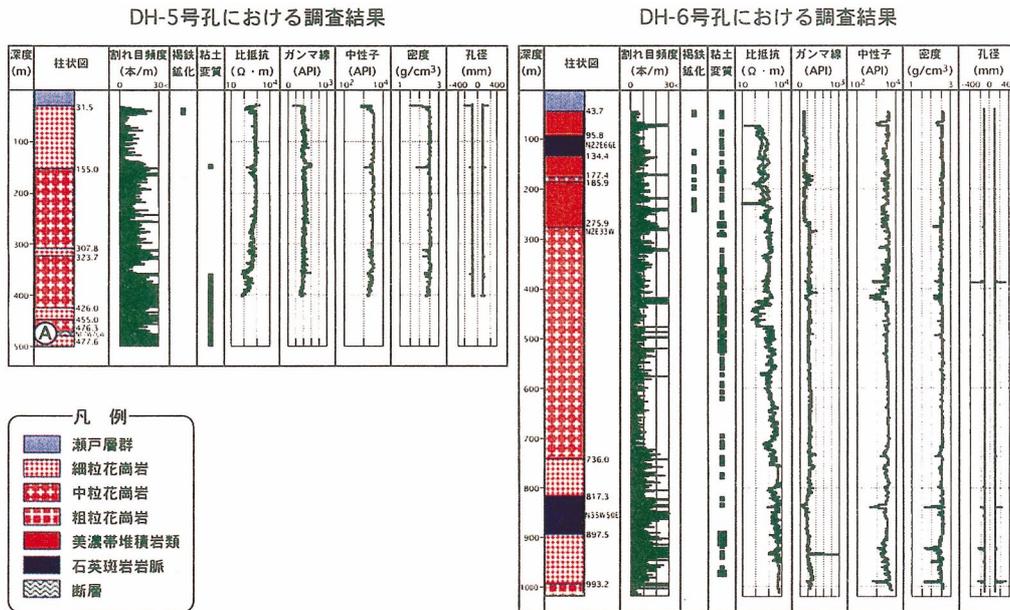


図5 - 1 各試錐孔における岩芯観察・調査及び物理検層結果

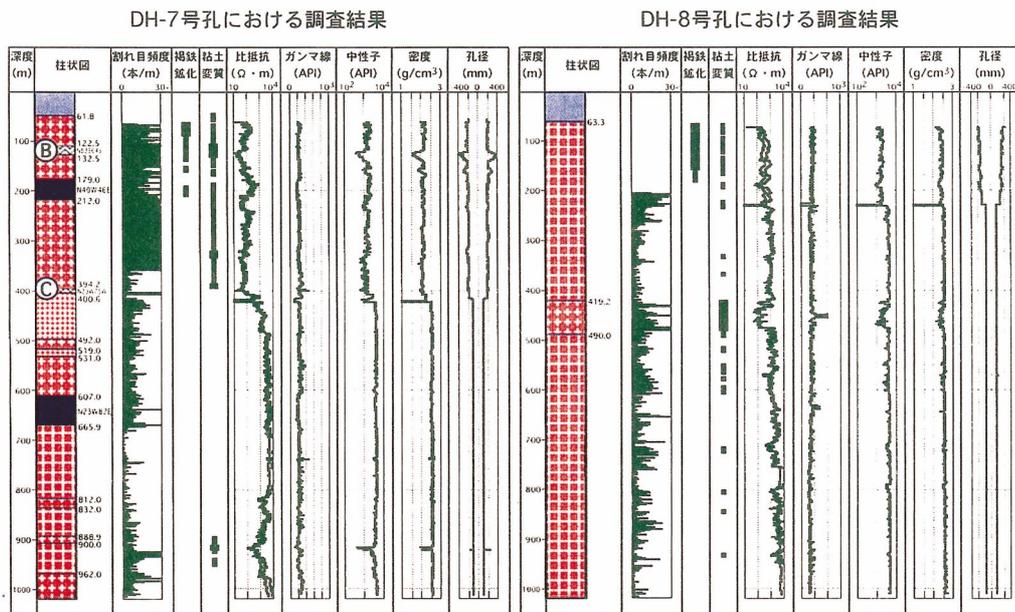


図5 - 2 各試錐孔における岩芯観察・調査及び物理検層結果

土岐花崗岩体上部から数10mの厚さでほぼ水平に分布している。したがって、各試錐孔において褐鉄鉱が確認されなくなる深度を風化帯の下限深度とし、それぞれの試錐孔における風化帯の厚さ(DH - 5号孔 : 41m、DH - 6号孔 : 270m、DH - 7号孔 : 237m、DH - 8号孔 : 220m)は、各試錐孔からモデル化対象領域の境界部に向けてほぼ一定に保たれると仮定した。

以上述べた断層、岩脈、不整合面及び風化帯は比較的良く連続した1枚の面あるいは層として地

質学的にとらえることができるのに対し、割れ目・変質帯の分布並びに岩相の変化は、一般に不規則かつ不均一であることから、2地点間におけるそれらの連続性や空間的分布を現実的に推定することは容易ではないと考えられる。このようなスケールの小さな地質構造要素をモデル化する場合、Thuryほか<sup>4)</sup>がスイス北部地域を対象とした広域地質環境調査における断層のモデル化で指摘したように、そのモデル化は理論的に可能ではあるものの、実際的には作成したモデルの地質学的

妥当性が大きく損なわれる可能性が高い。さらに、前述のような地質構造要素については、文献調査及び地表調査からは情報が取得されておらず、試錐孔における調査の結果（図5-1、5-2）だけを用いて、それらの空間的分布を現実的に把握することは非常に困難である。したがって、今回のモデル化においては割れ目、変質帯及び岩相変化等に関する情報を除外することとした。

(2) 入力データセットの作成

前述の抽出された地質構造要素は地質図上で面または線として表されているため、その任意の点をデジタイザーでトレースすることによって緯度・経度を読み取り、それらを地形の情報（国土地理院の発行する50m間隔の国土数値情報）に加えることにより、それぞれの地質構造要素の地表面における分布を数値情報に変換した。

一方、試錐孔における調査においては、地質構造要素は主に線の分布としてとらえられており、それぞれの地質構造要素の位置情報（緯度・経度・標高）に方向性に関する情報（走向・傾斜）を加えることにより、アーカイブファイル（一元的に整理されたファイル）にまとめた入力データセットを作成した。

(3) モデルの作成と妥当性の評価

ここでは、前述の地質構造要素のうち、特に断層を対象に行ったモデル化の作業プロセスについて説明する。

モデル化対象領域において分布が確認された断層のうち、次月断層、定林寺湖西岸で観察される北北西走向の断層、DH-5号孔の断層（図5-1中のA）及びDH-7号孔の深度394.2～400.6mの断層（図5-2中のC）について、それぞれの位置及び走向・傾斜に関する情報（表1）を入力し、数学的手法のうち特にスプライン補間に基づくミニマム・テンション理論（n次元の多項式を用い、最も滑らかな曲面でデータ間を補間する方法<sup>21)</sup>）を適用してモデル化を行った結果、図6に示すような4つの断層面が表現された。このように断層をモデル化した場合、試錐孔内で実際に断層が認められない区間においても断層が出現することとなり、明らかに試錐孔における調査結果とは矛盾する結果となった。そこで、既存の地質・地質構造に関する情報（表1）を統合すると、いずれの断層も

- 幅・方向性、特に走向が一致している、
- 断層岩の種類・主要構成鉱物などの地質学的特徴が酷似している、
- 断層の幅（T[m]）と変位置（d[m]）との

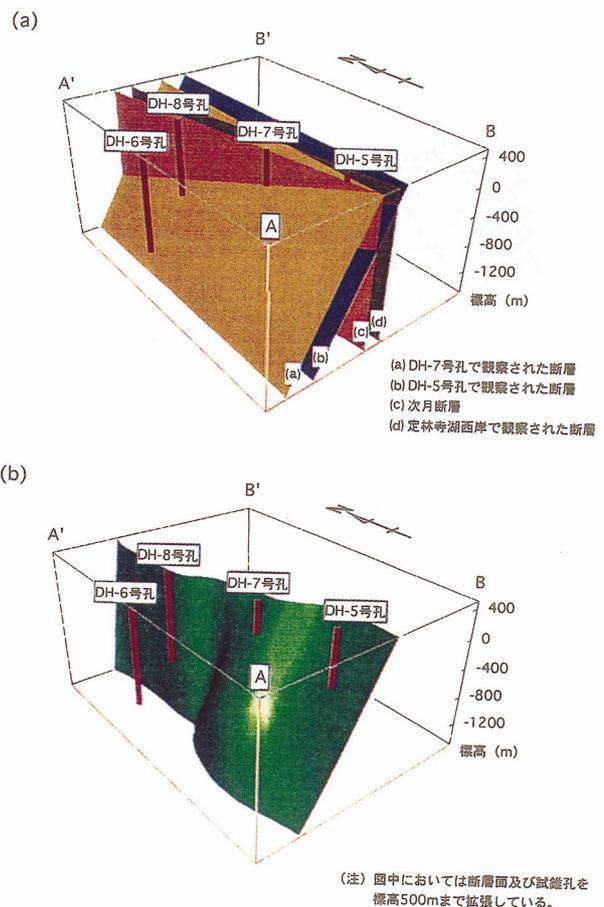


図6 断層のモデル化の例

相関式（ $d = T \cdot 100^{.22}$ ）及び断層の長さ（L [km]）と変位置（d [km]）との相関式（ $d = L^{1.5} / 200$ ）<sup>23)</sup>を適用すれば、断層の規模は数kmオーダーであると推定されることから、前述の断層は1本の連続した面である可能性が高いと地質学的に解釈した。

この結果をうけ、定林寺湖西岸で観察される北北西走向の断層と次月断層は連続し、さらに、DH-5号孔の深度476.3～477.6m及びDH-7号孔の深度394.2～400.6mに達するように入力を行った。また、それらの走向・傾斜は地表とDH-5・7号孔間及びDH-5及び7号孔間において漸移的に変化すると仮定した。一方、DH-8号孔においては断層が認められないことから、DH-8号孔付近の次月断層は地表から地下深部までほぼ鉛直に分布していると解釈した。以上のような地質学的解釈を加えて、モデル化を繰り返すことにより、図6に示すような形状と広がりにより現実的に表現された断層のモデルを構築することができた。

同様に月吉断層及び石英斑岩岩脈についても、それぞれ前述のモデル化作業プロセスを繰り返す

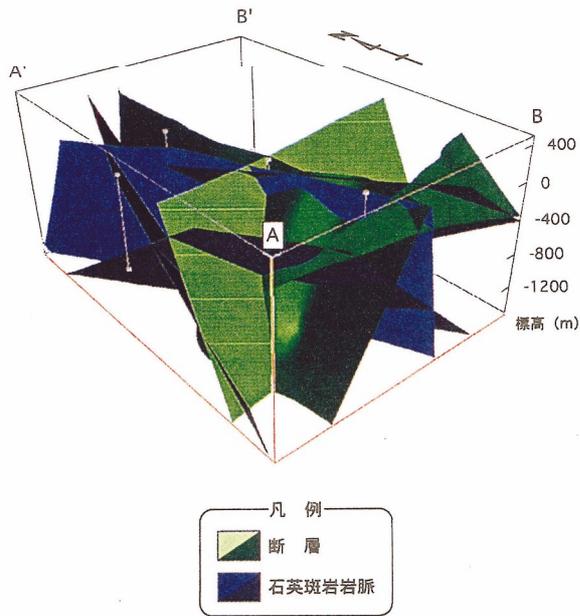


図7 構築した断層・岩脈のモデル

ことによりモデル化を行い、図7に示す断層・岩脈のモデルを作成した。一方、(1)に述べた地形、層序(特に不整合面)並びに土岐花崗岩体中の風化帯についても、それぞれの面をモデル化した。図8には、モデル化の結果(地形面・岩相境界面のモデル)を示す。最終的に、図7及び図8に示した、特定の地質構造要素を表現するモデルを統合することにより、モデル化対象領域における三次元地質構造モデルを構築した(図9)。

### 3.5 考察

以上述べてきた三次元地質構造モデルの構築は、モデル化対象領域において既を取得された調査・試験データを用いて試みたものであり、取得したデータの三次元的分布・量が前述のモデル化に十分であったとは言い難い。しかしながら、このような制約された条件下において、数学的手法によるモデル化を行うだけでなく、その妥当性を検討し、その結果を用いて既存の地質学的情報をもとにした専門的な判断・解釈により、調査・試験データ等を直接取得していない領域の地質構造を現実的に推定してモデルを修正すること、さらに、そのモデル作成と修正を繰り返す作業プロセスを適用することにより、地質・地質構造のモデル化をより効果的に行うことができたといえる。

広域地下水流動研究における研究プロセスにおいては、対象とする領域において地質・地質構造

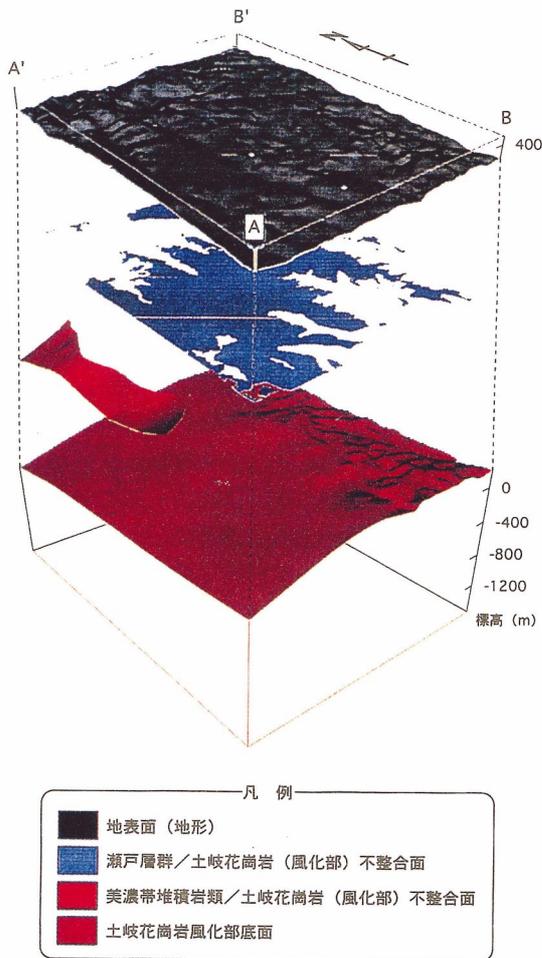


図8 構築した地形面・岩相境界面のモデル

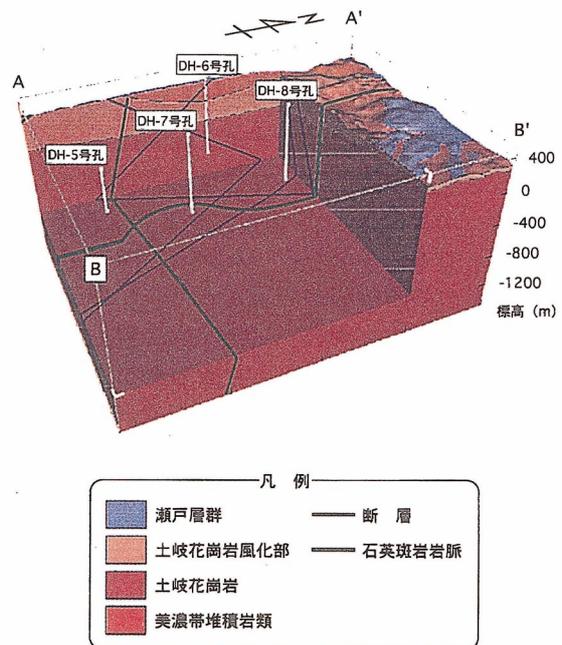


図9 構築した三次元地質構造モデル

を予測（概念化）し、それに基づいて試錐孔における調査を実施することにより、モデル化に必要なデータを合理的に取得することが必要であると考えられる。しかしながら、このように三次元的分布・量を考慮してデータを取得した場合においても、調査・試験データ等を直接取得できない領域は残ることとなるため、その領域の地質・地質構造を推定する作業は不可欠である。したがって、このような場合においても、より現実的なモデルの構築にあたっては、前述のモデル化作業プロセスの適用が必要である。

いずれの場合においても、そのモデル化作業プロセスを適用し、より現実的な地質構造モデルを構築することにより、ある時点における地質・地質構造についての理解の程度やモデルの問題点等を明らかにすることができると考えられる。例えば、図9に示した三次元地質構造モデルについてみると、一般的に調査・試験データ等を直接取得できた領域から離れるにしたがって、データの挿入・外挿に伴うモデルの不確実性が增大すること<sup>5)</sup>から、モデル化対象領域の境界部や北東部等の地質・地質構造の不確実性は大きいと推定される。そこで、モデル化対象領域における地下深部の地質・地質構造についての理解をさらに深めていくためには、今後、それらの領域において地上物理探査や新たな試錐孔を用いた調査・試験等を行うことが必要となる。研究プロセスの確立の観点から重要なことは、このように、その後に必要な調査・試験項目を具体化し、それに基づいて研究を進めていくことであり、そのためには、地質構造モデルの構築と改良を図っていくことが必要不可欠である。

地質・地質構造のモデル化における具体的な作業プロセスやデータの補完・解釈の手法等は、モデル化対象領域の地質・地質構造やスケール、調査・試験データの数量等によって異なると考えられる<sup>6)</sup>。したがって、様々なケースにおけるモデル化をとおして、それぞれの手法について比較・検討するとともに、そのノウハウを蓄積することも必要となる。

今後の課題として、地質・地質構造のモデル化において、不確実性を生じさせた原因（例えば、入力データの精度・密度や補完等）とその程度を明らかにすることがある。さらに、前述のようにモデルの構築と改良を繰り返し行い、不確実性を低減させる手法を確立させることも今後の重要な課題である。

#### 4.まとめ

研究実施領域の一部を対象に地質・地質構造のモデル化を試みた結果、より現実的な三次元地質構造モデルを構築することができ、一連のモデル化にかかわる作業をとおして、一つの有効な作業プロセスを明確にし、広域地下水流動研究の研究プロセスにおけるモデル化の必要性を認識することができた。

最後に、本報告では地質環境特性に関するモデルのうち、特に地質構造モデルについての具体例を紹介してきたが、水理地質構造モデル及び地下水の地球化学モデルについてもモデル化にかかわる一連の作業プロセスを確立させ、そのノウハウを蓄積することも必要である。このような地質環境特性に関するモデル化は、広域地下水流動研究のみならず、現在実施中の超深地層研究所計画の研究プロセスにも効果的に取り込んでいく予定である。

#### 参考文献

- 1) 動燃事業団：“広域地下水流動研究基本計画書”，動燃技術報告書，PNC TN7020 98-001，(1997)。
- 2) 柳澤孝一，今井久 他：“立坑掘削に伴う地下水流動影響調査研究 - 東濃ウラン鉱山試験立坑を例として -”，応用地質，Vol.33，p.276-293，(1992)。
- 3) Nagra：“Synthesis of the Geological Investigations at Wellenberg”，Nagra Bulletin，No.32，(1999)。
- 4) M.Thury, A.Gautschi, et al.：“Geology and Hydrogeology of the Crystalline Basement of Northern Switzerland: Synthesis of Regional Investigations 1981-1993 within the Nagra Radioactive Waste Disposal Programme”，Nagra Technical Report，NTB93-01，(1994)。
- 5) S.A.Tiren, C.I.Voss：“Characterisation of Crystalline Basement Structures Based on Three-dimensional Visualisation of Geoinformation, SKI Site-94 and Follow-up Projects”，Proc. the Third Aspö International Seminar, Oskarshamn, June 10-12 1998, SKB TR-98-10, p.45-55, (1998)。
- 6) M.J.White, C. del Olmo：“The Application of Geological Computer Modelling Systems to the Characterisation and Assessment of Radioactive Waste Repositories”，Proc. the International Conference on Deep Geological Disposal of Radioactive Waste, Canadian Nuclear Society, p.3-235-3-244, (1996)。
- 7) 桜井英行，難波治之 他：“汎用ソリッド・モデル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”，地質ニュース，No.502，p.38-41，(1996)。
- 8) 三枝博光，稲葉秀雄 他：“東濃地域を対象とした広域地下水流動解析”，日本応用地質学会中部支部平成9年度研究発表会講演予稿集，p.1-4，(1997)。
- 9) T.Iwatsuki, H.Yoshida：“Water Chemistry and Mineralogy of Fracture System in the Basement Granite in the Tono Uranium Mine Area, Gifu Prefecture, Central Japan”，Geochem. Jour., Vol.33, p.19-32, (1999)。
- 10) 動燃事業団：“東濃とその周辺地域のウラン資源”，動燃技術報告書，PNC TN7420 95-005，(1995)。
- 11) サイクル機構：“広域地下水流動研究年度報告書（平成9年度）”，サイクル機構技術報告書，JNC TN7400 99-002，(1999)。

- 12) サイクル機構：“釜石原位置試験総括報告書”，サイクル機構技術報告書，JNC TN7410 99-001，(1999)。
- 13) M.Hansen, P.Gravesen：“Geological Modelling”，Distributed Hydrological Modelling (M.B.Abbott and J.C.Refsgaard, eds.)，Kluwer Academic Publishers，Netherlands，p.193～214，(1996)。
- 14) 糸魚川淳二：“瑞浪地域の地質”，瑞浪市化石博物館専報，No.1，p.1～50，(1980)。
- 15) 小林孝男：“岐阜県可児盆地東部の地質とウラン鉱化作用”，鉱山地質，Vol.39，p.79～94，(1989)。
- 16) T.Uemura：“Tectonic Development of the Miocene Sedimentary Basins of East Mino, Central Japan”，Jour. Earth Sci. Nagoya Univ.，Vol.9，p.394～417，(1961)。
- 17) N.Fujii：“Genesis of the Fireclay Deposit in Tajimi-Toki District, Gifu Prefecture, Central Japan”，Geol. Surv. Japan Rept.，No.230，p.1～54，(1968)。
- 18) 島田邦明，池田光喜 他：“東濃地域における広域地下水流動研究 清水掘削技術について(その1)”，日本応用地質学会平成10年度研究発表会講演論文集，p.9～12，(1998)。
- 19) 後藤淳一，太田久仁雄：“東濃地域における広域地下水流動研究 - 土岐花崗岩の地質構造と変質作用 - ”，日本応用地質学会平成10年度研究発表会講演論文集，p.13～16，(1998)。
- 20) R.H.Sibson：“Fault Rocks and Fault Mechanisms”，Jour. Geol. Soc. London，Vol.133，p.191～213，(1977)。
- 21) I.C.Briggs：“Machine Contouring Using Minimum Curvature”，Geophysics，Vol.39，p.39～48，(1974)。
- 22) C.H.Scholz：“Wear and Gouge Formation in Brittle Faulting”，Geology，Vol.15，p.493～495，(1987)。
- 23) P.A.Cowie, C.H.Scholz：“Displacement-Length Scaling Relationship for Faults: Data Synthesis and Discussion”，Jour. Struct. Geol.，Vol.14，p.1149～1156，(1992)。