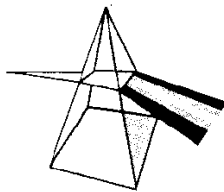


【技術報告】

東濃地域を対象とした広域地下水流動研究の現状



尾方 伸久 太田久仁雄 濱 克宏
坪田 浩二

東濃地科学センター

資料番号：1-4

Regional Hydrogeological Study in the Tono Area

Nobuhisa OGATA Kunio OTA Katsuhiro HAMA
Kouji TSUBOTA
Tono Geoscience Center

広域地下水流動研究は、岐阜県東濃地域において平成4年度から地層科学研究の一環として実施してきている。本研究の目的は地下水流動の把握であるが、そのために必要な、地質・地質構造、地下水の地球化学等の研究も含む包括的な調査となっている。

したがって本研究は、①地表から地下深部までの地質・地質構造、地下水流動と地下水の地球化学的特性の把握、②地質構造概念モデル、水理地質構造モデル、地下水の地球化学モデルの構築、③地質・地質構造、地下水流動及び地下水の地球化学的特性を調査・解析・評価する技術の開発、という項目からなる。

本報告では、これまでに得られた成果について、その概要を示す。

Regional hydrogeological studies have been carried out since fiscal 1992 to determine the regional groundwater flow in the Tono area of Japan.

The following items have been investigated :

- ① *Understanding the geological structure, groundwater flow and groundwater chemistry of the deep geological environment in the Tono area.*
- ② *Constructing conceptual models of the geological structure, groundwater flow and groundwater chemistry.*
- ③ *Developing appropriate techniques to investigate the geological structure, groundwater flow and groundwater chemistry of the deep geological environment.*

This report presents the results of the last six years of the study in the Tono area.

キーワード

広域地下水流動研究、地質構造、地下水流動、地下水の地球化学、地質環境

Regional Hydrogeological Study, Geological Structure, Groundwater Flow, Groundwater Chemistry Geological Environment

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構とする）東濃地科学センターでは、平成4年度から広域地下水流動研究を、地層処分研究開発の基盤となる「地層科学研究」の一環として実施してきている。

本報告では、広域地下水流動研究の概要と東濃鉾山周辺で、これまでに得られた地質学的、水理学的、地球化学的研究の成果の概要について述べる。

2. 広域地下水流動研究の概要

2.1 研究の目的

本研究は、広域（ここでは地下水流動に関係す

る涵養域から流出域を含む数km四方以上の領域を指す、以下、調査解析領域）における地表から地下深部までの地質・地質構造、地下水の水理や水質等を明らかにするために必要な、調査・解析並びに調査・解析結果の妥当性を評価するための技術の開発を目的とする。

2.2 研究の進め方

本研究での技術開発には、個々の調査技術、調査機器の開発・改良とともに、研究対象項目の明確化、調査・解析・評価技術の開発を含む。さらに、上記の技術開発には、調査によるデータの取

得が必要となるため、これまでに開発された要素技術を適用し、地下水の水理に関する調査のみならず、地下水流動の場となる地質・地質構造に関する調査及び地下水の地球化学的調査を行い、地表から地下深部までの地質・地質構造、地下水の水理や水質等を明らかにし、一連の調査技術としての体系化を行う。ある領域における地下水流動を把握する上で重要な岩盤の性質として、「岩盤の地質学的・水理学的不均質性」が考えられる。「岩盤の地質学的・水理学的不均質性」をもたらす要素としては、①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（例えば、割れ目帯、断層、岩脈等）、②岩盤が有する水理学的な不均質性（例えば、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マトリックス部等）が相当すると考えられる。さらに、本研究は広域を対象とすることから、これらの研究対象項目の規模もそれに合致するような大きなスケールの地質構造の把握が重要な研究対象となると考えられる。また、本研究では亀裂性岩盤が主な研究対象となるため、亀裂性岩盤を対象とした地下水流動調査・解析手法の検討も必要となる。

研究の手順としては、地質・地質構造の観点から、地表地質図や試錐孔を用いた調査から作成した地質断面図等をもとに、①、②を抽出あるいは推定し、調査解析領域において認められる地質構造を概念的に表現し、「地質構造概念モデル」を構築する。次に、岩盤の水理学的な性質に関する調査・試験の成果を踏まえて、「地質構造概念モデル」に岩盤の透水性等の水理学的情報を与えて「水理地質構造モデル」を構築する。この「水理地質構造モデル」を基に「地下水流動解析」を実施し、調査解析領域内の地下水流動を推定する。さらに、地下水の水質の分布、起源、年代等に関する調査・試験の成果及び、地質・地質構造、地下水の水理に関する研究から得られる情報をもとにして構築した「地下水の地球化学モデル」を用いて、「地球化学解析」を実施し地下水の水質の分布を推定する。各モデルの構築フローは、2.5(3)に示す。

「地下水流動解析」で得られた推定結果（地下水の流向・流速等）を、地下水の流動経路沿いの岩石の種類等による水質形成機構、滞留時間等の情報を含む「地球化学解析」の結果及び、試錐孔を用いて長期的に地下水の水圧、水質の変化を観測した「地下水に関する長期観測データ」等と比較することにより、一連の調査・解析手法の「妥当性の評価」を行う。

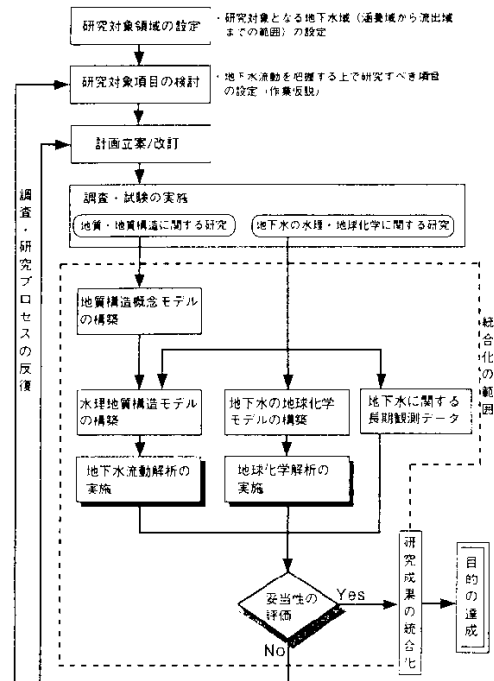


図1 広域地下水流動研究の進め方

評価の基準は、国内外の先行事例や専門家の意見等を基に設定し、実際に解析に利用できたデータの質や量、関連分野の学問的・技術的進歩及び本研究の反映先のニーズ等を勘案して、基準を最適化していく。

ここで、調査・解析技術の妥当性が不十分と評価された場合は、上記の調査・研究プロセスを繰り返す。具体的には推定された結果が、所期の基準を満たしていない場合、解析に用いた入力データ及びモデルを吟味し、調査・解析上の不備の有無を確認する。この結果をもとに、入力データ及びモデルの再検討を行い、さらに必要に応じ追加調査を実施し、不足している情報を補う（図1）。このようなプロセスの繰り返しによって「妥当性の評価」を行い、設定された研究対象項目の正当性、かつ十分であることを確認し、各研究項目に関する調査技術の有効性を評価する。

さらに、モデル化・解析・評価にいたる一連の「研究成果の統合化」を行い、広域の地下水流動を把握する上で必要な調査・解析・評価技術を体系化する（図1）。

2.3 東濃鉱山周辺の地質概要とこれまでの調査

岐阜県土岐市の東濃鉱山周辺の地質は、中・古生層、濃飛流紋岩、花崗岩類が基盤として分布し、これらを新第三紀中新世の堆積岩（瑞浪層群）及

び新第三紀鮮新世から第四紀更新世にかけての未固結砂礫層（瀬戸層群）が覆っている。

本地域は、1964年（昭和39）の月吉ウラン鉱床の発見以来、新第三紀堆積岩を対象に、約20年間、試錐孔の掘削とそれに引き続く各種調査が実施され、新第三紀堆積岩の地質構造や基盤花崗岩との不整合面の形状等が詳細に調査されている。また、昭和61年度から地層科学研究の一環として実施されている研究において、本地域における未固結砂礫層、新第三紀堆積岩及び基盤花崗岩（不整合近傍）の地下水の水質や年代が測定されている¹⁾。さらに、平成元年度からの東濃鉱山第2立坑掘削影響試験においては、その近傍の領域で地表から地下深部までの、地下水の流れを明らかにするための調査手法及び解析手法（有限要素法による三次元飽和-不飽和浸透流解析法）の適用性を検討した²⁾。次に、東濃鉱山周辺における地下水の流動系を概略的に把握するため、これまでの調査結果及び一般的な知見（地下水の流れは、地形や地質・地質構造及び河川等に支配されると考えられる）から、事前の地下水流動解析を実施した。具体的には、上岐市、瑞浪市周辺の尾根部、及び十岐川、日吉川等の河川を境界とした約8 km×7 km程度の領域を例として解析した³⁾。

2.4 研究対象領域の設定

2.3に示したこれまでの研究では、地下水流動解析を実施する領域の内側に着目して調査研究を行ってきたが、局所的な地下水の流れは、その周囲の大局的な地下水の流れと何らかの関係を持っているものと考えられる。したがって、一つの地下水流動系をより詳細に把握するためには、その周囲の大局的な地下水の流れの中での位置づけを明らかにしておく必要がある。そこで、この観点から東濃鉱山周辺地下水流動を再検討することにした。

一般的に地下水は、標高の高い所から低い所へ流れるが、流路上に存在する断層等の地質構造が、その地下水の流向や流速に影響を与えることから東濃地域の地形や断層に関する文献等の調査をした。その結果、本地域においては、図2に示す約30km四方の領域が河川や屏風山断層、華立断層、赤河断層、及び白川断層の延長部によって区切られ、これらが東濃地域の大局的な地下水流動場を決定していると考えられる。

本研究が主に地下水流動を対象とすることから、調査解析領域は、地下水の涵養域から流出域という一つの地下水流動場を含む必要がある。東濃鉱山周辺での分水界（涵養域）や主要河川（流

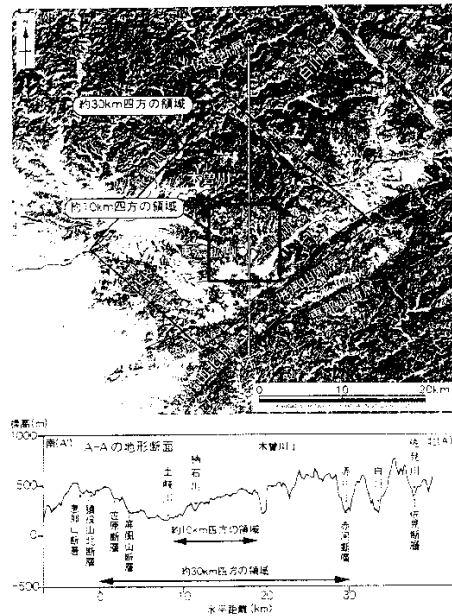


図2 研究領域

出域)の位置を検討した結果、この領域として図2に示す約10km四方の領域が想定された。そのため、この領域の地質学的、水理学的位置づけを確認するため、図2に示す約30km四方の領域を対象とした地下水流動解析を行った⁴⁾。その結果、図3に示す東濃鉱山周辺を囲んだ領域の北部が涵



図3 地下水流動解析より求められた広域地下水流動研究の調査・解析対象領域

養域（降雨等の流入域）となり、領域の南部（上岐川）が流出域となっている解析結果が得られた。これから、東濃鉱山周辺領域は、地下水の主要な流動系であることが明らかとなった⁹⁾。そのため、これらの結果を基に検討し、図3に示す一つの主要な流動系を囲む約10km四方程度の範囲を広域地下水流動研究領域として設定した。なお、調査解析領域は、調査研究の進展に伴って得られる新たな知見に基づき、適宜見直しを行う。

2.5 研究内容

地下水流動を規定しているのは、流動の場となる地形、地質・地質構造や地下水の水圧分布等である。また、地下水の水質は、その流動経路沿いの岩石の鉱物組成や化学組成等と関係している。このため、本研究を以下の構成としている。

- ① 地質・地質構造に関する研究
 - ② 地下水の水力・地球化学に関する研究
 - ③ 研究成果の統合化
- さらに、両研究分野の成果を統合して、対象となる地質環境を包括的に理解するため、

(1) 地質構造に関する研究

地質・地質構造に関する研究では、地下水の主要流動経路の特定や水質形成機構の解明等の観点から、水みちとなりうる断層や割れ目帯等の位置、連続性、性状を把握する。

本研究では、まず、2.4で設定した約30km四方の領域における概略的な地質・地質構造の把握を目的とした文献調査、空中写真判読、及び空中物理探査を実施する。次に、約10km四方の領域において、地表踏査による地質・地質構造の規模や性状の把握、地質・地質構造を詳細に把握するための空中物理探査、地上物理探査、地表踏査、及び試錐調査を実施する。

(2) 地下水の水力・地球化学に関する研究

地下水の水力に関する研究では、地下深部における地下水の水圧分布、岩盤の水力学的性質、及び地下水の主要な流動経路、あるいは逆に遮水壁的な働きを考えると考えられる断層や割れ目帯の水力学的性質を把握する。また、地下水の地球化学に関する研究では、地下深部の地下水の地球化学データの取得が重要であり、さらに地下水の水質形成機構の解明のため、地下水の地球化学的性質を、地質・地質構造及び地下水の流動方向に関する情報と合わせて把握する。

本研究では、岩盤及び存在が確認された断層・破砕帯等の水力学的性質、並びにその場に存在す

る地下水の地球化学的性質の把握、及び解析時の境界条件や初期条件を設定するための試錐孔を利用した水力・採水試験、地表における水収支観測や河川水の水質調査等を実施する。

(3) 研究成果の統合化

1) モデルの構築

各モデルの構築概念を図4及び以下に示す。

① 地質構造概念モデル

地表及び空中からの調査・試験の結果から、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（例えば、割れ目帯、断層、岩脈等）及び、表層・基盤岩類が有する岩相変化、風化・変質帯、割れ目帯等を、本研究が広域を対象とすることから、規模もそれに合致するような大きなスケールの地質構造としてとらえ、地質構造概念モデルを構築する。

② 水理地質構造モデル

地質・地質構造に関する研究で明らかになった岩盤及び存在が確認された断層・破砕帯、風化・変質帯、割れ目帯等の水力学的特性及び岩盤が有する水力学的な不均質性（例えば、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マトリックス部等）を、試錐孔を用いた水力調査により明らかにし、地質構造

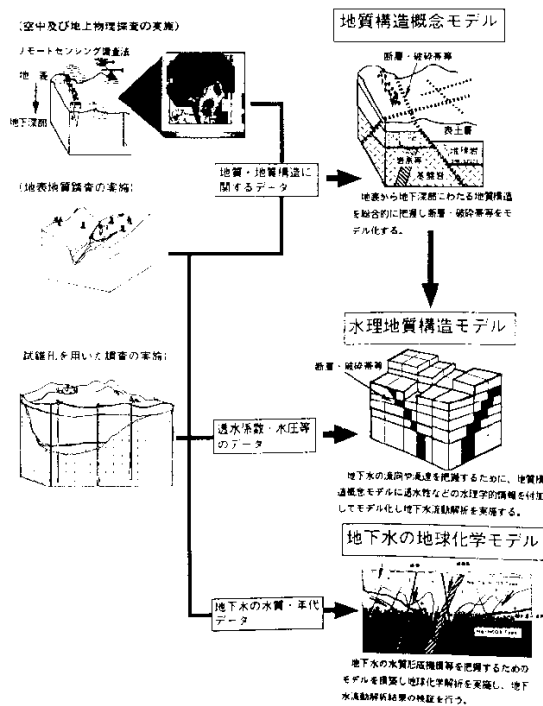


図4 各モデルの構築概念

概念モデルに透水性等の水理学的情報を与え、水理地質構造モデルを構築する。

③ 地下水の地球化学モデル

試錐孔を用いた地球化学的調査によって得られた地下水の溶存化学成分濃度の分布、酸化還元境界、地下水の年代等に、地質・地質構造、地下水の水理に関する研究から得られる情報（地下水の流動方向と、それを規制する地質構造等）を取り入れて地下水の地球化学モデルを構築する。

2) 地下水流動解析

構築した水理地質構造モデルを用いて、地下水流動解析（解析コード：三次元飽和不飽和浸透流解析コード（TAGSAC））、及び地球化学解析を実施し、調査解析領域の地下水流動、及び地下水の水質の分布を推定する。

3) 評価

(3)の2) で得られた結果を、事前に設定した評価方法及び評価基準に照合して解析結果及び、一連の調査手法の妥当性を評価する。

2.6 本研究で用いる調査技術

本研究では、サイクル機構がこれまで開発してきた調査機器を含め、現有の調査技術を適用する。適用された調査技術の実績（データの精度、調査機器の信頼性等）を評価することにより、調査機器あるいはデータ解析技術の改良を研究と並行して進める。さらに、個々の調査技術の組み合わせについて検討し、調査技術の体系化を図る。

また、研究の過程で遭遇する新たな技術的課題については、その解決に向けた技術開発を実施し、その成果を本研究に反映するとともに、必要に応じて開発を継続していく⁵⁾。

3. 広域地下水流動研究のこれまでの成果

広域地下水流動研究は、開始から5年を経て、主に花崗岩を対象とした深度500mまでの地質学的、水理学的、地球化学的データが取得されるとともに、深度1,000mまでの地質環境の調査に必要な手法や要素技術が整備された。また、岩盤の性状や透水性、及び岩石と地下水の水質との関係についての成果を得た。これまでの結果と現在実施中の地質踏査、物理探査、深度1,000m程度の試錐孔を用いた調査の成果等は、水理地質構造モデルの構築、及び地下水流動解析における境界条件や初期条件の設定、さらに解析結果の検証等に用いる計画である。

これまでの広域地下水流動研究で得られた表層

から地下深部までの地質・地質構造、地下水の水理と地球化学的性質に関する成果は、以下のとおりである。

3.1 地質・地質構造の把握

東濃鉱山周辺の概略的な地質・地質構造（上岐花崗岩体の分布等）を把握する目的で、図2に示す約30km四方の領域内を対象に、航空機を用いた空中物理探査（磁気探査）を実施した。

また、約10km四方の領域内においては、地表地質踏査、試錐調査、ヘリコプターを用いた空中物理探査、電磁法による地上物理探査を実施中である。

(1) 空中磁気探査

約30km四方の領域を対象に実施した空中磁気探査の結果では、本地域の磁気異常分布は変化に乏しく、本地域に分布する岩石の磁化率が全体的に低いことが明らかとなった。これは、一般に見られる磁性の高い基盤が深部に分布するという磁気基盤構造を本地域は呈していないことを示す。また、上記の調査結果は、全国磁気図⁶⁾に示されている天竜川や木曽川の流域等には顕著な磁気異常がなく、本領域の近傍に位置する領家帯の花崗岩類や濃飛流紋岩類の磁化率が低いことと一致している⁶⁾。

次に、上記結果を基に、堆積岩（強磁性：上盤）と花崗岩（弱磁性：下盤）の2層を仮定し（境界面の平均深度は、磁気データのスペクトル解析結果から0.7kmとした）、三次元モデル解析を実施した。その結果、花崗岩類が分布する南東部や東部及び、中・古生層が分布する北西部で境界面の標高が高いことが明らかとなった（図5）。また、約10km四方の領域内での堆積岩と花崗岩の境界面の標高は、上岐花崗岩が分布する南西部（東濃

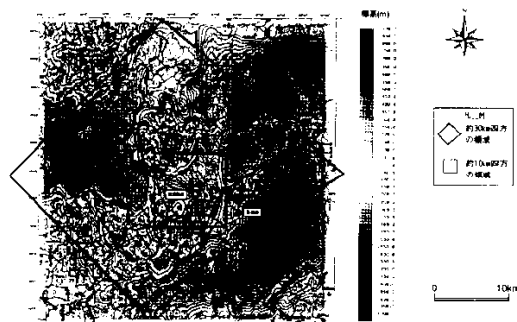


図5 空中磁気探査結果（2層構造解析）による境界面等高線図

鉾山南方)、北西部及び東部で高く、瀬戸層群及び瑞浪層群が分布する南部(土岐川沿い)から中央部で低い結果が得られた。この境界面の標高分布は、地表の地質分布と一致し、標高の高い部分で土岐花崗岩体が地表に露出していることに対応している。

(2) 地表地質踏査

土岐花崗岩体を対象とした地質学的調査の結果、土岐花崗岩体の岩相(粒度や組織)は水平的に著しく変化し、極めて不均質であることが明らかになった(図6)。しかしながら、約10km四方の領域内に分布する土岐花崗岩体の一般的な特徴としては、岩体縁部では細粒花崗岩の特徴を示し、岩体中央部に向かうにつれて粗粒花崗岩の特徴を示す。これは、土岐花崗岩体の貫入時において、美濃帯堆積岩類(中・古生層)との境界近くで急冷され細粒化したものと考えられる。また、露頭割れ目調査の結果から、領域全体では北北西方向と北東方向の急傾斜割れ目が卓越し、領域内のリニアメント(空中写真上あるいはリモートセンシング映像上で識別され、地(形)図上に標示できる線状の構造)の方向と、ほぼ一致することが分かった。

(3) 電磁法地上物理探査

約10km四方の領域内の地質構造を明らかにす

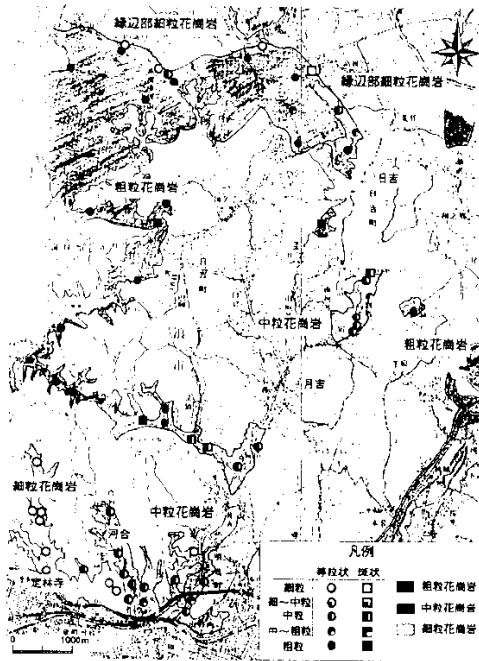


図6 地表地質踏査による土岐花崗岩体の粒度分布

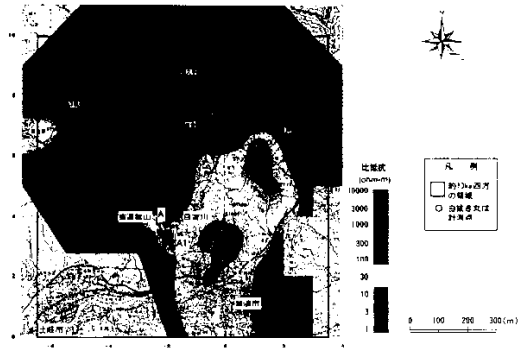


図7 地上電磁探査法による海拔200mレベルの比抵抗平面図

るために、CSMT法(Controlled Source Magneto-Telluric)を用いた地上物理探査を実施した。通常のMT法は、自然界に存在する電磁場信号(地磁気の変動)を用いて地下の構造を調査するが、自然界の信号のみでは良質なデータの取得が難しい場合がある。そのため、本調査では、自然と人工の信号源を併用することにより、地下深部の構造を把握した。

現在、調査予定点数の約半分の計測が終了した段階であるが、結果を図7(海拔200mの比抵抗平面図)と図7中に示したA-A1断面(正馬様用地内)を図8に示す。図7の結果では、暖色系が低比抵抗を示し堆積岩に対比され、寒色系が高比抵抗を示し土岐花崗岩に対比される。また、日吉川から東濃鉾山に向かう低比抵抗域の伸びが認められ、これは基盤花崗岩上面のチャンネル構造(古河川)を表していると推定される。次に、図8の断面図の結果では、緑色~紺色部が高比抵抗で、既存の試錐孔データ等と比較すると、基盤花崗岩に対比される。また、上部の暖色系の堆積岩相当部が、南から北へ厚くなっている傾向も既存の試

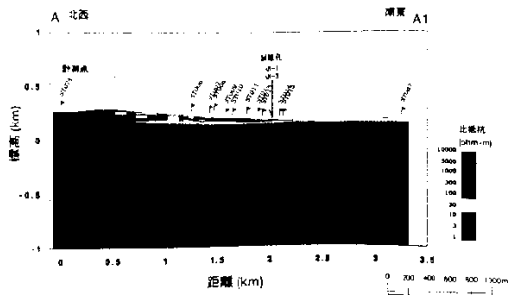


図8 地上電磁探査法による比抵抗断面図

錐孔データと一致する。基盤花崗岩部で、下部よりも比抵抗の低下が認められる部分は、花崗岩上部の風化帯もしくは割れ目が発達する部分と考えられる。

3.2 岩盤の水理学的性質の把握

(1) 表層水理調査

本調査では、東濃鉾山周辺に設置した表層水理定数長期観測システム（気象観測装置、河川流量観測装置等）を用いて、地下水流動解析等に必要となる上部境界条件（涵養量）の把握調査を実施中である。また、表流水の水質調査、浅層試錐孔を用いた調査により、表層部の地下水流動を把握する。

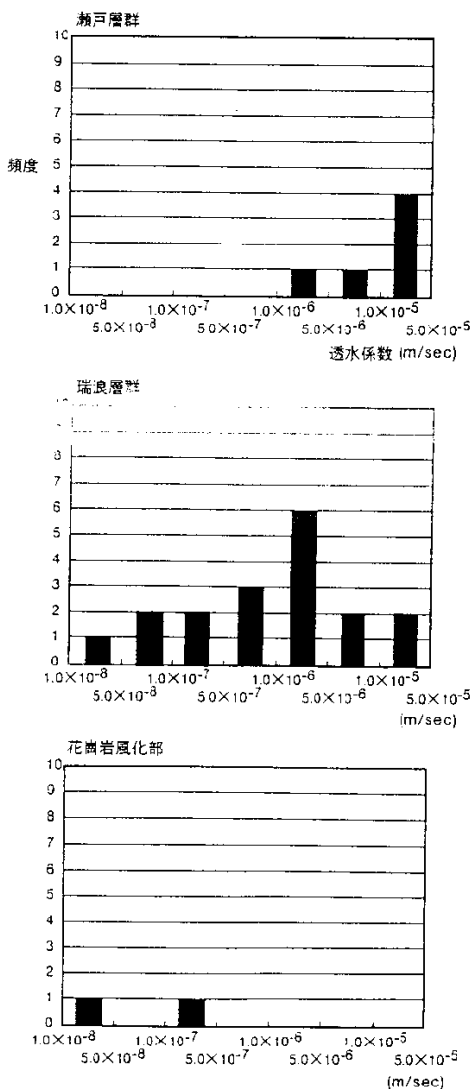


図9 浅層試錐調査による表層部の水理特性

1) 地下水涵養量

東濃鉾山周辺の表層水理定数観測システムによる1990年から1994年までの5年間の観測結果から、新第三紀の堆積岩を未固結砂礫層が被覆する地質条件下における地下水涵養量として、1日当たり平均0.94mm（観測流域の上流側）及び0.19mm（観測流域全流域）が得られた。上流側観測域の地下水涵養量が流域全体の約5倍の値を示すことから、上流側観測域は涵養域と考えられる⁷⁾。

2) 表層水の水質と地質との関係

湯水期における河川水の調査（流出高、電気伝導度、水質）により、表層の未固結砂礫層は高い貯留性を有し、表層部から河川への地下水流出の大半が未固結砂礫層からであることが分かった。

また、河川水の水質調査の結果、流域に分布する表層地質の違いにより、河川水の溶存成分が異なることが分かった⁸⁾。

3) 浅層試錐孔を用いた表層水理調査

東濃鉾山周辺において、表層地質の分布が異なる地域を対象に、浅層試錐孔（深度30～50m）を掘削し、表層部の地質構造、水理特性（透水係数等）及び水質等を把握した。

水理試験の結果からは、瀬戸層群で $3 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 、瑞浪層群で $3 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-5} \text{m/s}$ の透水係数、浅部花崗岩の風化部で $5 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ の透水係数を示し、表層部の各岩相の透水係数が明らかとなった（図9）。また、水質分析の結果からは、花崗岩風化部の地下水は Na-HCO_3 型を示し、瑞浪層群中の地下水は花崗岩中よりも溶存成分に富み、 Ca-HCO_3 型を示すことが明らかとなった（図10）。

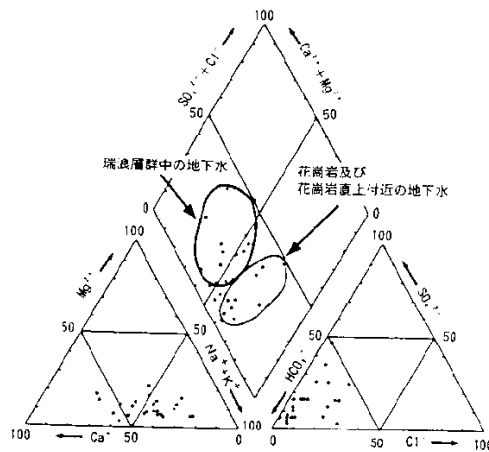


図10 トリリニアダイアグラムによる表層地下水の水質組成図

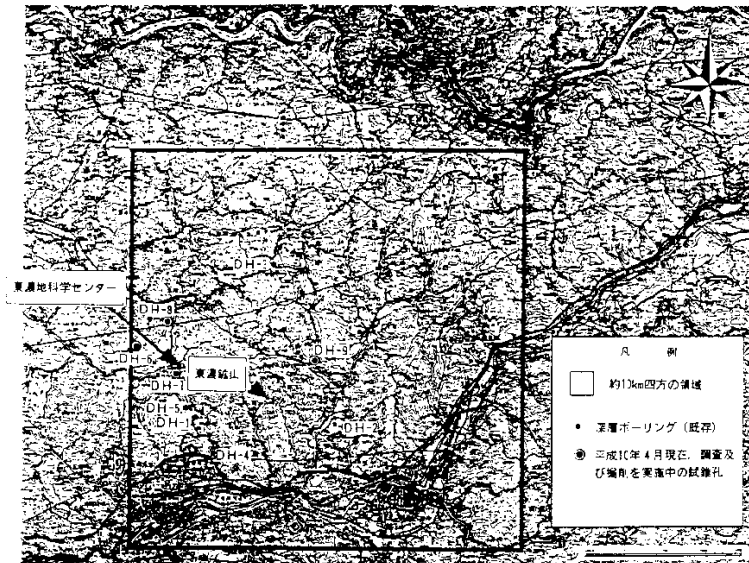


図11 広域地下水流動研究における試錐孔位置図

(2) 深層水理調査

本調査では、地質・地質構造に関する研究の成果を基に、1,000m級の試錐孔（DH-6、7、8、9号孔：図11）において、物理検層、ホアホールテレビ観察、水理・採水試験等を行い、地下深部における岩盤及び断層・破碎帯等の地下水の流動経路や水質の把握、遮水壁の役割を果たすと考えられる地質構造の透水性等を把握する調査を実施中である。

1) 岩盤の透水性

試錐孔における水理試験により、東濃鉱山周辺に分布する堆積岩の透水係数として、 $10^{-8} \sim 10^{-10}$ m/sオーダーの値が得られている。また、花崗岩の健全部分の透水係数は $10^{-10} \sim 10^{-11}$ m/sオーダー、花崗岩中の割れ目部分では貯留効果が認められる場合（充填鉱物がある場合）が $10^{-8} \sim 10^{-11}$ m/sオーダー、貯留効果が認められない場合（開口割れ目等の場合） $10^{-5} \sim 10^{-6}$ m/sオーダーの値を示している⁹⁾。

2) 地下深部の動水勾配

東濃鉱山周辺地域でこれまでに実施した地下水流動解析の結果、深度500m以深での動水勾配（一定の方向の単位距離当りの全水頭の変化¹⁰⁾）の分布（深度0～500m：0.02～0.04、500～1000m：0.01～0.04）は、500m以浅よりも小さくなることが予測されていた¹¹⁾。

この解析結果の妥当性を、図11に示す試錐孔における原位置のダブルバック方式¹²⁾による間隙

水圧測定結果との比較により検証した。図12は、深度1,000mの試錐孔（DH-7、8号孔）間の動水勾配を示している。なお、比較に用いた各孔の計測点の標高、計測区間長はほぼ同一で、水平距離は1,300m、孔口の標高差は70mである（地形勾配は0.054）。図11から明らかなように、孔口の水位で計算した動水勾配は0.05強とほぼ地形勾配と等しい値を示すのに対して、深度500m以深は0.026～0.028と小さな値を示しており、上記の解析結果と同様な結果が得られた。なお、深度600m付近の動水勾配の大きな部分は、DH-7号孔の間隙水圧が破碎帯等の影響を受けて、局所的に高いことによる。

これらの解析及び実測結果から、地下深部の動水勾配は、地表付近に比べて小さいことが明らかとなった。

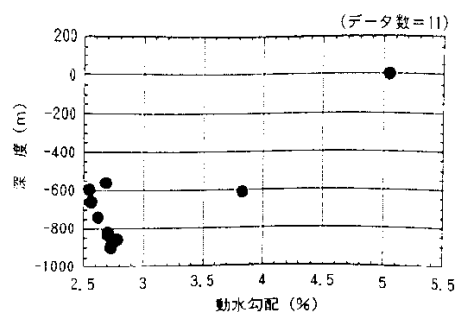


図12 試錐孔間（DH-7、8号孔）の深度別動水勾配

表1 深部花崗岩における地下水の地球化学特性

サンプリング地点	表層水	DH-4	DH-3	DH-3	DH-3	DH-3	DH-3	DH-3	DH-3	DH-3	単位	
深度 (G.L.-m)	0	-186	-208	-330	-486	-600	-644	-790	-840	-71~-761	-326~-860	(G.L.-m)
変質帯	-	M.F.Z.	M.F.Z.	M.F.Z.	M.F.Z.	M.F.Z.	M.F.Z.	I.F.Z.	I.Z.	A type	B type	
pH	6.2	6.8	9.7	8.9	9.7	9.8	9.6	9	9.3	6.9-8.0	7.6-8.2	
Si	5.96	5.6	8.23	13.8	2.47	6.08	5.62	4.05	5.53			
Al	0.16	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
Fe ²⁺	<0.05	9.34	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05			
Fe ³⁺	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05			
ΣFe	0.2	9.34	<0.02	0.06	0.03	0.03	0.02	<0.02	<0.02	0.1-9.0	0.05-0.1	
Mn	0.76	0.77	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
Mg ²⁺	0.18	1.88	0.14	0.12	0.33	0.03	0.03	0.19	0.05	3.0-6.0	1.0-2.3	
Ca ²⁺	1.04	17.6	16	12.2	9.6	4.22	4.09	4.68	3.72	23-76	8-31	
Na ⁺	12.3	13.3	8.2	11.6	19.5	39.5	36.5	36	39.5	12-36	28-65	
K ⁺	10.1	6.13	3.45	0.93	1.6	1.02	1.15	1.15	0.8	1.4-3.0	1-2	
F	0.17	4.99	1.99	4.09	3.45	11.41	10.91	8.92	9.73			
Cl	1.43	2.74	2.3	3.69	4.16	3.24	3.48	3.87	3.11	3.7-61	17-51	
SO ₄ ²⁻	1.37	0.09	2.27	6.66	12.7	8.32	9.1	6.84	6.21	0.5-8.0	0.1-1.8	
TC	47.03	n.m.	14	11.8	20.4	13.8	15.6	19.3	14			
IC	8.421	n.m.	12	9.23	7.3	10.7	13.6	16.2	13.5	21-43	15-27	
TOC	38.6	n.m.	1.99	2.61	7.3	3.1	2.38	3.11	0.5			(ppm)
δD	-31.7	-52.5	-53.7	-53.6	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	-53.2			(‰)
δ ¹⁸ O	-8.1	-8	-8.2	-8.3	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	-8			(‰)
Tritium	n.m.	4.6	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.			(TU)

n.m.=未測定 I.Z.=未変質部 (intact zone) M.F.Z.=緑色変質割れ目帯 (moderately fractured zone) I.F.Z.=白色変質割れ目帯 (intensely fractured zone)

3) 地下深部の地下水の地球化学的性質

東濃鉱山周辺でこれまでに掘削された試錐孔から、バッカー式地下水採水装置と長期観測装置(MPシステム)を用いて花崗岩中の地下水を採水し、各種の化学分析を行った。その結果、地下水は表層付近で中性であり、深度とともに弱アルカリ性に変化する。水質は、花崗岩の割れ目帯の種

類に規制されず、花崗岩上部でCa, Na, HCO₃ イオンに富み、深部でNa, HCO₃ イオンに富むことが分かった(表1)。この深度分布及び地球化学計算コードを用いた解析から、花崗岩中の地下水の水質形成には、地下水-粘土鉱物間のイオン交換反応が寄与していることが推定される。また、地下水の酸化還元状態に関するデータは、1点(図13)

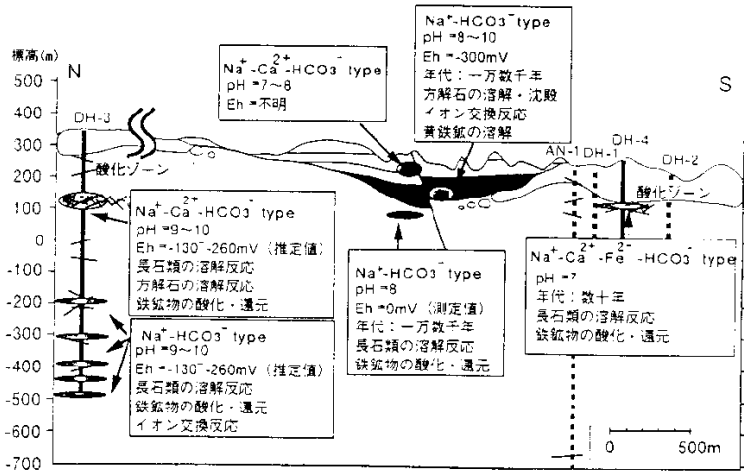


図13 東濃鉱山周辺の地球化学的状態の概念図^{13), 14)}

が取得されているのみである (pH8、Eh=0mV)。この酸化還元電位 (Eh) は、地下水中の鉄の化学種の酸化還元反応に支配されると考えられる。これまでの研究結果から、東濃鉱山周辺で推定される地球化学的状態の概念を図13に示す^{13),14)}。

4. おわりに

広域地下水流動研究では、深度1,000mに至る試錐孔を用いた、地質学的、水理学的、地球化学的データの取得が緒に就いたばかりである。現在までの取得データに関する知見は前述のとおりであるが、領域全体の水理地質構造モデルの構築、地下水流動解析等を実施し、地質環境調査手法を構築するためには、さらなる地質構造、水理、地球化学的データの蓄積と適切な評価を行いながら調査を継続し、広域地下水流動研究の目的を達成する必要があると考えられる。

さらに、本研究は、地質学、水理学、地球化学等の基礎的な研究分野にわたる極めて学際的な研究であるとともに、高度な科学技術が要求されることから、国際協力を含め、関係機関や大学等との協力も進める。また、地下深部は、エネルギー資源の備蓄等、新たな空間利用の場として期待されていることから、本研究における研究成果は、サイクル機構のみならず、広く外部の研究者にも提供していくこととしている。

参考文献

- 1) 動燃事業団：“地層処分研究開発の現状 (平成8年度)”，PNC TN1410-96-071 (1996)。
- 2) 柳澤孝一，今井久 他：“立坑掘削影響試験における地下水流動影響予測解析”，動燃技術報告書，PNC TR/GE 90-04，p.125，(1991)。
- 3) 湯佐泰久，柳澤孝一 他：“中部事業所における調査試験研究”，動燃技報，No.85，p.130～134，(1993)。
- 4) 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年度支部研究発表会・講演会予稿集，p.1～4，(1997)。
- 5) 小出馨，中野勝志 他：“地層科学研究における地下水調査・解析技術開発の現状”，原子力バックエンド研究，Vol.4，No.2，p.69～72，(1998)。
- 6) 牧野雅彦，伊勢崎修弘 他：“日本の磁気圏”，地質調査所，(1992)。
- 7) 岡崎彦哉，小林公 他：“長期長層水理観測による水収支と立坑掘削影響の把握—東濃鉱山周辺流域を対象として—”，日本地下水学会平成9年度春季講演会講演要旨，p.24～29，(1997)。
- 8) 尾方伸久，岩松尚則 他：“河川水の流量および水質による表層部の地下水流動の推定—岐阜県東濃地域におけるケーススタディー—”，日本応用地質学会誌，Vol.36，No.1，p.2～13，(1995)。
- 9) 尾方伸久，大澤英昭 他：“堆積岩の地質学的特性および透水係数，見掛け比抵抗相互の関係とその水理地質構造モデル化への適用”，日本応用地質学会誌，Vol.32，No.6，p.51～62，(1992)。
- 10) 山本荘毅：“地下水用語辞典”，古今書院，p.75，(1986)。
- 11) 柳澤孝一，今井久 他：“我が国を対象とした地下水流動解析 (その1)—中部日本を対象とした地下水流動解析—”，動燃技術報告書，PNC TR/GE 92-04，p.54，(1992)。
- 12) 柳澤孝一，齊藤章 他：“新しい現場透水試験法 (動燃式JFT) の開発と測定例”，土と基礎，Vol.37，No.7，p.47～52，(1989)。
- 13) 岩月輝希，濱克宏 他：“東濃地域における地下水の地球化学的研究—地下水の地球化学特性と水質形成機構—”，動燃技報，No.102，p.31～37，(1997)。
- 14) 岩月輝希，吉田英一 他：“岐阜県東濃地域における深部地下水の物理化学特性について”，日本原子力学会1997年秋の大会予稿集，p.687，(1997)。