

広域地下水流動研究
実施計画書

平成12～16年度研究計画書

(技術報告)

2000年4月

核燃料サイクル開発機構

東濃地科学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Developement Institute)

2000

[目 次]

第Ⅰ部（総論）	
1. はじめに	1
2. 広域地下水流动研究の概要	2
2. 1 研究の目標	2
2. 2 研究の構成	2
2. 3 研究の実施領域	2
3. 平成11年度までの調査研究の成果および今後の課題	3
3. 1 調査研究の成果	3
3. 2 今後の課題	3
4. 調査研究内容の分野別概要	5
4. 1 研究成果の統合化	5
4. 2 地質・地質構造に関する調査・研究	5
4. 3 地下水の水理に関する調査・研究	5
4. 4 地下水の地球化学に関する調査・研究	5
4. 5 調査技術・調査機器の開発	6
5. スケジュール	7
第Ⅱ部（各論）	
1. 研究成果の統合化	8
2. 地質・地質構造に関する調査・研究	9
2. 1 目標	9
2. 2 実施内容	9
2. 2. 1 調査内容	9
2. 2. 2 検討	10
2. 2. 3 調査・解析技術の最適化	11

3. 地下水の水理に関する調査・研究	1 2
3. 1 目標	1 2
3. 2 実施内容	1 2
3. 2. 1 調査内容	1 2
3. 2. 2 検討	1 3
3. 2. 3 調査・解析技術の最適化	1 4
4. 地下水の地球化学に関する調査・研究	1 5
4. 1 目標	1 5
4. 2 実施内容	1 5
4. 2. 1 調査内容	1 5
4. 2. 2 検討	1 6
4. 2. 3 調査・解析技術の最適化	1 6
5. 調査技術・調査機器の開発	1 7
5. 1 目標	1 7
5. 2 実施内容	1 7
5. 2. 1 試錐掘削技術開発	1 7
5. 2. 2 地質構造調査技術開発	1 7
5. 2. 3 水理特性・地球化学特性調査技術開発	1 8
用語解説	1 9
参考文献	2 0
図表	

第Ⅰ部（総論）

1. はじめに

広域地下水水流動研究は、深部地質環境の調査・評価のための体系的な調査技術の構築と深部地質環境のデータ取得を主たる目標に、平成4年度から岐阜県土岐市にあるサイクル機構の東濃鉱山およびその周辺域を研究開発の場として実施されている（動燃事業団、1997）。

本研究では、開始後の数年間（平成4年度～平成8年度）までは、調査・解析に関する要素技術の開発とその有効性の確認に主眼を置いた研究が行われ、その後（平成8年度以降）は、要素技術の開発と並行して、広範囲な領域における地質環境を調査しモデル化する体系的な地質環境調査技術の構築に向けた研究が進められている。

本計画書は、平成11年度までの調査研究の進捗を踏まえ、平成12～16年度における調査研究の計画概要を示すものである。

2. 広域地下水流动研究の概要

2. 1 研究の目標

本研究の目標は、広域的な地下水流动や地下水の水質の分布・形成機構を明らかにするための調査・研究をとおして、①花こう岩分布域における地質環境の一般的な特性を明らかにすること、および、②地質環境を調査・解析・評価するための技術を体系化（用語解説を参照）することである。

2. 2 研究の構成

本研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究開発分野の調査研究を実施する。

- (1) 地質・地質構造に関する調査研究
- (2) 地下水の水理に関する調査研究
- (3) 地下水の地球化学に関する調査研究
- (4) 調査技術・調査機器の開発

これらの研究開発分野に加え、各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の研究成果の統合化（用語解説を参照）を行う。

2. 3 研究の実施領域

研究実施領域の設定にあたっては、調査・解析の目標が地下水流动の把握であることから、研究対象となる地下水流动系の涵養域から流出域までを包含すること、また、研究効率の観点から、今までに実施した研究成果が活用できると共に、超深地層研究所計画などの他の地層科学研究プロジェクトへ研究成果が反映できることを考慮した。具体的には、文献調査および衛星画像によるリニアメント解析によって対象地域の大略的な地形および大規模な地質構造に基づく広範囲な領域（本研究では約30km四方の領域：図1）を設定し、次に既存資料の情報のみで構築した水理地質構造モデルを用いた地下水流动解析によって、研究対象となる地下水流动系の地下水域（図1）を推定し、それを包含する範囲を研究実施領域（本研究では約10km四方の領域：図2）に設定した。

3. 平成 11 年度までの調査研究の成果および今後の課題

3. 1 調査研究の成果

平成 4 年度に開始した本研究においては、これまでに地質・地質構造に関する調査・研究として、空中および地上物理探査、地表地質調査、試錐調査を実施し、地質構造モデルを構築した。

ヘリコプターを用いた空中放射能・磁気・電磁探査では、地表付近の土岐花こう岩と瑞浪層群の概略的な分布域を把握した。地上電磁探査では土岐花こう岩上面の形状（チャンネル構造）ならびに土岐花こう岩上部の風化帯あるいは割れ目卓越部を示す可能性のある低比抵抗帯の存在を把握した。反射法および屈折法弾性波探査では東濃鉱山坑道内で確認されている月吉断層の延長部を把握した（サイクル機構, 1999a, b）。

また、地表地質調査では、土岐花こう岩は細粒・中粒・粗粒な岩相からなり、それらの岩相が卓越するいくつかの分布域に区分されることが判明し、地表には空中写真判読によるリニアメントの卓越方向と調和する北北西および北東走向で急傾斜の割れ目が卓越することが明らかになった。

さらに試錐調査では、地表に分布する土岐花こう岩の各岩相が深度方向に不均質に分布すること、割れ目卓越部と健岩部が最大 200m の厚さで不均質に分布することが明らかになった。また、DH-7 号孔において次月断層に連続する可能性のある断層を確認した（サイクル機構, 1999c）。これらの結果を集約し、約 10km 四方の地質構造モデルを構築した（動燃事業団, 1998；サイクル機構, 1999d）。

地下水の水理に関する調査・研究においては、地下深部（深度 500m 以深）の動水勾配は地表付近の地下水位から求めた動水勾配に比べて半分程度であり（サイクル機構, 1999d），花こう岩の地表部から深度 400m 程度までの区間は割れ目日本数がそれ以深に比べて多く、さらに割れ目日本数と透水性は正の相関を示すことが明らかになった（サイクル機構, 1999e）。

地下水の地球化学特性に関する研究においては、主として研究領域の西側に掘削した試錐孔を利用した調査により、地下水水質の深度分布、酸化還元境界のおおまかな深度、地下水水質を支配する主要な水-岩石反応、地下水の ^{14}C 年代、および地下水の起源を明らかにした（濱・岩月, 1998；Iwatsuki and Yoshida, 1999a, 1999b；Iwatsuki ほか, 1999；村上ほか, 1999）。

また、地層科学研究の一環として進められてきた調査技術開発において開発された深度 1,000m まで対応可能な地下水調査機器や部分的な孔内崩壊に対応するための部分保孔装置などの調査機器・技術を本研究の調査研究で適用して、その有効性や適用性を確認するとともに、改良点などの情報を調査技術開発に反映した。

3. 2 今後の課題

本研究で得られた成果は、並行して進められてきた他の地層科学研究の成果と共に、地層処分研究開発の第 2 次取りまとめ（サイクル機構, 1999f）において、地質環境の各特性に関する知見や地質環境の調査技術として取りまとめられた。その中で地質環境の調査技術に関しては、国の処分事業計画の各段階における調査項目の提示およ

び内容の紹介に留まっており、地質環境特性を明らかにするための体系化された調査・解析技術の構築が重要であると記述されている。

広域地下水流动研究においては、平成12年度以降は、研究成果の反映時期を見据え、地質環境特性のうち地下水の流动および水質分布を把握するうえでの調査・解析技術の体系化に必要な研究内容を明確にしつつ、それを集中的に実施することが重要である。

4. 調査研究内容の分野別概要

4. 1 研究成果の統合化

各分野における調査・研究の成果を統合し、研究実施領域の深部地質環境（特に広域的な地下水流动）を包括的に理解するとともに、その過程で蓄積した技術的知見やノウハウなどをもとに、研究成果を広域スケールにおいて深部地質環境を把握するための一連の体系的な調査・解析技術として取りまとめる。この中で、調査の種類や量と地質環境に関する理解度の関係を評価していくことが極めて重要である。また、国外における結晶質岩を対象とした調査・研究事例（例えば、SKB, 1998; Thury et al., 1994）などを活用し、先行事例における有効な調査・解析技術やノウハウなどを独自にアレンジし適用することも重要であると言える。

4. 2 地質・地質構造に関する調査・研究

研究実施領域において、地下水の流动や水質形成などを規制すると考えられる地質・地質構造を把握するとともに、そのための調査・解析技術を体系化する。

(基本スタンス)

- ・研究実施領域における地質（堆積岩類、花こう岩類などの岩相分布、風化帯、変質帯など）の把握に加え、地表に達するような大規模な不連続構造（断層、割れ目、岩脈など）に注目し、これらの地質構造要素の分布および性状の把握に重点をおく。
- ・三次元地質構造モデルの深度は、地下水流动解析において必要とされる深度2,000m程度までを対象とする。

4. 3 地下水の水理に関する調査・研究

三次元地質構造モデルで表現された地質構造要素の水理学的特性を把握し、水理地質構造モデルを構築するとともに、研究実施領域における地下水流动を推定する。また、一連の調査・解析に必要な技術を体系化する。

(基本スタンス)。

- ・抽出された地質構造要素の透水性および水理学的連続性、ならびに花こう岩中の透水性コントラスト（高/低透水性領域）の評価に重点をおく。
- ・地下水流动解析（水理地質構造モデルの構築および妥当性の評価）の観点から、深度約2,000mまでを調査対象とする。

4. 4 地下水の地球化学に関する調査・研究

研究実施領域における深部地下水の地球化学特性の三次元的分布を把握し、水-岩石反応試験や理論解析などの結果と合わせて地球化学モデルを構築する。このモデル

を用いて、地下水流动解析により示される地下水流动の妥当性を確認する。また、一連の調査・解析に必要な技术を体系化する。

(基本スタンス)

- ・花こう岩中の地下水の物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成の深度分布、ならびに地質構造要素（特に、透水性割れ目および断層）における地下水の地球化学特性を把握することに重点をおく。
- ・水理学的データ（例えば、長期水理観測データ）のみならず地下水の地球化学的情報（例えば、地下水の滞留時間）を組み合わせることにより、地下水流动解析結果の妥当性を評価することに重点をおく。
- ・地下水流动解析（水理地質構造モデルの構築および妥当性の評価）の観点から、深度約2,000mまでを調査対象とする。

4. 5 調査技術・調査機器の開発

本研究における調査・研究に必要とされる、個々の調査・解析・評価技術（ソフト）の品質、および調査機器（ハード）の信頼性・耐久性および操作性を向上させるとともに、清水掘削技術や広域的な調査・研究に有効な物理探査手法を構築する。また、開発された個々の調査・解析・評価技術の汎用性について検討し、適用条件や適用範囲を明確にする。

(基本スタンス)

- ・既存の調査・解析・評価技術の適用性・有効性を確認するとともに、必要とされる調査仕様を満たすため、改良および新規開発を行う。
- ・地表から地下深部の地質環境を把握するために各要素技術を合理的かつ効果的に適用するための基本的な考え方を提示する。

5. スケジュール

各年度における本研究の方針を以下に示す。なお、平成 12～16 年度に実施するおもな調査・研究のスケジュールを表 1 に示す。

(1) 平成 12 年度

平成 11 年度に引き続き、試錐調査を実施し (DH-12 号孔: 約 1,000m, DH-13 号孔: 約 1,000m)、同孔における各種試験、室内試験・分析を実施する。また、既知の断層について露頭調査を実施し、同断層の水理学的性質を推定する（水みちか遮水壁かを判定する）。また、平成 11 年度までに取得された調査データをもとに、調査量や調査の順序を検討する。

(2) 平成 13 年度以降

反射法弾性波探査および地下水流动解析の結果などに基づき追加試錐孔の位置および掘削深度を決定し、同孔における各種試験や室内試験・分析などを実施するとともに、新たに存在が推定される断層の露頭調査、大規模測線の反射法弾性波探査を行う予定である。また、前年度までに取得された調査データを選択し、異なる複数のケースを設定して、それぞれの地質環境モデルを相互比較し、調査量と地質環境に対する理解度の関係について検討する。平成 16 年度には、それまでの研究成果を取りまとめる。また、平成 16 年度以降については、検討結果の妥当性の評価をより確かなものにするため、5 孔程度の試錐孔を選び、長期モニタリングを継続する。

なお、平成 14 年度以降の実施計画については、基本的には平成 13 年度までの調査結果に基づき具体化することとする。

第Ⅱ部（各論）

1. 研究成果の統合化

本研究においては、事例研究の場として設定した東濃鉱山およびその周辺の約10km四方の領域における地表から地下深部までの地質環境を、分野別および分野間の横断的な議論や解釈をとおして総合的に理解し、その過程で得られた知見に基づき花こう岩分布域における一般的な地質環境特性および体系的な調査技術として取りまとめることが重要となる。本研究においては、「概念モデルの構築→計画立案→調査→モデルの構築および解析→評価」という研究プロセス（図3）を繰り返し、分野別および分野間の横断的な解釈や理解をとおして「どれだけのデータをどのようにして取得し、どのようにして解釈すれば、どれだけのことが理解できるのか」を事例的に明示する。

この研究プロセスは、基本的にデータの取得に伴い新たな知見が蓄積されるごと、あるいは年度ごとといった調査の節目ごとに繰り返される。ただし、実際には本研究において既に試錐調査などが実施され地質環境に関するデータが蓄積されていることから、過去の試錐調査も含め、調査量と地質環境の理解度との関係についての検討を進める。

平成12～16年度において、これまでの研究成果の統合化を進めるために以下の取りまとめを行う。

- (1) 平成12年度に、前年度までに実施した調査研究の成果をもとに、深部地質環境を総合的に精度良く理解するための地質環境データセットの基本的考え方（案）を作成する。その後、適宜改訂を行い、最終的に地質環境データセットの基本的考え方を提示する。
- (2) 研究プロセスの具体化に向け、前年度までの調査研究により得られた調査の進め方や調査技術の適用などに関する知見を整理し、調査体系（案）を例示する。最終的には、平成16年度までに整理された知見をもとに、本研究実施領域を事例とした地質環境を理解するための調査体系を例示する。

2. 地質・地質構造に関する調査・研究

2. 1 目標

地質・地質構造に関する調査・研究では、広域スケール（キロメートル四方以上のスケール）での地下水流动の観点から地質・地質構造を把握し、地質構造モデルを構築するための調査研究をとおして、地質構造を把握するための一連の調査解析技術の構築を目指とする。

2. 2 実施内容

平成 11 年度までの調査によって、土岐花こう岩と瑞浪層群の概略的な地表分布、花こう岩表面のチャンネル構造や月吉断層などの分布、花こう岩中の岩相分布、割れ目系などが明らかになった（サイクル機構、1999a,b）。これらの結果に基づき、約 10km 四方の地質構造モデルを構築した（動燃事業団、1998；サイクル機構、1999d）。しかしながら、既存文献に記載されている断層の地表での確認、写真判読によるリニアメントと地質構造の関係、また、断層などの地下水流动を大きく規制すると考えられる地質構造の地下深部への連続性が明らかにされていないなどの課題が残されている。

平成 12 年度以降、地質・地質構造の概念（地質構造モデルにおいて表現すべき地質・地質構造要素についての考え方）に基づき、着目すべき地質構造要素の分布・性状を地質踏査、地上物理探査および試錐調査によって明らかにし、その結果に基づき地質構造モデルを更新する。また、地質構造モデルの更新の過程を整理し、情報量と地質環境の理解度と関係を明らかにすることによって、広域スケールでの地質・地質構造調査の体系化に向けた検討を実施する。

2. 2. 1 調査内容

(1) 断層露頭調査

断層は地下水流动に対して遮水壁あるいは流动経路となるため、地下水流动を把握するうえで、断層の分布および性状を明らかにすることは重要である。そのため、断層の分布および性状を把握するための第 1 段階の調査として、断層の露頭調査を行う。

平成 12 年度は、既存文献で確認されている断層の露頭調査を実施する。また、平成 13 年度以降は、リモートセンシング調査、地上物理探査および試錐調査によって推定された断層の露頭調査を実施する。

(2) 地上物理探査（高密度電気探査）

リモートセンシング調査や空中物理探査などで推定されたリニアメントと地下の地質構造との関係を把握するため、リニアメント近傍の試錐孔で確認された断層などを対象に、地表への連続性の確認を目的とした高密度電気探査を実施する。

平成 12 年度には、土岐花こう岩が露出する地域において、露頭割れ目調査および試錐調査の結果に基づき、リニアメントと地下の断層などの構造が対応していると考えられる地点を選定し、高密度電気探査の調査計画を立案する。その計画に基づき、

平成 13 年度に高密度電気探査を実施する。

(3) 地上物理探査（反射法弾性波探査）

これまでの試錐調査の結果、瑞浪層群と土岐花こう岩との不整合近傍（基底礫岩層・花こう岩の風化部）、および土岐花こう岩上部の割れ目帯が本地域の主要な帶水層と考えられる。また、今までに実施した試錐調査や屈折法弾性波探査において、断層の存在が示唆されており、その中には月吉断層に匹敵する破碎帯幅を持つ断層も推定されている。したがって、研究実施領域内の地下水流动を把握するためには、これらの帶水層の層厚や連続性、および断層の分布を広域的に把握することが重要と考えられる。

これらの地質・地質構造を把握するためには、これまでの調査結果から反射法弾性波探査が有効と考えられることから、本研究での地下水流动解析の範囲を対象に、反射法弾性波探査を実施する。

これまでに実施された空中・地上物理探査および試錐調査の結果を用いて、反射法弾性波探査の結果を外挿し、地質構造モデルの更新に反映する。

(4) 試錐調査

研究実施領域において、一つの涵養域から流出域により構成される地下水流动系は、ほぼ日吉川流域と対応していることが予備的な地下水流动解析で示された。日吉川流域を包含する領域については、地下水流动解析のモデル化領域として、平成 10 年度に掘削した DH-9 号孔での調査以来、現在まで、地質・地質構造、水理、地下水の地球化学、ならびに岩盤物性に関する情報の取得を行っている。これらの情報は、本研究における各分野のモデルの構築・更新、地下水流动解析結果の検証用データとして用いられるほか、超深地層研究所計画における水理地質構造モデルの更新にも用いられる予定である。

調査内容としては、地表から地下深部までの地質・地質構造に関するデータを取得し、地質構造モデルの構築および地質構造発達史の検討（後述）を行うため、各試錐孔において岩芯観察、物理検層、ボアホール TV、室内調査・試験（顕微鏡観察、化学分析、年代測定など）を実施する。

平成 11 年度は、モデル化領域の東側境界付近（DH-10 号孔：日吉川と木曽川との分水界付近）および南東部（DH-11 号孔：瑞浪層群が厚く堆積している地区）での試錐調査を実施した。平成 12 年度は、研究対象である地下水流动系の流出域と考えられる土岐川付近（DH-12 号孔）、涵養域近傍（DH-13 号孔）における試錐調査を実施する。平成 13 年度以降は、反射法弾性波探査および地下水流动解析の結果などに基づき、追加試錐孔の位置および掘削深度を決定する。

2. 2. 2 検討

(1) 地質構造モデルの構築

地質構造モデルは、研究実施領域の地下水流动の場となる地質・地質構造の分布を現実的に示すものであり、水理地質構造モデルの基礎となるものである。そのため、地質構造モデルを構築するためには、研究実施領域のスケールにおいて、表現すべき地質構造要素の種類や規模を明らかにする必要がある。

(a) 平成 12 年度

- ・調査量と地質環境の理解度との関係を把握するため、文献調査と空中・地上物理探査の情報のみを用いた場合、この情報に試錐調査の情報を加えた場合の 2 ケースの地質構造モデルを構築し、両者の関係について評価する。

(b) 平成 13 年度以降

- ・平成 12 年度以降に実施する試錐調査や反射法弾性波探査などの結果に基づき、地質構造モデルを更新する。

(2) 地質構造発達史の検討

主な研究対象である土岐花こう岩体については、岩相が極めて不均質であること、土岐花こう岩上部に低角割れ目が発達していること、土岐花こう岩中の月吉断層に伴う破碎帯の幅が数十mと堆積岩層中の破碎帯幅に比べ大きいことが明らかになってい。また、岩芯観察の結果、月吉断層に正断層的な運動センスが推定されている。これらの事象を理解するためには、花こう岩体の再貫入、広域応力場の変遷など、地質構造発達史の検討が必要であり、地下水流动の長期的な挙動を検討するうえでも古地形の復元が不可欠である。

以上のことから、既存文献およびこれまでに取得した地質・地質構造のデータを取りまとめるとともに、隆起量と侵食量との関係などの調査を実施し、研究実施領域における地形および地質構造発達史を検討する。

2. 2. 3 調査・解析技術の最適化

調査量の増加に伴う地質構造モデルの更新の過程を整理することによって、広域スケールにおける地質・地質構造調査で、調査対象とすべき地質構造要素およびその地質構造要素の規模について取りまとめる。また、これらの地質・地質構造を調査するうえで有効と考えられる調査手法およびその組み合わせや手順について、取りまとめを行い最適化（用語解説を参照）を図る。

3. 地下水の水理に関する調査・研究

3. 1 目標

地下水の水理に関する調査・研究では、研究実施領域内の地下水流動を明らかにするための調査研究をとおして広域スケール内の花こう岩分布域における水理地質構造を明らかにするとともに、地下水流動場を把握するための一連の調査・解析技術の構築を目標とする。

3. 2 実施内容

平成 11 年度までの調査によって、土岐花こう岩の透水係数の分布を把握し、地質構造の研究で予測された主要な水みち（第Ⅱ部 2.2 参照）の一部について透水係数を測定した（サイクル機構、1999f）。また、研究対象とする地下水流動系は、研究実施領域の選定時に実施した広範囲な領域の地下水流動解析により、北部の分水嶺付近を涵養域とし南部の土岐川を流出域とする解析結果が得られているが、さらに領域南方を含む大局的な地形分布からは、北方に向かう深部地下水流動の存在が、外部専門家によって指摘されている。これを検証するために、分水嶺付近から土岐川に至る日吉川流域に掘削した試錐孔（DH-9～11 号孔）を用いて、岩盤の透水係数および間隙水圧などの実測データを取得してきた。

平成 12 年度以降の調査では、主として研究実施領域で水理特性データの実測値を取得し、これに基づいて水理地質構造モデルを構築・更新する。特に、流出域とされる土岐川流域において試錐孔を掘削し同試錐孔において間隙水圧のデータを取得することにより、水理地質構造モデルおよび解析結果を評価するとともに、超深地層研究所計画における研究坑道掘削に伴う地質環境への影響を予測するための現実的な境界条件の設定を行う。

3. 2. 1 調査内容

（1）表層水理調査

表層に分布する瀬戸層群からその下位の瑞浪層群および土岐花こう岩への地下水の浸透量の把握ならびに表層付近での地下水流動特性の把握を目的として、表層水理定数観測システム（地下水位計、河川流量計、気象観測装置）による観測および浅層試錐孔による地下水位の観測を実施する。これまでの観測により、地下水涵養量は測定位置と年によって大きく値が異なることが明らかとなっていることから、この原因についても検討する。また、これまでの東濃鉱山周辺に限定して算出した地下水涵養量を本研究の実施領域全体に外挿するための手法についても検討を行う。

これらの成果は、地下水流動解析での境界条件の設定および地下水流動解析結果の検証に反映される。

（2）深層水理調査

主として日吉川に沿うように試錐孔を掘削し、水圧分布を把握することにより、涵養域から流出域にいたる大局的な地下水流動の方向や動水勾配などを把握する手法

を確立する。さらに、月吉断層のように地下水流动を大きく規制すると考えられる地質構造要素近傍の地下水流动を把握する。

平成 12 年度に DH-12 号孔(深度約 1,000m), DH-13 号孔(深度約 1,000m)を掘削し、表層から地下深部までを対象とした間隙水压測定、ならびに岩盤の透水性の深度依存性を把握するための水理試験を実施する。また、これらの試錐孔に多点式間隙水压観測システム（以下、MP システム）を設置後、地下水の長期水压観測により、水压分布を把握することで、大局的な地下水流动の方向や動水勾配などを把握する。なお、DH-12 号孔は研究対象とする地下水流动系の流出域と考えられる土岐川付近、DH-13 号孔は涵養域近傍に掘削する計画である。これらの試錐孔と既存試錐孔における調査を合わせて、深部の動水勾配を把握する。

前述の調査データを取りまとめ、水理地質構造モデルの構築、地下水流动解析における境界条件の設定、および解析結果の検証に利用する。また、データ量の増加に伴うモデルの高度化の程度についても検討を行う。

さらに前述のデータおよび地下水流动解析結果は、超深地層研究所計画における水理地質構造モデルの更新および地下水流动解析の外側境界条件の設定にも活用できる。

（3）地下水水圧の長期観測

平成 12 年度は、既存試錐孔(DH-9, DH-11 号孔)に MP システムを設置し、地下水水圧の観測を実施する。平成 13 年度以降は、平成 12 年度に掘削する DH-12～13 号孔に MP システムを設置し、地下水の水圧分布を測定することにより、深部の動水勾配を把握する。

3. 2. 2 検討

水理地質構造モデルは地質・地質構造に関する調査研究（第Ⅱ部 2.2.2 参照）で構築された地質構造モデルに、透水性などの水理学的情報を与えることによって構築される。また、地下水流动解析は、その水理地質構造モデルを用いて、研究実施領域の地下水流动現象を把握するために実施する。

また、より現実的な地下水流动を解析するためには、研究実施領域における、①解析手法、②地質構造要素の物性値の設定方法、③境界条件の設定方法について異なる方法との比較などをとおして十分に検討を行う必要がある。

平成 12 年度以降には、主に平成 11 年度までの成果をもとに、地質・地質構造に関する検討で設定したモデルのケースを考慮したうえで、上記①から③を指標に複数の解析ケースを設定し、各ケースごとに水理地質構造モデルの構築と地下水流动解析と検証を繰り返し実施する工程とし、その過程において解析手法、物性値および境界条件の検討も行う。

水理地質構造モデルならびに地下水流动解析結果の妥当性については、モデル構築および解析に用いなかった表層・深層水理調査データ、検証を目的として取得される地下水の湧出箇所、植生分布箇所や河川流量などの情報、試錐孔における間隙水压の長期観測データ、地下水の水質・滞留時間などのデータとの比較により評価する。

(a) 平成 12 年度

- ・平成 11 年度までに得られている調査データをもとに、地質・地質構造に関する検討で設定したモデルのケースを考慮したうえで、上記①から③を指標に複数の解析ケースを設定する。
- ・設定した解析ケースのうち、平成 12 年度に実施するケースのデータセットの作成、および水理地質構造モデルの構築を行う。
- ・構築した水理地質構造モデルに基づき地下水流動解析を実施し、解析結果の検証を行う。

(b) 平成 13 年度以降

- ・各年度ごとに実施するケースのデータセットの作成および水理地質構造モデルの構築を行う。
- ・構築した水理地質構造モデルに基づき地下水流動解析を実施し、解析結果の検証を行う。
- ・研究成果の取りまとめを行い、最適な地下水流動解析手法を明示する。

3. 2. 3 調査・解析技術の最適化

地下深部までの地下水流動現象を予測するために必要な、品質管理されたデータの取得、およびデータセットの整備・検討を行い、その一連の作業をとおして調査・解析技術の最適化を行う。

具体的には、生データおよびデータセットの品質管理、得られたデータに基づく水理地質構造モデルの構築、地下水流動解析の実施、および解析結果の評価を行い、その結果をもとに最適化されたデータ取得手法および地下水流動解析手法の構築を行う。

4. 地下水の地球化学に関する調査・研究

4. 1 目標

研究実施領域における深部地下水の地球化学特性の三次元的分布を把握し地球化学モデルを構築するための調査研究をとおして、花こう岩分布域における一般的な水質形成機構を明らかにするとともに、地下水の地球化学的特性を把握するための調査・解析技術を構築する。

4. 2 実施内容

本研究では、土岐花こう岩中の地下水の物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成の深度分布が把握されつつあり、平成11年度までの知見をもとに、地球化学モデルを構築した（サイクル機構、1999f）。しかしながら、この地球化学モデルでは、地質構造要素（特に、透水性割れ目および断層）と地下水の地球化学特性との関係は明確になっていない。地球化学モデルを用いて、地下水流動解析結果の妥当性を確認するためには、透水性割れ目や断層などの地下水流動を規制する地質構造要素の分布と地下水の地球化学特性を把握することが必要不可欠である。

平成12年度以降は、主に地下深部を対象として土岐花こう岩中の地下水地球化学データを取得し、地下水の地球化学特性の三次元分布を把握するとともに、地下水流動解析結果や滞留時間に関するデータを用いて、地下水の水質形成機構を検討する。

4. 2. 1 調査内容

(1) 地表水・降水を対象とした地球化学調査

研究領域内において、地下水水質形成メカニズムおよび滞留時間・起源を把握する際の初期条件を設定するために、表層水理観測地点において降水および河川水の採取ならびに各種の分析を行い、その季節変動幅を把握する。

(2) 地下水を対象とした地球化学調査

試錐孔（DH-11～13号孔）において、地表から地下深部を対象とした地下水の採水および地球化学検層（pH、電気伝導度、酸化還元電位、硫化物イオン濃度、水温）を行う。さらに室内での分析（主要溶存成分、微量溶存成分、溶存ガス、環境同位体、微生物、有機物）を実施する。それぞれの試錐孔（DH-11～13号孔）における調査の目的は、以下のとおりである。

DH-11号孔：瑞浪層群分布域での土岐花こう岩中の地下水の地球化学特性の把握

DH-12号孔：瑞浪層群中および土岐花こう岩中における水質タイプの異なる地下水の分布の把握

DH-13号孔：瑞浪層群分布域での土岐花こう岩中の地下水の地球化学特性の把握

(3) 固相を対象とした地球化学調査

固相を対象とした岩石学的調査、鉱物学的調査、地球化学的調査、ならびに同位体年代測定(2.2.1 参照)の結果を基礎情報として、地下水水質形成を支配する主要な水一岩石反応、および地下水の滞留時間の推定を行う。主要な水一岩石反応の推定にあたっては、室内における水一岩石反応試験結果との比較を行い、液相(地下水)のデータから推定した水一岩石反応の妥当性を確認する。

(4) 地下水水質の長期観測

MPシステムを設置する試錐孔においては、地下水水質の変動の有無を把握するために、長期モニタリングを行う。DH-7号孔については、次月断層に連続する可能性がある断層が認められており(サイクル機構、1999c)，本研究が終了するまでの長期的な地下水採水が実施可能であることから、複数の手法を適用し地下水の滞留時間の推定を試みる。また、地下水および岩石中の微生物を採取・分析し、地下水水質への影響の有無や程度などを把握する。

4. 2. 2 検討

(1) 化学組成分布の推定

地下水の地球化学データを用いた熱力学的解析の結果、および固相の観察・分析結果をもとに、研究領域内における地下水の地球化学特性の三次元的分布を推定する。具体的には、DH-3～8号孔において取得されたデータをもとに研究実施領域全体の地下水の化学組成分布を推定し、DH-9号孔以降の試錐孔において取得されたデータを用いて、その妥当性を確認する。

(2) 地下水の地球化学モデルの作成

地質構造モデルをもとに地下水の地球化学特性の三次元的分布を示す地球化学モデルを構築する。地球化学モデルは、地下水流動解析結果の妥当性を示すためにも用いられる。

4. 2. 3 調査・解析技術の最適化

地下深部までの地下水の地球化学特性の三次元的分布を予測するために必要な、品質管理されたデータの取得、ならびにデータセットの整備・検討を行い、その一連の作業をとおして調査・解析技術の最適化を行う。

具体的には、①生データおよびデータセットの品質管理、②得られたデータに基づく地球化学モデルの構築を行い、それらをもとに最適化されたデータ取得手法および地球化学モデルの構築を行う。また、調査試験の実施に必要な要素技術(試錐孔を利用して地下水を採取・分析する技術、水質形成機構を解明するための技術、地下水の水質などの分布を推定する技術)を組み合わせ、最適な調査技術の構築を行う。

5. 調査技術・調査機器の開発

5. 1 目標

試錐技術、深度1,000m程度までの地質環境を対象とした地下水調査技術、断層などの地質構造を把握するための物理探査技術の構築を主な目標として、各研究分野で必要とされる調査技術ならびに調査機器の開発を行う。

5. 2 実施内容

本研究に係わる各研究分野で必要とされる調査技術ならびに調査機器の開発として、以下の項目が挙げられる。

(1) 試錐掘削技術開発

- ①リバース式三重管ワイヤライン工法
- ②部分保孔装置

(2) 地質構造調査技術開発

(3) 地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発

- ①1,000m対応水理試験装置、1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器

以下に、これらの調査技術ならびに調査機器の概要、開発状況および平成12年度以降の計画を記す。

5. 2. 1 試錐掘削技術開発

(1) リバース式三重管ワイヤライン工法の設計

岩盤本来の透水性や地下水の地球化学特性を極力乱さないためには、試錐孔の掘削の際、清水を用いることが望ましいが、この場合孔内崩壊が発生しやすくなるという問題が生じる。この問題解決のために、清水とスライムの両方をロッド内に通すことにより、孔壁との接触を防ぎ、孔壁の崩壊を最小限にとどめるリバース式三重管ワイヤライン工法の設計を実施する。

平成11年度に実施した詳細設計の変更をもって、設計を終了する。

(2) 部分保孔装置の開発

部分保孔装置は、部分拡孔ビット、部分ケーシングおよび部分ケーシング挿入装置から構成され、部分的な孔内崩壊への対応、新規試錐孔の掘削、調査中に崩壊した既存試錐孔の保孔、ならびにリーミングに適用できる。

平成11年度に実施した適用試験により、当装置の仕組みを確認することができたため、開発に区切りをつけた。平成12年度以降は、本装置が利用される現場の特性に応じて必要な改良を検討する。

5. 2. 2 地質構造調査技術開発

(1) 既存技術の適用性評価

地質構造調査に適用された各種の既存調査技術の結果を取りまとめ、個々の調査・

解析・評価技術の汎用性について検討し、その適用条件や適用範囲を明確にする。

平成 11 年度に、これまでに実施した調査における各種の調査技術の適用結果について取りまとめるとともに、その評価を行った。平成 12 年度以降は、これまでの調査技術内容に新たな調査を順次付加し、それらの相互比較と組み合わせの検討をとおして、各種の既存調査技術の適用条件や適用範囲などを明確にする。

5. 2. 3 水理特性・地球化学特性調査技術開発

(1) 1,000m 対応水理試験装置、1,000m 対応地下水の地球化学特性調査機器の改良・高度化

地表から地下深部までの、水理特性・地球化学特性に関する信頼性の高いデータを取得するため、1,000m 対応および高温（70 度まで）対応の調査機器を開発する。

平成 11 年度までに所期の開発を完了した（中嶋ほか, 1999a；中嶋ほか, 1999b；島崎ほか, 1998；島崎ほか, 1999）。平成 12 年度以降は必要に応じて、さらに深部および高温への対応のための改良を検討する。

(用語解説)

本計画書では、三つの用語（最適化、体系化、統合化）について、以下の定義で用いている。

(1) 最適化

本研究では、地質環境特性を、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学の研究分野ごとに区分しており、それらの研究分野ごとに、種々の調査・解析技術を適用し、その有効性を検討しつつ改良を加えることとしている。

それぞれの研究分野ごとに、調査・解析技術の有効性を検討しつつ、計画の枠組みの中で可能な範囲で改良を加えていく行為に「最適化」を用いる。

(2) 体系化

地質環境特性を明らかにするうえで、どのような調査・解析技術を選択し組み合わせていくかを検討し、一つの調査方法として取りまとめる行為に「体系化」を用い、取りまとめられた状態に「体系的な」を用いる。

(3) 統合化

調査・解析を実施することにより、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学という研究分野ごとに地質環境特性が把握され、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデルという地質環境モデルが作成される。これらの地質環境モデルの間で互いに整合性のあることが確認されることによって、間接的に研究成果の妥当性が示される。同時に、研究実施領域の地質環境が包括的に理解される。

それぞれの地質環境モデルの整合性を確認する行為に「統合化」を用いる。

また、調査・解析技術の体系化と上記の統合化の双方に基づき、研究成果全体を取りまとめる行為にも、「統合化」を用いる。

以上

参考文献

動力炉・核燃料開発事業団（1997）：広域地下水流動研究基本計画書，動燃技術資料，PNC TN7020 98-001.

動力炉・核燃料開発事業団（1998）：広域地下水流動研究における試錐調査(DH-6, 7, 8号孔)，サイクル機構技術資料，JNC TJ7440 99-025.

濱 克宏・岩月 輝希（1998）：東濃地域における広域地下水流動研究－深部地下水の地球化学特性について－，日本応用地質学会平成 10 年度研究発表会講演論文集，pp. 17-20.

Iwatsuki, T. and Yoshida, H. (1999a) : Characterizing the chemical containment properties of the deep geosphere: water-rock interaction analysis in relation to fracture systems in deep crystalline rock at the Tono area, Japan, In:R. Metcalfe and C.A.Rochelle (eds.), Chemical Containment of Waste in the Geosphere, Geological Society Special Publication No.157, Geological Society of London, London, UK, pp. 71-84.

Iwatsuki, T. and Yoshida, H. (1999b) : Water chemistry and mineralogy of fracture systems in the basement granite in the Tono uranium mine area, Gifu Prefecture, central Japan, Geochemical Journal, 33, pp. 19-32.

Iwatsuki, T. Xu, S. and Itoh, S. (1999) : Application of tandem accelerator mass spectrometer (TAMS) in estimation of groundwater age, In:Proc. International workshop on Frontiers in Accelerator Mass Spectrometry, 1-8 Jan. 1999, Tsukuba, Japan, pp. 98-103.

核燃料サイクル開発機構（1998）：広域地下水流動研究実施計画書 平成 10 年度, 11 年度研究計画書，サイクル機構技術資料，JNC TN7410 99-005.

核燃料サイクル開発機構（1999a）：ヘリコプターによる空中物理探査，サイクル機構技術資料，JNC TJ7420 99-008.

核燃料サイクル開発機構（1999b）：電磁法による地上物理探査，サイクル機構技術資料，JNC TJ7420 99-007.

核燃料サイクル開発機構（1999c）：広域地下水流動研究 年度報告書(平成 10 年度), サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2000-002.

核燃料サイクル開発機構（1999d）：広域地下水流動研究における試錐調査（その 2）(DH-9 号孔)，サイクル機構技術資料，JNC TJ7440 98-002.

核燃料サイクル開発機構（1999e）：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第2次取りまとめ 分冊1 わが国の地質環境、サイクル機構技術資料, JNC TN1400 99-021.

核燃料サイクル開発機構（1999f）：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第2次取りまとめ 総論レポート, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 99-020.

村上由記, 長沼 肇, 岩月輝希 (1999) : 深部地質環境における微生物群集－東濃地域を例として－, 原子力バックエンド研究, 5, pp.59-66.

中嶋幸房, 酒井幸雄, 笹尾昌靖 (1999a) : 1,000m 対応地下水の地球化学特性機器(高温環境型)の製作, サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 99-002.

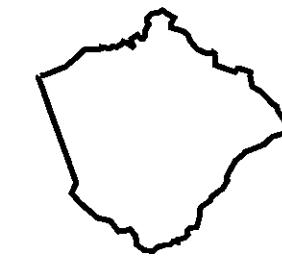
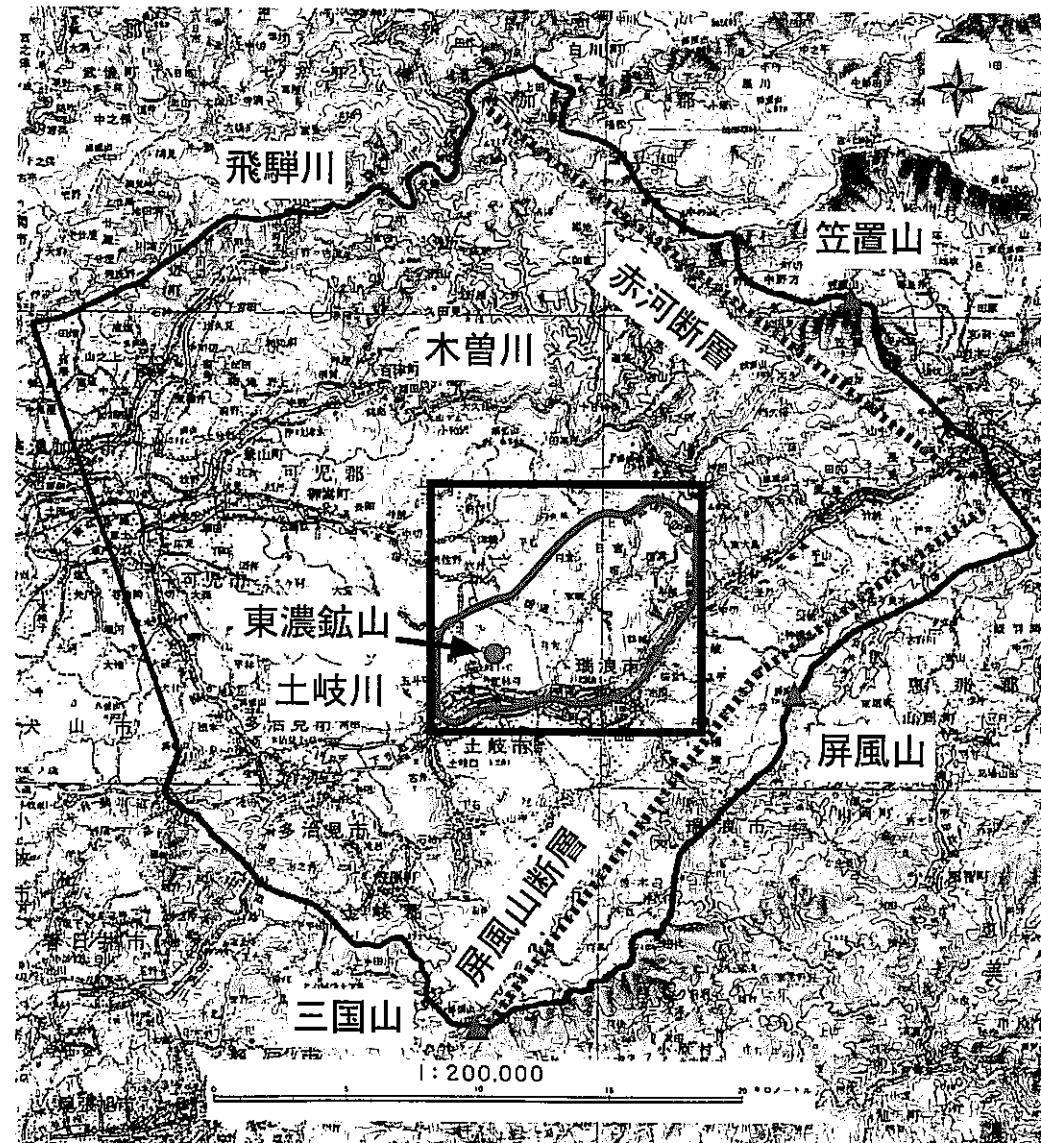
中嶋幸房, 酒井幸雄, 笹尾昌靖 (1999b) : 1,000m 対応地下水の地球化学特性機器(1号機)の改良, サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 99-013.

島崎 智, 山本泰司 (1998) : 地球化学検層ユニット(高温環境型)の製作, サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 98-005.

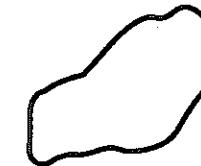
島崎 智, 山本泰司 (1999) : 地球化学検層ユニット(1号機)の改良, サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 99-014.

SKB (1998) : Characterization and evaluation of sites for deep geological disposal of radioactive waste in fractured rocks, In: Proc. 3rd Äspö International Seminar, Oskarshamn, June 10-12, 1998, SKB Technical Report, TR-98-10, SKB, Stockholm, Sweden.

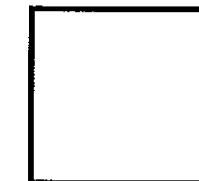
Thury, M., Gautschi, A., Mazurek, M., Muller, W.H., Naef, H., Pearson, F.J., Vomvoris, S. and Wilson, W. (1994) : Geology and hydrogeology of the crystalline basement of northern Switzerland, Synthesis of regional investigations 1981-1993 within the Nagra radioactive waste disposal programme, Nagra Technical Report, NTB 93-01, Nagra, Wettingen, Switzerland.



地下水流动解析を実施した
領域（約30km四方）



上記の地下水流动解析により
得られた地下水域



広域地下水流动研究の研究
実施领域（約10km四方）

図1 広域地下水流动研究の研究実施领域および周辺の領域

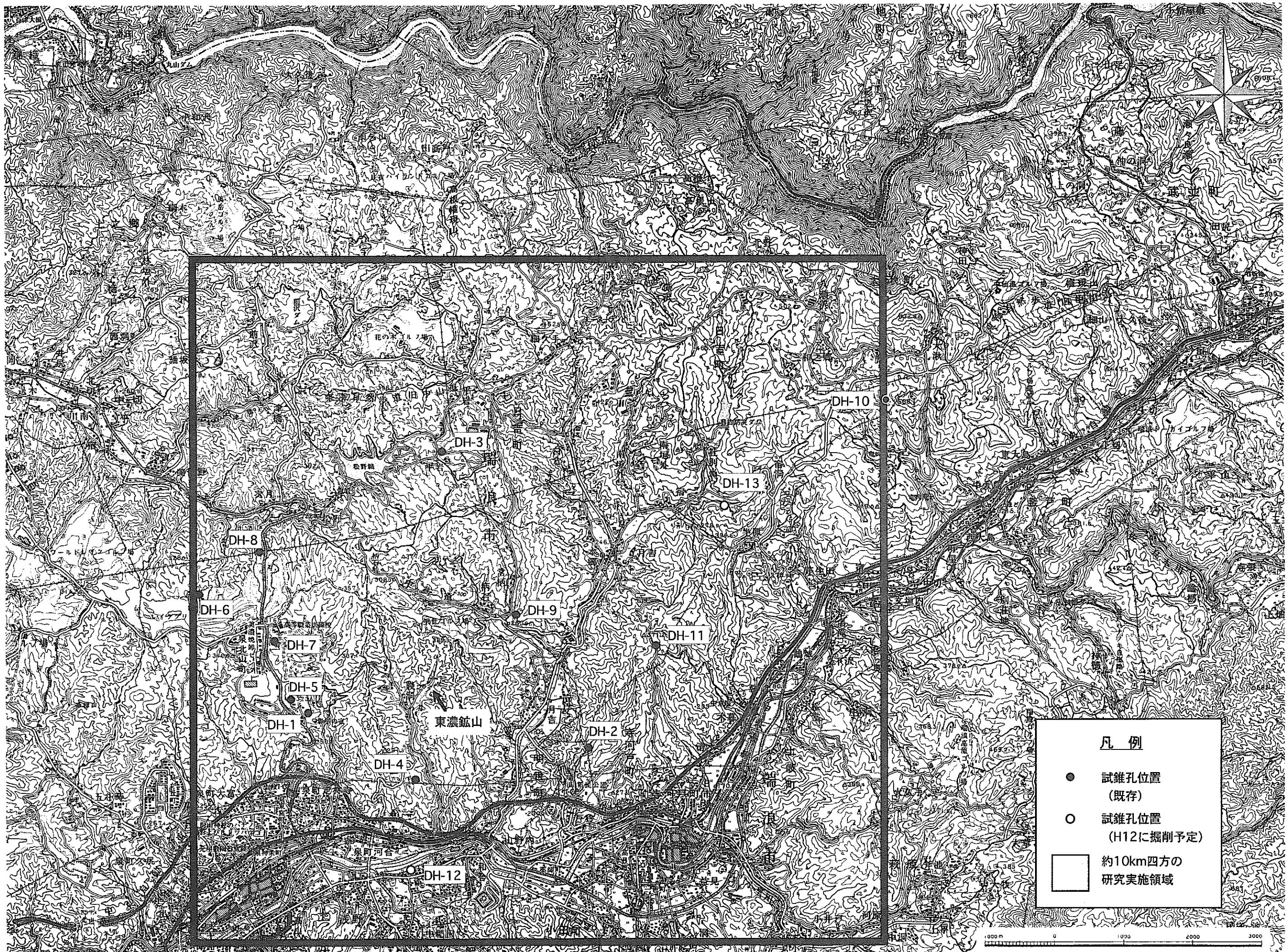


図2 研究実施領域および試錐孔位置図

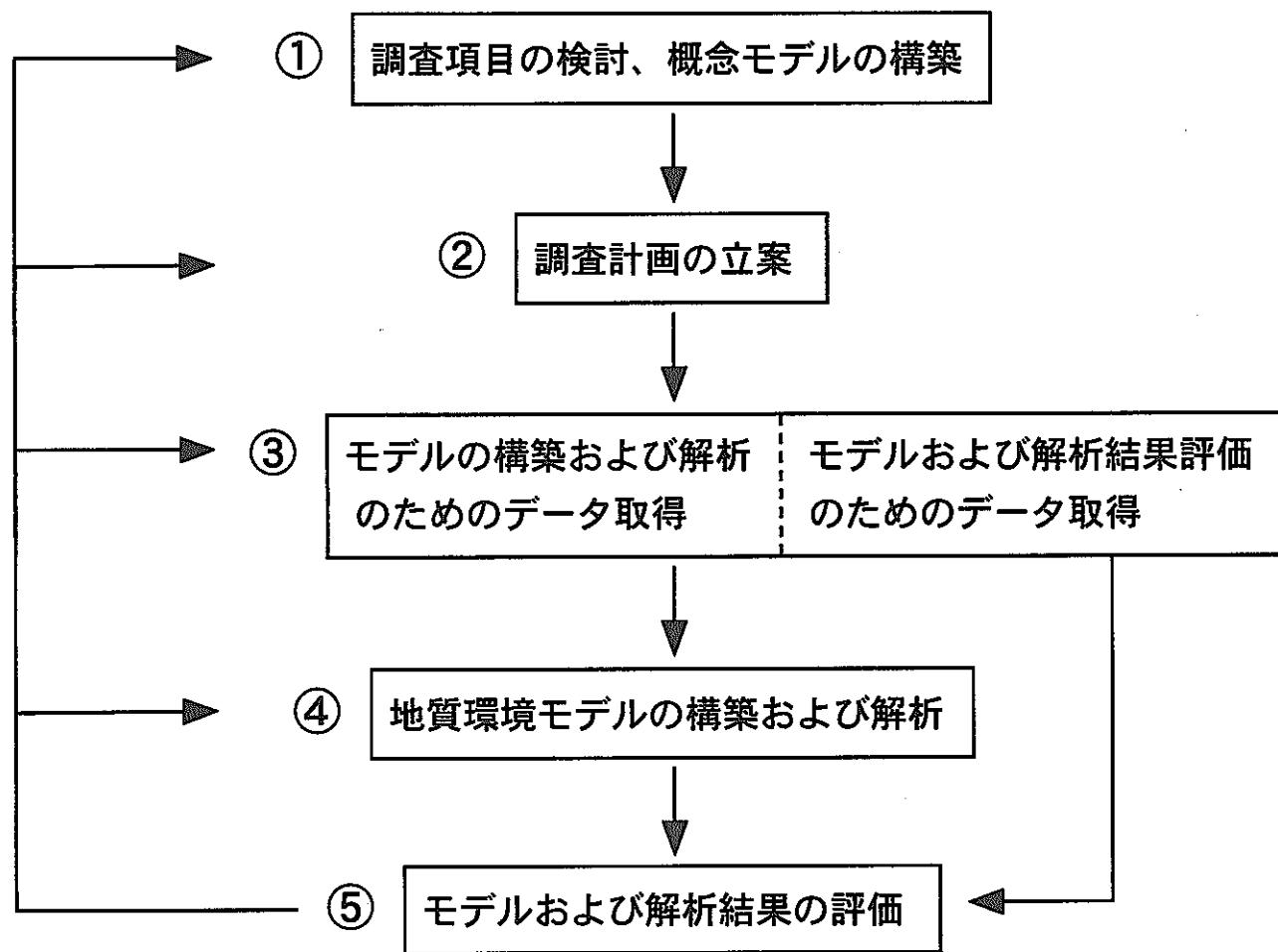


図3 研究プロセス

表1 主な調査・研究スケジュール(1/3)

研究項目	H9	H10	H11	H12	H13以降
(1)研究成果の統合化				作成 各ステップ毎の調査体系	作成, 修正 各ステップ毎の調査体系, 調査体系全体像
・地質環境データセットの基本的考え方(案) 作成					
・調査体系(案)作成					
(2)地質・地質構造					
・文献調査	_____				
・地質踏査					
地表踏査	_____			既知断層露頭	新たに推定される断層
断層露頭調査				_____	
調査			_____	地点選定・計画立案	地点選定, 計画立案, 実施
・物理探査(空中、地上)					
高密度電気探査					
反射法弾性波探査					
・試錐調査					
DH-5～8	_____				
DH-9		_____			
DH-10,11			_____		
DH-12				_____	
DH-13				_____	
追加試錐孔					
		DH-5～11		DH-12,13	追加試錐孔
地質学的調査*					
(岩芯観察・ボアホールTV・室内試験など)		DH-6～8			
岩盤力学的調査(室内力学試験)*					
・地質・地質構造に関する検討			モデル化	2種類構築	更新
地質構造モデルの作成					
地質構造発達史の検討					
調査・解析技術の最適化					

(注)*印は、試錐掘削に付随して実施する。

表1 主な調査・研究スケジュール(2/3)

研究項目	H9	H10	H11	H12	H13以降
(3) 地下水の水理					
・大略的な地下水流動の把握 ・表層水理調査 ・深層水理調査*		観測・機器の拡充			観測
水理試験 地下水位観測 ・地下水水圧の長期観測 ・地下水の水理に関する検討 水理地質構造モデルの構築・地下水流動解析 水理定数の空間分布の推定法開発 調査・解析技術の最適化	DH-5～11	DH-7	DH-12,13	追加試錐孔	DH-9,11～13 (MPシステムによる観測)
					モデル化・解析
(4) 地下水の地球化学					採水・分析
・地表水・降水を対象とした地球化学調査 ・地下水を対象とした地球化学調査 ・固相を対象とした地球化学調査	DH-5～11				DH-11～13, 追加試錐孔
・地下水水質の長期観測 ・地下水の地球化学に関する検討 化学組成分布の推定 地下水の地球化学モデルの構築 調査・解析技術の最適化	DH-5～11	DH-3,7	DH-12,13		DH-3,7,9,11
					検証・修正
					モデル化

(注)*印は、試錐掘削に付随して実施する。

表1 主な調査・研究スケジュール(3/3)

研究項目	H9	H10	H11	H12	H13以降
(5)調査技術・機器					
・試錐掘削技術開発					
リバース式三重管掘削工法の設計	設計		改良設計		
部分保孔装置の開発		構成部品の設計・製作	適用試験		必要に応じた改良
・地質構造調査技術開発			調査実績の取りまとめ		調査の体系化
既存技術の適用性評価					
・水理特性・地球化学特性調査技術開発					
1,000m 対応水理試験装置、1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の改良高度化	高温環境型製作	屈曲孔対応型開発			必要に応じた改良

(注)*印は、試錐掘削に付随して実施する。