

東濃地域における地質環境特性に関する  
調査研究  
- 地表からの調査研究の考え方と進め方 -  
(技術報告)

2002年12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 Development Institute)

2002

( 目 次 )

1 はじめに	1
2 広域地下水流動研究と超深地層研究所計画の概要	3
3 目標と前提条件	5
4 物質移行解析や研究坑道の設計などに必要な地質環境の情報	7
5 既存情報に基づく概念モデル	10
6 適用する調査・試験	15
7 調査研究コンセプト	19
参考文献	26

参考 「広域地下水流動研究および超深地層研究所計画などで把握された  
瑞浪超深地層研究所用地周辺の地質環境の概要」

## 1. はじめに

東濃地科学センターが地質環境特性に関する研究を進めている岐阜県東濃地域には、白亜紀の花崗岩(土岐花崗岩)が広く分布する。この土岐花崗岩を基盤として、新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)と、固結度の低い新第三紀鮮新世の砂礫層(瀬戸層群)が分布する。これらのうち、わが国に広く分布する白亜紀花崗岩体のひとつである、土岐花崗岩を主な対象として、広域地下水流動研究および超深地層研究所計画を進めている(図1)。

地質環境特性に関する研究を進めるにあたっては、実際の地質環境を対象とした調査研究を通して、取得される情報量と地質環境の理解の程度との関係を事例的に示すとともに、用いられた各種調査・解析技術の適用性の評価と、それらの技術の組合せや手順および適用に際しての留意点などを示した調査・解析フローの構築がひとつの重要な課題である。そのためには、特に、瑞浪超深地層研究所用地(以下、研究所用地)とそれを対象領域として含む広域地下水流動研究の研究成果を相互に活用し、広い領域から研究坑道を展開する研究所用地の領域までの、それぞれのスケールを対象とした調査手法および調査データを一連のものとして、調査・解析手法の適用性に関する知見を蓄積することが必要となる。

本稿は、上記の視点で、広域地下水流動研究と超深地層研究所計画で展開する、平成14年3月以降の地表からの調査研究の考え方と進め方とその背景情報を以下の構成で取りまとめたものである(図2)。

まず、超深地層研究所計画の目標と前提条件(第3章)と、物質移行解析や研究坑道の設計、さらに、第2段階以降の研究計画策定などに必要な地質環境の情報が整理した(第4章)。また、文献調査やこれまで行われてきた広域地下水流動研究、超深地層研究所計画などの既存の情報に基づき、概念モデルを構築した(第5章)。これらに基づき、概念モデルの確認、地質・地質構造、水理地質構造、地下水の地球化学、岩盤力学の各分野のモデルを構築するために必要な調査・試験を設定するとともに(第6章)、地表からの調査研究のコンセプトを構築した(第7章)。

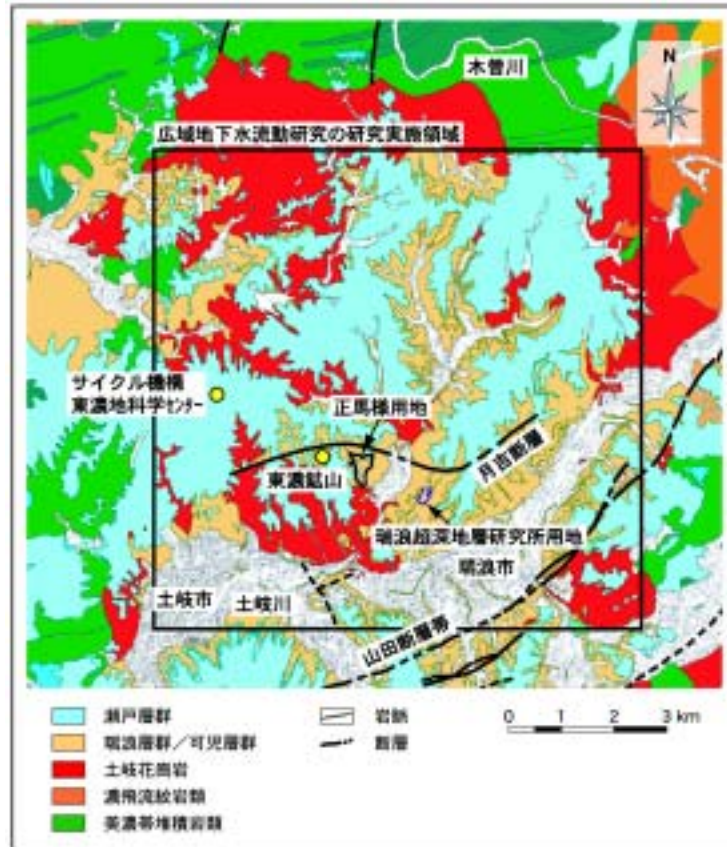


図1 東濃地域の地質概要

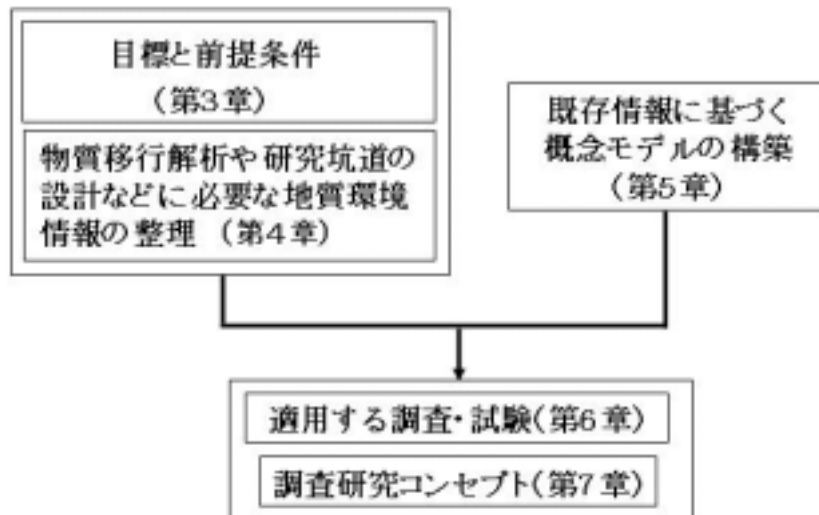


図2 調査研究コンセプト策定の流れ

## 2. 広域地下水流動研究と超深地層研究所計画の概要

広域地下水流動研究および超深地層研究所計画では、これまで以下のような内容が行われてきている。

### 広域地下水流動研究

広域地下水流動研究は、深地層の科学的研究の一環として、平成4年度から東濃鉾山周辺地域を研究開発の場として実施している。本研究の目的は、広域(ここでは地下水流動系の涵養域から流出域までを包含する数十 km 四方以上の領域)における地表から地下深部までの地質・地質構造、地下水の流動特性や地球化学特性などを明らかにするために必要な調査・解析技術の開発と、その適用性の評価であり、この目的に向け、地下深部の地質環境に関わる現象やそのメカニズムに関する研究を進めている。本研究では、開始から5年程度の間は、主として調査・解析技術に関する要素技術とその有効性・適用性の確認に主眼を置いた調査研究を行った。具体的には、試錐調査を中心に深度1,000m 対応の地下水調査機器を実用化するとともに、試錐孔の清水掘削技術などのノウハウを蓄積した(サイクル機構, 2000; 小出・前田, 2001)。また、これらの試錐調査により得られた地下水の流動特性および地球化学特性の深度方向の変化などを整理し、「第2次取りまとめ」に反映した。これまでに行われてきた試錐調査の位置を図3に示す。「第2次取りまとめ」以降は、それまでの要素技術開発と並行して、地下深部の地下水流動系の全体像を把握するための地上からの調査技術やモデル化技術の整備を進めている。

### 超深地層研究所計画

超深地層研究所計画では、第1段階の研究として、平成8年度より岐阜県瑞浪市明世町正馬様のサイクル機構が保有する用地(正馬様用地:約14ha)において、反射法弾性波探査、表層水理調査および深度700~1,000mの試錐調査を実施してきた(サイクル機構, 2002)。本計画の試錐調査は、これまで4孔(MIU-1, MIU-2, MIU-3, MIU-4号孔)を掘削し、物理検層、岩芯観察、水理試験、力学試験および岩芯を用いた室内試験などを行った(図4)。また、これらの情報に基づき、段階的に地質環境モデルを構築するとともに、これらに用いた調査手法・モデル化手法の適用性についての知見を蓄積してきた(サイクル機構, 2001a; 中野・大澤, 2001)。さらに、国内外の先行事例や国の原子力長期計画が示した深地層の研究施設に求める成果などを考慮し、第2段階および第3段階の調査研究項目を抽出するとともに、研究坑道の展開手順や研究坑道掘削の仕様の決定方法などを検討した。

その後、超深地層研究所計画については、平成14年1月17日に、瑞浪市と瑞浪市明世町の市有地(瑞浪超深地層研究所用地、以下「研究所用地」)の賃貸借契約を締結し、超深地層研究所の研究坑道および関連施設を設置することとなった。

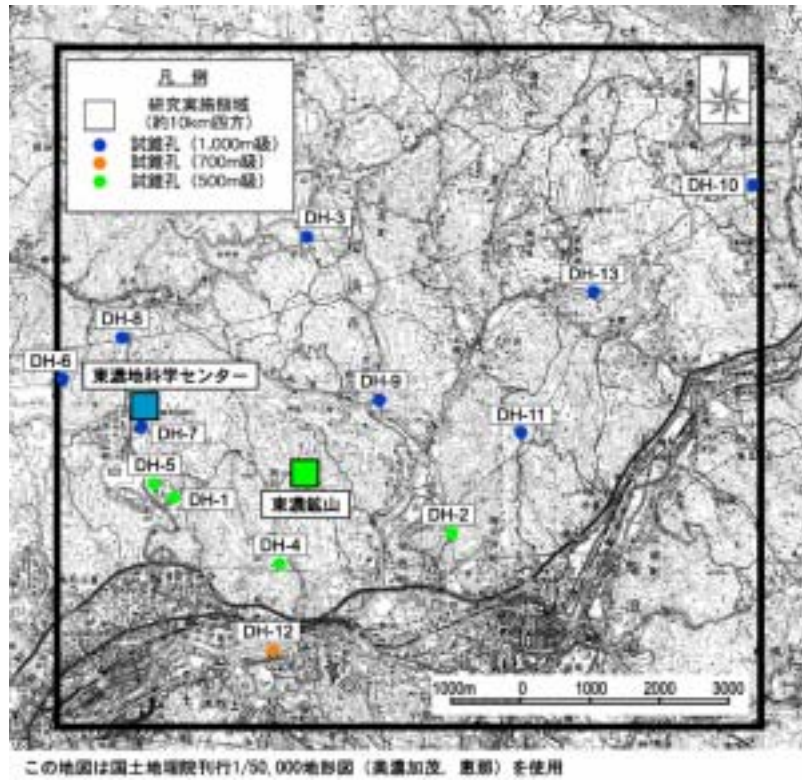


図3 広域地下水流動研究で実施した試錐調査位置図(サイクル機構,2001b)



図4 超深地層研究所計画(正馬様用地)における調査研究の概要

### 3. 目標と前提条件

超深地層研究所計画は、結晶質岩を主な対象に、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」と「深地層における工学技術の基盤の整備」を全体目標として、約 20 年間からなる調査研究を進めている(サイクル機構, 2002)。本計画は以下の三つの段階に分けて進める。

- ・ 第 1 段階: 地表からの調査予測研究段階
- ・ 第 2 段階: 研究坑道の掘削を伴う研究段階
- ・ 第 3 段階: 研究坑道を利用した研究段階

本計画の全体目標として、以下の2つが設定されている。

#### 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

超深地層研究所計画では、特定の領域の地表または地下の坑道から深部地質環境に関する品質の保障された情報を取得し、利用可能な解析・評価手法を用いた、深部地質環境の評価に至る一連のプロセス(概念の提示 計画の立案 調査の実施 モデルの構築および解析 評価)を繰り返し行う。このプロセスの繰り返しを経ることにより、一連の技術の有効性を確認し、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備する。

#### 深地層における工学技術の基盤の整備

超深地層研究所計画においては、深地層における工学技術の基盤の整備として、現状のあるいは新たに開発される工学技術を特定の地質環境に適用することにより、地下深部に研究坑道を設計し安全かつ合理的に施工・維持・管理できることを確認する。さらに、研究坑道の建設などが地質環境に与える長期的な影響を適切に解析・評価するための技術を整備することを目標とする。

本計画などで得られた調査研究の成果は、国が進める安全規制の策定や原子力発電環境整備機構が行う処分事業の推進に対し、技術基盤として反映されるほか、地下深部についての学術的な研究、ならびに地層処分に関する研究開発に対する国民の理解の醸成に寄与するものである。

特に、現在進めている地表からの調査研究に関しては、超深地層研究所計画の全体目標 に関するものとして、表1に示す技術開発項目が挙げられる。

さらに、全体目標に基づき、第 1 段階の目標として、以下の3つの目標が設定されている。

地表からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握

研究坑道の詳細設計および施工計画の策定

研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査研究計画の策定

なお、超深地層研究所計画の前提条件としては、以下の事項があげられる。

本研究所は、「Generic URL」(OECD/NEA, 2001)である。

地表からの調査研究は、平成 16 年度までである。立坑の掘削は平成 15 年度に基礎部の



工事が開始，平成 16 年度から本格掘削が行われる。  
 瑞浪超深地層研究所は深度 1,000m におよぶ施設である。  
 瑞浪超深地層研究所の建設場所および地下から行う調査の範囲は，研究用地内(約 7.8ha)である。

表1 技術開発項目

		地表からの地質環境調査技術の開発項目			
要素技術の開発	地表技術からの高度調査・試験	リモートセンシング技術			
		地上物理探査技術(反射法弾性波探査、電磁探査など)			
		試錐調査技術 (試錐調査プログラム、試錐掘削技術、水みちの抽出・分類技術、水理試験・解析技術、地下水の採水・分析技術、初期応力測定技術など)			
		試錐調査技術(多孔式) (トモグラフィ調査、孔間水理試験)			
		モニタリング技術			
	技術モデルの高度化	地質・地質構造のモデル化技術			
		水理地質構造のモデル化技術			
		地下水化学のモデル化技術			
岩盤力学のモデル化技術					
の調査体系技術	体系化された調査・解析・評価手法とその適用事例 (不確実性の評価手法)				

#### 4. 物質移行解析や研究坑道の設計などに必要な地質環境の情報

地表からの調査研究の考え方と進め方を策定するにあたり、物質移行解析や研究坑道の設計、さらに第2段階以降の研究計画策定などに必要な地質環境の情報を整理した。

##### (1) 物質移行解析

高レベル放射性廃棄物地層処分の安全評価、特に地下水シナリオに基づいた安全評価においては、地下水流動特性や地下水の移行経路の評価が重要な意味をもつ。「第2次取りまとめ」においては、わが国における地層処分の成立性を概括的に論じるため、現実的な水理地質構造モデルや施設のレイアウトを考慮せずに、簡略かつ保守的に地下水の移行経路を設定した。一方、事業と併行した地層処分研究の開発段階においては、ある地質環境のデータに基づいた水理地質構造モデルを構築して、地下水流動特性や地下水の移行経路の評価を試みるとともに、それらの情報に基づき性能評価体系を整備する必要がある。すなわち、具体的な地質環境条件が与えられた場合、地質調査、物理探査、試錐調査などの詳細な情報に基づいた地下水流動解析により、岩盤における地下水の移行経路を設定するとともに、この地下水の移行経路と統合的な物質移行モデルを作成する。さらに、物質移行モデルへの入力データを設定して評価することとなる。

このとき、地表調査、物理探査、試錐調査などの情報の量・質は限定されるため、これらのデータに基づいて構築した水理地質構造モデルやそれを用いた地下水流動解析結果には、岩盤の不均質性に起因する不確実性が含まれる。さらに、性能評価結果においては、上記の不確実性に物質移行のモデル化や物質移行特性の不確実性が加味されることになる。このように、地下水流動解析および物質移行解析には複数の不確実性の要因が存在し、それらが伝播しながら評価結果の不確実性を生ずることとなる。

それぞれの不確実性がどのような重要度を有するかを明らかにするために、調査、データの解釈、水理地質構造のモデル化、地下水流動解析、物質移行のモデル化などについての不確実性をそれぞれ定量的に評価するとともに、評価全体での不確実性の影響の伝播を分析する。そして、各不確実性の影響度の大小と考慮すべき不確実性要因の種類についての再評価を繰り返し行い、不確実性の要因を明らかにするとともに、不確実性の低減に有効な取り組みを模索する。このために、地表からの調査研究で必要な情報を表2に示す。

##### (2) 超深地層研究所の設計

第1段階(地表からの調査予測研究段階)の目標のひとつとして、「研究坑道の詳細設計および施工計画の策定」が設定されている(サイクル機構, 2002)。研究坑道の詳細設計および施工計画は、段階的に取得される地質環境特性の情報に基づき構築される施設近傍の地質モデル、施設近傍の岩盤力学特性、施設近傍への流入量に基づき策定される。施設建設に際しては、安全性や合理性、そして施設建設にあわせて行う調査・試験の内容も考慮しながら進めることが必要である。研究坑道の詳細設計(レイアウト構築を含む)および施工計画に必要な情報は、表2のとおりである。

**(3) 第2段階(研究坑道の掘削を伴う研究段階)および第3段階(研究坑道を利用した研究段階)の研究計画の策定**

第2段階の目的は、研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の予測、研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認である(サイクル機構, 2002)。このため、研究坑道掘削中には、坑道壁面調査、地下水の流入量測定、地下水圧のモニタリング、地下水の水質のモニタリング、応力状態や岩盤変位の測定などが行われる。

第3段階の目的は、研究坑道からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握、深地層における工学技術の有効性の確認である(サイクル機構, 2002)。このため、物質移行試験、掘削影響試験(EDZ)などが行われる。

地表からの調査研究で取得される情報のうち、これらの調査研究計画の策定に必要な情報は、表2のとおりである。

表2 物質移行解析や研究坑道の設計などに必要な地質環境の情報

反映先	物質移行解析や研究坑道の設計などに必要な地質環境の情報
物質移行解析	概念モデル
	高透水性部(WCF)の幾何学的/鉱物学的特性
	流量
	地下水の移行経路
	移行経路長
	地下水の涵養域/流出域
	移行経路における流速
	移行時間
	透水量係数
	動水勾配
	高透水性部(WCF)およびマトリックス部の収着/拡散特性
	地下水の地球化学
計画・設計	立坑/坑道近傍の地質環境(岩相、構造、WCFなど)
	岩盤力学特性(強度、RQDなど)
	応力状態
	地下水流入量
研究計画の策定	地質構造モデル
	地下水の地球化学
	地下水の流量分布
	立坑/坑道周辺の水頭分布
	水理特性(WCF透水量係数、透水係数)
	応力状態
	EDZ(幾何学的分布、水理特性)
	熱特性
	岩盤力学特性
地質環境の把握	地域的な地質環境情報
	地質環境の推定と実測値の比較に用いる情報
	- 地質構造、岩相
	- 立坑への流入量
	- 観測孔における地下水圧低下
	- 応力状態、岩盤変位
	擾乱されていない地質環境(ベースラインコンディション)
	- 地下水圧分布
	- 地下水位分布
	- 井戸/温泉における流出量
	- 河川流量
- 涵養量	
- 井戸/地表水の地球化学特性	

#### **(4) 地質環境に関する基礎情報(初期状態を含む)**

本計画の意義のひとつとして、「人工的な擾乱を受けていない地質環境とその地質環境が研究坑道の掘削などにより変化していく状況について把握することが可能」があげられる(サイクル機構,2002)。施設建設による擾乱を受けていない地質環境特性の情報は,第1段階で取得され,それらは,施設建設に伴う人工的な擾乱を把握するための基礎情報となるとともに,第3段階で行われる調査・試験の試験場の状態の把握に必要とされるものである。地質環境に関する基礎情報(初期状態を含む)に必要な情報は,表2のとおりである。

## 5. 既存情報に基づく概念モデル

東濃地科学センターが、これまで、ウラン鉱床を対象とした調査、広域地下水流動研究、正馬様用地における超深地層研究所計画で取得してきた既存情報に基づき整理された土岐花崗岩の地質構造の概念モデルを図5に示す。

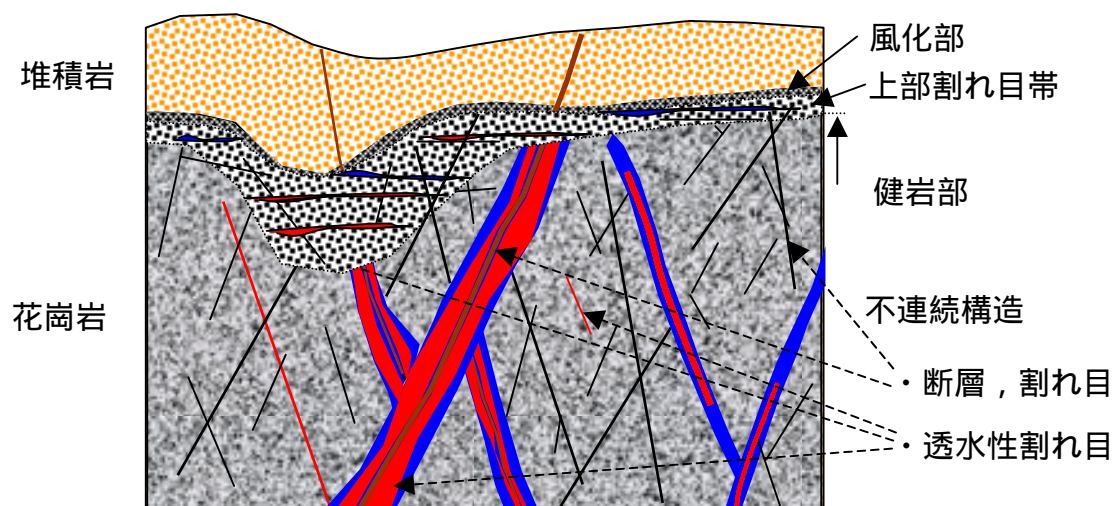


図5 地質構造の概念モデル(断面図)

地質構造の概念モデルの地質構造要素の地質および水理地質学的な主な特徴と、研究所用地周辺の地下水流動および地下水の水質の主な特徴は以下のとおりである。なお、広域地下水流動研究および超深地層研究所計画などで、これまでに把握された瑞浪超深地層研究所計画用地周辺の地質環境の概要は「参考」を参照して欲しい。

### (1) 地質構造および水理地質構造

#### 堆積岩

- ・ 基盤である後期白亜紀の土岐花崗岩を不整合で覆い、第三系の瑞浪層群および瀬戸層群が分布する(図1)。
- ・ 瑞浪層群は、下位から、土岐夾炭累層、明世累層、生俵累層に区分される。

#### 風化部

- ・ 土岐花崗岩と堆積岩の不整合面には、起伏の変化に富むチャンネル構造が存在する。研究所用地の西側では、このチャンネル構造は狭く、急勾配を示す(図6)。
- ・ 粘土変質作用や鉄酸化鉱物で特徴づけられる風化部の厚さは、1m程度である。熱水変質作用は、過去、主要な断層に沿って、酸化性の熱水流体が循環したことを示している。研究所用地に分布する土岐花崗岩は、風化部および熱水変質帯を除けば、深度方向への岩石・鉱物学的特長の大きな変化は認められない。

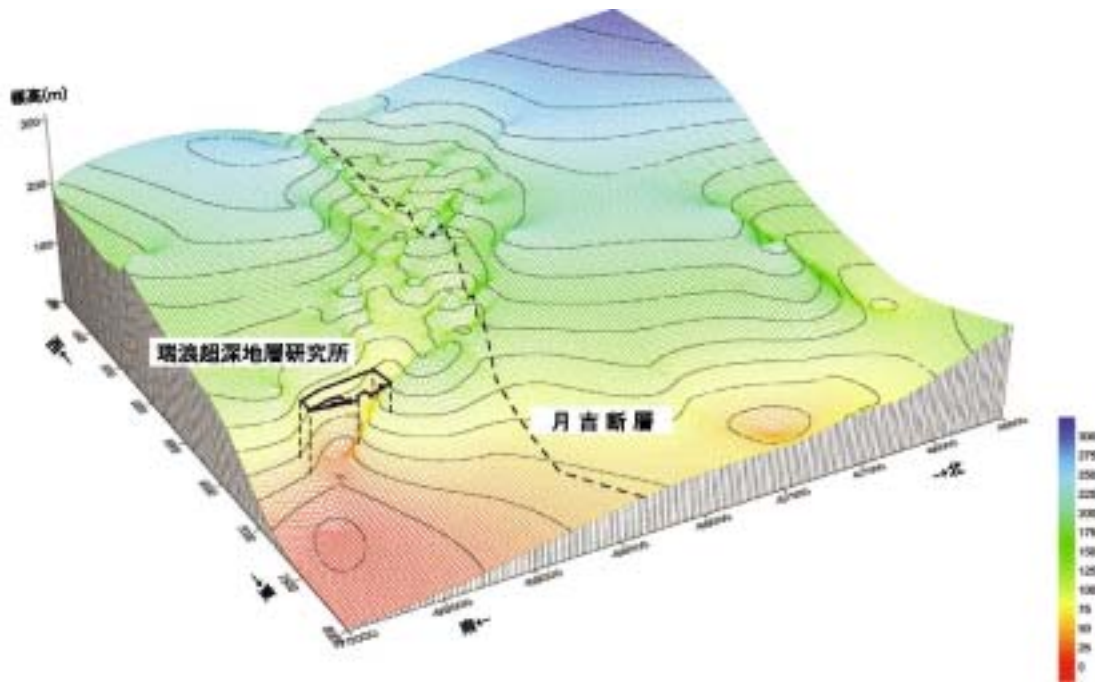


図6 不整合面の分布

上部割れ目帯および健岩部

- 花崗岩は、BTV 調査で得られた割れ目の累積頻度曲線により、割れ目が多い上部割れ目帯と、割れ目の少ない健岩部に区分される(図6)。透水係数の深度分布によると、上部割れ目帯と健岩部の境界付近である深度 400m以浅は  $10^{-8}$ m/sec オーダー、深度 400m以深は  $10^{-9}$ m/sec オーダーを示している。

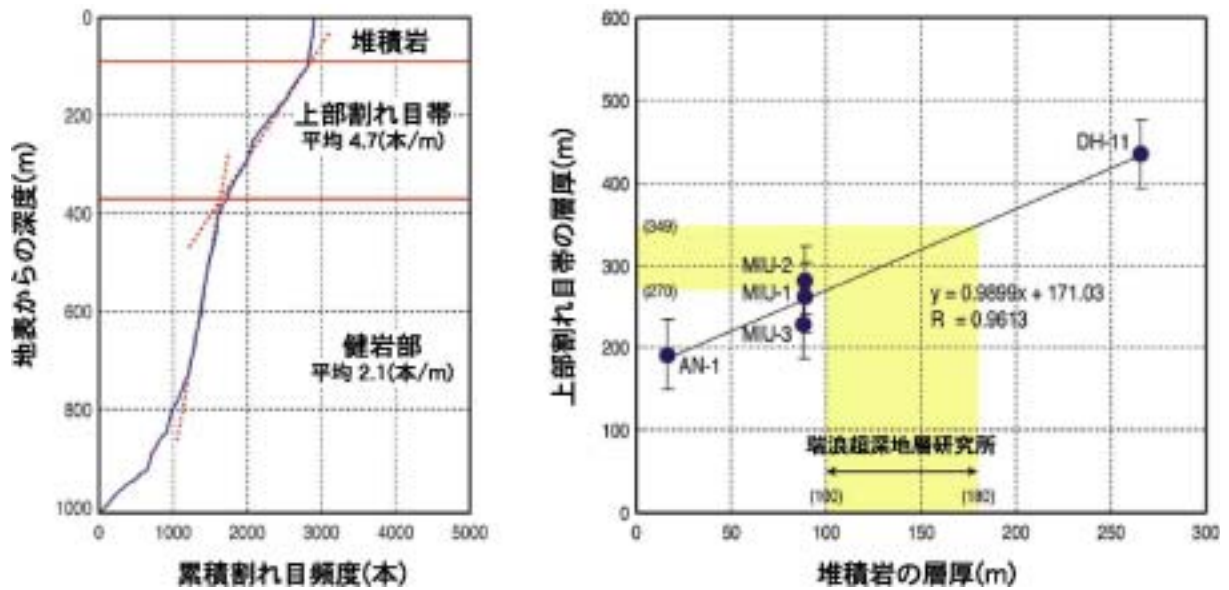


図7 上部割れ目帯



## 不連続構造

### a) 断層・割れ目

- ・ リモートセンシング結果から、北北西 - 南南東系、北西 - 南東系、北東 - 南西系、東西系のリニアメントが認められる(図8)。これまで広域地下水流動研究や超深地層研究所計画で行ってきた試錐調査で確認された断層の方向が、リニアメントの方向と一致することから、リニアメントは規模の大きな不連続構造である可能性が高い。
- ・ 北東 - 南西系および北西 - 南東系のリニアメントは約1km 間隔で、北北西 - 南南東系のリニアメントは約500m 間隔で分布する傾向が認められる。東西系のリニアメントは、日吉川と土岐川を囲む領域で多く、約500m 間隔で分布する。東西系のリニアメントは、月吉断層の周辺で多く認められる傾向がある(図8)。
- ・ 正馬様用地を横切る月吉断層は、断層コア部(遮水性を有する)と、その両側に約100m 幅で存在する断層に伴う割れ目帯から構成される。
- ・ 正馬様用地で行われたBTV 調査(MIU-1~3号孔、鉛直孔)によると、割れ目は、低角度割れ目、北東 - 南西走向、高角度南東傾斜、東西走向高角度南傾斜、北北東 - 南南西走向、高角度南西傾斜に区分される(サイクル機構, 2001a)。上部割れ目帯および断層に伴う割れ目帯における平均割れ目頻度は約5本/m、健岩部では約2本/mを示している。

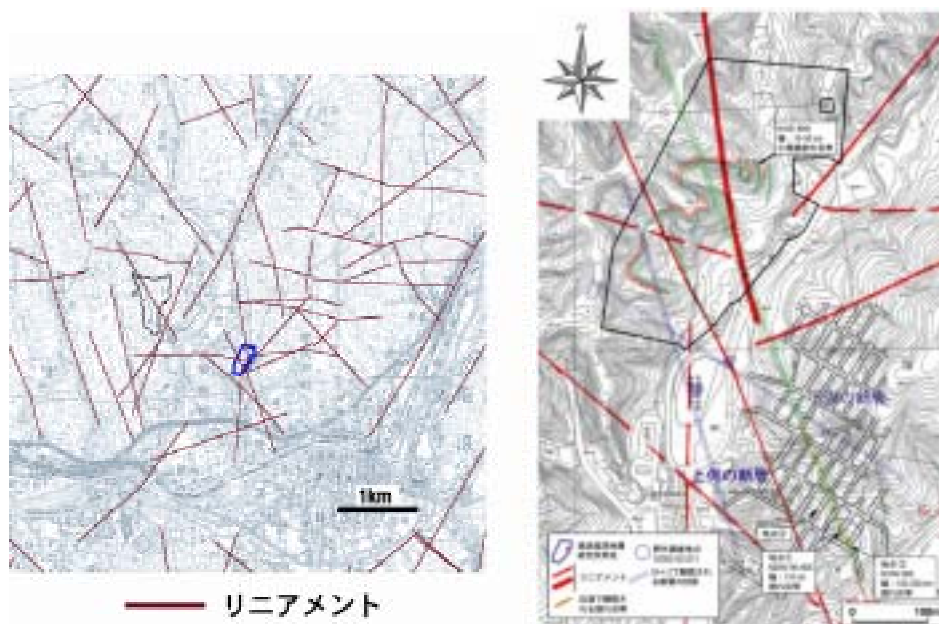


図8 研究所用地周辺のリニアメントおよび推定断層

## b) 透水性割れ目

- ・ 透水性割れ目を多く含むゾーンとして、上部割れ目帯と断層に伴う割れ目帯があげられる。
- ・ 上部割れ目帯の平均的な透水性は  $10^{-8}$ m/sec オーダーであり、その下部の健岩部の透水性 ( $10^{-9}$ m/sec オーダー) より1オーダーほど大きい値を示す。上部割れ目帯には、流体検層で流出ポイントとして検出される低角度の開口割れ目が存在し、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ m/sec オーダーの透水性を示す。
- ・ 主要な不連続構造のうち、北北西 - 南南東走向と北西 - 南東走向の不連続構造は、相対的に低い透水性(順に、 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ m/sec オーダー、 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ m/sec オーダー)を示す。

## (2) 地下水流動

- ・ 研究所用地周辺の地下水は、地形に依存し、概ね北東から南西の方向に流れている(図9)。
- ・ 土岐花崗岩中の地下水の起源は、酸素・水素の安定同位体比から降水起源であることが確認されている。花崗岩浅部の地下水は、地表水と堆積岩中の地下水の中間的な化学組成を示すことから、花崗岩浅部の地下水は、およそ 13,000 ~ 15,000 年前に涵養した堆積岩中の地下水より滞留時間が短いと推定される。また、地下水と河川水の  $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$  と  $\text{Cl}$  の関係から、北側の試錐孔で採水された地下水より、涵養域側の試錐孔で採水された地下水の方がより  $\text{Cl}$  濃度が高く、かつ滞留時間が長いと推定される。

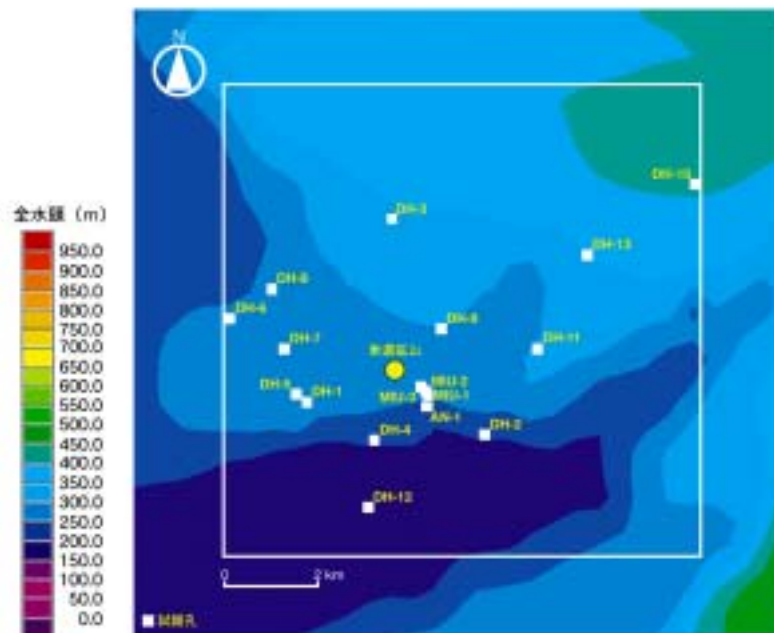


図9 研究所用地周辺の地下水流動(サイクル機構, 2000)  
(標高-1,000mにおける地下水の全水頭分布(解析結果))



### (3) 地下水の水質

- ・ 堆積岩中の地下水は、深度方向に Na-Ca-HCO<sub>3</sub> 型から Na-HCO<sub>3</sub> 型に変化する。深度方向への Na<sup>+</sup>およびアルカリ度の増加および Ca<sup>2+</sup>の減少は、方解石や長石の溶解やスメクタイトのイオン交換反応などの水 - 岩石反応によるものと考えられる(図 10)。
- ・ 土岐花崗岩の浅部(深度 300m 以浅)の地下水は Na-Ca-HCO<sub>3</sub> 型で、中性(pH7)かつ酸化性(Eh>0mV)の地下水であるのに対し、深部(深度 300m 以深)の地下水は、Na-HCO<sub>3</sub>型で、弱アルカリ性(pH9)かつ還元性(Eh<-300mV)の地下水である(図 11)。深度方向への Na<sup>+</sup>およびアルカリ度の増加および Ca<sup>2+</sup>の減少は、方解石や長石の溶解やスメクタイトのイオン交換反応などの水 - 岩石反応によるものと考えられる。
- ・ 堆積岩と土岐花崗岩の境界である不整合を貫く試錐孔で取得されたデータによると、酸化還元境界は、おおむね不整合の位置と一致し、堆積岩中の還元性の地下水は、花崗岩浅部で相対的に酸化性の地下水に変化する。
- ・ 土岐川近傍で掘削された試錐孔(DH-12 号孔)において、上記の地下水と異なる、Na-Cl 型の地下水が確認されている(図 11)。Na-Cl 型の地下水が存在した場合、研究坑道を掘削することによる地下水流動の変化により、Na-HCO<sub>3</sub> 型と Na-Cl 型の地下水の混合が予想される。

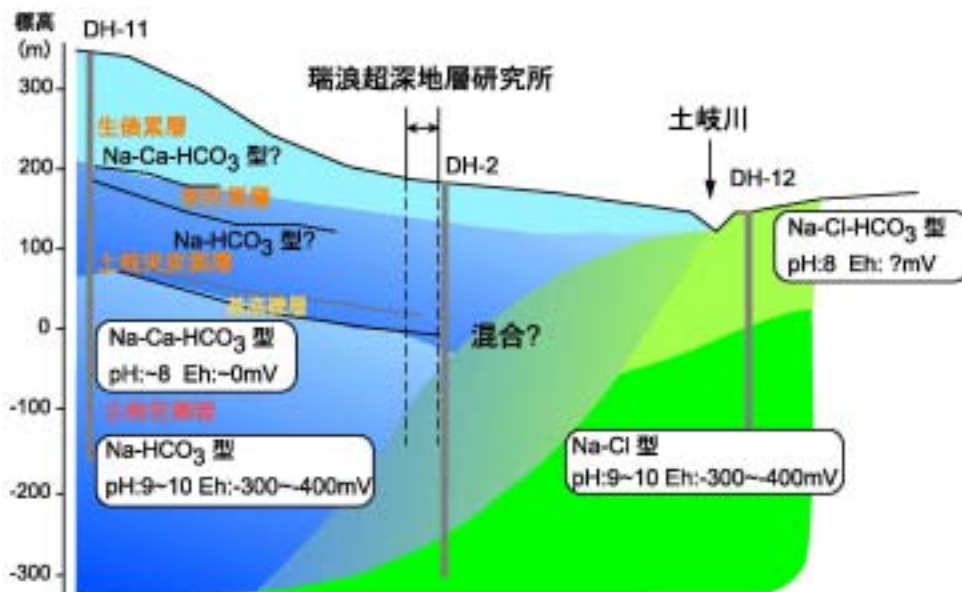


図 10 地下水の水質の概念図

## 6. 適用する調査・試験

これまでの広域地下水流動研究や超深地層研究所計画の調査結果に基づき構築した概念モデルを確認するとともに、地質・地質構造、水理地質構造、地下水の地球化学、岩盤力学の各モデルを構築するために今後実施する調査・試験を整理した。

### (1) リモートセンシング

リモートセンシングで得られるリニアメントについては、これまでの広域地下水流動研究や超深地層研究所計画において、断層などの地下構造との関連は十分把握されていないものの、LANDSAT 画像、SPOT 画像、空中写真から、断層に由来すると推定される地形や線構造(リニアメント)を抽出することが可能である。抽出されたりニアメントを断層と認定するためには、地表地質踏査、トレンチ調査、試錐調査で断層の存在を確認することが必要となるが、「SPOT 画像で判読されるリニアメントのトレース長が3km以上の場合、そのリニアメントが断層である確率は 100%である」(井上ほか、1976)という知見が存在する。これまでに、広域地下水流動研究などでリモートセンシングが行われているが、調査の初期の段階で、再度、詳細なりモートセンシングを行い、対象とする領域に存在するリニアメントの方向や密度を再確認し、次の調査段階で地下構造との関連を確認していくことが必要である(表3)。

### (2) 地表地質調査

地表地質調査としては、地表に存在する露頭を調査する方法と、トレンチを掘って調査を行う方法が存在する。このうち、後者については、本地域では社会的な状況から行うことができないだけでなく、本地域は基盤の花崗岩を新第三系の堆積岩が被覆するため、花崗岩の露頭には限りがある。また、大規模な断層の露頭はまれである。そのため、本調査では、地質・地質構造のモデル化の基礎となる割れ目の情報を、研究所用地周辺で取得することを目的として行う。

### (3) 反射法弾性波探査

反射法弾性波探査は、概念モデルで示した花崗岩と堆積岩の境界をなす不整合面、および堆積構造を切断し、鉛直方向に数 m 程度以上のずれを生じさせている断層の存在と位置を確認することを目的に行う。これまで広域地下水流動研究や超深地層研究所計画で行ってきた反射法弾性波探査では、鉛直方向に 30m のずれがあると推定されている月吉断層のほか、それより小さなずれの断層も一部、検出されている。ただし、数 m 程度より小さなずれの断層や、規模が大きくても水平方向の移動量が大きな断層については検出することができない。

また、概念モデルで示した上部割れ目帯がどの程度の深度まで存在するのか推定することを目的として反射法弾性波探査を行う。正馬様用地で行った反射法弾性波探査では、花崗岩不整合付近に存在する上部割れ目帯(割れ目の頻度が高い、低角度の割れ目が卓越、高透水性という特徴を有する区間)と、その下部の健岩部(割れ目の頻度が低い、高角度の割れ目が卓越、低透水性という特徴を有する区間)で、振幅の現れ方が異なる(上部割れ目帯で比較的強い振幅が現れる)ことがわかっている。

#### (4) 試錐孔調査

##### 浅層試錐調査

浅層試錐調査では、表層部(堆積岩,花崗岩風下部)の堆積構造,風化層の分布や,岩盤の岩石・鉱物学的特徴,透水性,地下水の水質に関するデータを取得するために行う。また,浅層試錐調査を斜孔で行うことにより,堆積岩部の断層の位置を確認する。さらに,深層試錐孔では,通常,試錐孔の補孔のため,堆積岩部までケーシングを入れることになるため,堆積岩部の地下水圧のモニタリング孔としても用いることが難しい。そのため,浅層試錐孔により地下水モニタリング装置を設置することにより,表層部の地下水圧モニタリングを行う。

##### 深層試錐調査

深層試錐調査(鉛直および斜孔)は,試錐孔と交差する基盤花崗岩の岩石・鉱物学的な特徴,不連続構造(断層,割れ目など)の位置,幾何学的特徴,岩石・鉱物学的特徴など,透水性割れ目(water-conducting features,以下,WCF)の幾何学的特徴,岩石・鉱物学的特徴などや,それぞれの岩盤や不連続構造,WCFの透水性,地下水の水質,岩盤力学特性のデータを取得するために行う。これらのデータは,試錐孔の方向(sampling bias)を考慮した上で,地質環境のモデル化に用いる。

#### (5) VSP 調査

地表に振源を置き,試錐孔内で反射波を受信する反射法弾性波探査の一種であり,試錐調査結果と対比することで,試錐孔地点における反射波と試錐孔と交差した地質構造の対応を検討するために行う。

#### (6) 孔間トモグラフィー調査

孔間トモグラフィー調査は,試錐孔間の不連続構造の幾何学的特徴,規模の大きな断層とその周辺の岩盤のコントラストが検出される可能性がある。これらのデータは,試錐調査結果,VSP調査の結果とあわせて,不連続構造を段階的に確認する。ただし,孔間トモグラフィー調査が可能な試錐孔間距離に限りがある(数十m~数100m程度)あるため,適用する範囲はブロックスケール(研究所用地)が対象となる。

#### (7) 孔間水理試験

孔間水理試験では,試錐孔間の水理学的な連続性を直接確認できるだけでなく,試錐孔間の水理特性のデータを取得するために行う。また,本試験に先立って行う調査・試験データで構築する水理地質構造モデルの妥当性の確認やモデルのキャリブレーションに用いる。

#### (8) 長期モニタリング

試錐調査後に設置するモニタリング装置を設置し,連続,あるいは定期的な観測と行うことにより,立坑掘削前の地下水圧および地下水の水質のベースラインデータを取得する。

#### (9) 室内試験

岩石試料を用いた室内試験は,岩石学的調査,鉱物学的調査,地球化学的調査,放射

年代測定, 空隙特性調査, 物理特性試験, 力学物性試験, 初期応力測定からなる。

岩石学的調査では, 光学顕微鏡, X線回折, 蛍光X線分析などを用いて, 花崗岩の岩石学的な特性(鉱物組成, 粒度分布など), 割れ目充填物と母岩変質部の鉱物学組成, 構造地質学的特性(岩石組織)などを把握する。

鉱物学的調査では, 光学顕微鏡, 電子顕微鏡, EPMA を用いて, 割れ目充填鉱物の共生関係に関する情報などを取得する。

地球化学的調査では, 蛍光 X 線, イオンクロマトグラフ, ICP - MS, 湿式分析を用いて, 花崗岩と割れ目充填鉱物の主成分と希土類を含む微量元素を分析することにより, 水 - 岩石反応の解析に必要な情報を取得する。また, 質量分析法により得られた割れ目充填鉱物の安定同位体組成は, 水みちの形態や年代のデータとあわせて, 水みちの形成過程を理解する。さらに CEO 測定,  $^{238}\text{U}$  系列の放射非平衡試験の結果は, 水みち近傍における物質移行/遅延現象を理解する。

割れ目充填物に含まれる粘土鉱物, 炭酸塩鉱物, ジルコン, アパタイトの年代測定は, 水みちの起源と形成過程を理解する。

空隙特性調査では, 母岩における水銀注入法を用いた空隙率測定, 破砕帯における樹脂注入および顕微鏡観察により, 水みちの概念モデルを構築するために必要な水みち近傍の微視的な空隙構造を理解する。

物理特性試験では, 母岩あるいは母岩変質部の見かけ比重, 有効空隙率, 含水比, 弾性波速度(P 波, S 波)の情報を取得する。

力学物性試験では, 一軸圧縮試験により一軸圧縮強度, ヤング率, ポアソン比が, 圧劣試験により圧劣引張強度, 三軸圧縮試験により粘着力, 内部摩擦角を得る。

AE/DRA 試験では, 初期応力に関する情報を取得する。

表3 調査・試験

調査・試験 今後、必要な地質環境の確認事項		リモートセンシング	地表地質踏査	反射法弾性波探査	試錐調査(鉛直孔、斜孔)							室内試験		
					コア観察・物理検層	水理試験・流体検層	地下水の採水・分析	初期応力測定	VSP調査	孔間トモグラフィ	孔間水理試験		長期モニタリング	
堆積岩	- 拡がり		++	+	++				+	+				
	- 層序		+		++									
	- 透水性					++					+	---		
	- 地下水の化学特性						++							
	- 力学特性							++					++	
風化部	- 拡がり		+		++				+	+				
	- 岩石・鉱物学的特長				++								++	
	- 透水性					++					+	---		
	- 地下水の化学特性						++							
	- 力学特性							++					++	
上部割れ目帯	- 拡がり			+	++				+	+				
	- 岩石・鉱物特性				++								++	
	- 透水性					++					+	---		
	- 地下水の化学特性						++							
	- 力学特性							++					++	
健岩部	- 拡がり			---	++				---	---				
	- 岩石・鉱物学的特長				++								++	
	- 透水性					++					---	---		
	- 地下水の化学特性						++							
	- 力学特性							++					++	
不連続構造	断層、割れ目													
	- 位置/拡がり/方向	+	+	+	++					+	+			
	- 岩石・鉱物学的特長				++								++	
	- 透水性					++					+	---		
	- 地下水の化学特性						++							
	- 力学特性							++					++	
	高透水性部													
	- 位置/拡がり/方向				++				---	---	+			
	- 岩石・鉱物学的特長				++									
	- 幾何学的特長/間隙率/鉱物学的特長												++	
	- 拡散/収着特性												++	
	- 透水性					++					++	---		
- 地下水の化学特性						++				+				
間隙水圧分布					+						+	++		
熱勾配					++									

空端：検出，特徴を確認することは不可能  
 ---：場合によっては検出，特徴を確認することが可能  
 +：検出，特徴を確認することに有効  
 ++：検出，特徴を確認することに非常に有効

## 7. 調査研究コンセプト

### 7.1 調査研究のアプローチ

地質環境特性に関する研究を行う場合、岩盤の不均質性を考慮した調査研究のアプローチが重要である。しかしながら、不均質な岩盤から取得した限られた量・品質のデータに基づく地質環境モデル(例えば、水理地質構造モデル)の構築には任意性があり、そのモデルを用いた解析結果(例えば、地下水流動解析結果)には不確実性が含まれる。また、データが限られてくることに起因して、様々なデータの解釈やモデル化・解析の方法が適用され、これが地下水流動解析結果などの不確実性を増幅する原因ともなっており、ともすれば解析結果の不確実性や解釈の不確実性のために有効な調査が実施できずデータの不確実性を生ずることとなる。さらに、性能評価への展開を考えた場合、上述した不確実性に加えてモデルの簡略化に伴う不確実性や核種移行特性の不確実性が加味されることになる(図 11)。理想的には、原位置データ、データの解釈、地質環境のモデル化の各段階における不確実性を定量的に評価するとともに、評価全体にわたる不確実性の影響の伝播を分析し、それぞれの不確実性の影響度と重要な不確実性要因の種類についての検討を繰り返し行い不確実性の要因を洗い出すとともに、不確実性の低減に資する効果的な取り組みが必要となる。そのため、以下に示す2つの考え方を基本に、調査研究を進める。

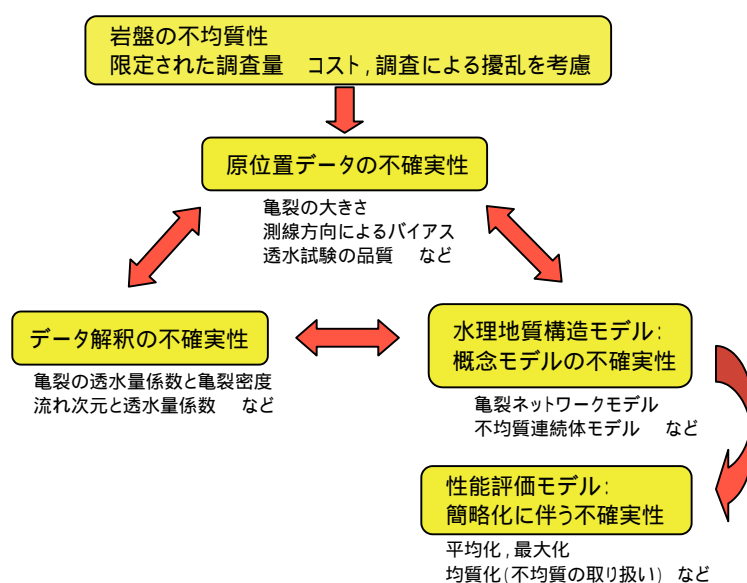


図 11 地質環境の把握に関わる不確実性


#### (1) 統合化データフロー

正馬様用地における調査研究において、調査研究の全体の戦略とゴールを明確にしつつ全体の体系化と、各分野の知見の統合を図るため、先行事例を参考にして(Nagra, 1999)、調査開始からデータ解釈、地質環境のモデル化を通して評価に至るまでのデータ

の流れと成果の反映項目を系統的に整理した統合化データフローを構築している(図 12)。

花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究を進めるにあたっては、正馬様用地で構築された統合化データフローを参考に構築する。これらの統合化データフローに沿って調査研究の成果の統合化を進めるとともに、必要に応じて、統合化データフローを改良する。これらの知見により、地表からの調査・解析の統合化の方法を例示することとなる。

図 12 統合化のデータフローの例(地質・地質構造)

(  :地質・地質構造のデータフローに直接関係する部分)

## (2) 繰り返しアプローチ

花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究では、対象となるスケールは広域から段階的に調査研究を進める。また、調査も目的に応じて地表踏査、物理探査、試錐調査と段階的に推移し、試錐調査は単孔から多孔間と調査が進展する。これらの過程を通して得られる地質環境特性に関するデータの種類と数量は、段階的に増加する。調査の進展に応じて統合化データフローを更新しつつ、データやその解釈の不確実性を考慮して地質環境をモデル化し評価項目を定量化する。重要度が高く現実的に不確実性の低減に寄与する項

目を統合化デフローに基づき抽出し、次の調査計画へ反映させる。これらのアプローチを調査の進展に応じて繰り返し実施することで、不確実性の低減に向けた合理的な調査と評価の体系を段階的に例示することとなる(図 13)。

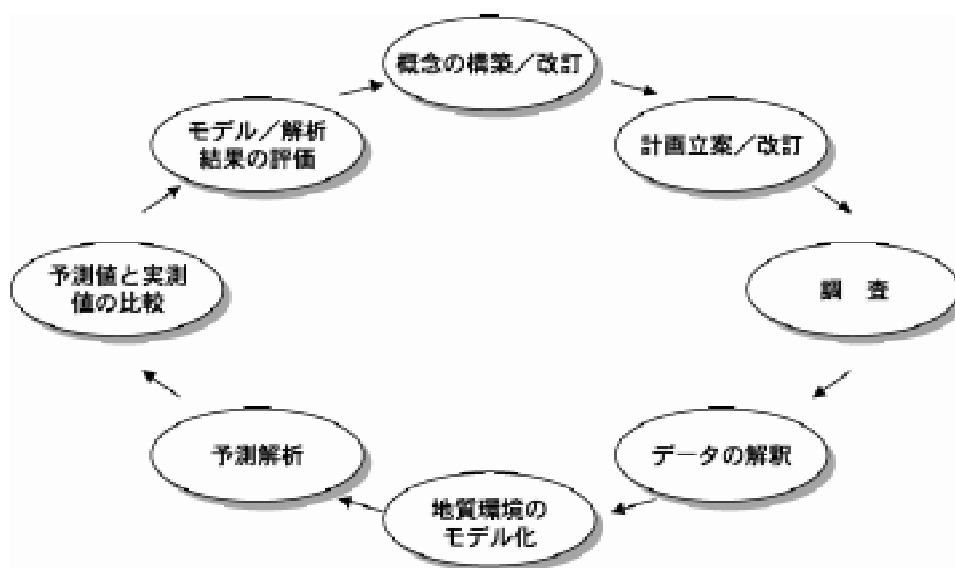


図 13 調査ステップごとの調査・解析・評価の繰り返しアプローチ

## 7.2 スケール

地質環境特性に関する研究の成果は、処分事業における各段階の技術基盤となるよう、深部地質環境の調査・解析手法の基盤の整備を行うとともに、安全基準等の整備に対する技術基盤とする必要がある。そのため、対象とする地質環境の範囲と、建設する地下研究施設の大きさを踏まえ、海外の研究事例(Gustafsson G. et.al., 1991)を参考に、以下に示すような広域、ローカル、ブロックスケールにわけて、地表からの調査研究を進める(図 14)。これらの調査研究により、広域スケールから順に、対象とする地質環境を絞るとともに、段階的に調査の精度を上げながら、調査で取得する情報量と地質環境の理解の程度の関係に関する知見を得る。これらを通じて、使用した調査・解析手法の適用性の評価を例示することができる。

### - 広域スケール(数十 km 四方以上)

本研究に関わる地表からの調査研究では、ローカルスケールの対象領域および境界条件を設定することを目的とし、文献調査および既存データに基づく地形解析などにより感度解析的に地下水流動解析を行う。この解析・評価を通じて、サイト特性調査を展開すべきローカルスケールの対象領域や境界条件の設定に関する手法の適用性を例示するこ



ととなる。

- ローカルスケール(数 km 四方)

本スケールは、研究所用地を囲む、地下水の涵養域から流出域を含む範囲である。本スケールを対象とした地表からの調査研究では、水理特性に関する評価項目として、地層処分システムの安全性を評価する上で重要と考えられるパラメータ、並びにブロックスケールの境界条件を設定するために重要と考えられるパラメータとして、地下水の移行経路、流量分布、ブロックスケールの領域の地下水流動場(水頭・流量分布)などを設定し、段階的に行う調査研究の計画立案、データの解釈、地質環境のモデル化および評価を通して、地質環境の理解の程度を確認していく。この過程を通じて、地表からの調査研究で最も重要なローカルスケールにおける調査・解析手法の適用性を評価することとなる。

- ブロックスケール(数百 m 四方)

本スケールは、ローカルスケールで構築した地質環境モデルを、実際に研究坑道や研究坑道から行う試錐調査などにより得られた情報で評価するための領域と位置づける。なお、本スケールの対象領域の範囲は、地表からの調査研究で取得される地質環境の情報と、第2段階および第3段階で扱う各分野の課題を基に設定するため、その範囲については、今後行う第2段階および第3段階の調査研究の具体化と並行して行っていく。

これらのスケールのうち、広域スケールおよびローカルスケールを対象とした調査研究は主に広域地下水流動研究で、ブロックスケールを対象とした調査研究は主に超深地層研究所計画で行っており、それぞれの研究成果は相互に活用していく。

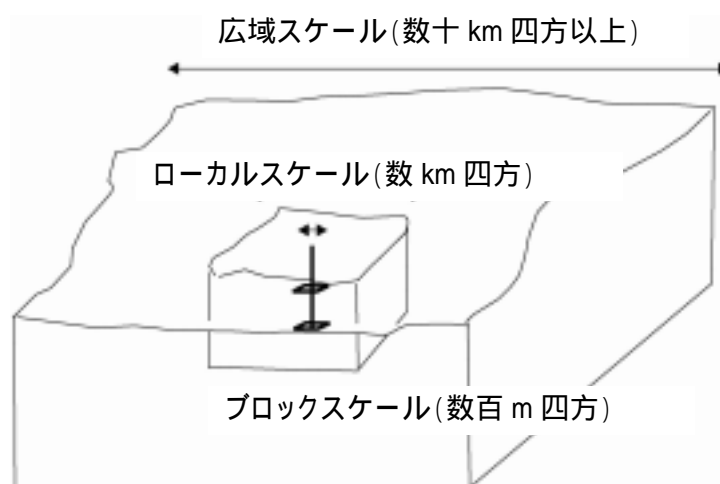


図 14 スケールの概念

### 7.3 調査研究ステップ

今後、概念モデルの確認、地質・地質構造、水理地質構造、地下水の地球化学、岩盤力学の各分野のモデルを構築するために必要な、地表からの調査研究の概念を以下に示す(図 15)。

#### ステップ1: 広域スケールにおける地下水流動解析

広域スケールでの地下水流動を理解し、ローカルスケールの解析領域および境界条件を設定することを目的とし、文献調査および地形解析結果に基づき、地形、断層、および断層やモデルに設定する各地質の水理パラメータや境界条件に着目し、地下水流動解析(感度解析)を行う。この結果から、地下 1,000m の地下水の涵養域から流出域を含む1つの地下水流動系を包含する範囲を、ローカルスケールの領域の地下水流動場を対象領域として設定する。なお、本ステップは、地表からの調査研究の考え方と進め方の検討と同時並行して進められている。

#### ステップ2: 既存情報等に基づく地質環境のモデル化

ステップ1で設定したローカルスケールの対象領域において、既存情報に基いたローカルスケールの地質環境モデルを構築する。また、このモデルを用い、地下水流動解析を行う。この際、水理特性に関する評価項目として、地層処分システムの安全性を評価する上で重要と考えられるパラメータ、並びにブロックスケールの領域の地下水流動場を推定するために重要と考えられるパラメータとして、地下水の移行経路、流量分布、水頭分布を設定し、ステップ3以降に行う調査研究計画の立案(反射法弾性波探査や試錐孔調査の位置や調査内容)、さらには、調査により得られたデータの解釈、地質環境のモデル化および評価を通して、地質環境の理解度を確認していくこととなる。

#### ステップ3: 反射法弾性波探査、浅層試錐調査、既存試錐孔における調査などに基づく地質環境のモデル化

研究所用地およびその周辺の地質構造(断層などの不連続構造、堆積岩と花崗岩の不整合面の形状、上部割れ目帯、堆積構造、など)に関する情報を取得するため反射法弾性波探査を行う。また、堆積岩から花崗岩風化部までを含む浅層部(以下、浅層部)の地質環境(地質・地質構造、地下水流動、地下水の地球化学)を把握するため、また研究所用地内に存在が想定されている北北西 - 南南東系の断層などの有無と位置を確認するため、研究所用地で浅層試錐調査を行う。さらに、研究所用地近傍の既存試錐孔を利用して、地下約 500m までの地質・地質構造、岩盤の水理、地下水の水質、岩盤力学に関する情報を取得する。これら浅層部、および研究所用地近傍の約 500m までの地質環境の情報に基づき、ローカルスケールの地質環境モデルの更新およびブロックスケールの地質環境モデルの構築を行う。調査を行った浅層試錐孔と既存試錐孔は、必要に応じてモニタリング孔として用いる。

#### ステップ4: 反射法弾性波探査および深層試錐調査等に基づく地質環境のモデル化

本ステップは2つのステップに区分される。最初のステップでは、ステップ3の結果を踏まえ、研究所用地およびその周辺の地質構造、地下水流動、地下水の地球化学特性を把握する

ため、深層試錐調査を行う。さらに、次のステップでは、研究所用地周辺で2回目の反射法弾性波探査を行い、その情報に基づき深層試錐調査を行う。これらの深層部の地質環境の情報に基づき地質環境モデルを更新する。

研究所用地周辺の地下水の流れは概ね北東から南西の方向であること、研究所用地南側(土岐側近傍)ではNa-Cl型の地下水が分布している(概念モデル参照)ことなどから、研究所用地周辺で行う深層試錐調査は研究所用地の北側と南側に配置する。これらの試錐孔は、研究坑道掘削による地下水流動への影響などをモニタリングすることに利用する。また、概念モデルと地質構造モデルで想定されている、研究所用地と交差する不連続構造の位置や特性などを確認するため、研究所用地内で深層試錐調査を行う。

#### ステップ5: 孔間トモグラフィー、孔間水理試験等に基づく地質環境のモデル化

研究所用地近傍の既存試錐孔および研究所用地で掘削した深層試錐孔を用いて、孔間トモグラフィーおよび孔間水理試験を行い、地質環境モデルの更新を行う。

なお、プロジェクトの品質管理という観点では、各ステップの成果をレビューし、次のステップに進むことが妥当であることを判断した後で、次のステップに進むべきではあるが、時間的な制約のため、各ステップを同時並行的に進めなければならない。そのため、適宜、その時点まで得られた成果の取りまとめ状況の質を勘案しつつ、次のステップへ知見を反映することが必要である。

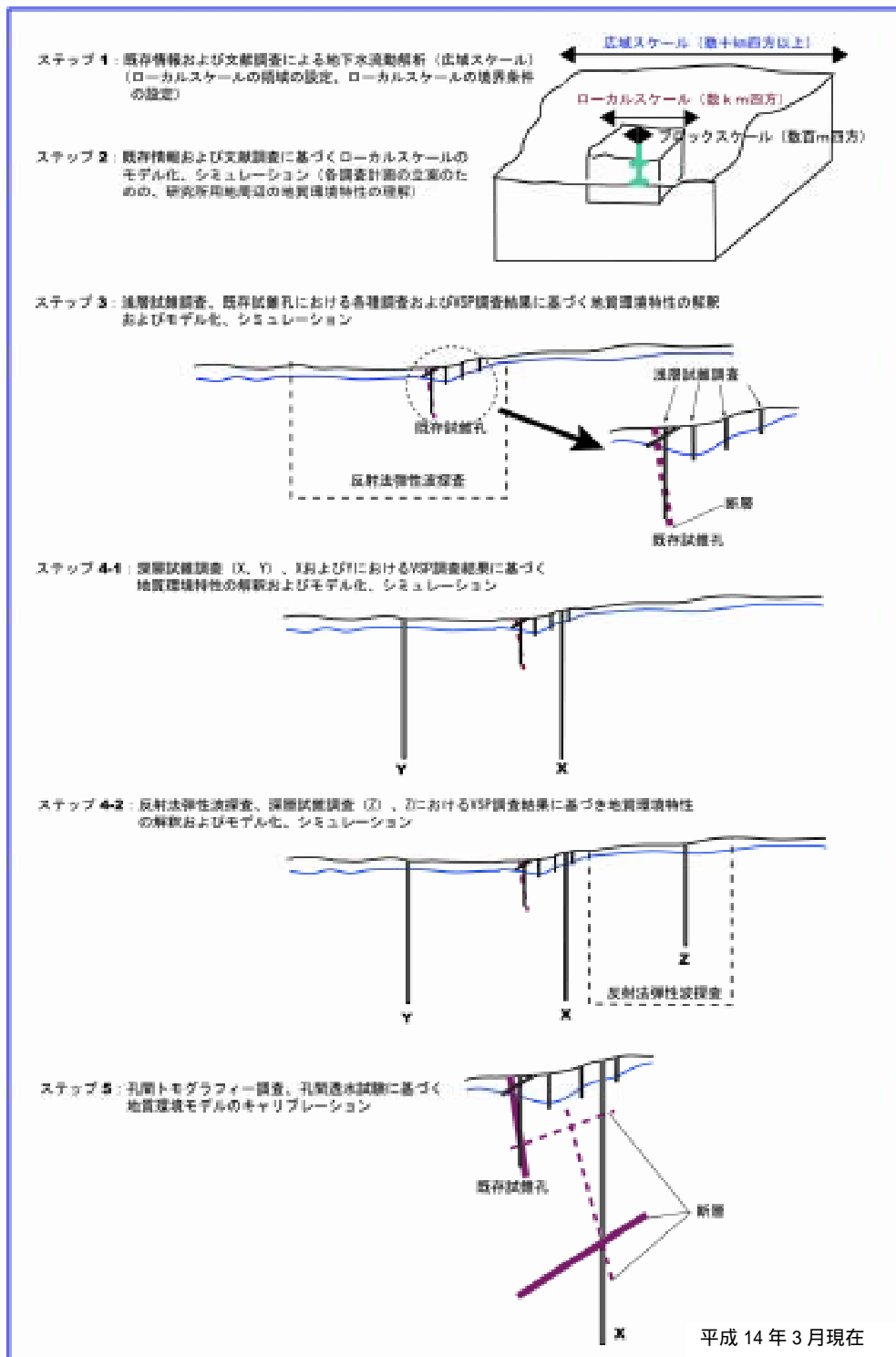


図 15 調査ステップの概念

## 参考文献

Gustafsson G., Liedholm M, Rhen I., Stanfors R. and Wikberg P. (1991) :Aspo Hard Rock Laboratory. Predictions prior to excavation and the process of their validation, SKB Technical Report 91-23.

井上大栄, 水落幸広, 桜田裕之 (1992) :リニアメントの断裂系としての特性とその評価, 応用地質, Vol.33-3, pp.147 ~ 156.

核燃料サイクル開発機構 (2000) :広域地下水流動研究の現状 - 平成 4 年度 ~ 平成 11 年度 - , サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2000-014.

核燃料サイクル開発機構 (2001a) :超深地層研究所計画の現状 - 平成 8 年度 ~ 平成 11 年度 - , サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-001.

核燃料サイクル開発機構 (2001b) :広域地下水流動研究年度報告書 (平成 12 年度) , サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-017.

核燃料サイクル開発機構 (2002) :超深地層研究所地層科学研究基本計画 2002 年 2 月, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018.

小出 馨, 前田勝彦 (2001) :東濃地域を対象とした広域地下水流動研究の現状 (その 2) , サイクル機構技報, No.12, pp.107-122.

国土地理院編 (1990) :日本の水平地殻ひずみ (1983 ~ 1985 年) .

中野勝志, 大澤英昭 (2001) :超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階の現状, サイクル機構技報, No.12, pp.91-106.

Nagra (1999) :Synthesis of the geological investigations at Wellenberg, Nagra Bulletin, No 32.

OECD/NEA (2001) :The Role of Underground Laboratories in Nuclear Waste Disposal Programmes, p.42.

## 参考

「広域地下水流動研究および超深地層研究所計画などで把握された  
瑞浪超深地層研究所計画用地周辺の地質環境の概要」

東濃地科学センターが、これまで、ウラン鉱床を対象とした調査、広域地下水流動研究、正馬様用地における超深地層研究所計画で取得してきた既存情報に基づき、研究用地およびその周辺の地質環境特性を整理した。図1、図2に土岐花崗岩の地質構造の概念モデルと地質構造モデルを示す。なお、本内容は、「地表からの調査研究の考え方と進め方」を検討する時点(平成14年3月頃)のものである。

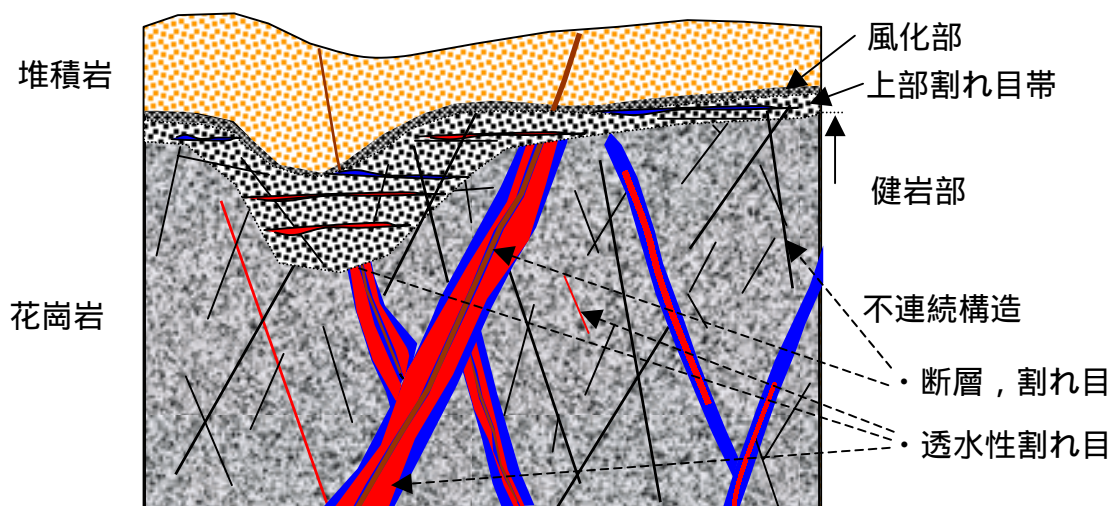


図1 地質構造の概念モデル(断面図)

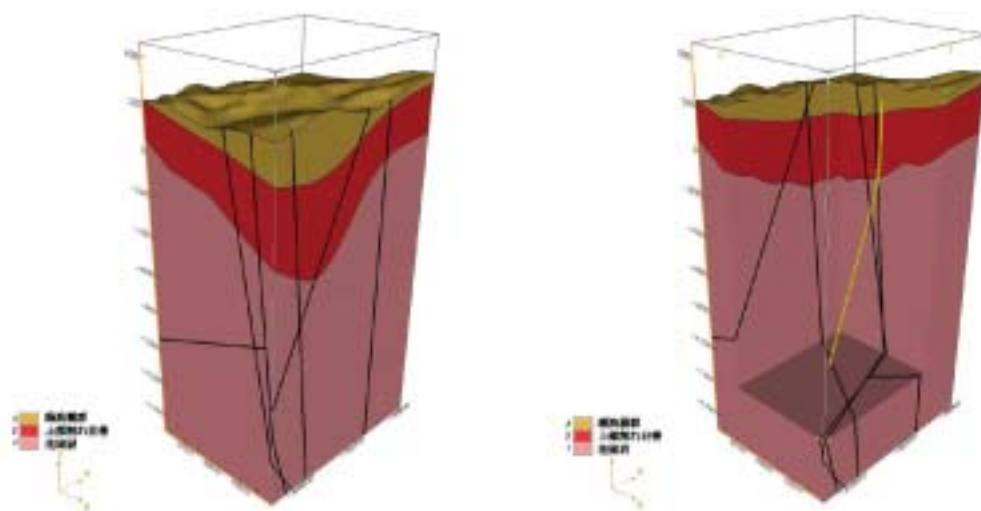


図2 地質構造モデル

研究所用地およびその周辺の地質環境特性は以下のとおりである。

(1) 地形

- ・ 研究所用地周辺の地形勾配はおおよそ約5%であり、北東から南西に傾斜する(図3)。研究所用地周辺には、土岐川、日吉川、柄石川と、それらの支流が存在する。土岐川流域をのぞけば、最も広い流域を有するのは日吉川である。
- ・ 研究所用地には、その西側の北北東 - 南南西方向にのびる主要な尾根が侵食されることにより形成された小さな尾根、谷が存在する。

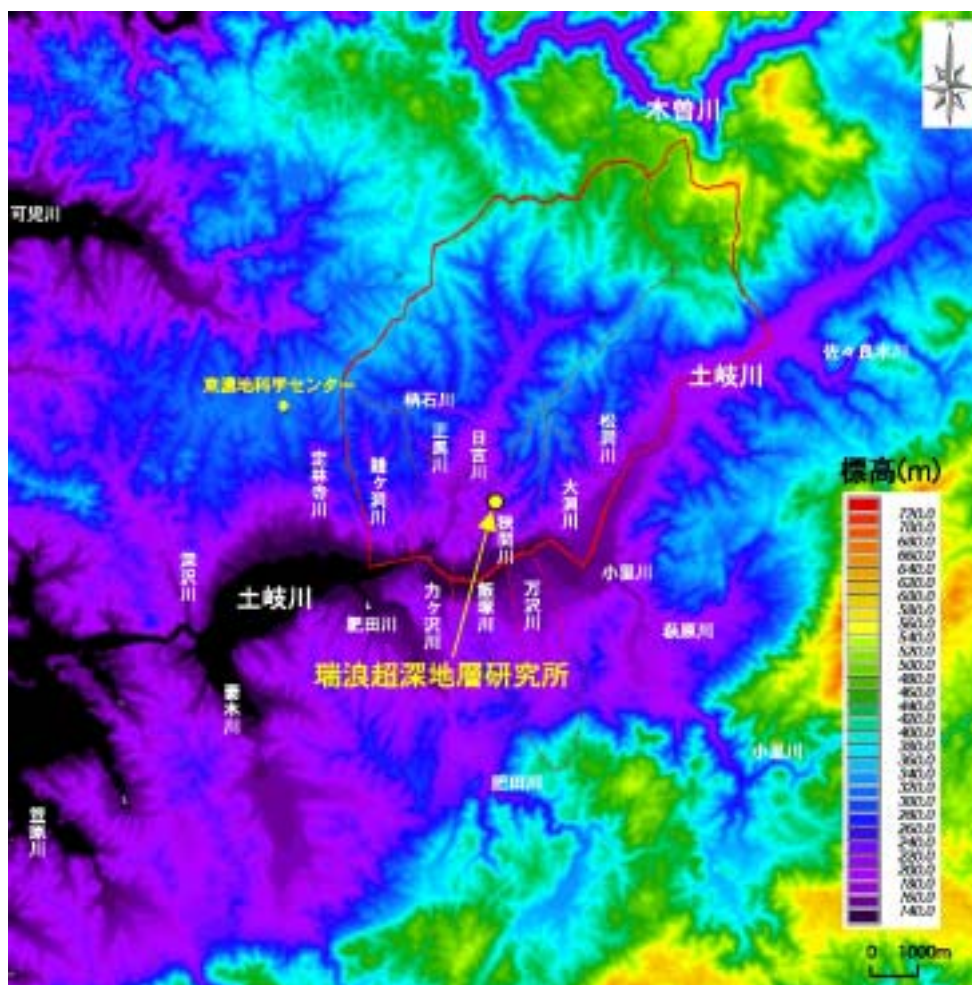


図3 研究所用地周辺の地形

(2) 地質構造および水理地質構造

堆積岩

- ・ 基盤である後期白亜紀の土岐花崗岩を不整合で覆い、第三系の瑞浪層群および瀬戸層群が分布する(図4)。その層厚は 100mから 180m程度である。
- ・ 瑞浪層群は、下位から、土岐夾炭累層、明世累層、生俵累層に区分される。土岐花崗岩の侵食により形成されたチャンネル構造に沿って分布する土岐夾炭累層下部の基底礫岩層には、ウラン鉱体が存在する。



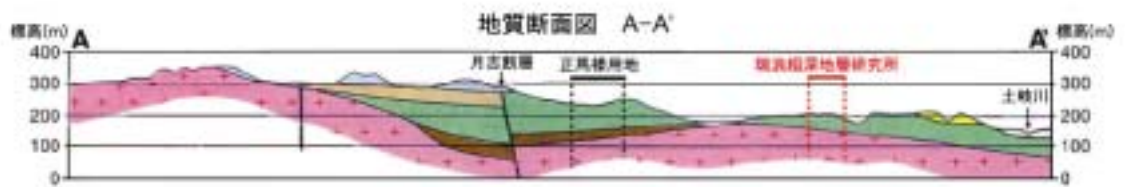
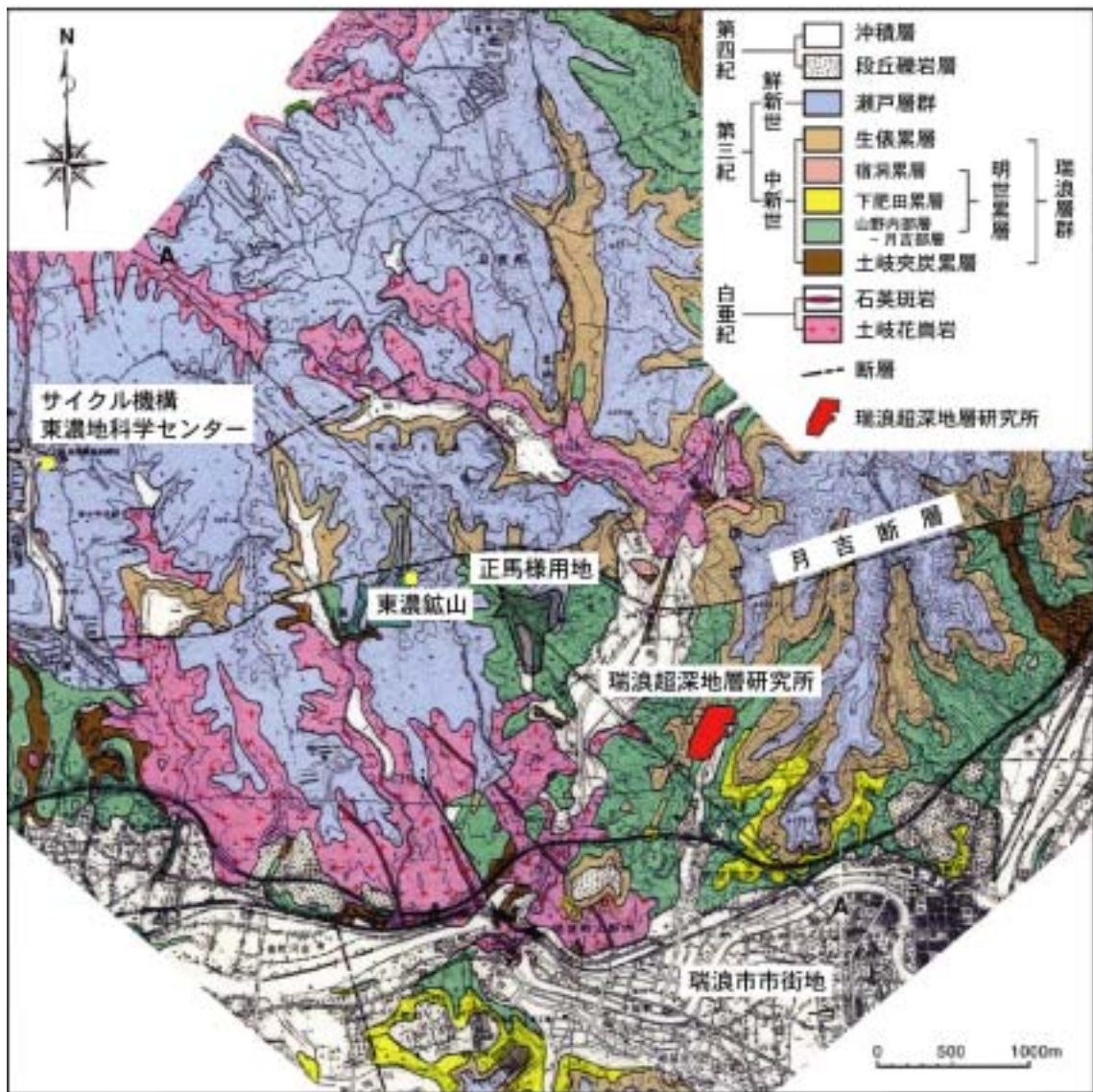


図4(a) 研究用地周辺の地質図

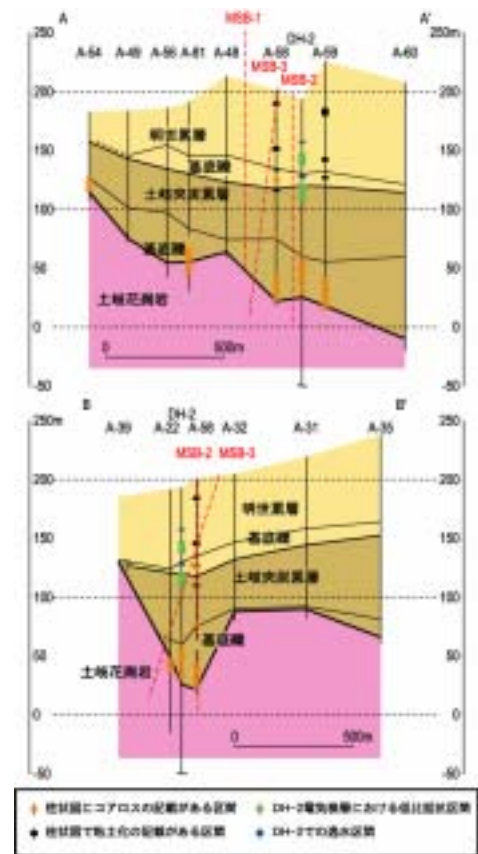
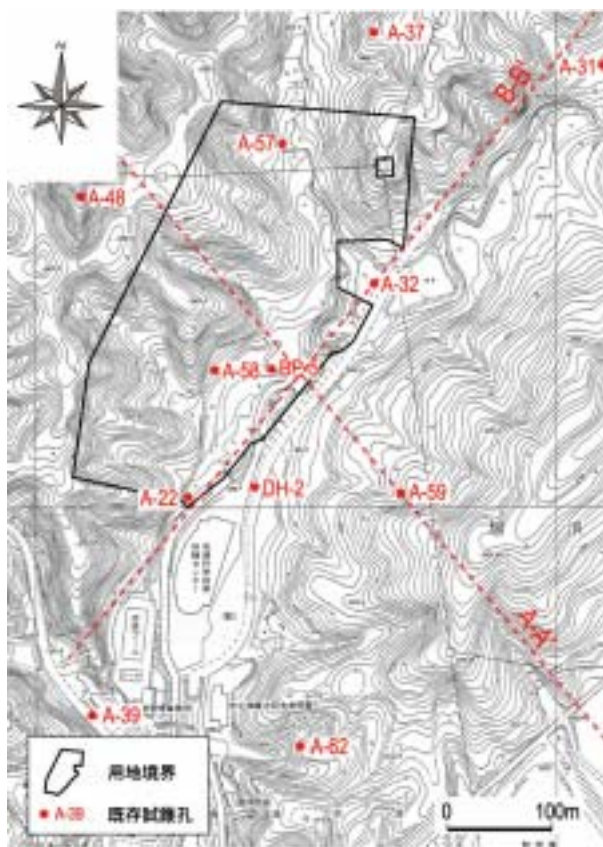


図4(b) 研究所用地の地質断面図

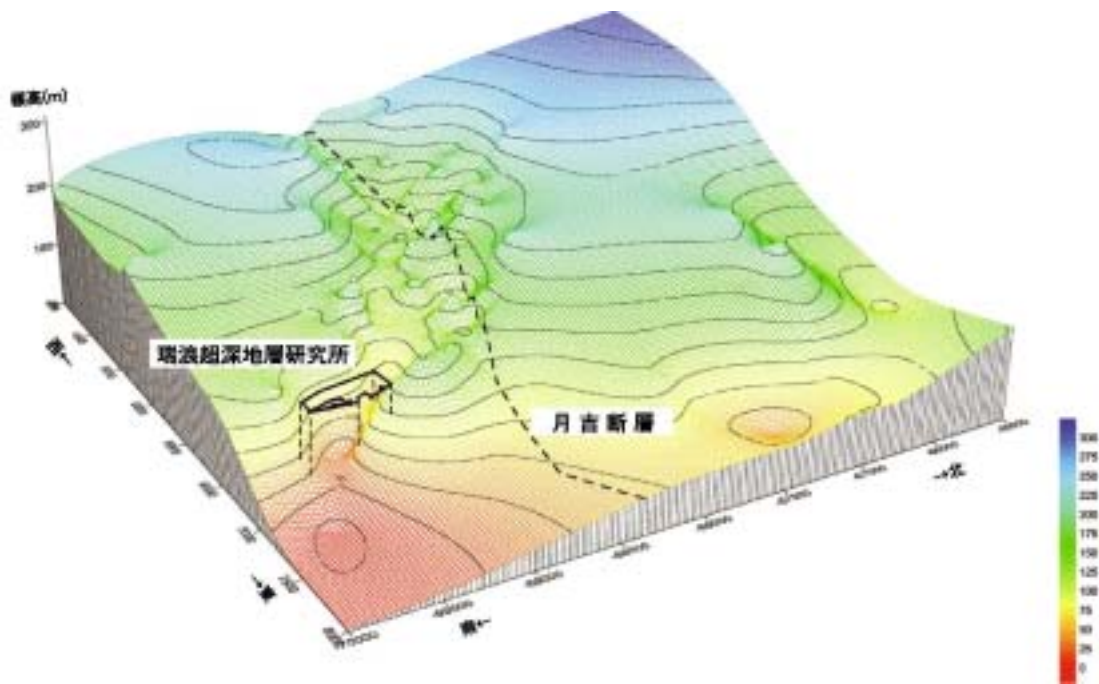


図5 不整合面の分布



## 風化部

- 土岐花崗岩と堆積岩の不整合面には、起伏の変化に富むチャンネル構造が存在する(標高 25~200m)。研究所用地の西側では、このチャンネル構造は狭く、急勾配を示す(図5)。
- 粘土変質作用や鉄酸化鉱物で特徴づけられる風化部の厚さは、1m程度である。熱水変質作用は、過去、主要な断層に沿って、酸化性の熱水流体が循環したことを示している。研究所用地に分布する土岐花崗岩は、風化部および熱水変質帯を除けば、深度方向への岩石・鉱物学的特長の大きな変化は認められない。

## 上部割れ目帯および健岩部

- 花崗岩は、BTV 調査で得られた割れ目の累積頻度曲線により、割れ目が多い上部割れ目帯と、割れ目の少ない健岩部に区分される(図6)。透水係数の深度分布によると、上部割れ目帯と健岩部の境界付近である深度 400m以浅は  $10^{-8}$ m/sec オーダー、深度 400m以深は  $10^{-9}$ m/sec オーダーを示している(図7)。
- 上部割れ目帯の層厚とそれを覆う堆積岩の層厚には、正の相関関係が認められる(図6)。これにより、研究所用地における上部割れ目帯の層厚は 270m から 350m と推定される。

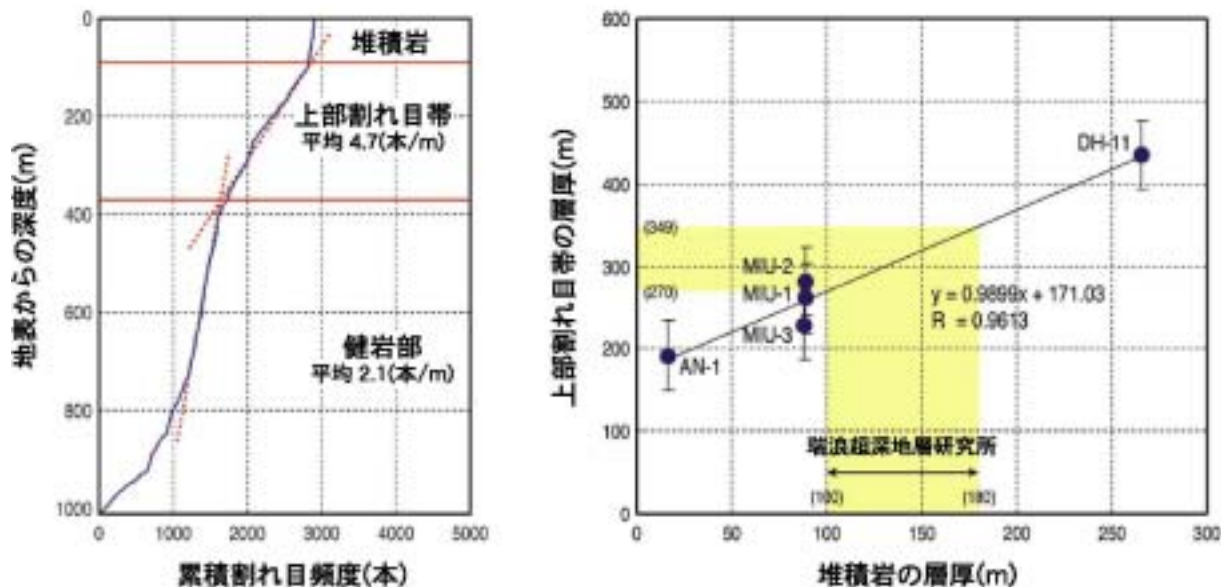


図6 上部割れ目帯

## 不連続構造

### a) 断層・割れ目

- ・ リモートセンシング結果から、北北西 - 南南東系、北西 - 南東系、北東 - 南西系、東西系のリニアメントが認められる(図8)。これまで広域地下水流動研究や超深地層研究所計画で行ってきた試錐調査で確認された断層の方向は、リニアメントの方向と一致する(図9)ことから、リニアメントは規模の大きな不連続構造である可能性が高い。
- ・ 北東 - 南西系および北西 - 南東系のリニアメントは約1km 間隔で、北北西 - 南南東系のリニアメントは約 500m 間隔で分布する傾向が認められる。東西系のリニアメントは、日吉川と土岐川を囲む領域で多く、約 500m 間隔で分布する。東西系のリニアメントは、月吉断層の周辺で多く認められる傾向がある。
- ・ 特に、研究所用地南東部の地下壕跡地で確認された北北西 - 南南東系の不連続構造(高角度東傾斜の断層)は比較的規模が大きく、研究所用地と交差する可能性が高い(図10)。
- ・ 広域地下水流動研究で行われたBTV調査(DH-2~11号孔、鉛直孔)によると、割れ目の頻度(1m区間で交差する割れ目の本数)は、1.1~6.6本/m(平均2.8本)である。
- ・ 正馬様用地を横切る月吉断層は、断層コア部(遮水性を有する)と、その両側に約100m幅で存在する断層に伴う割れ目帯から構成される。
- ・ 正馬様用地で行われたBTV調査(MIU-1~3号孔、鉛直孔)によると、割れ目は、低角度割れ目、北東 - 南西走向、高角度南東傾斜、東西走向高角度南傾斜、北北東 - 南南西走向、高角度南西傾斜に区分される。上部割れ目帯および断層に伴う割れ目帯における平均割れ目頻度は約5本/m、健岩部では約2本/mを示している。

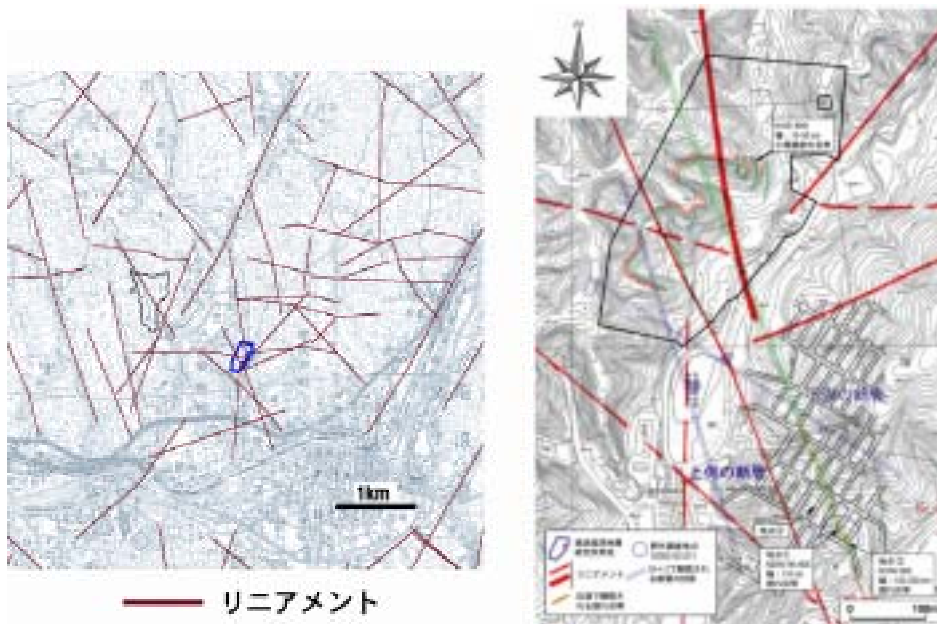
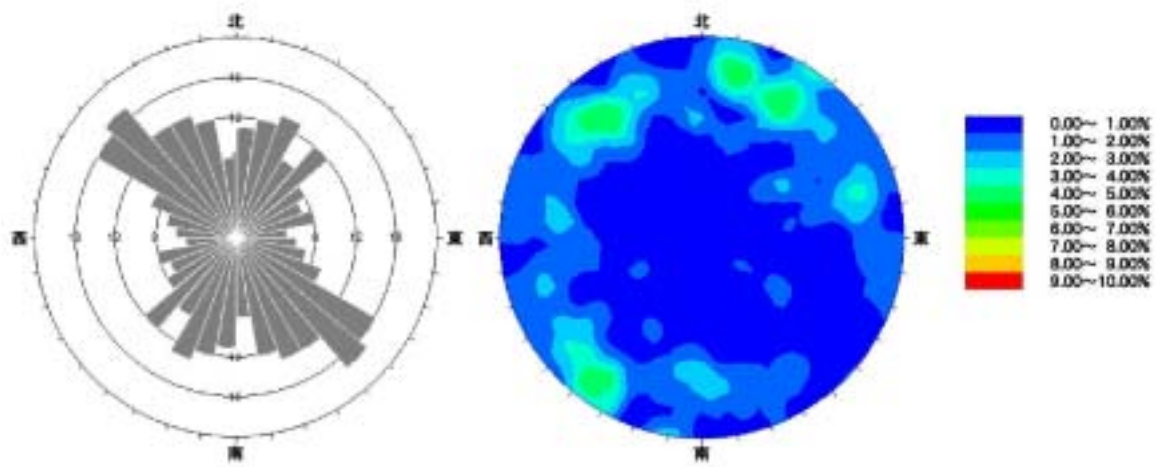


図8 研究所用地周辺のリニアメントおよび推定断層



(a)リニアメントの方向

(b)試錐調査で確認された断層の方向

図9 リニアメントの方向と試錐調査で確認された断層の方向



図10 地下壕で確認された断層露頭

b) 透水性割れ目

- 透水性割れ目を多く含むゾーンとして、上部割れ目帯と断層に伴う割れ目帯があげられる。
- 上部割れ目帯の平均的な透水性は  $10^{-8}$ m/sec オーダーであり、その下部の健岩部の透水性 ( $10^{-9}$ m/sec オーダー) より1オーダーほど大きい値を示す。上部割れ目帯には、流体検層で流出ポイントとして検出される低角度の開口割れ目が存在し、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ m/sec オーダーの透水性を示す。
- 主要な不連続構造のうち、北北西 - 南南東走向と北西 - 南東走向の不連続構造は、相対的に低い透水性 (順に、 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ m/sec オーダー、 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ m/sec オーダー) を示す (図 11)。

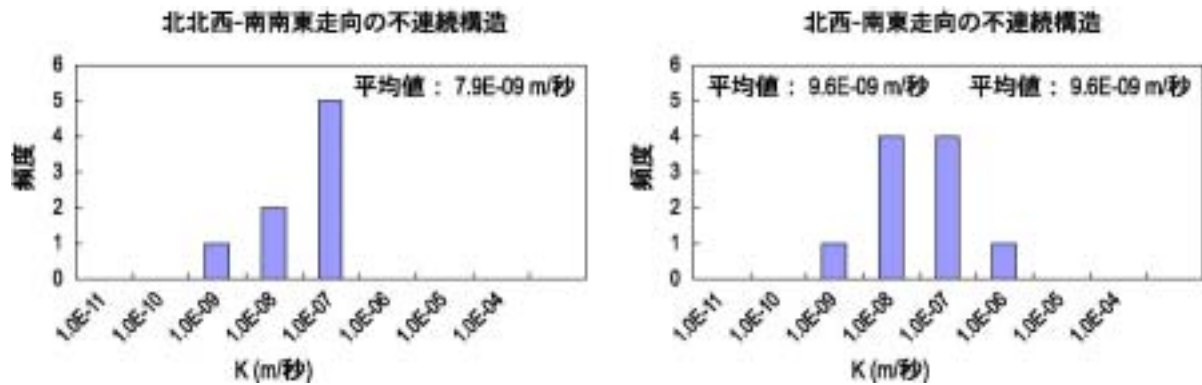


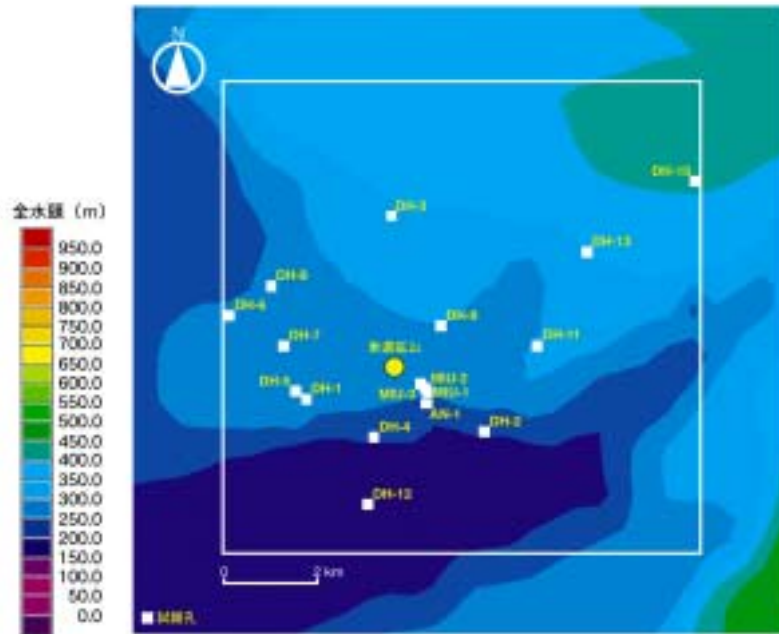
図 11 不連続構造の透水性

(3) 地下水流動

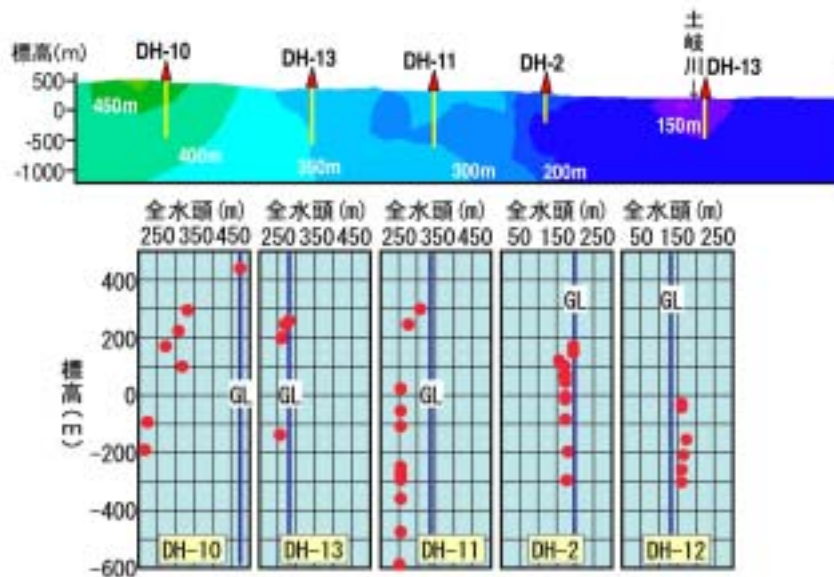
- 研究所用地周辺の地下水は、地形に依存し、概ね北東から南西の方向に流れている (図 12)。
- 地下水流動解析結果は、研究所用地を横切る地下水の涵養域が木曾川の南側の尾根 (標高 400 ~ 640m)、流出域が土岐川 (標高 140 ~ 160m) であることを示している。
- 試錐調査の結果は、涵養域および流出域、および月吉断層下盤における地下水圧分を除けば、地下水圧は静水圧分布を示す。
- 北北西 - 南南東および北西 - 南東走向の断層は、相対的に小さな透水性 (北北西 - 南南東走向;  $10^{-8} \sim 10^{-9}$ m/sec, 北西 - 南東走向;  $10^{-6} \sim 10^{-9}$ m/sec) を示す。
- 土岐花崗岩中の地下水の起源は、酸素・水素の安定同位体比から降水起源であることが確認されている。花崗岩浅部の地下水は、地表水と堆積岩中の地下水の中間的な化学組成を示すことから、花崗岩浅部の地下水は、およそ 13,000 ~ 15,000 年前に涵養した堆積岩中の地下水より滞留時間が短いと推定される。



- 地下水と河川水の $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ と $\text{Cl}$ の関係は、北側の試錐孔で採水された地下水より、涵養域側の試錐孔で採水された地下水の方がより $\text{Cl}$ 濃度が高く、かつ滞留時間が長いと推定される(図13)。



(a) 標高-1,000mにおける地下水の全水頭分布(解析結果)



(b) DH-10号孔～DH-12号孔間の全水頭分布  
(解析結果(上), 実測値(下))

図12 研究所用地周辺の地下水流動

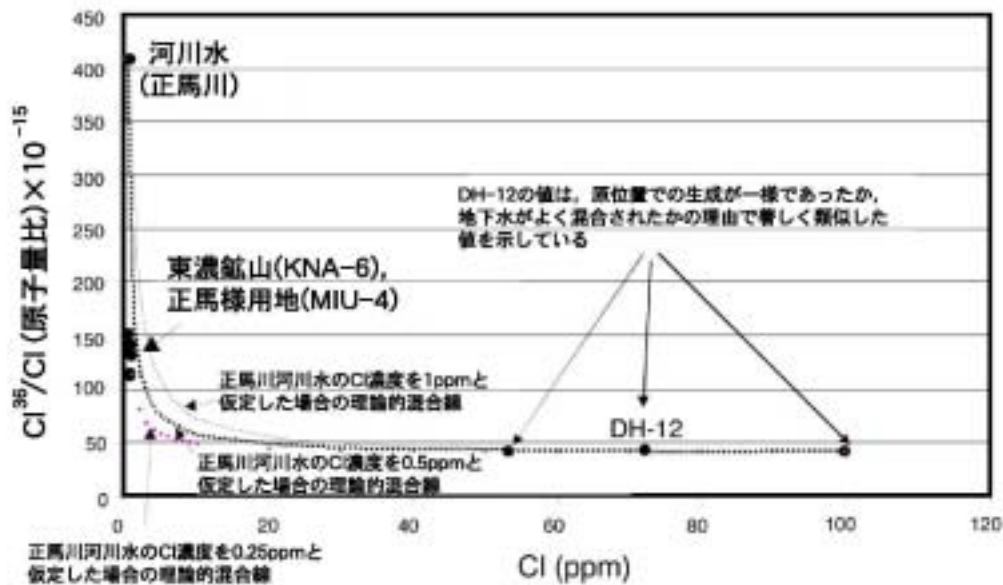


図 13  $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$  濃度の関係図

(4) 地下水の水質

- ・ 土岐川の北側で確認された地下水は淡水 (Total Dissolved Solids: TDS < 300mg/liter) であるが, 土岐川の南側で行われた DH-12 号孔では塩水 (TDS > 1,550mg/liter) が確認されている (図 14)。
- ・ 堆積岩中の地下水は, 深度方向に Na-Ca-HCO<sub>3</sub> 型から Na-HCO<sub>3</sub> 型に変化する。深度方向への Na<sup>+</sup> およびアルカリ度の増加および Ca<sup>2+</sup> の減少は, 方解石や長石の溶解やスメクタイトのイオン交換反応などの水 - 岩石反応によるものと考えられる (図 15)。
- ・ 土岐花崗岩の浅部 (深度 300m 以浅) の地下水は Na-Ca-HCO<sub>3</sub> 型で, 中性 (pH7) かつ酸化性 (Eh > 0mV) の地下水であるのに対し, 深部 (深度 300m 以深) の地下水は, Na-HCO<sub>3</sub> 型で, 弱アルカリ性 (pH9) かつ還元性 (Eh < -300mV) の地下水である (図 16)。深度方向への Na<sup>+</sup> およびアルカリ度の増加および Ca<sup>2+</sup> の減少は, 方解石や長石の溶解やスメクタイトのイオン交換反応などの水 - 岩石反応によるものと考えられる。
- ・ 堆積岩と土岐花崗岩の境界である不整合を貫く試錐孔で取得されたデータによると, 酸化還元境界は, おおむね不整合の位置と一致し, 堆積岩中の還元性の地下水は, 花崗岩浅部で相対的に酸化性の地下水に変化する (図 17)。また, 土岐花崗岩の地下水 (Eh = -20 ~ 0mV) では, Fe(OH)<sub>3</sub> と Fe<sup>2+</sup> の平衡により Eh がコントロールされており, 堆積岩や花崗岩深部の地下水 (Eh = 270 ~ -400mV) では, 黄鉄鉱の溶解と SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> / HS<sup>-</sup> 平衡で Eh がコントロールされていると考えられる (図 18)。
- ・ 土岐川近傍で掘削された試錐孔 (DH-12 号孔) において, 上記の地下水と異なる, Na-Cl 型の地下水が確認されている (図 19)。Na-Cl 型の地下水が存在した場合, 研究坑道を掘削することによる地下水流動の変化により,



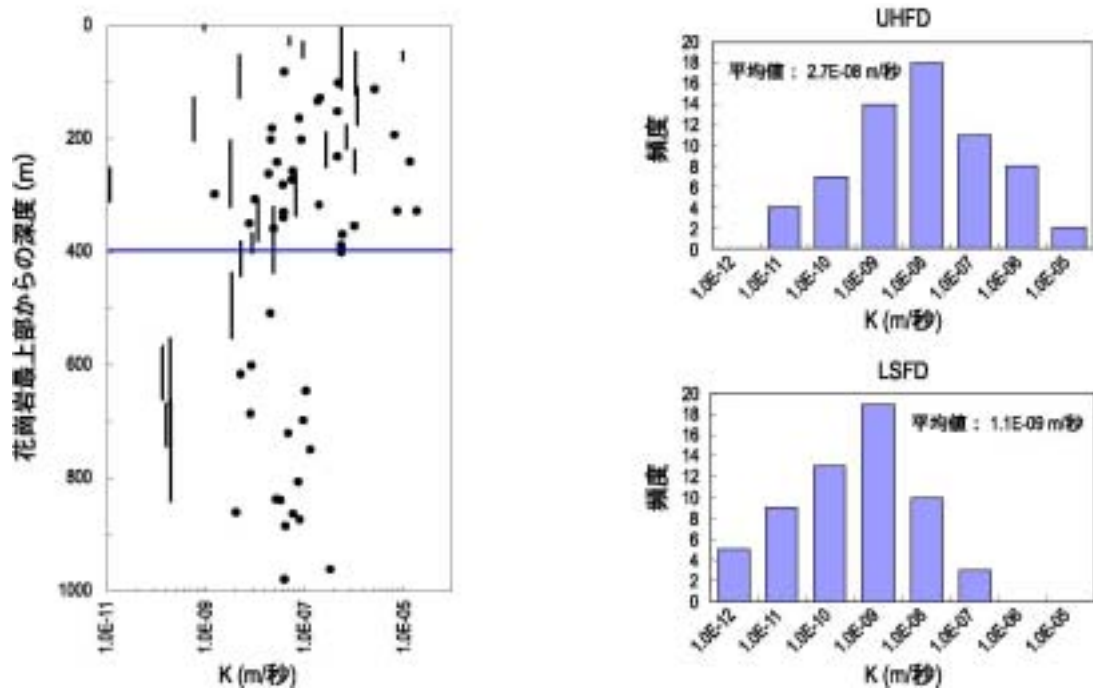


図7 透水係数の深度方向の分布および上部割れ目帯と健岩部の透水性

図 14 地下水の水質

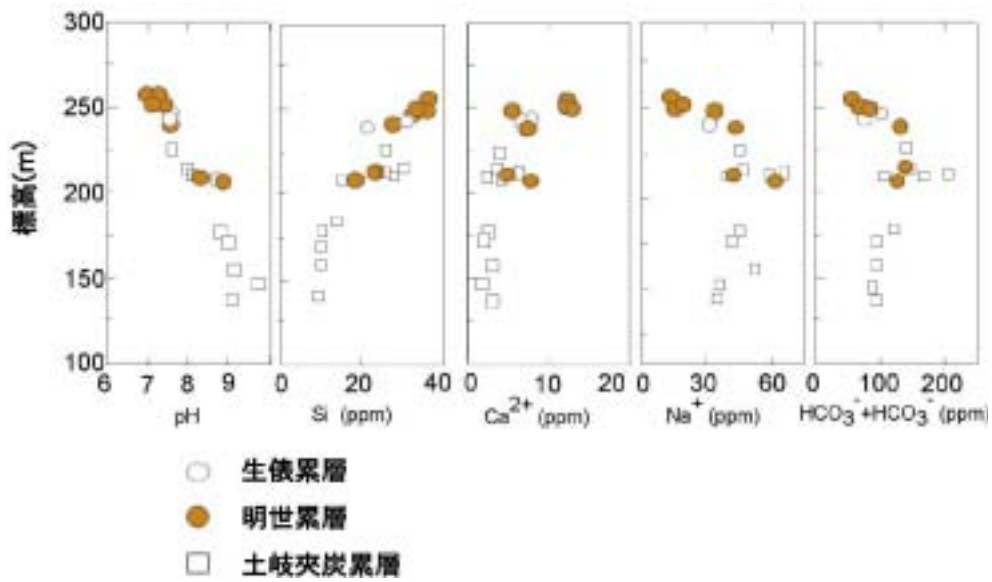


図 15 堆積岩中の地下水の水質

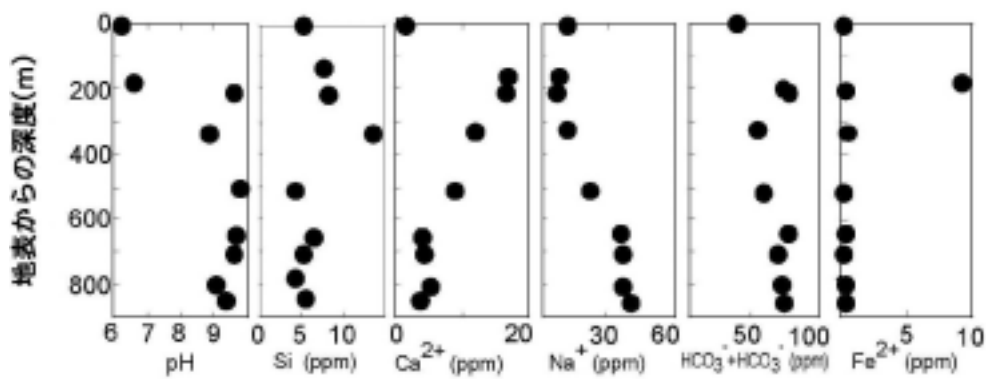


図 16 花崗岩中の地下水の水質

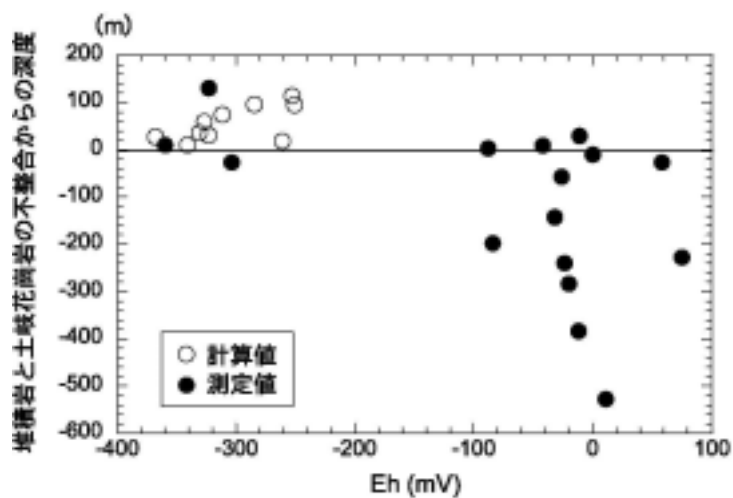


図 17 酸化還元電位の深度方向の分布

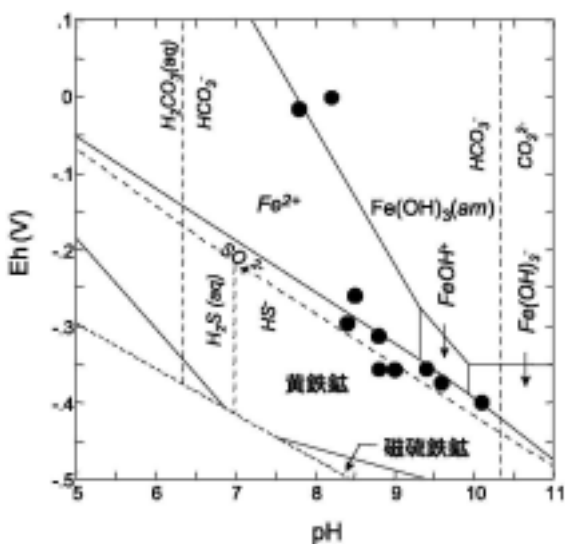


図 18 Eh-pH ダイアグラム(Fe-O<sub>2</sub>-S-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O)

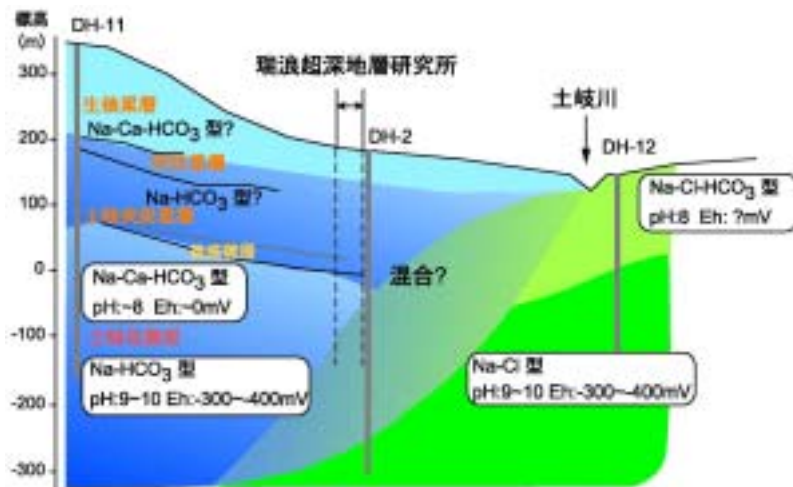


図 19 地下水の水質の概念図

(5) 岩盤力学

- ・ 測地学的な情報によると、研究所用地周辺での最大主ひずみ方向は北西 - 南東方向を示している(図 20)。
- ・ 正馬様用地で掘削された試錐孔における水圧破碎法による試験結果によると、水平面内における最大主応力方向は、深度 300m までが南北方向、深度 300m 以深が北西 - 南東方向を示している。深度 300m 以深の最大主応力方向は、測地学的な最大主ひずみ方向と一致する。
- ・ 正馬様用地の試錐掘削で取得された岩芯試験結果が示す土岐花崗岩の岩盤物性値は、見かけ比重 2.63、一軸圧縮強度 165MPa、ヤング率 50GPa、ポアソン比 0.35、念直力 30MPa、内部摩擦角  $55^\circ$  である。
- ・ 正馬様用地では、岩盤力学的に、深度方向に3つのゾーン( 深度 ~ 300m(上部割れ目帯とほぼ一致)：  $H > V = h$ ，  $H$  は南北， 深度 300m ~ 700m(断層上盤側)：  $H > V = h$ ，  $H$  は北西 - 南東， 深度 700m ~ (断層下盤側)：  $H > V > h$ ，  $H$  は北西 - 南東)に区分される(図 21, 図 22)。

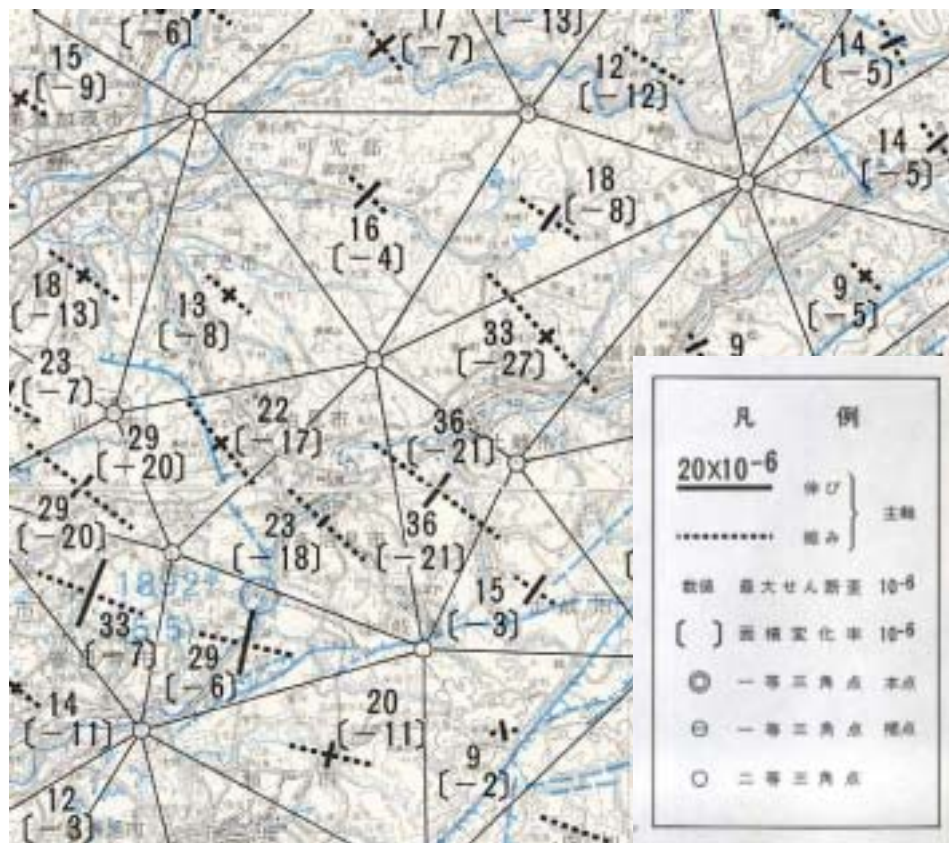


図 20 測地学的情報に基づく最大主ひずみ方向(国土地理院編, 1990)

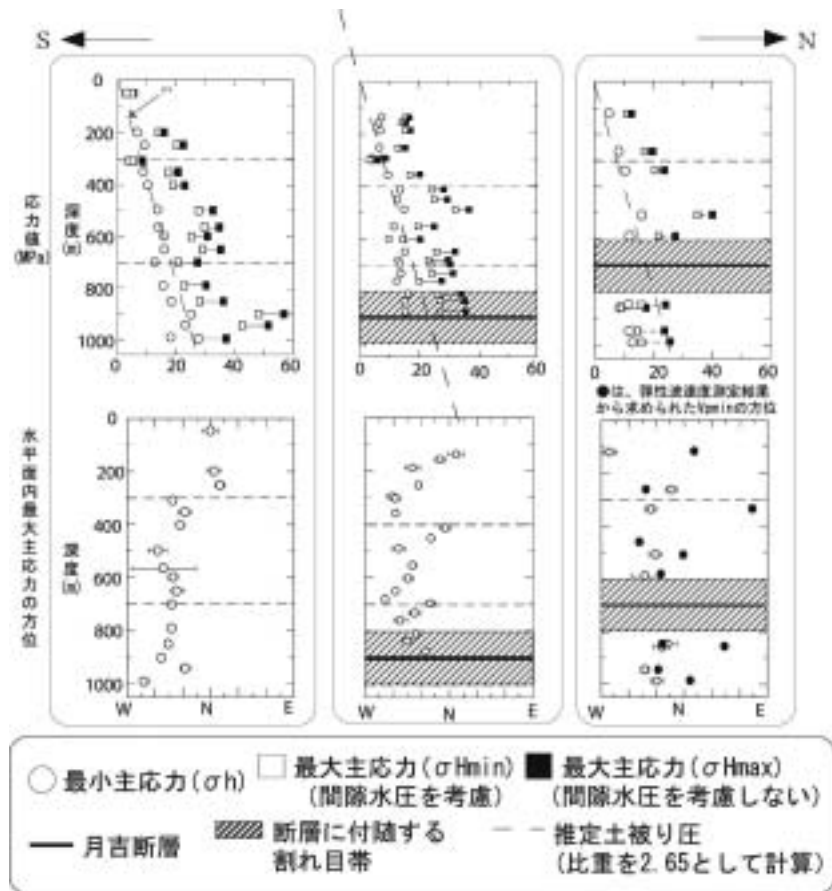


図 21 正馬様用地における初期応力測定結果

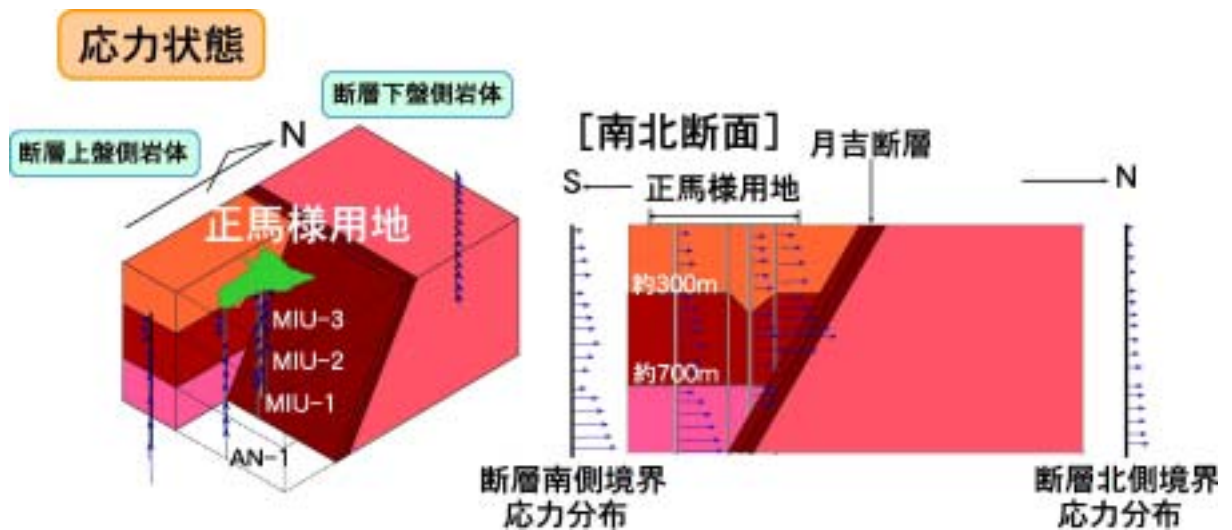


図 22 正馬様用地における岩盤力学概念モデル