

平成11年度地層科学研究情報・意見交換会
—発表OHP集—

平成11年12月6日～7日

於：セラトピア土岐

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
してください。

〒319-1194 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, Naka-gun, Ibaraki 319-1194,
Japan

目次

- (1) 広域地下水流動調査
 - ①地下水流動と地下水の地球化学的性質の把握
－試錐調査結果からの考察－ (1)①-1~17
 - ②広領域における地下深部の地質環境把握のための技術
－物理探査および試錐調査結果からの考察－ (1)②-1~17

- (2) 超深地層研究所計画（第1段階）の現状
 - ①中領域における地下深部地質構造の把握 (2)①-1~12
 - ②中領域における水理学的特性の把握 (2)②-1~17

- (3) 地下深部調査手法に関する考察 (3)-1~11

- (4) 東濃鉾山における調査試験研究 (4)-1~12

- (5) 地質環境の長期安定性に関する研究の現状
－各天然現象の特徴と地質環境に及ぼす影響について－ (5)-1~13

(1) 広域地下水流動調査

①地下水流動と地下水の地球化学的性質の把握 －試錐調査結果からの考察－

広域地下水流動研究

1. 地下水流動と地下水の地球化学的性質の把握

— 試錐調査結果からの考察 —

核燃料サイクル開発機構

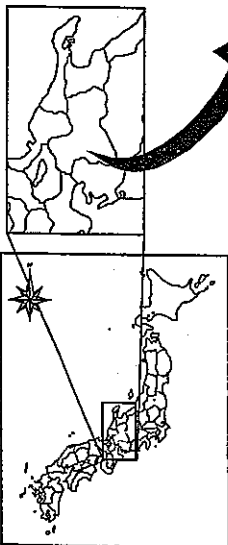
東濃地科学センター
地層科学研究グループ
濱 克宏



東濃で行われている地層科学研究のプロジェクト構成 (地質環境特性に関する研究)

広域地下水流動研究

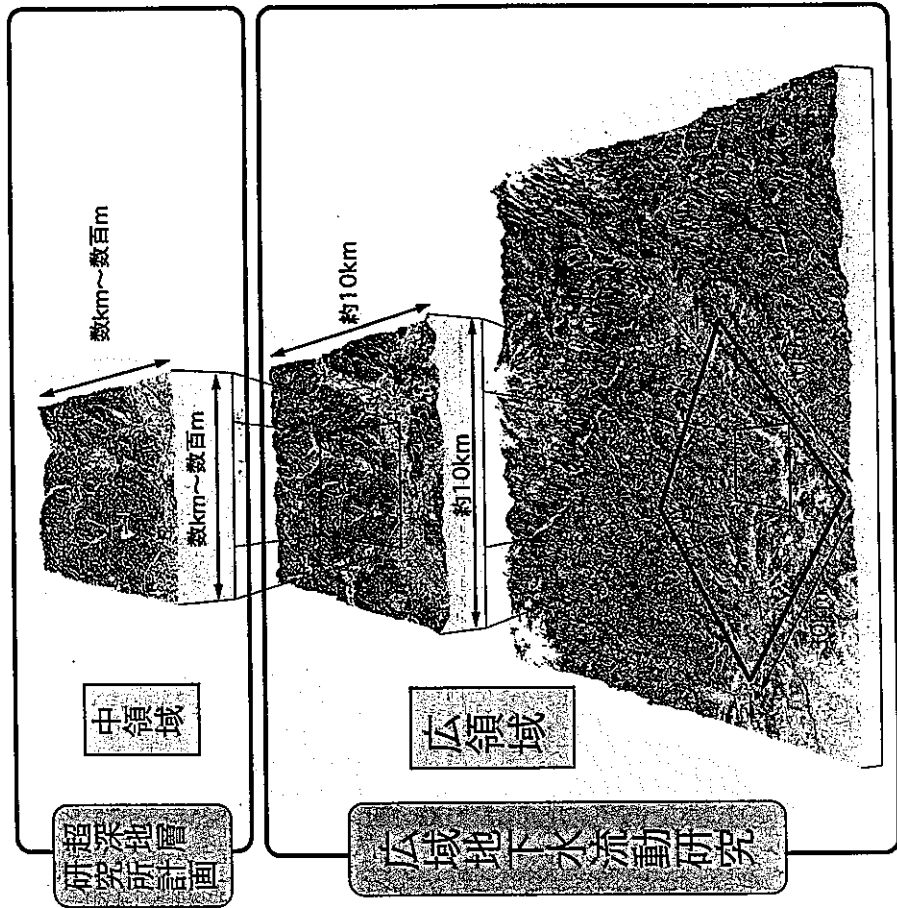
東濃鉱山における
調査試験研究



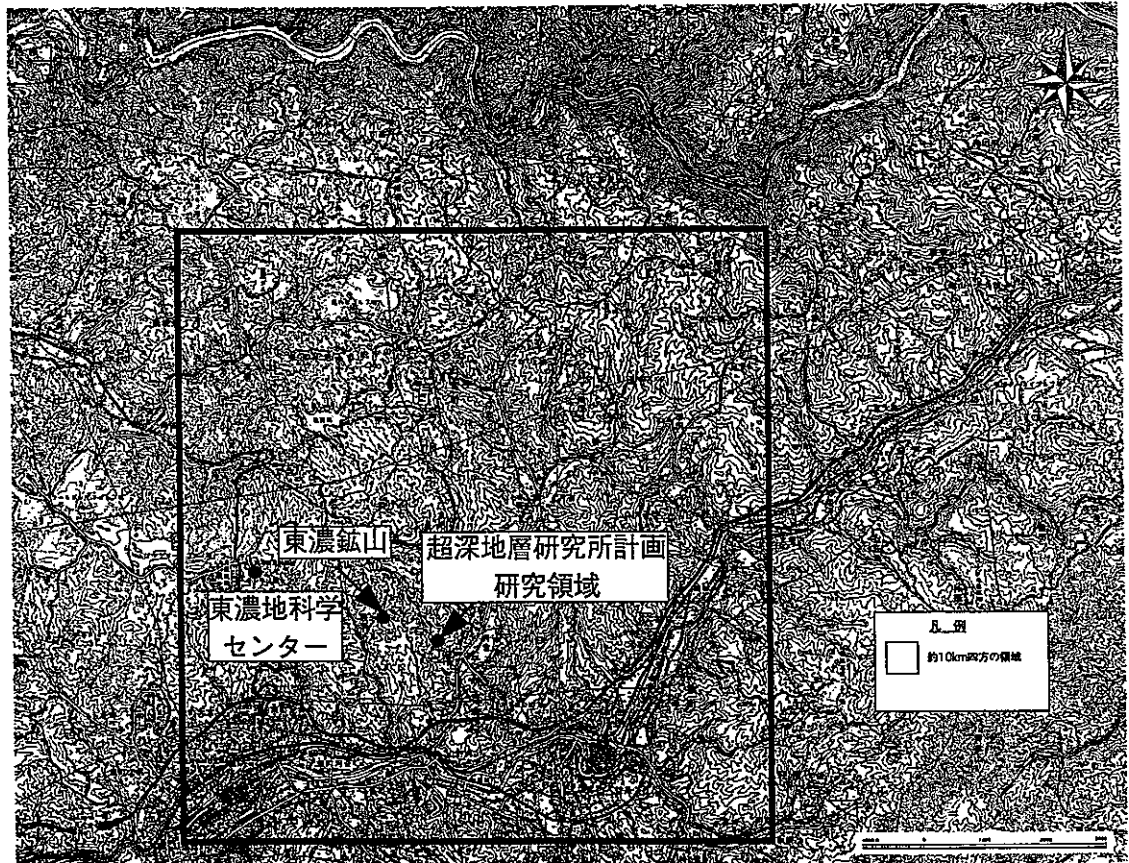
超深地層研究所計画



プロジェクトと研究領域

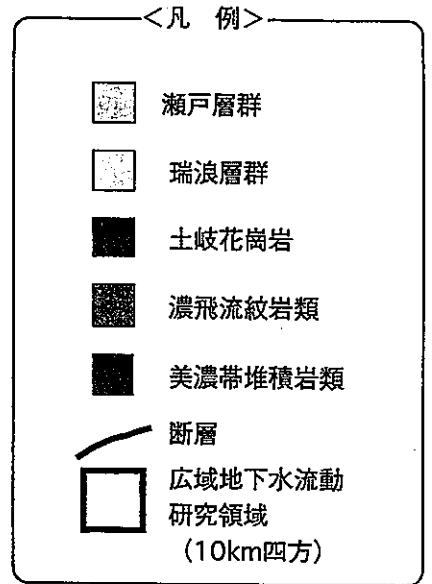
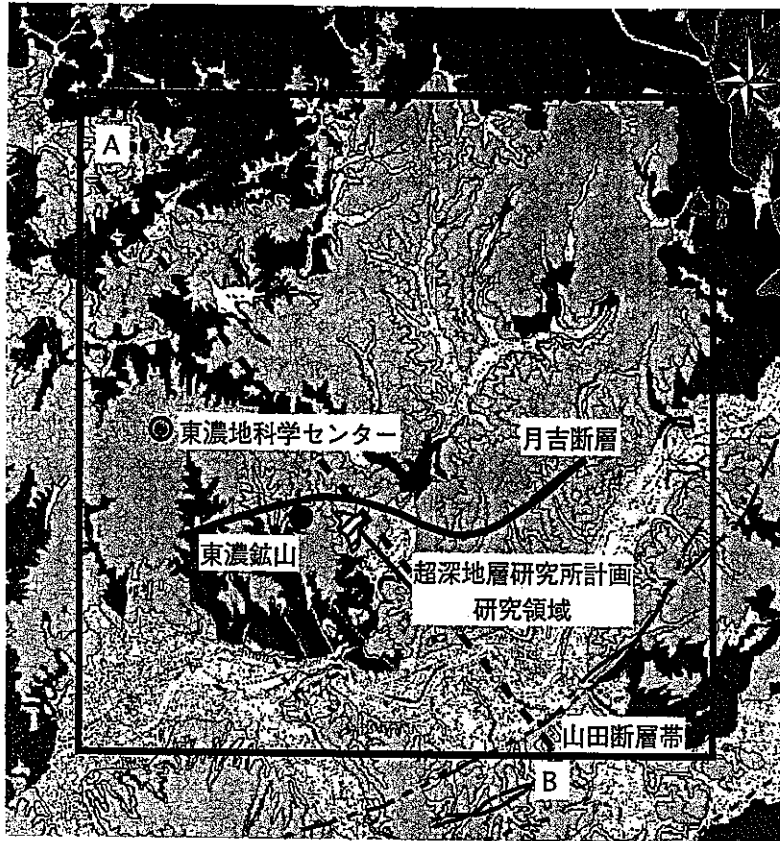


広域地下水流動研究領域

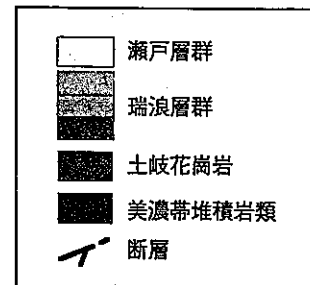
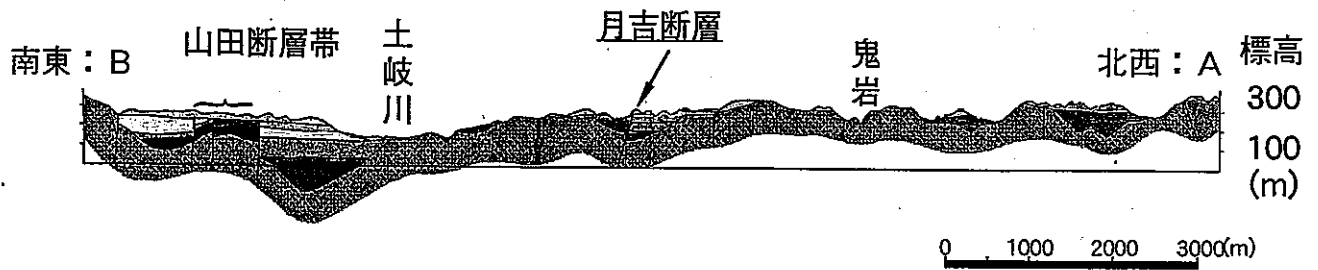


国土地理院発行5万分の1地形図(無編加改、更新)より

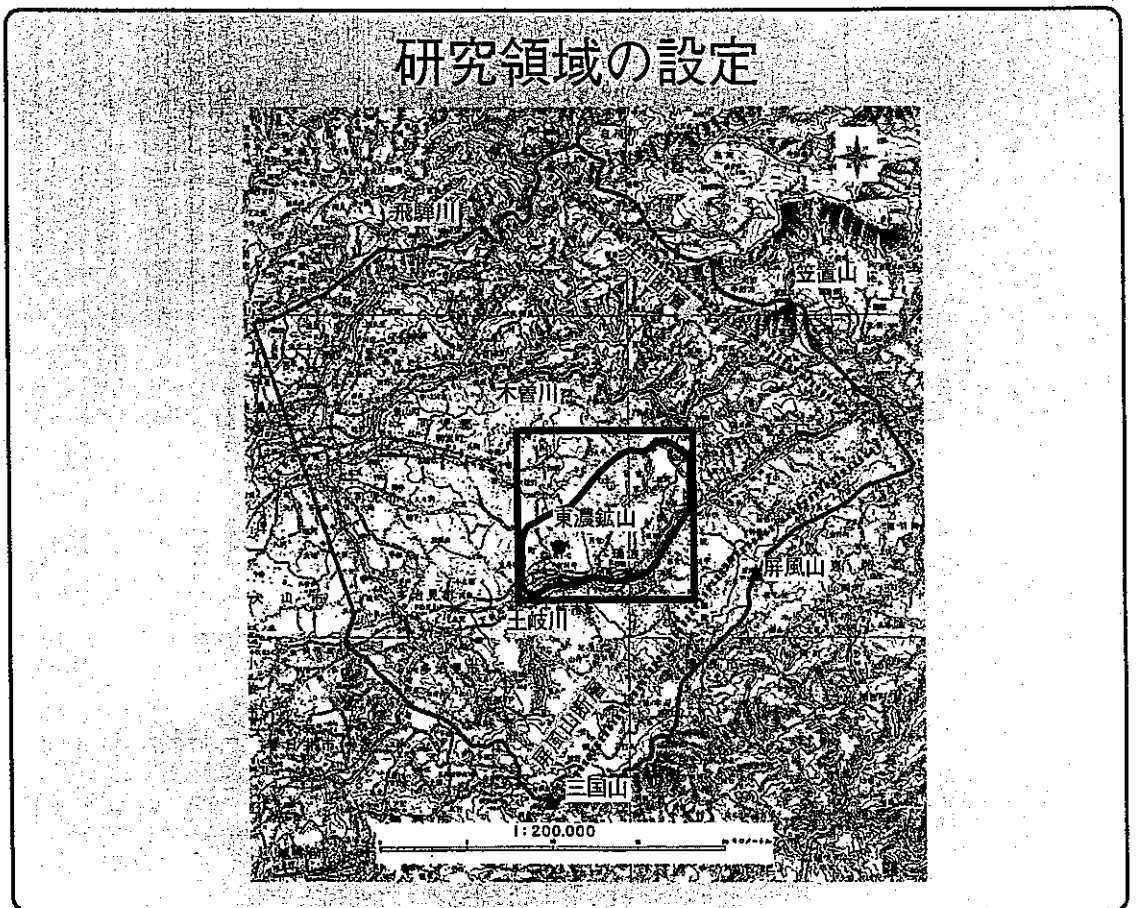
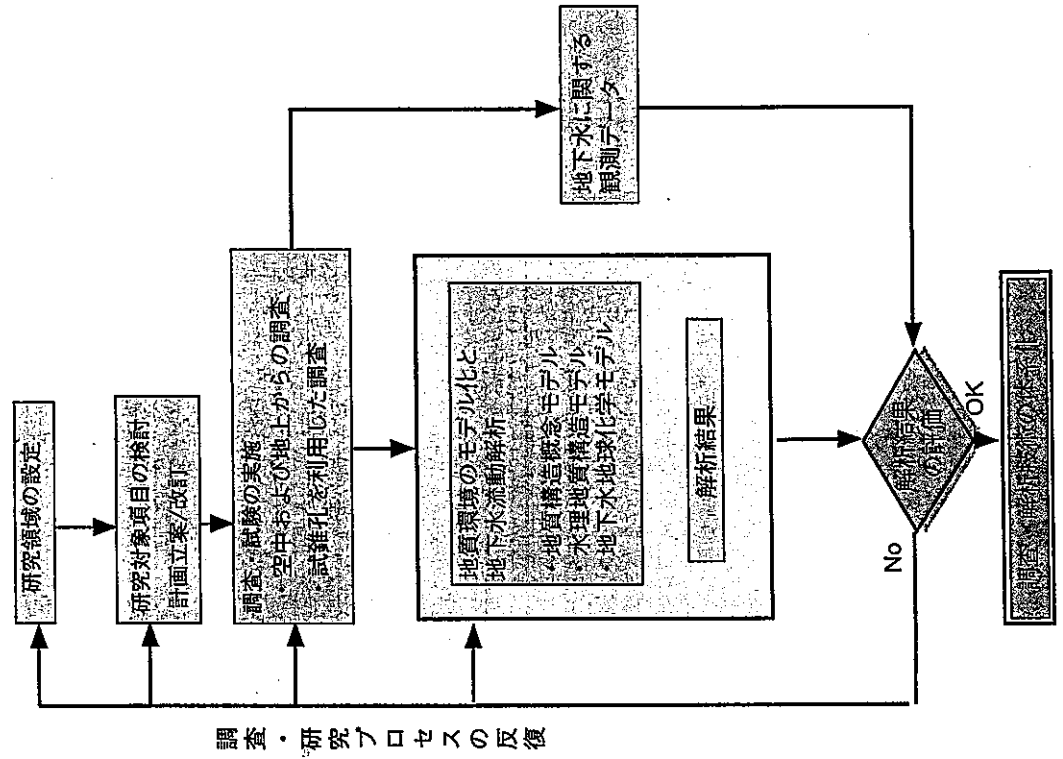
研究領域の地質



地質断面図



広域地下水流動研究のアプローチ



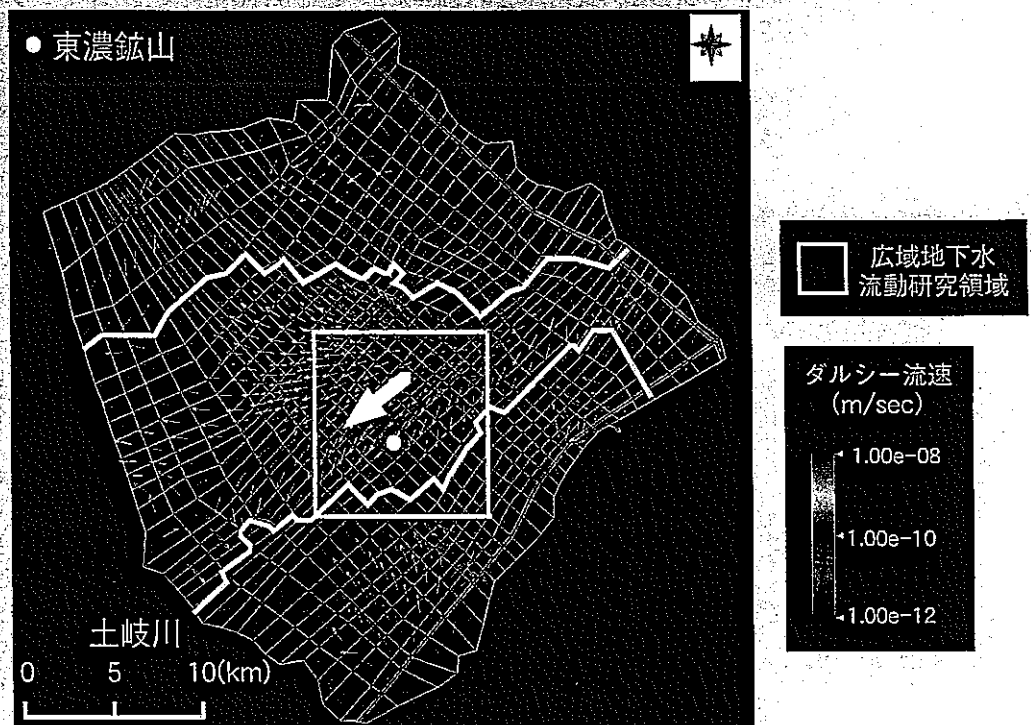
解析領域

東濃地域の主要な断層を含む尾根線および河川で囲まれた約30km四方の領域

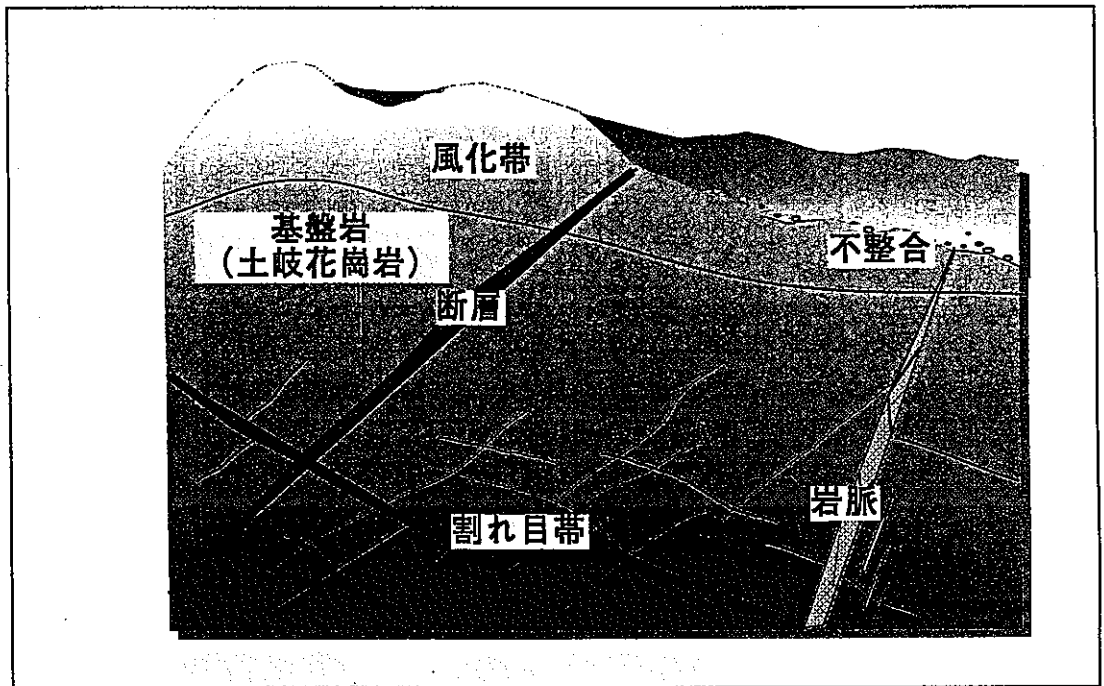


解析結果—流速ベクトル—

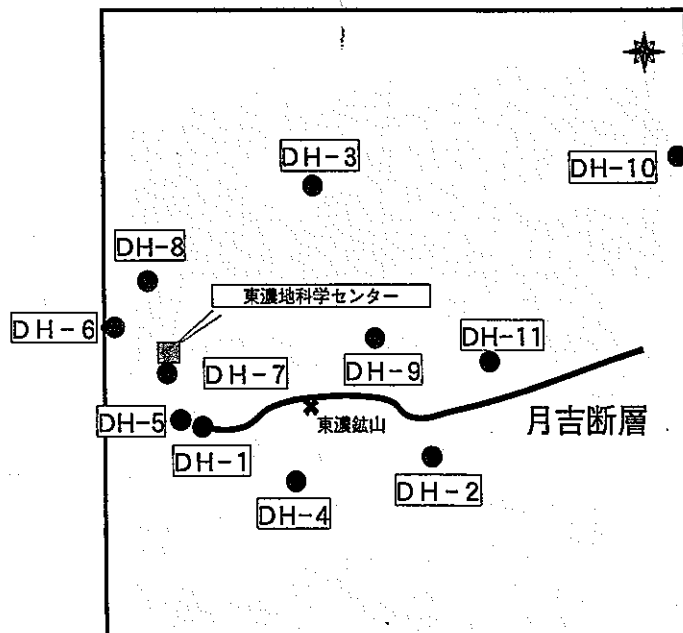
標高-800m断面 (地表からの深度: 約1000m)



考慮すべき地質・地質構造



試錐孔配置図

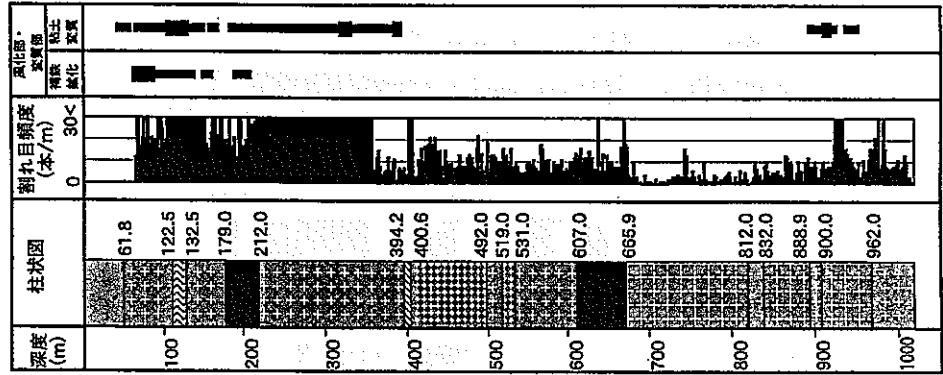
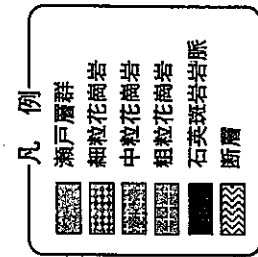


深度約500m	DH-1, 2, 4, 5
深度約1,000m	DH-3, 6, 7, 8, 9, 10, 11

広域地下水流動研究領域

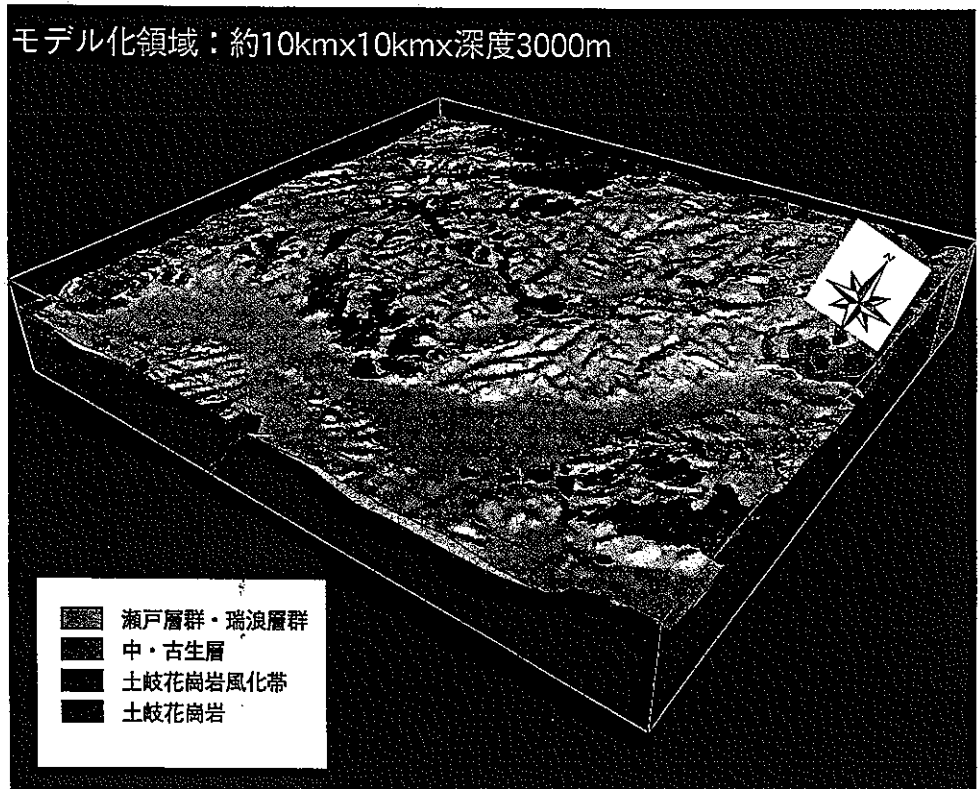
地質・地質構造調査結果例

—DH-7号孔—



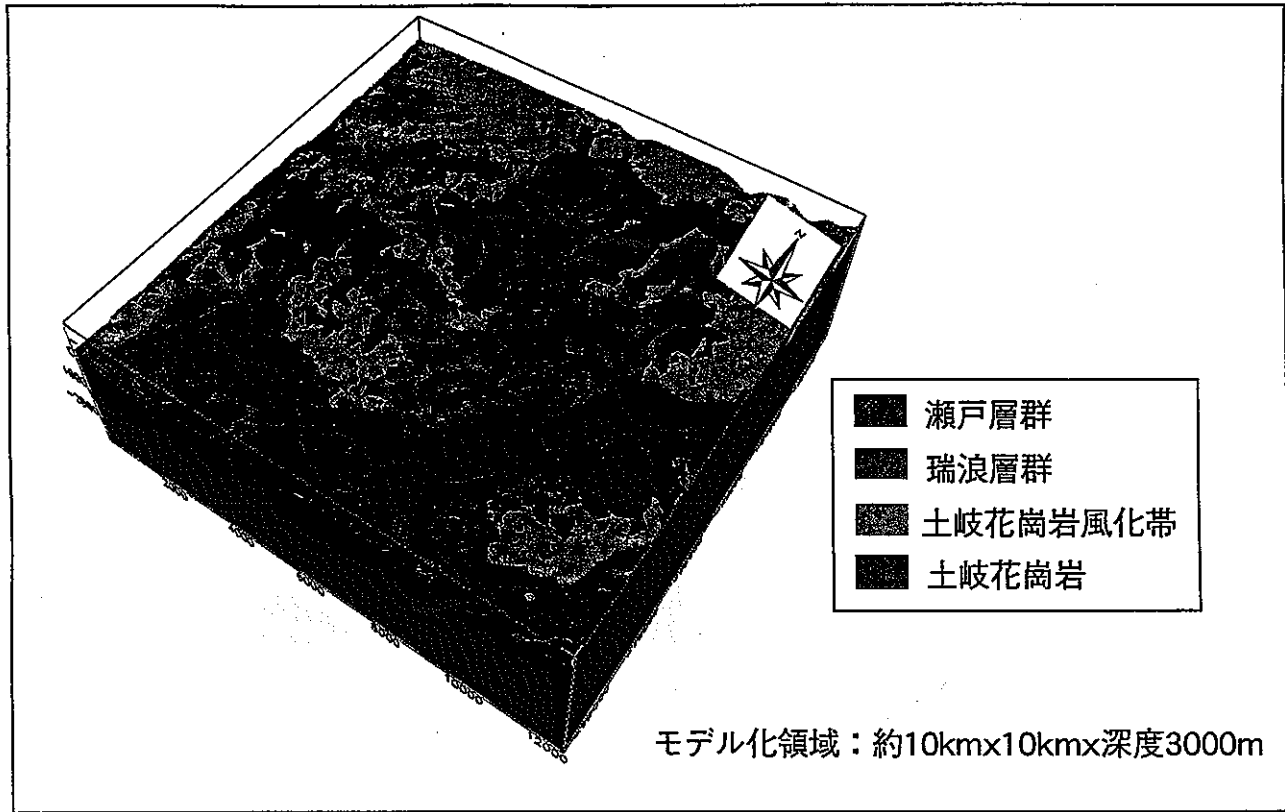
地質構造概念モデル

(既存データに基づく)



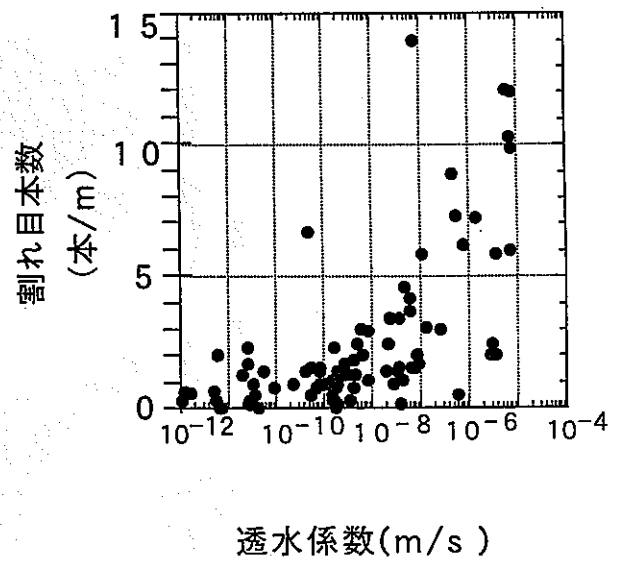
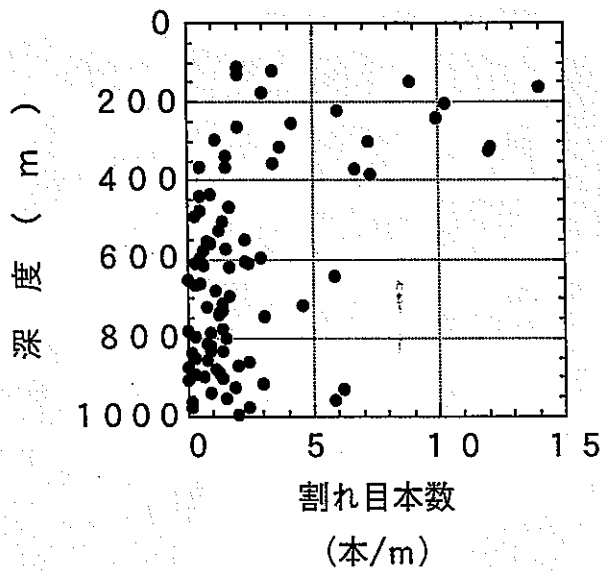
地質構造概念モデル

(試錐調査結果を基に更新)



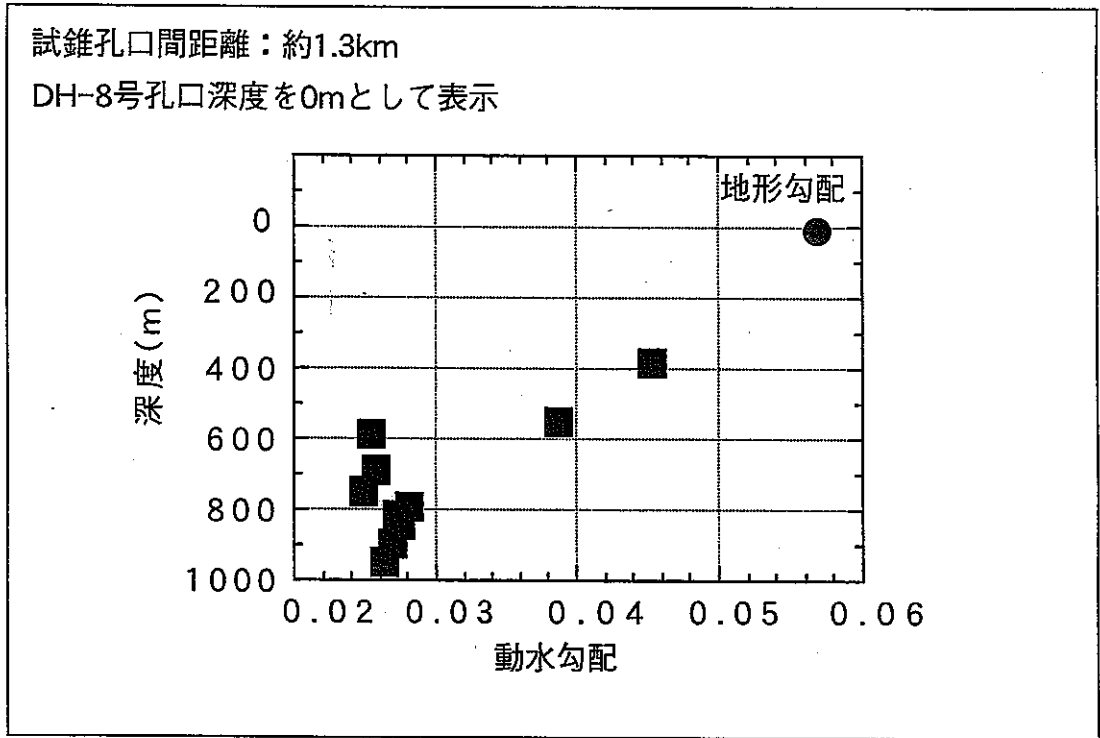
透水係数と割れ目本数の関係

—広域地下水流動研究、超深地層研究所計画における試錐調査結果から—

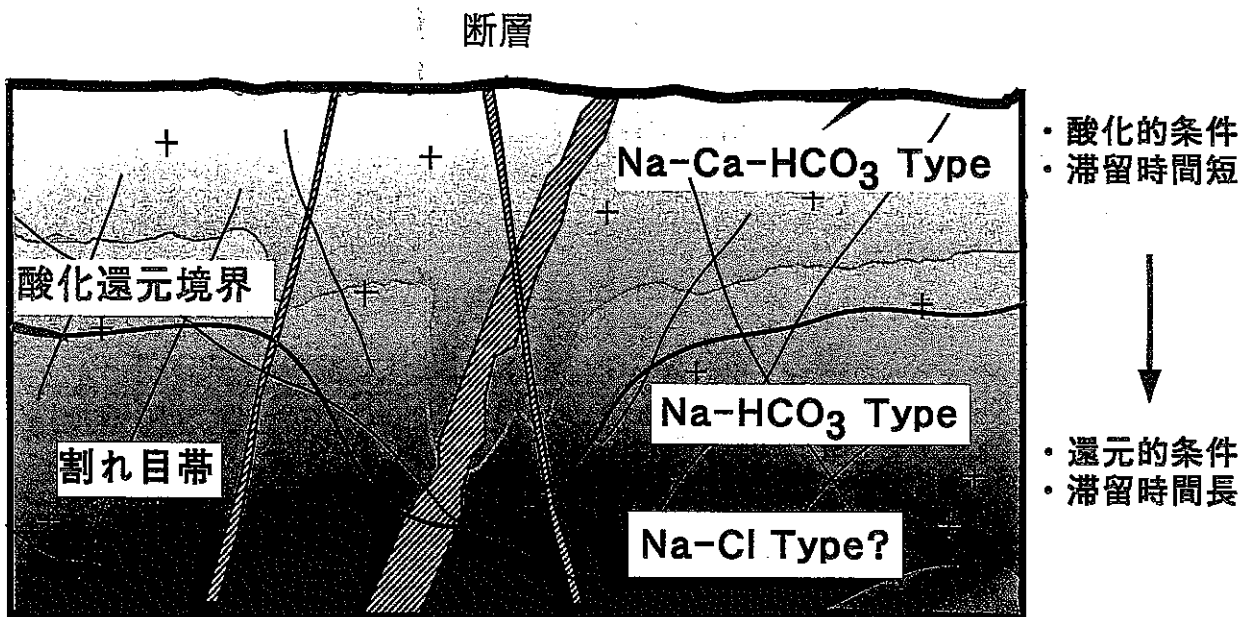


動水勾配算出結果

—DH-7号孔とDH-8号孔間—



想定される地下水の化学的性質分布

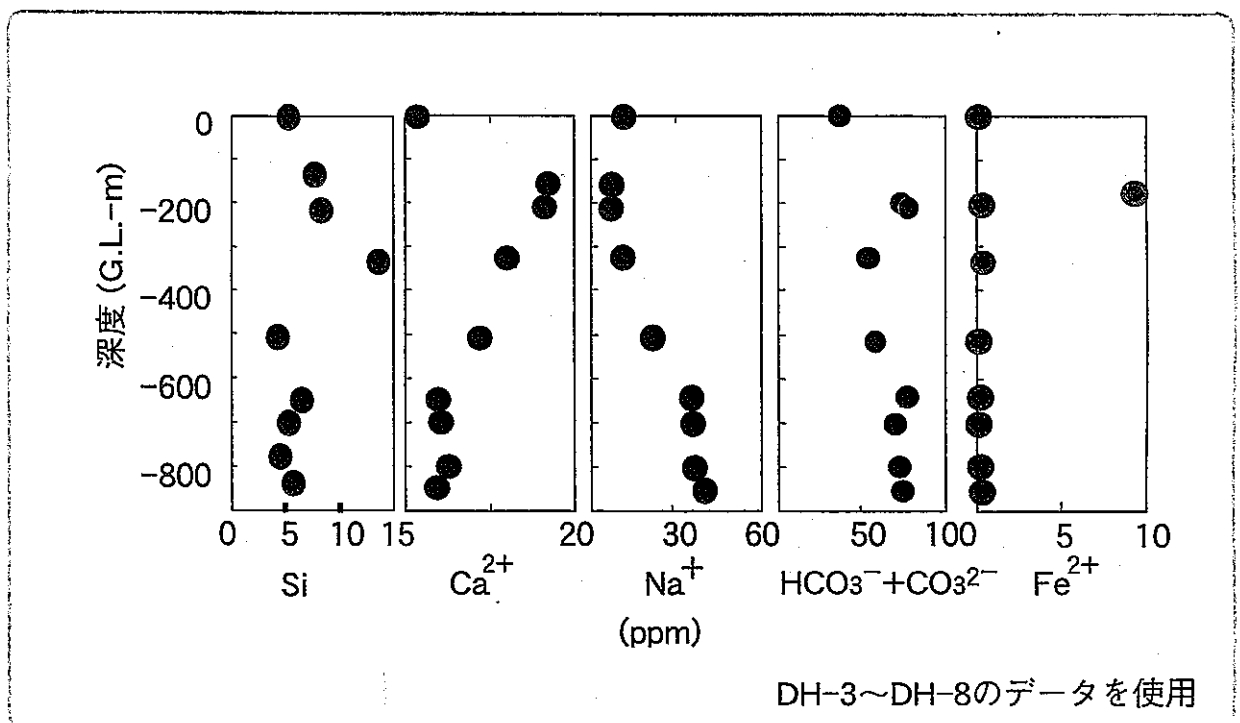


深部地下水の物理化学パラメータ測定結果

試錐孔	採水深度 (G.L.-m)	pH (±0.1)	Eh (mV:±10)
DH-5	327	7.76	-16
DH-6	737	8.88	-307
DH-7	564	10.12	-385
DH-7	837	9.59	-366
DH-7	883	9.45	-357
DH-8	645	8.97	-348
DH-8	697	8.47	-282
DH-8	749	8.43	-299
DH-8	872	8.78	-376
DH-8	978	8.79	-355

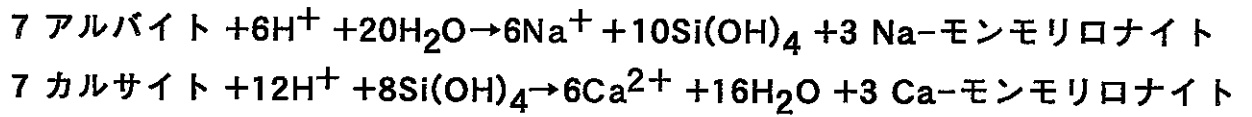
採水深度：採水区間の中間深度
Eh：Pt電極での測定値を表示

深部地下水水質の深度分布

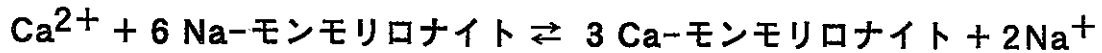


主要な水-岩石反応

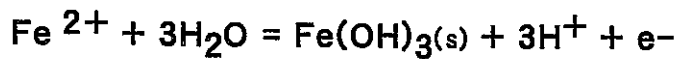
斜長石の溶解



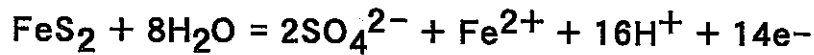
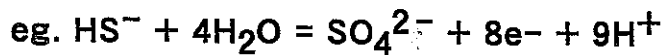
イオン交換反応



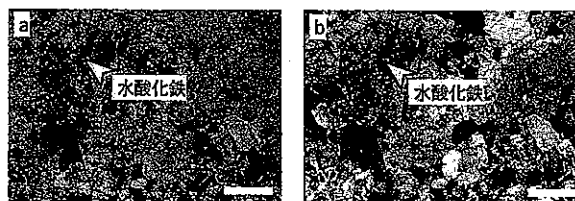
鉄の酸化還元反応



硫黄の酸化還元反応



土岐花崗岩中に認められる鉱物反応跡



深度300m付近(DH-3号孔)まで観察される
水酸化鉄(褐鉄鉱)の顕微鏡写真
(a: オープンニコル, b: クロスニコル。スケールは1mm)

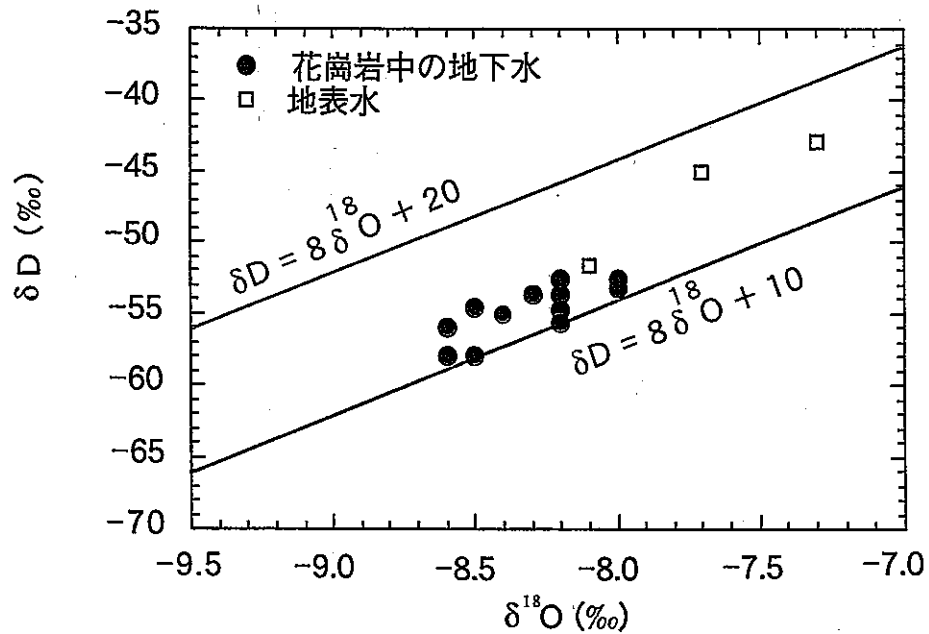


黄鉄鉱の溶解 (DH-3号孔深度186m: 割れ目帯)

地下水中の水素・酸素・炭素同位体測定結果

Well	Depth (G.L.-m)	δD (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)	3H (T.U.)	$\delta^{13}C$ (‰)	^{14}C (pMC)
<i>Drilling fluids</i>				2.7		23.6
Surface water	0	-	-	5.2±1.6	-18.1±1.9	102.4±1.6
<i>Groundwater</i>						
DH-3	-208	-53.7	-8.2	2.9	-18.0	99.0±0.3
DH-3	-840	-53.2	-8.5	2.7	-17.8	53.3±0.3
DH-5	-330	-56.7	-8.2	<1.0	-17.5	45.5±0.3
DH-6	-737	-52.5	-8.2	2.1	-16.3	37.5±0.5
DH-7	-564	-53.0	-8.0	2.3	-16.9	50.6±0.3
DH-7	-837	-58.0	-8.5	3.4	-15.9	22.5±0.2
DH-7	-883	-54.7	-8.2	2.1	-15.5	39.0±0.4
DH-8	-645	-54.0	-8.5	<1.0	-17.8	36.7±0.3
DH-8	-697	-54.0	-8.4	1.8	-17.9	31.3±0.3
DH-8	-749	-55.0	-8.4	3.7	-18.0	27.2±0.2
DH-8	-872	-56.0	-8.6	<1.0	-14.5	18.8±0.1
DH-8	-978	-58.0	-8.6	<1.0	-16.9	29.9±0.2
<i>Calcite</i>	-217				-7.1	<0.25

地下水中の酸素・水素同位体組成



花崗岩中の地下水の ^{14}C 補正年代

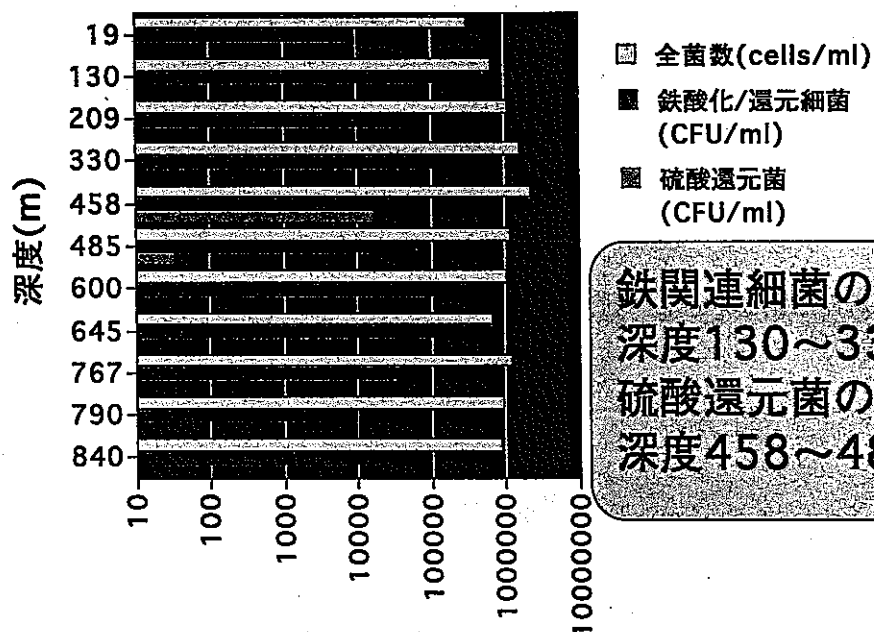
Well	Depth (G.L.-m)	^3H (T.U.)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C (pMC)	^{14}C age (yr.B.P.)	Corrected ^{14}C age (yr.B.P.)
Surface water						
	0	5.2±1.6	-18.1±1.9	102.4±1.6	modern	
Groundwater						
DH-3	-208	2.9	-18.0	99.0±0.3	83±25	modern
DH-5	-330	<1.0	-17.5	45.5±0.3	6,514±55	6,310±650
DH-8	-645	<1.0	-17.8	36.7±0.3	8,287±68	8,190±650
DH-8	-872	<1.0	-14.5	18.8±0.1	13,817±44	12,540±650
DH-8	-978	<1.0	-16.9	29.9±0.2	10,177±56	9,580±650

☆ The uncorrected ^{14}C age = $-8267 \ln(^{14}\text{C})$

☆ The corrected ^{14}C age = $-8267 \ln(f \cdot ^{14}\text{C})$

where the correction factor, f , denotes the fraction of initial DIC.

DH-3孔における 全菌数と特定微生物の関係



地上物理探査

目的

堆積岩、基盤岩等の分布や基盤面の形状の把握および基盤内の風化、および断層等大規模断裂系の検出

調査方法

電磁探査MT & CSMT法

調査範囲

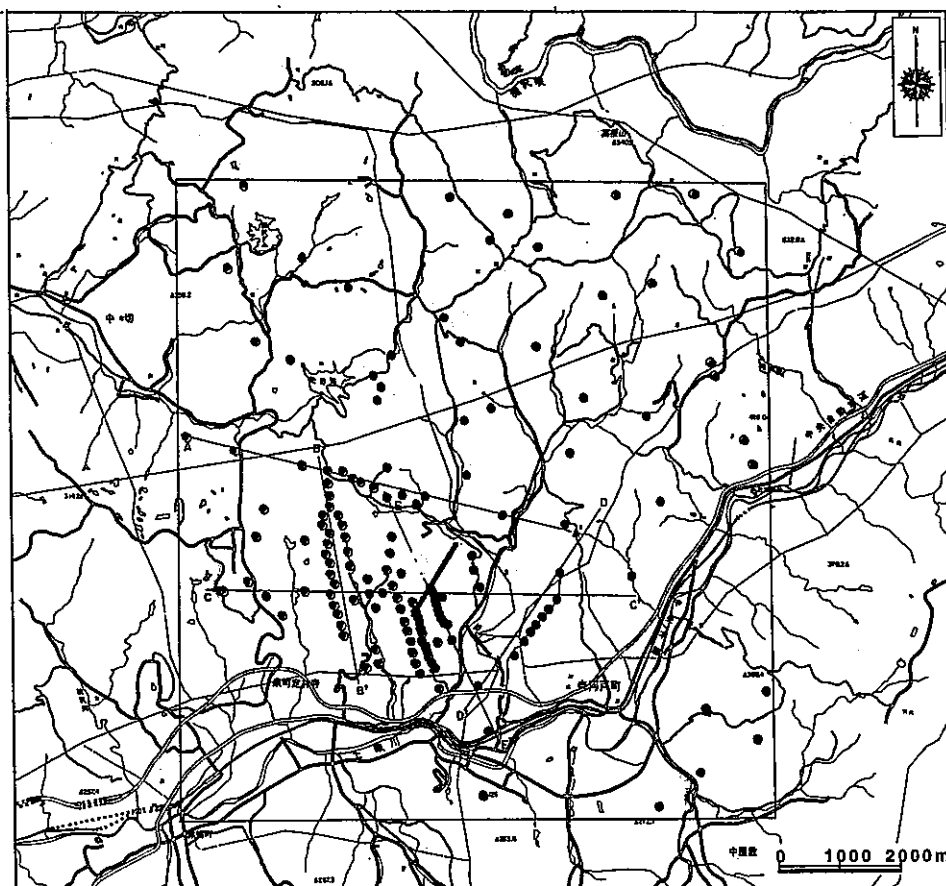
東西約10km×南北約10kmの広域地下水流動研究実施領域

調査量

測点数：144点、南側に密、北側に疎

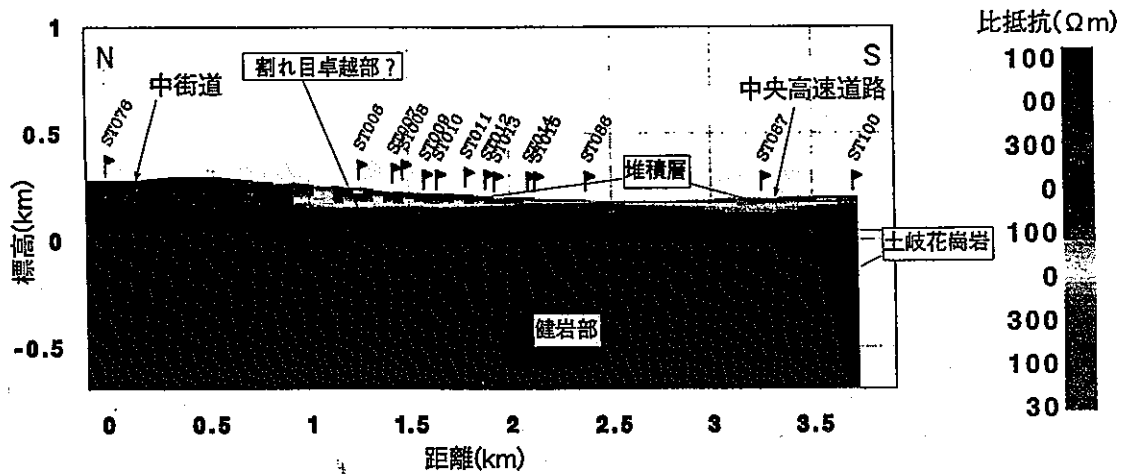
測定周波数：10Hz～96kHz

(750Hz～96kHz人工信号、10～1000Hz自然信号)

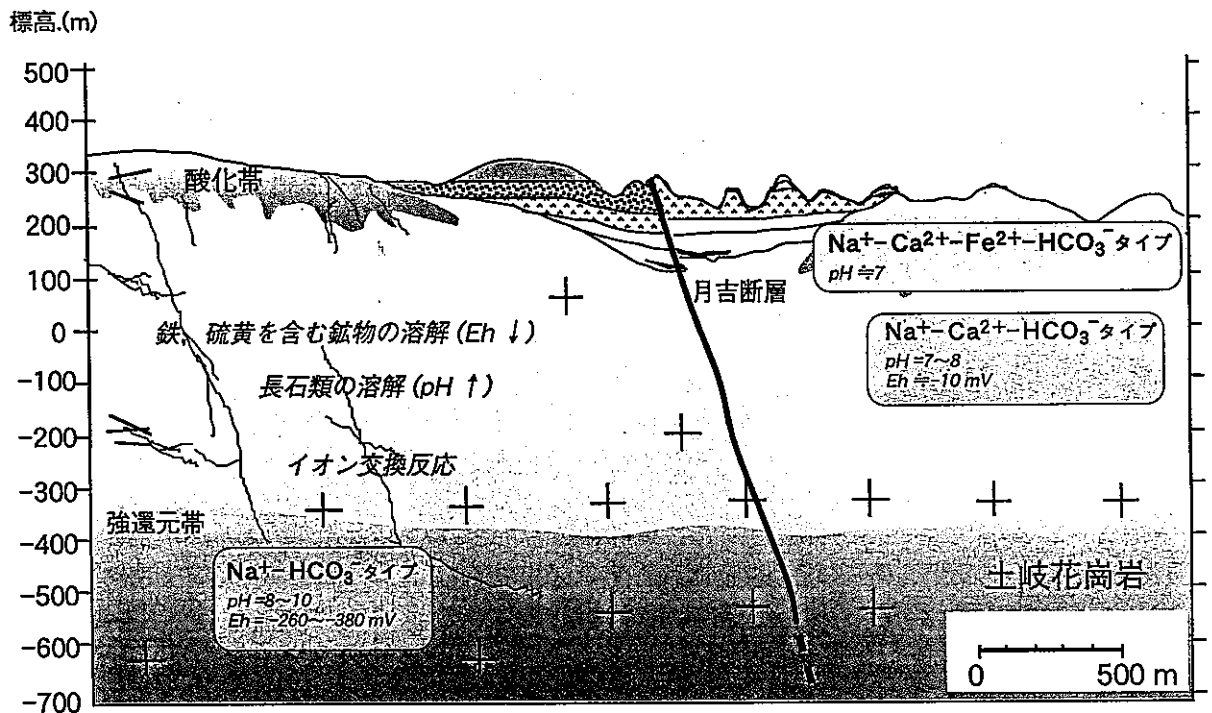


地上物理探査位置図

地上電磁探査比抵抗分布断面図



深部地下水の地球化学的性質の分布



まとめ（その1）

1. 地質・地質構造

- ・地質構造概念モデルの構築（既存データ）
- ・調査の実施（考慮すべき地質・地質構造を把握）
- ・地質構造概念モデルの更新

2. 地下水水理特性

- ・深度が深くなるにつれ割れ目本数が減少
- ・割れ目本数と透水係数には正の相関
- ・地下深部における動水勾配は、地形勾配と比較して小

まとめ（その2）

3. 地下水の地球化学的性質

- ・深度とともにNa-Ca-HCO₃型からNa-HCO₃型へ変化
- ・長石類、方解石の溶解、イオン交換が主要な水-岩石反応
- ・酸化還元境界は深度300~400m付近（鉄、硫黄の化学種が支配）
- ・酸化帯の分布は低比抵抗帯の分布と一致
- ・地下水の起源は天水、¹⁴C年代は深度1000m付近で約1万年
- ・地下水地球化学モデルを構築

今後の計画

1. 地質環境のモデル化と地下水流動解析

- ・地質構造概念モデルの確認
- ・水理地質構造モデルの構築
- ・地下水地球化学モデルの確認
- ・地下水流動解析の実施

2. 解析結果の評価、調査・解析技術の体系化

- ・継続実施

(1) 広域地下水流動調査

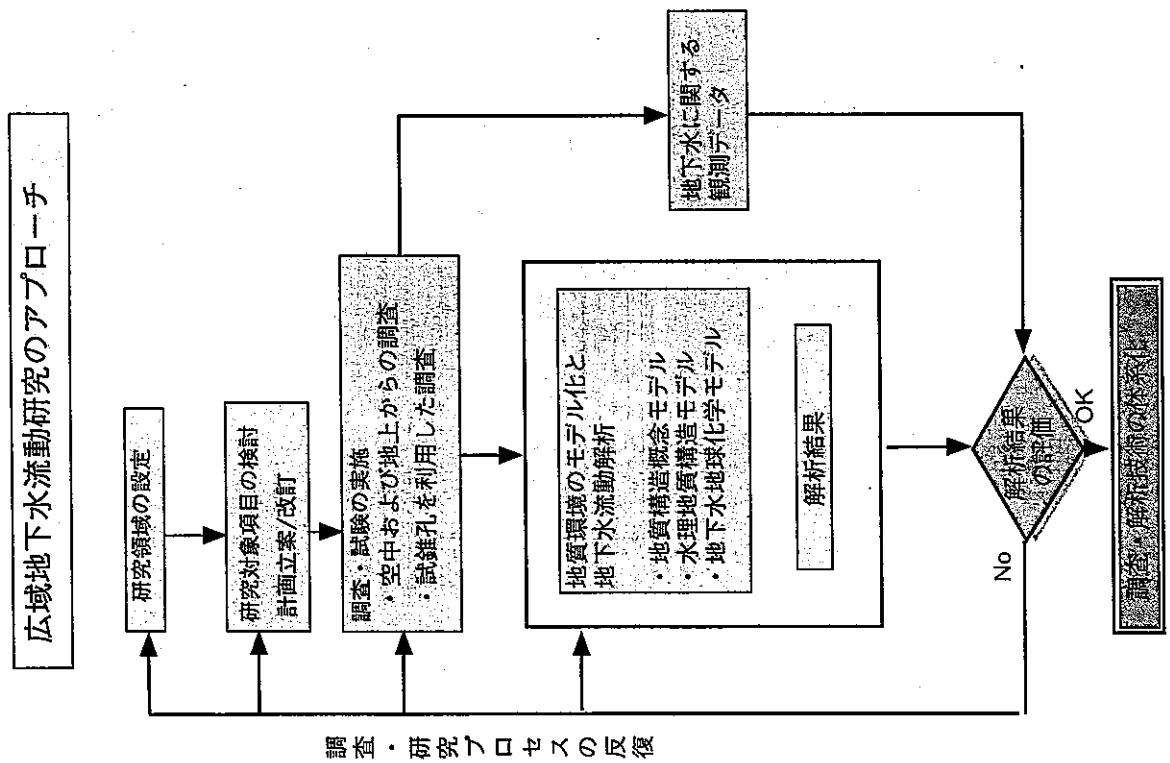
- ②広領域における地下深部の地質環境
把握のための技術
—物理探査および試錐調査結果からの考察—

2. 広領域における地下深部の地質環境把握のための技術

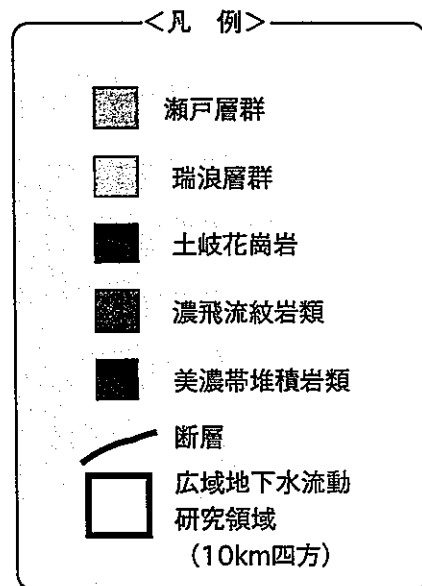
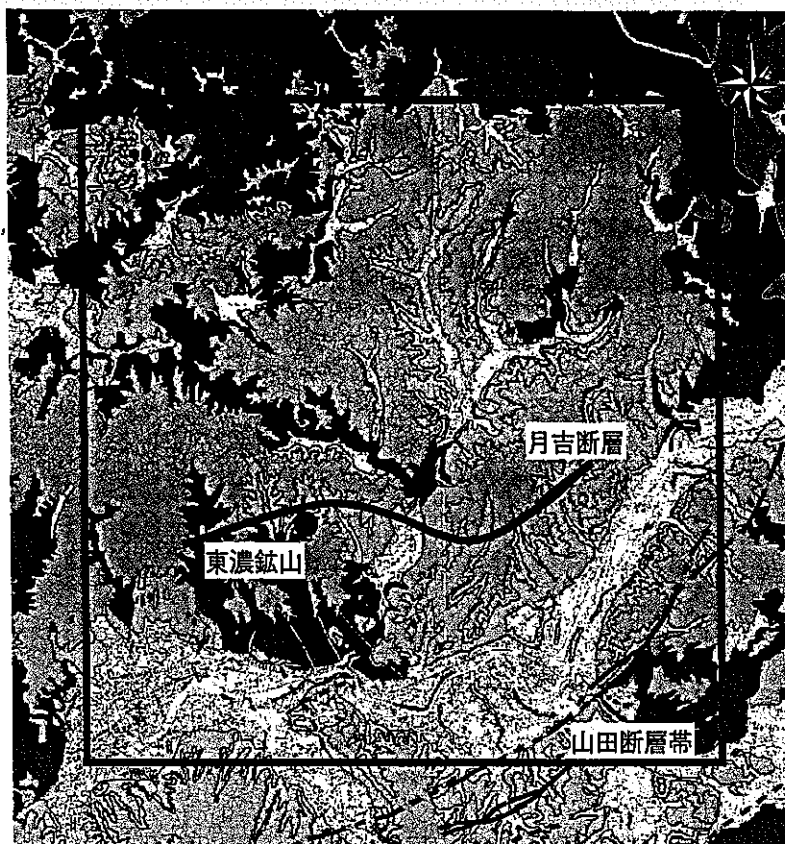
—— 物理探査および試錐調査結果からの考察 ——



核燃料サイクル開発機構
東濃地科学センター
地層科学研究グループ
池田 幸喜



研究領域の地質



考慮されるべき調査対象と調査手法

調査手法 \ 調査対象		地表地質	不整合	断層	風化帯	花崗岩中の不均質性
空中からの調査	電磁探査					
	磁気探査					
	VLF法探査					
	自然放射線探査					
地上での調査	重力探査					
	電磁探査 MT法・CSMT法					
	弾性波探査反射法					
	弾性波探査屈折法					

空中物理探査の概要

調査方法

ヘリコプターを用いた電磁、磁気、VLF、自然放射線

調査範囲

東西約10km×南北約10km

調査仕様

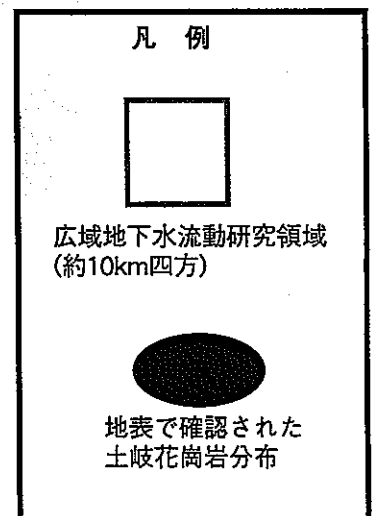
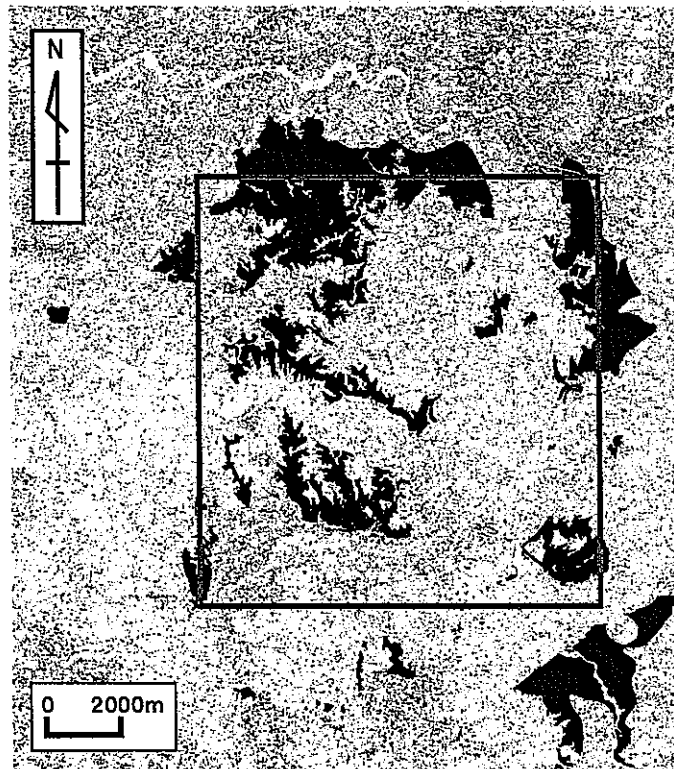
飛行間隔：100m

飛行方向：南北方向

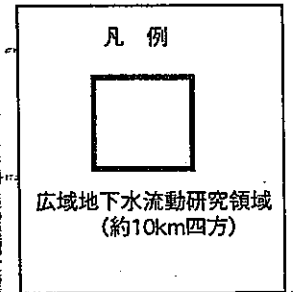
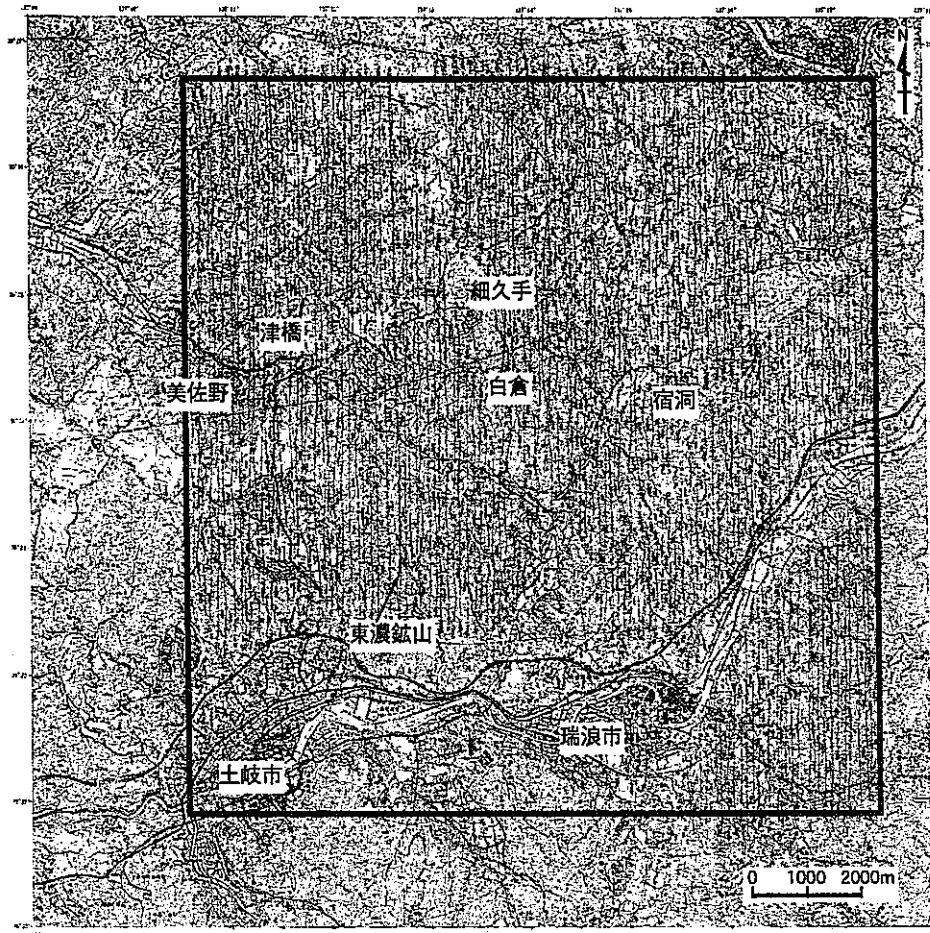
飛行高度：約100m

調査量

測線長：約600km

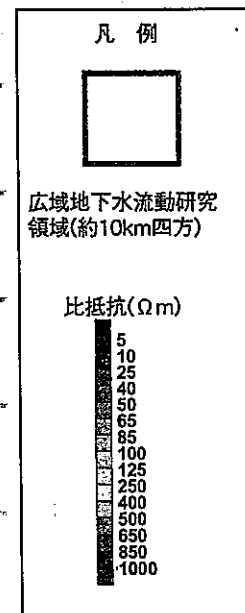
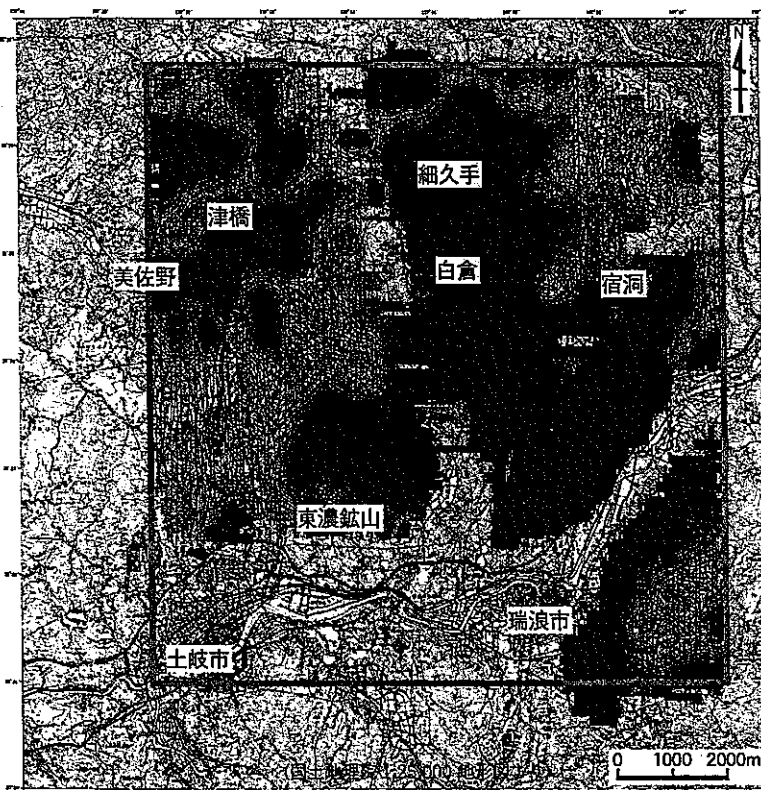


土岐花崗岩分布図

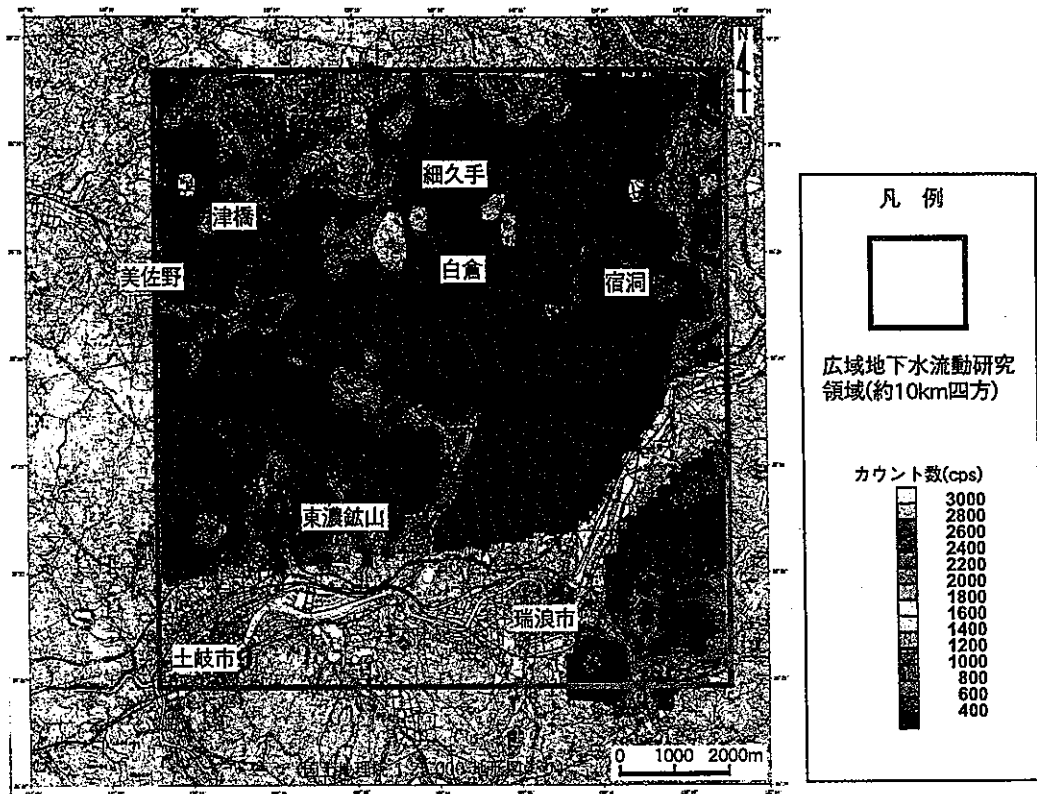


国土地理院1/25,000地形図使用

空中物理探査 飛行航跡図



空中電磁探査による地表下40mにおける比抵抗分布平面図



空中自然放射線探査による γ 線強度分布平面図

地上物理探査の概要

調査範囲・方法

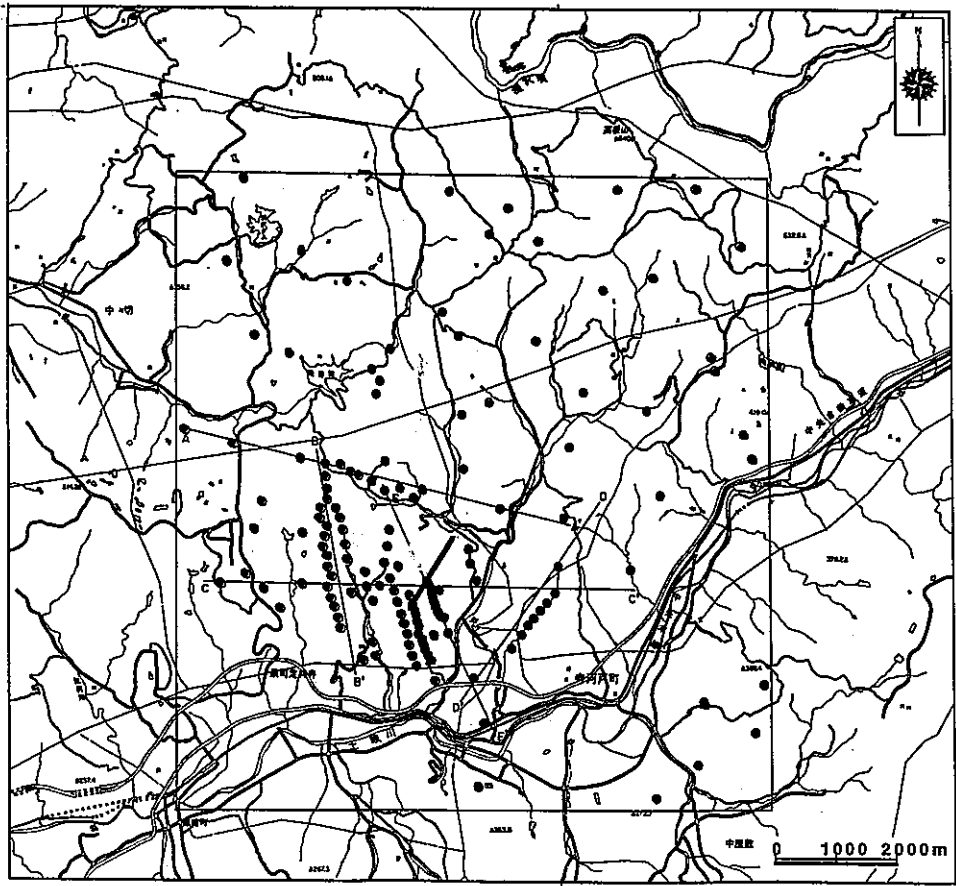
- ①重力探査
- ②電磁探査 (MT & CSMT 法)
- ③弾性波探査反射法 (バイブレータおよび油圧インパクトターを振源)
- ④弾性波探査屈折法 (ダイナマイトを振源)

調査範囲

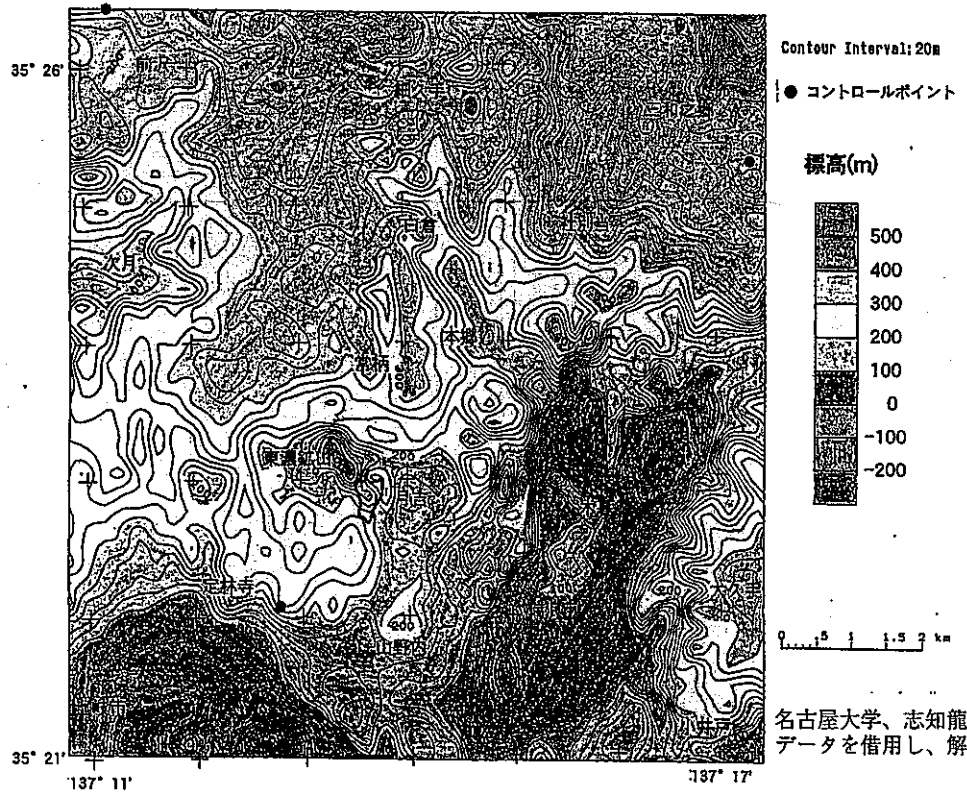
東西約10km×南北約10km

調査量

- ①測点数：4,643点
- ②測点数：144点 (測定周波数：10Hz～96kHz)
- ③測線長：1,304m (2 測線)
- ④測線長：1,700m (1 測線)

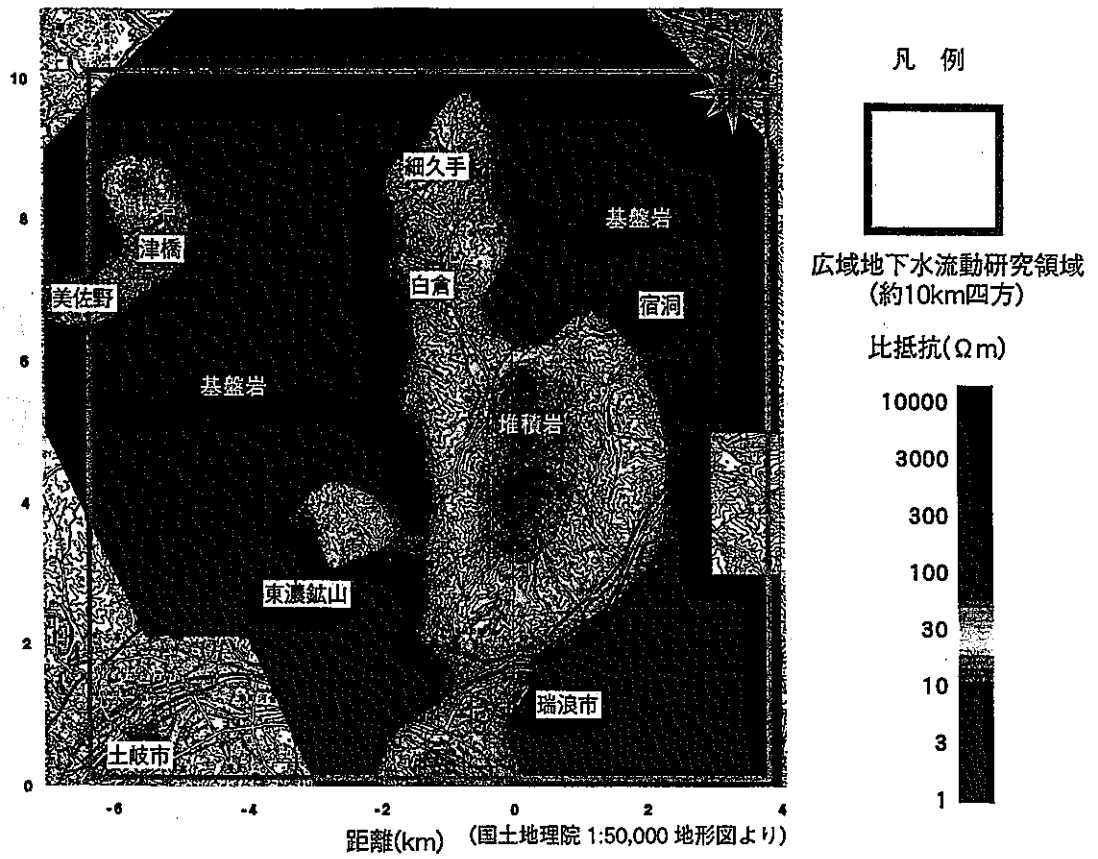


地上物理探査位置図

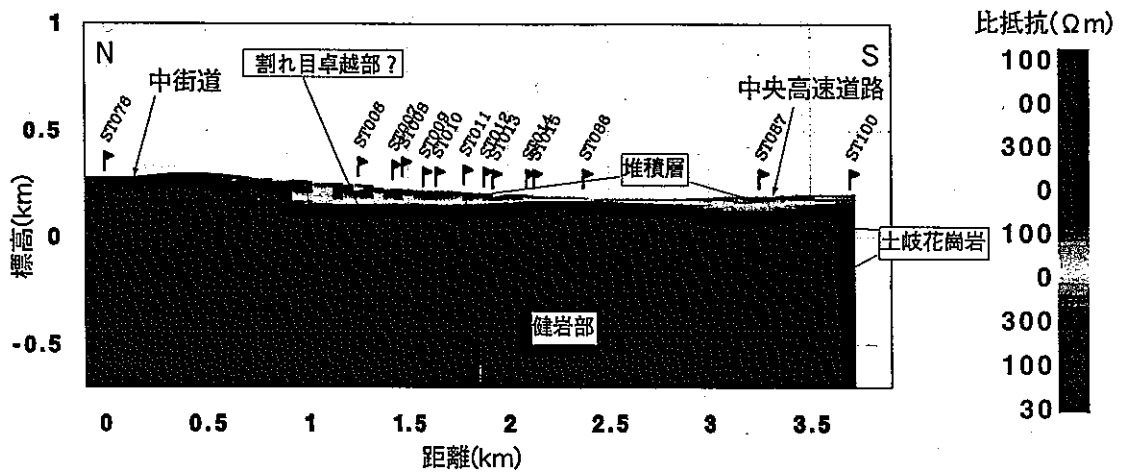


名古屋大学、志知龍一教授よりデータを借用し、解析した

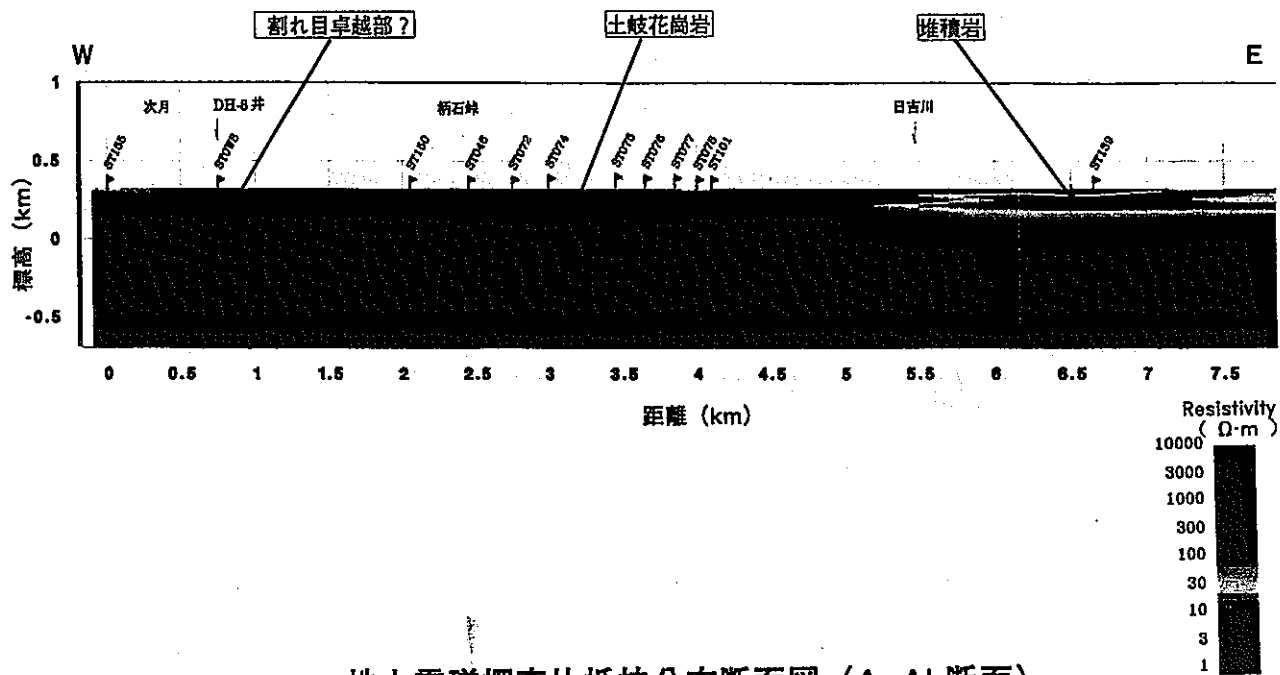
重力探査解析結果



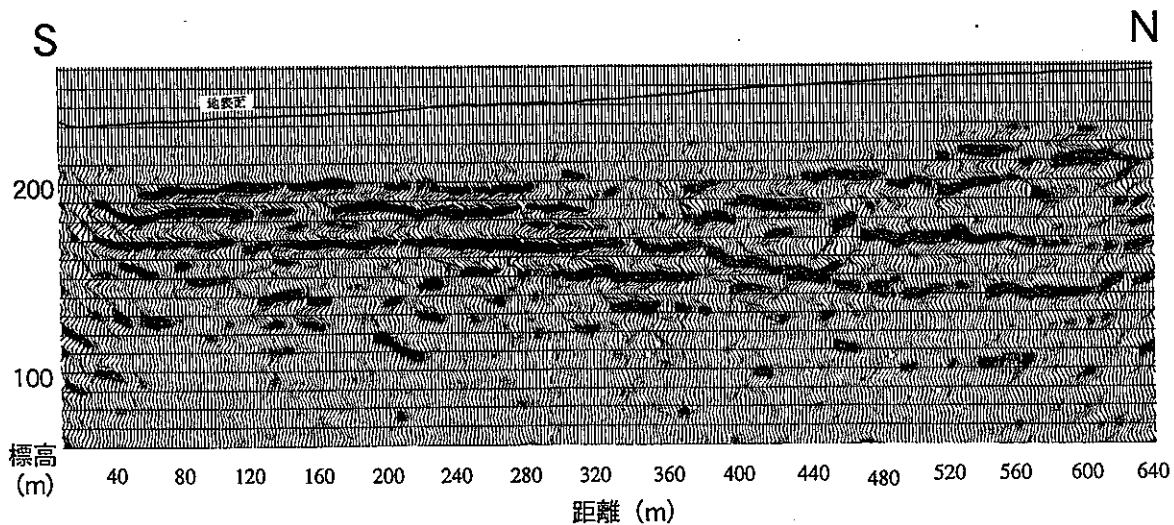
地上電磁探査による比抵抗分布平面図 (海拔200 m)



地上電磁探査比抵抗分布断面図 (E-E'断面)

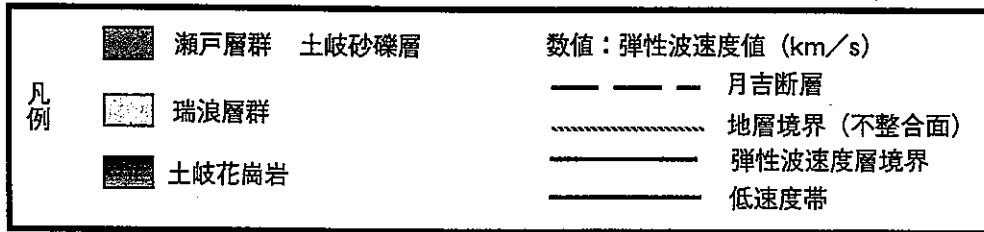
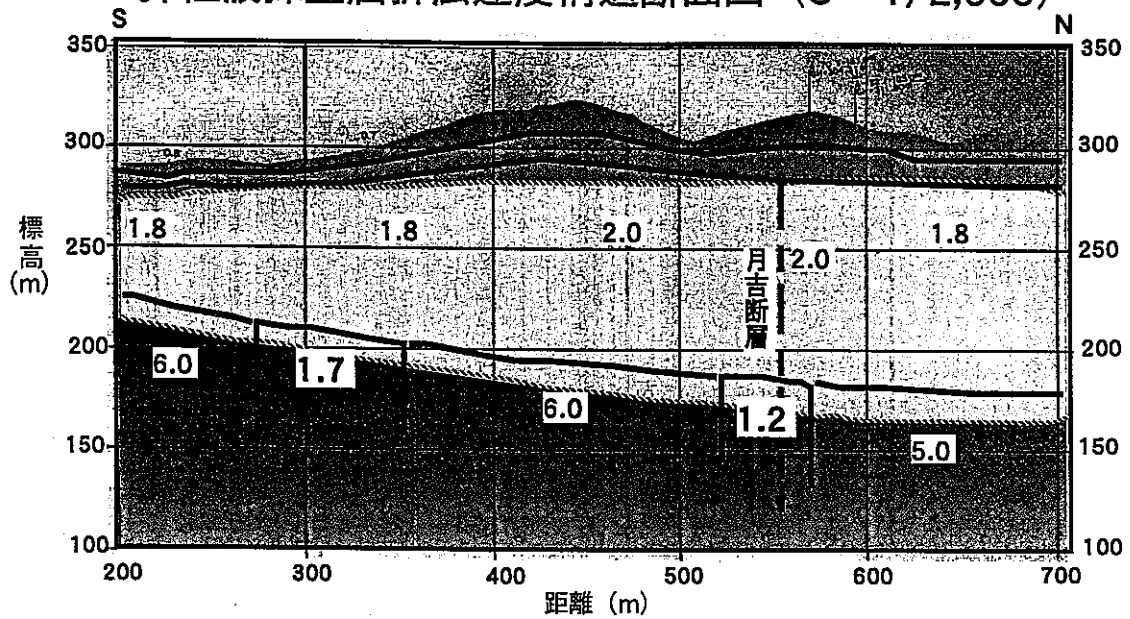


地上電磁探査比抵抗分布断面図 (A-A' 断面)



彈性波探査反射法断面図

弾性波探査屈折法速度構造断面図 (S = 1/2,000)



物理探査における調査の達成度

調査対象		地表地質	不整合	断層	風化帯	花崗岩中の不均質性
調査手法						
空中からの調査	電磁探査	○	○	×	△	×
	磁気探査	△	×	×	×	×
	VLF法探査	△	×	×	×	×
	自然放射線探査	○	△	×	×	×
地上での調査	重力探査	○	○	×	△	△
	電磁探査 MT法・CSMT法	○	○	×	△	△
	弾性波探査反射法	○	○	○	△	△
	弾性波探査屈折法	○	○	○	△	○

○：検出可 ×：検出不可 △：判断できず

物理探査のまとめと今後の計画

○まとめ

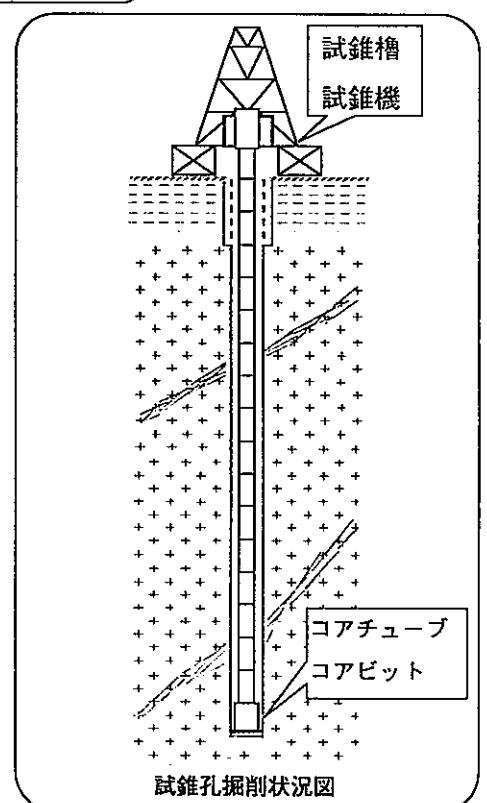
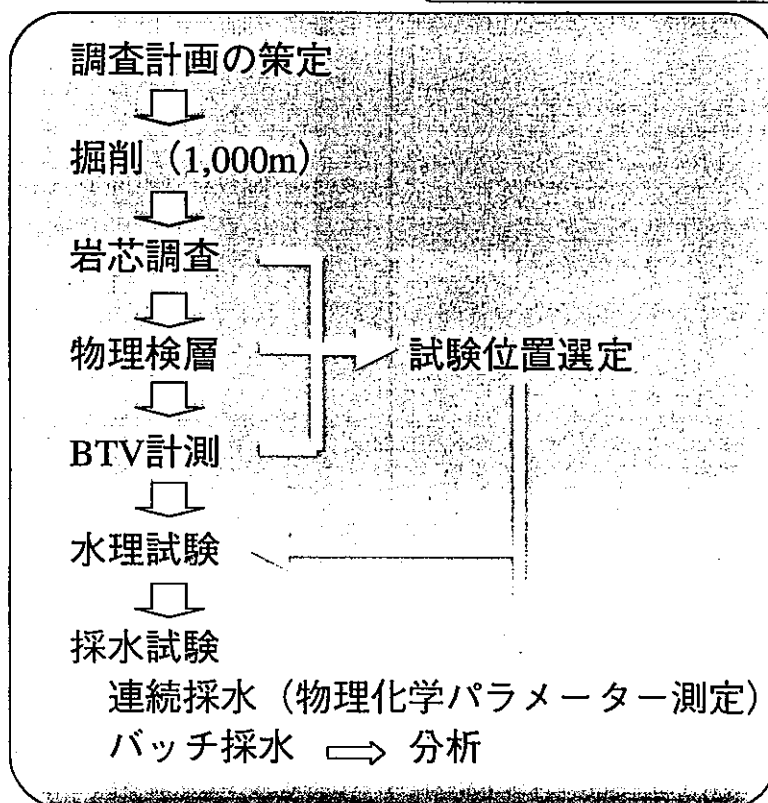
基盤花崗岩を堆積岩（低比抵抗帯）が覆う当地域において

1. 空中からの物理探査により、地表での花崗岩の分布を効率的に把握できる。
2. 地上での物理探査により、基盤花崗岩の深度（不整合深度）、花崗岩中の風化帯の分布を捉えることができる。ただし、断層（月吉断層）については、弾性波探査が有効である。

○今後の計画

1. 物理探査結果の地質構造概念モデルへの反映
2. 現在までに確認できていない物理探査結果の検証作業

試錐調査の手順



試錐調査における課題と対策

① 掘削の課題
掘削による地質環境への影響防止
試錐水の崩壊

② 岩芯調査の課題
岩芯採取量の向上と原型の保持
岩芯酸化の防止

③ 孔内試験の課題
地下深部での水理試験・採水試験の実施

④ 地下水の地球化学調査の課題
地下水と掘削水の混入



① 掘削の対策
清水掘削
部分ケーシングと部分セメンチング

② 岩芯調査の対策
三重管ワイヤー掘削法
岩芯保管具の開発

③ 孔内試験の対策
100mm対応水理試験機の開発
100mm対応採水装置の開発

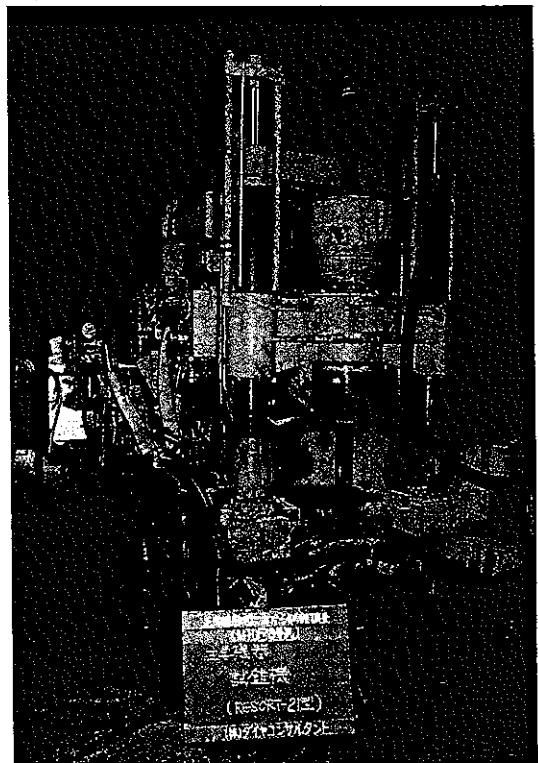
④ 地下水の地球化学調査の対策
トレーサー（蛍光染料）による確認

サイクル機構

試錐孔の掘削



試錐現場全景写真



試錐機

サイクル機構

① 掘削の課題

掘削による地質環境への影響防止
 掘削による影響を最小限にするため → 清水掘削

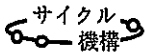
考慮すべき問題点

1. スライムの排除不良
2. 孔壁の崩壊
押し出し
3. 逸水
4. 湧水



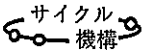
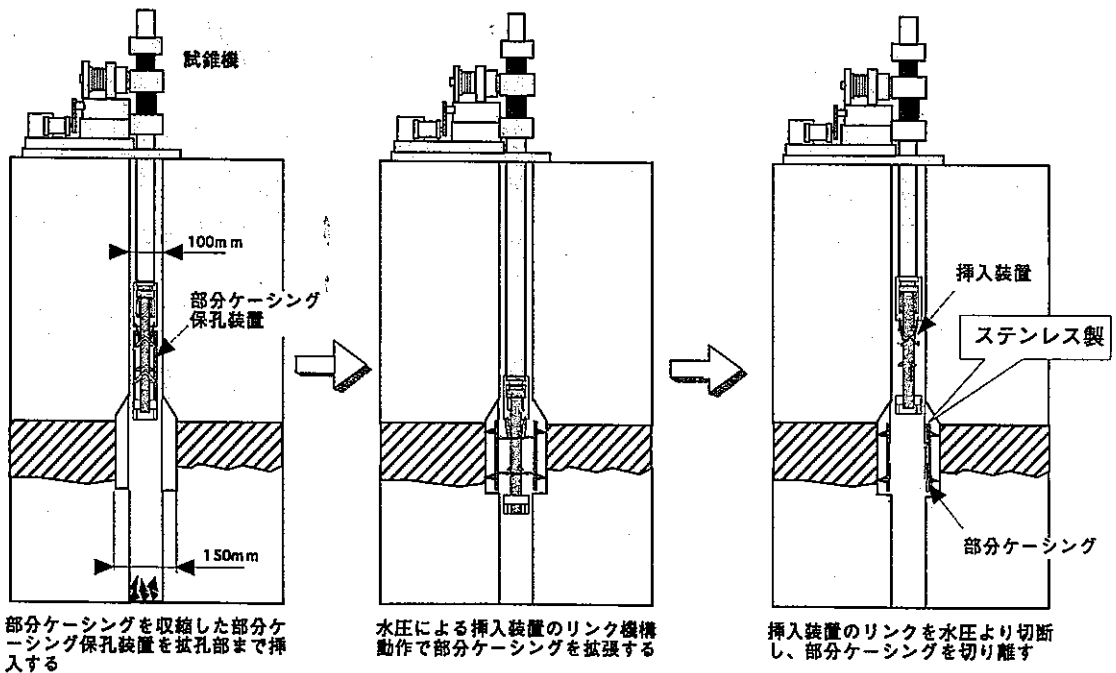
対策

1. インテリグネーテッドビットの使用
2. ケーシング掘削工法の適用
部分ケーシングと部分セメント
3. 対策せず (部分セメンチングを計画)
4. 対策せず (部分セメンチングを計画)



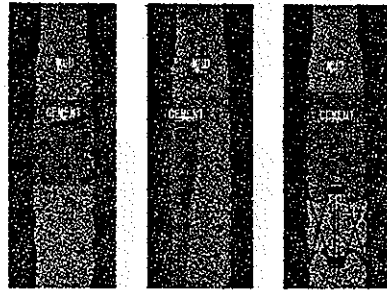
試錐孔の崩壊対策 (1)

部分ケーシング保孔装置の開発

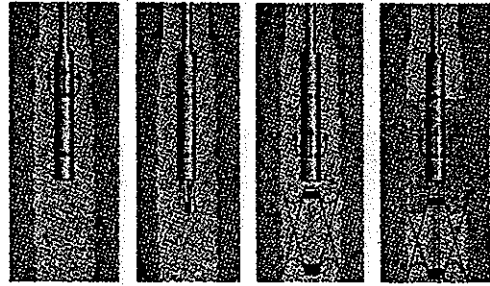


試錐孔の崩壊対策 (2)

部分セメンチング (ParaBowセメンチングツール) の適用試験



ParaBowセメンチングツールの効果



ParaBowの機構と作業手順



ParaBow本体の写真



回収したParaBowとセメント

サイクル機構

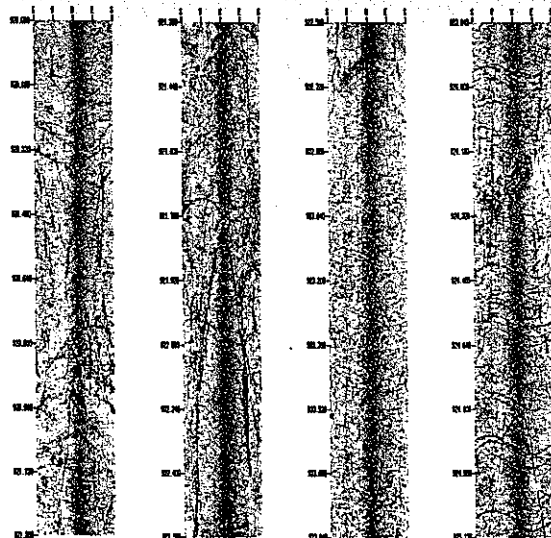
② 岩芯調査の課題

岩芯採取率の向上と原型の保持

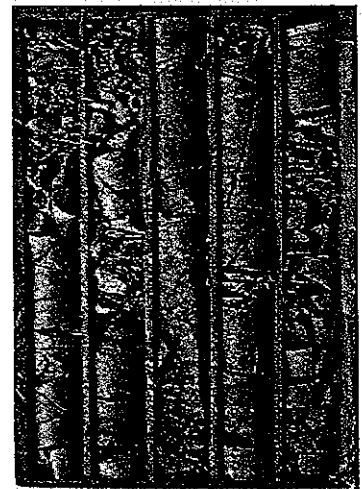
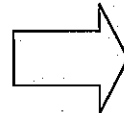
(1) 二重管ワイヤーラインコアチューブの使用



コア取り出し作業



BTV画像(920~925m)

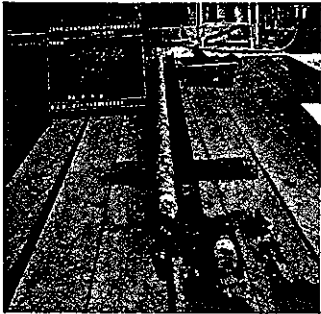


同所で採取したコア写真

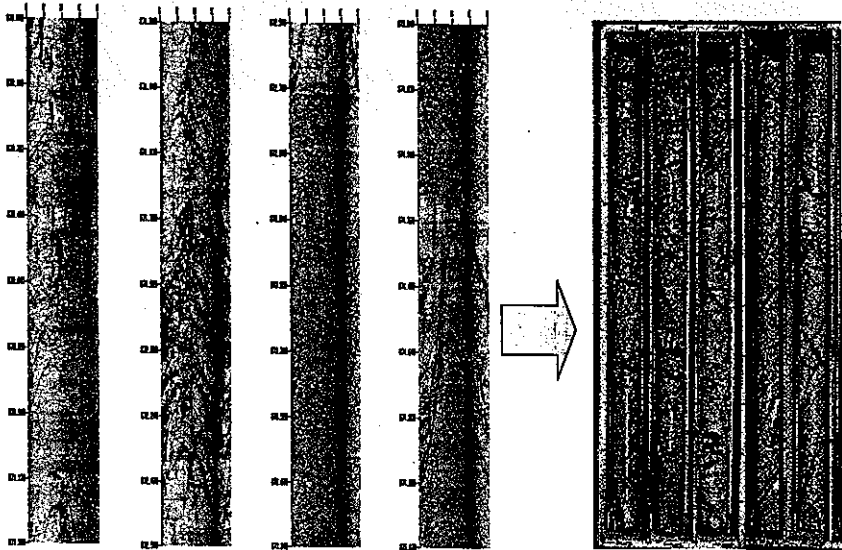
サイクル機構

② 岩芯調査の課題

岩芯採取率の向上と原型の保持
 ② 三重管ワイヤーラインコアチューブの使用



三重管で採取したコア



三重管の内管を透明に分割しチューブに改善

サイクル機構

BTV画像(870~850m)

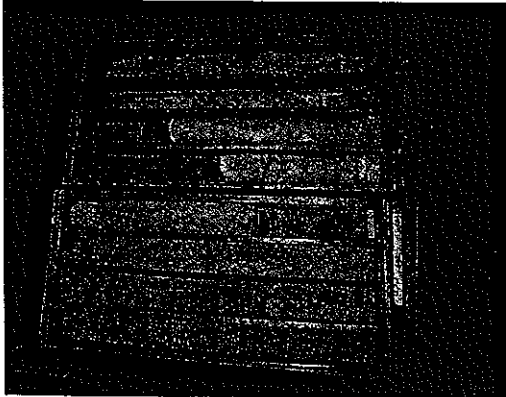
同所で採取したコア写真

② 岩芯調査の課題

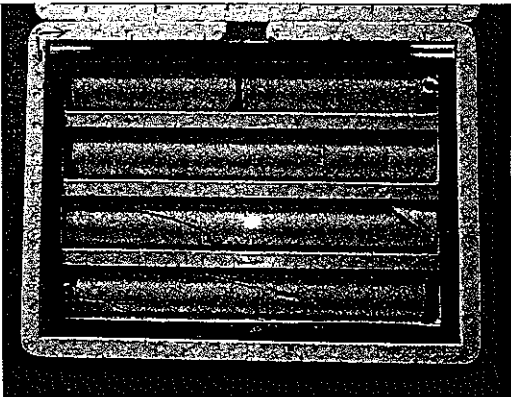
岩芯の酸化防止
 木製箱で採ったコアが酸化し保管に問題がある。 → 密閉型コア箱の開発



密閉型コア箱の窒素充填作業

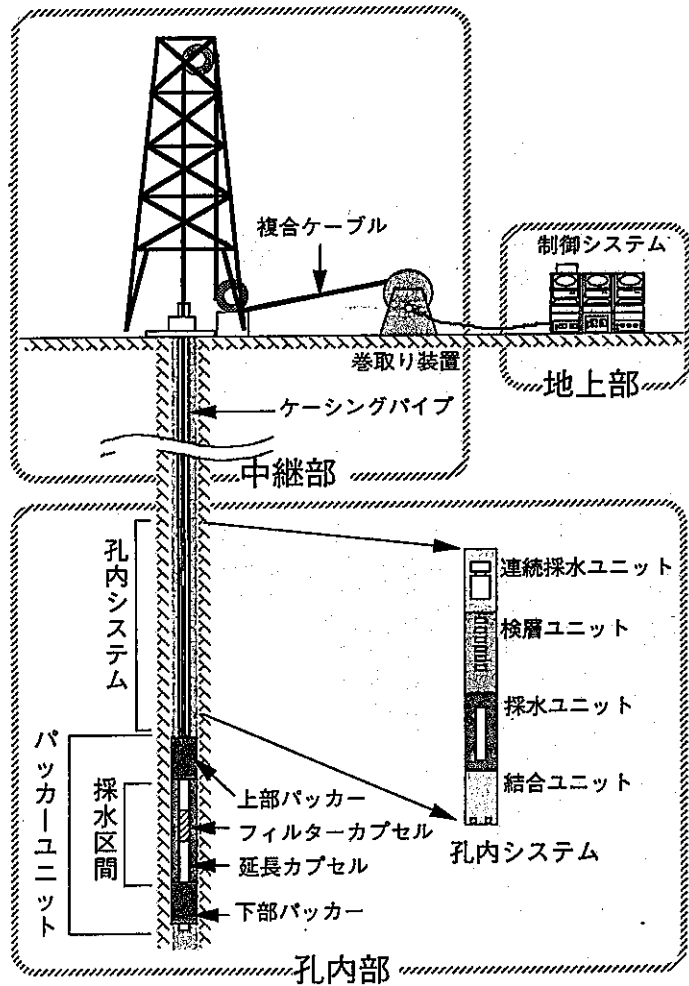


風化した岩芯



密閉型コア箱

サイクル機構

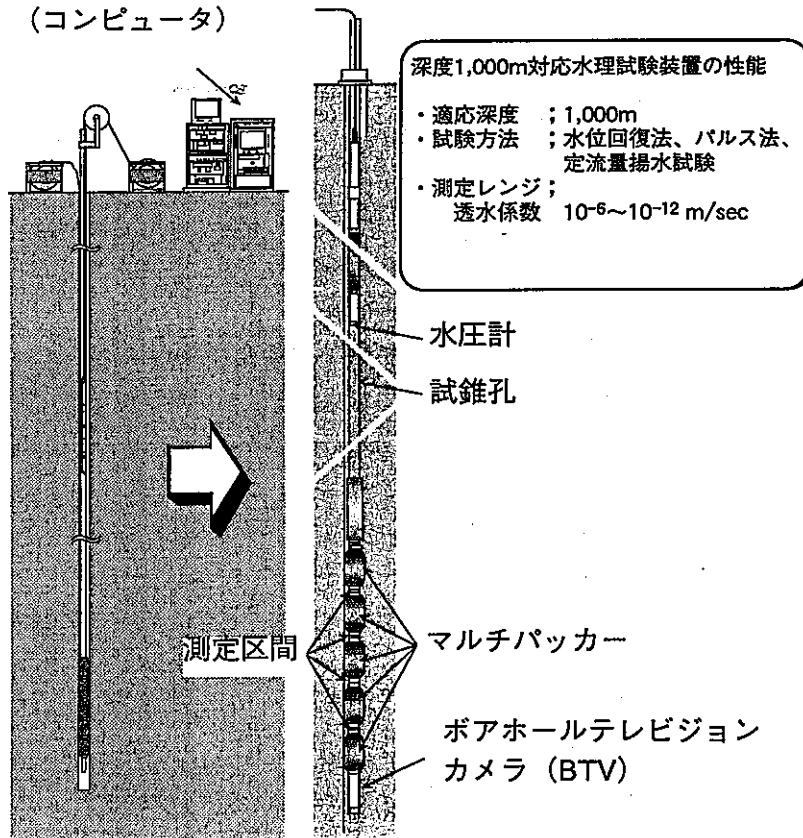


1,000 m対応採水装置の概要

深層の水の流れを調べる

深度1,000m対応水理試験装置

制御装置部
(コンピュータ)



深度1,000m対応水理試験装置の性能

- ・適応深度 ; 1,000m
- ・試験方法 ; 水位回復法、パルス法、定流量揚水試験
- ・測定レンジ ; 透水係数 $10^{-6} \sim 10^{-12}$ m/sec

水圧計

試錐孔

測定区間

マルチパッカー

ボアホールテレビジョン
カメラ (BTV)

④ 地下水の地球化学調査の課題

課題 地下水と掘削水が混入した採取水の排除

今後の対応策

掘削水は清水にトレーサー（蛍光染料）を添加し、濃度管理
掘削終了後、岩芯調査、物理検層、BTV計測、水理試験（揚水、透水試
験）結果から、採水ポイントを決めて実施

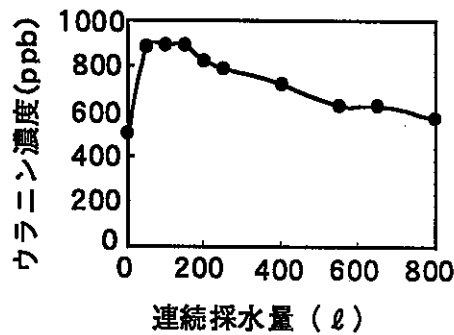
採取水の分析結果

DH-10号孔 深度333.5-341.5m

ウラン添加濃度：1000ppb

バッカー区間体積：16ℓ

連続採水期間：303時間（平均速度：60ml/min）



試錐掘削後
では地層水
の採水が困
難であった

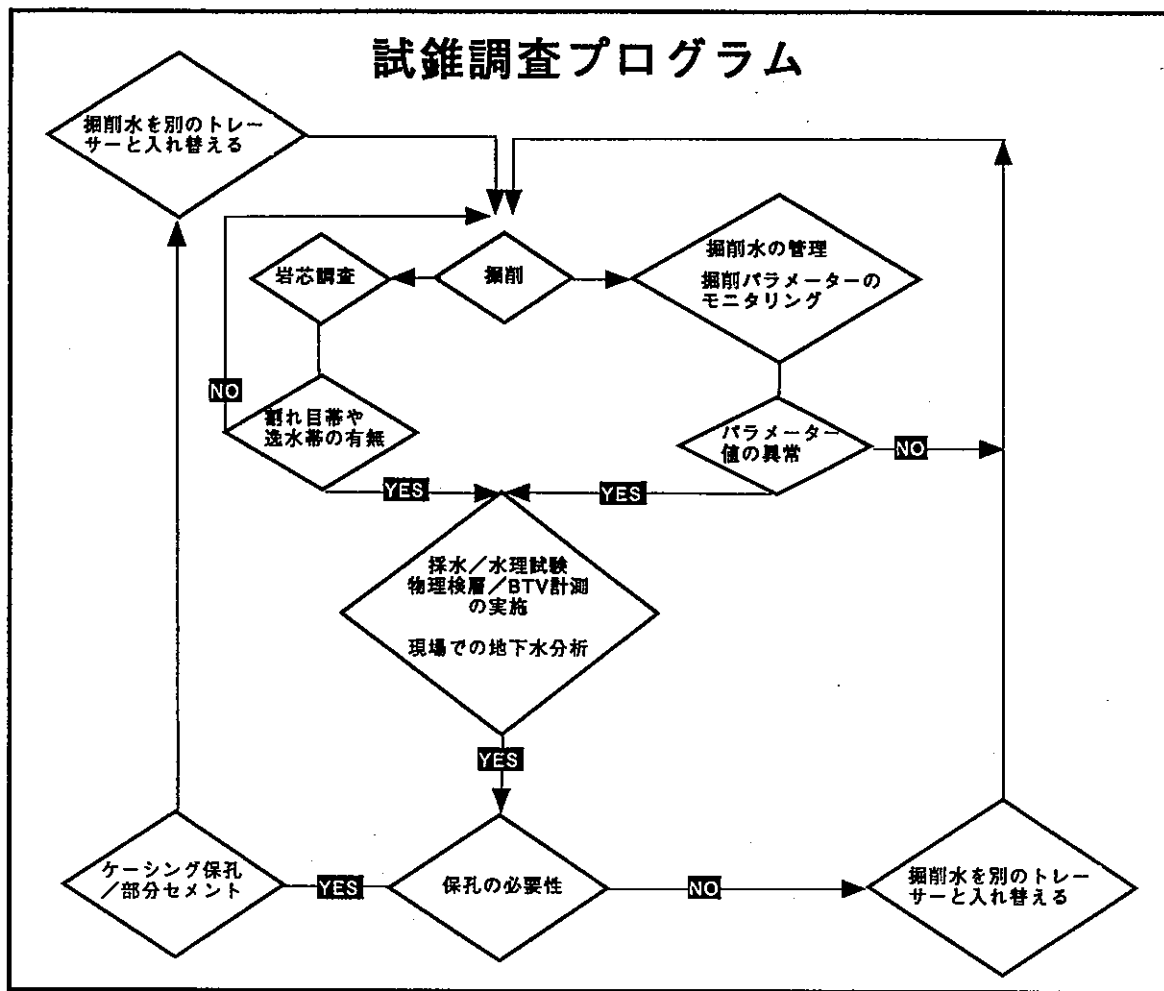
サイクル
機構

④ 地下水の地球化学調査の課題

今後の対応策

- 掘削水は一定成分の水にトレーサーを添加し、濃度管理およびモニタリングを調査現場で実施
- 掘削中に採水ポイント（送水など）に達したら、即座に採水調査
- トレーサー濃度および物理化学パラメーター測定により、地層水採取を判断
- 採水終了後は、他の地層水とのコンタミを防止するため、ケーシング保孔、またはセメントなどにより遮水
- 複数のトレーサーを準備し、試験ステージ終了毎に孔内水を新たなトレーサーを注入した掘削水に入れ替える

サイクル
機構



試錐調査のまとめと今後の計画

○まとめ

1. 深度1,000mまでの清水掘削が可能
2. 個々の必要データの取得、および調査・試験手法の確立
3. 試錐調査プログラムの確立

○今後の計画

調査・試験手法の高度化および試錐調査プログラムの検証

(2) 超深地層研究所計画（第1段階）の現状

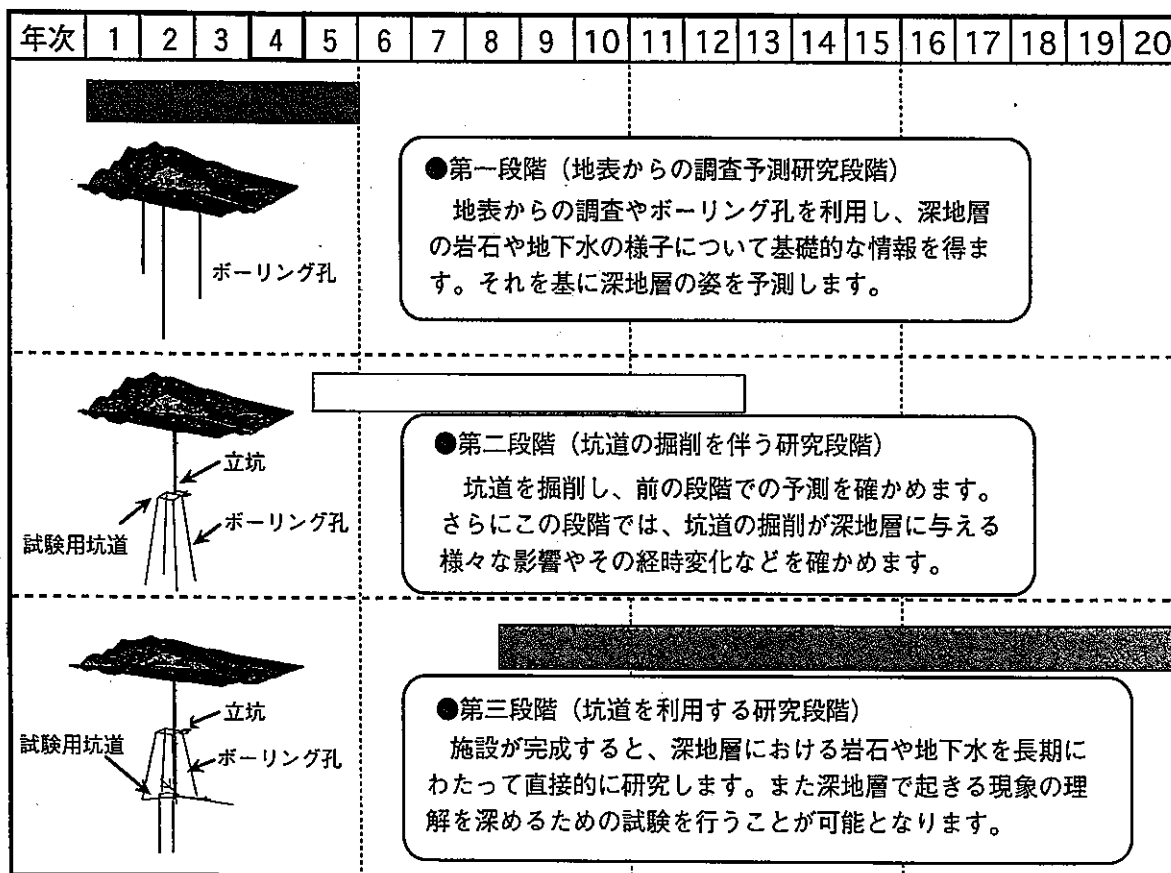
①中領域における地下深部地質構造の把握

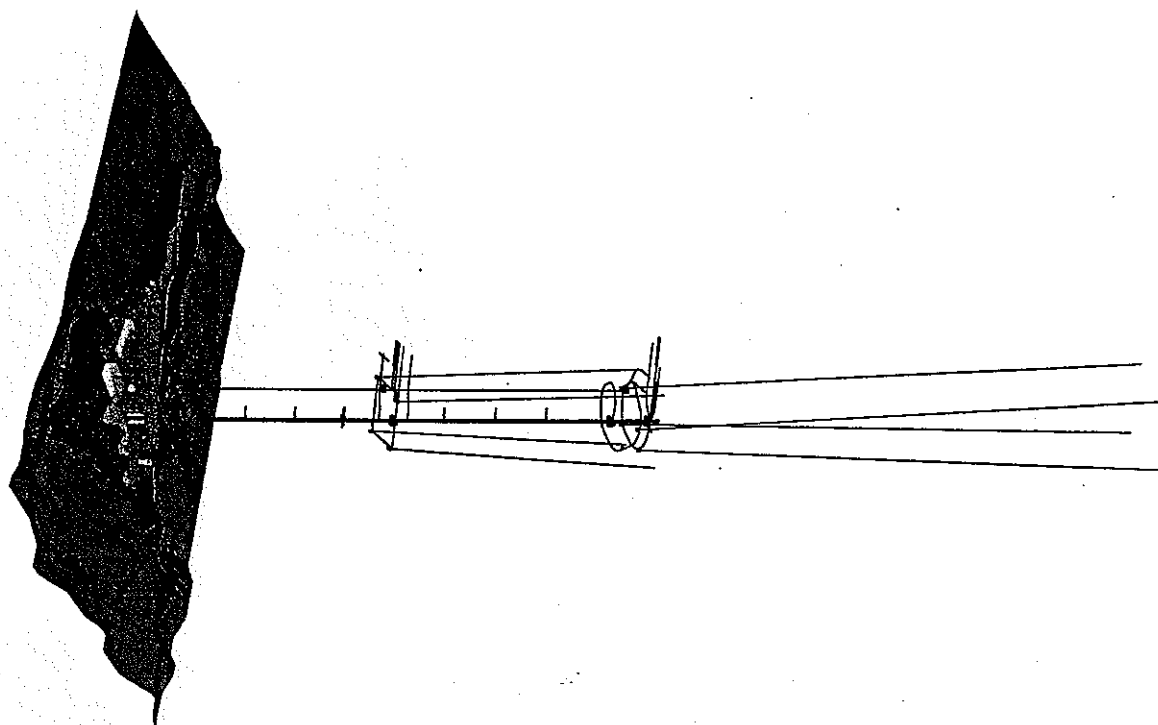
中領域における 地下深部地質構造の把握



核燃料サイクル開発機構
東濃地科学センター
地層科学研究グループ
天野 健治

超深地層研究所研究計画の進め方

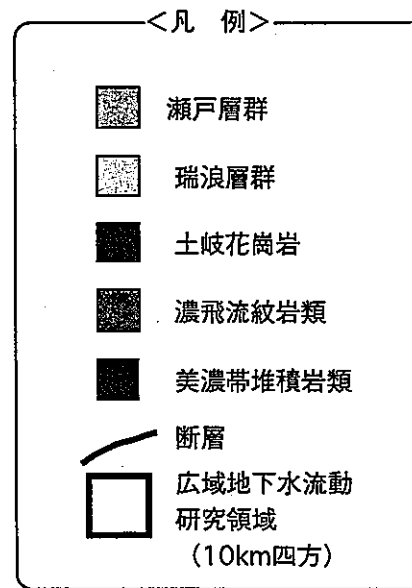
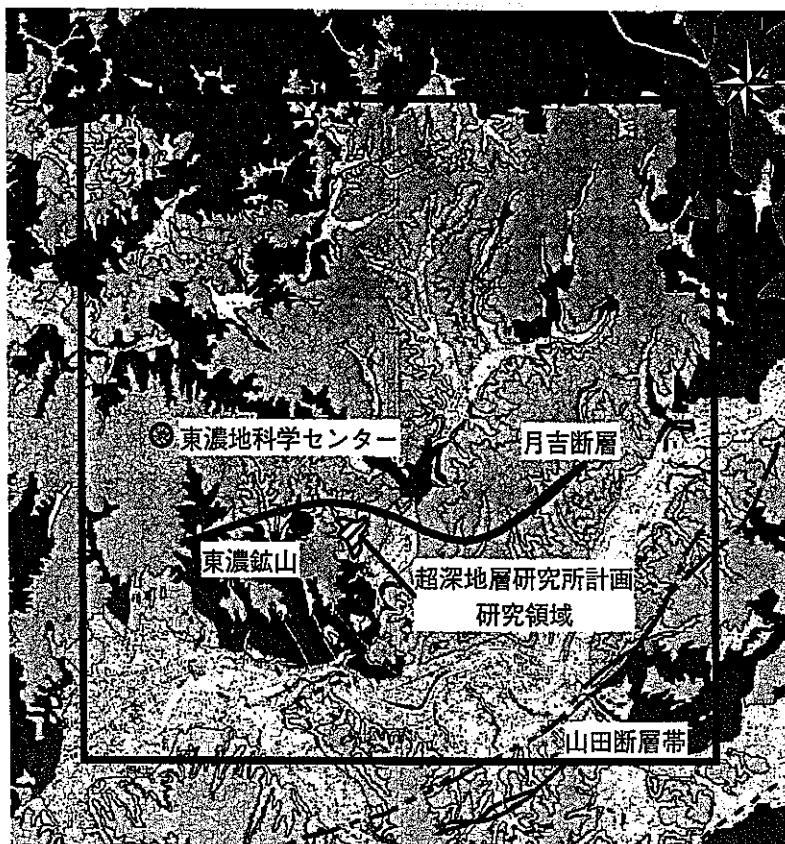




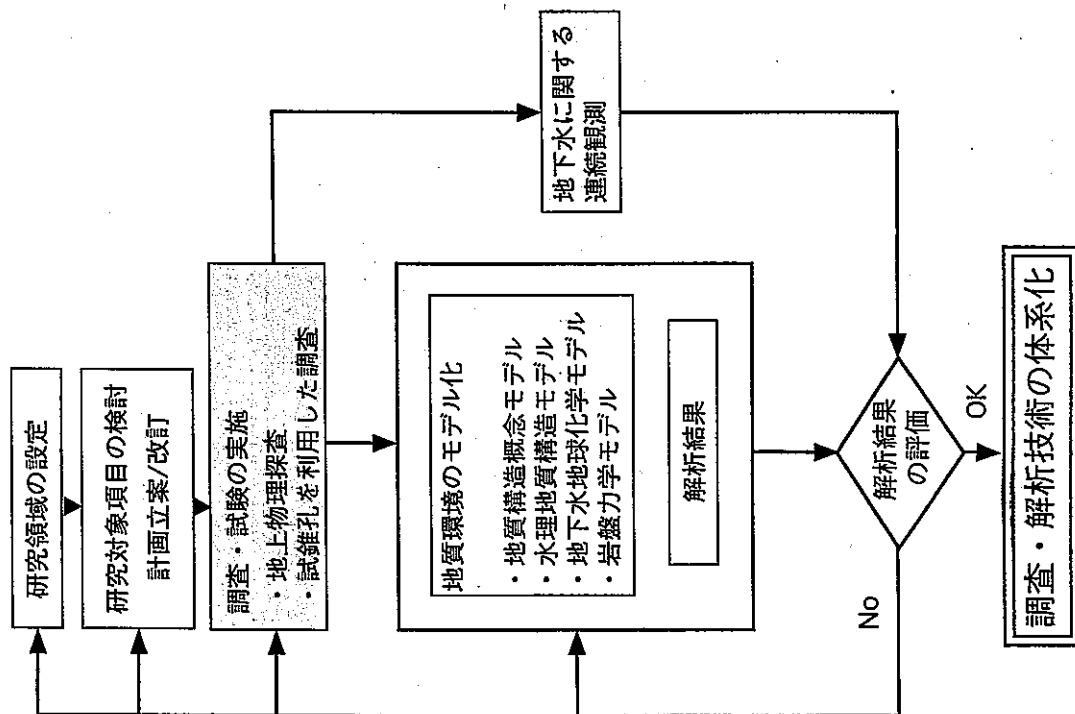
地表からの調査予測研究段階の具体的な目標

- 領域内の地質環境（地質・地質構造，地下水の水理特性，地下水の地球化学的性質および岩盤の力学特性）の把握
- 地質環境のモデル化を通して、領域内の地質環境を合理的かつ的確に調査・解析するための体系的な技術の構築
- 地下施設の設計に必要な地質環境に関する情報の取得、および坑道の掘削を伴う調査研究段階の詳細計画の立案

研究領域の地質



調査・研究のアプローチ — 第1段階 —



調査・研究プロセスの反復

地上からの調査（地上物理探査）

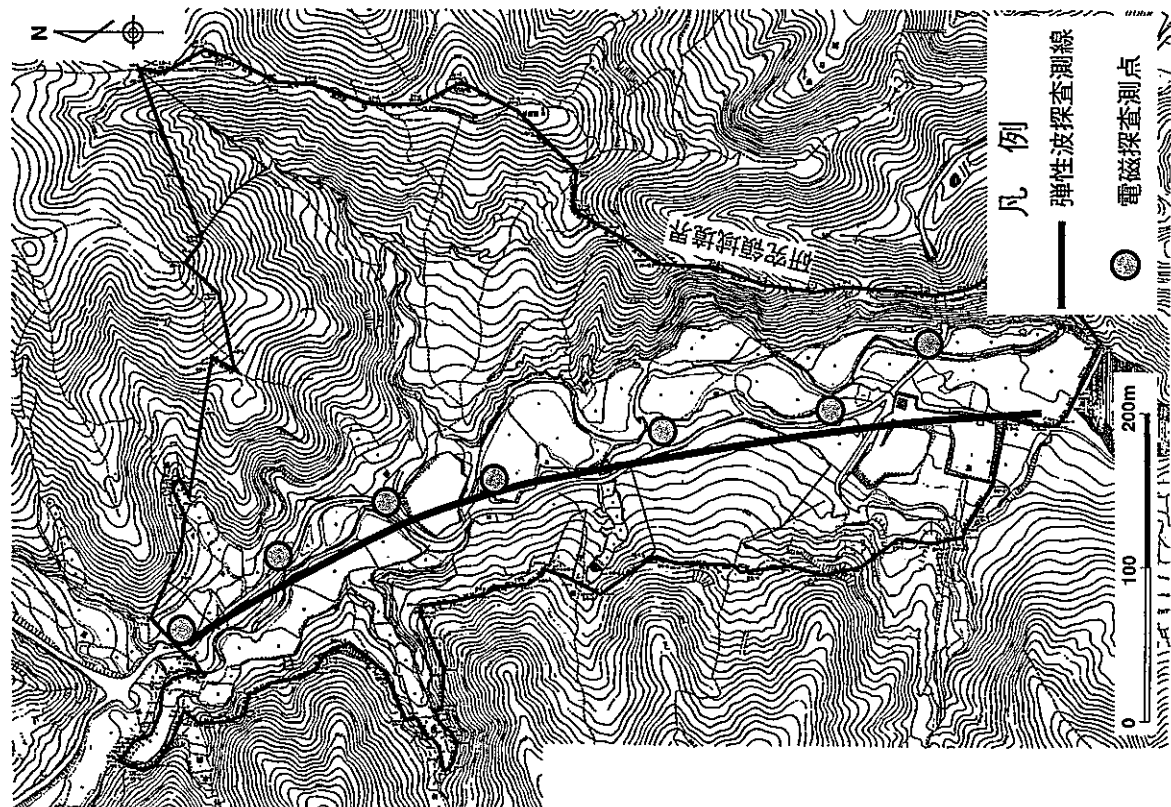
【目的】

- 岩体内部の不均質性（風化・変質帯）や不連続構造（断層・割れ目帯など）の空間分布の把握

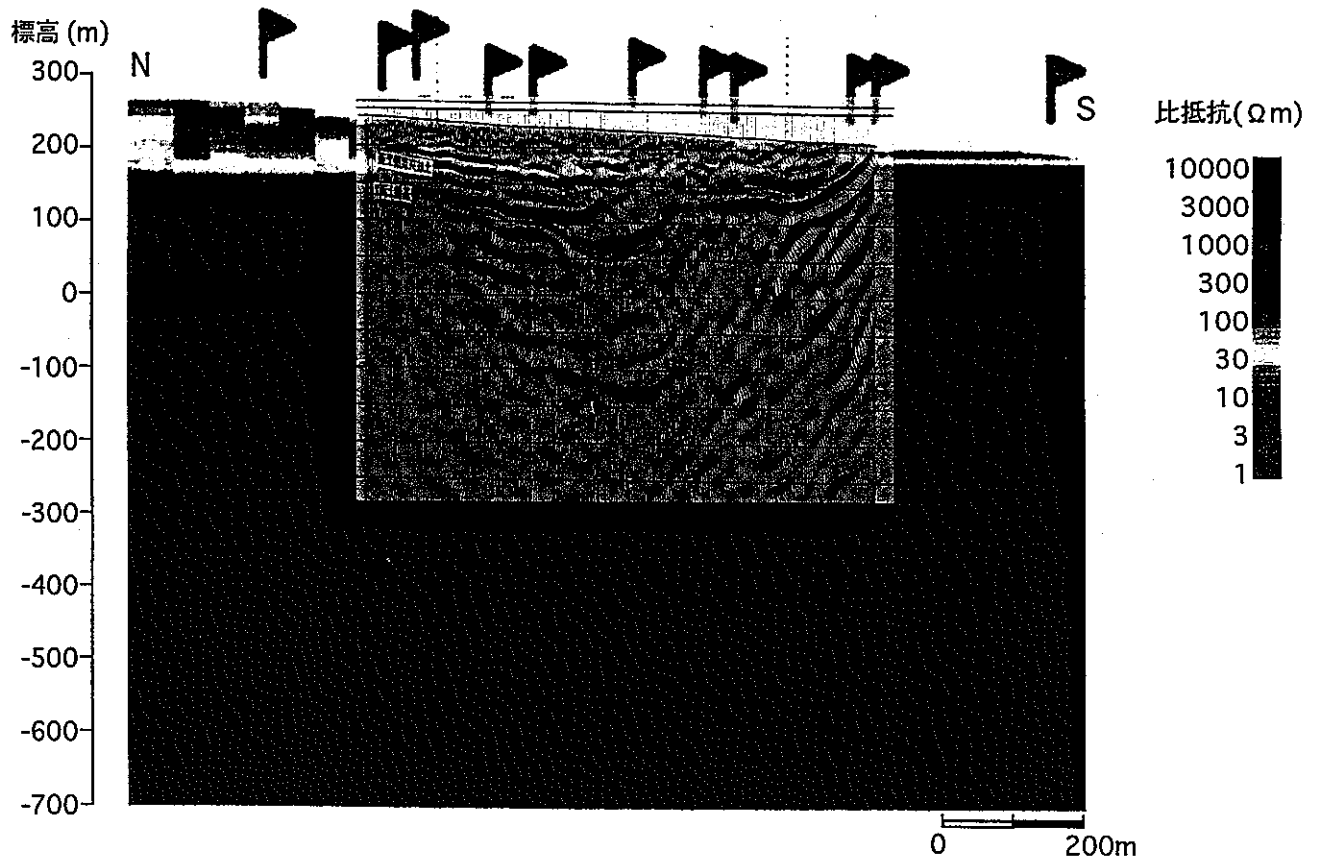
【内容】

- 弾性波探査反射法
- 電磁探査CSMT&MT法

地上物理探査測線・測点位置図



地上物理探査結果（反射法および電磁探査）



試錐孔を利用した調査

【目的】

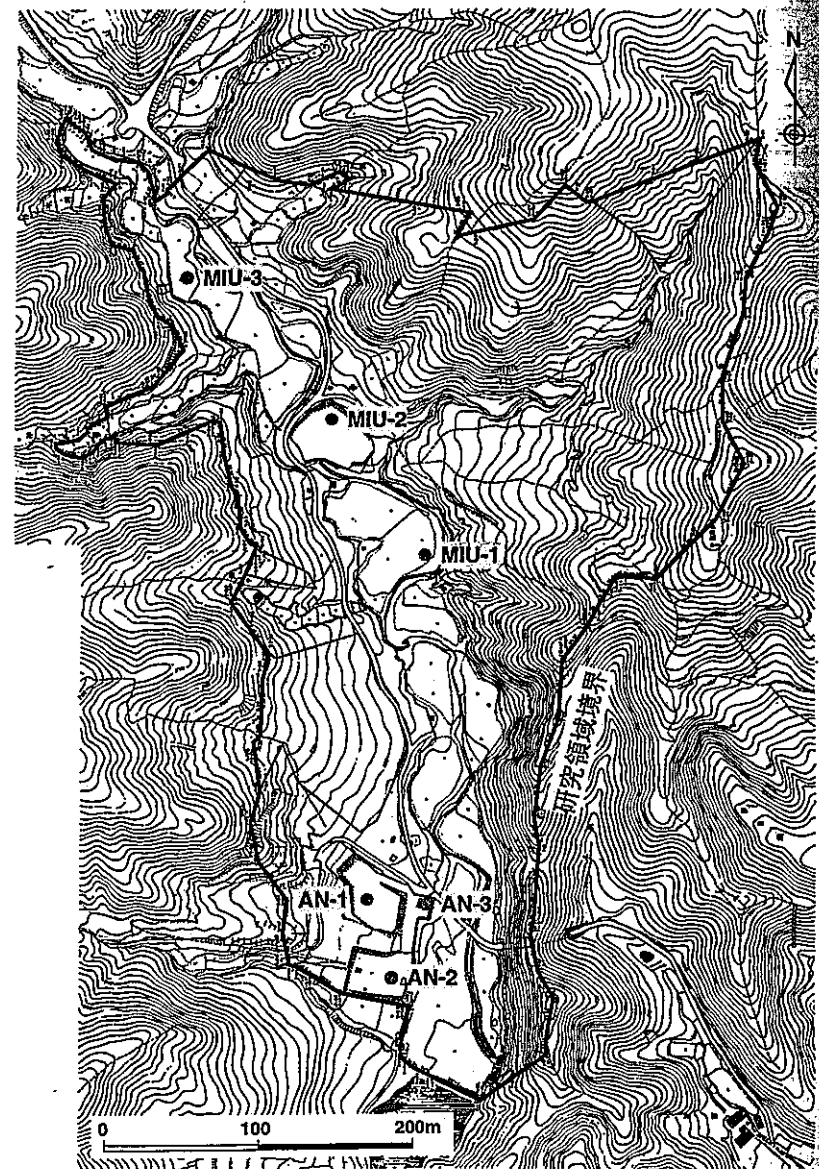
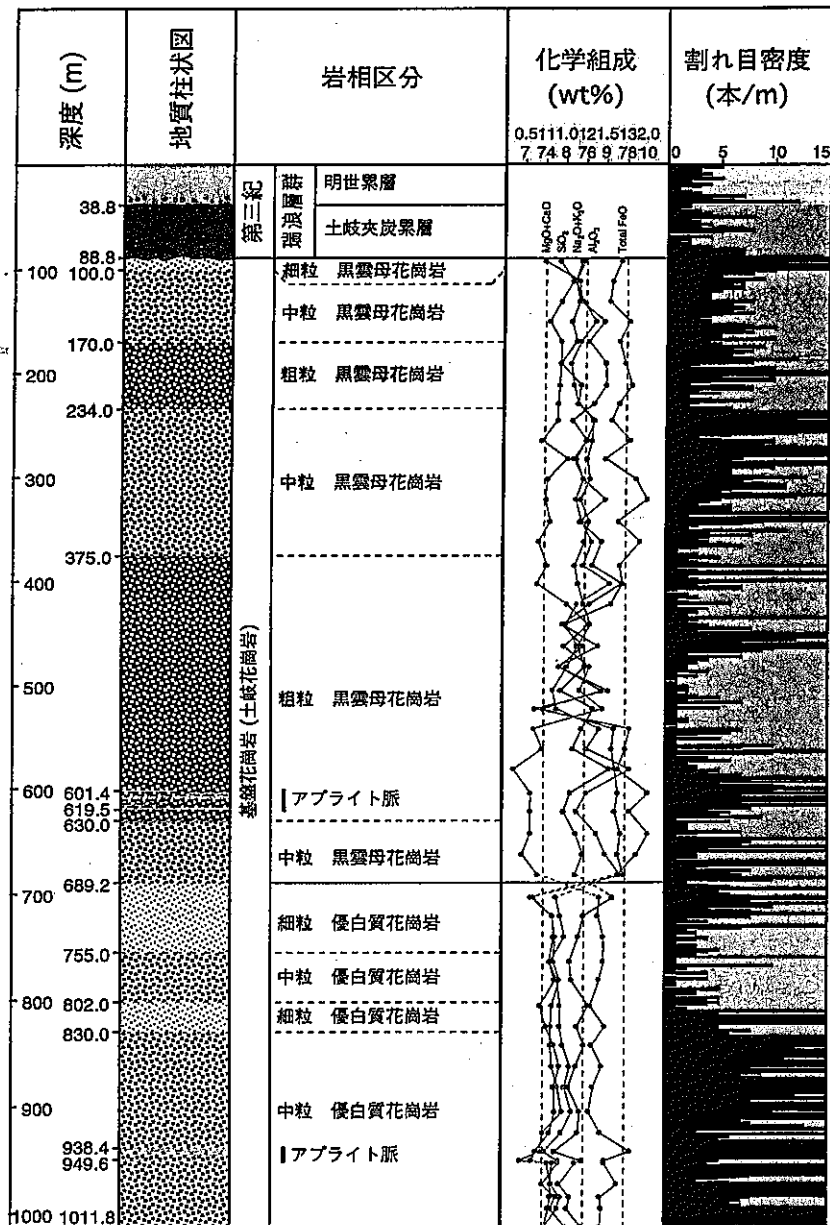
- 地表から地下深部における地質環境（地質・地質構造，地下水の水理特性，地下水の地球化学的性質および岩盤力学特性）の分布とその物性の把握

【内容】

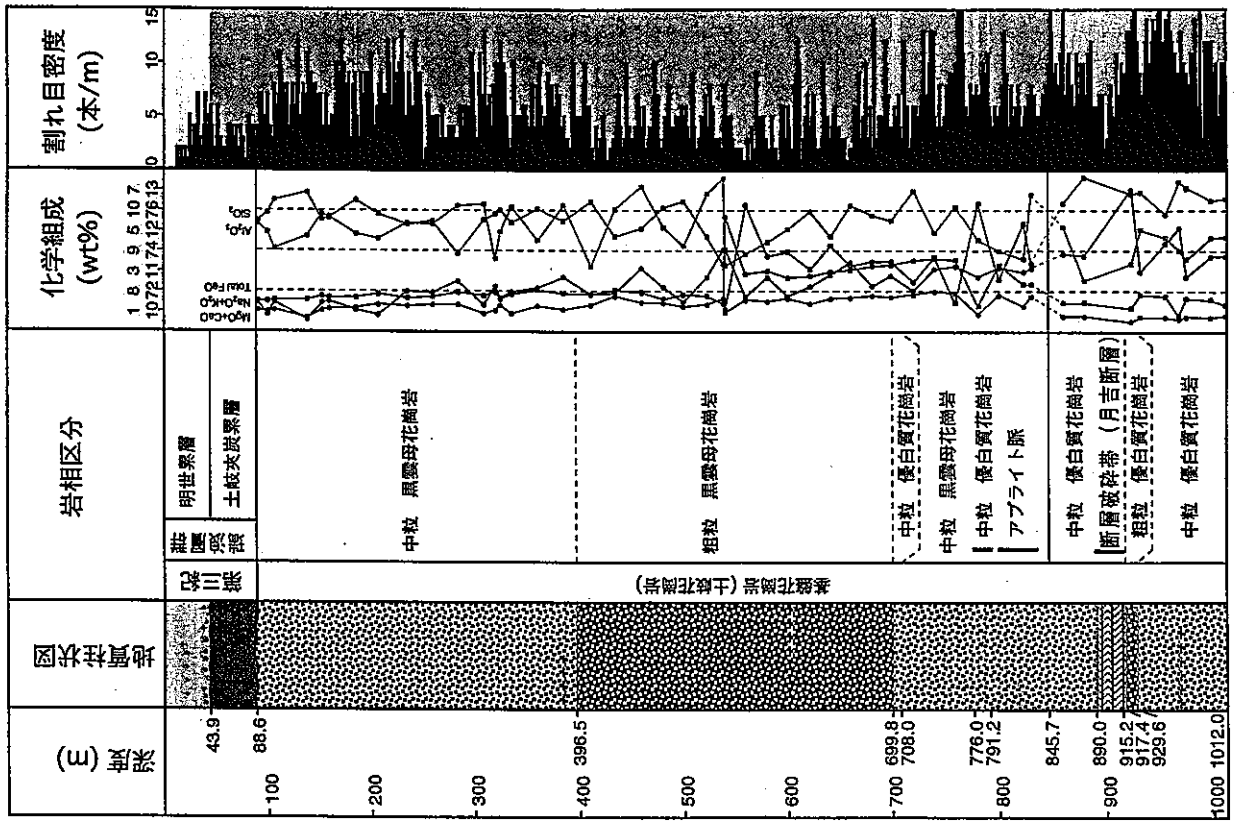
- 深度1,000mの試錐孔の掘削を伴う
 - ・地質・地質構造調査（岩芯観察，物理検層，鉱物分析など）
 - ・水理調査（フローメーター検層，水理試験など）
 - ・岩盤力学調査（応力測定，室内力学試験など）
 - ・地下水の地球化学調査（地下水の採水調査，長期観測など）

試錐孔を利用した調査結果概要 (MIU-1号孔)

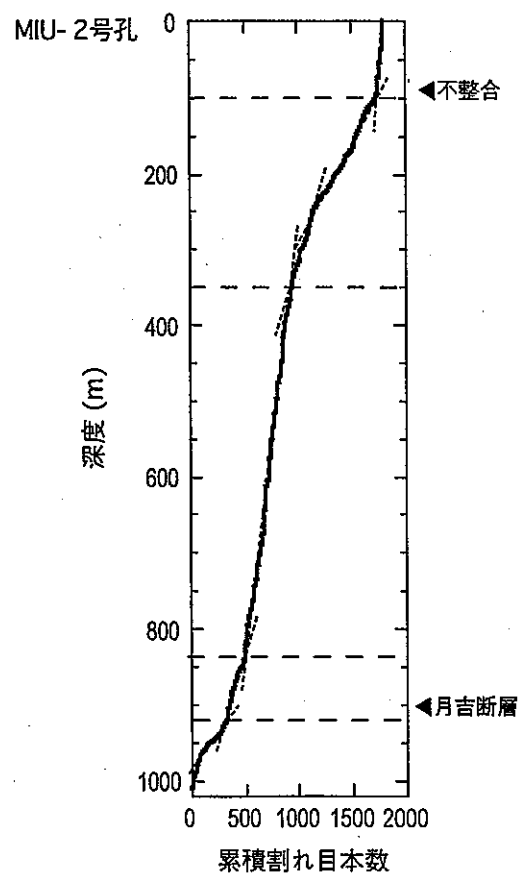
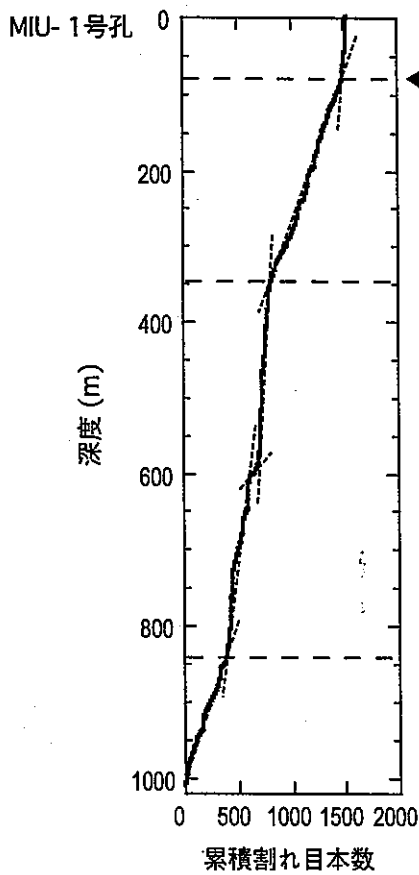
試錐孔位置図



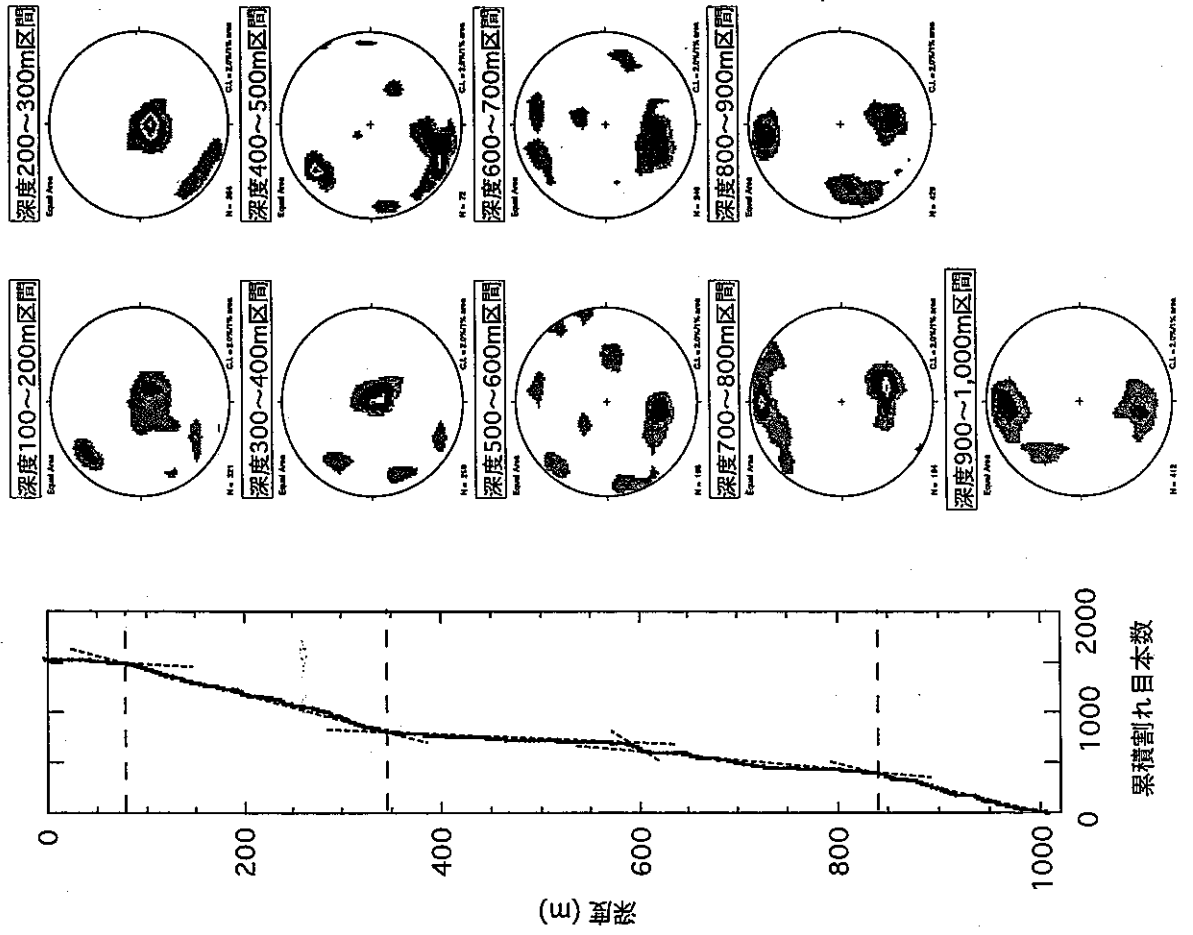
試錐孔を利用した調査結果概要 (MIU-2号孔)



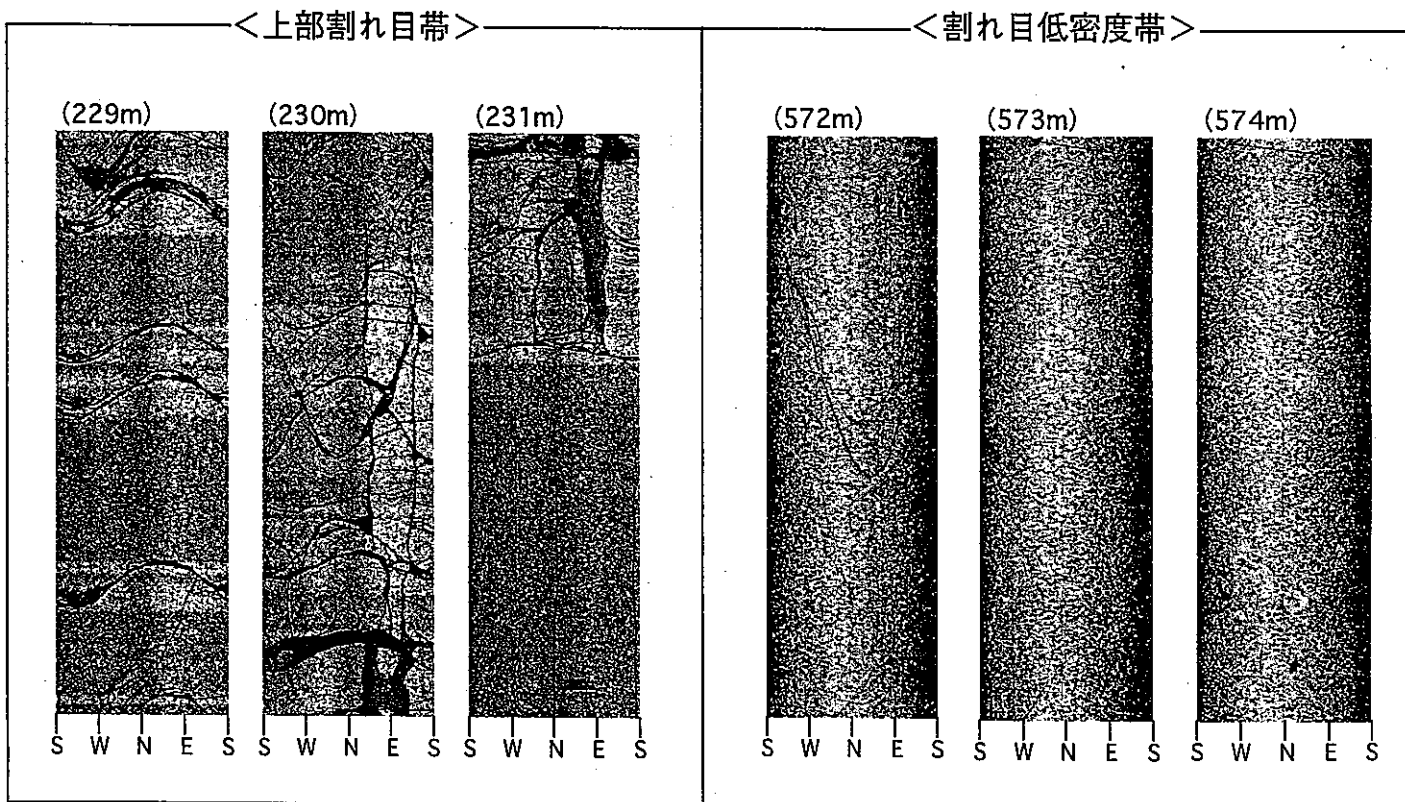
累積割れ目本数を用いた割れ目群の区分



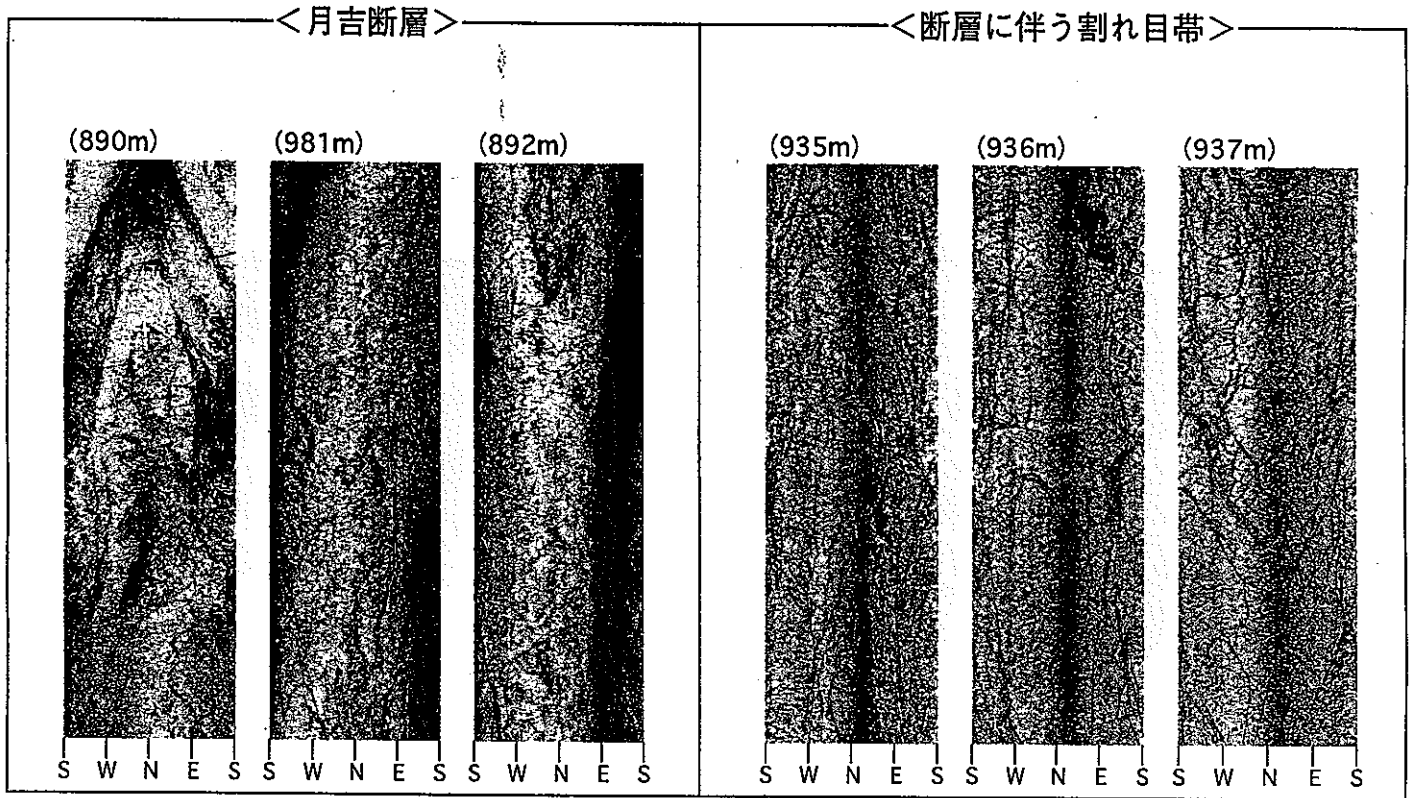
区分された割れ目群と方向性との関係
(MIU-1号孔)



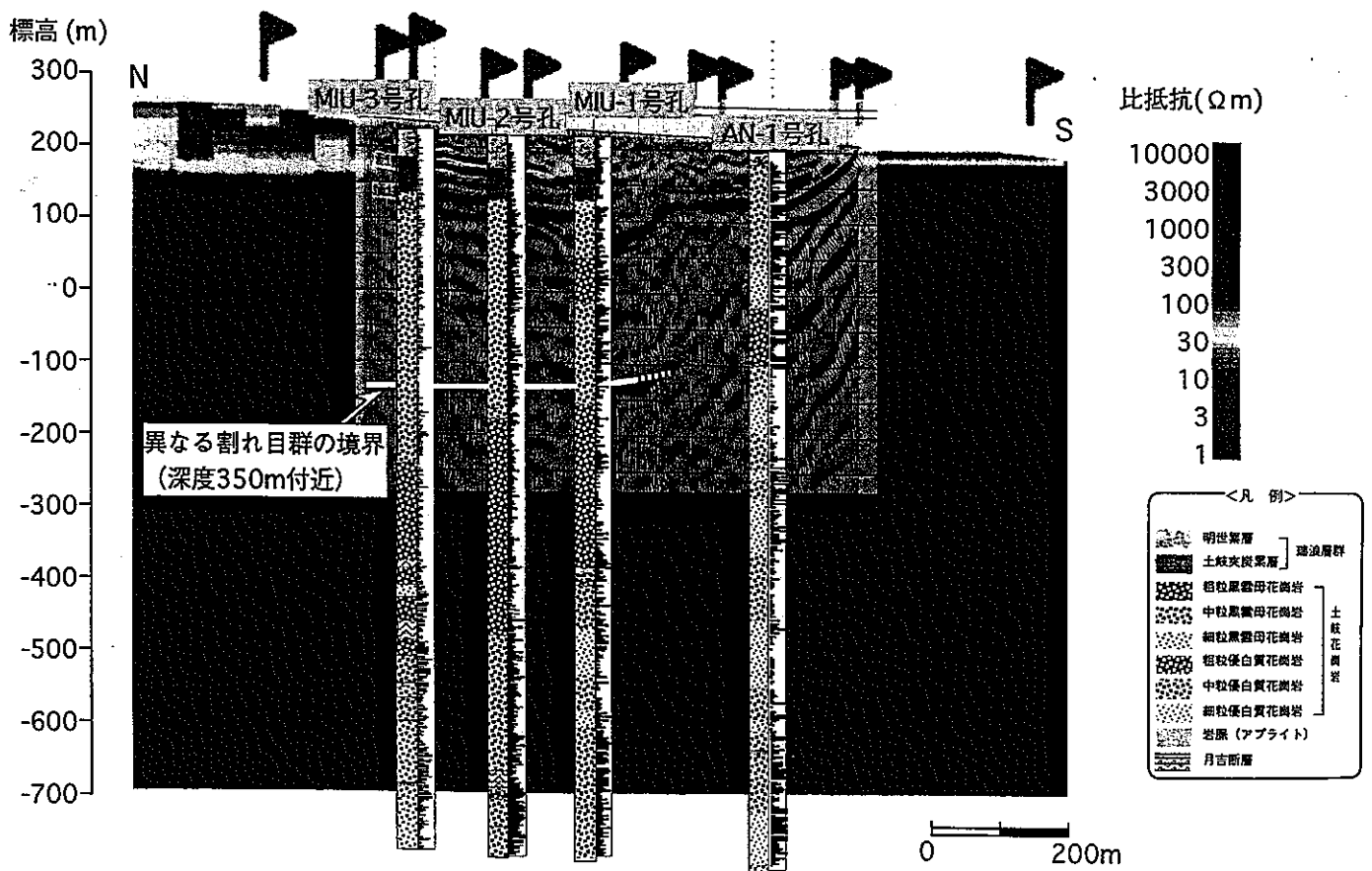
BTV観察による割れ目の性状① (MIU-2号孔)



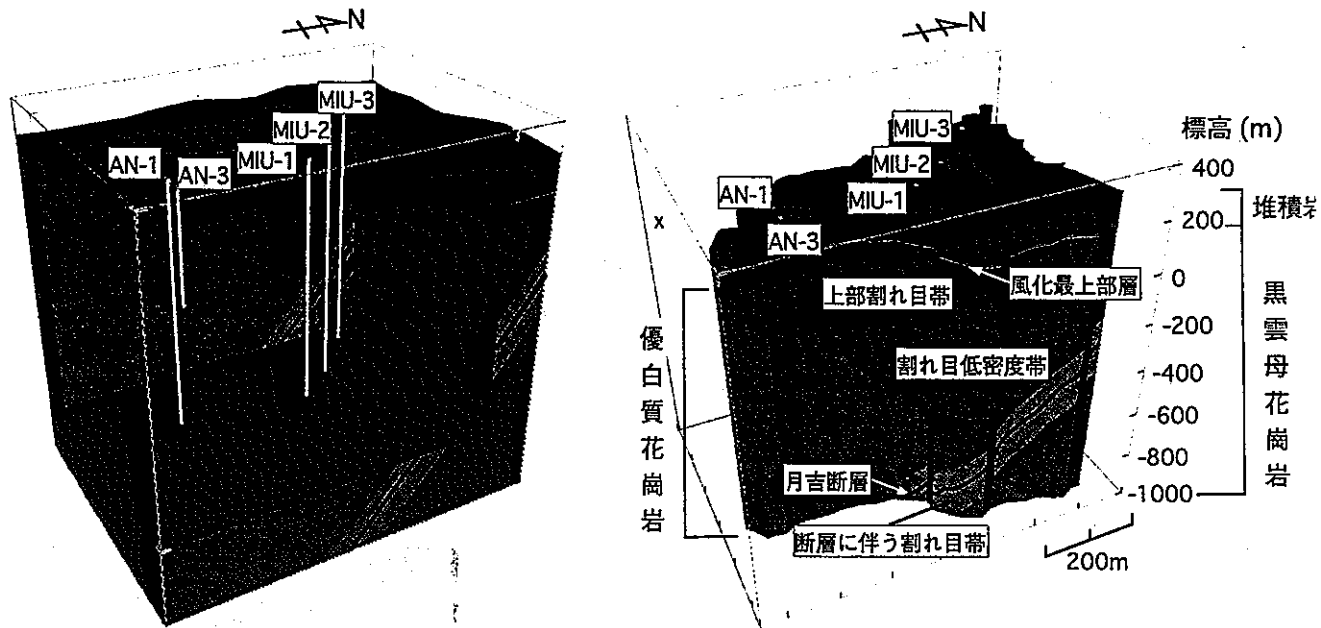
BTV観察による割れ目の性状② (MIU-2号孔)



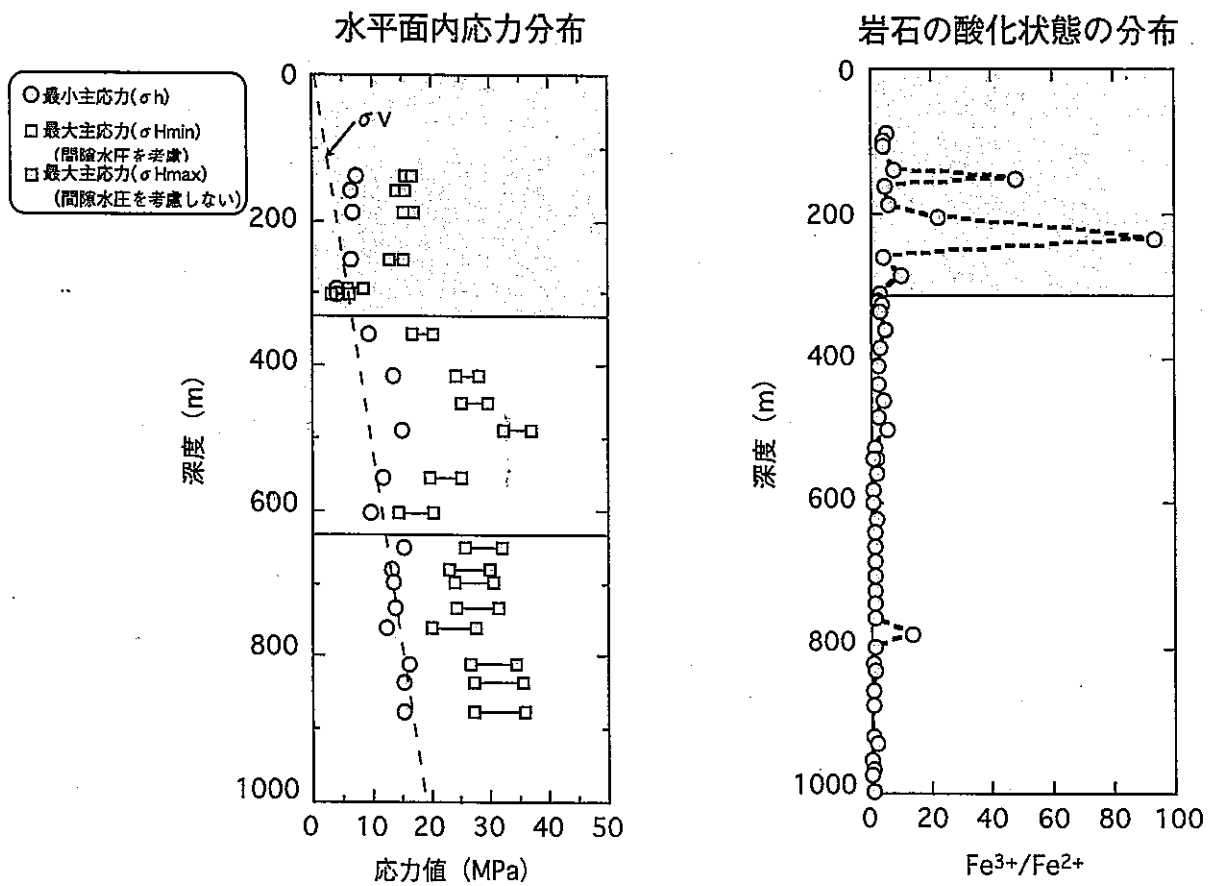
二つの調査結果 (地上物理探査/試錐孔における調査) の比較



現段階までの情報をもとに作成された地質構造概念モデル



岩盤力学特性と地球化学的性質の深度分布の一例 (MIU-2号孔)



まとめ

- 地上からの物理探査により、岩体上部に分布する不均質性（風化帯）や不連続構造（割れ目帯・断層）の分布が推定された。
- 試錐孔における調査により、岩体内部の不均質性（岩相／割れ目群）や不連続構造（月吉断層）の分布を把握することが可能となった。
- 二つの調査結果をもとに、地質・地質構造の空間的分布を表現する地質構造概念モデルが作成された。また、本モデルの基礎情報としての有効性が示された。

今後の予定

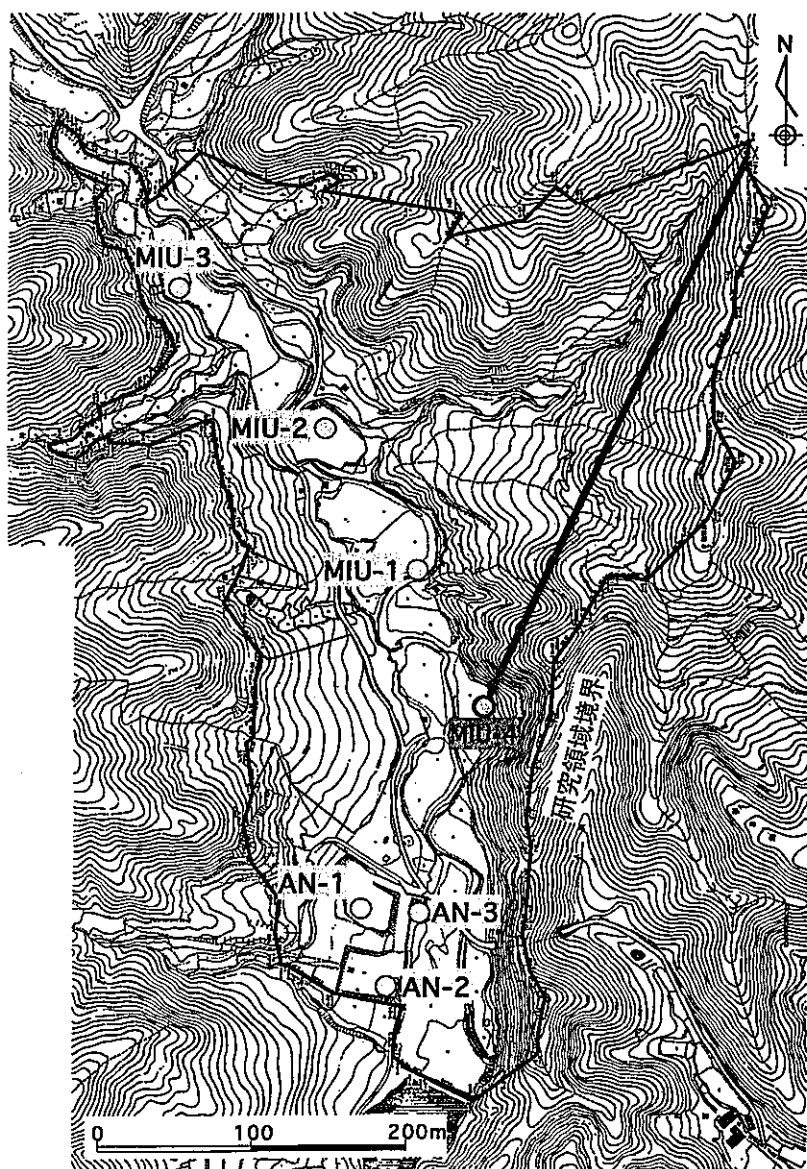
- 地質構造概念モデルの妥当性の確認および不確実性の評価
- モデルの確度をあげるための、更新情報の取得



【MIU-4号孔の掘削，調査：斜孔，掘削長790m】

- 現段階までの情報を用いて作成された地質構造概念モデルの確認
- 領域北東部における地質環境の把握
- 高角度に分布する地質構造の把握

MIU-4号孔の掘削予定位置図



(2) 超深地層研究所計画（第1段階）の現状

②中領域における水理学的特性の把握

中領域における 水理学的特性の把握

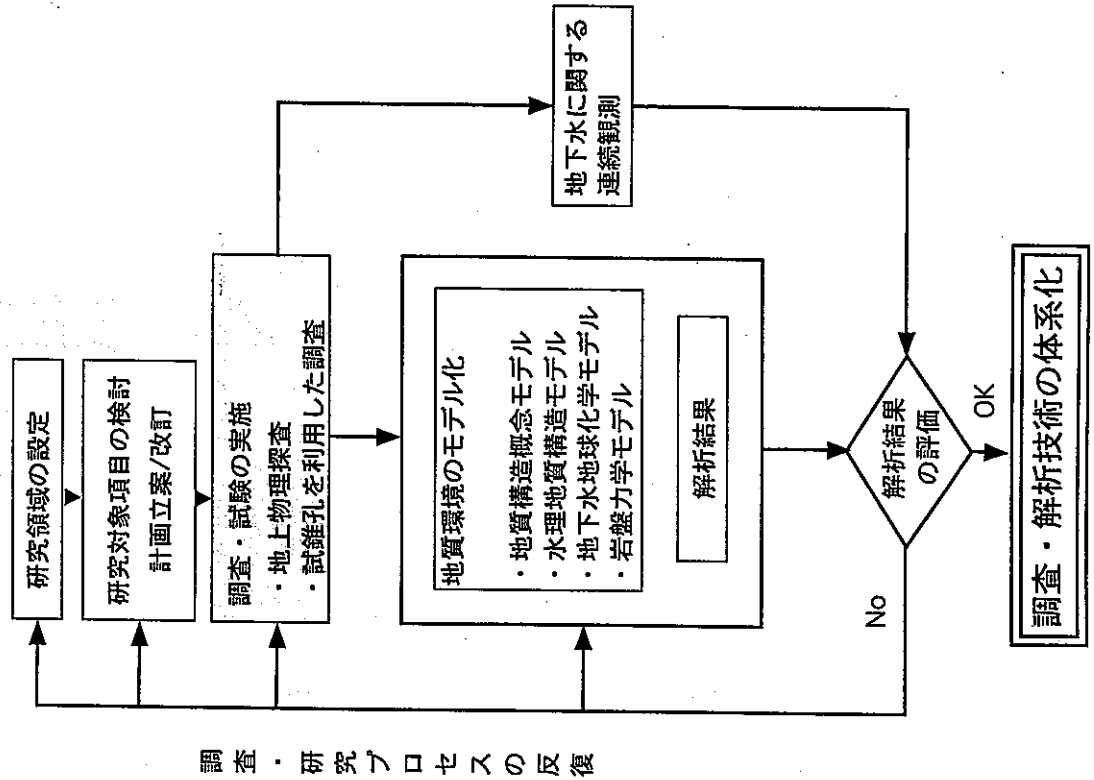


核燃料サイクル開発機構
東濃地科学センター
地層科学研究グループ
竹内 真司

地表からの調査予測研究段階の具体的な目標

- 領域内の地質環境（地質・地質構造，地下水の水理特性，地下水の地球化学的性質および岩盤の力学特性）の把握
- 地質環境のモデル化を通して、領域内の地質環境を合理的かつ的確に調査・解析するための体系的な技術の構築
- 地下施設の設計に必要な地質環境に関する情報の取得、および坑道の掘削を伴う調査研究段階の詳細計画の立案

調査・研究のプロローグ — 第1段階 —



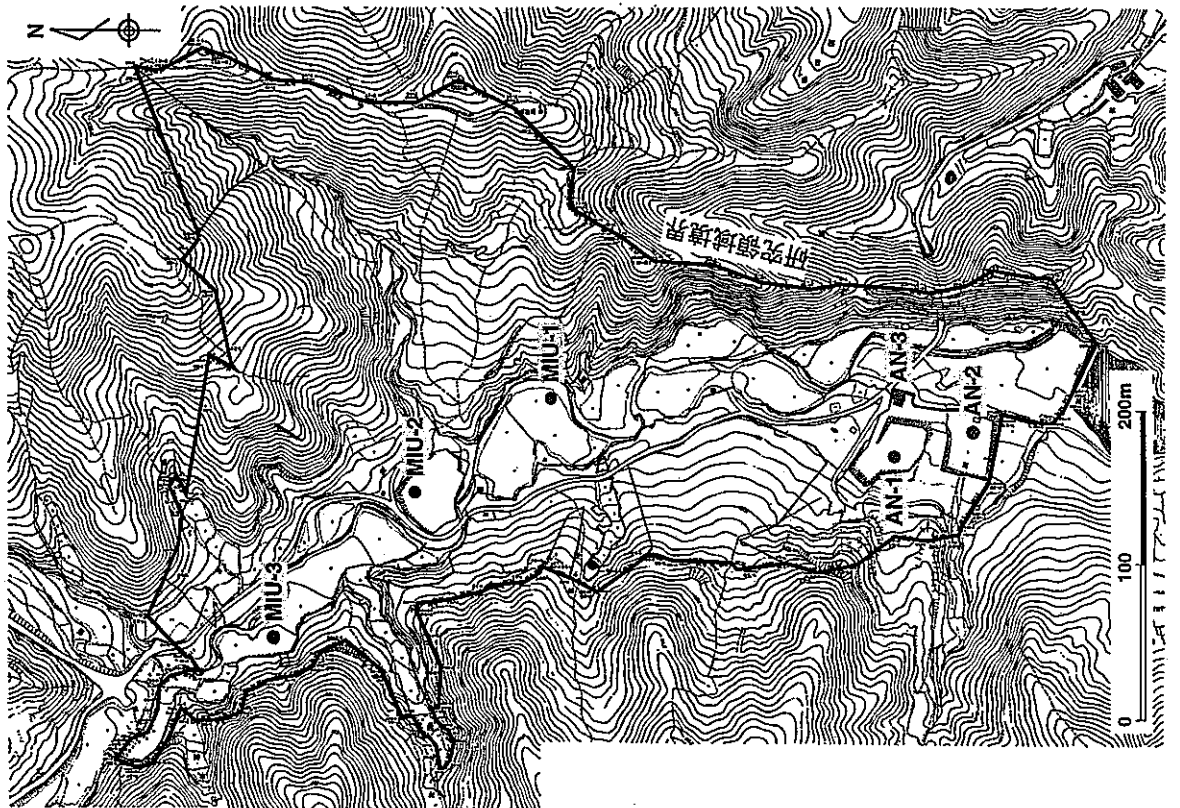
亀裂性岩盤の透水性を評価する上での考え方

- 亀裂性岩盤では割れ目の大小を問わず、各々の割れ目に沿って地下水が流れる。
- 試錐孔で観察される割れ目毎の透水性を把握することは困難なことから、割れ目の透水性を効率的に把握するため、割れ目の中でも透水性の大きい割れ目を抽出。
- どの割れ目を抽出するかについては、ある長さの区間を設定し、その区間の平均的な透水性を把握した上で、その中での透水性を支配すると考えられる割れ目を抽出。
- 抽出された割れ目が透水性を支配しているかを評価。

内 容

- 岩盤中の透水性を把握する手法
 - ・ある区間の平均的な透水性の把握
 - ・水みちの透水性の把握
- 水理試験データの品質管理
- 今後の予定

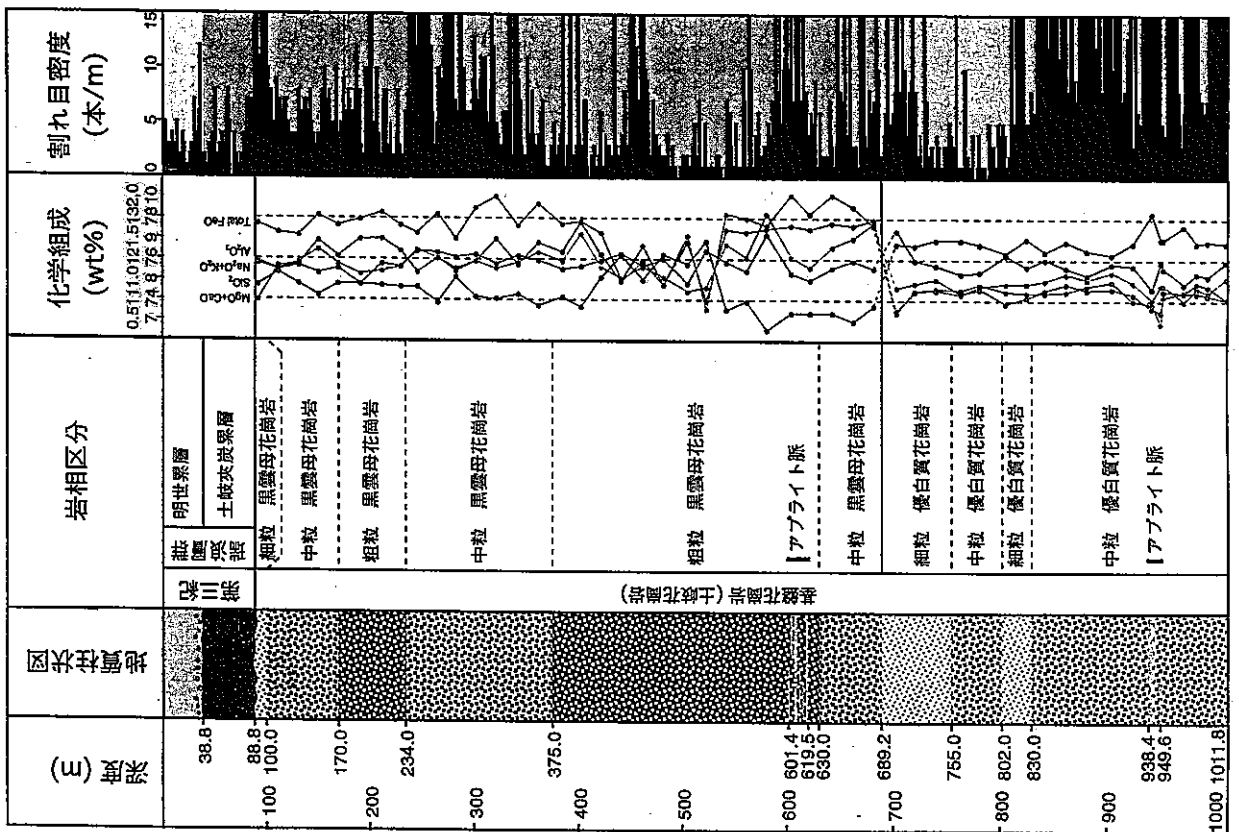
試錐孔位置図



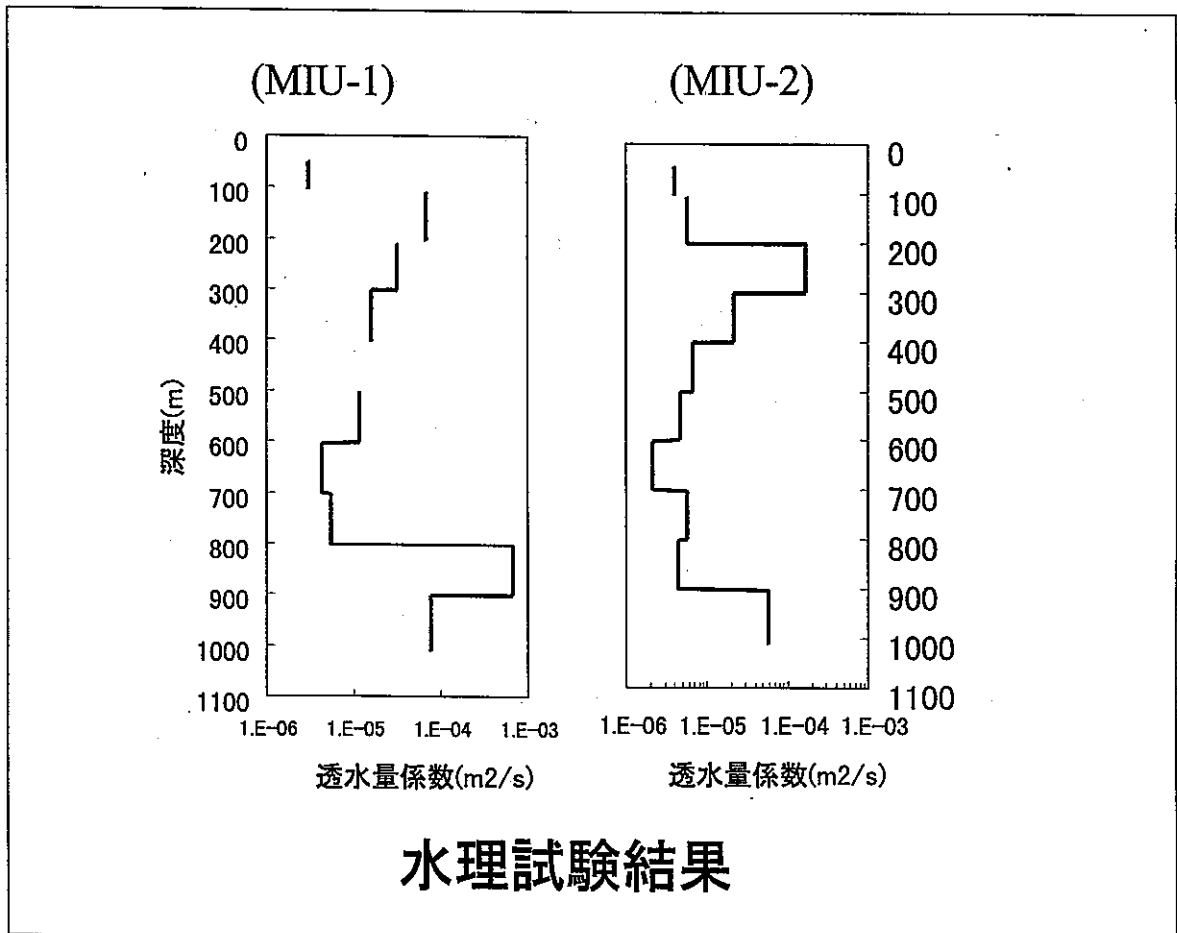
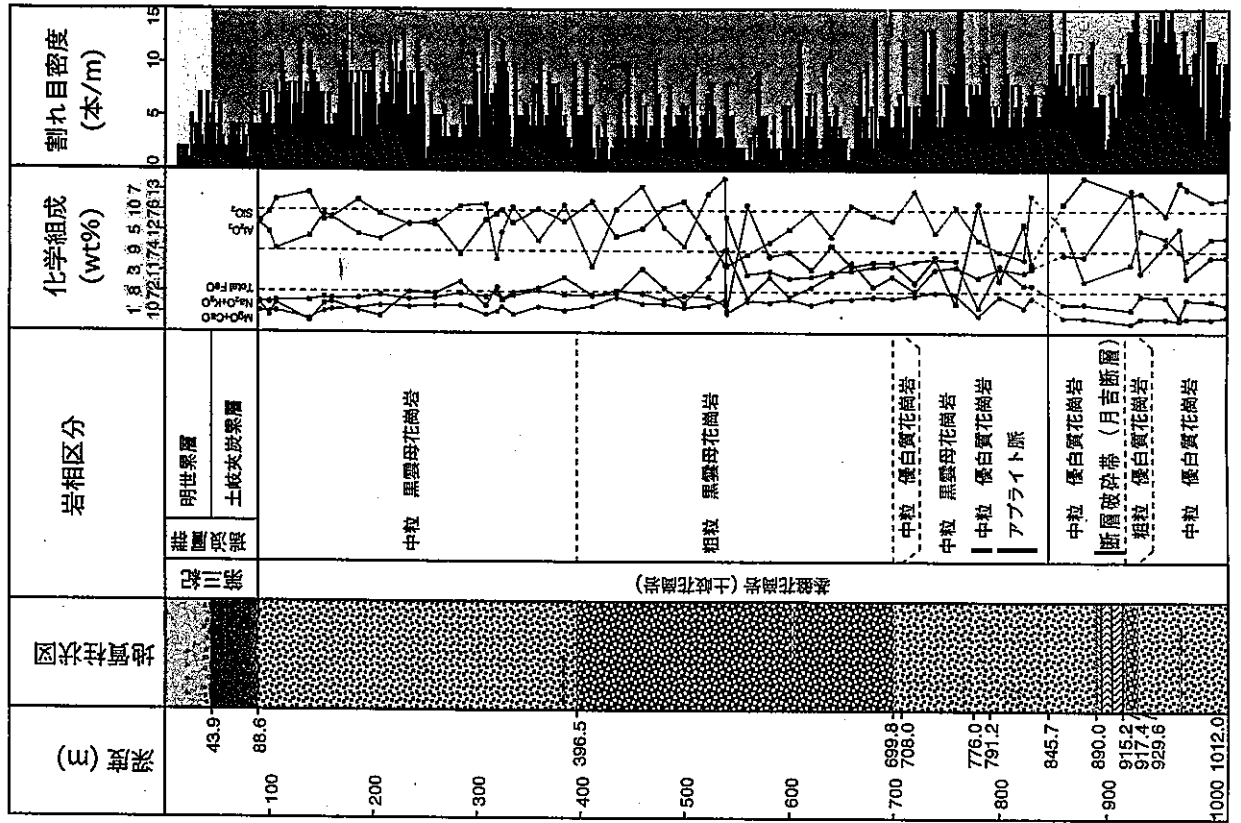
試錐孔を利用した調査結果概要 (MIU-1号孔)

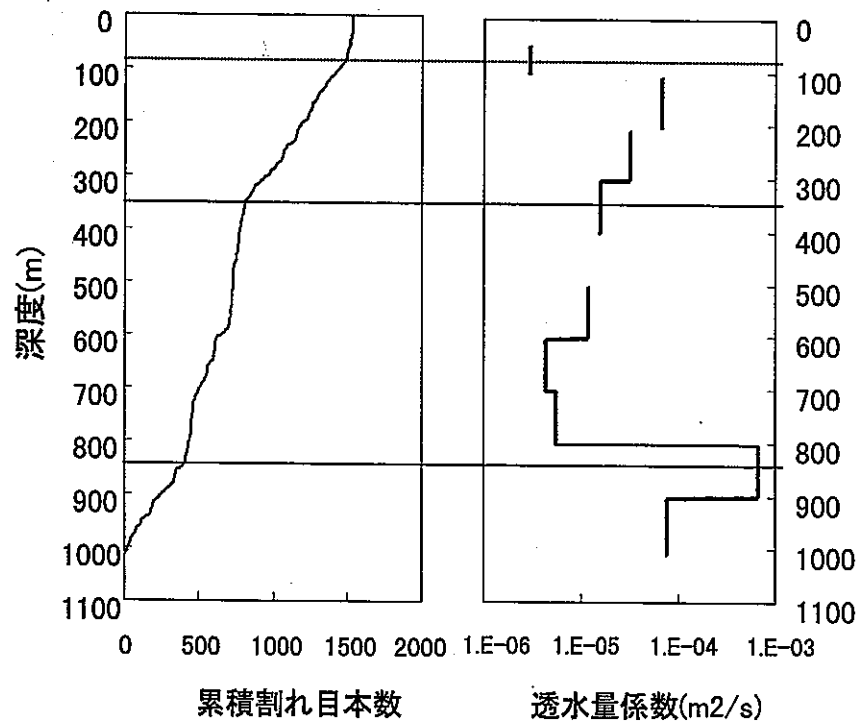
平均的な透水性の把握

- 岩芯に基づく割れ目密度の記載
- 長い区間(100m程度)における水理試験の実施
- 両者の比較・検討

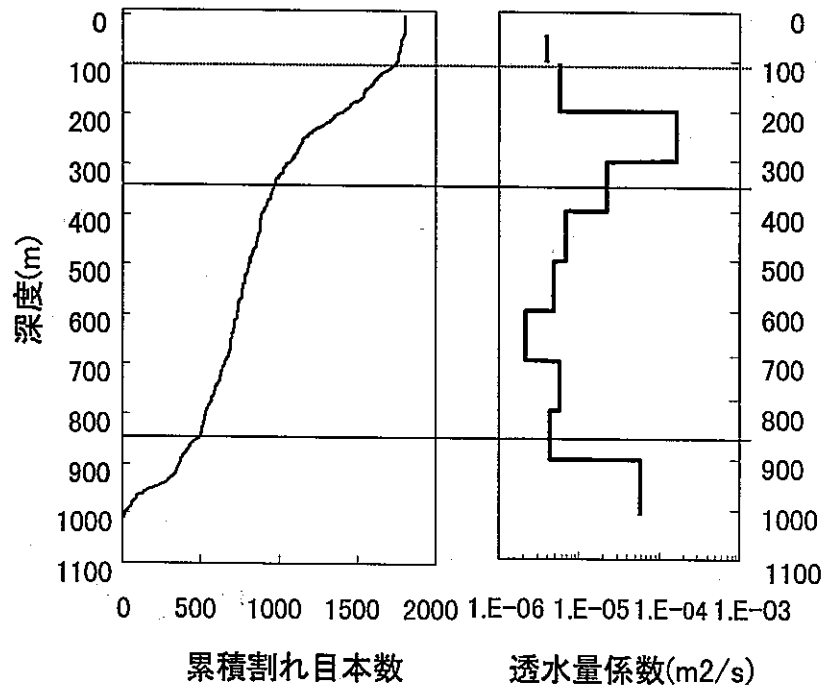


試錐孔を利用した調査結果概要 (MIU-2号孔)





MIU-1号孔の累積割れ目本数と透水性の関係



MIU-2号孔の割れ目本数と透水性の関係

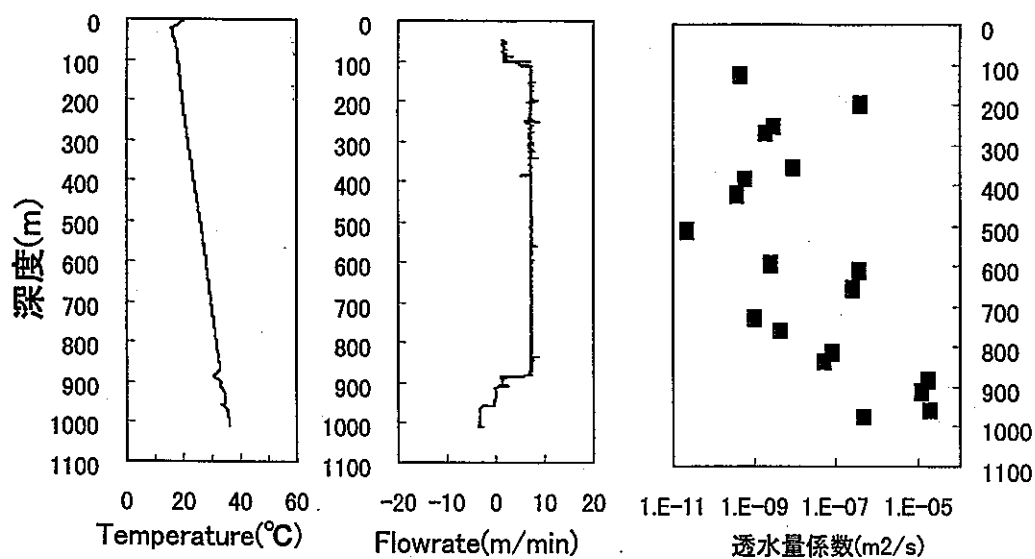
平均的な透水性の把握

－結果－

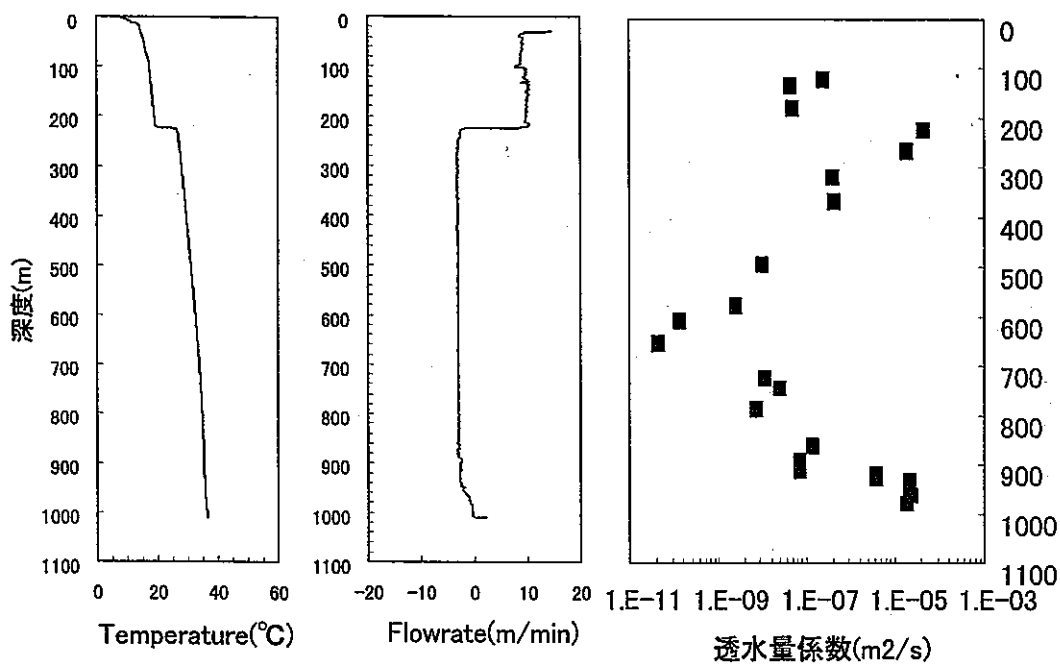
- 長い区間の水理試験と累積割れ目本数は良い相関を示し、深度約300m程度、700～800mで累積割れ目本数に対応した概略的な透水性区分が可能。
- 浅部と深部に高透水性ゾーンが分布。

水みちの透水性の把握

1. 試錐孔内で物理検層、温度検層、フローメータ検層を実施し、その中で異常値が観察される割れ目(帯)および掘削中の逸水を伴う割れ目(帯)を抽出する。
2. 抽出された割れ目(帯)で透水性を把握するための水理試験を実施する。



温度検層,フローメータ検層および水理試験結果(MIU-1号孔)



温度検層、フローメータ検層および水理試験結果(MIU-2号孔)

割れ目(帯)の抽出結果 (MIU-1号孔)

試錐孔	深度 (m)	掘削	流体検層		物理検層					透水試験		
		逸水(%)	温度	フロー メーター	中性子	密度	孔径	比抵抗	マイクロ 比抵抗	自然 ガンマ線	透水係数 (m/s)	
花崗岩	89	80%			×			×	×	×	×	3.3E-7
	93.5				×				×	×		1.8E-7
	201					×	×	×	×	×	×	6.2E-8
	250					×	×	×	×			?
	340					×	×	×	×	×		?
	380					×	×	×				?
	460					×	×	×	×	×		2.5E-10
	840	100%				×	×	×	×	×		8.7E-9
	882		×	×	×	×	×	×	×		2.6E-6	
	910		×	×	×	×	×	×	×		1.9E-6	
	960		×	×	×	×	×	×	×		2.9E-6	
	976					×	×		×		7.6E-8	
	1000					×	×	×	×	×		?

×：異常が検出された項目

割れ目(帯)の抽出結果 (MIU-2号孔)

試錐孔	深度 (m)	掘削	流体検層		物理検層					透水試験		
		逸水(%)	温度	フロー メーター	中性子	密度	孔径	比抵抗	マイクロ 比抵抗	自然 ガンマ線	透水係数 (m/s)	
花崗岩	135	100%				×	×	×	×		×	6.8E-9
	223		×	×	×	×	×	×	×	×	6.7E-6	
	250					×	×	×	×			?
	266								×	×		2.9E-6
	315					×	×	×	×	×	×	6.1E-8
	365					×	×	×	×	×	×	6.6E-8
	410					×	×	×		×	×	?
	500					×	×	×		×	×	?
	610					×	×	×	×		×	2.0E-11
	725					×	×	×			×	1.8E-9
	745				×	×	×			×	3.9E-9	
	860	月吉断層 → 900				×	×	×			×	2.1E-8
	900					×	×	×	×		×	2.7E-9
	924					×	×	×	×	×	×	2.6E-7
	946		×	×					×	×		7.9E-7
	963		×	×						×	×	3.7E-6
980	×		×								?	

×：異常が検出された項目

水みちの透水性の把握

— 結 果 —

- 掘削中の逸水(100%)、温度検層、フローメータ検層を指標として、透水性の高い水みちを抽出することが可能。

まとめ

○水みちの透水性を把握する手法

掘削中の逸水(100%)、温度検層、フローメータ検層を指標として、透水性の高い水みちを抽出することが可能。

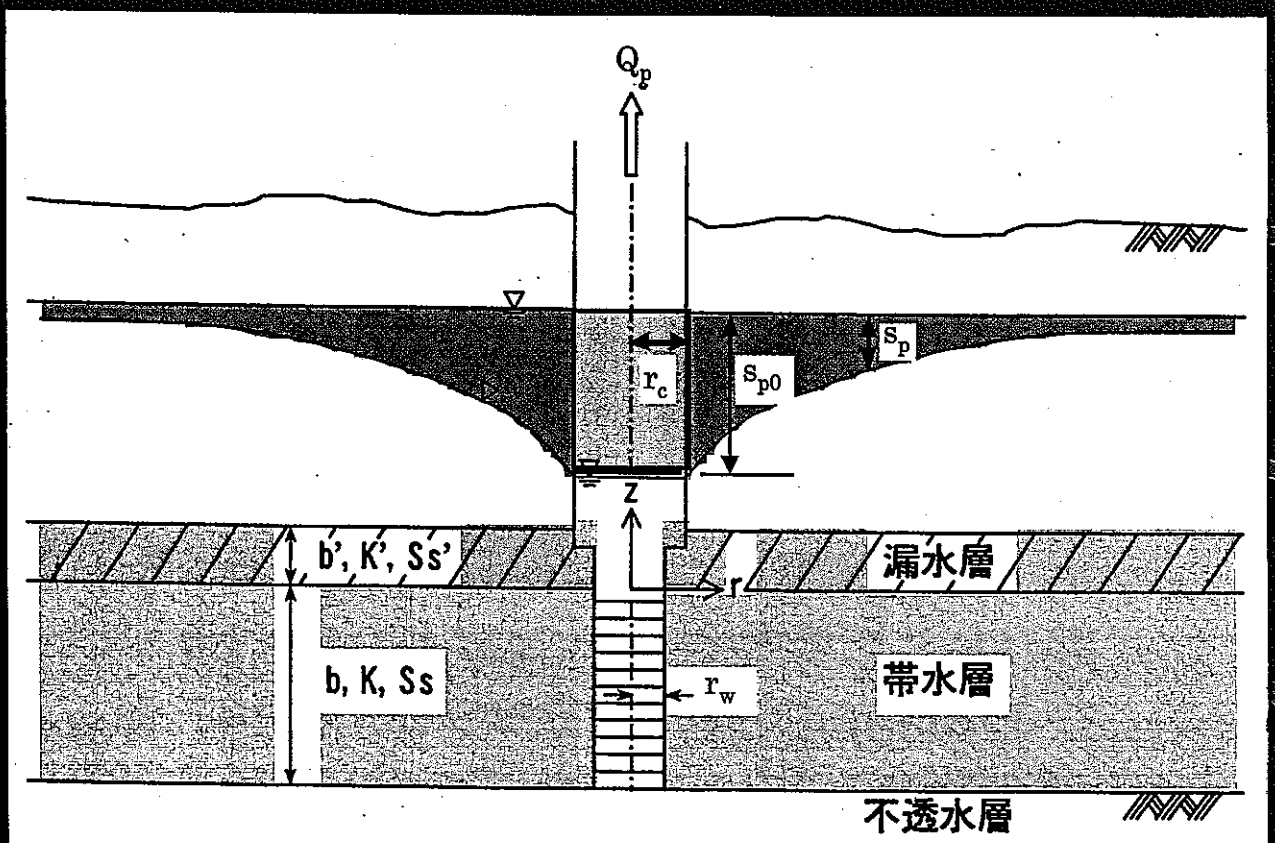
○平均的な透水性を把握する手法

- ・累積割れ目本数は水理試験結果と良い相関を示す。
- ・深度約300mより浅部、700～800mより深部に高透水性ゾーンが分布。

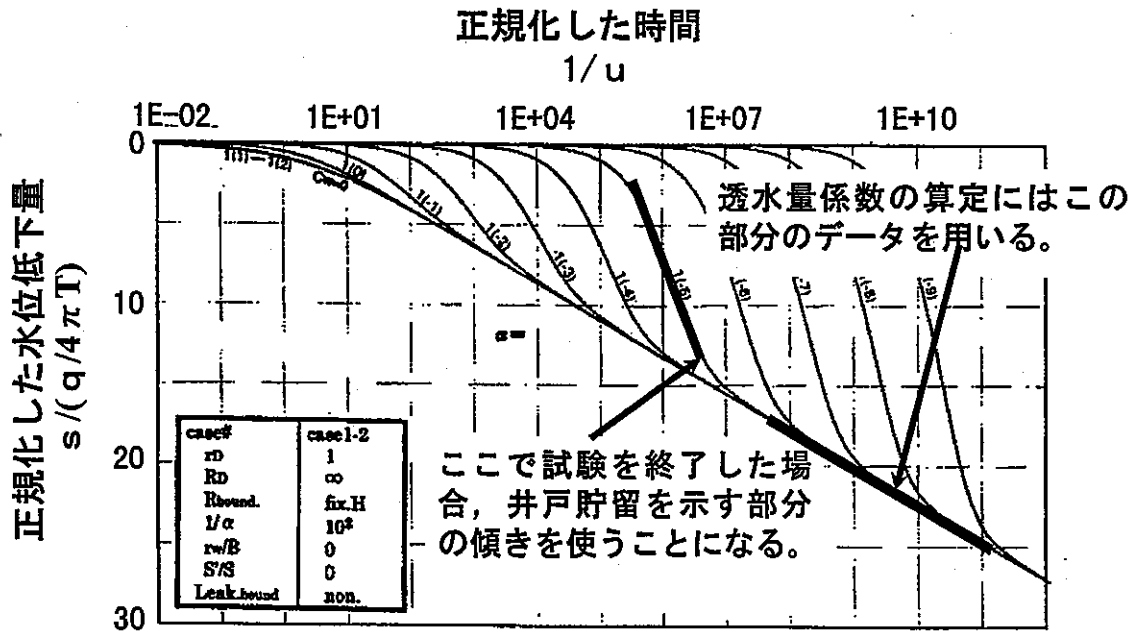
水理試験データの品質管理

○要件

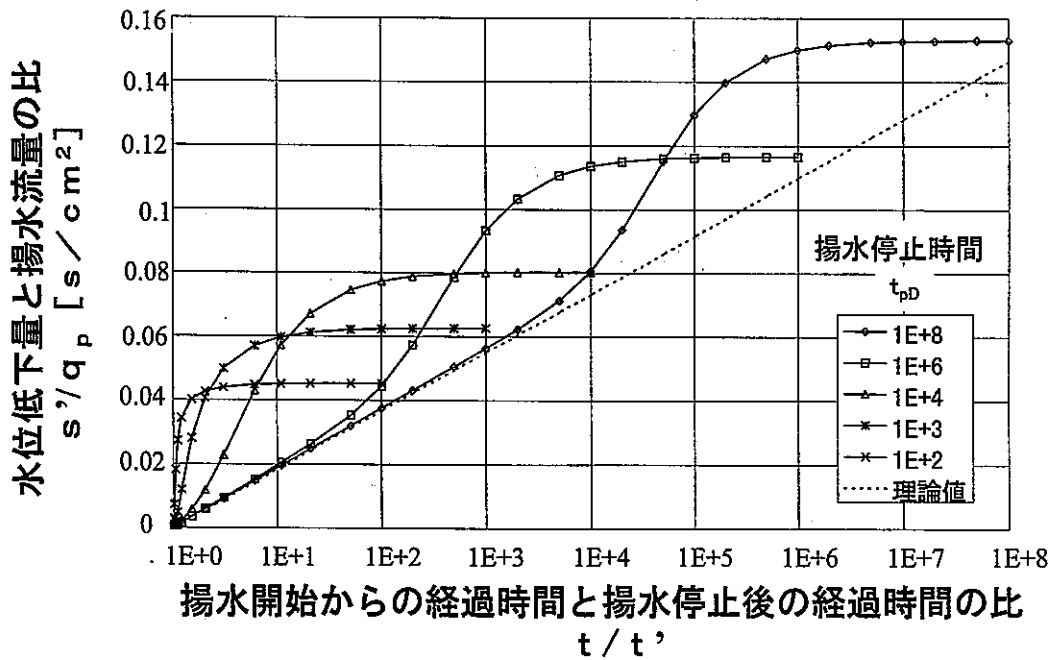
単孔式揚水試験では、初期の井戸貯留の影響を排除する。



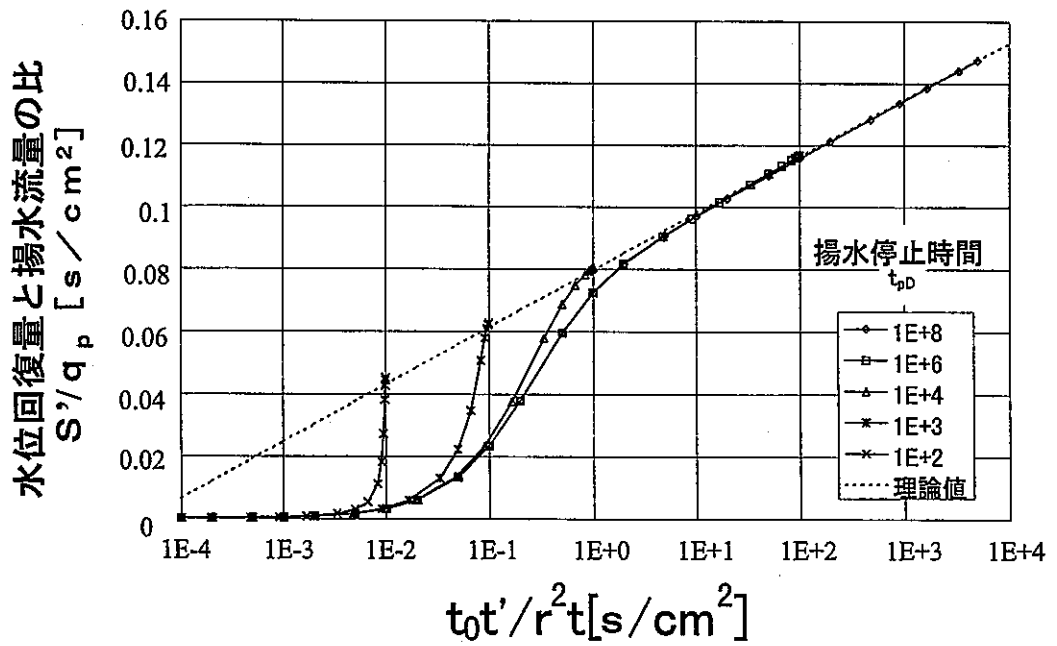
水理試験（揚水試験）モデル図



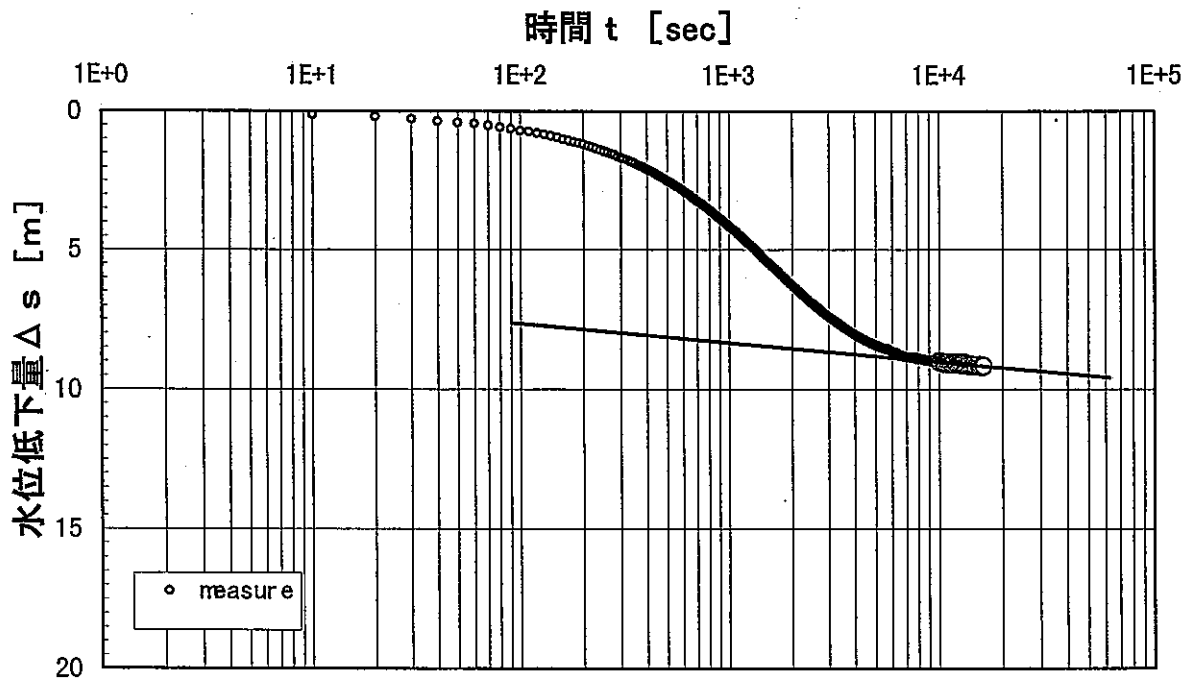
**単孔での揚水試験の解析法—Jacob法での整理
(有限井戸径を考慮)**



**単孔での回復試験の解析法—従来法での整理
(有限井戸径を考慮)**

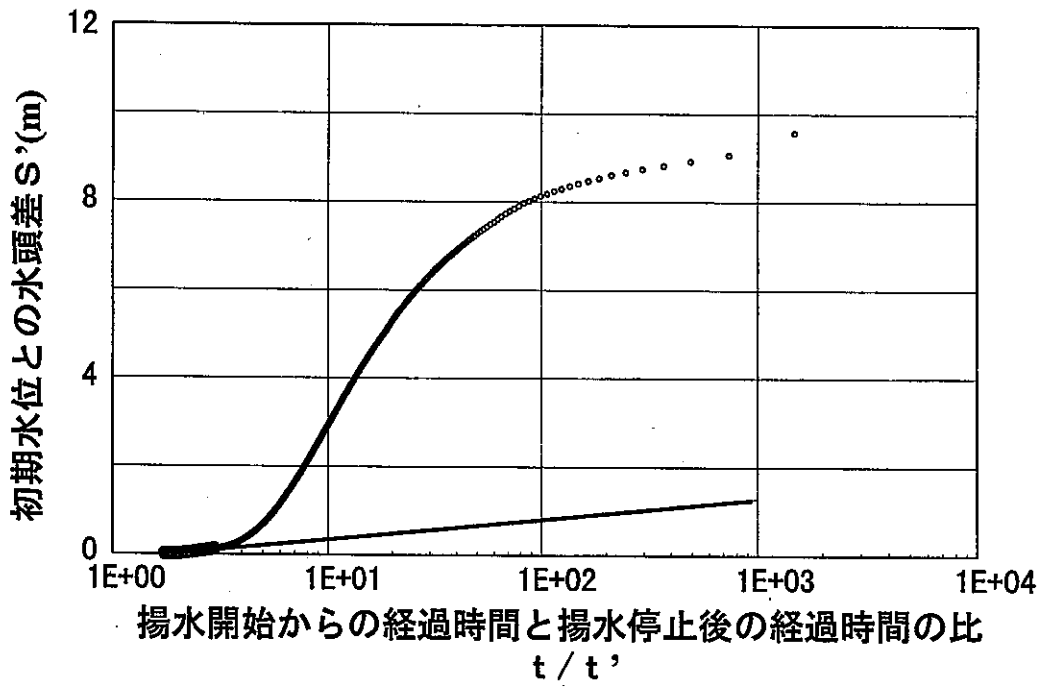


単孔での回復試験の解析法—改良法での整理
(有限井戸径を考慮)

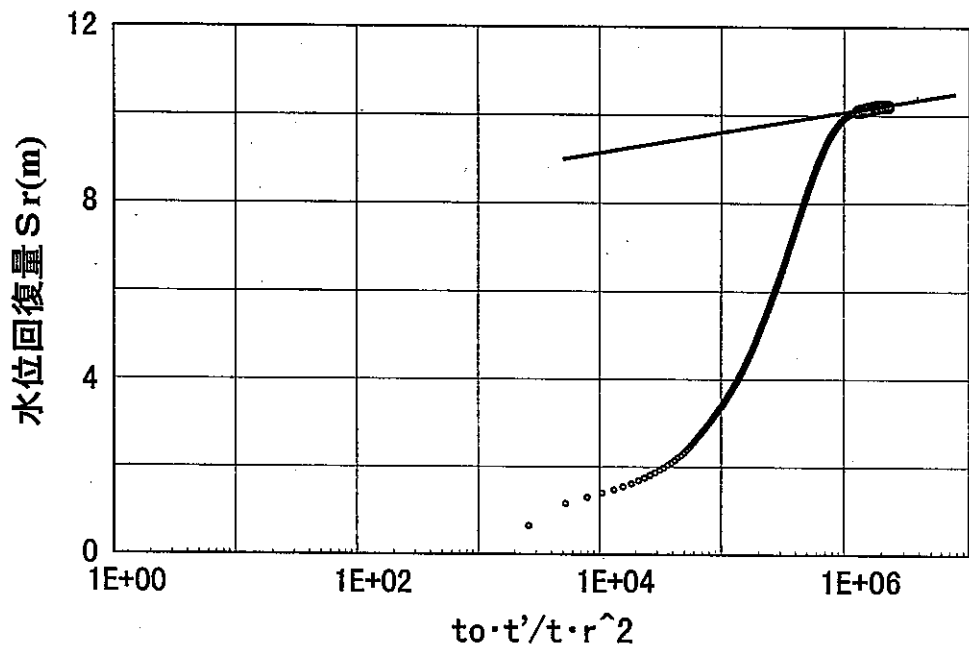


Jacob法により整理した場合

試験結果の一例



回復試験従来法により整理した場合
試験結果の一例



回復試験改良法により整理した場合

試験結果の一例

定流量揚水試験結果一覧

	Theis 法	Jacob 法
透水量係数 T (m^2/sec)	2.4×10^{-6}	5.1×10^{-6}
貯留係数 S	5.8×10^{-6}	1.6×10^{-12}
試験区間長 L (m)	84.0	84.0
平均透水係数 K (m/sec)	2.9×10^{-8}	6.1×10^{-8}
平均比貯留係数 S_s (m^{-1})	6.9×10^{-8}	1.9×10^{-14}

回復試験結果 $T = 7.4 \times 10^{-6} m^2/sec$

定圧揚水試験結果 $T = 4.3 \sim 7.1 \times 10^{-6} m^2/sec$

(井戸貯留の影響を含む場合の算定結果 $T = 3.9 \sim 5.3 \times 10^{-7} m^2/sec$)

- ・リアルタイムでのデータの確認が重要である
- ・本手法によって、信頼性の高い水理パラメータが取得できる

水理試験データの品質管理 まとめ

- 井戸貯留の影響を排除したデータを取得するためには試験中にリアルタイムでデータをプロットすることが必要
- 異なる複数の解析手法を用いることで、信頼性の高い透水性を評価することが可能

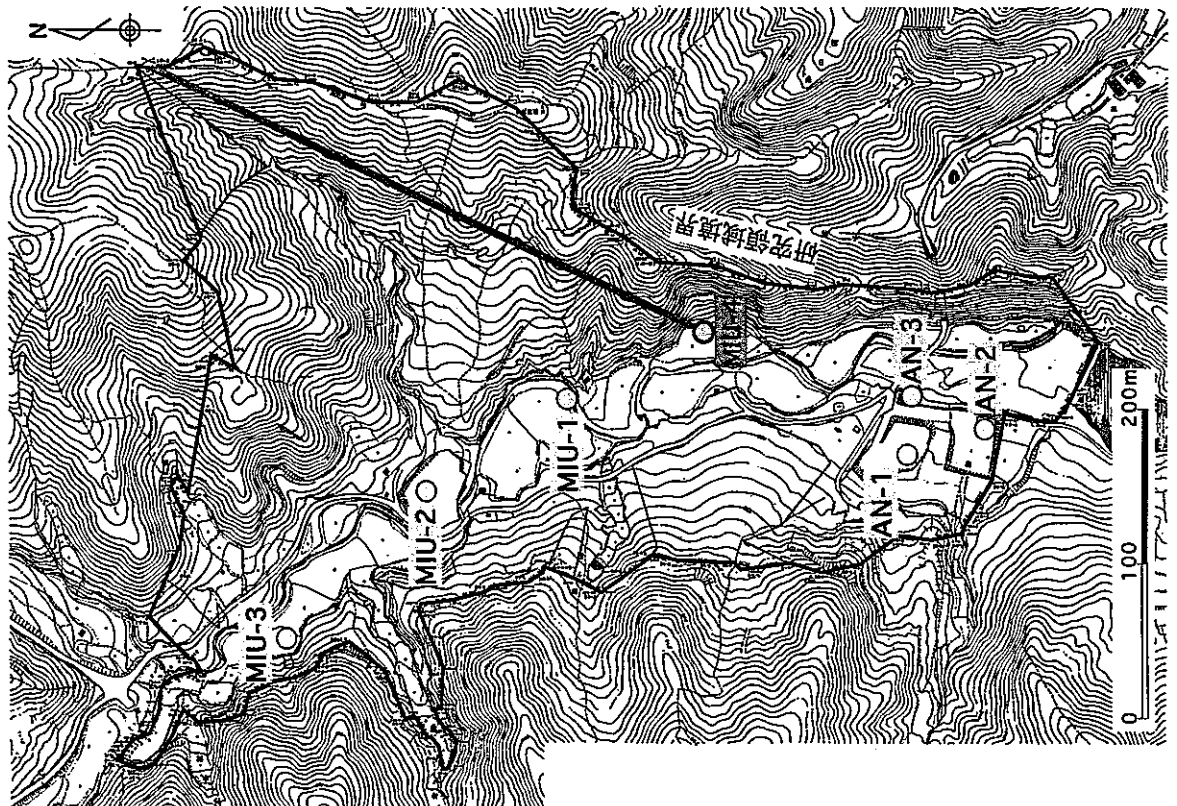
今後の課題

○水理地質構造モデルの構築と地下水流動解析の実施

○割れ目頻度を考慮した水理試験の実施
(MIU-3号孔で実施中)

○斜孔による試錐調査により、鉛直割れ目の存在とその水理学的特性を把握(MIU-4号孔)

MIU-4号孔の掘削予定位置図



(3) 地下深部調査手法に関する考察

地下深部調査手法に関する考察



核燃料サイクル開発機構
東濃地科学センター
地層科学研究グループ
武田 精悦

情報・意見交換会

地下深部調査手法に関する考察

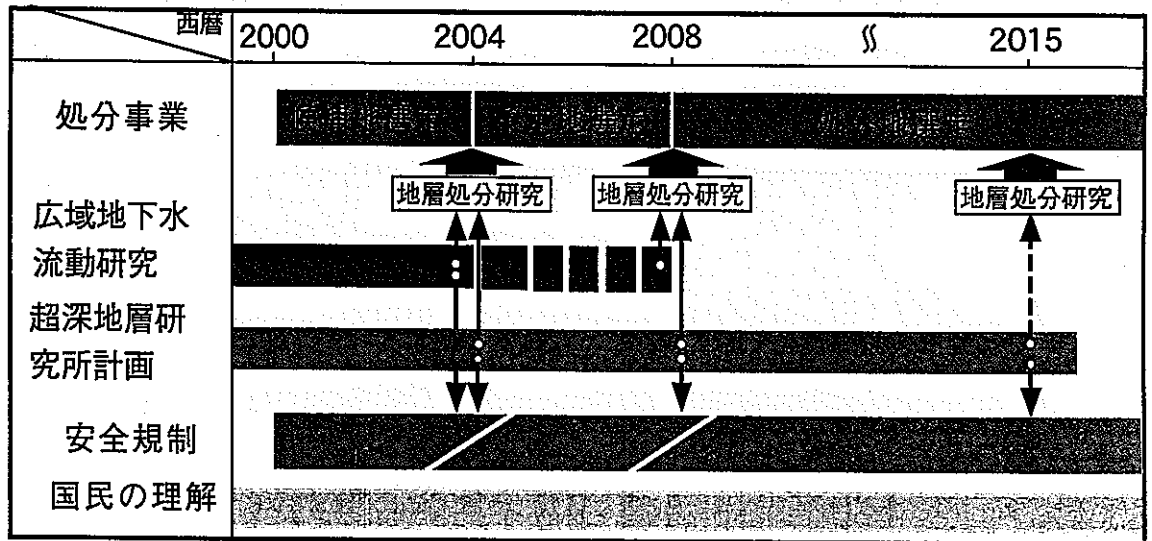
発表者：武田精悦

(内容)

1. 研究成果の反映
2. 研究成果の概要
3. 共通の調査手法
4. 広領域を対象とした調査手法
5. 中領域を対象とした調査手法
6. 今後の研究の進め方

東濃地科学センター

研究成果の反映



研究成果の概要

共通

- ・ 清水試錐掘削および保孔技術
- ・ 地下水の地球化学的性質を把握するための調査技術
- ・ 水理試験データの品質管理技術
- ・ 単一孔で複数の調査を行う場合の試錐調査プログラム

広領域

- ・ 空中および地表から地質・地質構造を把握する技術
- ・ 地質環境のモデル化技術

中領域

- ・ 岩盤中の水みちの透水性を把握する手法
- ・ 地質環境のモデル化技術

(共通)

試錐調査における課題と対策

—研究開始当初に設定した課題—

1. 試錐掘削の課題 (清水掘削、部分保孔等)
2. 岩芯調査の課題 (岩芯採取率の向上等)
3. 孔内試験の課題 (試験装置の開発)
4. 地下水の地球化学調査の課題
(地下水への掘削水の混入)

課題を解決
または
概ね解決

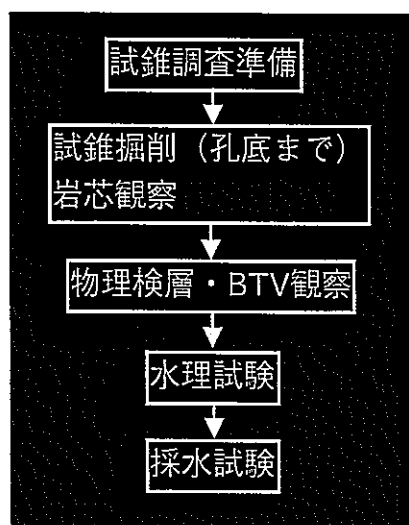
未解決の
部分有り

試錐調査プログラムを改善することにより対応

(共通)

地下水の地球化学的性質を把握するための調査技術

—当初の調査プログラム—



—調査を通して得られた課題—

課題①

試錐掘削後の採水調査では、多量な掘削水が岩盤中へ浸透

地層水を採取するまでに長期間の予備排水を必要とする

課題②

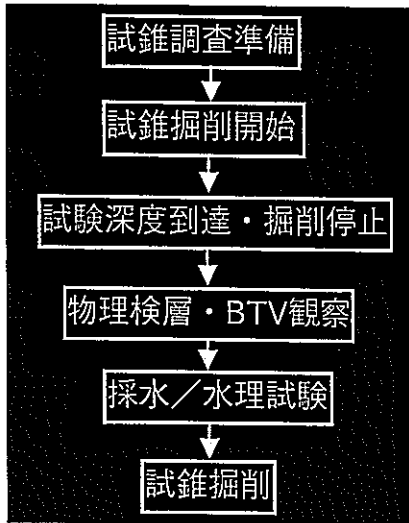
地層水への置換を確認するトレーサー

他深度への回り込みへの対応と濃度管理を必要とする

(共通)

地下水の地球化学的性質を把握するための調査技術

-変更後の調査プログラム-



-課題を解決するための対策-

課題①に対する対策

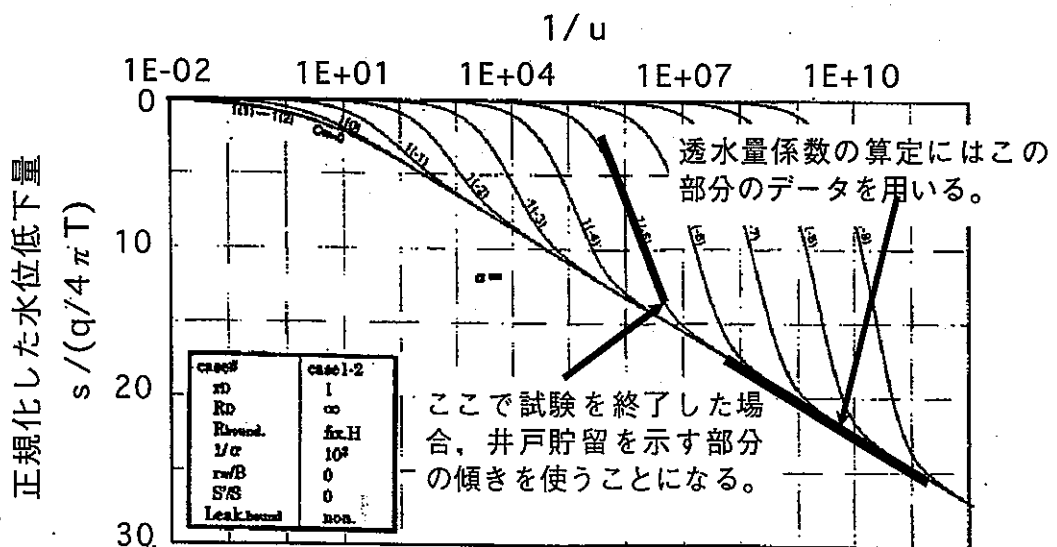
- ・右図のように、試錐掘削が採水深度に到達したら、ただちに掘削を中断し、採水試験を実施するプログラムへ変更

課題②に対する対策

- ・調査段階（一つの採水区間を包含する）別に掘削水に混入するトレーサーを変える（複数トレーサーを用意）
- ・掘削中のトレーサー濃度を常時観測・制御

(共通)

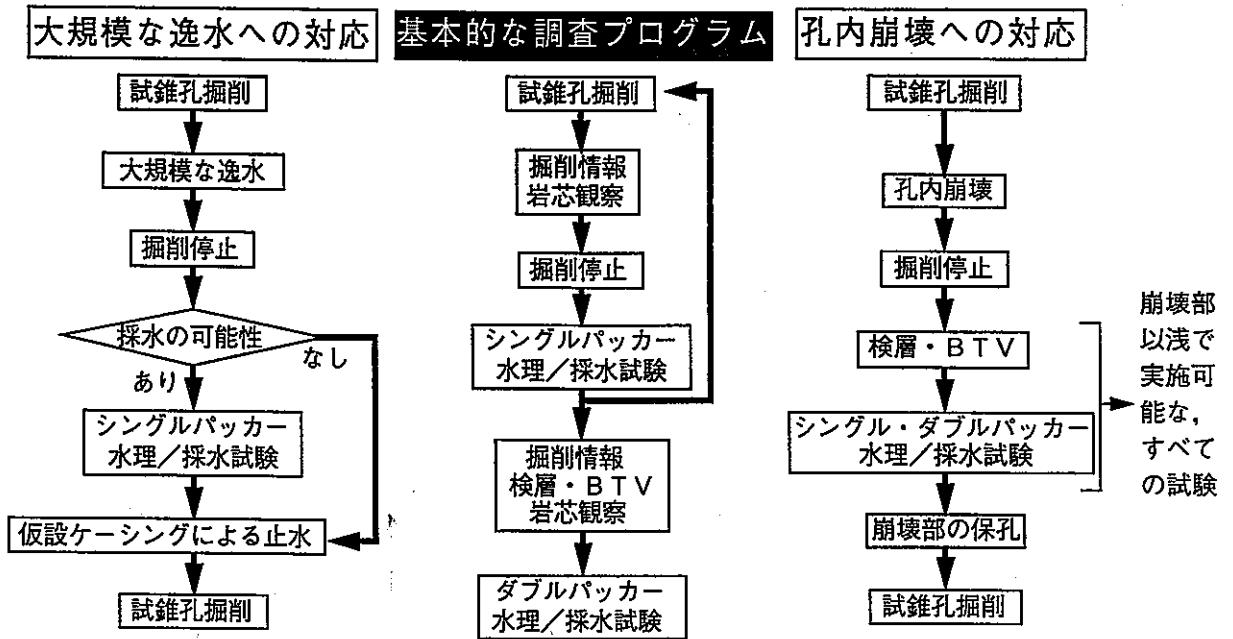
水理試験データの品質管理



単孔での揚水試験の解析法 (Jacob 法での整理)

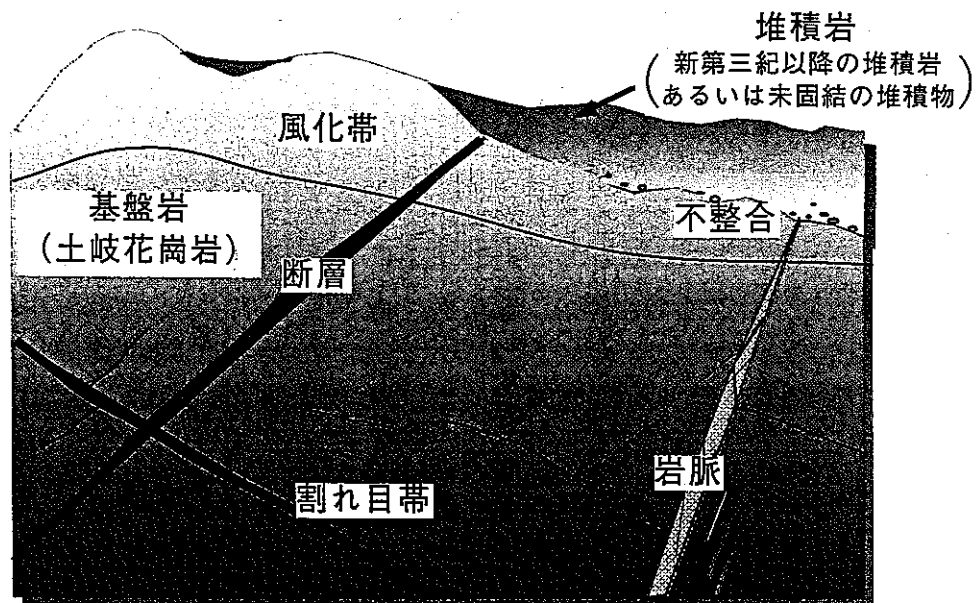
(共通)

単一孔で複数の調査を行う場合の試錐調査プログラム



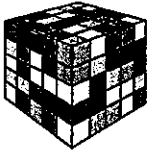
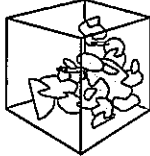
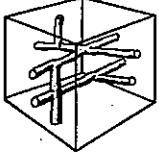
(広領域)

考慮すべき地質・地質構造



(広領域)

水理地質構造モデル化手法

	 連続体モデル	 不連続体モデル DISCRETE FRACTURE	 不連続体モデル CHANNEL NETWORK
1. モデル化対象スケール	大	中	小
2. 適用計画	広域地下水流動研究 MIU計画 第1段階	MIU計画 第1～3段階	MIU計画 第1～3段階
3. 評価対象時間	長期間		短期間

(広領域)

物理探査における調査の達成度

調査対象		地表地質	不整合	断層	風化帯	花崗岩中の不均質性
調査手法						
空中からの調査	電磁探査	○	○	×	△	×
	磁気探査	△	×	×	×	×
	VLF法探査	△	×	×	×	×
	自然放射線探査	○	△	×	×	×
地上での調査	重力探査	○	○	×	△	△
	電磁探査 MT法・CSMT法	○	○	×	△	△
	弾性波探査反射法	○	○	○	△	△
	弾性波探査屈折法	○	○	○	△	○

○：検出可 ×：検出不可 △：判断できず

(広領域)

—東濃地域の調査事例のまとめ—

空中物理探査（電磁・磁気・自然放射線・VLF）

・広領域の表層地質を効率的に把握できる

地上物理探査（CSMT&MT）

・堆積岩と花崗岩の不整合面などを把握できる

課題：上記2つの物理探査では検出されない地質構造（例えば、月吉断層）の存在？

地表地質踏査

・月吉断層の存在を類推（東濃地域での過去の調査事例）



地上物理探査（反射法・屈折法）

・月吉断層を確認

(広領域)

①空中・地上物理探査（電磁法等）

地表地質、不整合、花崗岩中の不均質性の把握

+

②地表地質踏査

断層等の確認

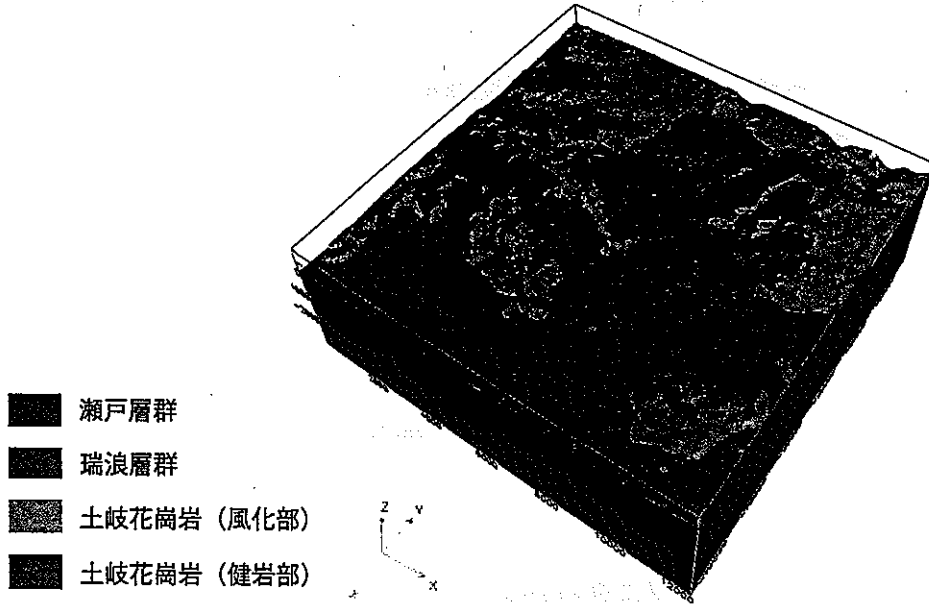


③弾性波探査（反射法・屈折法）など

①および②で発見された断層等の深度方向および平面的な広がりを詳細に追跡

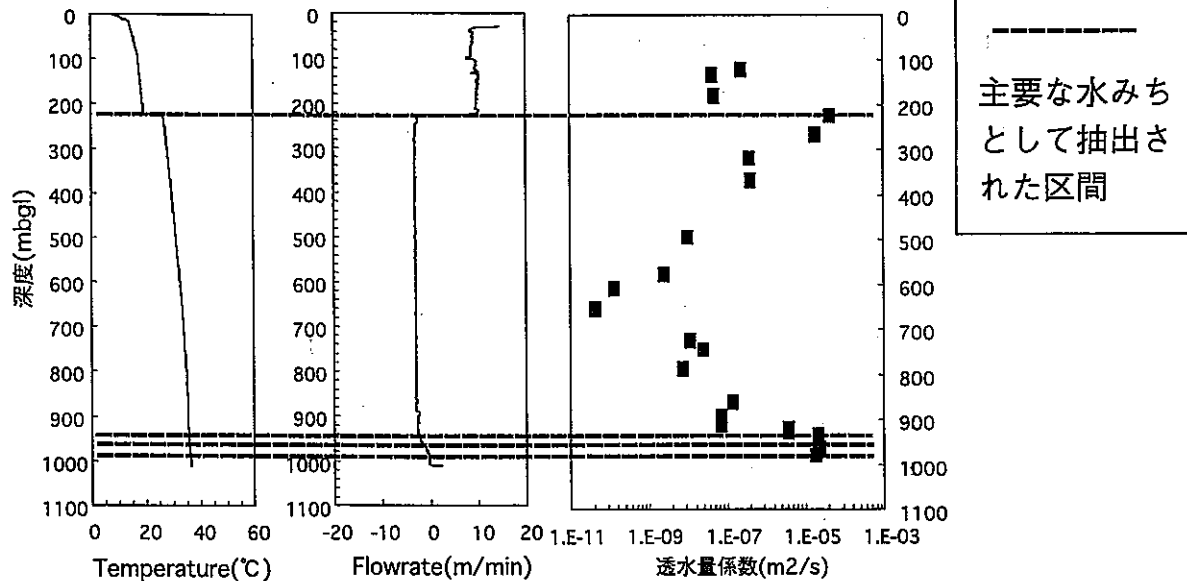
(広領域)

広域地下水流動研究における地質構造概念モデル



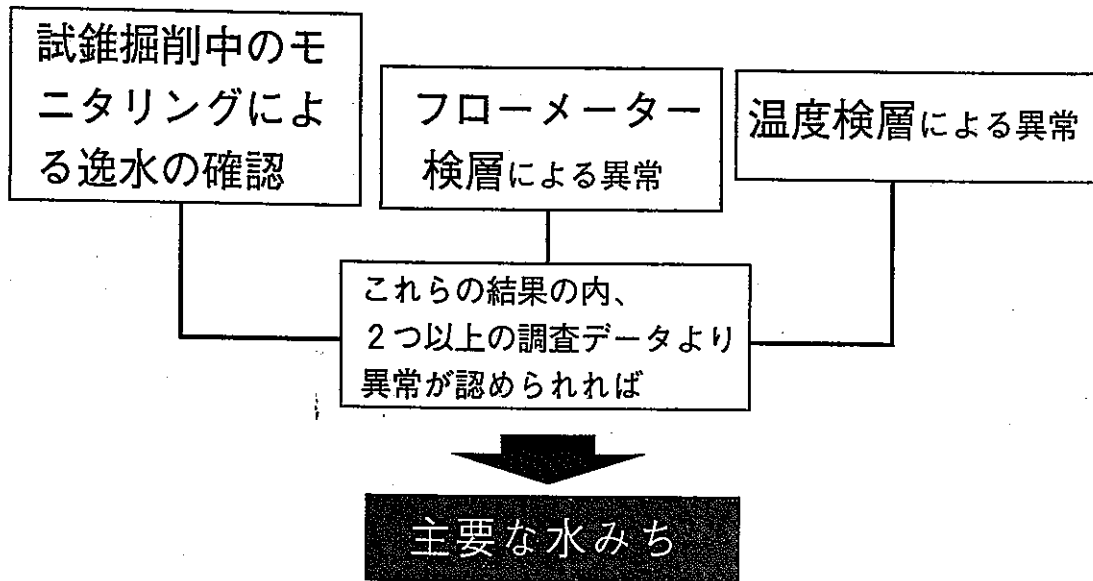
(中領域)

岩盤中の水みちの透水性を把握する手法 (MIU-1号孔での調査結果の一例)



(中領域)

岩盤中の水みちの透水性を把握する手法




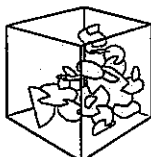
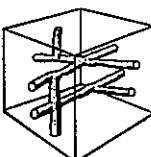
(中領域)

岩盤中の水みちの透水性を把握する手法として、

- ・ 試錐掘削中の逸水等のモニタリング
- ・ 温度検層
- ・ フローメーター検層

の3つの調査・観測手法の組み合わせが有効

(中領域) 水理地質構造モデル化手法

	 連続体モデル	 不連続体モデル DISCRETE FRACTURE NETWORK MODEL	 不連続体モデル CHANNEL NETWORK MODEL
1. モデル化対象スケール	大	中	小
2. 適用計画	広域地下水流動研究 MIU計画 第1段階	MIU計画 第1～3段階	MIU計画 第1～3段階
3. 評価対象時間	長期間		短期間

(中領域) 超深地層研究所計画における地質構造要素

① 地形

- ・地形の凹凸

② 地質の分布（層序と岩盤が有する水理学的な不均質性）

- ・層序 ・風化部
- ・変質部 ・岩盤のマトリックス部

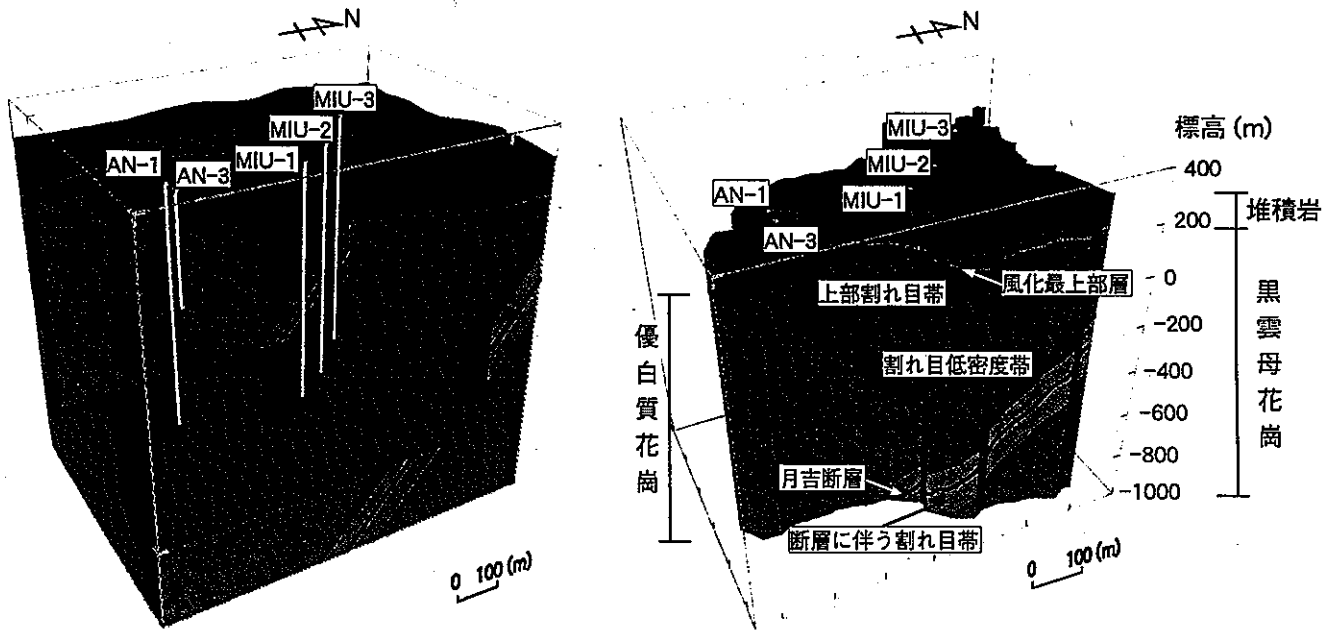
③ 地下深部から表層に達するような大規模な地質学的（水理学的）不連続構造

- ・断層 ・割れ目帯
- ・岩脈

④ 小規模であるが地下水流動に影響を及ぼしていると考えられる地質学的（水理学的）不連続構造

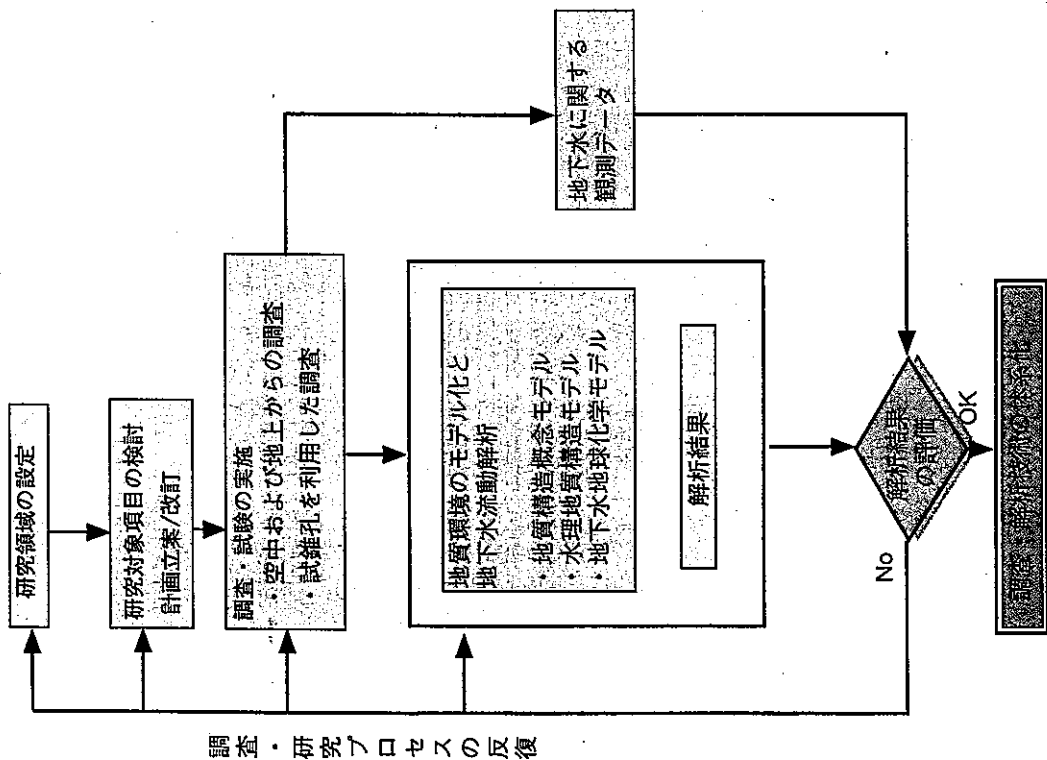
- ・断層 ・割れ目帯

超深地層研究所計画における地質構造概念モデル



東濃地科学センター

今後の研究の進め方



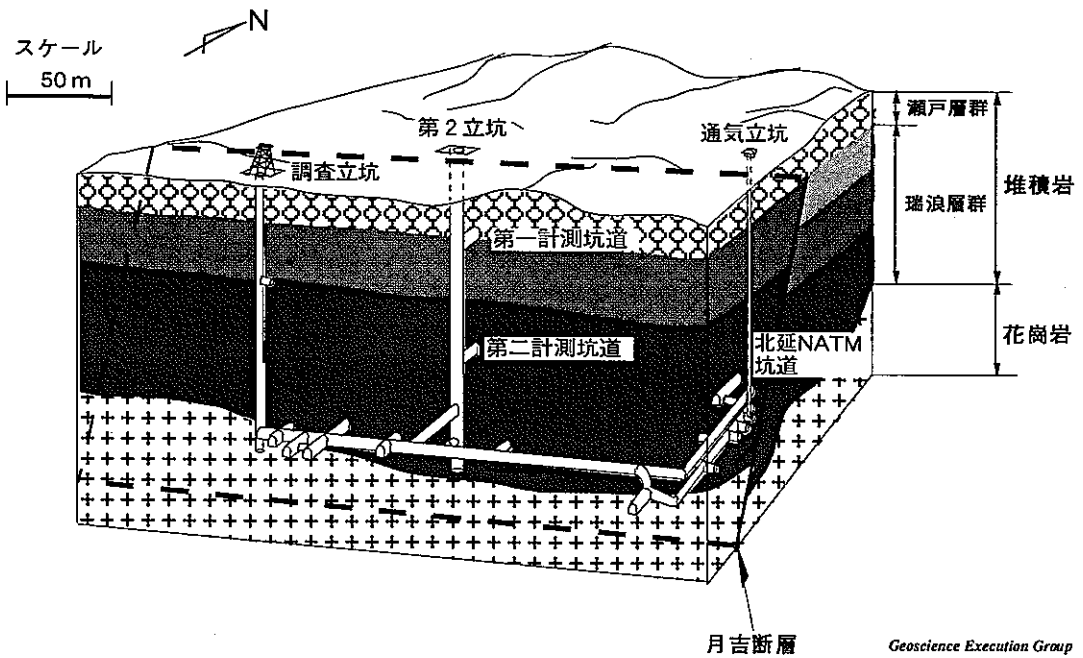
調査・研究プロセスの反復

(4) 東濃鉦山における調査試験研究

東濃鉾山における 調査試験研究

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター
地層科学研究グループ

地質及び坑道配置図



これまでの東濃鉍山における 調査試験研究の概要

- 目標：地質環境が本来備える特性やその長期的な変化を明らかにする。
- 研究の概要
以下に示す4つの研究分野に関する調査研究の実施
 - ◆ 地下水流動に関する研究
 - ◆ 地下水の地球化学に関する研究
 - ◆ 岩盤力学に関する研究
 - ◆ 物質移動に関する研究

*地層処分研究開発の現状
(平成8年度)より抜粋

Geoscience Execution Group

これまでの研究成果の概要

- 東濃鉍山を構成する堆積岩の3次元的な広がり、不整合面/月吉断層の概略的な位置、断層や各堆積層の形成年代
- 東濃鉍山スケールでの堆積岩の地下水流動に関する調査・解析手法の確立/体系化
- 断層が地下水流動に与えている影響に関する知見(立坑掘削時に生じた断層の上下盤における水圧差)
- 堆積岩中の地下水組成や起原およびその年代
- 東濃鉍山坑道周辺の応力状態(第2立坑第1計測坑道、北延NATM坑道)
- 坑道掘削に伴って生じる力学的な掘削影響領域の範囲とその物性変化の程度(第2立坑、北延NATM坑道)
- 天然ウラン鉍床を対象とした水理特性/地球化学特性/物質移行特性の調査結果から推定されるウラン鉍床の成因に関わる知見

↓
堆積岩の地質環境特性に関する情報の蓄積及び
研究分野ごとの調査・解析技術の整備

Geoscience Execution Group

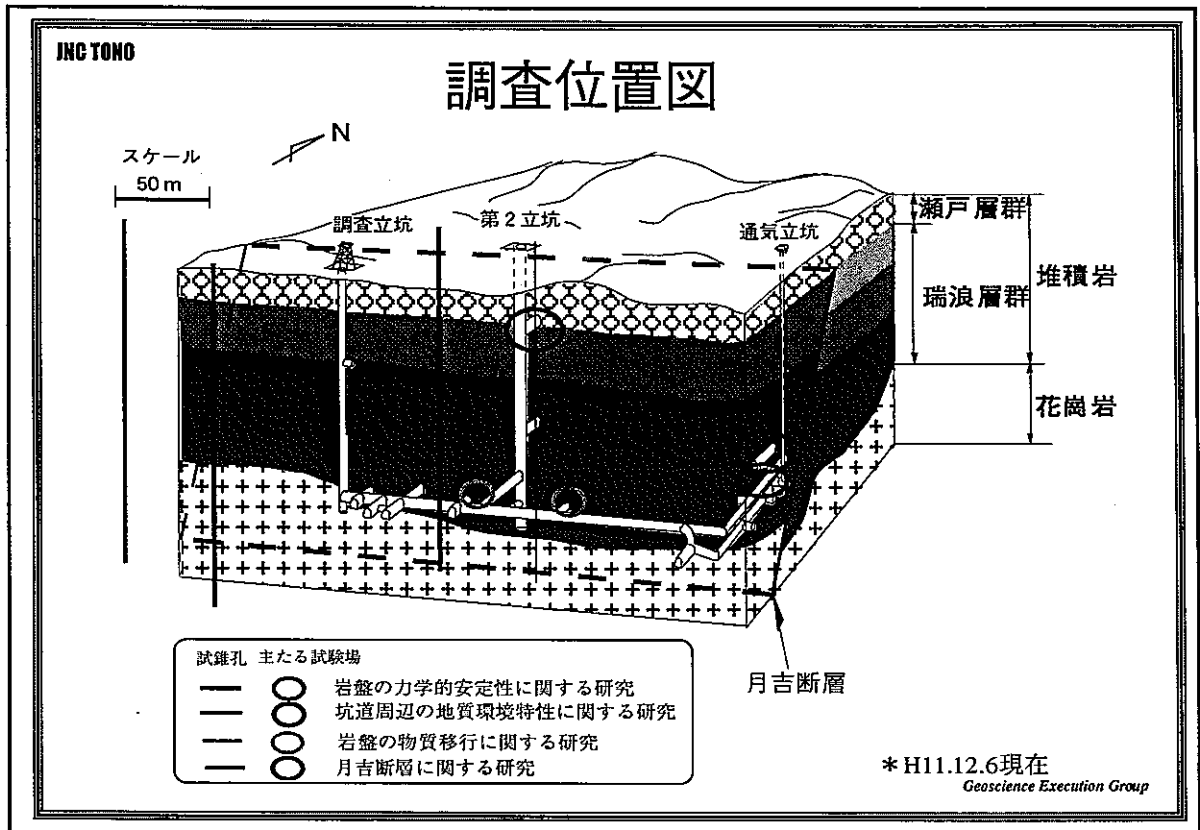
今後の調査試験研究の全体目標

- ウラン鉱床を利用し、断層などの特徴を有する地質環境における物質の固定・移行特性を把握すること
- 坑道周辺部を含む堆積岩や断層の地質環境を総合的に調査・解析・評価するための技術・手法を開発すること。

反映先：堆積岩における坑道スケールでの
調査解析技術の提供

調査試験研究の概要

- 既存の調査研究内容を、総合的な調査研究の観点から以下の4つの研究項目に分類・整理し、調査試験研究を進める。
 - ◆ 岩盤の力学的安定性に関する研究
 - ◆ 坑道周辺の地質環境特性に関する研究
 - ◆ 岩盤中の物質移行に関する研究
 - ◆ 月吉断層に関する研究



JNC TONO

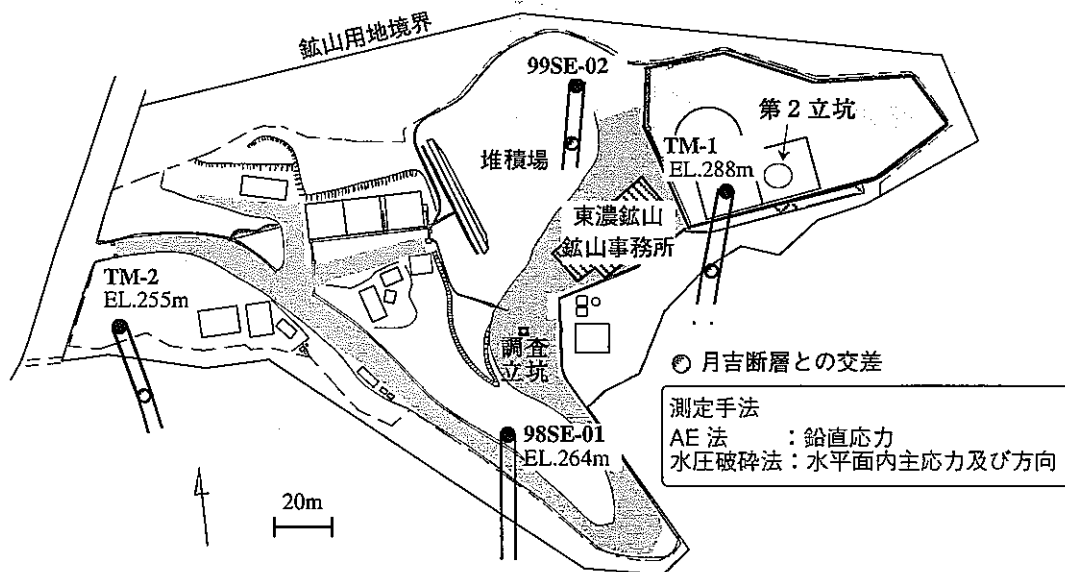
岩盤の力学的安定性に関する研究

- **目標：** 3次元的な初期応力場の評価手法の確立、坑道離間距離と岩盤物性変化との関連性の評価（塑性領域の発生を含む）、坑道周辺岩盤の長期的な挙動を評価する手法の確立

Geoscience Execution Group

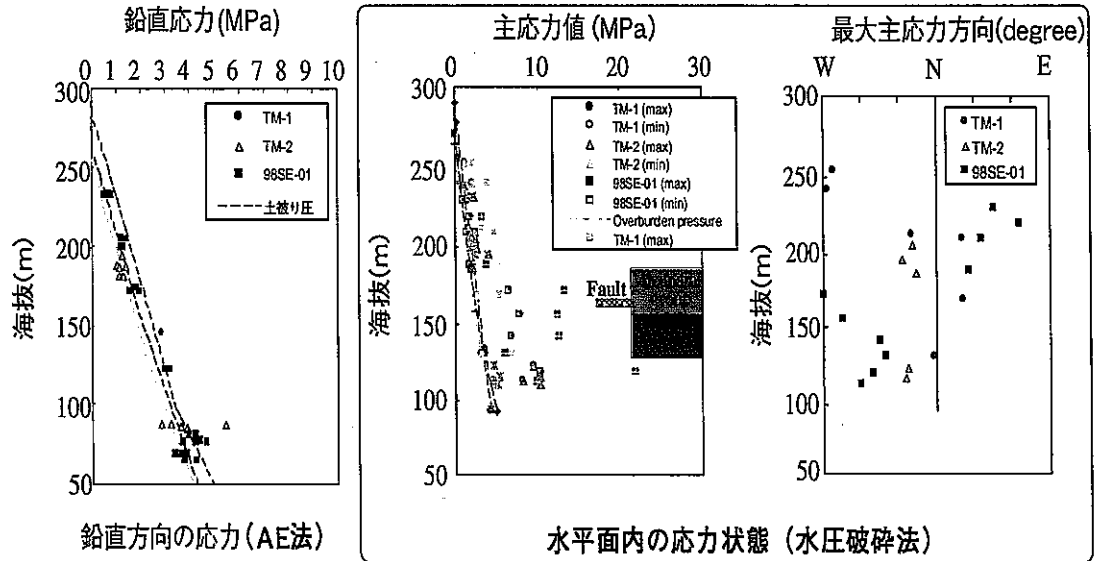
実施内容

- 東濃鉱山の応力状態調査：3次元応力状態と地質構造との関連性の検討およびその結果に基づく3次元初期応力場の同定手法の開発
- 岩盤の長期安定性に関する研究：坑道周辺岩盤の長期的挙動を評価しうる計測／解析手法の開発
- 坑道の近接施工に伴う岩盤の安定性評価に関する研究（双設坑道安定性評価試験）：坑道の近接施工に伴う岩盤物性変化の程度とその範囲を把握するための原位置試験



地表試錐孔の配置

測定結果



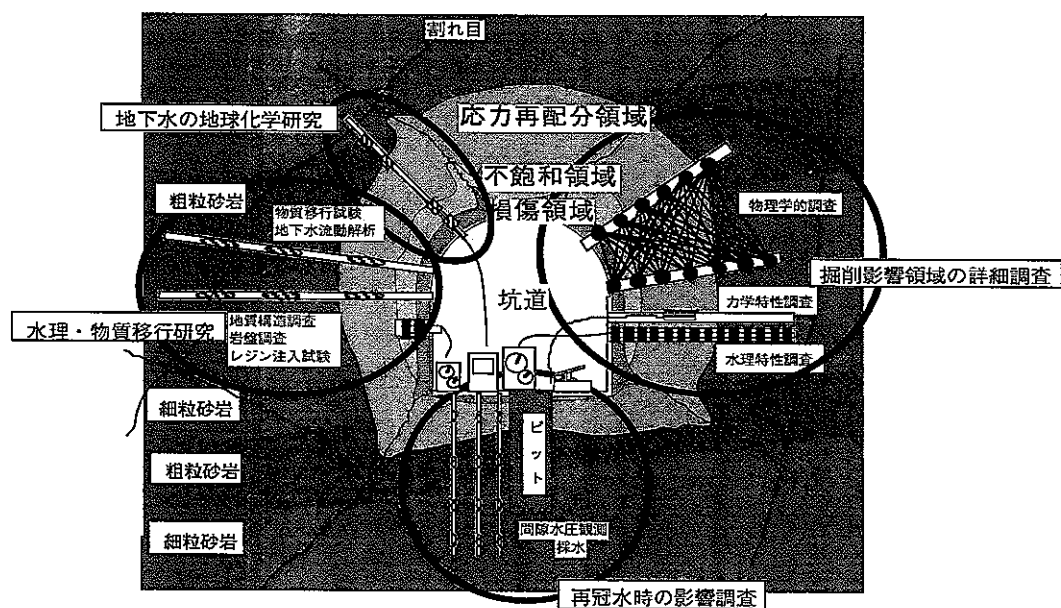
坑道周辺の地質環境特性に関する研究

- **目標:** 坑道周辺の地質環境特性を総合的に評価する調査・解析技術の確立

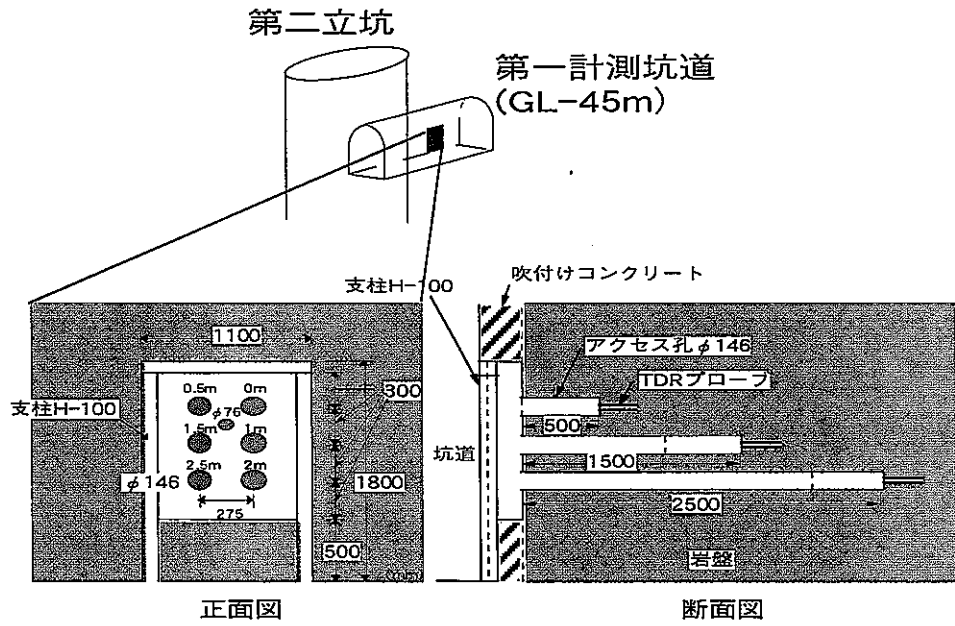
実施内容

以下の調査を同一地点で実施し、坑道周辺の地質環境特性に関する総合的な概念モデルを構築する

- 坑道周辺力学特性調査：坑道周辺岩盤における連成現象と物性変化との関係を把握するための室内／原位置試験ならびに再冠水の影響に関する調査試験
- 坑道周辺水理特性調査：不飽和領域の広がりや把握するための計測手法および解析手法の開発並びに坑道周辺の水理学的な影響範囲の把握に関する調査研究
- 坑道周辺地球化学特性調査：坑道周辺岩盤のREDOXフロントの位置や酸化領域の地下水・岩石の化学的性質の変化を把握するための分析やモニタリング調査
- 坑道周辺物質移行特性調査：坑道周辺岩盤を対象としたレジジン注入試験や物質移行試験

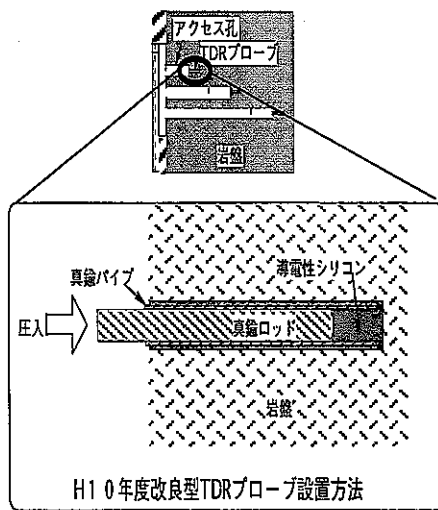


調査概念図

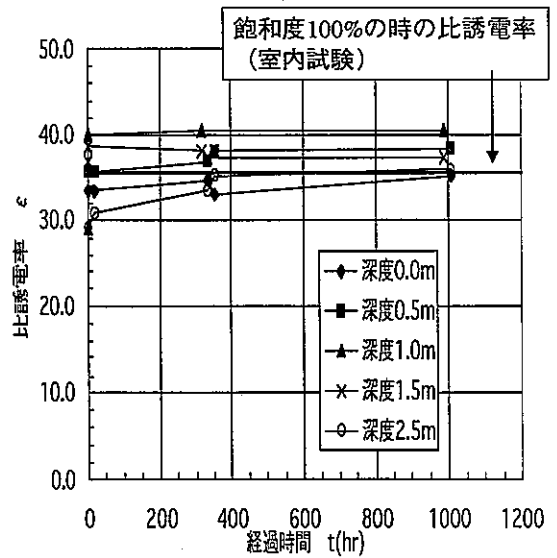


不飽和原位置試験レイアウト

計測方法及び計測結果の一例



H10年度改良型TDRプローブ設置方法



平成10年度計測結果

岩盤中の物質移行に関する研究

- **目標**：岩盤中の物質の移行特性調査手法及び評価手法の確立

実施内容

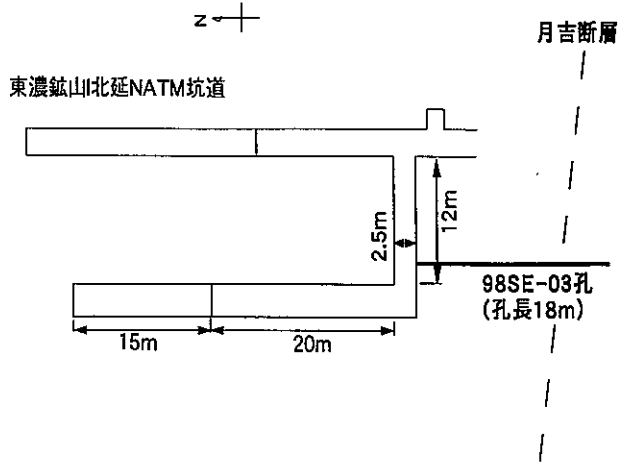
- **ウラン濃集部移行経路調査および ウラン濃集部地下水地球化学調査**：ウラン濃集部における地質／水理／水質／放射非平衡調査および空隙構造調査
- **鉍化部 REDOX 試験**：ウラン鉍化部の酸化-還元状態調査並びに水-岩石反応試験等による堆積岩の酸化-還元緩衝能力把握のための室内／原位置試験
- **ウラン濃集部物質移行試験**：物質移行試験及び物質移行解析
- **コロイド調査**：地下水中的コロイド分析

月吉断層に関する研究

- **目標：** 地表～地下深部まで連続する構造が有する地質環境特性を調査する技術の確立

実施内容

- **水理特性調査：** 断層部およびその周辺部を対象とした単孔式透水試験／孔間透水試験
- **地球化学特性調査：** 断層部およびその周辺部を対象とした鉱物組成分析／地下水の化学組成分析
- **物質移行特性調査：** 空隙構造調査、孔間での物質移行試験
- **力学特性調査：** 断層部およびその周辺の力学特性調査（孔内載荷試験、応力測定）および坑道掘削時の断層およびその周辺部の安定性評価試験



坑道及び試錐孔配置図 (平面図)

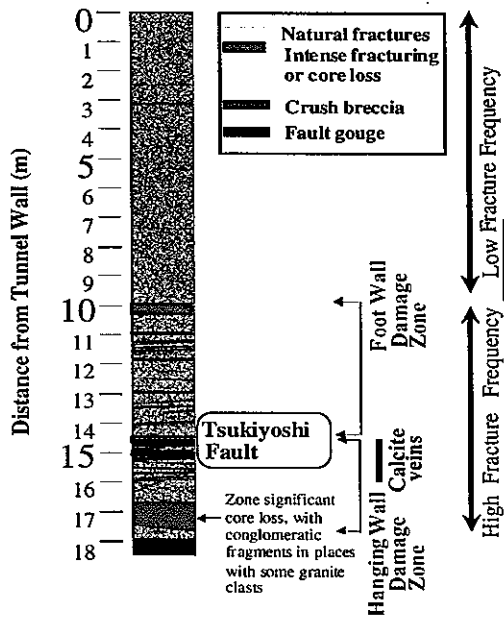
サンプリング箇所
(深度は坑道壁面からの距離)

サンプル番号	採取位置
D897	3.19~3.29
D898	9.97~10.06
D899	11.30~11.47
D900	11.51~11.60
D901	14.43~14.55
D902	14.55~14.65
D903	14.65~14.74
D904	14.80~14.92
D905	15.03~15.16
D906	15.70~15.83
D907	16.16~16.70

調査方法

Bulk mineralogical analysis
(X-ray diffraction (XRD) analysis)
Petrographic analysis
(B SEM)

調査結果



Simplified log of Borehole 98SI-03

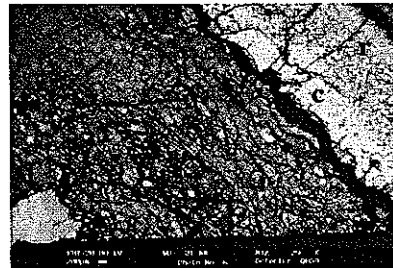


Plate 17: BSE photomicrograph of silty-clay fault gouge with well-developed shear fabric and sheared rock fragments, cut by a complex calcite vein (with cross-fibre calcite (c) along one side, and micronodular, wallrock-replacing calcite (r) developed along the other side). Sample D902.1.

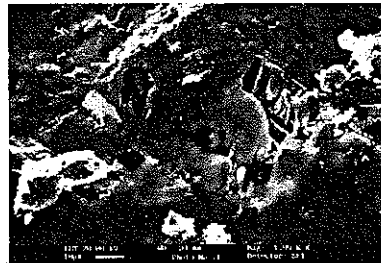


Plate 24: SEM photomicrograph of slickensided fracture cutting lignitic silty mudstone, showing dissolution of plagioclase exposed in the fracture surface. This results in the formation of framework grain porosity in the wallrock. Sample D903.

まとめ（平成8年度～10年度までの成果）

■ 岩盤の力学的安定性に関する研究

- ◆ 地質層序と東濃鉱山における応力状態とは関連がある
- ◆ 月吉断層は、現在の東濃鉱山の応力状態に影響を及ぼしていない可能性が高い
→調査対象領域内の3次元的な応力状態の推定手法の開発

■ 坑道周辺の地質環境特性に関する研究

- ◆ 室内/原位置試験を通じ、岩盤の不飽和状態を測定する手法を確立できる見通しが得られた。
→堆積岩中に坑道等を掘削した場合の不飽和領域の範囲や地下水への地球化学的な影響に関する調査研究

■ 月吉断層に関する研究

- ◆ 断層の活動により、断層本体周辺部に数mの地質学的/鉱物学的なダメージゾーンが存在することが明らかになった。
- ◆ 断層上盤側のダメージゾーンは、過去に地下水の流動経路に成っていた可能性が高い。
→ダメージゾーンの連続性やその地質環境特性に関する調査研究

(5) 地質環境の長期安定性に関する研究の現状

—各天然現象の特徴と地質環境に及ぼす影響について—

(5) 地質環境の長期安定性に関する研究の現状

—各天然現象の特徴と地質環境に及ぼす影響について—

地質安定性研究グループ

1. はじめに
2. 全国レベルでの基礎データの整備 (データベース, 図幅など)
3. 各天然現象の特徴と地質環境に及ぼす影響について
 - 3-1 地震・断層活動
 - 3-2 火山活動
 - 3-3 隆起・沈降, 侵食
4. まとめ・今後の課題

第2次取りまとめにあたっての技術的重点課題

—深部地質環境の科学的研究の重点課題—

地質環境の長期安定性については, わが国における各天然現象の特徴や地質環境への影響を調査研究するとともに, これらを評価するための手法について検討を進める。

1. 地震・断層活動

わが国における活断層の活動特性や周辺の地質環境への影響について調査研究を行うとともに, 地震による地質環境への影響を検討していく。

2. 火山・火成活動

わが国における火山活動の規模, 時間的変遷, 地域性及び機構並びに地熱系の分布や熱源などについて調査研究を行う。また, 火成活動による現象の抽出を行い, 地質環境への熱的影響などを検討していく。

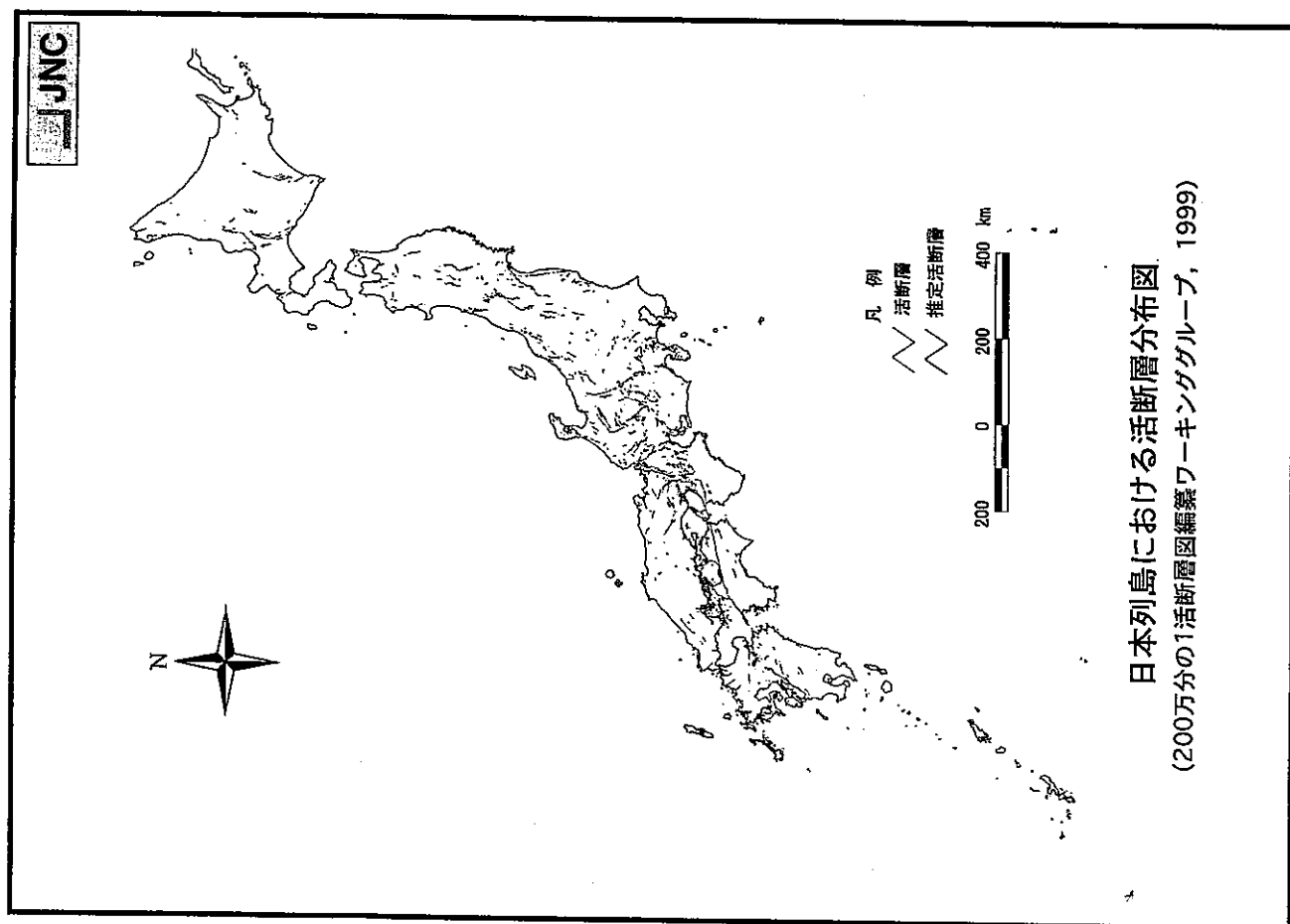
3. 隆起・沈降・侵食

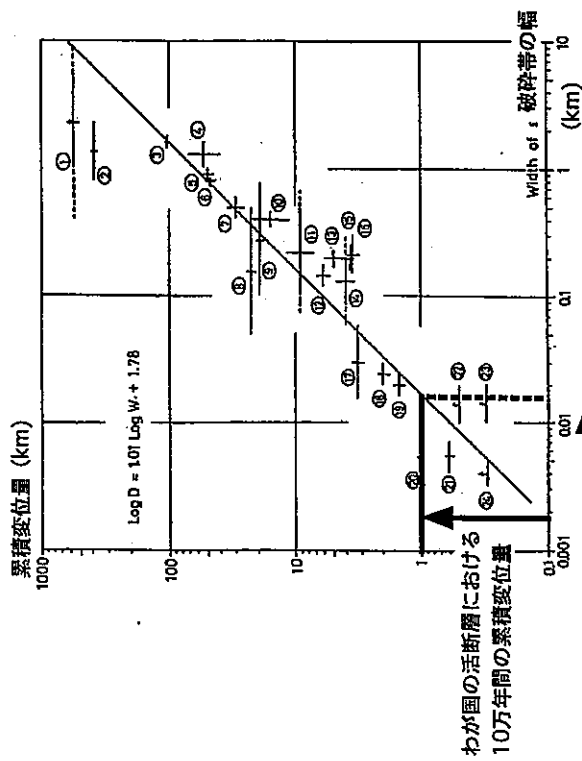
わが国における規模, 速度, 地域性を調査し, その規則性や機構の理解を深めていく。

原子力委員会バックエンド対策専門部会 (1997) による

全国レベルでの基礎データの整備（データベース、図幅など）

- 活断層の分布，長さ，タイプなど（空中写真による判読）
 - ⇒200万分の1活断層分布図（200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ，1999）
 - 【活断層研究，第19巻にて公開】
- 第四紀火山の分布，活動年代，噴出量など（文献調査，現地調査，年代測定）
 - ⇒第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会，1999）
 - 【日本火山学会より図幅・CD-ROMにて公開】
- 坑井温度プロファイル，温泉水の化学組成など（文献調査，聞き取り調査）
 - ⇒日本列島地温勾配図（矢野ほか，1999）
 - 【地質調査所特殊地質図にて公開】
- 海岸段丘の分布，高度，形成年代など（文献調査，現地調査，年代測定）
 - ⇒日本の海成段丘アトラス（小池・町田編，1999）
 - 【東京大学出版会より書籍・CD-ROMにて公開】

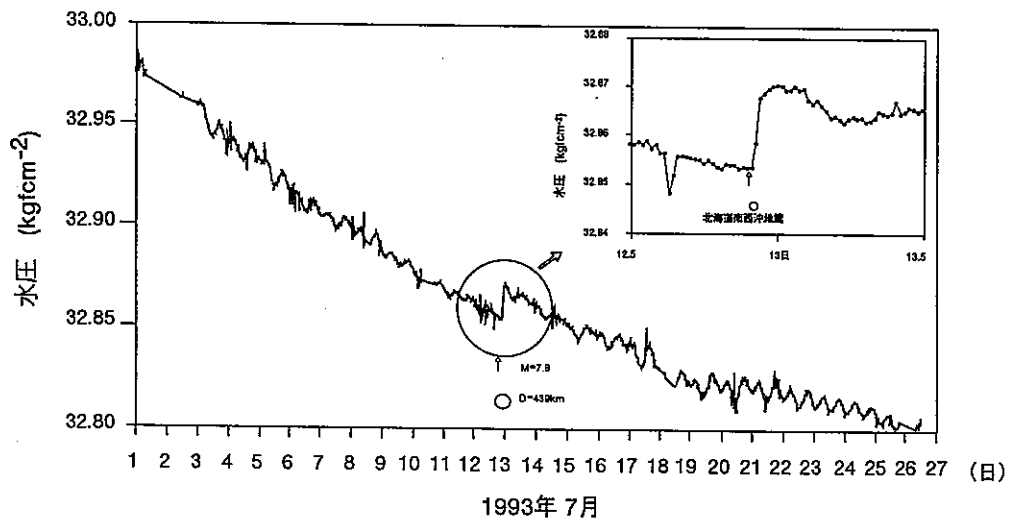




想定される破砕帯の拡大幅

- | | |
|---------------------------------|-------------------|
| 1 San Andreas 断層 | 13 温見断層 |
| 2 Alpine 断層 | 14 鶴川破砕帯 |
| 3 Great Glen 断層 | 15 大原断層 |
| 4 Garlock 断層 | 16 関ヶ原-柳ヶ瀬断層 |
| 5 Bok Bak 断層 | 17 跡津川断層 |
| 6 Death Valley-Furnace Creek 断層 | 18 広瀬-長谷断層 |
| 7 日誌-筑仙沼断層 | 19 神懸断層の延長の南北走向断層 |
| 8 赤石構造線 | 20 丹那断層 |
| 9 Hope 断層 | 21 神懸断層の延長の南北走向断層 |
| 10 Agua Blanca 断層 | 22 鳥屋野断層 |
| 11 阿寺断層 | 23 佐知断層 |
| 12 Blue Cut 断層 | 24 花折断層 |

断層の累積変位量と破砕帯の幅の関係 (Otsuki, 1978)



釜石鉱山における地震に伴う水圧変化例 (Ishimaru and Shimizu, 1997)

レコード番号 42 火山番号 194 火山名 翠野

登録年月日 1997.2.19 修正年月日 1998.12.25

寄者 隈宝清・宇井野英・中川栄弘
個別火山体名 翠野
別名 後方羊蹄、後方富士、マツカリヌプリ
個別火山体の位置
最高高度 1980 m
基底高度 260 m
分布面積 38.6 km²
火山体積 18.2 km³

玄武岩 玄武岩質安山岩 安山岩
ダイサイト 流紋岩 その他

地形的 42°49'30" N, 140°48'42" E

層序 翠野火山は扇状地堆積物とその2次堆積物からなる海拔200-250mの台地上に生じた成層火山である。[2]

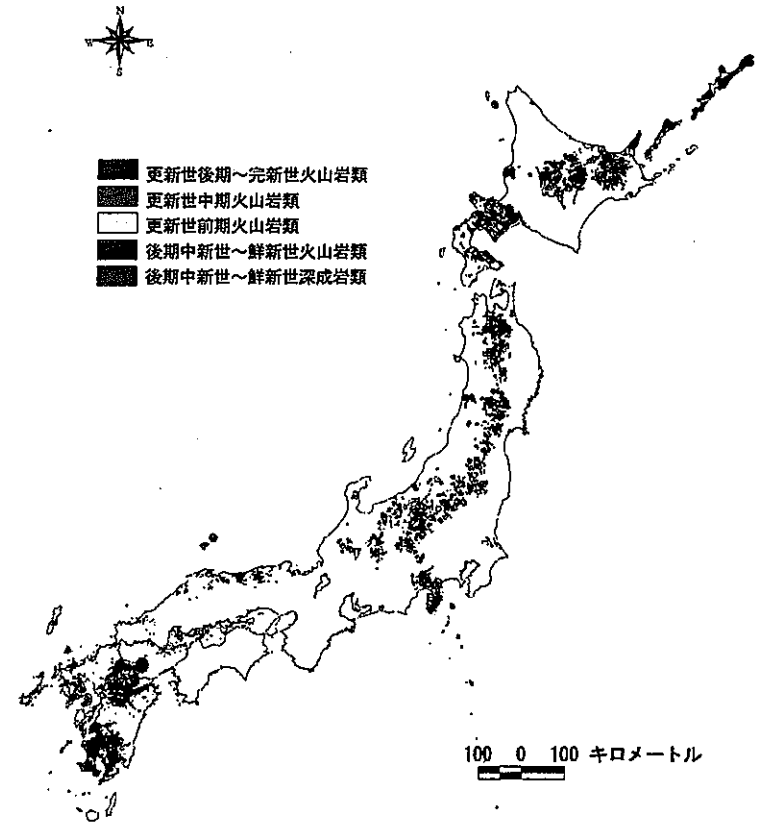
火山体の分類 成層火山(SC)

噴出物の分類
先羊蹄層岩なだれ堆積物 0.72km³
旧期岩漿流(LF)(不明)
新期火砕丘(PC) 0.23km³
岩漿流(LF)
北山期岩漿流(LF) (不明)
火砕丘(PC)
側火山岩質円頂丘(LD)スコリア丘(PC) 0.32km³
降下火砕物
Yo-a 不明
Yo-I 2.0km³
Yo-II 0.5km³
Yo-III 1.1 km³
Yo-ka (不明)
総の8枚(不明)
(早川由紀夫の12.2TSを使用) [2,7,8]

年代測定値
Yo-IIIの下部のSp/a-1, Sp/f; 4200±1800y.B.P., 14C法[3]
羊蹄山麓のYo-IIの直下と思われる層序; 25270±1080y.B.P., 27280±1910y.B.P., 14C法[4]
Yo-I世のEm-aの2次堆積による内陸古砂丘中; 13100±1200y.B.P., 14C法[5]
Yo-I世下の層序を示すと思われる野幌丘陵の円頂丘堆積物中の木片; 15000±400y.B.P., 14C法[6]
Yo-a; 5030±2180y.B.P., 14C法[8]
西麓の岩漿なだれ堆積物中の岩片, 0.02±0.05Ma K-Ar法[10]

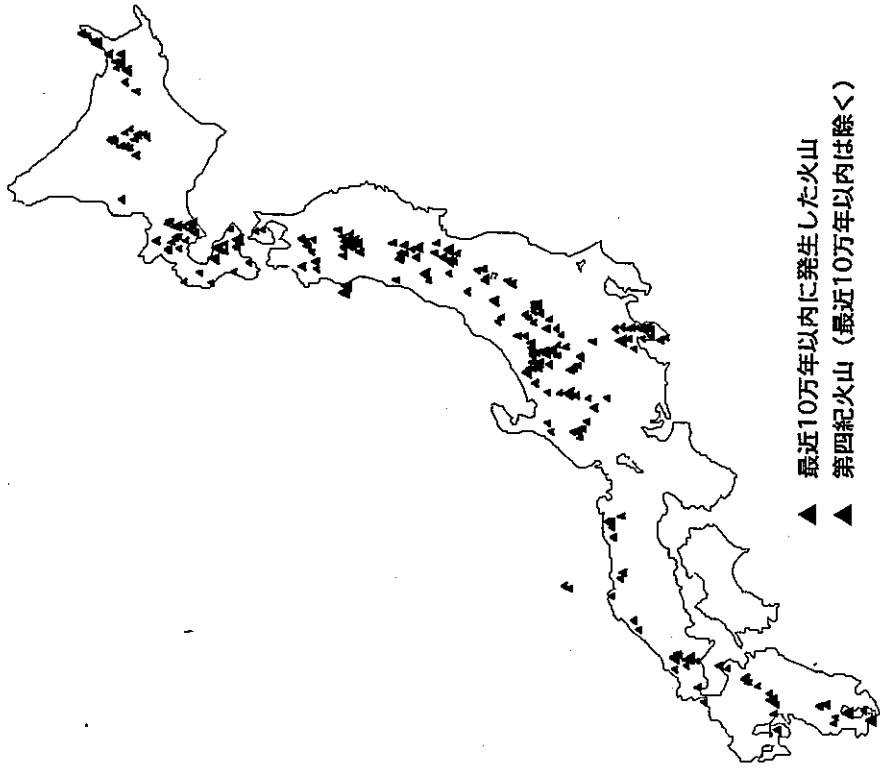
引用文献
[1] 扇状地帯の形成過程、岩漿火山の噴火と岩漿、先羊蹄火山-東麓火山の噴火と岩漿の化学組成変化、先大東洋地誌
[2] 岩漿流(1974) 岩漿流下層岩 162a-Dの年代測定、地質学雑誌、203-207
[3] 大島清行・岩漿流下層岩・岩漿流下層岩(1974) 74, 19-20年層岩の14C年代-地質学雑誌の付録とその関係について-日本の地質学雑誌の14C年代(1118) -、地質学雑誌、31(17)
[4] 扇状地帯、扇状地帯(1974) 扇状地帯形成の年代測定、日本の地質学雑誌の14C年代(1118) -、地質学雑誌、20(180-187)
[5] 岩漿流(1974) 岩漿流下層岩の年代測定、日本の地質学雑誌の14C年代(1118) -、地質学雑誌、20(180-187)
[6] 扇状地帯(1974) 岩漿流下層岩の年代測定、日本の地質学雑誌の14C年代(1118) -、地質学雑誌、20(180-187)
[7] 岩漿流下層岩の年代測定、日本の地質学雑誌の14C年代(1118) -、地質学雑誌、20(180-187)
[8] 岩漿流下層岩の年代測定、日本の地質学雑誌の14C年代(1118) -、地質学雑誌、20(180-187)
[9] 岩漿流下層岩の年代測定、日本の地質学雑誌の14C年代(1118) -、地質学雑誌、20(180-187)
[10] 岩漿流下層岩の年代測定、日本の地質学雑誌の14C年代(1118) -、地質学雑誌、20(180-187)

第四紀火山カタログ(第四紀火山カタログ委員会編, 1999)



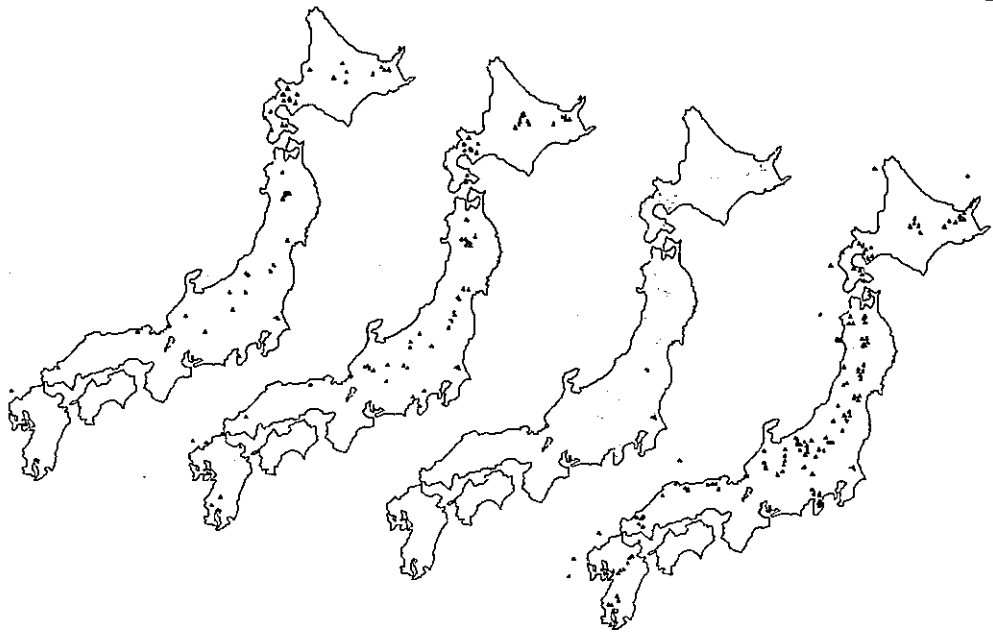
後期中新世～鮮新世以降の火山岩類および深成岩類の分布 (地質調査所, 1992を編集)

後期中新世～鮮新世以降の火山岩類および深成岩類は、現在の東日本火山帯と西日本火山帯に分布する。



▲ 最近10万年以内に発生した火山
▲ 第四紀火山 (最近10万年以内は除く)

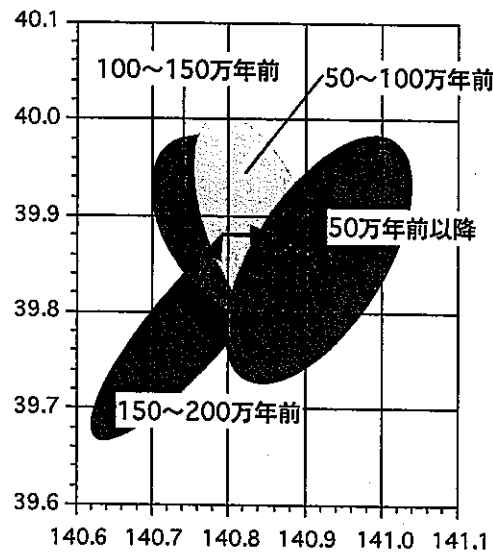
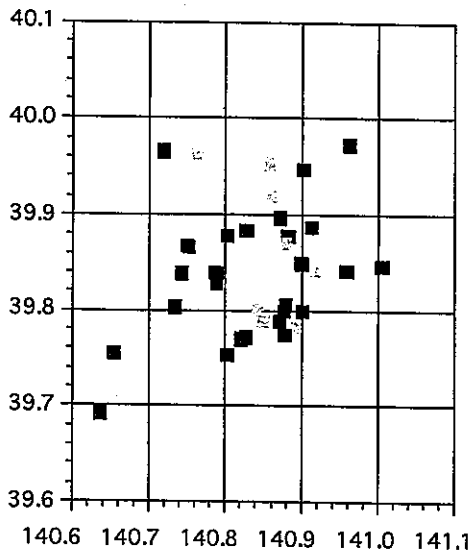
第四紀火山および最近10万年以内に発生した火山の分布
(第四紀火山カタログ委員会編, 1999を編集)



(▲ : 0~0.5 Ma, △ : 0.5~1.0 Ma, ▲ : 1.0~1.5 Ma, ▽ : 1.5~2.0 Maに活動した火山)

日本列島における第四紀火山の時空分布

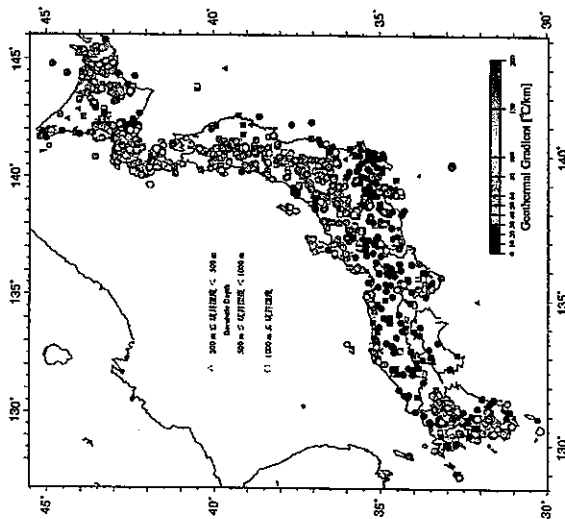
(第四紀火山カタログ委員会編, 1999)



(■ : 0~0.5 Ma, ■ : 0.5~1.0 Ma, ■ : 1.0~1.5 Ma, ■ : 1.5~2.0 Maに活動した火山)

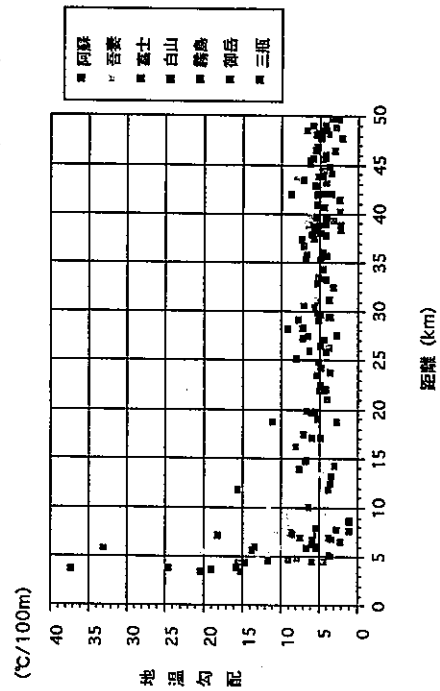
仙岩火山地域における第四紀火山の時空分布

(梅田ほか, 1998)



日本列島における各坑井ごとの地温勾配分布

(矢野ほか, 1999)



火山の噴出中心からの距離と地温勾配の関係

(梅田ほか, 1999)



N33° 20'

流体速度（一次元）は、各坑井の温度プロファイルから算定した。Bredehoeft and Papadopolos (1965) によると上下境界面の温度が一定であれば、測定区間Lの中の任意の深度zにおける温度Tzは、

$$T_z = T_0 + (T_L - T_0) \frac{\exp(\beta z / L - 1)}{\exp(\beta) - 1}$$

$$\beta = -\rho c v L / K$$

となる。

β : 無次元のパラメータ

K : 岩石の熱伝導率 (2.26 ; W/m/K)

T : 温度 (°C)

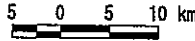
ρ : 水の密度 (kg/m³)

c : 水の比熱 (kJ/kg/K)

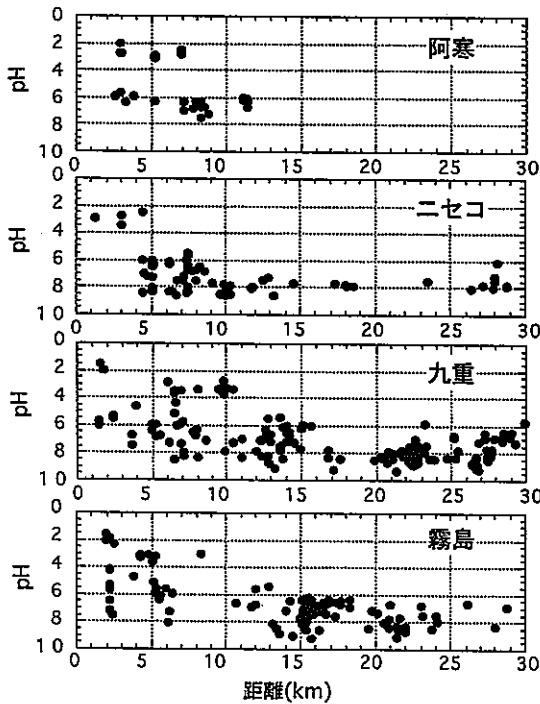
v : 流動速度 (m/s ; 上向きを正とする)

E131°

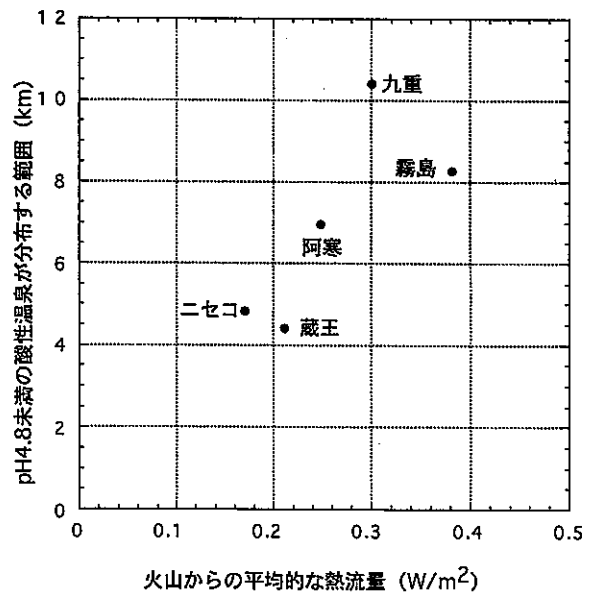
- : 上昇流タイプ (10⁻⁹ m/sec)
- : 上昇流タイプ (10⁻¹⁰ m/sec)
- : 伝導タイプ
- : 下降流タイプ (-10⁻¹¹ m/sec)
- : 下降流タイプ (-10⁻¹⁰ m/sec)



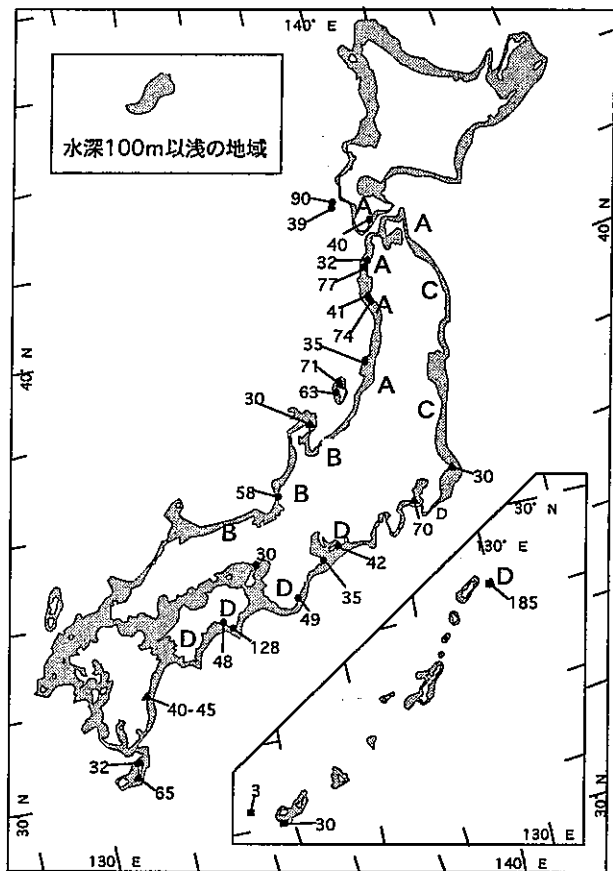
豊肥地熱地域における上昇流速分布 (梅田ほか, 1999)



火山から温泉までの距離と温泉水のpH (JNC, 1999)

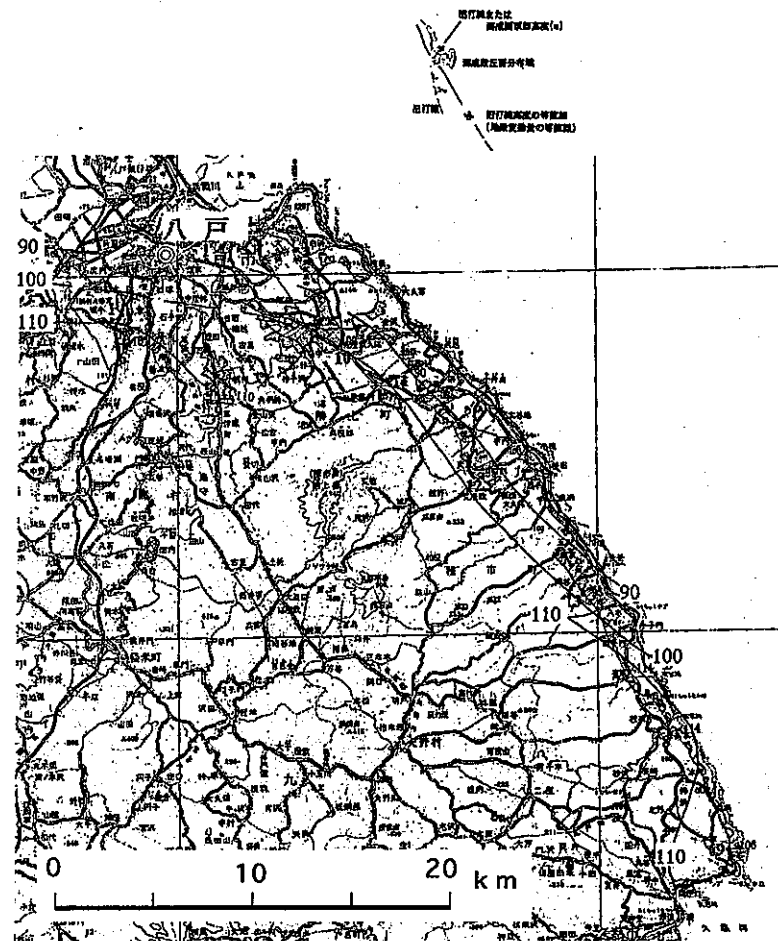


火山周辺の酸性温泉の分布範囲と熱流量 (JNC, 1999)

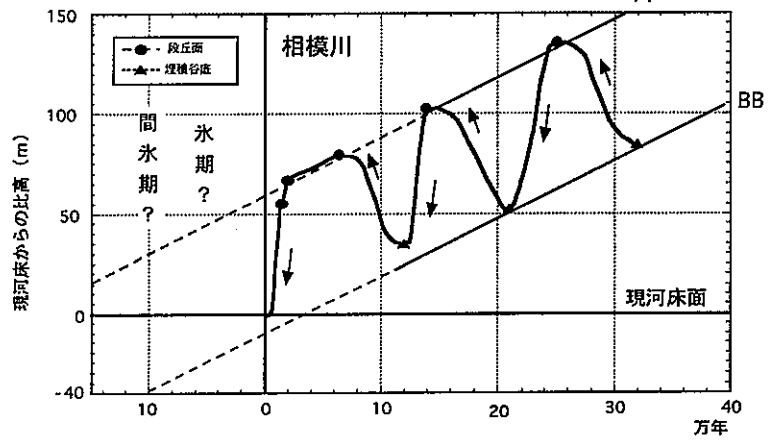
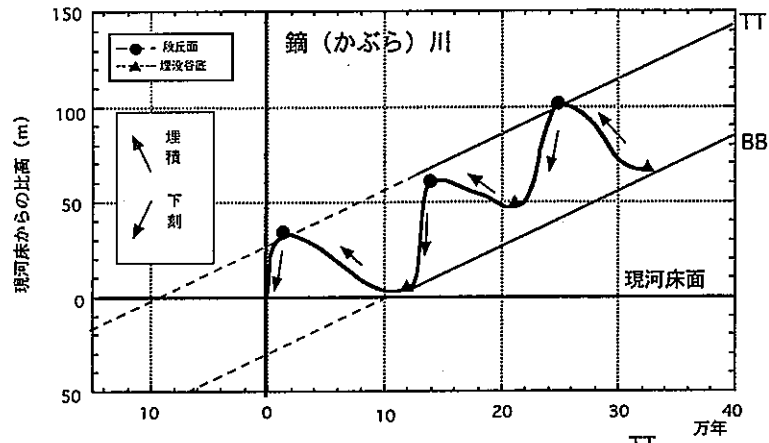


最終間氷期の旧汀線高度と海岸の変動様式
(太田・小池, 1996)

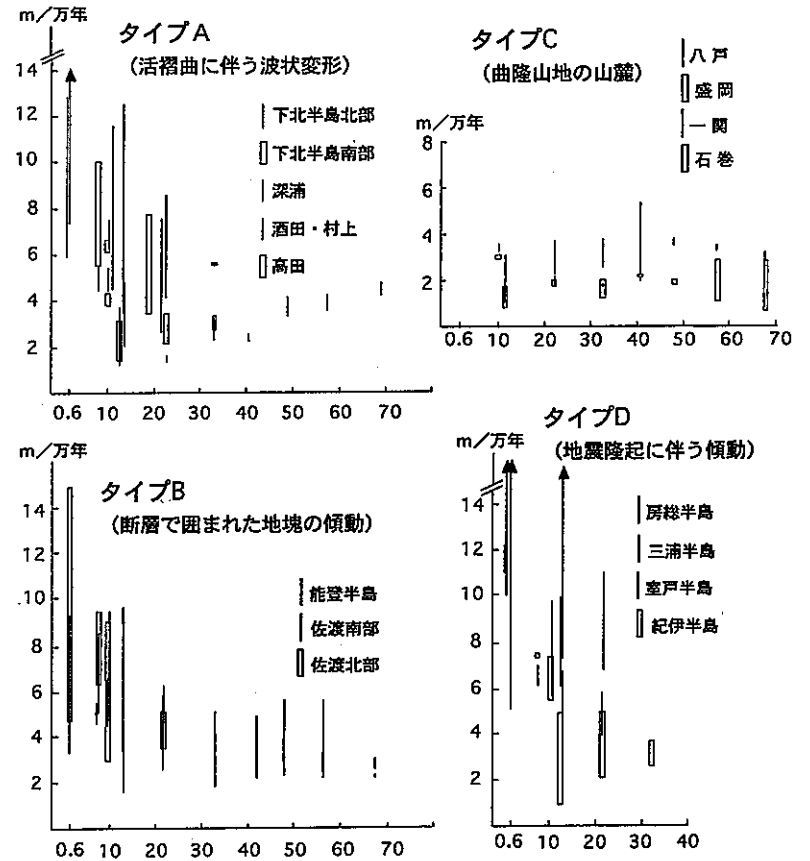
- タイプA : 活褶曲に伴う波状変形が生じている地域
- タイプB : 断層で囲まれた地塊の傾動が生じている地域
- タイプC : 曲隆山地の山麓に相当する地域
- タイプD : 地震隆起に伴う傾動が生じている地域



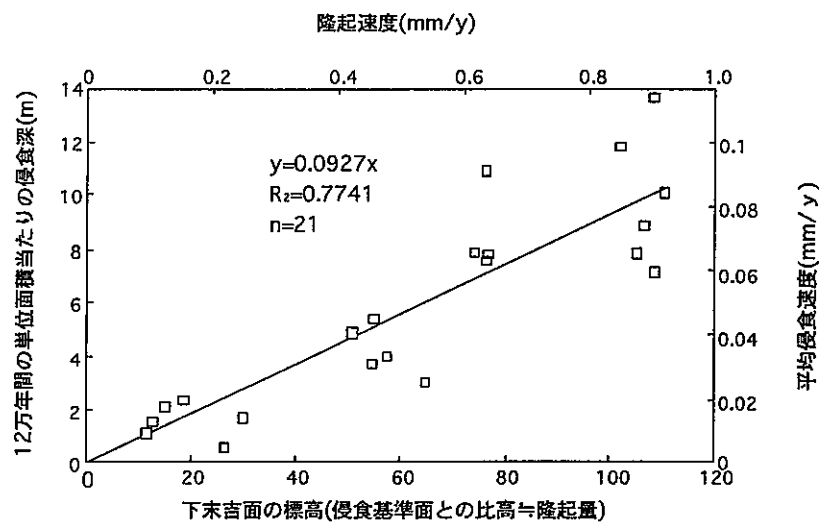
三陸海岸北部の約32万年前の旧汀線高度 (m)
(小池・町田編, 1999)



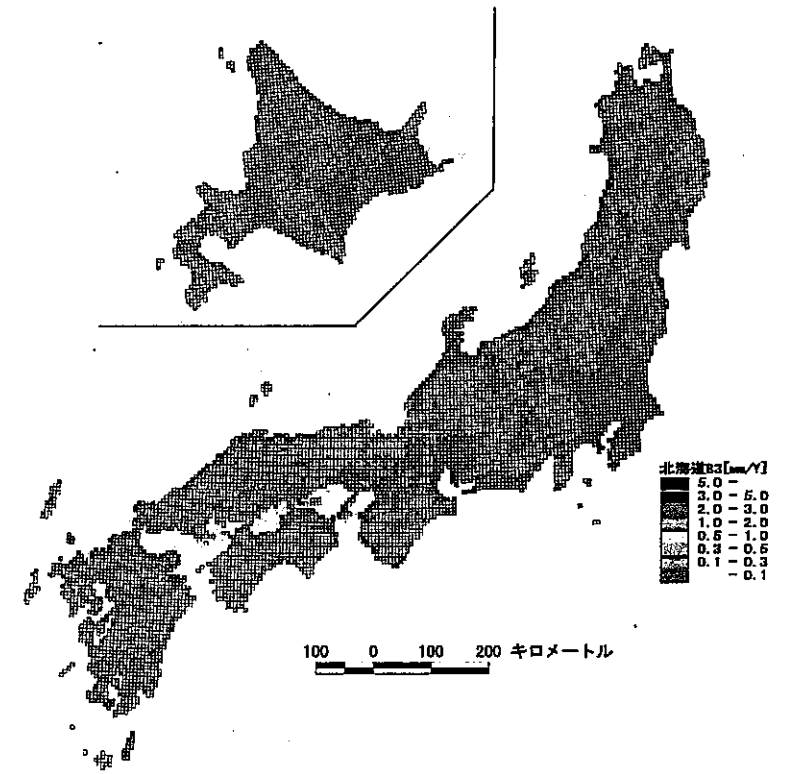
河岸段丘および埋積谷底の形成年代と隆起量の時間変化
(高木ほか, 1999)



各変動様式における海岸段丘の隆起速度の時間変化
(JNC, 1999)

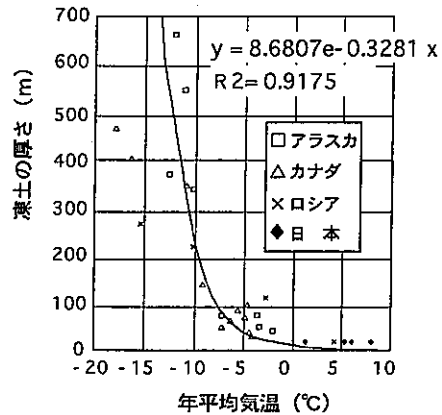


下末吉段丘における隆起量(速度)と平均侵食深(速度)
 (JNC, 1999)



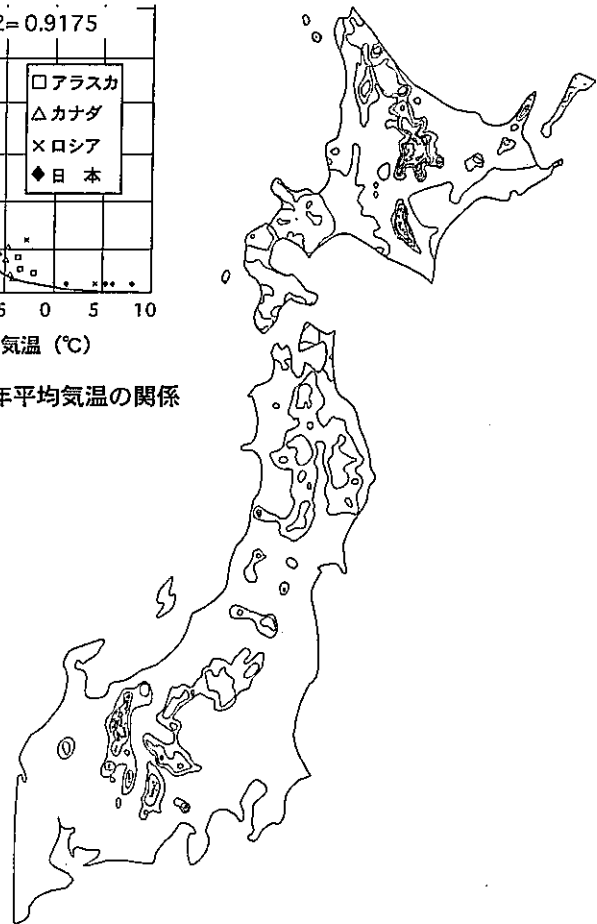
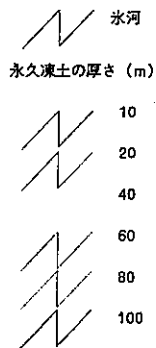
基準高度分散量から計算した全国の侵食速度の分布
 (藤原ほか, 1999)

ダム流域の侵食速度(ダム堆砂量から推定)と地形起伏の強さ(基準高度分散量)との関係式に基づき、国土地理院の数値地図を基図として作成。

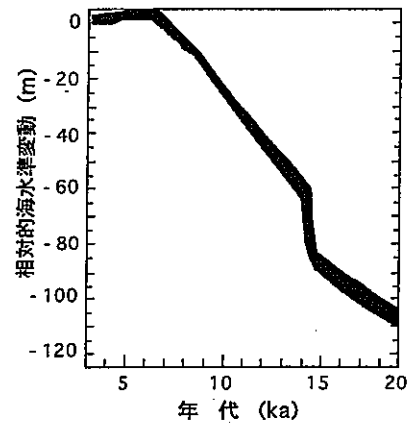


永久凍土の厚さと年平均気温の関係

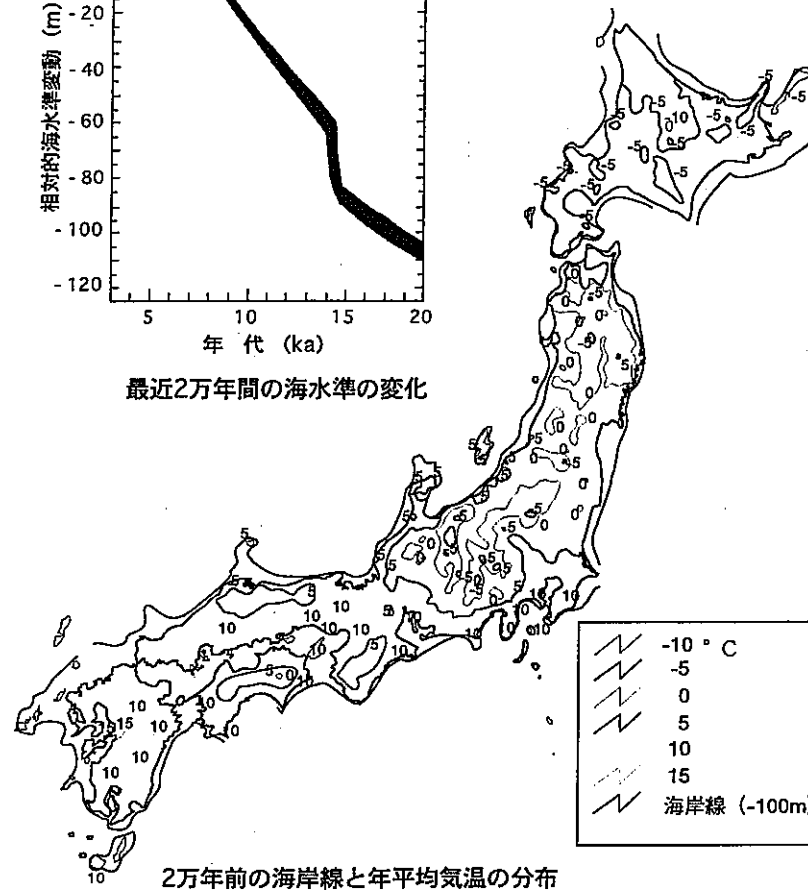
永久凍土帯境界



最終氷期最寒冷期の永久凍土と氷河の分布
(JNC, 1999)



最近2万年間の海水準の変化



2万年前の海岸線と年平均気温の分布

最近2万年間の海水準変動と最終氷期最寒冷期の年平均気温
(JNC, 1999)

まとめ

- 1) わが国の主な活断層は、過去数十万年程度にわたり、同じ地域で繰り返し活動を生じている。また、これらの平均変位速度は、 $10\text{m}\sim 0.01\text{m}/\text{千年}$ 程度である。一方、断層活動に伴う力学的影響（破碎帯の幅）は、数mから最大でも数百m程度である。
- 2) わが国の火山活動は、過去数百万年程度にわたり、現在の火山帯の中で繰り返し生じている。また、個々の火山地域の拡大・縮小速度は、数m/千年程度である。一方、火山周辺では地下に存在する熱源（マグマ）によって、熱的・地球化学的影響を生じる場合があるが、これらの影響は火山体から離れるにしたがって低下する傾向が認められる。
- 3) わが国の隆起・沈降は、過去数十万年程度にわたり、一定の傾向で継続、累積している。また、過去数十万年間の平均的な隆起速度は、中部山岳地帯や南関東や四国の半島先端部を除き、数十cm/千年程度である。一方、隆起量と侵食量には良い相関が認められ、一般的に長期的な侵食速度は、その地域の隆起速度と同程度以下である。