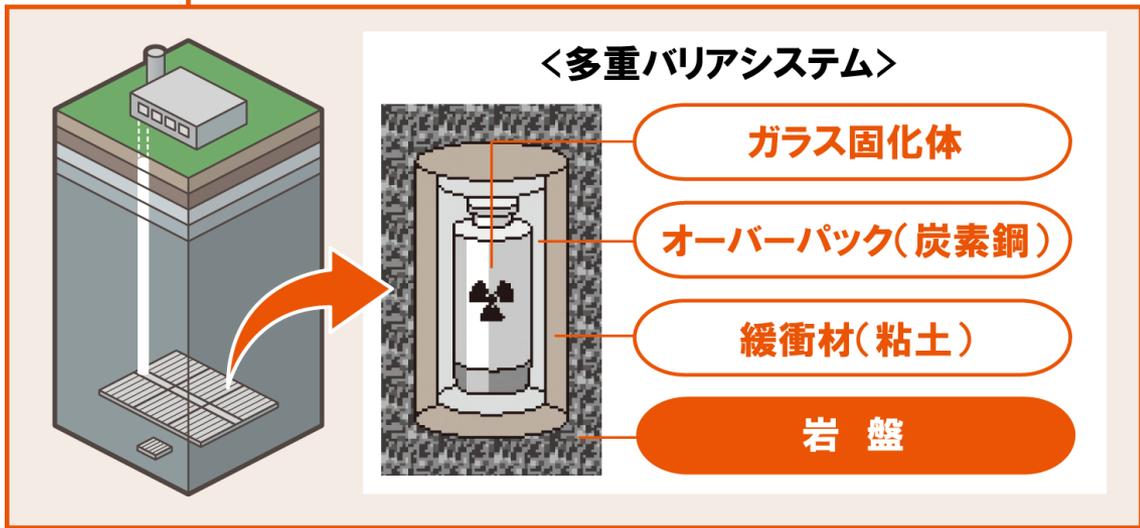
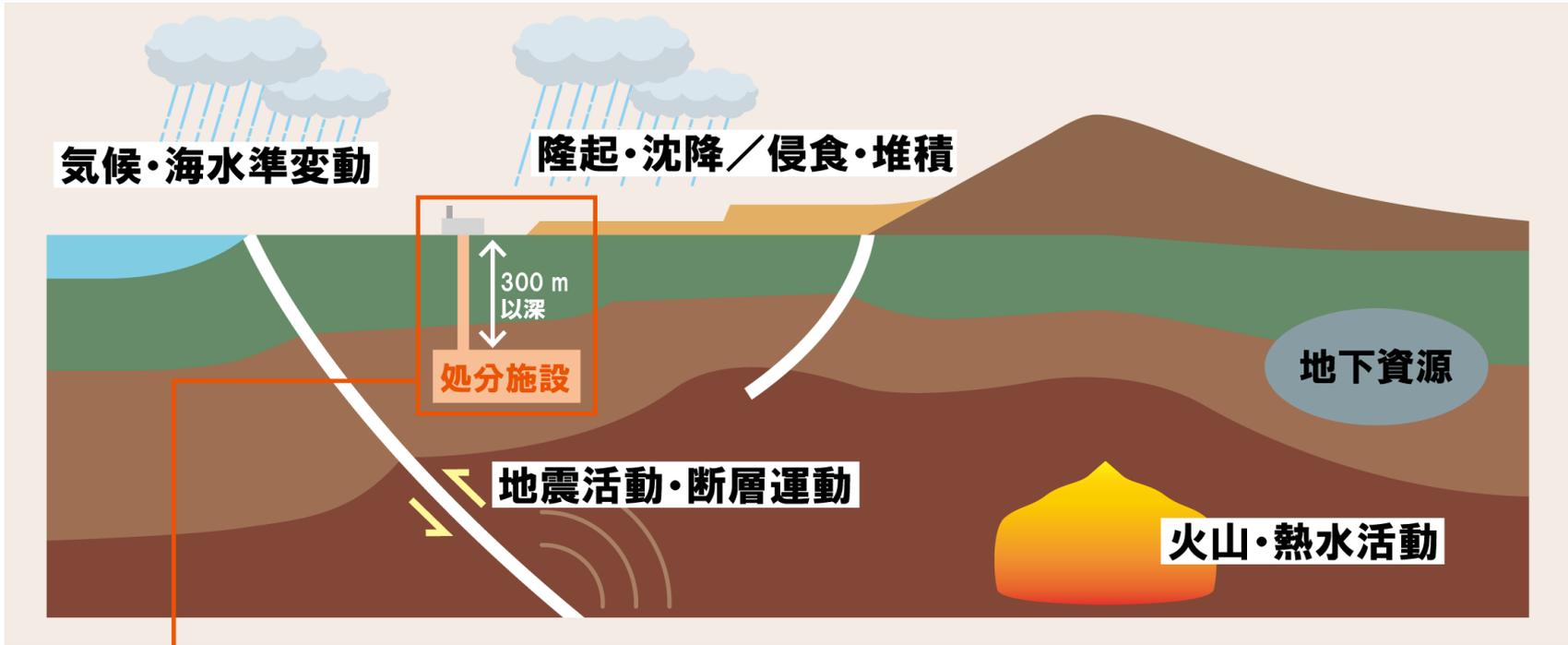


# 自然現象の調査技術に関する研究

令和6年2月26日

東濃地科学センター  
地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ  
丹羽 正和

# 地層処分の安全確保と自然現象



- 安全確保のために!
- ▶ 地下資源のない場所
  - ▶ 火山や地震などの著しい影響を受けない場所
  - ▶ 人間の生活環境への影響がないよう、多重バリアシステムで隔離・封じ込める

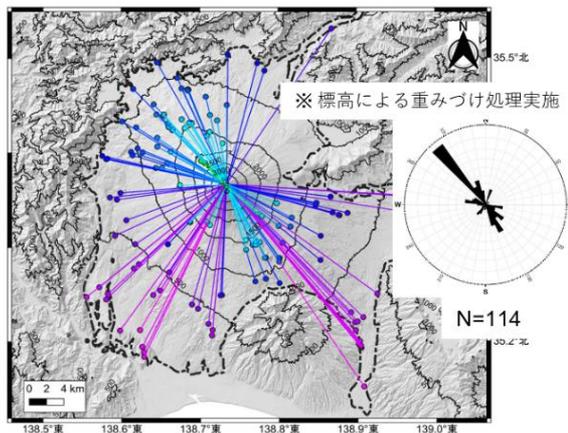
## 自然現象の調査技術に関するこれまでの研究成果と 現在取り組んでいる研究内容

- 火山・熱水活動に関する研究
- 地震活動・断層運動に関する研究
- 隆起・侵食に関する研究

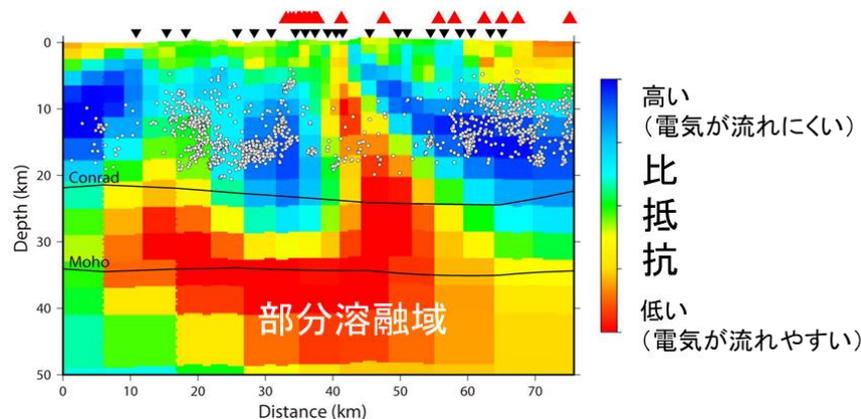
地下に潜むマグマ・流体(高温の水)の分布を把握するための  
様々な研究開発を実施

## 火山地形の解析

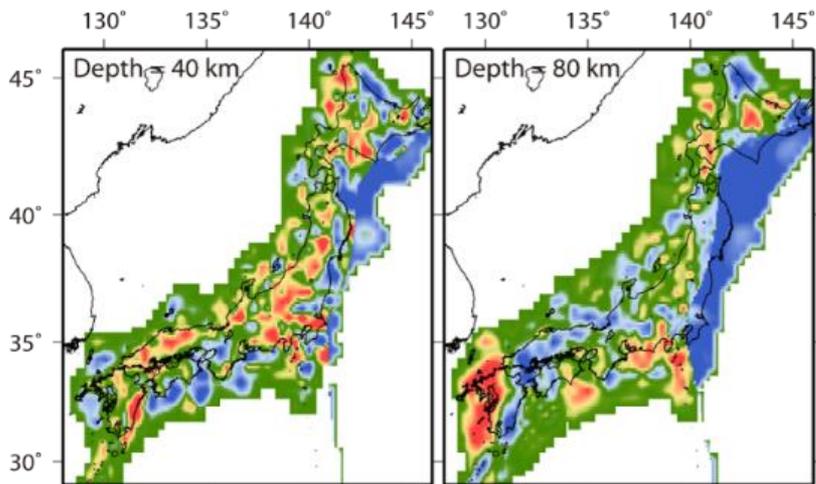
マグマの通り道と  
地形の関係  
(後の発表で紹介)



## 物理探査(地磁気・地電流(MT)探査)

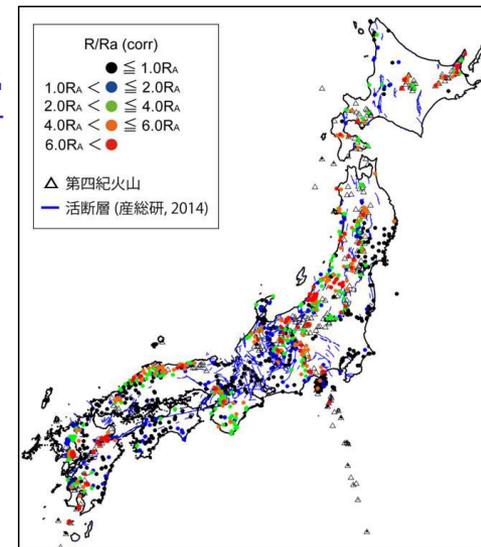


## 地震波の解析(地震波トモグラフィ)



## 地下水・ガスの 化学・同位体分析

ヘリウム  
同位体比など



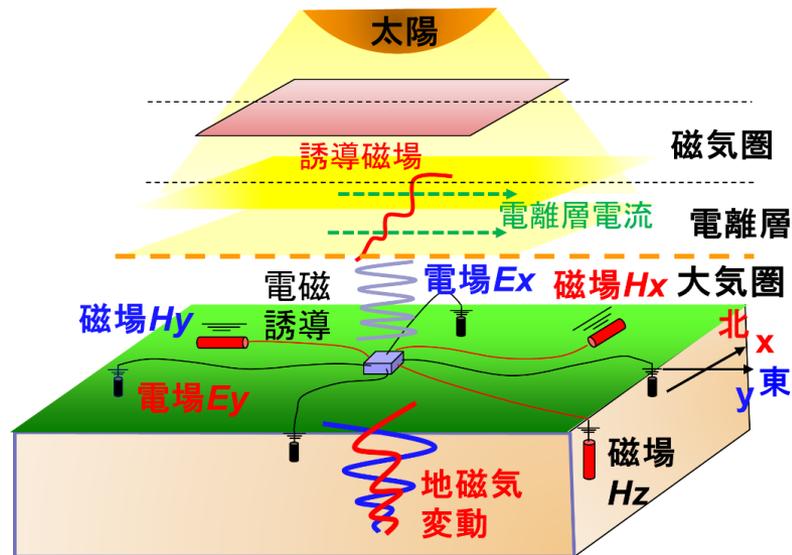
太陽の活動に起因する自然電磁場を観測し、  
地下数十km程度までの電気伝導度構造を探査

観測点の設置



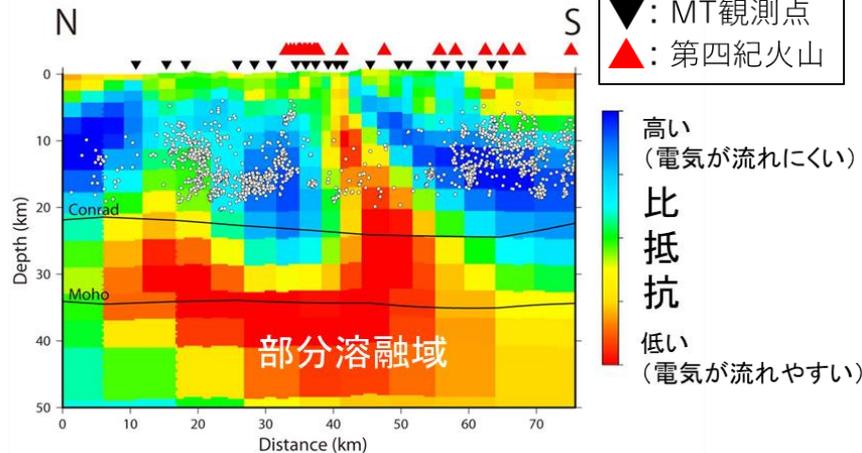
測定(夜間)

電磁場波形の処理

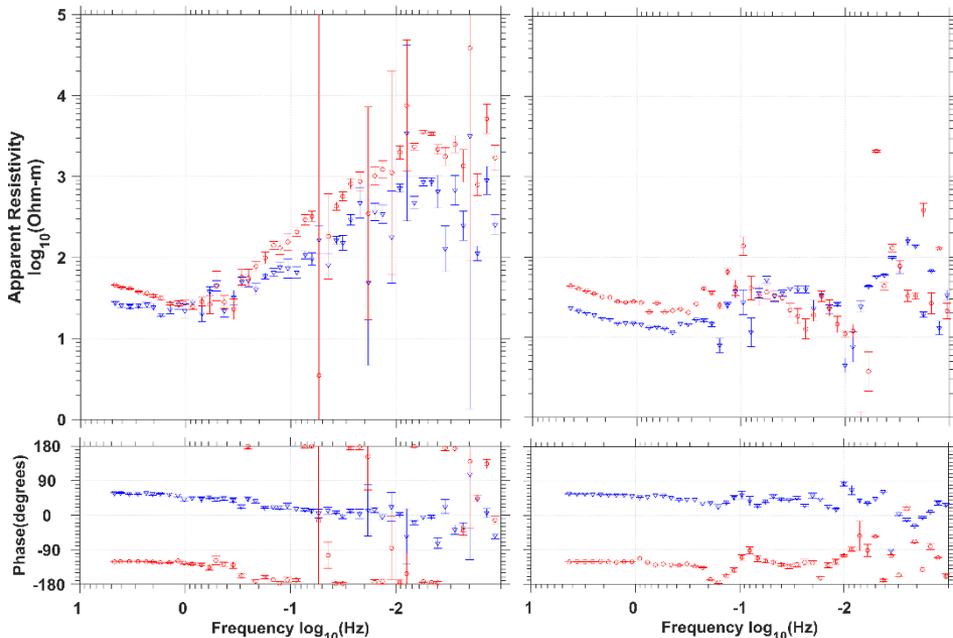


比抵抗解析

- : 浅発地震
- ▼: MT観測点
- ▲: 第四紀火山



青野山単性火山群(島根県~山口県)の地下の  
比抵抗構造モデル(原子力機構・電中研, 2020)

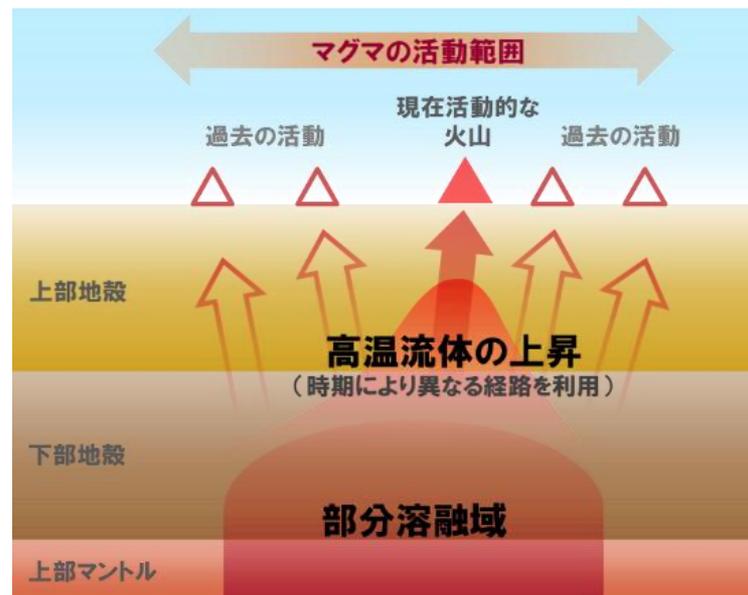
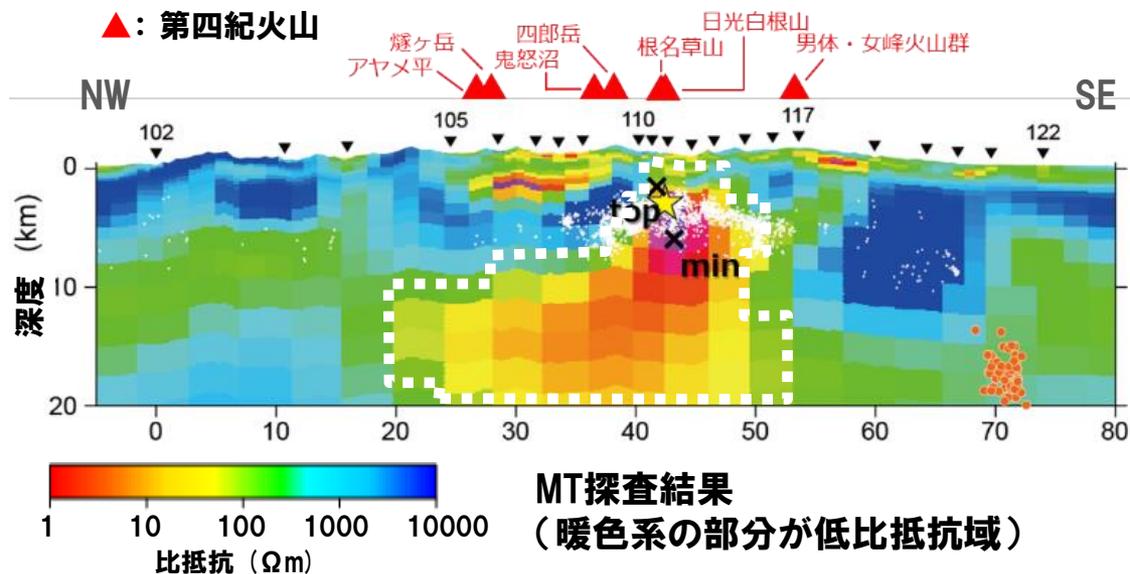


電磁場波形からのノイズ除去の例(左:既存手法, 右:新規手法)

# 第四紀火山の分布との比較

## 火山地域(日光火山群)でのMT探査の例

- MT探査から推定される地下のマグマを示唆する低比抵抗体の範囲と、第四紀(約260万年前以降)に活動した火山の地表での分布との関連性を検討



第四紀火山の活動範囲と現在の部分熔融域(主にマグマ)に関する概念モデル

地質調査、水・ガス調査等とMT探査とを組み合わせたアプローチにより、地下のマグマの活動範囲を高い信頼性をもって推定することが可能であることを確認

(後のポスター発表で詳しく紹介)

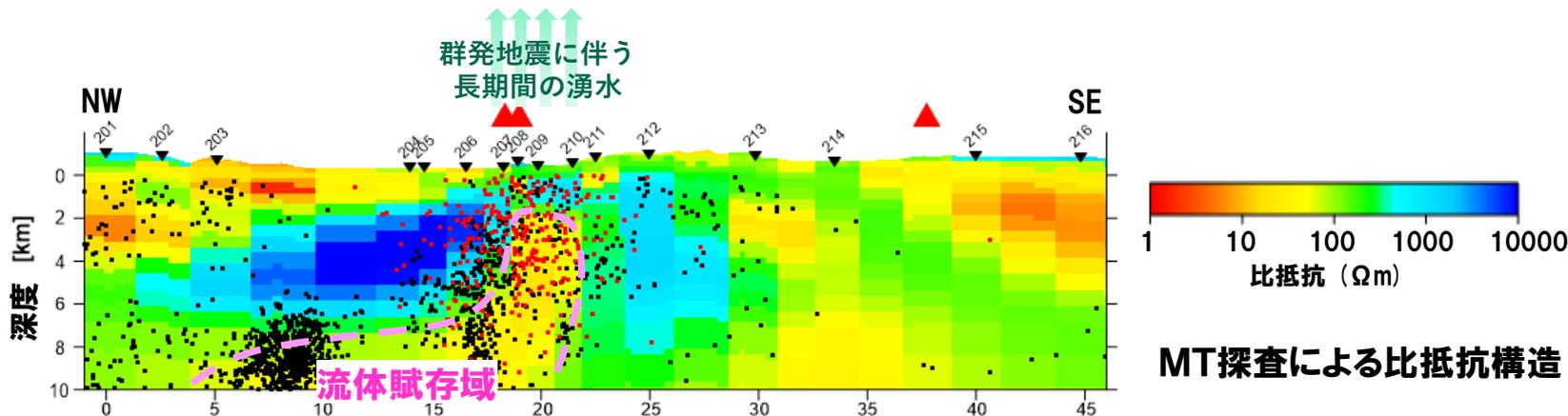
## 松代群発地震発生域(長野県)でのMT探査の例

1965~1968年の松代群発地震に伴い、大量の湧水が長期間にわたり発生

地震当時の大量湧水の様子

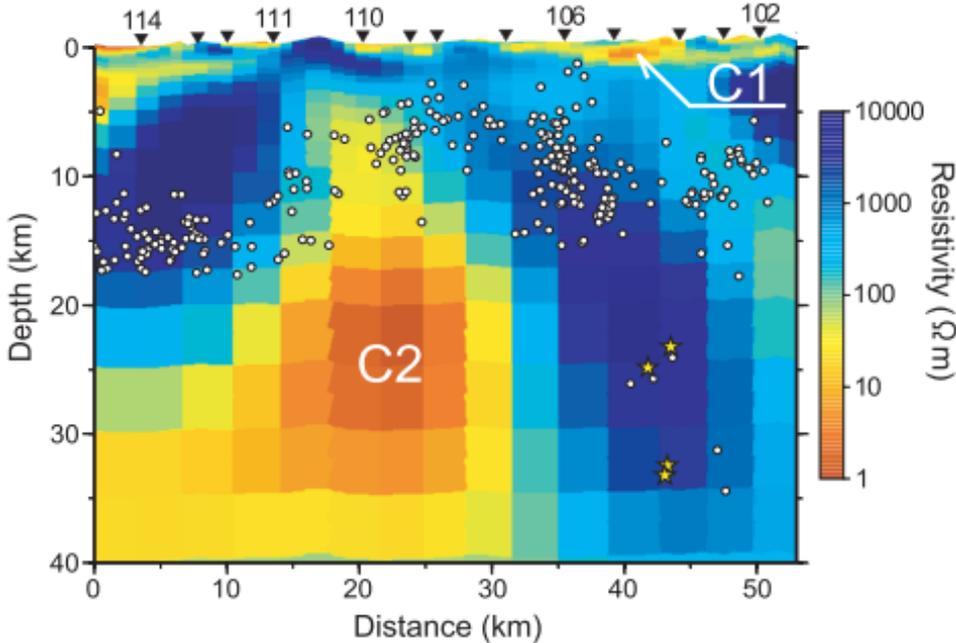


出典: 松代地震観測所・松代地震センター  
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/matsushiro/mat50/disaster/spring.html>

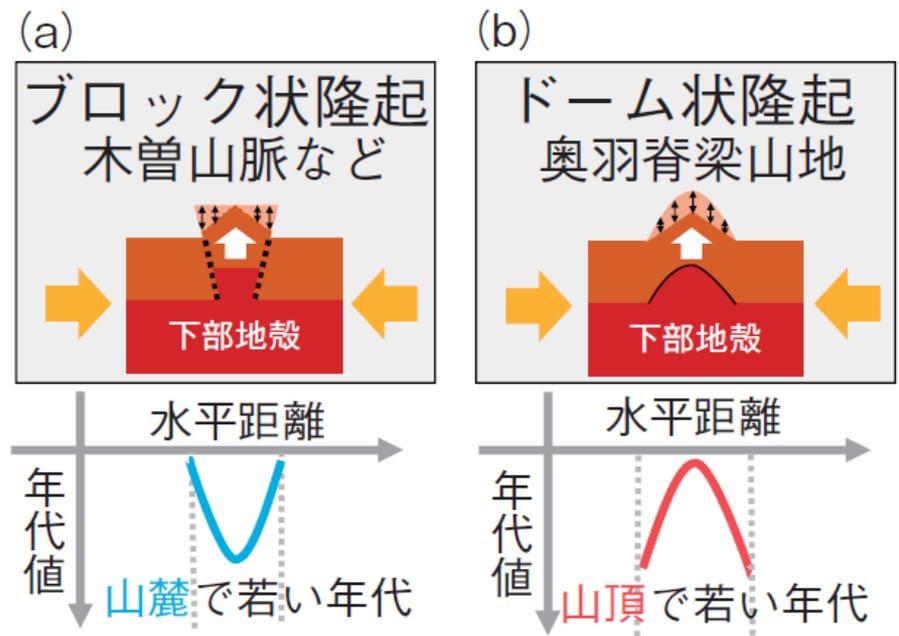


地震などに伴って湧出する、地下に存在する高温の水などの分布を把握する上でも有効

- MT探査により、地下に潜むマグマ・高温流体の分布を把握
  - 地表の岩石の年代測定に基づく検討により、山地の隆起の成因を推定
- ⇒両者を組み合わせることで、現在火山活動の痕跡が見られなくても、将来火山活動を引き起こす可能性が高いかどうかを評価



東北地方の飯豊山地(現在は火山ではない)におけるMT探査結果 (Umeda et al., 2006)  
⇒高温流体が地下に分布していることを示唆



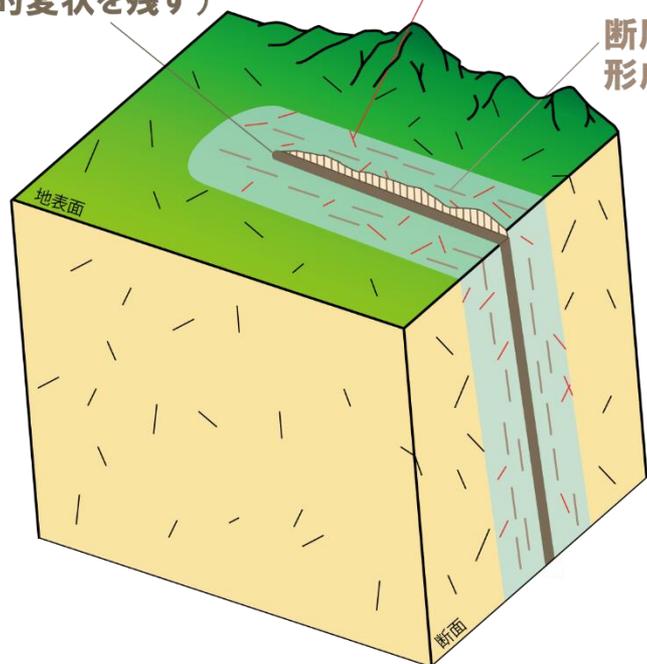
山地の隆起様式によって侵食の進み方が異なるため、岩石の年代値の山地を横断する方向における変化は、(a) 構造的な山地と (b) 火山性山地とで異なる(福田・末岡, 2021)

# 地震活動・断層運動に関する研究

地表地形からは検出が困難な活断層の分布を明らかにするための研究開発を実施

活断層周辺では、断層運動に伴い既存の割れ目(小断層)も変位しうるため、その領域が地表からの調査で特定できれば、地下に隠れた活断層も検出できるのでは？

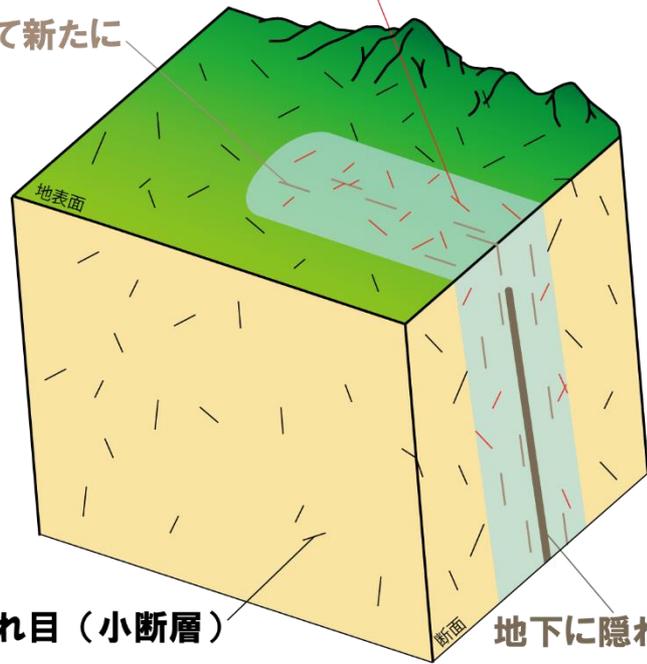
地表に露出した活断層  
(地表に地形的変状を残す)



地表に活断層が露出している場合

周辺の既存の小断層も、断層運動に伴って変位しうる

断層運動に伴って新たに形成した割れ目



既存の割れ目(小断層)

地下に隠れた活断層

活断層が地下に隠れている場合

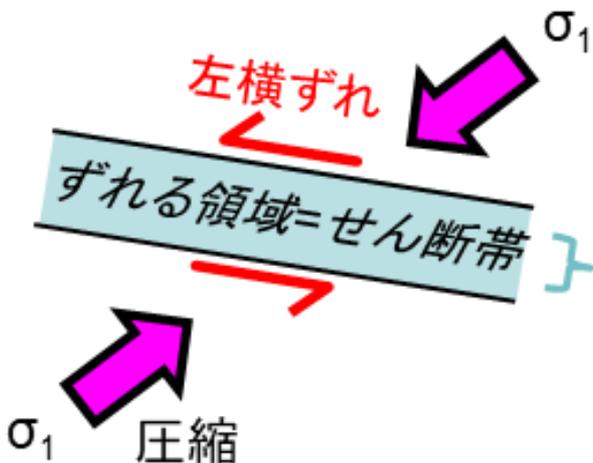
応力: 単位面積あたりの力の大きさと方向

地表の既存の割れ目(小断層)の解析 : 現在と過去の応力が混在



応力場を比較 → 現在の応力によって変位した可能性の高い小断層が多く分布する範囲を特定

常設観測点で検知される微小地震の解析 : 現在の応力(過去数十年間程度の地震データから計算されるため)

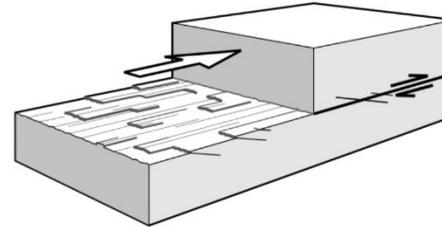


せん断帯の応力場によって変位した断層を含む範囲を特定

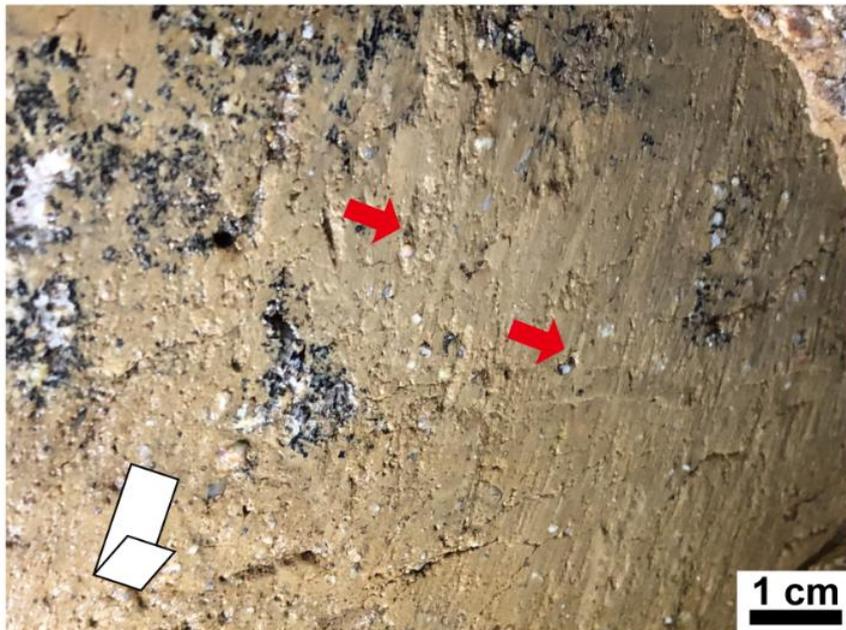
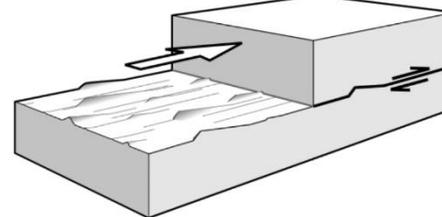
# 小断層解析

**岩盤中の小断層に付着する傷(条線)の方向のデータを多数収集して逆解析的計算を行い、その地域の断層運動を説明する応力を推定する方法**  
 (Yamaji, 2000; Yamaji and Sato, 2012)

(a) fracture steps

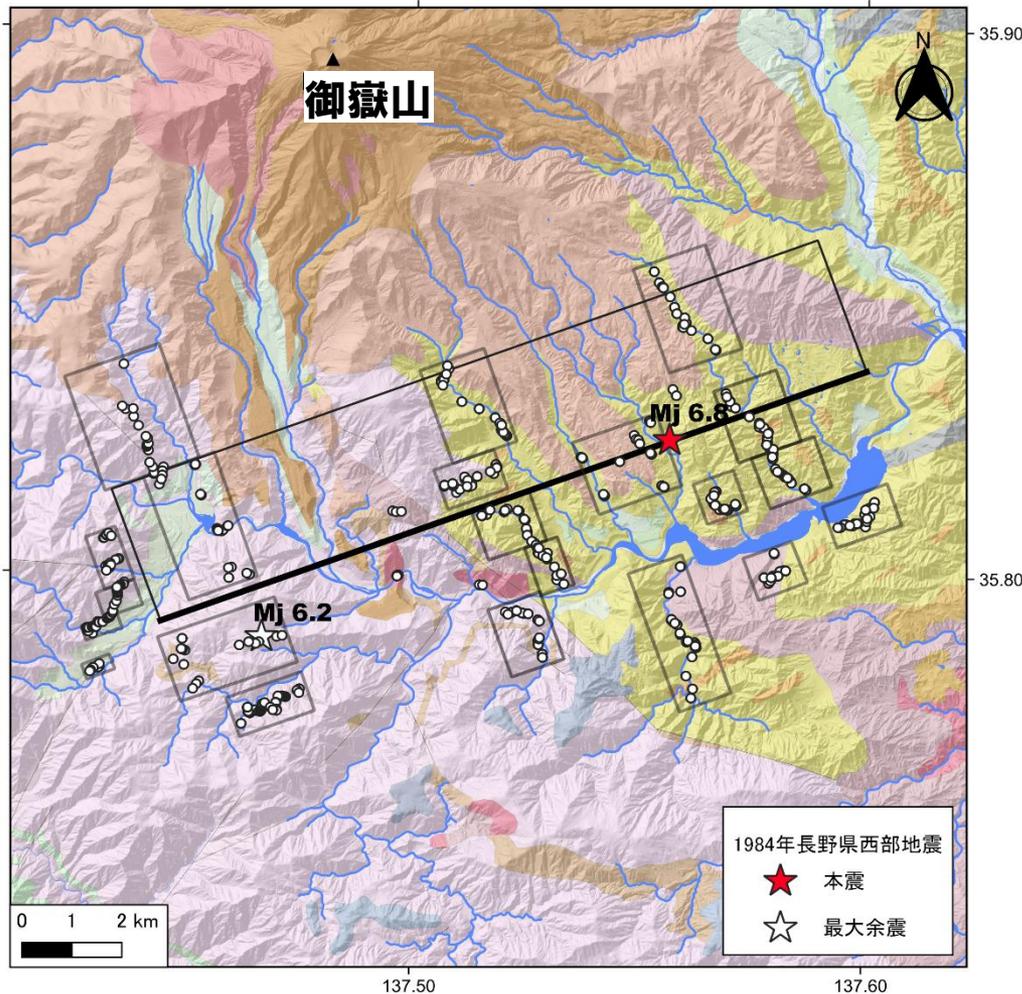


(b) asymmetric ridges



**小断層に記録される条線の形状から運動方向を復元**





### 長野県西部地震災害復旧治山事業

昭和59年(1984)9月14日、王滝村内を震源とするマグニチュード6.8の地震が発生し、御嶽山南斜面が大崩壊(御岳崩れ)しました。一帯の国有林は、広大な荒地(約600ha)となりましたが、治山ダム・緑化工事等の治山事業を積極的に進め、荒地を森林に復旧しています。

1984年

1985年

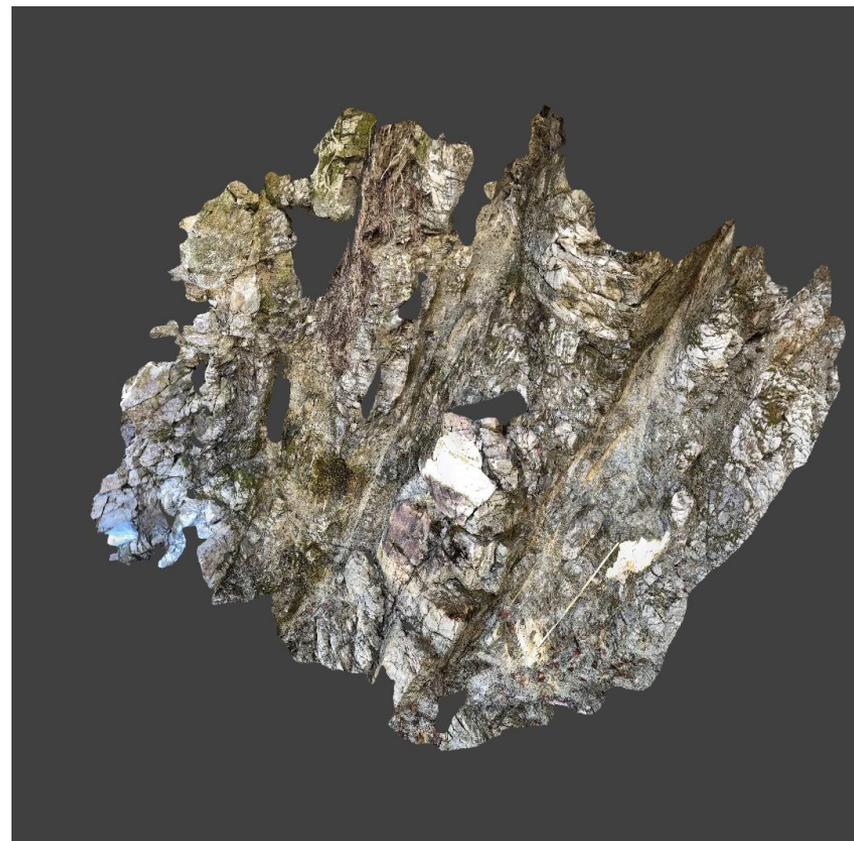
鈴ヶ沢の復旧経過

鈴ヶ沢は、御岳崩れに伴う土石が流入し、二層的な土石溜の発生があったことから、いち早く復旧工事に着手しました。新たに御嶽山南斜面、コンクリートブロック積組工法の治山ダム13基を短期間で施工し、土石溜の発生を抑制及び崩壊した渓流の安定を図りました。

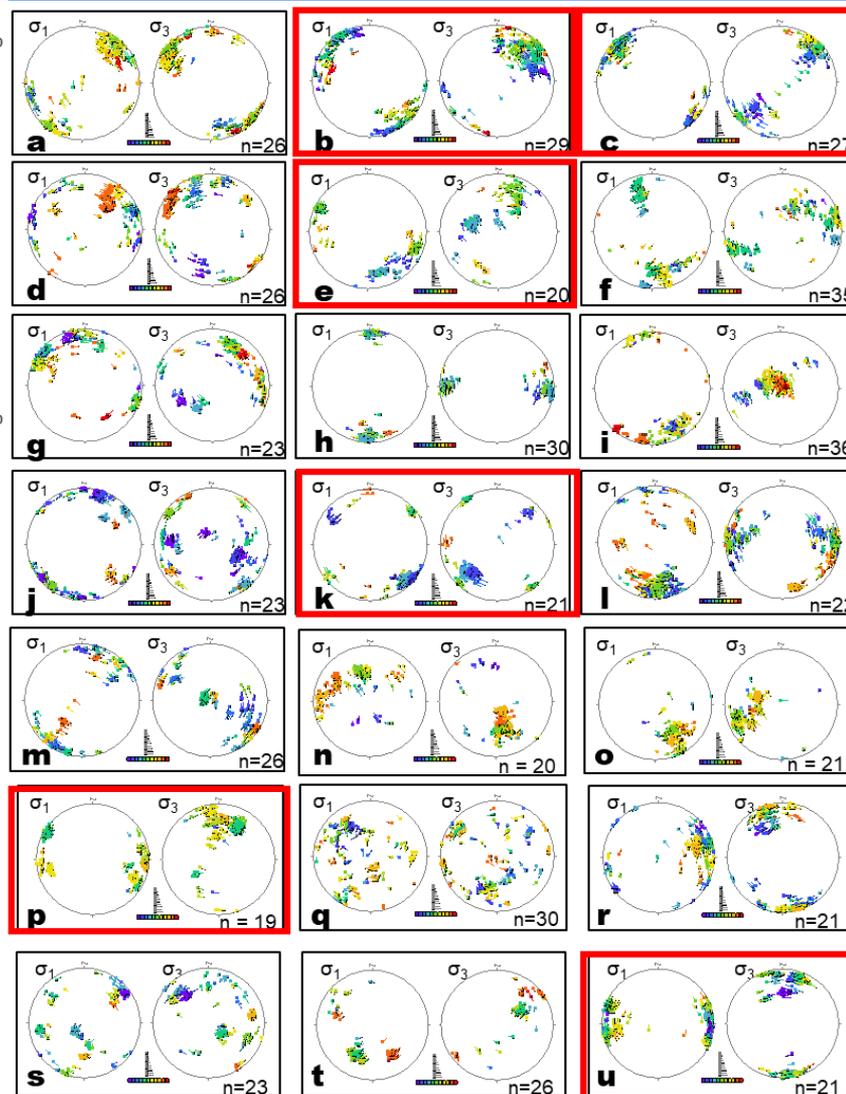
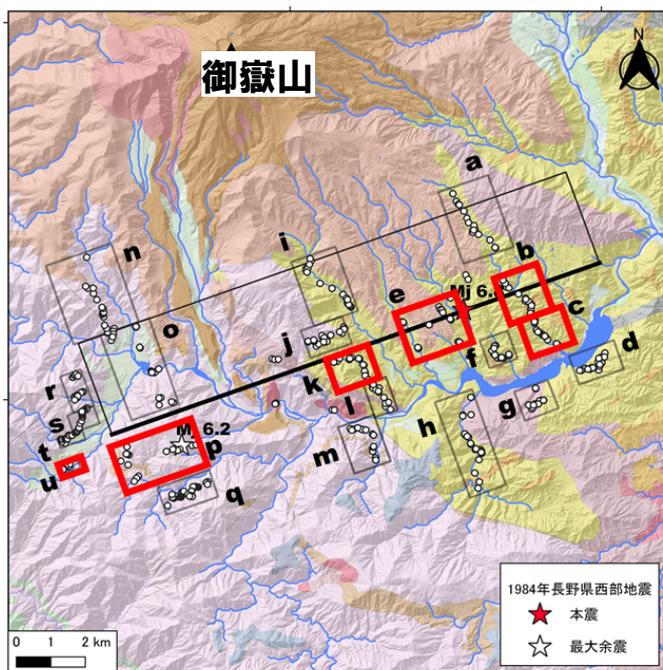
木曾森林管理署

地震の震源域およびその周辺の岩盤中に発達する小断層の方向、条線の特徴に関するデータを地質調査により収集(これまでに全543データ)

⇒これらのデータを整理して応力解析の数値計算を実施

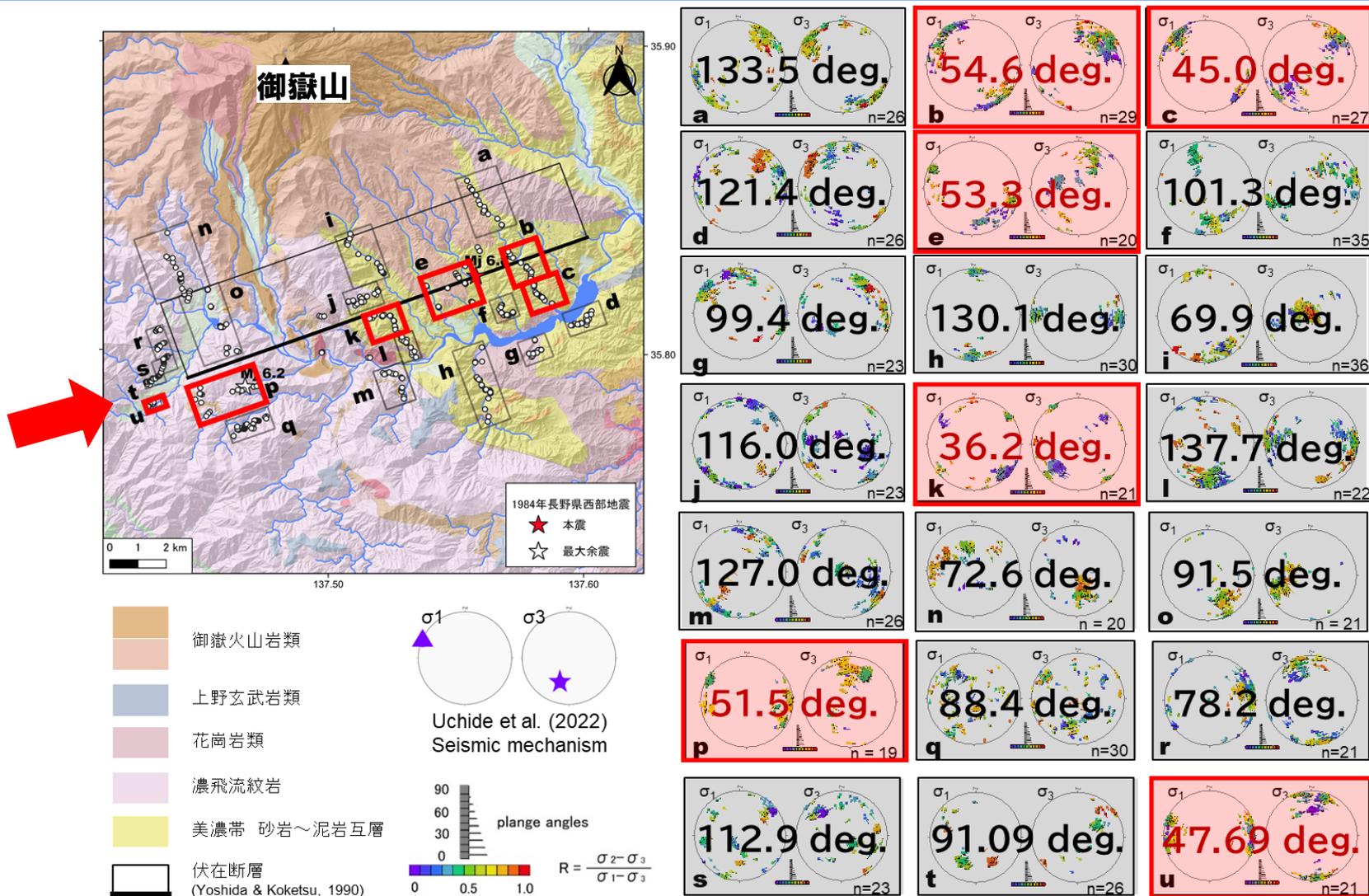


# 小断層解析の結果



応力逆解析により検出された応力が、地震データから推定される現在の広域応力と調和的であることを確認し、その領域(赤四角)を抽出

# 小断層解析の結果

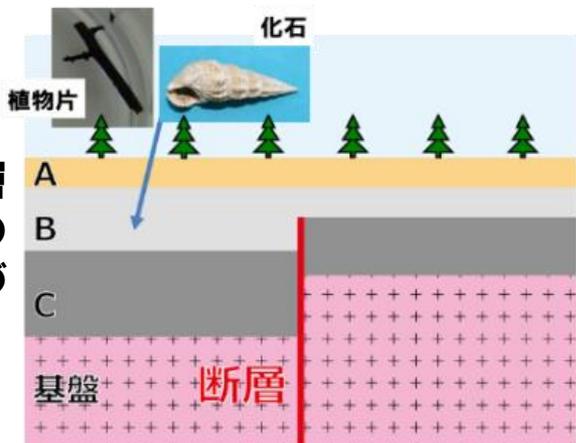


両者の応力の近さを数値化(応力角距離)

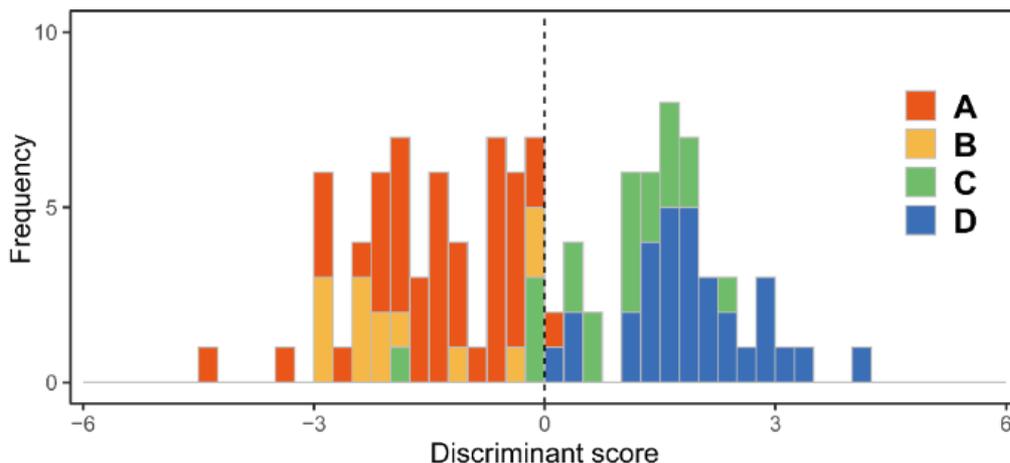
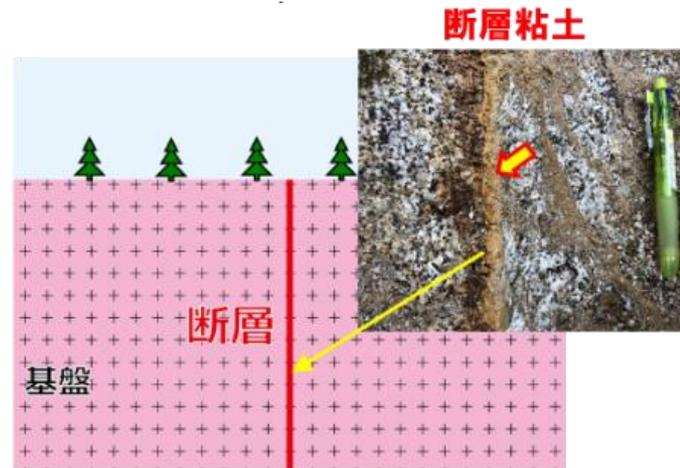
⇒1984年長野県西部地震の推定断層沿いで現在の応力場に近い

坑道掘削中などに地下で新たに出現した断層の活動性を評価するため、断層粘土の**化学組成の多変量解析**に基づき、活断層と非活断層とを識別する手法を検討

一般的には、断層を被覆する地層のずれと年代に基づき評価



断層の活動時期推定が可能な被覆層が無い場合が課題



**日本各地の花崗岩質岩中の断層粘土 (108試料) に対する計算結果⇒判別率95%**

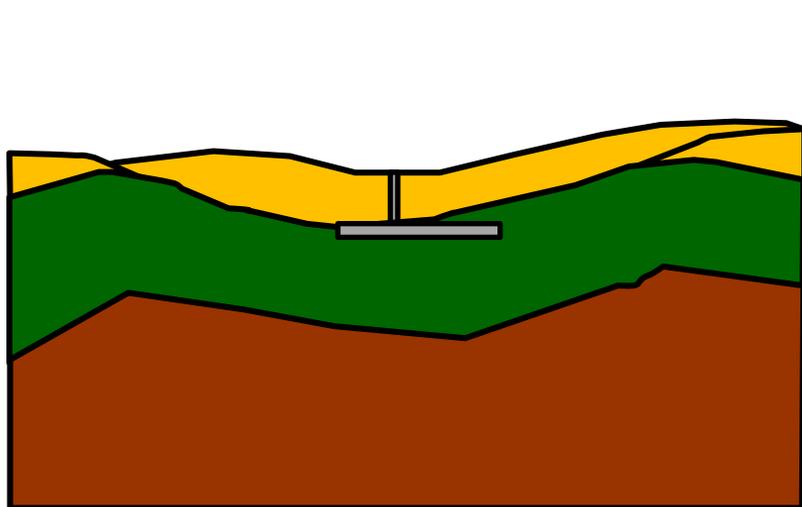
- A: 確実な活断層(上載地層のずれあり)**
- B: 活断層の可能性が高いが、決定的証拠なし**
- C: 非活断層の可能性高いが、決定的証拠なし**
- D: 確実な非活断層(上載地層のずれなし)**

立石ほか(2021)応用地質

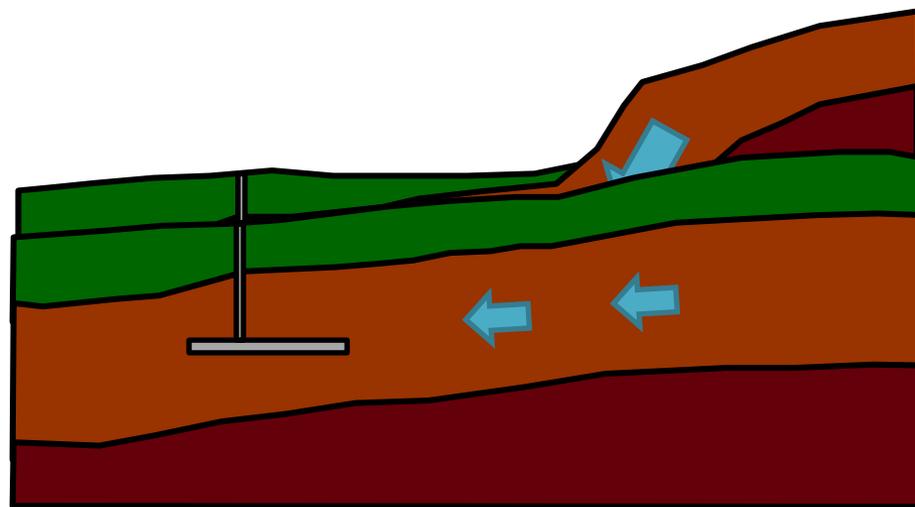
**識別手法の信頼性向上のためには、活断層と非活断層とで化学組成に違いが生じる要因を明らかにすることが課題**

# 隆起・侵食に関する研究

一般的には、隆起・侵食は非常にゆっくりとした現象(多くの場合、1年で1 mm未満)だが、数十万年以上の将来を想定した場合、隆起・侵食の進行に伴い処分施設が地表へ接近したり、地下水の流れが大きく変化したりする可能性があるため、その地域の隆起・侵食速度をあらかじめ推定しておくことが重要。



処分施設の地表への接近

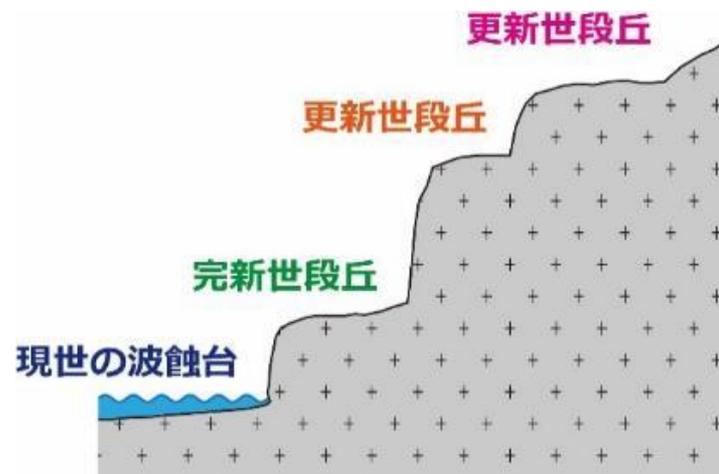


山地の形成に伴う地下水の流れの変化

様々な地域(内陸部～沿岸部)や年代範囲に対応できるように、様々な手法による隆起・侵食速度推定技術を開発

# 段丘を指標とした隆起速度の推定

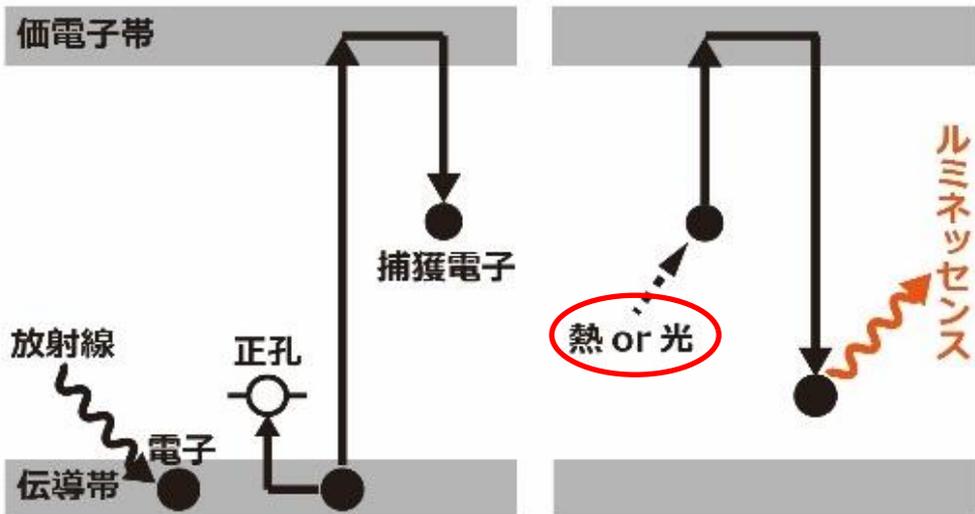
**段丘**：気候変動や地殻変動などに対応して過去の河川や海面付近で形成される階段状の地形であり、その平坦な部分が過去の河川や海面の高さを示す。段丘の形成年代が分かれば、現在の河床面・海面との比高から隆起速度が計算できる。



従来は、段丘堆積物中の火山灰分析や放射性炭素分析などによる年代決定に基づき、隆起速度を推定

**年代測定可能な堆積物が少ないorない場合の新たな技術開発が必要**



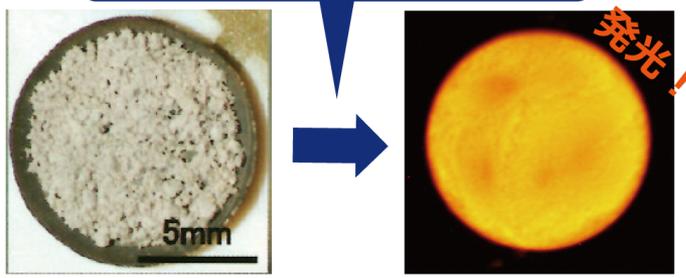


赤色灯下で鉍物粒子を抽出

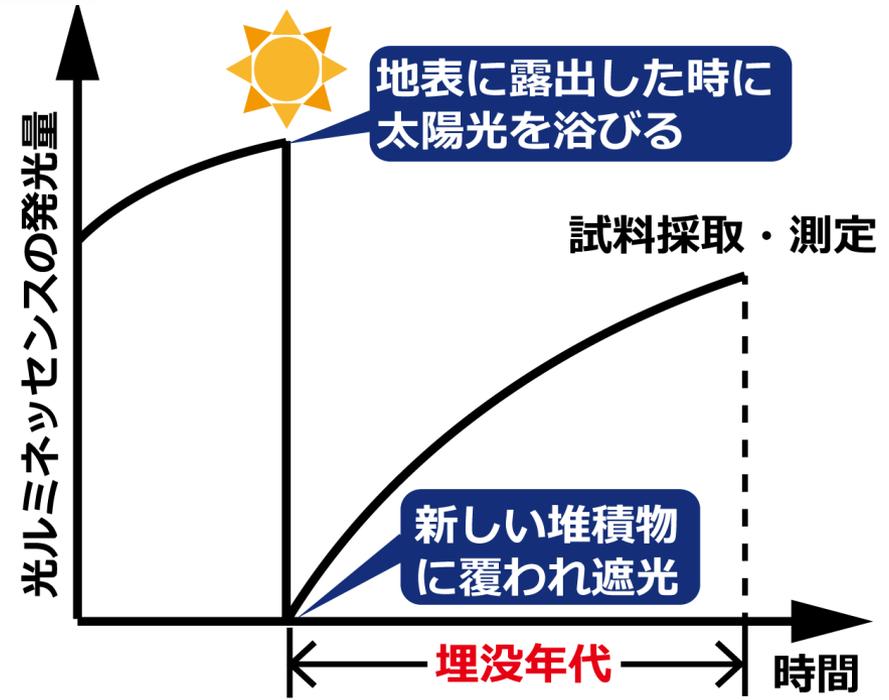


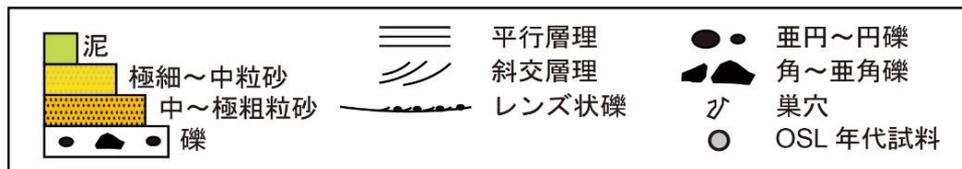
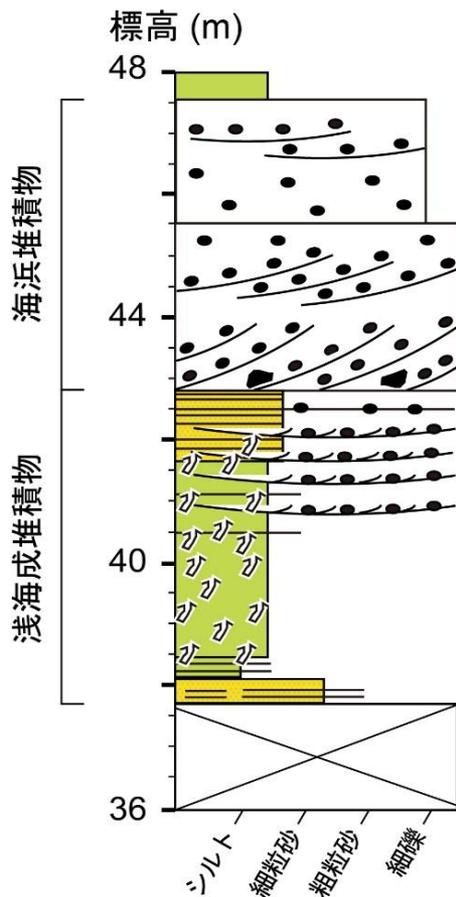
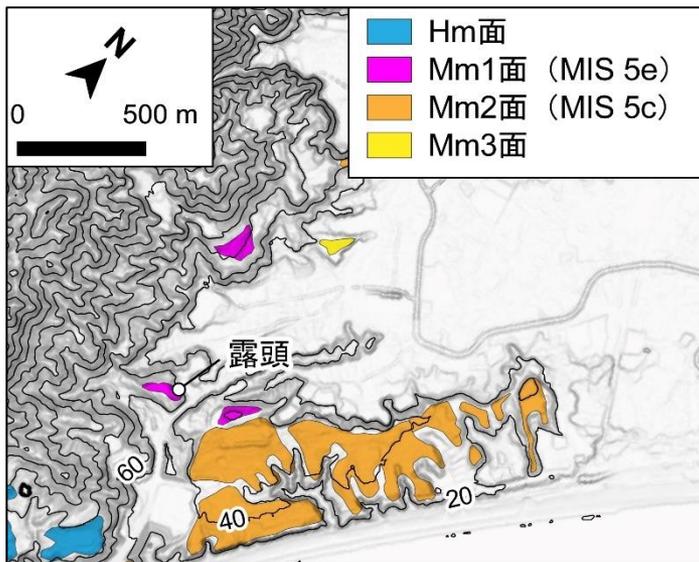
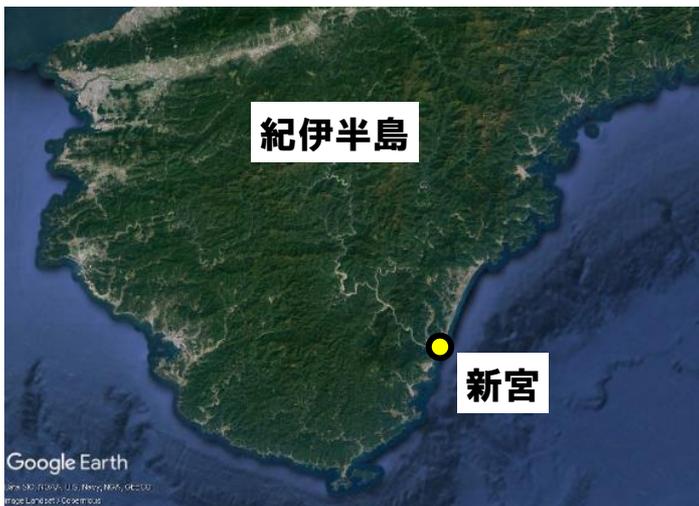
～鉍物の発光量から年代を推定～

鉍物に特定波長の光を照射

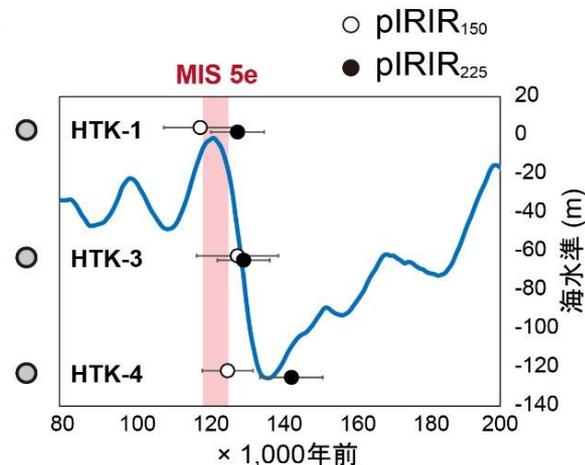


- 発光量は時間とともに増加する
  - 発光量は太陽光によってゼロになる
- 堆積物の発光量から太陽光を浴びなくなつてからの時間 (埋没年代) を推定





2つの方式でpIRIR(赤外光のルミネッセンス)年代を測定



**地形判読から定性的にしか形成時期(MIS 5e:約12万年前)が示されていない段丘堆積物に対し、絶対年代の推定に成功**

# 隆起・侵食に関する様々な研究

- 熱年代学的手法を用いた隆起・侵食評価 **（ポスター発表で紹介）**
- 環流旧河谷の堆積物の年代測定に基づく隆起速度の推定
- 宇宙線生成核種法を用いた沿岸部段丘の隆起速度の推定
- 沿岸部における10万年オーダーの地殻変動の評価技術 **（ポスター発表で紹介）**
- 沖積層堆積物の解析等に基づき地殻変動の傾向を推定する手法の構築
- 最新知見を取り入れた隆起・侵食データマップの整備
- 地形変化シミュレーションの開発 など

⇒数万年以上の長期にわたる将来の変化を把握するため、また、様々な自然現象の間の相互関係を理解するため、**個別の手法や成果の統合化や、最適な調査技術の選択・組み合わせの考え方**の提示を目標として研究開発を推進

**東濃地科学センターでは、地層処分の安全確保において重要な自然現象を調査する技術について、最新の科学的知見を取り入れながら、様々な技術開発を継続的に進めてきた。**

**数万年以上の将来にわたる地層処分の安全性の評価のためには、過去～現在までの長い時間スケールにおける変化を踏まえて行うことが必要であることから、東濃地科学センターが近年精力的に進めている年代測定技術開発の成果も生かしながら、今後も自然現象を調査する技術の更なる信頼性の向上に努めていきたい。**