

地質環境の長期安定性に関する研究 平成19年度成果

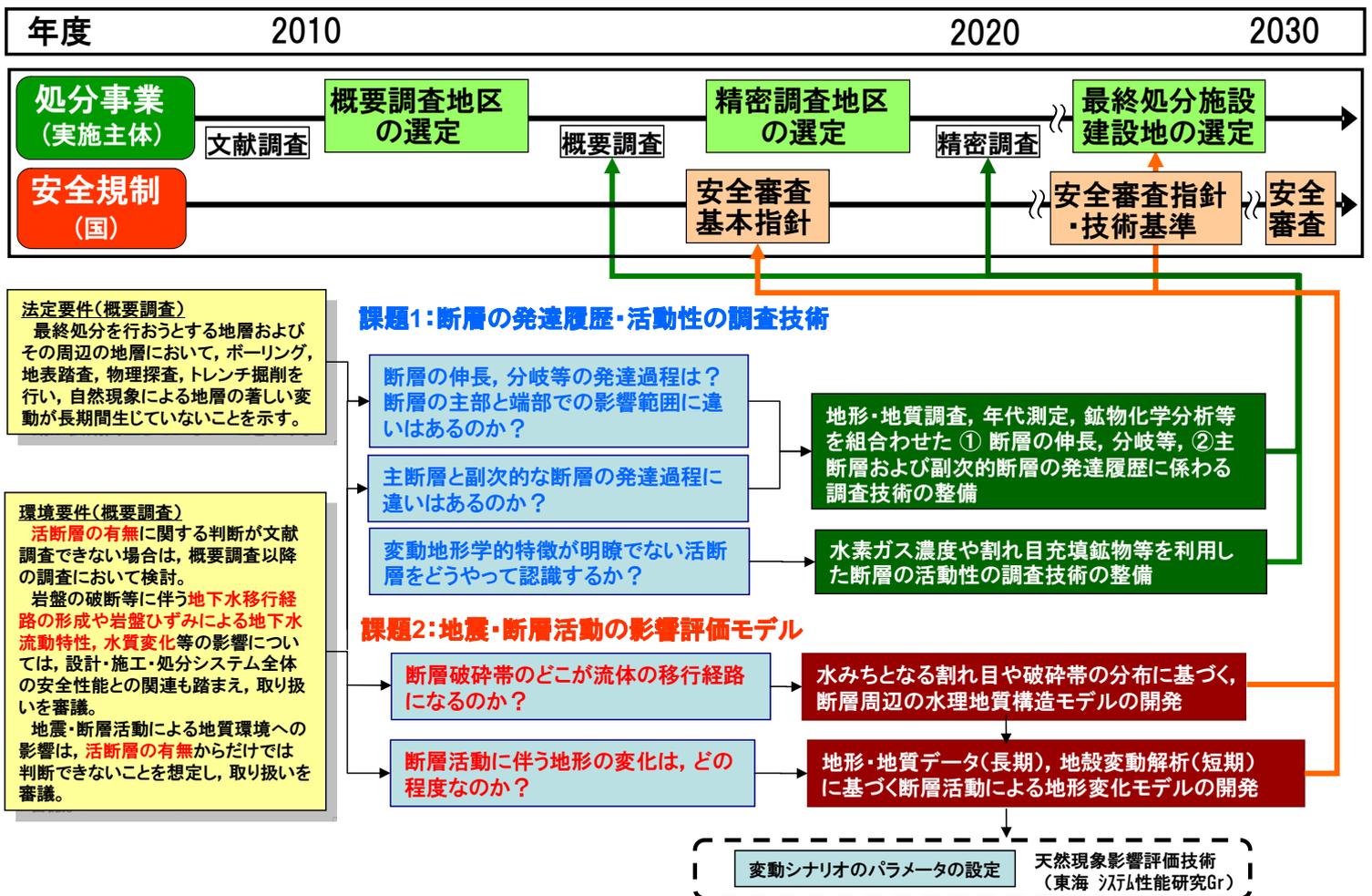
— 地震・断層活動に関する研究 —

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第5回(2008年8月29日)

1



地震・断層活動による影響について(参考)

岩盤の揺れによる影響

日本では将来にわたって地震の揺れが発生しない場所はないが、地下は地表に比べて揺れが小さく、人工バリアは剛体として挙動。

また、地下水も一時的に変化する可能性があるが、通常は短期間で回復。

岩盤のずれ(変位)や変形による影響

活断層は避けることが前提。未確認の活断層は、概要調査以降の段階で把握。＜その時点の最先端の調査技術や科学的知見で対応＞

断層活動による周辺岩盤への影響(岩盤の変形や地下水流動の変化)の程度・範囲を把握。

⇒主要課題：調査・解析手法の整備

地層処分システムへの影響は殆どないと考えられる。

適切な離間距離の設定
地層処分システムの設計(パネル配置等)や工学的対策で対応する。

地震・断層活動に関する調査研究項目(H19)

課題1:断層の発達履歴・活動性の調査技術

- ①断層の伸長、分岐等の調査技術(跡津川断層を事例)
- ②副次的な断層の発達履歴の調査技術(阿寺断層帯を事例)
- ③断層の活動性の調査技術

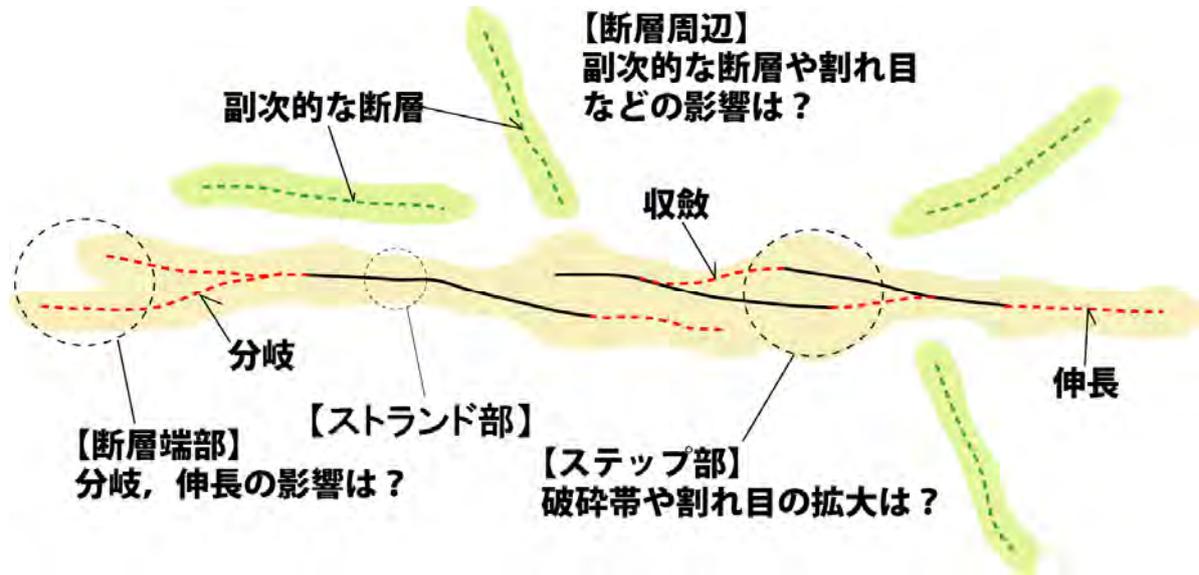
課題2:地震・断層活動の影響評価モデル

- ④断層周辺の水理地質構造モデルの開発
(特に、断層破碎帯の分布と流体移行経路の検討)
- ⑤断層活動に伴う地形変化モデルの開発

断層の発達履歴・活動性の調査技術

<横ずれ断層帯の例>

・断層の発達と影響範囲のイメージ



断層帯の構造は一般に不均質
(母岩の不均質性や断層帯の発達史を反映) → 断層破砕帯の分布, 特徴の検討

①:断層の伸長, 分岐等の調査技術(H18~H19)

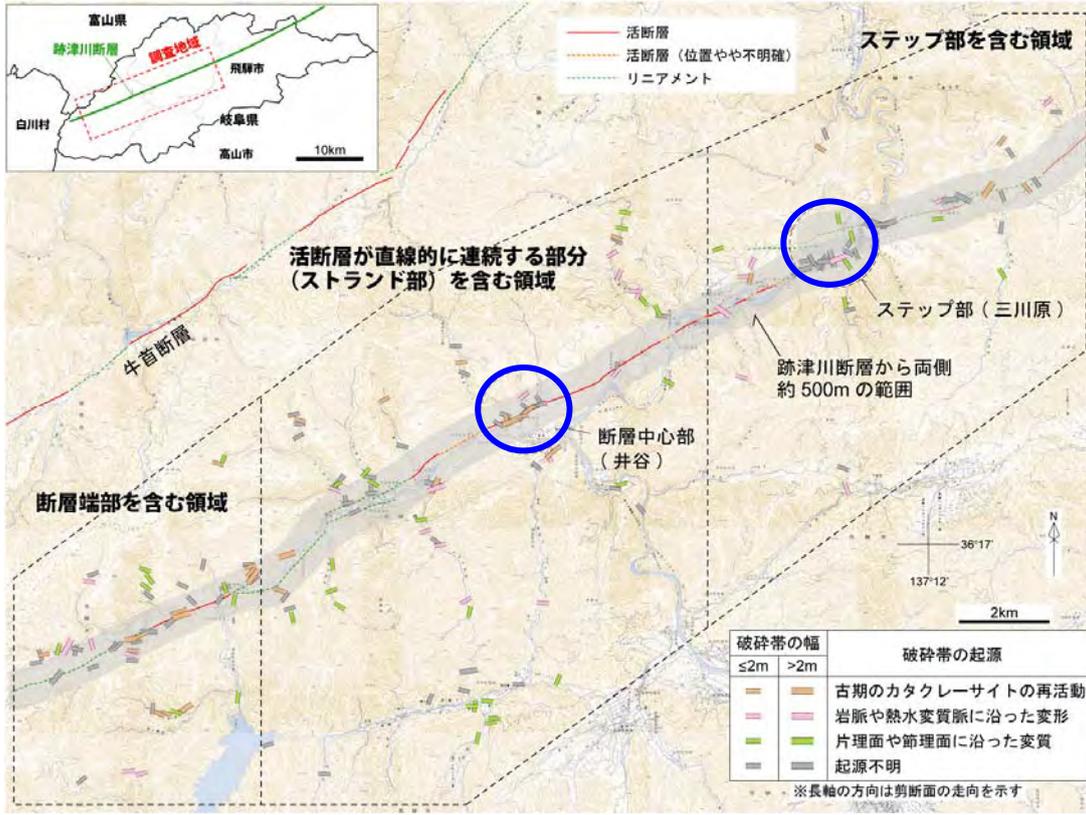
実施内容 跡津川断層での事例研究

- ・H18年度: 跡津川断層(西部)のストランド部及びステップ部において破砕帯の分布や特徴について調査を実施。
⇒ステップ部では主断層の走向と大きく斜交する剪断面が密に発達し, 破砕帯の幅が広がっている。
- ・H19年度: 跡津川断層(西部)周辺を広域的(南北それぞれ約3~6kmの区間)に, 破砕帯の分布や特徴について調査を実施。

→ルートマップの作成・露頭記載表の作成: 岩相分布, 地質構造, 破砕帯・割れ目の分布, 姿勢及び運動センス, 断層岩の種類・性状及び変形構造, 剪断面の分布, 条線の方向, 岩脈・鉱物脈・割れ目充填物質の種類や分布, 変質の程度など。
→薄片観察: 変形構造, 鉱物脈・割れ目充填物質の種類, 変質の程度など。
→ K-Ar年代測定, XRD分析: 岩脈の形成時期, 熱水条件など。

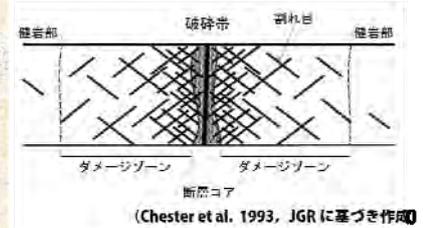
→断層から放出される水素ガス濃度分布の調査(④)

①:断層の伸長, 分岐等の調査技術(H18~H19)



○ :H18年度の
主な調査範囲

□ :H19年度の
主な調査範囲



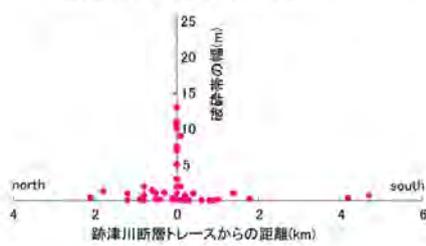
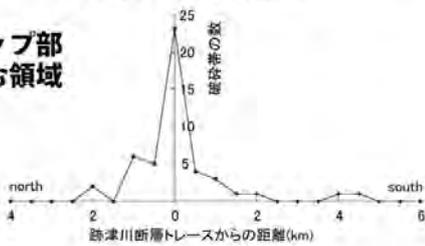
国土地理院1:25,000地形図
「上梨」「鳩谷」「平瀬」「白木峰」「角川」
「猪臥山」「打保」「林」「飛騨古川」「鹿間」
「船津」「町方」を使用

①:断層の伸長, 分岐等の調査技術(H19)

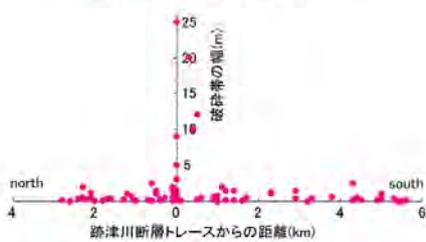
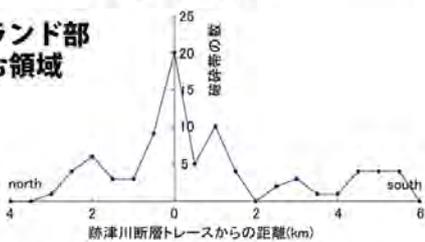
跡津川断層からの垂直距離と
破碎帯の数との関係

跡津川断層からの垂直距離と
破碎帯の幅との関係

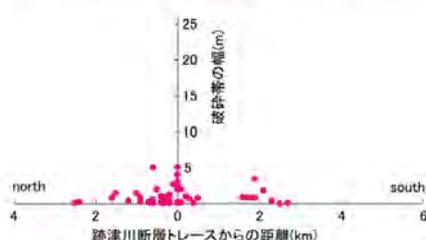
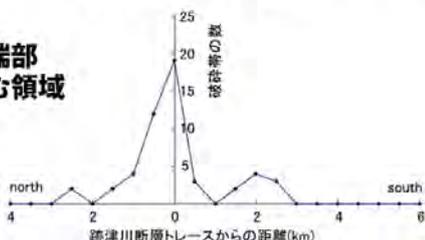
ステップ部
を含む領域



ストランド部
を含む領域



断層端部
を含む領域



➢ 破碎帯露頭は、跡津川断層トレース上で最も密に分布し、トレースから約500m離れると、その数は1/2~1/4以下に減少する。

➢ 各露頭で認められる破碎帯の幅は、跡津川断層トレース上またはその近傍では、幅10m以上の破碎帯も分布するが、トレースから約500m以上離れると、幅2mを大きく超える破碎帯は分布しない。

➢ 跡津川断層トレース上の破碎帯の幅は、断層端部ではストランド部やステップ部よりも小さくなる傾向にあるが、破碎帯の広域的な分布傾向に顕著な違いは見られない。



断層が伸長・分岐する過程を示すデータは不十分であり、今後は変位量分布などの地形学的データに基づく検討が必要

まとめ

〈断層破碎帯の分布・特徴〉

☆跡津川断層及びその周辺において破碎帯の分布傾向や幅は、ステップ部を含む領域、ストランド部を含む領域及び断層端部を含む領域に若干の違いが見られる。

（但し、断層が伸長・分岐する過程を示す十分な情報は得られていない。）

→断層周辺の破碎帯の分布と特徴について、マップスケール～露頭スケールの広域的な調査・解析の適用により、活断層帯の構造を考慮した影響範囲(破碎帯の分布頻度等)に関する知見を得た。

②: 副次的な断層の発達履歴の調査技術(H18～H19)

実施内容 **阿寺断層帯での事例研究**

- ・H18年度: 阿寺断層トレース上の河床連続露頭(川上)において、断層破碎帯の性状について詳細調査を実施。
⇒幅約20m程度の破碎帯の中で、第四紀以降の断層活動に伴う変位は、幅約1m程度の断層粘土帯に集中。
- ・H19年度: 阿寺断層及び共役の方向に発達する断層(佐見断層, 白川断層, 若栃断層, 鞍掛峠断層)を対象に、破碎帯の分布や特徴について地表調査を実施。

→ルートマップの作成・露頭記載表の作成: 岩相分布, 地質構造, 破碎帯・割れ目の分布, 姿勢及び運動センス, 断層岩の種類・性状および変形構造, 剪断面の分布, 条線の方向, 岩脈・鉱物脈・割れ目充填物質の種類や分布, 変質の程度など。

→薄片観察: 変形構造, 鉱物脈・割れ目充填物質の種類, 変質の程度など。

→ K-Ar法年代測定, XRD分析: 岩脈の形成時期, 熱水条件など。

→断層から放出される水素ガス濃度分布の調査(④)

まとめ

〈副次的な断層の発達履歴〉

☆阿寺断層周辺の共役の方向に発達する断層破碎帯の性状について調査をした結果、断層の起源がいずれも数Ma以前に遡れることが明らかになった。

(共役方向の断層も、過去数十万年に渡って同じ弱線に沿って繰り返し活動したことを示唆)

(但し、検討した共役方向の断層は10km以上のトレース長を有するものであり、今後はより規模の小さい断層についても検討が必要)

→断層周辺の破碎帯の分布と特徴について、露頭スケール～鏡下スケールの詳細な調査・分析の適用により、副次的な断層の活動履歴に関する知見を得た。

④:断層周辺の水理地質構造モデルの開発 断層破碎帯の分布と流体移行経路の検討(H19)

破碎帯の走向

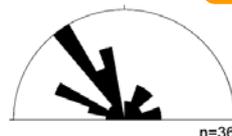
断層端部を含む領域

ストランド部を含む領域

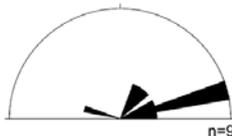
ステップ部を含む領域

跡津川断層での事例研究

幅 2m 以下の
破碎帯の走向



幅 2m を超える
破碎帯の走向

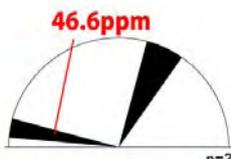
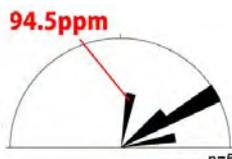


水素ガス放出量の分布に不均質性が認められ、水素ガスの放出は、跡津川断層の方向(ENE走向)に対して高角な走向を持つ破碎帯で、高濃度の水素ガスが放出される傾向がある。

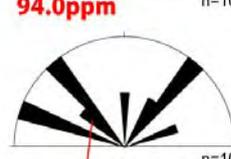
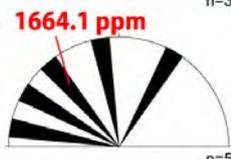
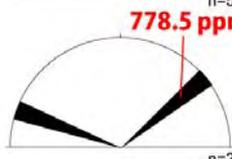
水素ガスの放出傾向

測定開始から2～3時間後
にかけての合計
(1時間の積算値)

10 ~ 100ppm



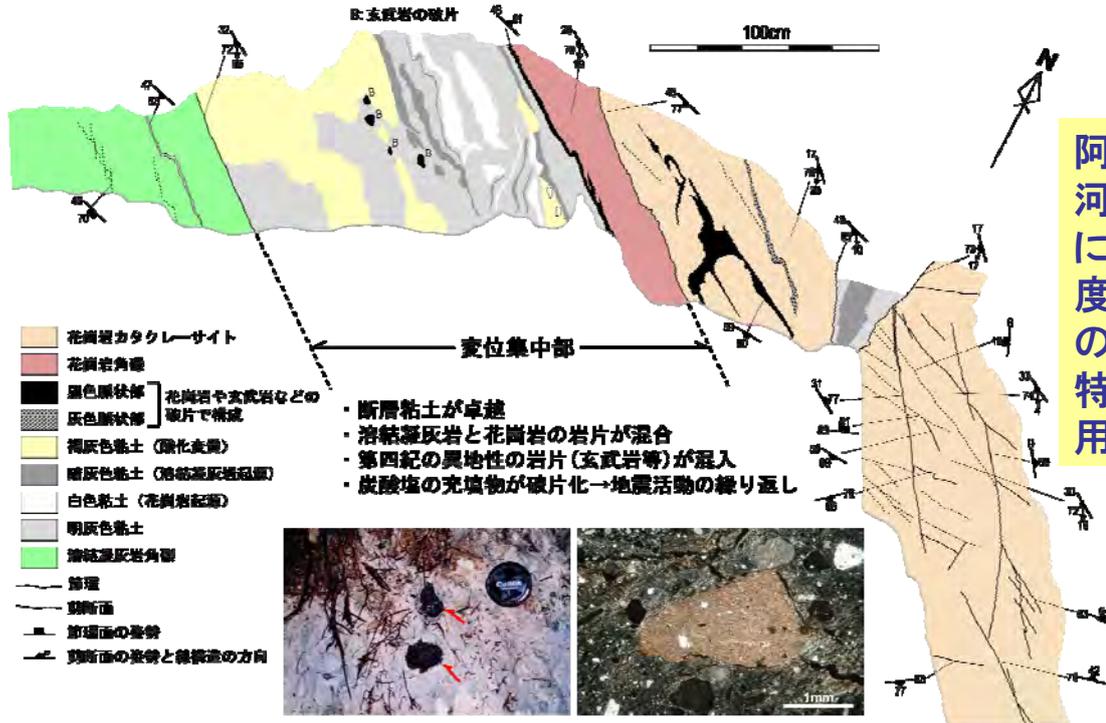
100 ~ ppm



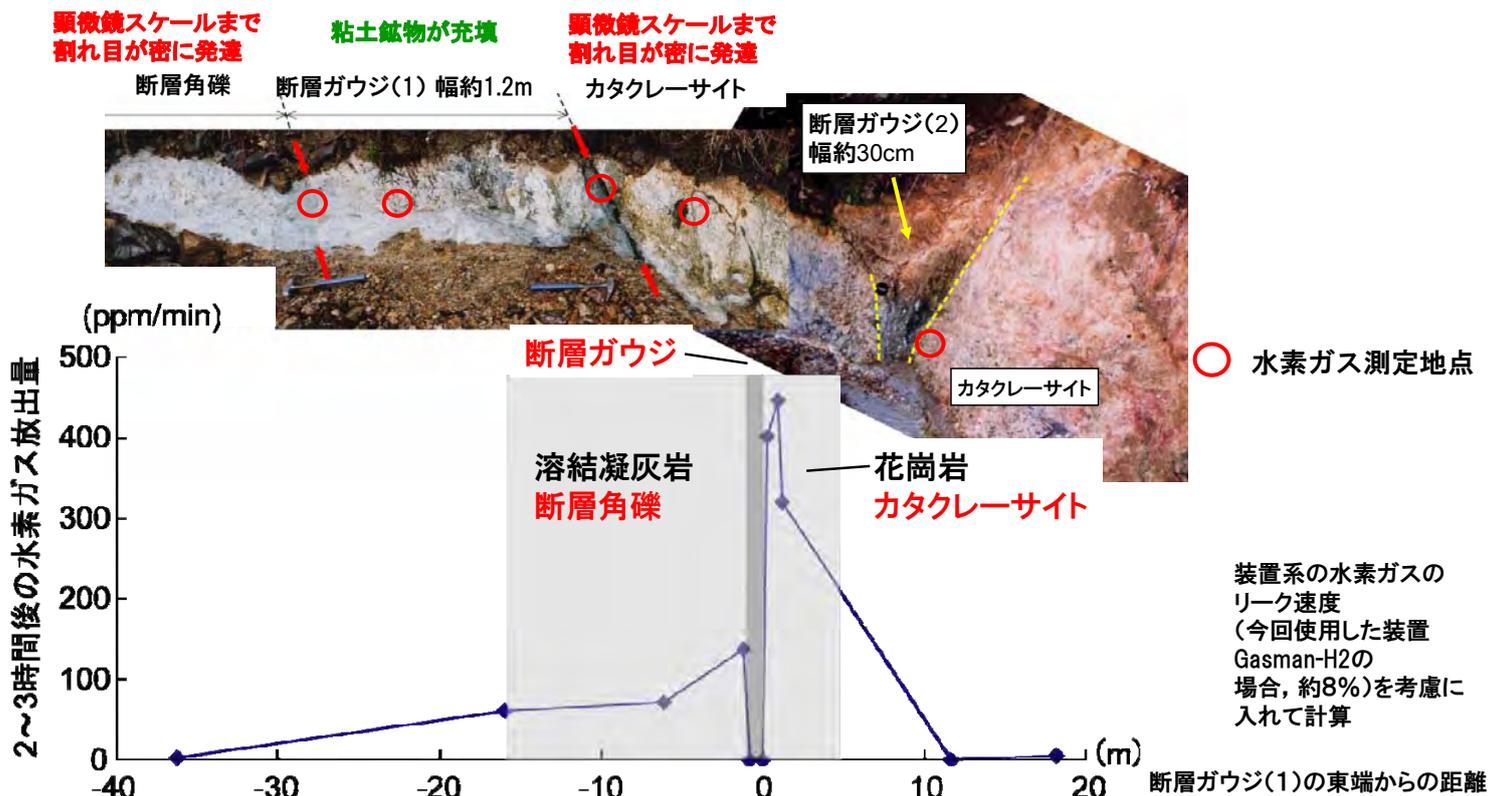
↓
ストランド部(断層連続部)に比べ、断層ステップ部の方が流体移行経路になり易い可能性を示唆

④:断層周辺の水理地質構造モデルの開発 断層破碎帯の分布と流体移行経路の検討(H19)

阿寺断層帯での事例研究



④:断層周辺の水理地質構造モデルの開発 断層破碎帯の分布と流体移行経路の検討(H19)



まとめ

〈跡津川断層での事例〉

☆跡津川断層において、顕著な水素ガスの放出を確認し、主断層の走向方向に斜交する割れ目から高濃度の水素ガスが放出される傾向が見られた。

☆跡津川断層の走向方向に斜交する割れ目は、特にステップ部において発達している。（断層連続部に比べ、断層ステップ部の方が流体移行経路になり易い可能性を示唆）

→活断層帯周辺において水みちとなる割れ目(流体移行経路)の分布を広域的(マップスケール)に把握する上では、「断層水素ガスによる調査」の適用が有効である見通しを得た。

〈阿寺断層での事例〉

☆阿寺断層の破碎帯露頭における水素ガス測定の結果、断層ガウジの両側近傍で放出量が大きく、断層ガウジ中では検出されなかった。

☆また、断層破碎帯の中心から両側に離れるに従い、水素ガスの放出量が減少していく事が判明した。

→露頭スケールにおいて水みちとなる割れ目(流体移行経路)の分布を把握する上でも、「断層水素ガスによる調査」の適用が有効である見通しを得た。

H20, H21の予定

〈断層の伸長、分岐等の調査技術〉

変位量分布などの地形学的データを取得するとともに、破碎帯の分布や特徴の整理・分類を進め、断層が伸長・分岐する可能性について総合的に検討していく。

〈副次的な断層の発達履歴の調査技術〉

副次的な断層で貫入岩、鉱脈についてのデータを補足するとともに、破碎帯露頭における肉眼～顕微鏡スケールの詳細な観察(岩石・鉱物組成、変形構造、変質の程度など)を行い、断層帯の形成過程を検討していく。

〈断層破碎帯の分布と流体移行経路の検討(断層周辺の水理地質構造モデルの開発)〉

測定地点の破碎帯や割れ目の方向(姿勢)と広域的な応力・歪場や微小地震分布との関係等の検討を行う。

また、水素ガス放出量と透水係数データ等との比較・検討や、二酸化炭素、メタン、ヘリウムなどの断層ガスを合わせて測定し、断層ガスの起源を推定するとともに、流体移行経路を把握するための調査手法としての適用性を総合的に検討していく。

以下，参考

①:断層の伸長，分岐等の調査技術

【特徴・成因に基づく破碎帯の分類】

- (a) 形成時期の古い葉片状カタクレーサイトが変質・再活動したもの
- (b) 安山岩などの岩脈や石英などの熱水変質脈に沿って断層角礫および断層ガウジが形成されているもの
- (c) 片理面や節理面に沿って変質の進行した部分に変位することにより，破碎帯の様相を呈しているもの

(a)



(b)



(c)



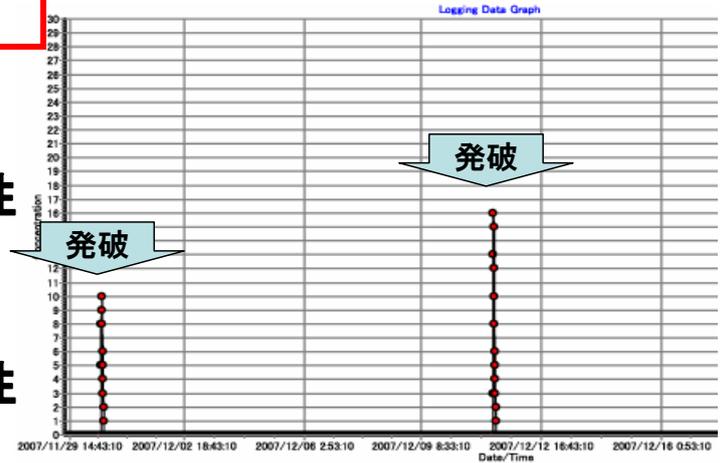
③:断層の活動性の調査技術

断層水素ガス(地球化学データ)を利用した調査事例

☆断層の活動性

→変動地形学的な根拠に乏しい断層の活動を評価できないか
(複数の断層帯での事例研究)

MIU坑道掘削を利用した実験
(破壊起源の水素ガスの検知)



☆断層活動の影響範囲

→断層周辺の物質移行経路の連続性が把握できないか
(MIU坑道掘削等を利用した実験)

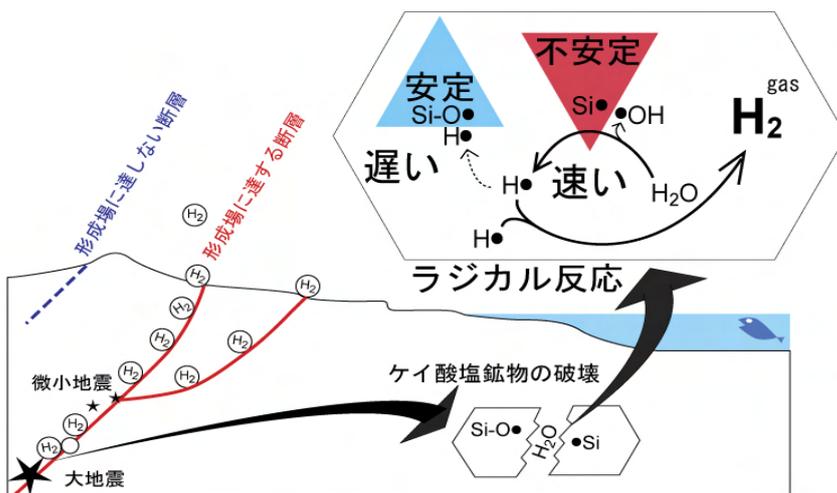
→断層破碎帯の分布範囲と水理特性を把握できないか
(跡津川断層等での事例研究→後述)

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第5回(2008年8月29日)

断層の活動性に関する調査技術

断層水素ガスを利用した調査技術の適用性の検討



⇒現地において断層水素ガスを簡便に測定する手法を考案 (Shimada et al., 2008)

岩石の破壊実験から、鉱物破壊表面と水とのラジカル反応で水素が発生 (Kameda et al., 2003, GRLなど)
活断層帯の直上では、大気中の水素ガス濃度の数十～数万倍以上の水素ガスが放出

(Wakita et al., 1980, Scienceなど)

水素ガスの起源は、水素の安定同位体比により、地震震源に達する深度付近

(Kita et al., 1980, Geochemical Journal)

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第5回(2008年8月29日)

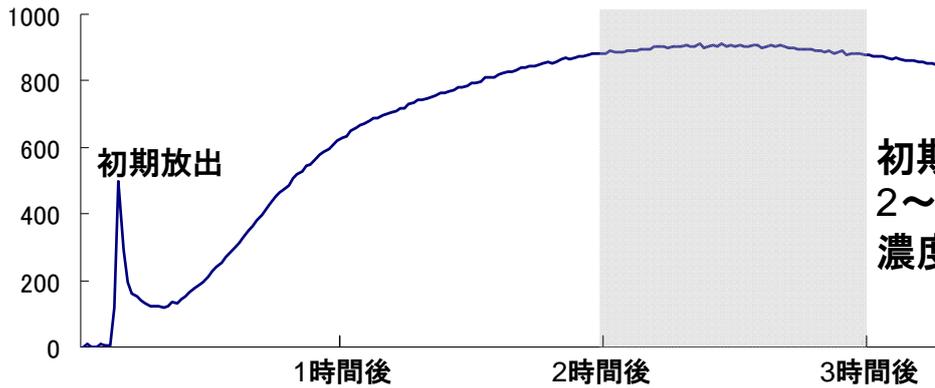
原位置での水素ガス濃度測定手法（2）

	(1)	(2)	(3)
孔径 (d: cm)	5	2.5	0.9
深さ (cm)	50	100	15 - 45
採取, 測定方法 (M: その場測定, G: ガスクロ)	M	G	M
報告された水素初期放出継続時間 (分: 概算)	1440	7500	35
最高濃度 (ppm),	55	7000	150

Reference: (1) 風早ほか 1987; (2) Satake et al., 1984; (3) 本研究

ハンドドリルを使用した掘削により、孔径を縮小
 →水素初期放出継続時間が短縮
 →測定時間を短縮
 →**短期間で多くの地点での測定が可能**

水素ガス測定値 (ppm)



初期放出の影響を避けるため、2～3時間後の測定値から濃度を計算

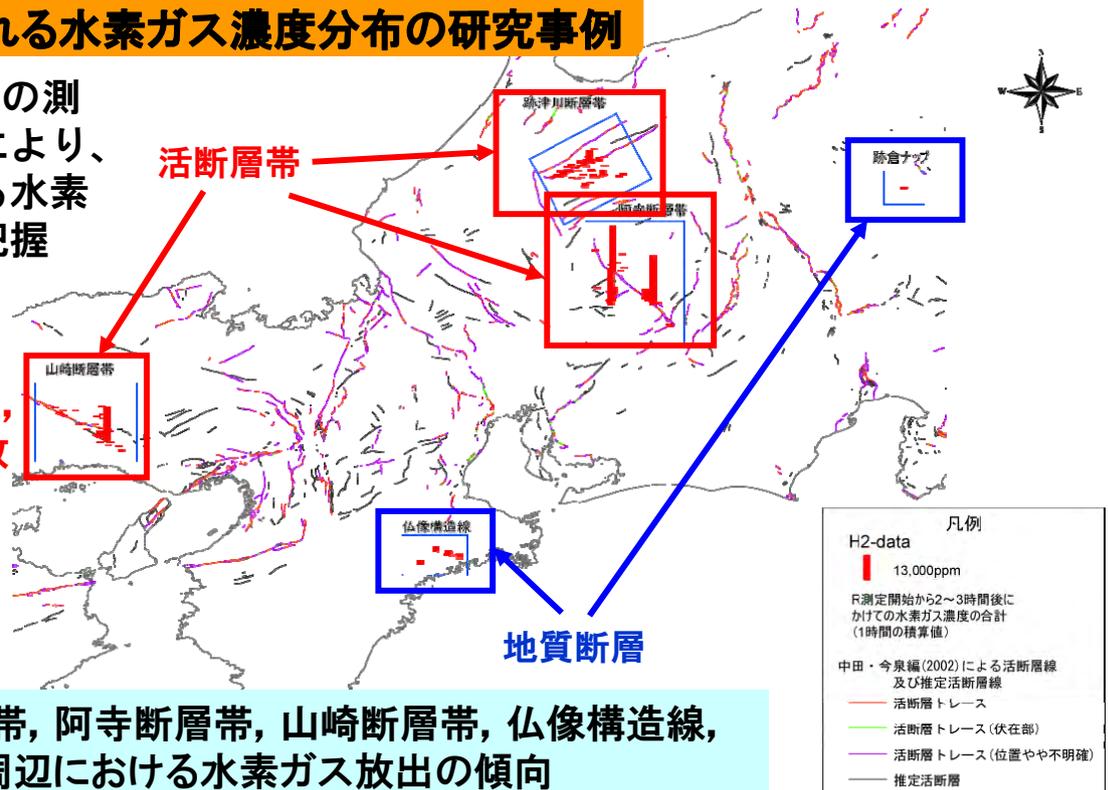
初期放出：穿孔部周辺に既に吸着していた水素など

③: 断層の活動性の調査技術

断層から放出される水素ガス濃度分布の研究事例

▶短期間で多地点での測定を実現することにより、断層帯周辺における水素ガス放出の傾向を把握

▶活断層帯において、顕著な水素ガスの放出を確認



跡津川断層帯, 阿寺断層帯, 山崎断層帯, 仏像構造線, 跡倉ナツプ周辺における水素ガス放出の傾向

⑤: 断層活動に伴う地形変化の解析

徳島県の中央構造線での事例研究

左ステップの隆起地形

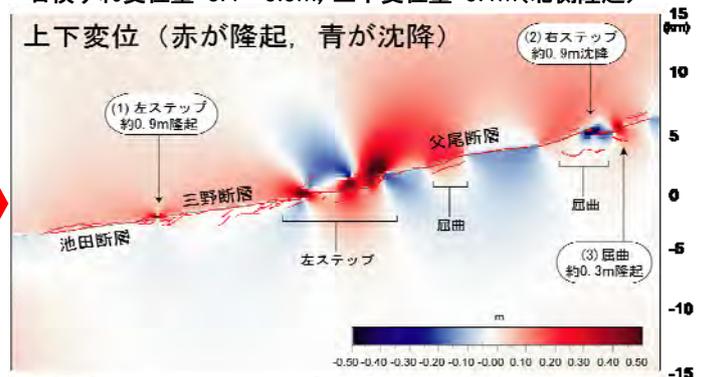


空中写真判読による断層構造のモデル化

基本パラメータ

右横ずれ変位量: 6.4~6.9m, 上下変位量: 0.1m(北側隆起)

上下変位 (赤が隆起, 青が沈降)



解析による地形変化量の計算

(USGSのCoulomb3.0を用いた

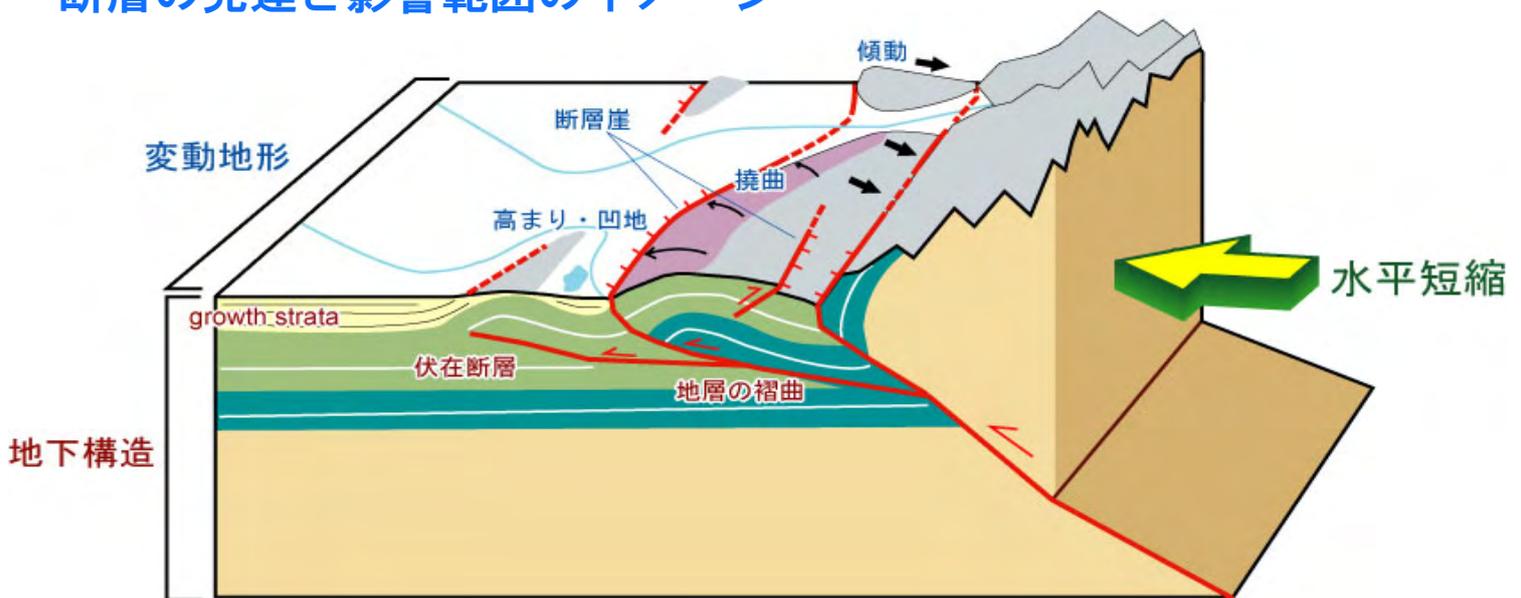
ディスロケーション解析)

くまとめと今後の課題

☆断層構造のモデル化とディスロケーション解析により、地表の変化のパターンが推定できる可能性が示された。
 → 今後は、解析結果の妥当性を検討するため、段丘の分布調査や年代測定などを行うとともに現地データに基づく再解析を行う。

断層の発達履歴に関する調査技術 < 逆断層帯の例 >

断層の発達と影響範囲のイメージ



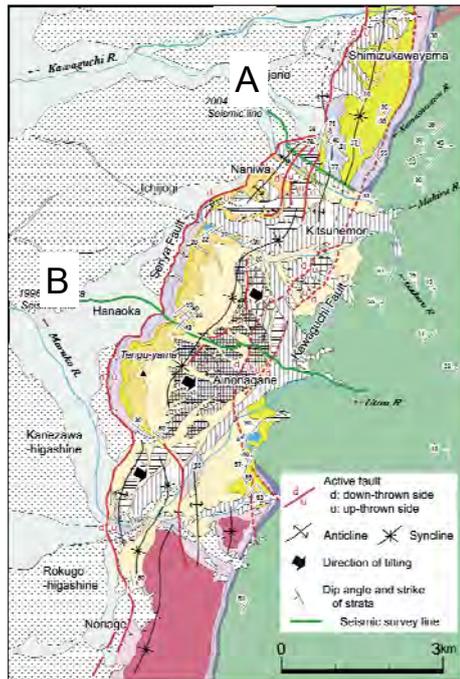
断層面が傾斜しているため、複雑な地層変形や幅広い変動地形を形成



地形・地質調査+地下構造調査により断層帯の発達史を検討

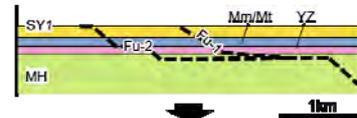
逆断層の形成過程の把握(～H18)

横手盆地東縁断層帯での事例研究



A. Northern part of the Serya Hills
2004 Unjano Seismic line

(1) Pre-deformation (1.8-2.3Ma)



(2) Initial thrusting (~0.8Ma)

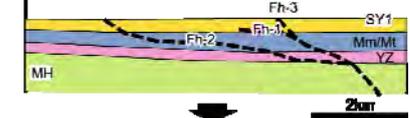


(3) Thrust-front migration (~0.1Ma)

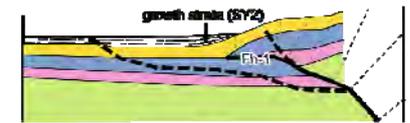


B. Central part of the Serya Hills
1996 Hanaoka Seismic line

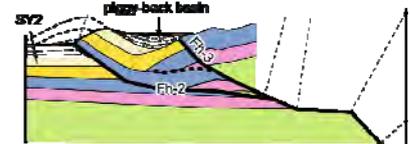
(1) Pre-deformation (2.0-2.6Ma)



(2) Initial thrusting (~1.6Ma)



(3) Thrust-front migration (~0.35Ma)



横手盆地東縁断層帯のバランス断面図(楢原ほか, 2006)

➤地質調査や反射法地震探査等のデータに基づくバランス断面解析により、逆断層帯における分岐断層(前縁断層)や撓曲構造の発達する幅の変化をモデル化