

地質環境の長期安定性に関する研究 長期予測・影響評価モデルの開発

－ H23年度の成果およびH24年度の計画 －

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

長期予測・影響評価モデルの開発

✓ 超長期における予測・評価手法に関する検討

- 既存情報の整理に基づく、日本列島の活断層が現在の活動を開始した時期の推定
- 山地・丘陵の地形学的特徴の解析と山地の発達段階(隆起・侵食の動的平衡)との関係の考察

✓ 地質断層の再活動などに係るシミュレーション技術

- 断層運動による力学的影響の評価(東北地方太平洋沖地震に伴う歪変化の解析と地下水圧変化との関係の考察)

超長期における予測・評価手法に関する検討

研究目的

将来十万年を超えるような超長期について、外挿法による予測・評価の妥当性を検討するための科学的知見の提示

【平成23年度】

実施内容

- 既存情報に基づき、日本列島に分布する活断層が現在の活動を開始した時期を整理し、テクトニクスとの関連性を考察
- 山地・丘陵の形状や谷底・斜面の勾配などの地形学的特徴を解析し、山地の隆起・侵食の動的平衡状態との関係を考察

期待される成果

日本列島における断層活動及び山地発達の長期的な傾向

超長期における予測・評価手法に関する検討

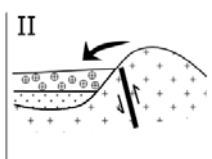
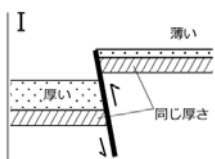
日本列島の活断層が現在の活動を開始した時期の推定

高い ←

正確度

→ 低い

活動開始層準の
認定による手法
I、II

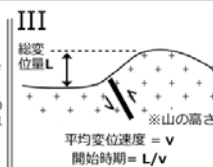
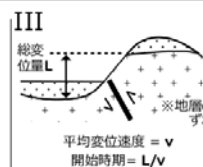
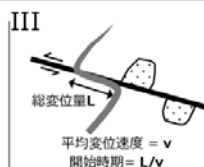


I. 断層による地層の変形や層厚の変化に基づき活動開始層準を認定

II. 断層活動に起因すると考えられる堆積環境の変化(後背地堆積物の変化等)から活動開始層準を認定

計算による手法
III

III. 活断層の総変位量を
平均変位速度で除する
ことにより活動開始時
期を推定

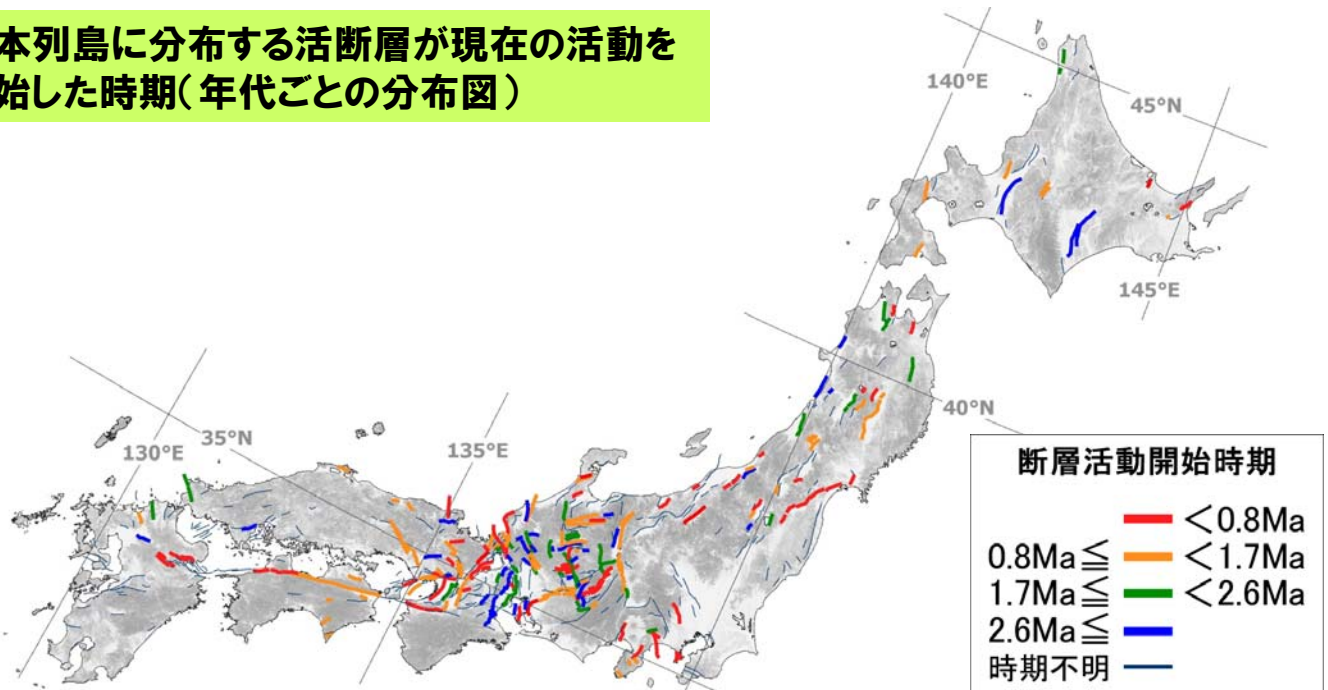


(平均変位速度が過去において一定であったと仮定)

- 既存情報に基づき、日本列島に分布する活断層の現在の活動がどこまで遡れるかを整理
- 断層活動の傾向から、10万年を超える超長期の地殻変動の傾向を概括的に把握

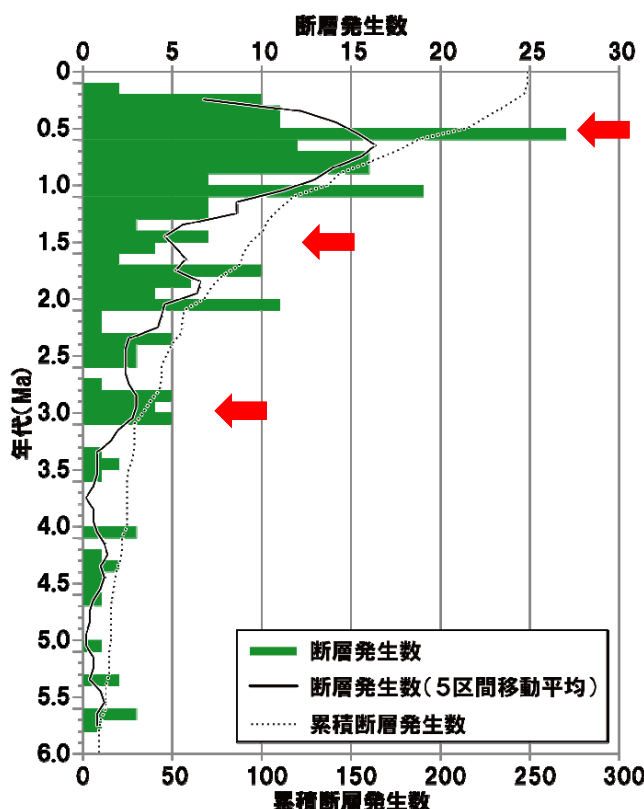
超長期における予測・評価手法に関する検討

日本列島に分布する活断層が現在の活動を開始した時期(年代ごとの分布図)



- (現在の形態での)活動開始時期の若い活断層は、新潟-神戸歪集中帯、及び伊豆半島とその周辺に多く分布する傾向

超長期における予測・評価手法に関する検討



日本列島とその周辺における主なテクトニックイベントとの関係

1Ma頃: 伊豆半島の衝突 (松田, 1989)

2Ma頃: フィリピン海プレートの運動方向が西北西へ変化 (瀬野, 1984; 西村・湯浅, 1991)

3Ma頃: アムールプレートの東進に伴う日本海東縁変動部における変動開始 (Okamura et al., 1995など)

5~2.5Ma: 太平洋プレートの運動方向の時計回り変化 (Pollitz, 1986)

6Ma頃: マリアナトラフの拡大開始に伴うフィリピン海プレートの北北西方向への運動開始 (宇都, 1995など)

超長期における予測・評価手法に関する検討

日本列島に分布する活断層が現在の活動を開始した時期の傾向

- 日本列島全体で見ると、3Ma頃及び1.5Ma頃に、現在の形態での活動を開始する活断層の数が著しく増加する
⇒大局的に、日本列島を取り巻くプレート運動の変遷と対応
- 約0.5Ma前後に活動を開始した活断層も多く認められる
⇒断層活動の長期的な傾向から見て、日本列島において現在のテクニクスが遡れるのは、せいぜい数10万年程度までであることを示唆

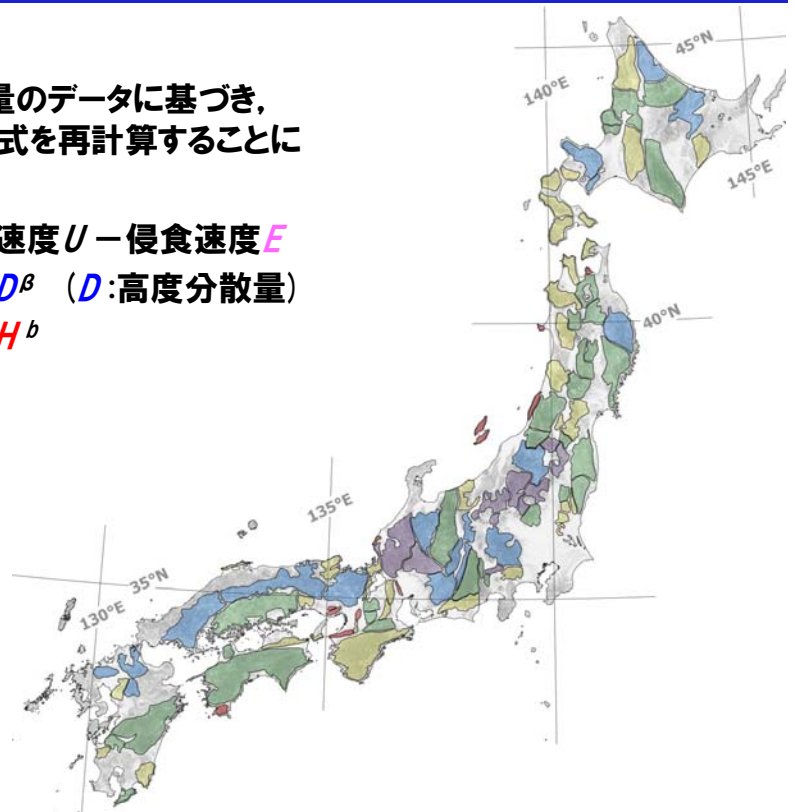
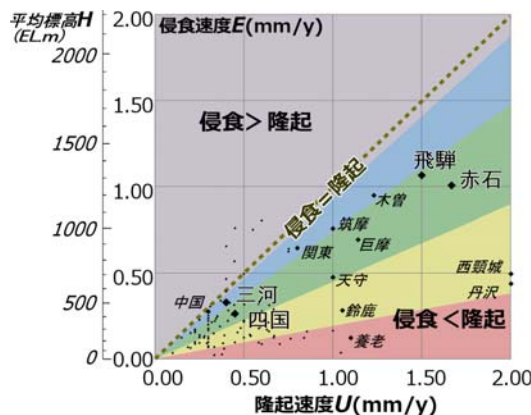
超長期における予測・評価手法に関する検討

山地・丘陵の地形学的特徴の解析

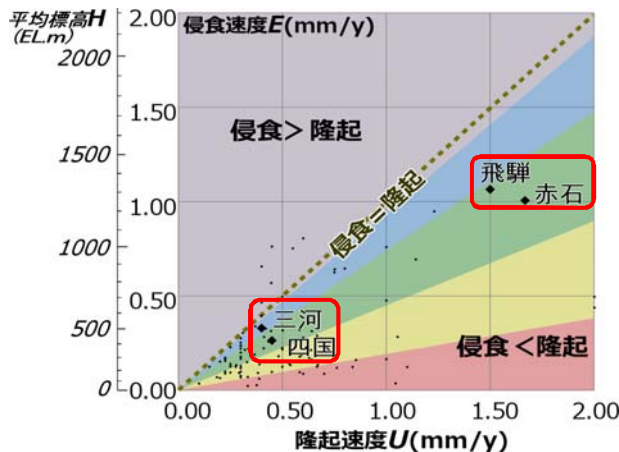
平成22年度:実際に得られる隆起速度・侵食量のデータに基づき、Ohmori (1978) の山地高度変化モデルの関係式を再計算することにより、隆起・侵食の平衡状態を検討

- ・山地の平均高度 H の変化 $\Delta H / \Delta t = \text{隆起速度 } U - \text{侵食速度 } E$
- ・山地の侵食速度 E は起伏 D の関数 $E = \alpha D^\beta$ (D :高度分散量)
- ・山地の起伏 D は平均高度 H の関数 $D = aH^b$

$$\therefore \Delta H / \Delta t = U - \delta H^\gamma$$



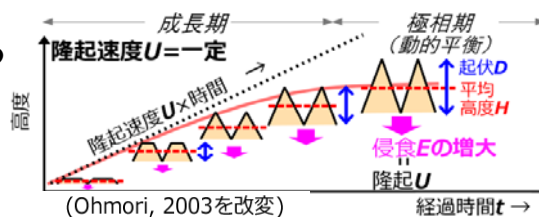
超長期における予測・評価手法に関する検討



山地高度変化モデルに基づく計算からは、隆起速度と侵食速度のバランスが、標高の低い三河高原や中国山地などと、標高の高い飛騨山脈や赤石山脈などで、ほぼ同程度となる

	三河高原	四国山地	飛騨山脈	赤石山脈
隆起速度	0.40mm/y	0.45mm/y	1.50mm/y	1.67mm/y
平均標高	約500m	約420m	約1310m	約1260m
高度分散量	約40m	約80m	約100m	約130m

【湿潤変動帯における地形の侵食輪廻】



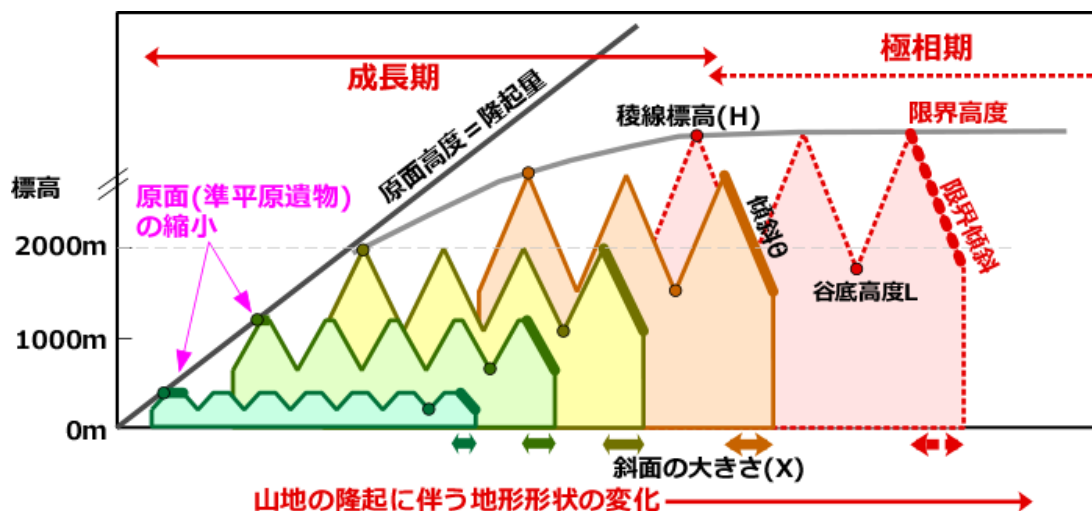
隆起速度によって、地形の侵食の様式が異なる？

- 平均標高と高度分散量の小さい山地(三河, 四国)と大きい山地(飛騨, 赤石)で、山地・山稜の形状を解析し、隆起・侵食との関係性を評価

超長期における予測・評価手法に関する検討

既往研究(Sugai and Ohmori, 1999)の例(赤石山脈周辺)

谷底高度 L , 斜面の大きさ X , 傾斜 θ はいずれも谷頭高度 H とともに増加



三河, 四国, 飛騨, 赤石の4つの山地を対象に、10mDEMを解析することにより、谷の形状と隆起速度との関係について検証

※大局的な地質に大きな違いが生じないように、解析領域(約20×30km)を設定

- 山地斜面を侵食する谷の形状を、10mDEMを用いて詳細に解析

第10回(2012年2月29日) 12

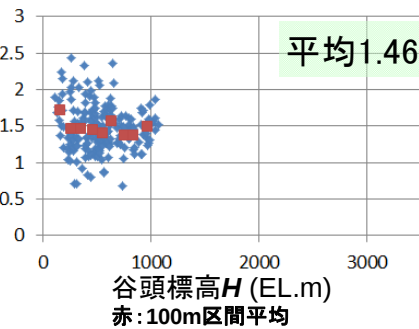
超長期における予測・評価手法に関する検討

縦断形の凹形度

凹形度 n
($h=mX^n$)

三河高原

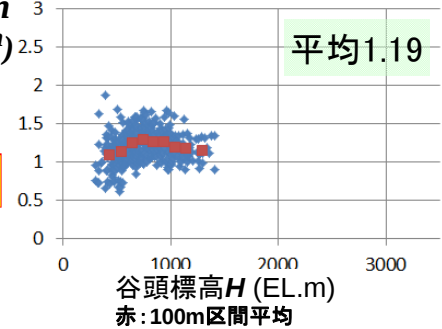
隆起速度 小



凹形度 n
($h=mX^n$)

四国山地

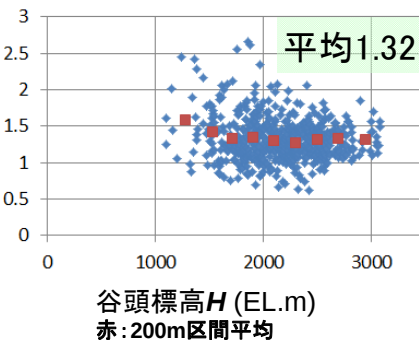
隆起速度 小



凹形度 n
($h=mX^n$)

飛騨山脈

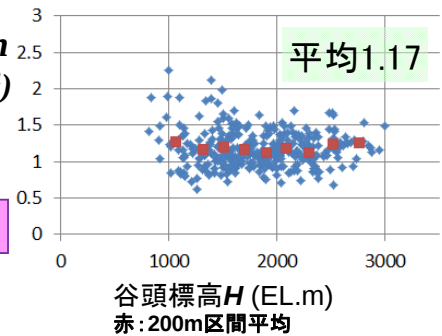
隆起速度 大



凹形度 n
($h=mX^n$)

赤石山脈

隆起速度 大



超長期における予測・評価手法に関する検討

縦断形の凹形度

最上流部(流下長<5km程度)での
河床縦断形発達モデル
(Lin and Oguchi (2009)及び田力(2005)より)

隆起速度 小

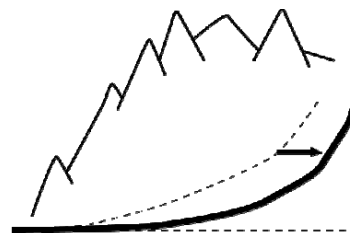
三河高原

平均1.46

隆起速度 大

飛騨山脈

平均1.32



隆起<下刻の場合
(隆起小or岩盤強度小)
縦断形は下に凸

隆起速度 小

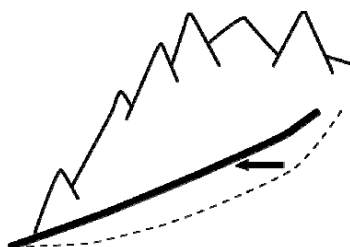
四国山地

平均1.19

隆起速度 大

赤石山脈

平均1.17



隆起>下刻の場合
(隆起大or岩盤強度大)
縦断形は直線的

- 縦断形の凹形度の違いは、隆起速度と下刻速度の関係を反映している可能性が高い

超長期における予測・評価手法に関する検討

小起伏面(準平原遺物を含む)の残存度

(解析領域に占める割合)

飛驒山脈

5.3%

四国山地

2.5%

三河高原

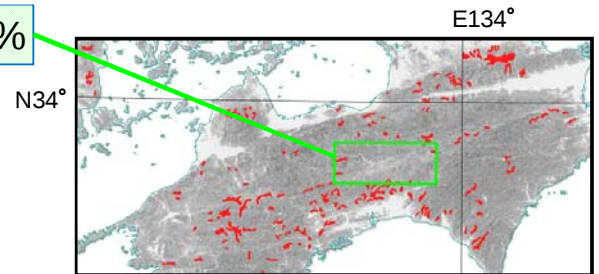
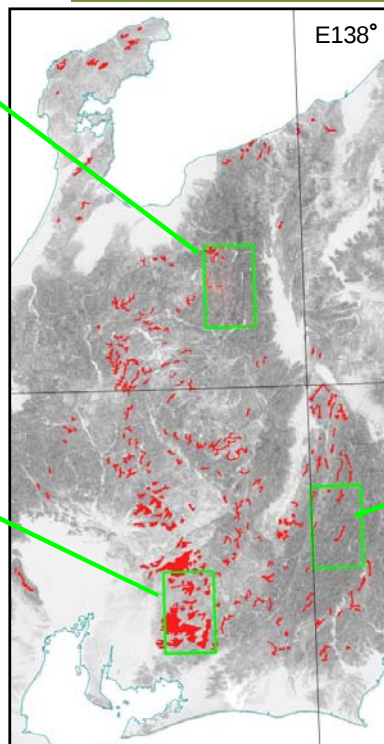
31.5%

赤石山脈

3.1%

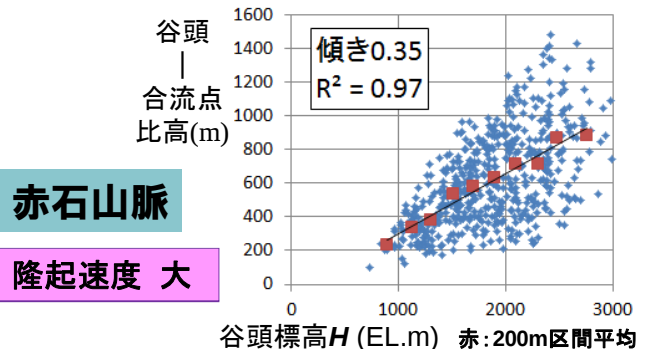
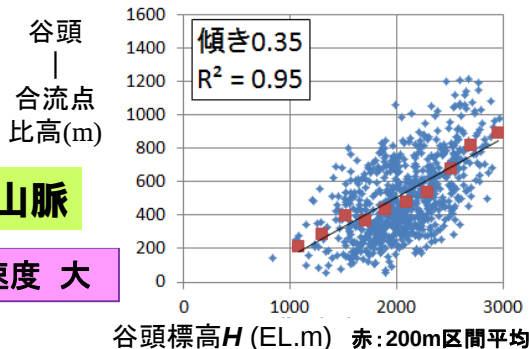
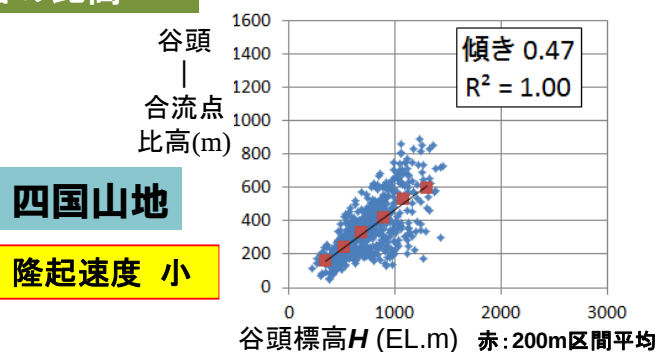
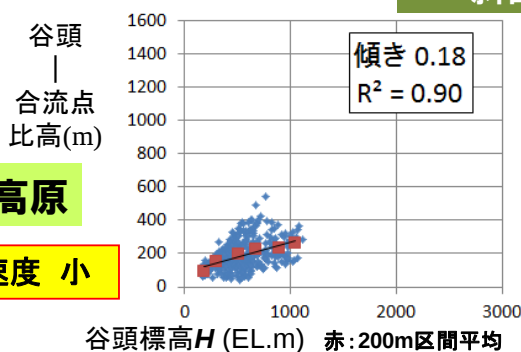
地形計測領域

小起伏面
(日本第四紀地図,
および読図による)



超長期における予測・評価手法に関する検討

斜面侵食谷の比高

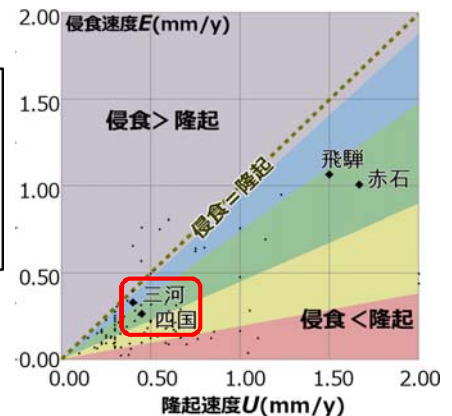
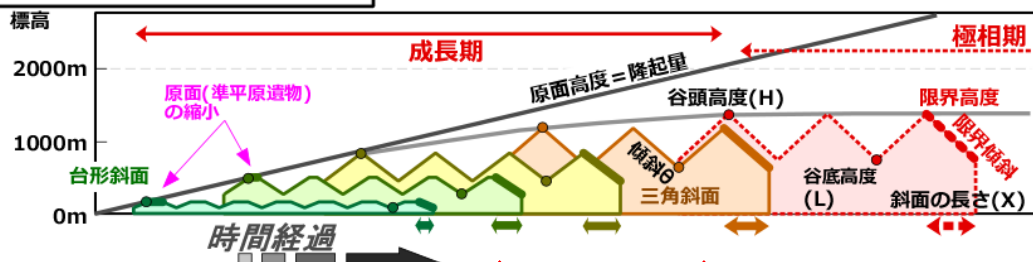


● 比高の増加は、隆起と山稜形状の変化(小起伏面の縮小)を反映している可能性がある

超長期における予測・評価手法に関する検討

【異なる隆起速度における山地の発達段階モデル】

隆起速度が小さい場合



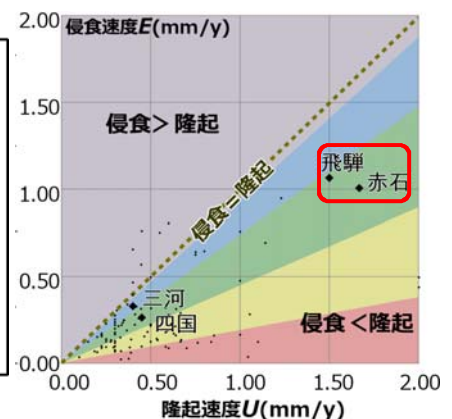
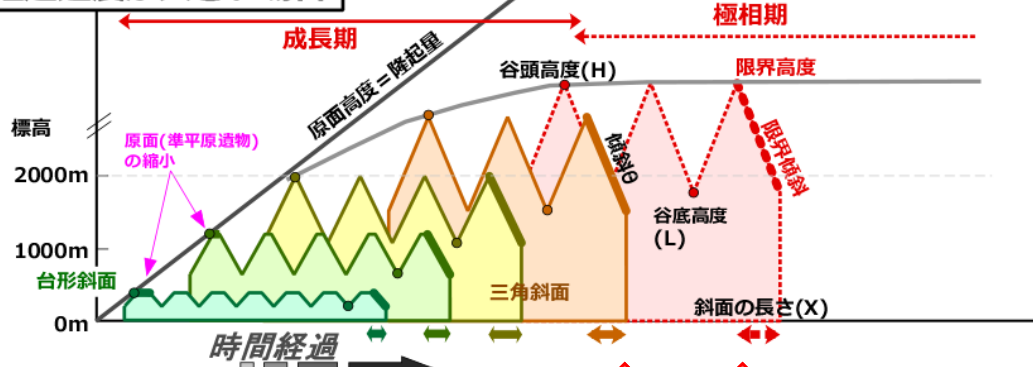
- ・ 凹形度が相対的に大きい
(下刻の影響が大きい)
- ・ 準平原遺物が比較的残存

- ・ 凹形度が相対的に小さい
- ・ 準平原遺物がほとんど残っていない

超長期における予測・評価手法に関する検討

【異なる隆起速度における山地の発達段階モデル】

隆起速度が大きい場合



両者とも準平原遺物はほとんど残っていないが、凹形度は飛騨山脈の方が大きい
⇒飛騨山脈の方が山地の発達が進行し、下刻の影響がより強く地形に反映されている

- 山地の形状を調べることで、山地の発達段階に関するより精度の高い議論が期待できる

超長期における予測・評価手法に関する検討

ま と め

- ・ 日本列島の活断層が現在の活動を開始した時期について整理し、その傾向が日本列島を取り巻くプレート運動の変化と相関があることを確認
- ・ 谷の形状の解析に基づき、隆起速度に応じた山地の形状の発達に関するモデルを提示

平成24年度実施計画(案)

- ・ 山地の発達段階モデルの最適化(気候などの地域特性に合わせた侵食速度の設定方法の検討など)
- ・ 実試料の年代測定による内陸部の隆起速度の検証(モデルとの比較)
- ・ 山稜や谷などの地形的特徴から、山地の隆起速度を概括的に求める手法の開発

断層運動による力学的影響の評価

背景

東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日, M9.0): 日本海溝沖で従来想定されていた規模を大きく超える地震の発生

研究目的

地震に伴う歪・応力変化などの力学的影響の検討

実施内容

地震に伴う体積歪変化の計算と、瑞浪超深地層研究所における地下水圧観測データの解析

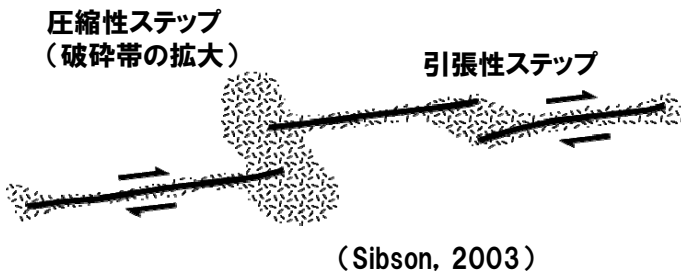
期待される成果

地震に伴う歪の変化が地下水理に及ぼす影響

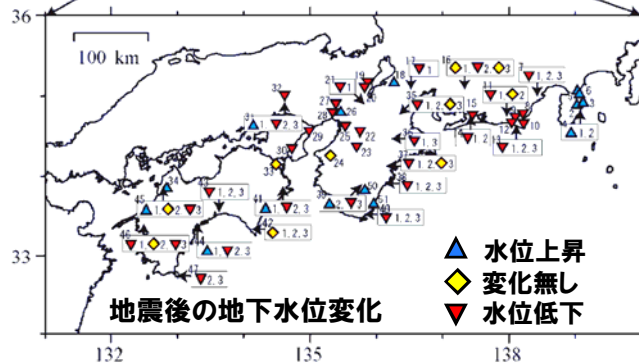
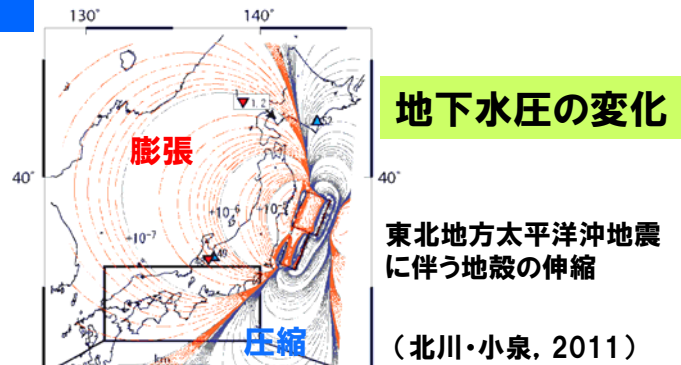
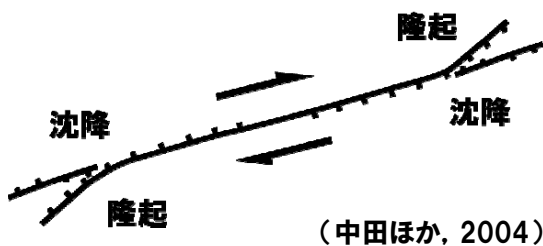
断層運動による力学的影響の評価

地震・断層活動に伴う歪・応力変化の影響

破碎帯の発達



地形変化(隆起・沈降)



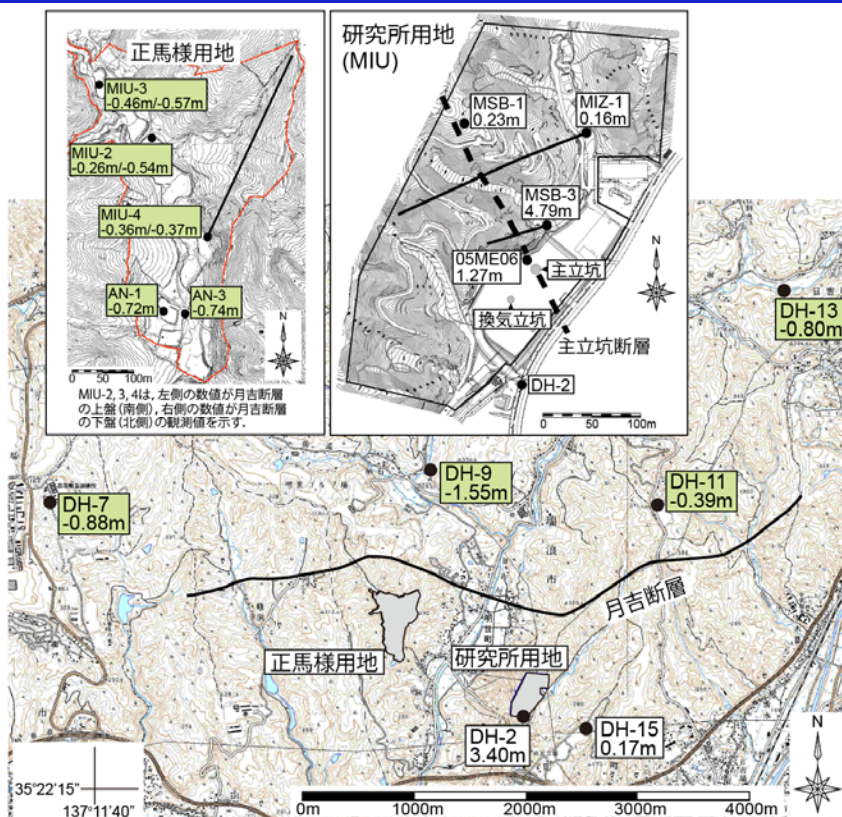
断層運動による力学的影響の評価

東濃における地下水観測

- ・2011年現在, 15本のボーリング孔で間隙水圧の観測を実施中
- ・掘削深度は約200m~1,300m
- ・5分または30分間隔で連続観測
- ・地震発生時の短期的な地下水圧の変化に着目し, 地震前後の1日の変化量を算出

- 花崗岩中の全ての観測区間において, 地震発生に伴う顕著な地下水圧の変化を確認

- 広域的には水圧低下の傾向を示す(ただし, 研究所用地及びその近傍では上昇の傾向)



断層運動による力学的影響の評価

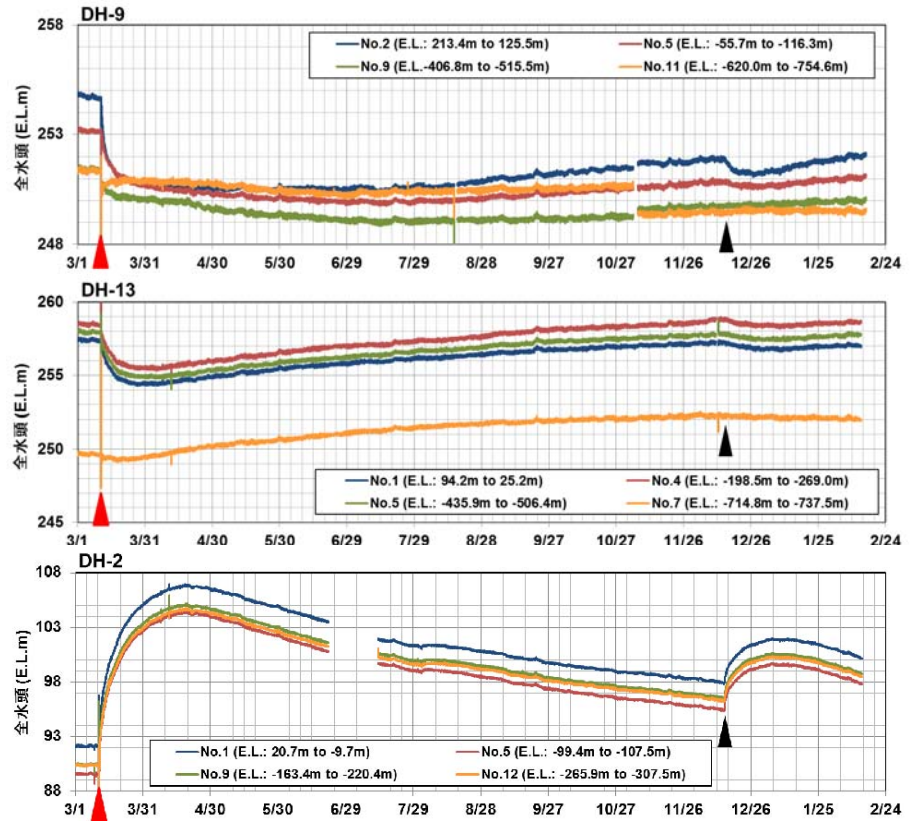
観測データの例

(縦軸の全水頭は、間隙水圧及び水位から換算)

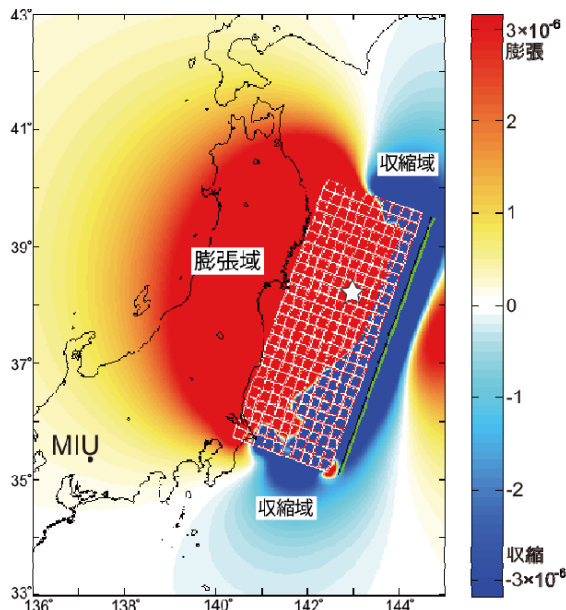
- 東北地方太平洋沖地震 (赤矢印)の直後に数十cm～数mの水圧低下
- その後は緩やかに回復

- 研究所用地内及びその近傍では地下水圧が上昇

※黒矢印は12月14日の美濃東部での地震(M5.2)に伴う変化



断層運動による力学的影響の評価



筑波大学八木研究室の断層モデルにおける体積歪計算結果

体積歪の計算

- 地殻変動解析プログラムCoulomb3.1(Lin and Stein, 2004; Toda et al., 2005)を使用(半無限均質弾性体を仮定したOkada (1992)の理論に基づくディスロケーション解析)
 - 【設定】ポアソン比:0.25, ヤング率: 8×10^5 bar, 摩擦係数:0.4, 体積歪の計算深度:1km
- 地震波形やGPS, 津波データのインバージョン解析により推定されているプレート境界面上のすべり量分布を適用(国内外の複数の研究機関が推定しているそれぞれの断層モデルに対し計算を実施)

- 東北地方太平洋沖地震に伴う体積歪変化は、研究所周辺で約 2×10^{-7} strainの膨張(適用する断層モデルによって大きな違いは無い)

断層運動による力学的影響の評価

体積歪変化に対する地下水応答感度：潮汐変化からの推定

- ① 地殻変動，潮汐解析にBayesian modelを組み込んだ解析プログラムBAYTAP-G（石黒ほか，1984；Tamura et al., 1991）により，地下水圧観測データから潮汐成分を抽出
- ② 固体地球潮汐の影響量を計算するプログラムGOTIC2（Matsumoto et al., 2001）により，観測地点における潮汐による体積歪の理論値を計算
- ③ ①，②より，体積歪変化に対する地下水応答感度を計算
- ④ 東北地方太平洋沖地震に伴う体積歪変化の推定値（約 2×10^{-7} strainの膨張）に相当する地下水位変化を計算

	M2分潮を用いた計算に基づく値	実際の観測値（地震前後1日の低下量）
AN-1	62cm	72cm
DH-7	57cm	88cm
DH-11	78cm	39cm
DH-13	60cm	80cm

- 研究用地及びその近傍を除き，地震に伴う体積歪変化の計算結果から推定される地下水位変化は，実際に観測された地下水位変化と整合的

断層運動による力学的影響の評価

研究用地及びその近傍における地下水圧の上昇の要因

- これまでの観測結果からは，研究用地を横切る断層（主立坑断層）を挟んで水圧応答が大きく異なることが分かっている
- 過去の地震でも，主立坑断層の南西側では決まって水圧が上昇（Asai, 2006など）
⇒ **研究用地周辺の不均質な水理地質構造（断層など）の影響**
（Elkhoury et al., 2006; Liu and Manga, 2009など）

★さらに，坑道掘削に伴う水圧低下の影響により，地震に伴う地下水圧の上昇量が大きくなった可能性あり

- ・ 研究坑道の掘削に伴い，研究用地周辺では強制的に地下水圧が低下された水理場が形成（例えば，DH-2号孔の全水頭は，約6年で70m程度低下）
- ・ 既往の観測において，掘削工事の近傍の孔で地震に伴う地下水位回復の事例がある（Kitano and Tamai, 2005）
- ・ 地震以降，研究坑道内への湧水量も1割程度増大

断層運動による力学的影響の評価

ま と め

- 2011年東北地方太平洋沖地震に伴い観測された地下水圧変化の傾向が、地震に伴う体積歪の変化の計算結果から推定される地下水圧変化と大局的に整合的であることを確認

(ただし、研究所用地及びその近傍では、明らかな地下水圧の上昇を観測し、大局的な傾向とは異なる変動パターンを示す。この局所的な変化の要因としては、研究所用地周辺の不均質な水理地質構造の影響や、坑道掘削に伴う水圧低下の影響が主に考えられる。)