

地質環境の長期安定性に関する研究

これまでの研究成果と今後の計画について

稀頻度自然現象による地質環境への影響の 評価技術

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門

第3期中期計画(H27～33)

① 調査技術の開発・体系化

- ①-1) 断層の活動性に係る調査技術
- ①-2) 地殻構造の高空間分解能イメージング技術
- ①-3) 深部流体の分布に関する調査技術

② 長期予測・影響評価モデルの開発

- ②-1) 稀頻度自然現象による地質環境への影響の評価技術
- ②-2) 時間スケールに応じた地圏環境変動の予測技術

③ 年代測定技術の開発

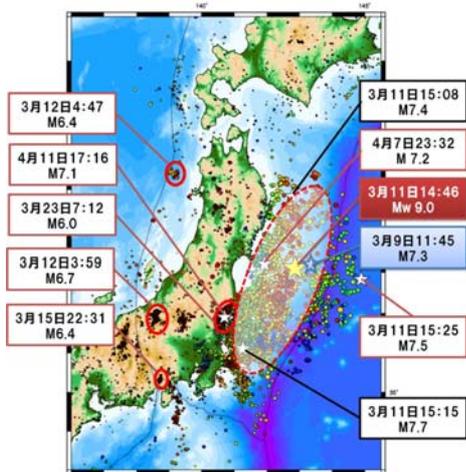
- ③-1) ウラン系列放射年代測定法の実用化
- ③-2) 光ルミネッセンス(OSL)年代測定法の実用化
- ③-3) アルミニウム-26年代測定法, 塩素-36年代測定法の実用化
- ③-4) 高分解能のテフラ同定手法の開発
- ③-5) 地質試料を対象とした年代測定法及び化学分析手法の高度化

背景

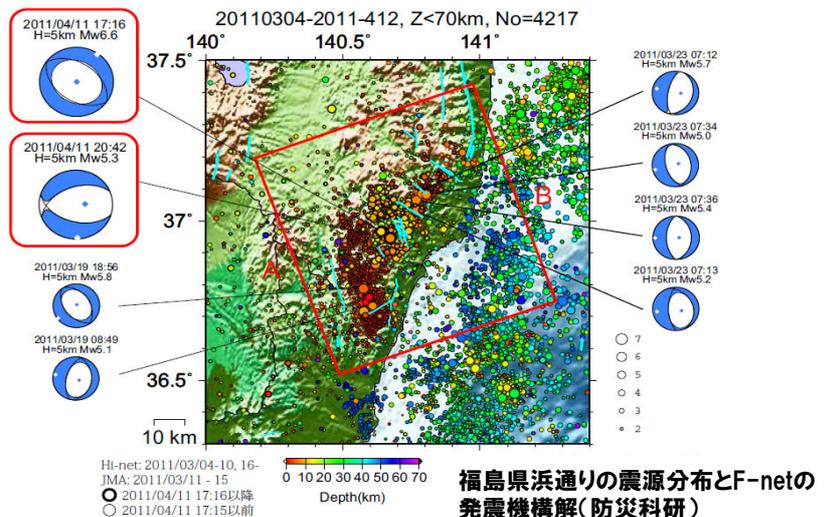
■ 地層処分の技術的信頼性向上に向けた研究課題

最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価(総合エネルギー調査会地層処分技術WG, 2014)

- ✓ 地震活動の評価に反映するための、東北地方太平洋沖地震後に誘発された地震や湧水(たとえば、2011年4月11日の福島県浜通り地震)に関する調査事例の蓄積



2011年3月11日以降の主な震源分布(東大地震研)

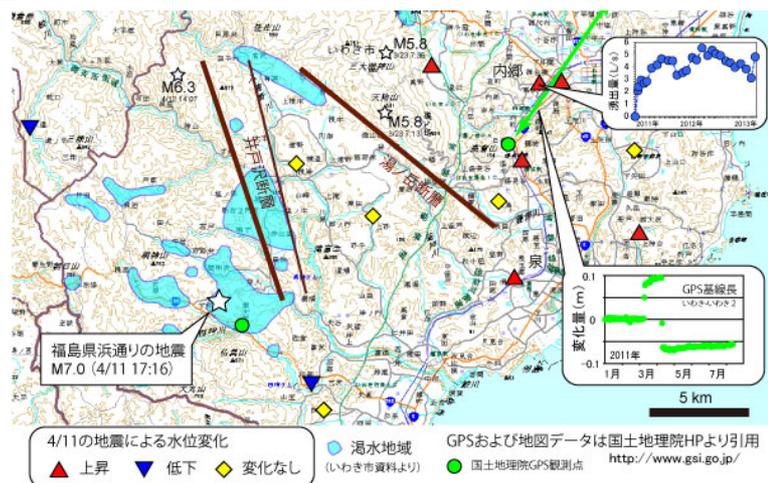


福島県浜通りの震源分布とF-netの発震機構解(防災科研)

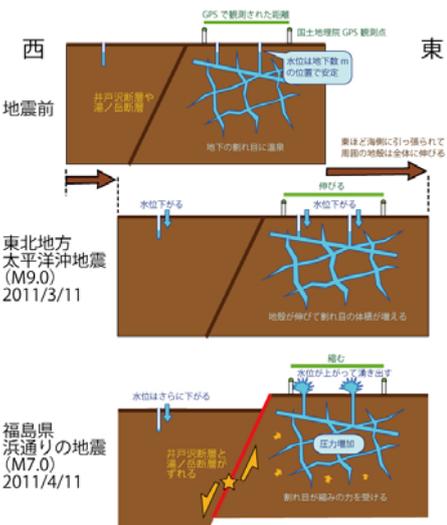
- ✓ 東北地方内陸を中心にいくつかの地域でスポット的に地震活動が活発化
- ✓ 茨城県北部～福島県浜通りの群発地震は深度10km以浅で正断層型の地震が卓越
- ✓ 4月11日のM7.0の地震時には既知の地質断層・活断層である湯ノ岳断層と井戸沢断層に沿って最大約2mの正断層崖が出現

背景

■ 2011年福島県浜通り地震に伴う地下水変化



福島県浜通りの地震に伴う地下水変化(産総研, 2013)



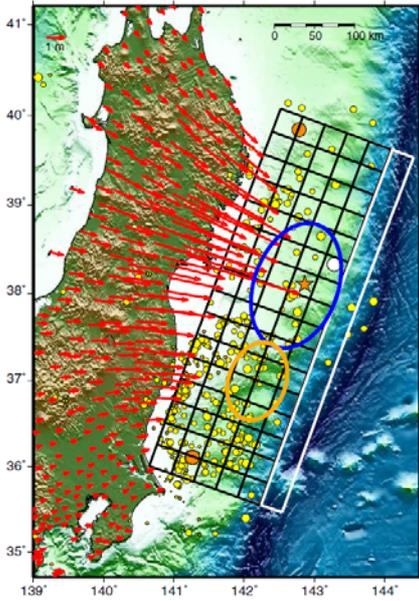
- ✓ 東北地方太平洋沖地震によって、いわき周辺の地殻が伸び、割れ目が開口し水位が低下
- ✓ 福島県浜通りの地震に関連する断層運動によって、断層の東側の地殻の短縮により水圧が上昇し、地下水が地表から湧出

【実施内容】

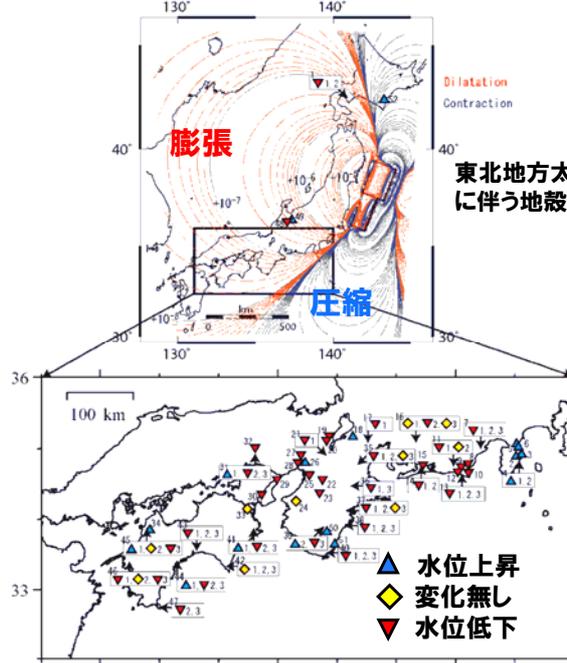
- 東北地方太平洋沖地震に伴う地下水流動系の変化に関する検討
- 茨城県北部～福島県浜通りの群発地震に関する事例研究

東北沖地震に伴う地下水流動系の変化に関する検討

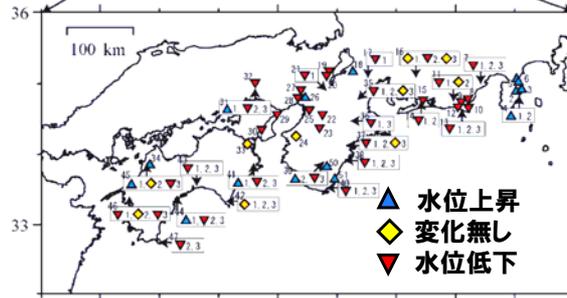
サイト近傍での断層運動や海溝型地震の発生によって生じる地下水流動系の変化に関する知見を提示する。



GPS観測による東北沖地震に伴う地表変位
(Koketsu et al., 2011)



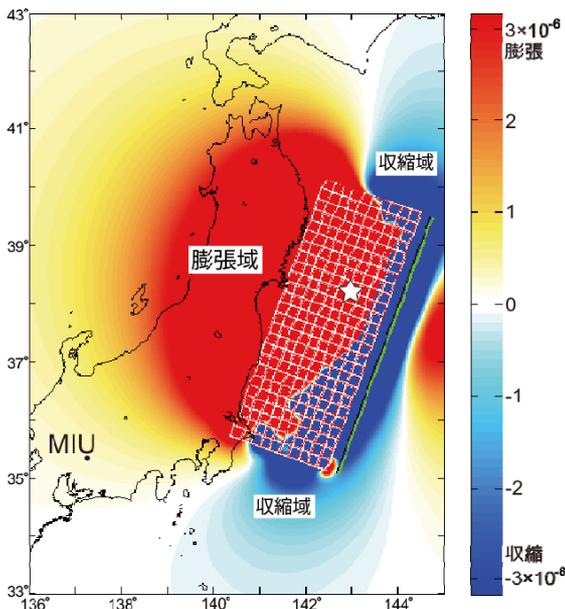
東北地方太平洋沖地震に伴う地殻の伸縮



地震後の地下水位変化 (北川・小泉, 2011)

- ディスロケーションモデルによる地震時の体積ひずみ変化の推定
- 瑞浪超深地層研究所における地下水圧連続観測データとの比較

東北沖地震に伴う地下水流動系の変化に関する検討



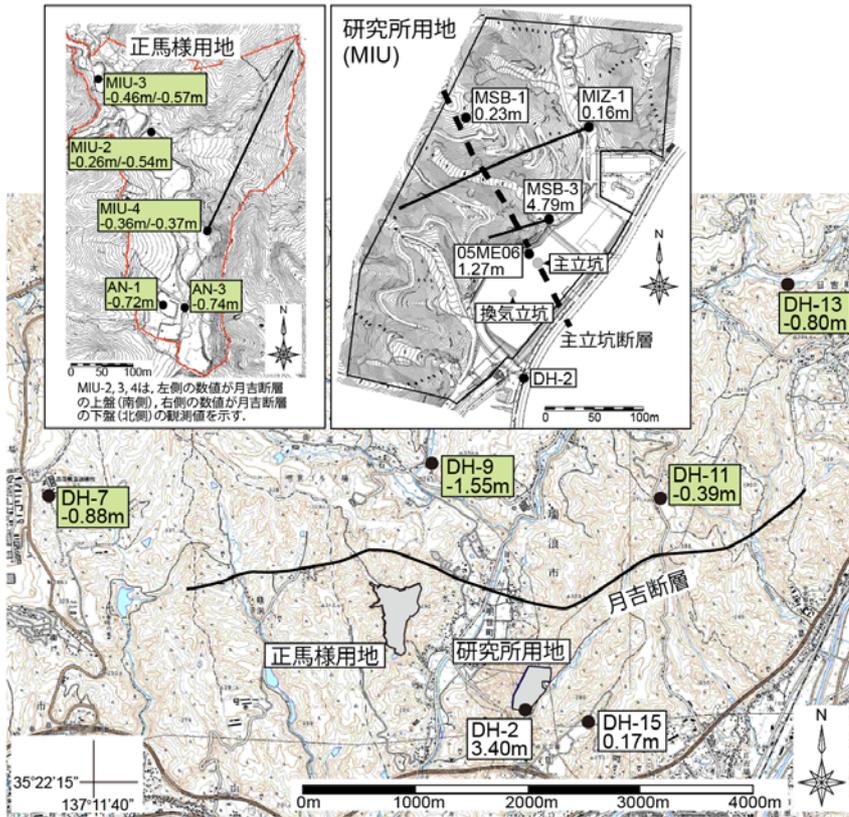
断層モデル (Yagi and Fukahata, 2011) に基づく体積歪計算結果

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)

東北沖地震に伴う地下水流動系の変化に関する検討

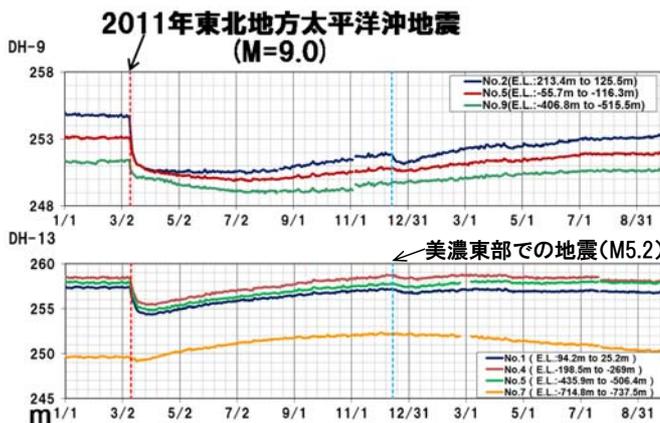


瑞浪における地下水観測

- ✓ 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)

東北沖地震に伴う地下水流動系の変化に関する検討



東濃地域の地下水圧の経時変化 (2011.1.1~2012.9.30)

地震後に変化した地下水圧も, 時間の経過につれて変化前の状態に回復していく傾向あり

東北地方太平洋沖地震に伴う地下水圧変化の理論計算値と観測値との比較の一部

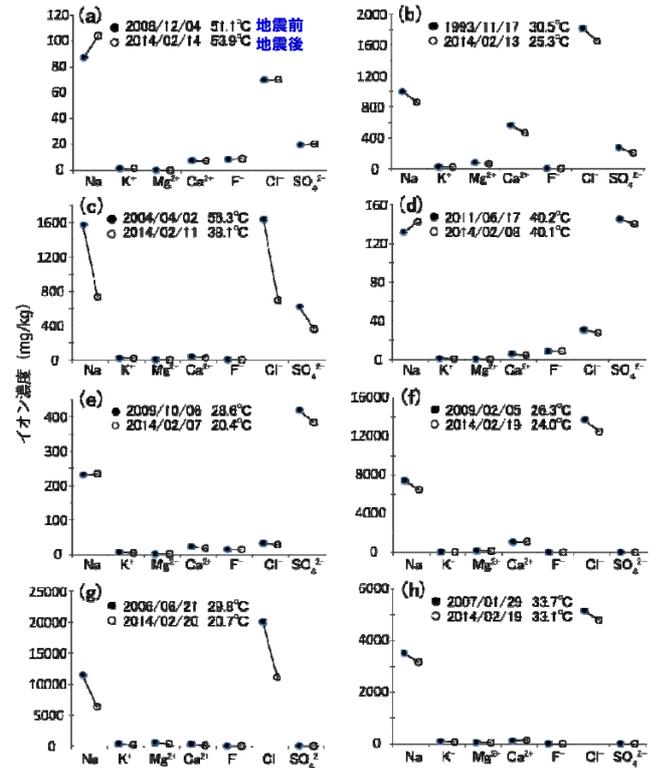
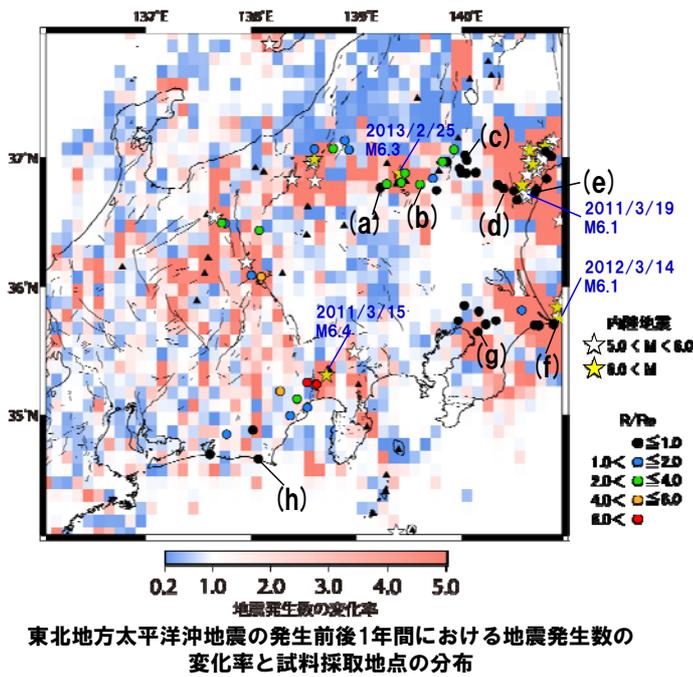
ボーリング孔	観測区間	地下水圧変化(水位換算)(cm)	
		理論計算値	観測値
DH-7	No.1	44	62
DH-7	No.2	33	46
DH-7	No.3	54	88
DH-7	No.5	65	35
DH-11	No.1	68	19
DH-11	No.3	65	33
DH-11	No.4	84	35
DH-11	No.5	78	39

- 地震前後に観測された地下水位の変化は, 断層モデルを用いた体積歪の変化に基づく理論計算値と概ね整合的

- ✓ 海溝型巨大地震によって生じる地下水流動等の地質環境の変化を予測・評価するための手法としての妥当性を確認

東北沖地震に伴う地下水流動系の変化に関する検討

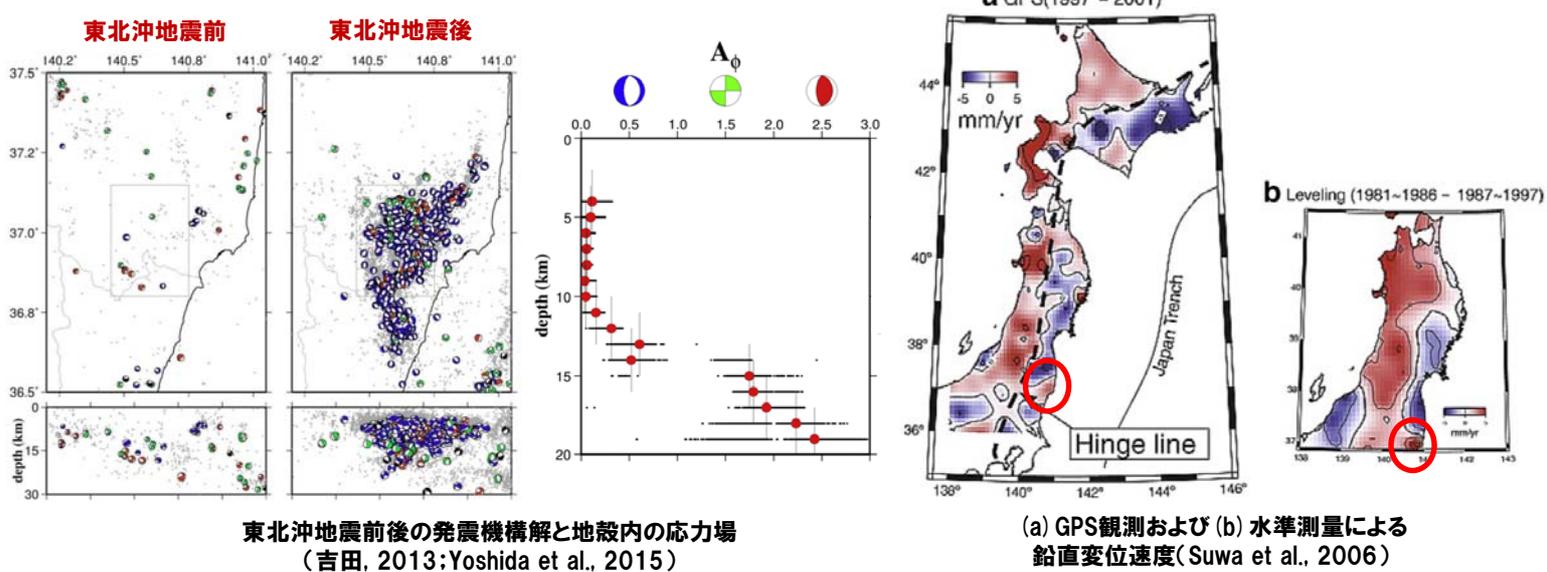
地震の前後における水質変化



● 地震発生の前後において、溶存成分に乏しい天水等が混入したことによると考えられるイオン濃度の微小な変化はみられるものの、顕著な変化は認められない。

茨城県北部～福島県浜通りの群発地震に関する事例研究

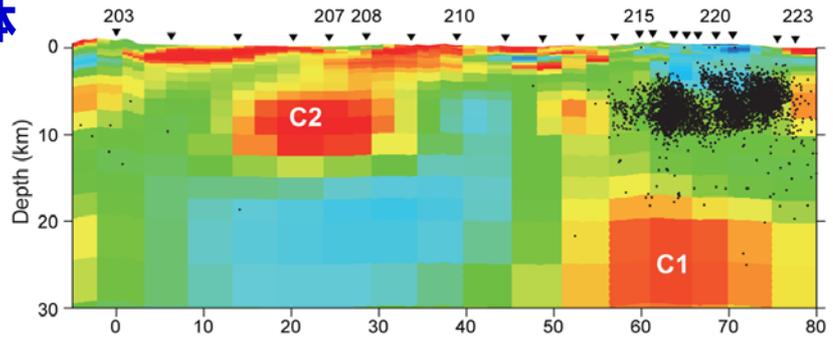
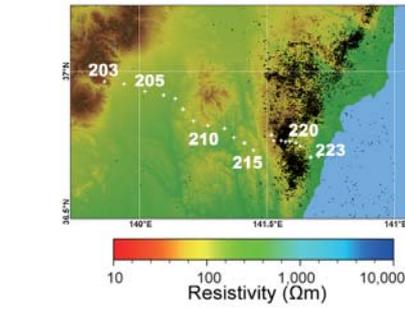
群発地震の活動域における応力場と地殻変動



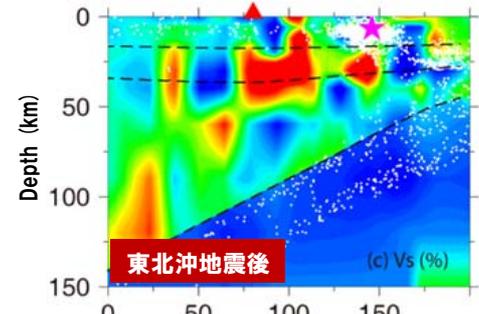
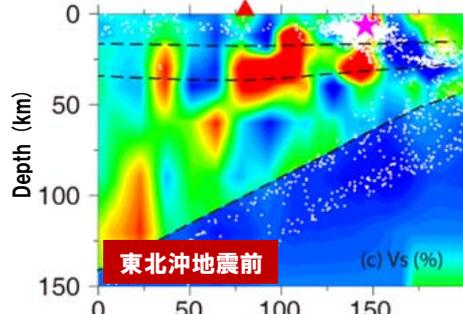
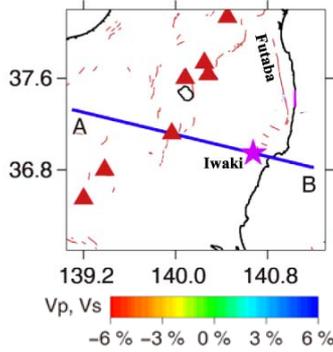
- ✓ 福島県浜通り～茨城県北西部では、東北沖地震の発生前から正断層型の地震活動が卓越
- ✓ 測地学的な観測によると、群発地震の活動域では顕著な隆起

茨城県北部～福島県浜通りの群発地震に関する事例研究

活動域における深部流体



群発地震活動域における比抵抗構造(Umeda et al., 2015)



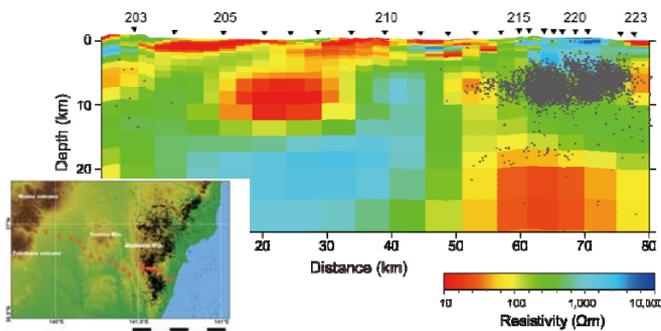
3/11前後の福島県浜通りの地震波速度構造(Vs)鉛直断面(Zhao, 2015)

- 低比抵抗体の上の高比抵抗体で群発地震が発生。また、地震波速度の低速度域とも調和的。
- この深部流体は東北沖地震発生以前から存在していたと考えられる。

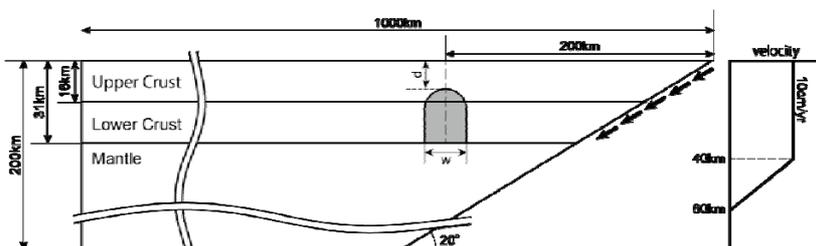
茨城県北部～福島県浜通りの群発地震に関する事例研究

地殻流体を考慮した粘弾性地殻変動シミュレーション

二次元有限要素法による粘弾性シミュレーション(Pylith; Aagaard et al., 2013)を用いて、浅部での伸張場や局所的な隆起が説明可能であるか(深部流体と地殻変動との関連性)を検討



群発地震活動域における比抵抗構造 (Umeda et al., 2015)



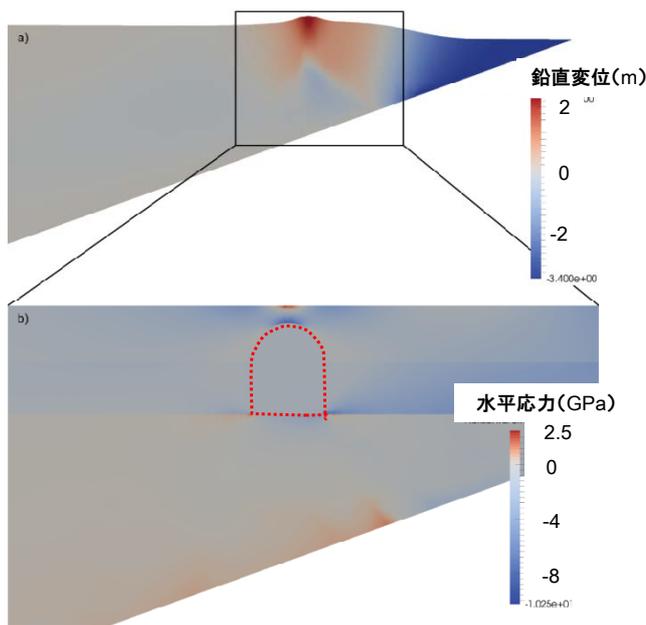
2次元シミュレーションのセットアップ

領域	パラメータ	値
上部地殻 (UC) 弾性体	P波速度 (V_{pUC})	5850 m/s
	S波速度 (V_{sUC})	3350 m/s
	密度 (ρ_{UC})	2725 kg/m ³
下部地殻 (LC) 弾性体	P波速度 (V_{pLC})	6600 m/s
	S波速度 (V_{sLC})	3700 m/s
	密度 (ρ_{LC})	2950 kg/m ³
マントル (M) 粘弾性体	P波速度 (V_{pM})	7800 m/s
	S波速度 (V_{sM})	4200 m/s
	密度 (ρ_M)	3250 kg/m ³
低比抵抗域 粘弾性体	粘性係数 (η_M)	10 ¹⁹ Pa · s
	含水率 (θ)	0.01
	P波速度	0.94 V_{pBG} ※
	S波速度	0.94 V_{sBG} ※
	密度	1000 θ + (1 - θ) ρ_{BG} ※
粘性係数	10 ¹⁸ Pa · s	

シミュレーションに用いたパラメータ

茨城県北部～福島県浜通りの群発地震に関する事例研究

■ 地殻流体を考慮した粘弾性地殻変動シミュレーション



深部流体分布域の幅20km, 上端深さ5km, 粘性係数を $1.0 \times 10^{18} \text{Pa} \cdot \text{s}$ として, 100年間の地殻変動を計算

- 深部流体分布域の周辺において, 鉛直上向きの変位が卓越
- 深部流体分布域の直上では圧縮場であるが, それ以浅では伸長場を示す
→ 当該領域の応力場や隆起を定性的に再現
- これらの特徴は, 深部流体分布域(粘弾性体)の変形が周辺に比べて大きいことなどによる地殻浅部の屈曲に起因すると考えられる。
→ 地殻内に存在する流体が, 周辺の地殻変動場や地震活動場に関与していることを示唆

✓ 深部流体の分布を把握することで, 海溝型巨大地震に伴う内陸地震の発生可能性を評価できることを示唆

これまでの成果と課題

【これまでの成果】

- ✓ 東北地方太平洋沖地震を事例とした, 地下水圧変化の理論値と観測値が概ね整合的であることを確認
⇒ 地震に伴う地下水位の変化を予測・評価するための手法を提示
- ✓ 東北地方太平洋沖地震後に発生した群発地震の活動域を事例とした地殻変動シミュレーションにより, 活動域の応力場や局所的な隆起を定性的に再現
⇒ 深部流体の分布を把握することで, 海溝型巨大地震に伴う内陸地震の発生可能性を評価できることを示唆

【今後の課題】

- ✓ 他の現象(例えば, 巨大火山体の形成による短期間の地形・地下水理変化)に関する検討