

## 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

# 時間スケールに応じた地圏環境変動の予測技術

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

# 外挿による地質環境の将来予測

処分場の選定や安全性を検討していく際に**考慮すべき時間スケール**の中で、**自然現象が影響を及ぼす範囲**やそれに伴う**地質環境の変動の大きさ**を一定の裕度をもって示していくことが重要。

地質学的現象についての将来予測の方法としては外挿法が一般的。  
(日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会, 2011)

## ■ 外挿法

- ① 過去から現在までの現象の法則性の抽出
- ② 現象発現の要因、メカニズムの解明
- ③ 現象を支配する要因の永続性
- ④ ①～③に基づき過去の変動傾向を将来へ外挿

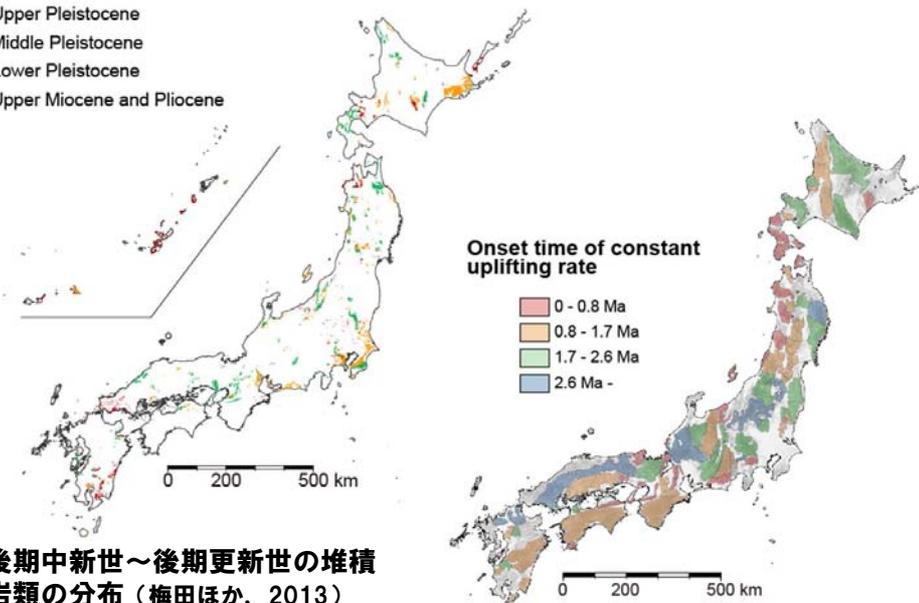
予測可能な期間を検討するためには、**変動の一樣継続性がどの地域でいつ頃に成立したかを明らかにする必要がある。**

○ **第四紀後期における地殻変動（変位の向き・速度）の一樣継続性（松田, 1988）**

## 地殻変動の一樣継続性

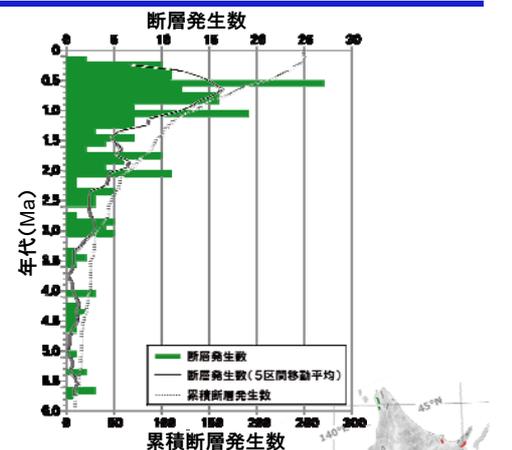
### Distribution of sedimentary rocks

- Upper Pleistocene
- Middle Pleistocene
- Lower Pleistocene
- Upper Miocene and Pliocene

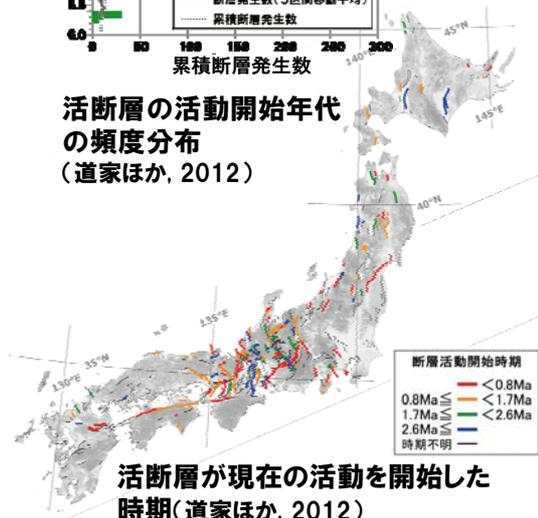


後期中新世～後期更新世の堆積岩類の分布（梅田ほか, 2013）

山地の隆起速度が一定となった時期（初期高度0mと仮定）（梅田ほか, 2013）



活断層の活動開始年代の頻度分布（道家ほか, 2012）



活断層が現在の活動を開始した時期（道家ほか, 2012）

**多くの地域で地殻変動の一樣継続性はおよそ百万年～数十万年前以降の現象**

# 外挿による予測・評価

日本第四紀学会（1987）では、変動の一樣継続性が成立している場合には、過去から現在までの変動傾向・速度を同程度の期間の将来まで外挿することが可能であることを示唆

過去の期間（N）に成立していた関係性（定常性）は、将来になればなるほど変化し、 $0.1N \sim 0.2N$ 程度であればその関係性が継続する確率が高い  
（ビュー・コミュニケーションズ, 2010）

およそ百万年～数十万年前以降に変動の一樣継続性が成立した地域では、外挿法によって地質学的現象の将来予測は長くても十万年程度が妥当

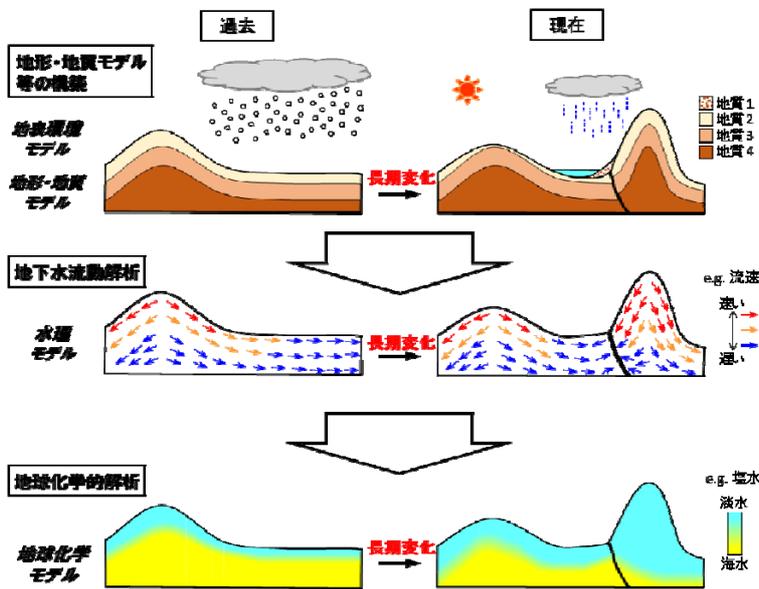
過去数十万年以上のイベントの追跡が可能な地質学的情報に基づく古水理地質学的なアプローチによって、再現された地下水の動きや水質などの変動パターンを外挿することにより将来の変化の幅を推定

## 地質環境長期変動モデルの開発

## 地質環境長期変動モデル

**【目標】** 過去から現在までの地形・地質構造の復元およびそれに基づく地下水の流れや水質の変化を再現するための一連の調査・評価・解析手法を提示する。

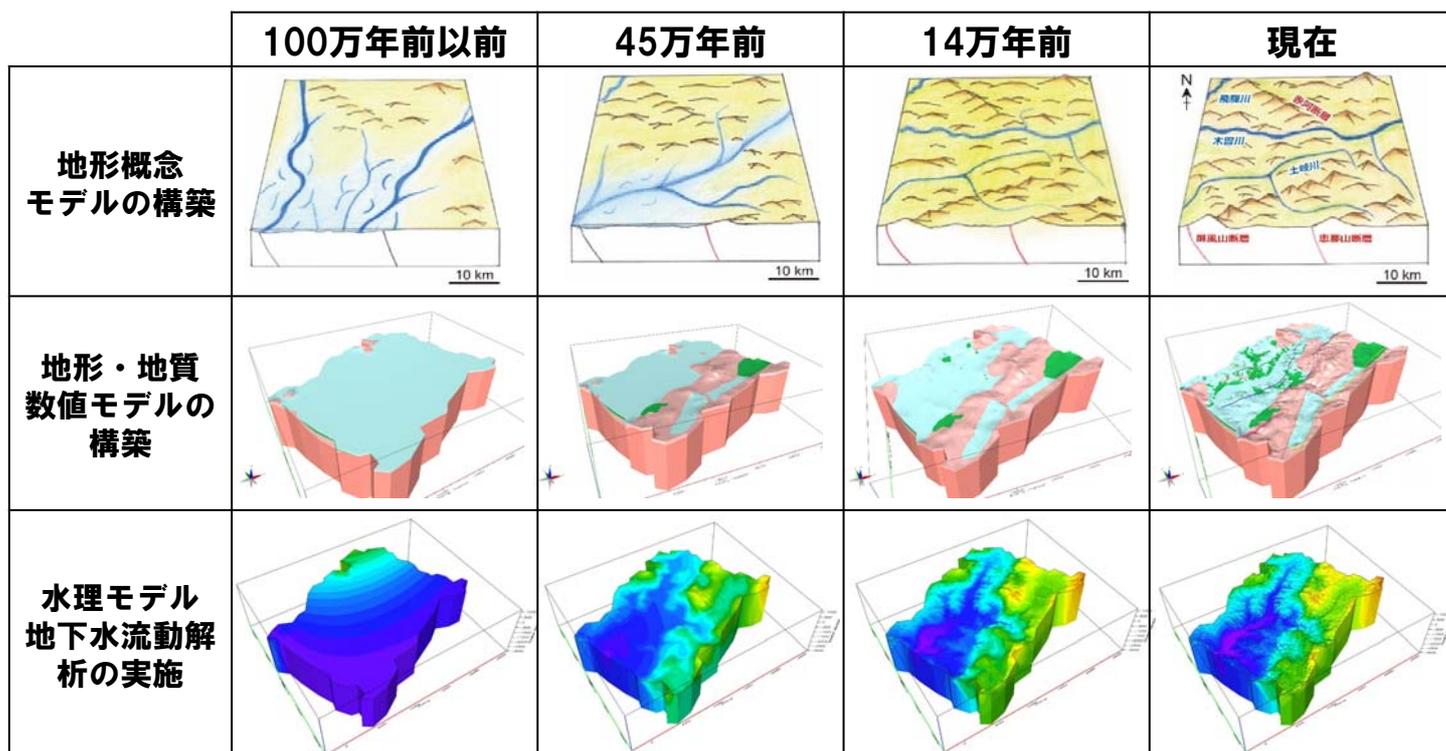
**【内容】** これまで個別に進めてきた地形・地質モデル、水理モデル等を統合化した「**地質環境長期変動モデル**」の構築とそのための数値化・可視化技術の整備



個別モデルの統合化のイメージ

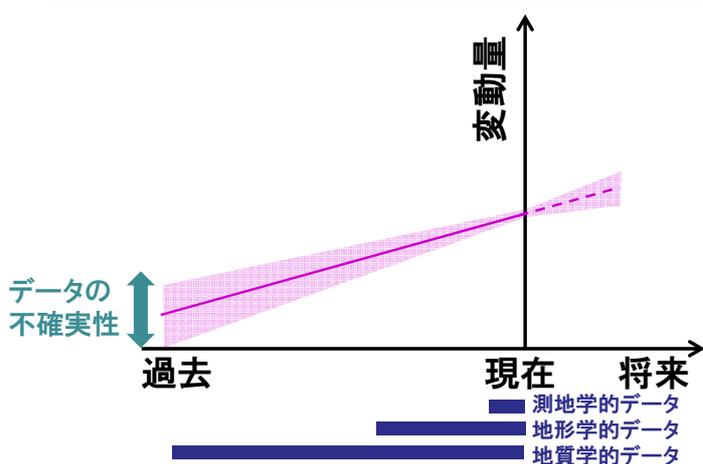
- 山間部・平野部における地質環境特性の長期的な変動を示す方法論の整備
- 長期的な時間変動の違いを空間的に把握する技術の提示

# 地質環境長期変動モデル



- 過去から現在までの地形・地質モデルの構築およびそれに基づく地下水流動解析等を実施  
⇒ 今後、地球化学モデルを踏まえたモデルの統合化と可視化および不確実性の評価手法の検討を実施

## 将来予測に伴う不確実性をどのように扱うか？

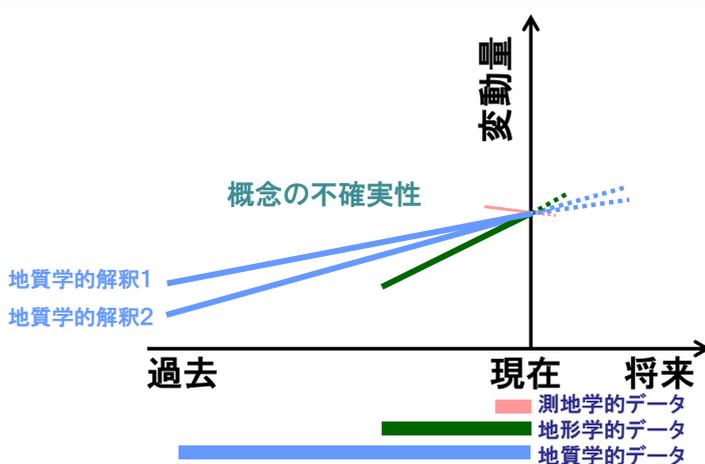


### ① データの不確実性

取得されるデータや情報などに含まれる不確実性。測定の誤差、精度、確度などによって生じる。

- 調査・分析技術の高度化・体系化などから不確実性の低減が可能

⇒ 調査技術の開発・体系化  
年代測定技術の開発



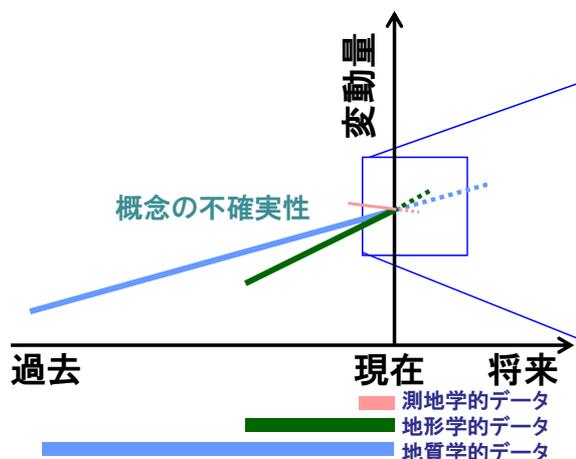
### ② 概念化の不確実性

データの解釈に起因する不可避な時間的・空間的な不確実性。

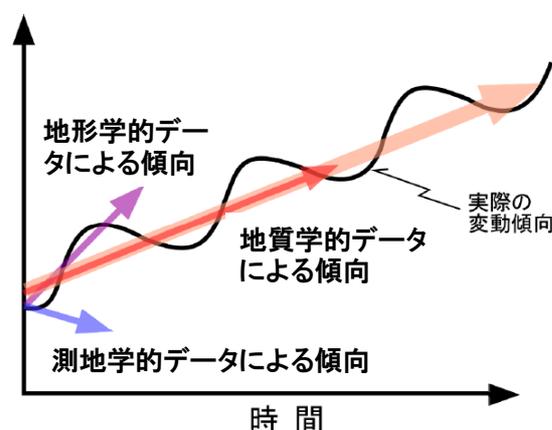
- 複数のシナリオによる変動の幅を考慮した評価  
⇒ 地質環境長期変動モデルの開発
- 遡れる過去のデータを踏まえた予測手法の選定  
⇒ 外挿法が適用できない時間や空間は、確率論的評価手法、数値シミュレーション(後述)

# 外挿法による予測が困難な場合や大きな不確実性を伴う場合

十万年以上の長期や時間スケールごとの変動方向・速度が大きく異なる場合は、**大きな不確実性が伴う**。



外挿法による不確実性の変化の模式図

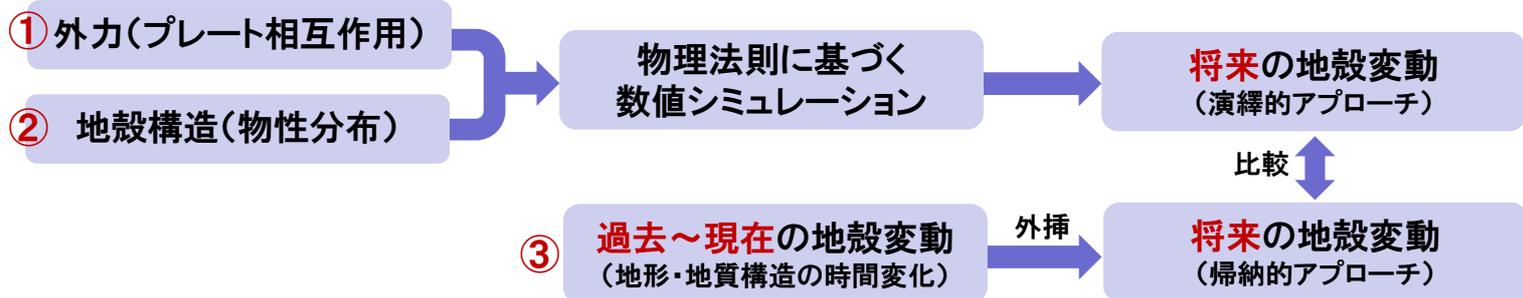


時間スケールごとの変動方向・速度が異なる場合の地殻変動の傾向の模式図

地形・地質学的手法による過去～現在の変遷に基づいた帰納的なアプローチに加えて、変動のメカニズムを考慮した数値シミュレーションによる演繹的な予測・評価も重要

## シミュレーションに基づく地質環境長期変動モデル

【目標】 数値シミュレーションによって地殻変動の時間発展を解くことで将来(十万年オーダ)の変動を予測する技術を構築する。



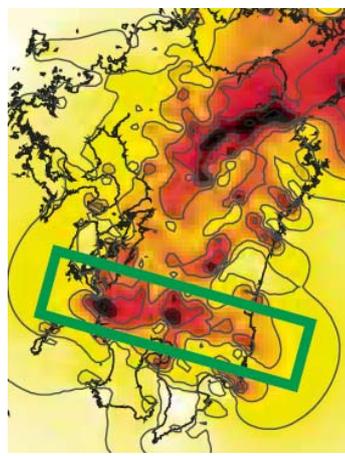
### 【実施内容】

- ① 過去の変動に基づいたデータの取プレート間の相互作用モデルの構築  
⇒ 活断層の平均変位速度から推定した地質学的ひずみ速度を推定  
⇒ 今後、フォワード・モデルモデリングにより、プレート間(太平洋・フィリピン海・フィリピン・北米プレート)の相互作用をモデル化
- ② 地下構造の不均質による非弾性変形に関する検討  
⇒ 地殻構造の高空間分解能イメージング技術にて紹介
- ③ 過去～現在の地殻変動に係るデータの取得 ⇒ 次頁から

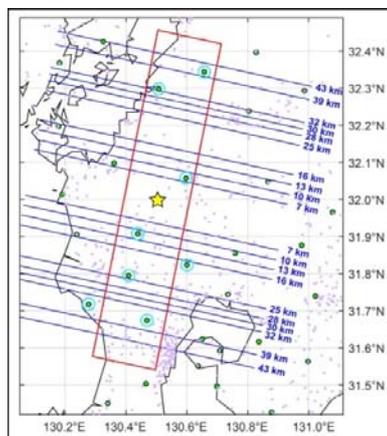
### ③ 過去～現在の地殻変動に係るデータの取得(測地)

- 測地学、地形学、地質学的手法に基づいて現行地殻変動の特徴やメカニズムを把握
- それらを考慮して時間スケールに応じた地殻変動の傾向・速度やプロセスを把握

#### 【九州南部せん断帯における測地学的手法の事例研究】



GPS観測によるせん断ひずみ分布  
(Wallace et al., 2009)



GPS観測点配置の検討

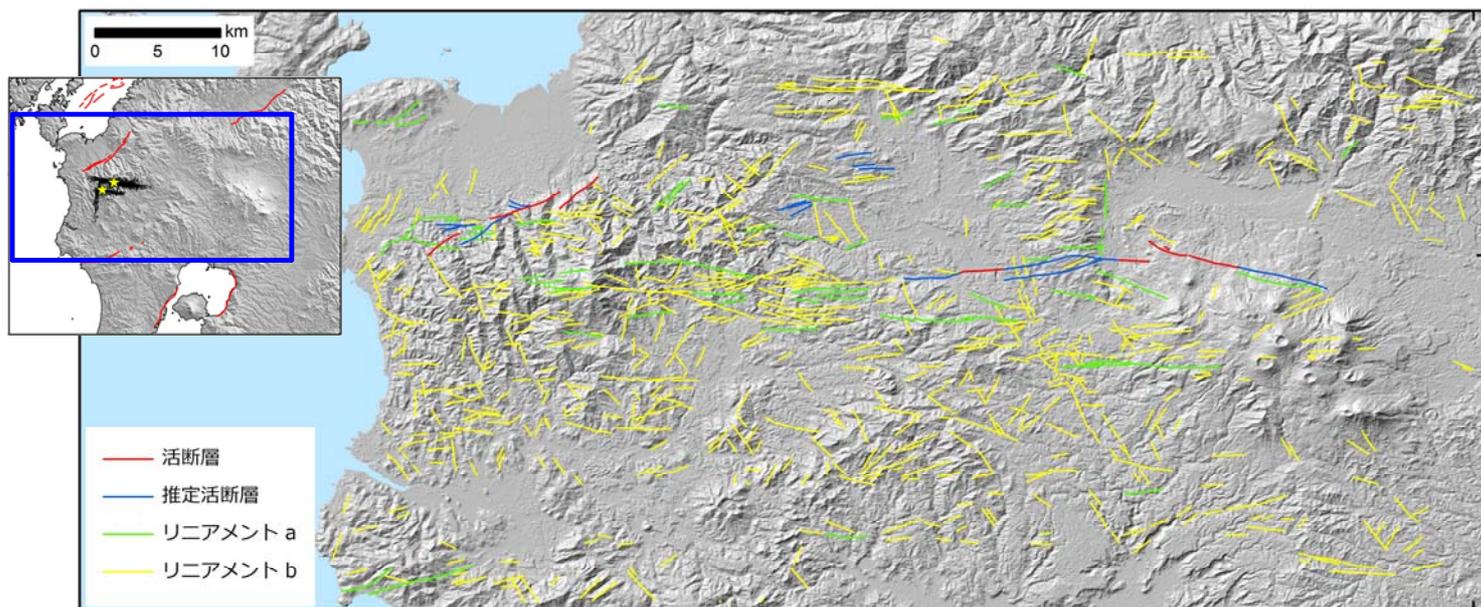


設置するGPS観測装置

- 高空間分解能でせん断帯周辺の地表変動やひずみ速度分布を求めるため、せん断帯下にすべり面が存在すると仮定した場合に期待される地表変動を効果的にとらえることが可能なGPS観測点配置を検討
- ⇒ 10地点の新たな観測点を想定: せん断帯中心より7, 10, 13, 16, 25, 28, 30, 32, 39, 43km地点が最適
- ⇒ GPS観測装置の設置作業中

### ③ 過去～現在の地殻変動に係るデータの取得(地形)

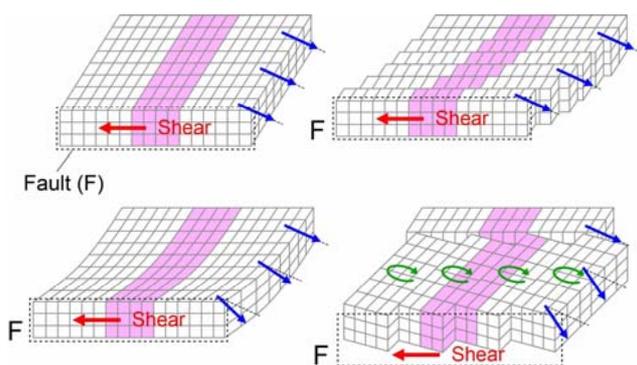
#### 【九州南部せん断帯における地形学的手法の事例研究】 リニアメントに注目した空中写真判読



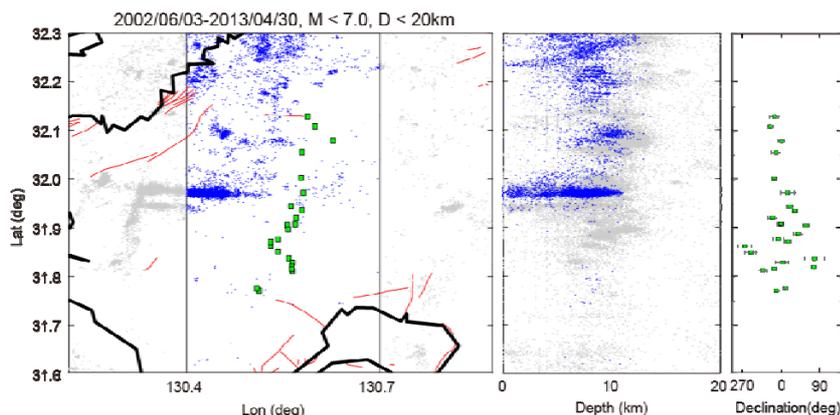
- 1997年鹿児島県北西部の地震の震源域付近に余震分布と同走向の比較的長いリニアメントが認められ、その西方では断続的に分布。一部に活断層の可能性のあるリニアメントが分布。
- ⇒ 地形学的時間スケールにおいて、せん断帯の影響が認められる。
- ⇒ 活断層の認定には詳細な調査が必要

# ③ 過去～現在の地殻変動に係るデータの取得(地質)

## 【九州南部せん断帯における地質学的手法の事例研究】



横ずれ断層近傍の岩盤変形モデル  
伊藤（2002）を参考に作成



せん断帯付近の震源分布と古地磁気（偏角の特徴）

- 岩盤変形を把握するため、後期中新世～更新世の火山岩類の古地磁気測定を実施
  - 測定の範囲内の北部と南部で違いが認められる可能性がある(南部の方がばらつきが大きい)。
  - 直線成分がうまく抽出できていない測定結果が認められることから、別の解析法を用いて磁化方向を高確度に決定する必要がある。
- ⇒ 確度の高い磁化方向を決定する解析を行い、試料の詳細な形成時期も踏まえた地質学的スケールでのせん断帯との関係の検討が必要

## 今後の計画

### 時間スケールに応じた地圏環境変動の予測技術

#### ①時間スケールに応じた地殻変動の一様継続性の評価

- 地形・地質データの収集・整理
- 時間スケールに応じた地殻変動の様式・速度等の解析

#### ②地質環境長期変動モデルの構築

- 地質環境長期変動モデルの開発
- 変動様式・速度の違いに応じた予測手法と不確実性の評価手法の開発
- 地形・地質学データと測地学データの収集、空間的な変動様式・速度の違いの検討
- 地殻構造の不均質性を考慮した数値モデルによるシミュレーション

#### ③超長期の変動に関する確率論的評価手法の開発

- 新規火山・断層の発生に係る確率論的モデルの構築
- プレートシステムの転換を考慮した multiple inference モデルの開発