

隆起・侵食/気候・海水準変動に関する研究

— 第1期中期計画期間(H17～H21)の研究成果について —

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

隆起・侵食/気候・海水準変動に関する研究

1. 隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

・河成段丘を用いた内陸部における万年オーダーの隆起量の推定技術

2. 気候・海水準変動に関する調査技術

・内陸小盆地堆積物を用いた万年オーダーの古気候変動の推定技術

3. 三次元地形変化モデルの開発

・侵食・堆積に伴う大局的な地形変化をシミュレートする技術

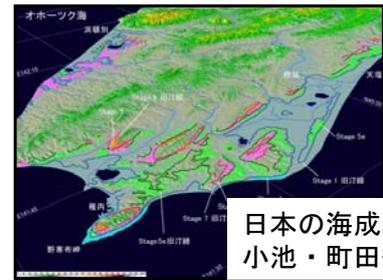
4. 地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

・地形変化を考慮した地下水流動解析

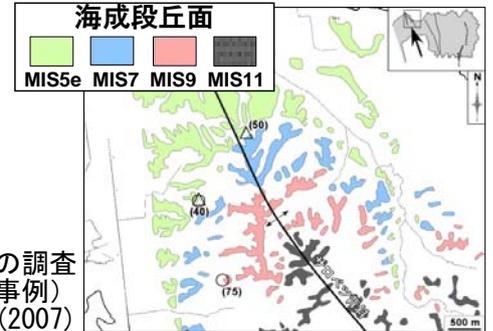
隆起量を推定する調査手法

隆起量の推定手法および指標

	指標	手法の特徴
地形学的 手法	河成 段丘面	異なる時期に形成された 河成段丘面の高度差から推定
	海成 段丘面	海成段丘(旧汀線)の 高度から推定
地質学的 手法	深成岩の 形成深度	地温勾配を用いて岩体の冷却史と 冷却モデルから推定
	堆積物の 古水深	層相, 化石などから堆積環境を把握 し, それらの現在の高度から推定



日本の海成段丘アトラス
小池・町田編 (2001)



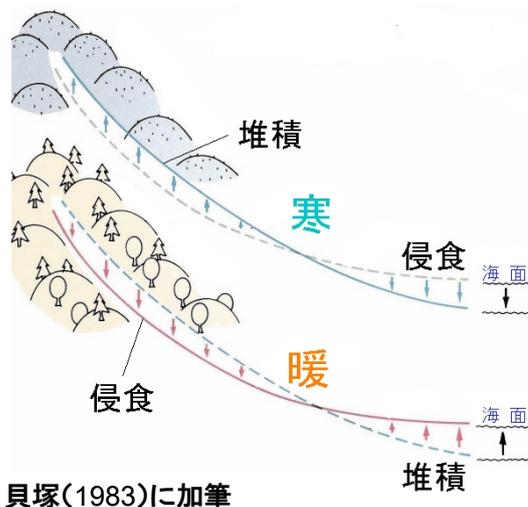
海成段丘面の調査
(幌延地域の事例)
太田ほか(2007)

海成段丘を用いた手法は一般的な手法として広く使われており, 多くの情報や研究が存在する。
 → 日本の海成段丘アトラスの出版, 幌延地域での事例研究など
 河成段丘を用いた手法はいくつかの事例があるものの, 日本における河成段丘発達モデルの
 適用性と適用可能な地域を示す必要がある。

河成段丘を用いた内陸部の隆起量の推定技術

第1期中期計画期間の目標:

内陸部における万年オーダーの隆起量を推定するため,
河成段丘を用いた調査手法の適用性を確認し, その手法を提示する。



貝塚(1983)に加筆

気候・海水準変動に伴う
河成段丘発達モデル

気候・海水準変動に連動して, 河床高度が
規則的に変化するというモデル
(河成段丘発達モデル)に立脚



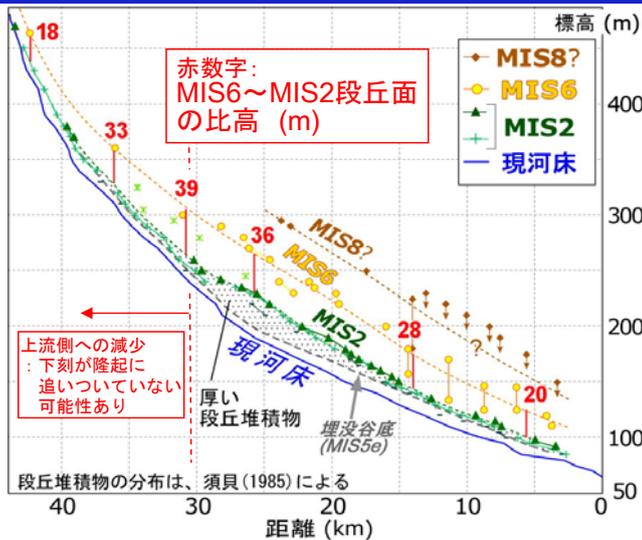
内陸部(中・上流部)では
モデルの正否が不明確

モデルに適合した河成段丘が発達していることを示す
 ・氷期に埋積
 ・概念図の縦断形と類似

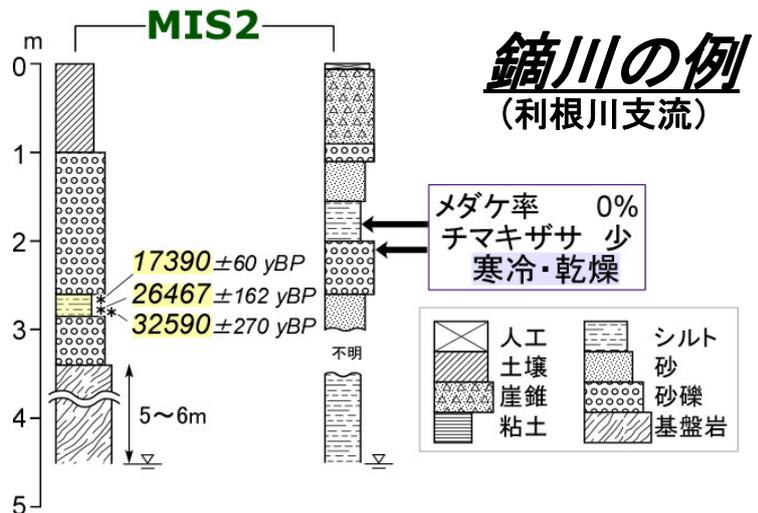


段丘面を用いた隆起速度推定法が適用可能

河成段丘を用いた内陸部の隆起量の推定技術



鎚川の河床縦断面図



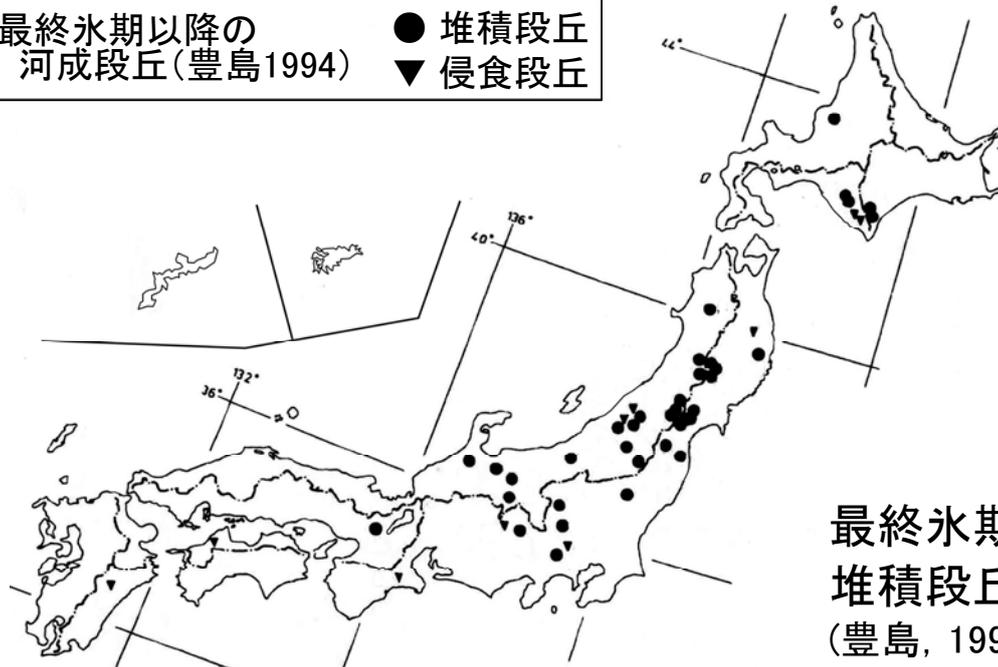
段丘堆積物の¹⁴C年代値とプラントオパールの特徴

- 段丘の分布形態: 直線的な縦断形 & 厚い段丘堆積物 = 概念図の縦断形と類似
- 段丘の形成時期: ¹⁴C年代測定からMIS2 & プラントオパールから寒冷・乾燥 = 氷期に埋積
→ 河成段丘発達モデルと整合的
→ 内陸部における万年オーダーの隆起量を推定する調査手法(概要調査等に反映)
(※河床縦断面図を作成して, 段丘の比高の変化から適用範囲の検討が可能)

河成段丘を用いた内陸部の隆起量の推定技術

西南日本では河成段丘の発達が良くない
→ 西南日本では河成段丘を用いた隆起量の推定が困難

最終氷期以降の河成段丘(豊島1994) ● 堆積段丘 ▼ 侵食段丘



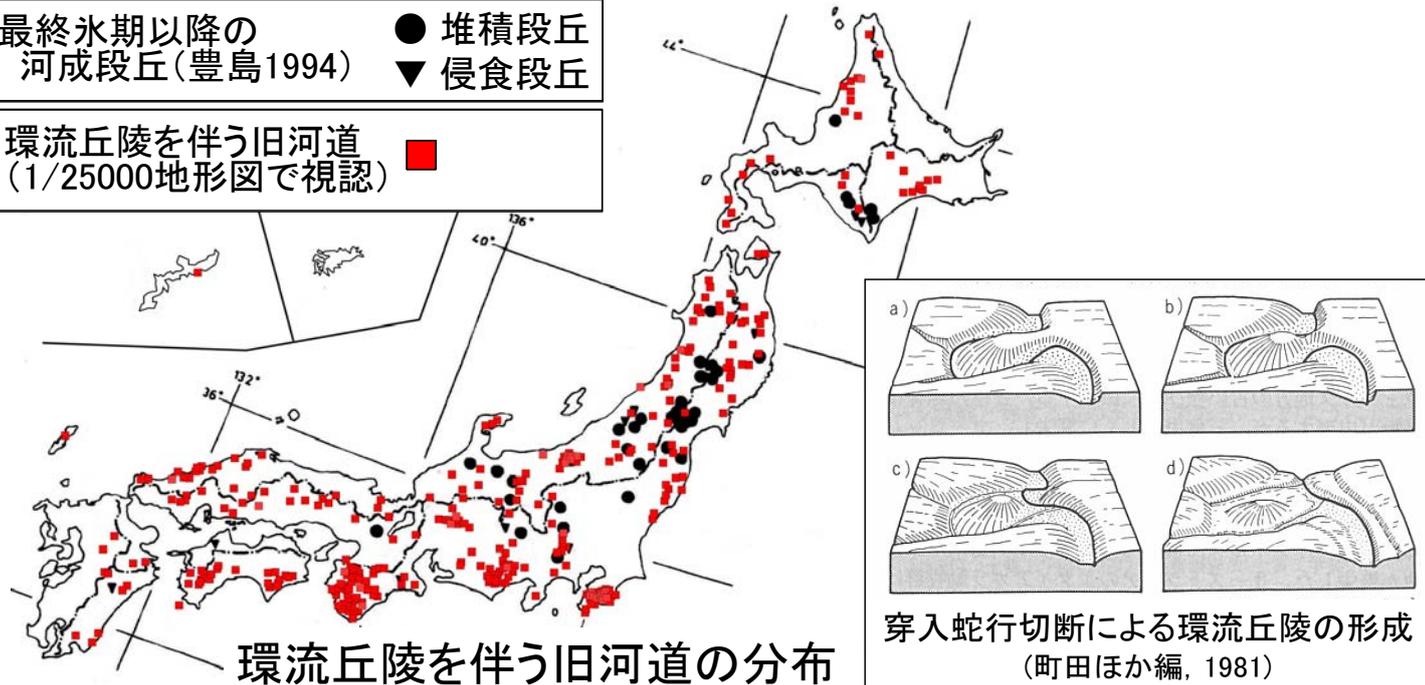
最終氷期後半(MIS2)の堆積段丘の分布(豊島, 1994)

河成段丘を用いた内陸部の隆起量の推定技術

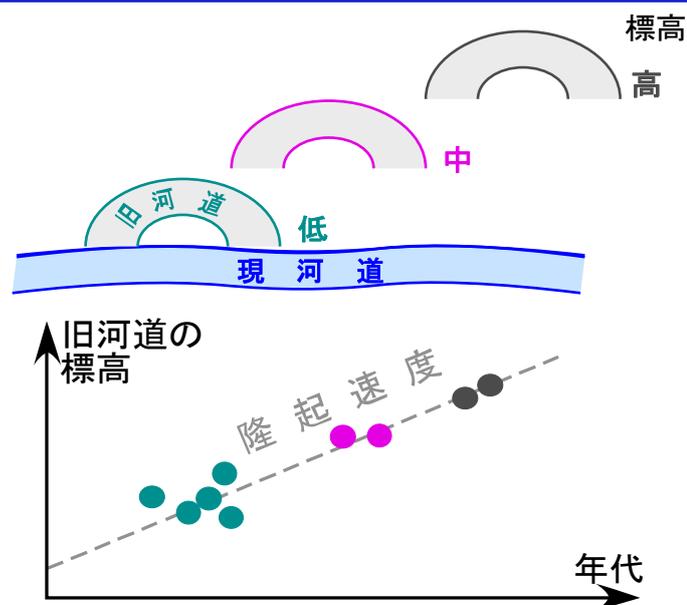
穿入蛇行する河川の切断等で形成された旧河道（環流丘陵を伴う場合が多い）→ 日本の内陸部に多く分布する

最終氷期以降の河成段丘(豊島1994) ● 堆積段丘 ▼ 侵食段丘

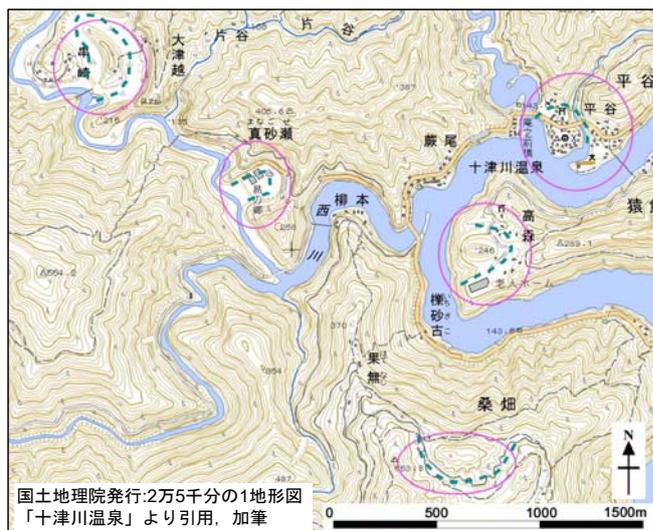
環流丘陵を伴う旧河道 (1/25000地形図で視認) ■



河成段丘を用いた内陸部の隆起量の推定技術



旧河道を用いた隆起量の推定(概念図)



環流丘陵を伴う旧河道の例
十津川(熊野川)流域

穿入蛇行切断等で形成された比高が異なる旧河道の離水時期を明らかにすることで、過去のある期間の隆起量を推定できる可能性がある。

→旧河道を指標とした隆起量推定手法の開発を目指した研究を開始

隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究

1. 隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

・河成段丘を用いた内陸部における万年オーダーの隆起量の推定技術

2. 気候・海水準変動に関する調査技術

・内陸小盆地堆積物を用いた万年オーダーの古気候変動の推定技術

3. 三次元地形変化モデルの開発

・侵食・堆積に伴う大局的な地形変化をシミュレートする技術

4. 地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

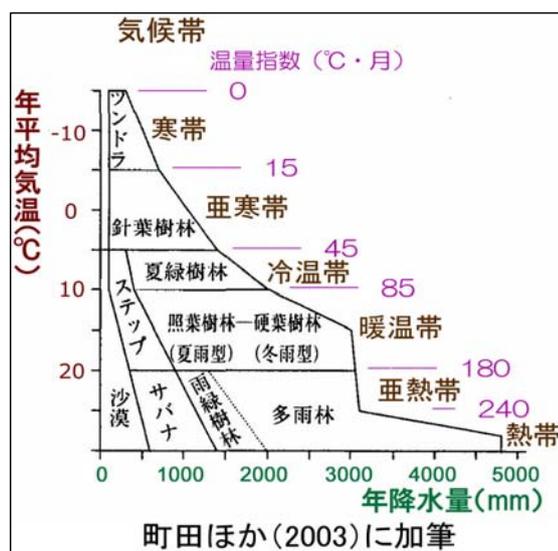
・地形変化を考慮した地下水流動解析

古気候を推定する調査手法

古気候の推定指標と手法

指標	古気候への反映手法	特徴
花粉	花粉から推定した樹種に基づき古気候を推定	モダンアナログ法により 気温、降水量等の定量化が可能
プラント オパール	植物珪酸体から推定した樹種に基づき古気候を推定	現地性が高い 花粉が保存されにくい 風成層でも適用可能
珪藻	卓越する珪藻化石群集に基づき古水温・古海流を推定	海洋性の堆積物で適用が可能 化石群集の生息可能温度域に基づき、古海水温の変遷が復元可能
有孔虫	卓越する化石群集及び化石中の $\delta^{18}O$ の量に基づき古気候を推定	

上記以外に、粒度や化学分析による推定も可能



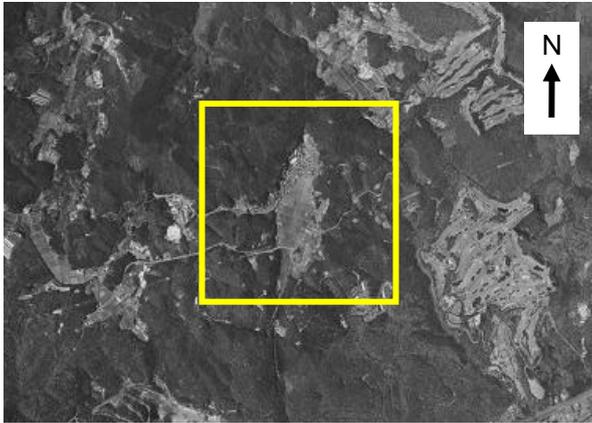
世界の植物群系と気候帯

- 様々な指標から過去の気候に関する情報(寒暖など)を取得可能
- モダンアナログの考え方により花粉から過去の気温や降水量をある程度推定することが可能
- 調査地域毎の万年オーダーの古気候変動に関する情報が長期の地質環境の推定に必要
→ 調査地域近傍の堆積物から過去(特に氷期)の気候に関する情報を取得

内陸小盆地堆積物を用いた古気候の推定技術

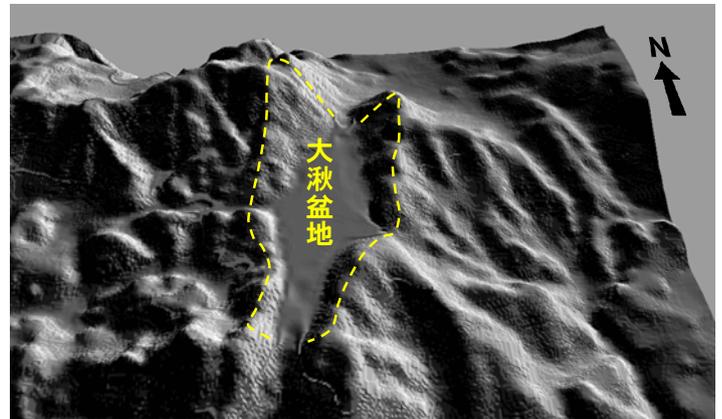
第1期中期計画期間の目標:

万年オーダーのローカルな古気候(気温, 降水量)変動を推定するため, 内陸小盆地堆積物を用いて花粉分析によるモダンアナログの有効性を提示する。



大湫盆地周辺の空中写真

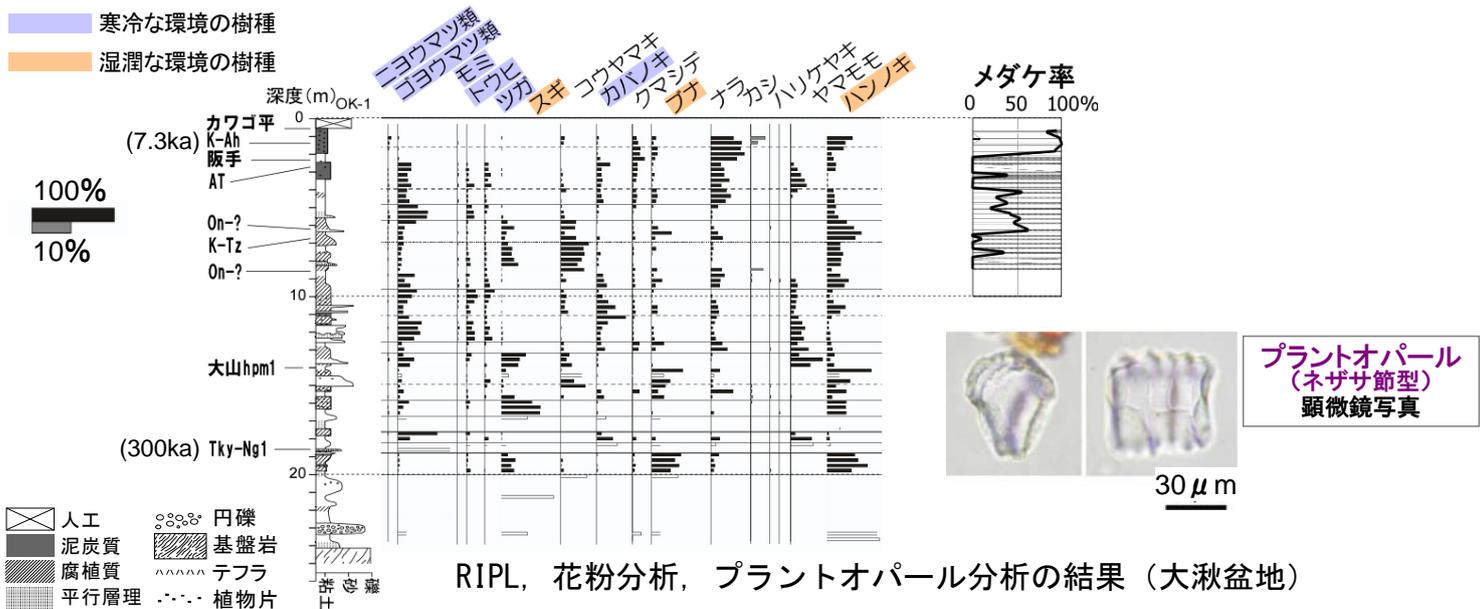
国土地理院撮影: CB-2004-3X C5-10の一部を使用



大湫盆地周辺の鳥瞰図

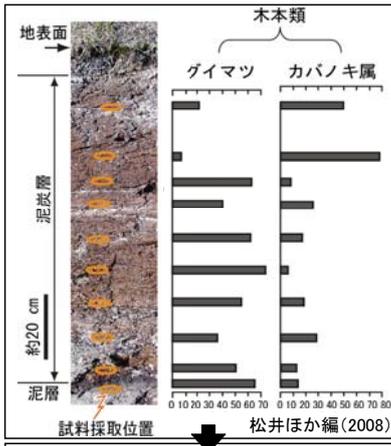
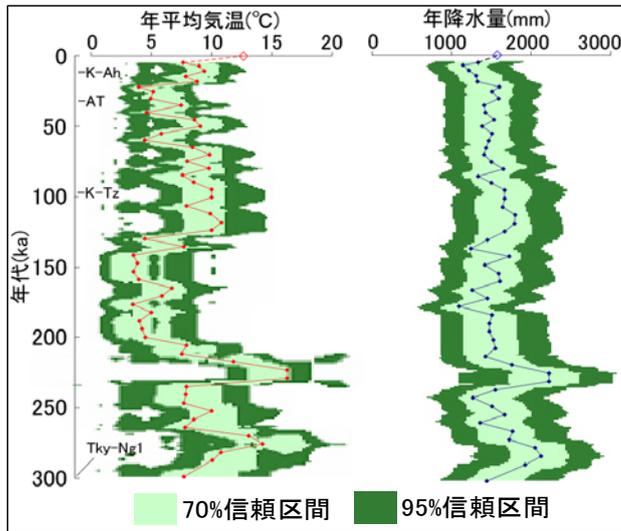
周囲を山で囲まれた閉じた盆地
北海道地図(株)10mメッシュDEMを使用して作成

内陸小盆地堆積物を用いた古気候の推定技術

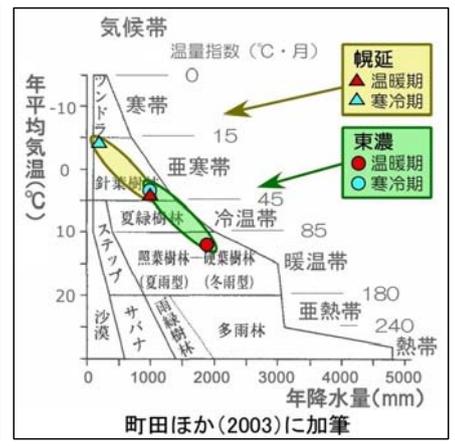


- 大湫盆地には過去約30万年間の堆積物が存在(RIPLを適用して判明)
- 花粉化石の産出が良好であり, 寒・暖それぞれの特徴を示す種を確認
- プラントオパールの産出の特徴は, 花粉化石の産出量の特徴と同様の傾向
→ 万年オーダーのローカルな古気候変動を推定する手法(地下水流動解析等に反映)

内陸小盆地堆積物を用いた古気候の推定技術



現在と比較して
年平均気温: 約8°C低い
年間降水量: 約750~1000 mm少ない



両地域の古気候(推定)と
植生群系・気候帯との対応

モダンアナログ法による古気候の推定(東濃地域)
Polygon (中川, 2008)を使用して作成

モダンアナログの考え方に基づいた
寒冷期の古気候の推定(幌延地域) 中山ほか編(2008)

- 内陸小盆地堆積物の花粉化石を用いたモダンアナログの考え方により
過去数十万年程度の大まかな気候(気温, 降水量)を推定
→ 万年オーダーのローカルな古気候変動を定量的に推定する手法(地下水流動解析等に反映)
- 過去の推定値が現在のどの地域に分布するかを把握 → 環境の推定の参考

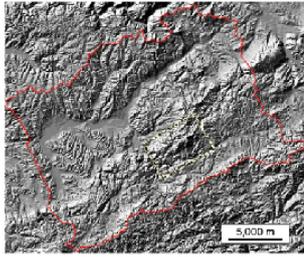
隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究

1. 隆起・沈降・侵食等に関する調査技術
 - ・河成段丘を用いた内陸部における万年オーダーの隆起量の推定技術
2. 気候・海水準変動に関する調査技術
 - ・内陸小盆地堆積物を用いた万年オーダーの古気候変動の推定技術
3. 三次元地形変化モデルの開発
 - ・侵食・堆積に伴う大局的な地形変化をシミュレートする技術
4. 地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発
 - ・地形変化を考慮した地下水流動解析

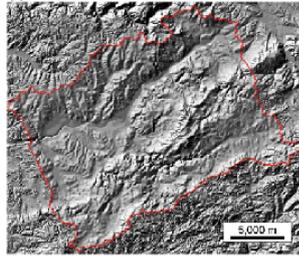
将来の地質環境条件の変動幅を推定する2つの方法

将来の地形変化をシミュレート → 地下水流動解析 → 変動幅の把握

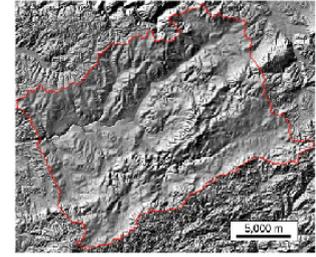
現在



5 万年後



12 万年後



地形変化シミュレーションの結果

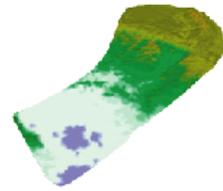
核燃料サイクル開発機構 (2005)

過去～現在の地形変化 → 地下水流動解析 → 過去～現在の地下水流動特性の変動傾向を将来へ外挿して変動幅を推定

1.5Ma



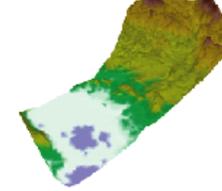
1.1Ma



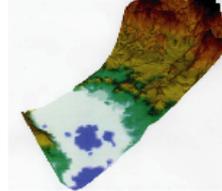
0.6Ma



0.2Ma



0.0Ma



既存情報に基づいて作成した過去から現在の概括的な地形変化モデル

地質環境の長期安定性研究検討委員会

第7回(2009年11月16日) 15

隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究

1. 隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

・河成段丘を用いた内陸部における万年オーダーの隆起量の推定技術

2. 気候・海水準変動に関する調査技術

・内陸小盆地堆積物を用いた万年オーダーの古気候変動の推定技術

3. 三次元地形変化モデルの開発

・侵食・堆積に伴う大局的な地形変化をシミュレートする技術

4. 地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

・地形変化を考慮した地下水流動解析

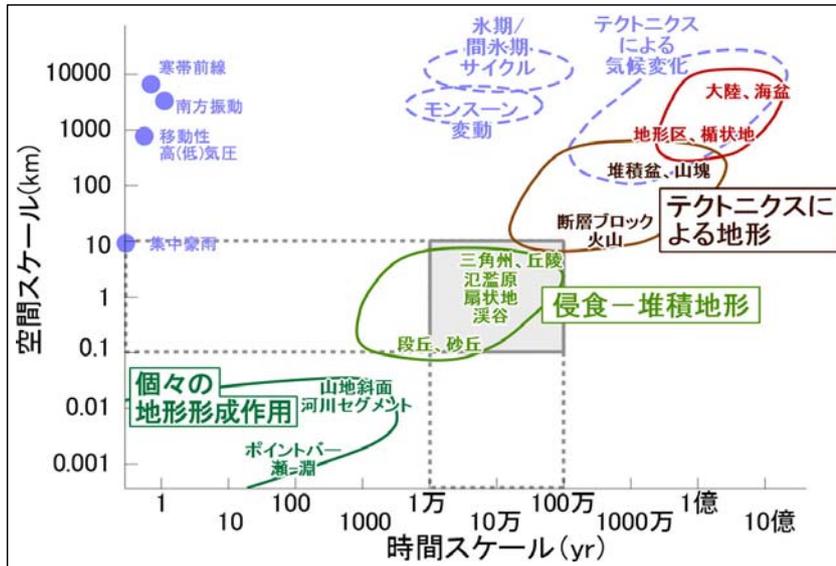
地質環境の長期安定性研究検討委員会

第7回(2009年11月16日) 16

地形変化シミュレーション技術

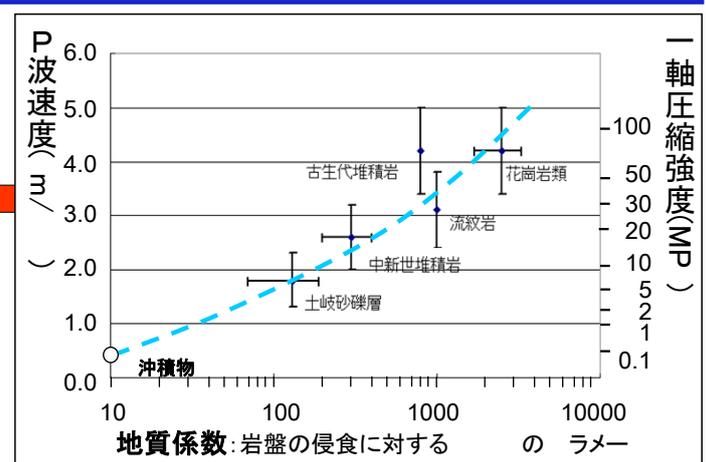
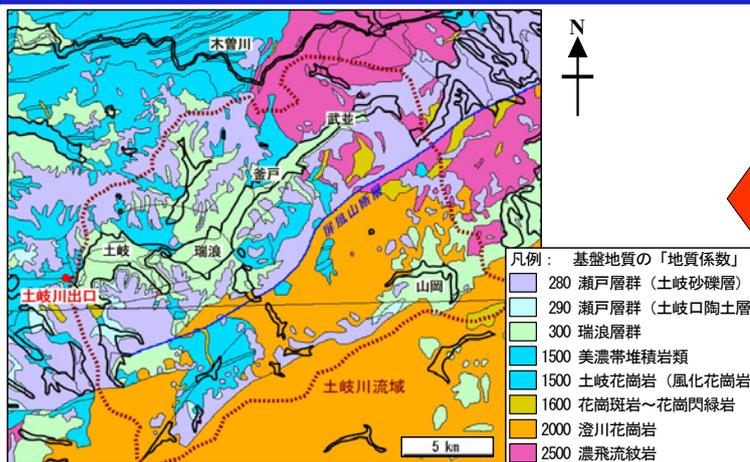
第1期中期計画期間の目標:

侵食・堆積に伴う大局的な地形変化をモデル化するため、発生する可能性がある地形変化の抽出及び過去～現在の地形変化モデルの妥当性の確認を行うシミュレーション技術を提示する。



地形変化シミュレーションで対象とする地形変化のスケール

地形変化シミュレーション技術



「地質係数」分布の設定例(土岐川流域)

地質分布: 20 分の1シー レス地質図(川(1980)を 考)に作成 (2007)と

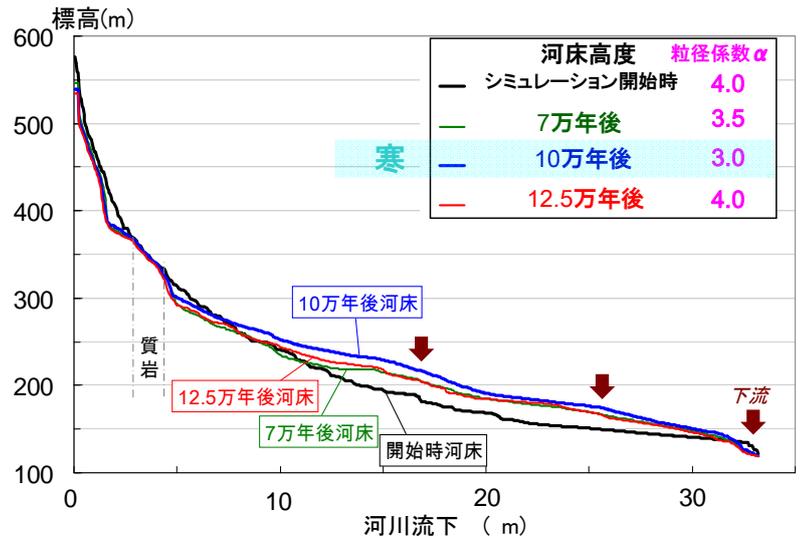
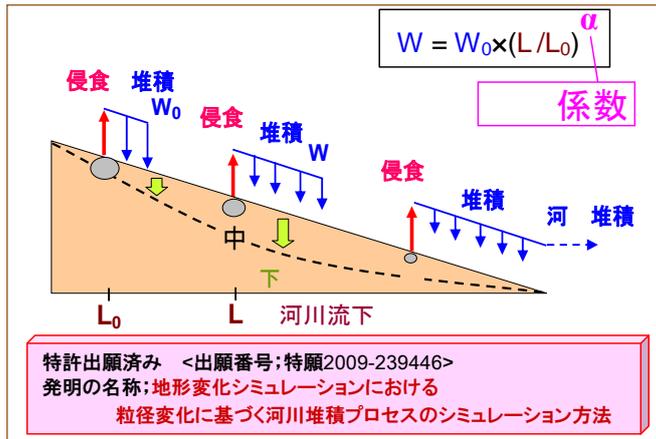
「地質係数」と岩石物の

岩種 のP波速度 : 田(1991)よ 用
物 間の対 係: 物理学 (1998)よ 用
地質係数の変 : のシミュレーション 行例よ 定

- 地形の従順化モデルに基づいて、地形変化をシミュレートする基本プログラムを開発
 - 断層活動, 河川争奪, 側方侵食等を表現できるプログラムに改良
 - 地質分布, 河床礫の粒径変化を考慮したプログラムに改良
- 侵食・堆積に伴う大局的な地形変化をシミュレートする技術(地下水流動解析等に反映)

地形変化シミュレーション技術

粒径変化モデル

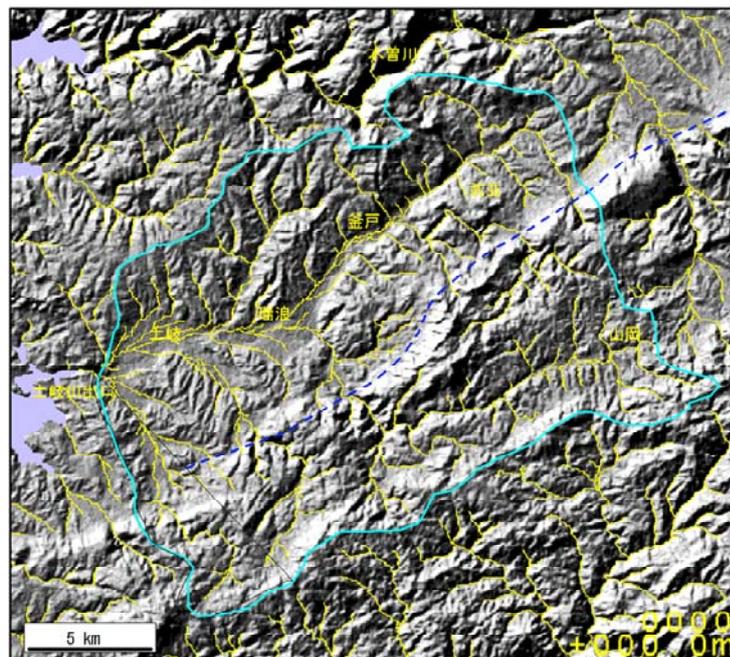


地形変化シミュレーション
(土岐川の河 断形)

侵食土砂の堆積範囲:河床礫の粒径分布傾向と河川流量に基づき,下流側で拡大させる

- 河床礫の粒径変化を考慮したプログラムへの変更
→ 氷期-間氷期サイクルに対応した内陸河川の河床高度上昇の表現が可能となった

地形変化シミュレーション技術



段丘分布から復元した過去の地形を用いて,地形変化シミュレーションを実施し,現在と同様の地形が形成されるかという作業を現在実施中である。
→ 段丘面の残存率や河床縦断形(凹型度)を用いて検証する予定

隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究

1. 隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

・河成段丘を用いた内陸部における万年オーダーの隆起量の推定技術

2. 気候・海水準変動に関する調査技術

・内陸小盆地堆積物を用いた万年オーダーの古気候変動の推定技術

3. 三次元地形変化モデルの開発

・侵食・堆積に伴う大局的な地形変化をシミュレートする技術

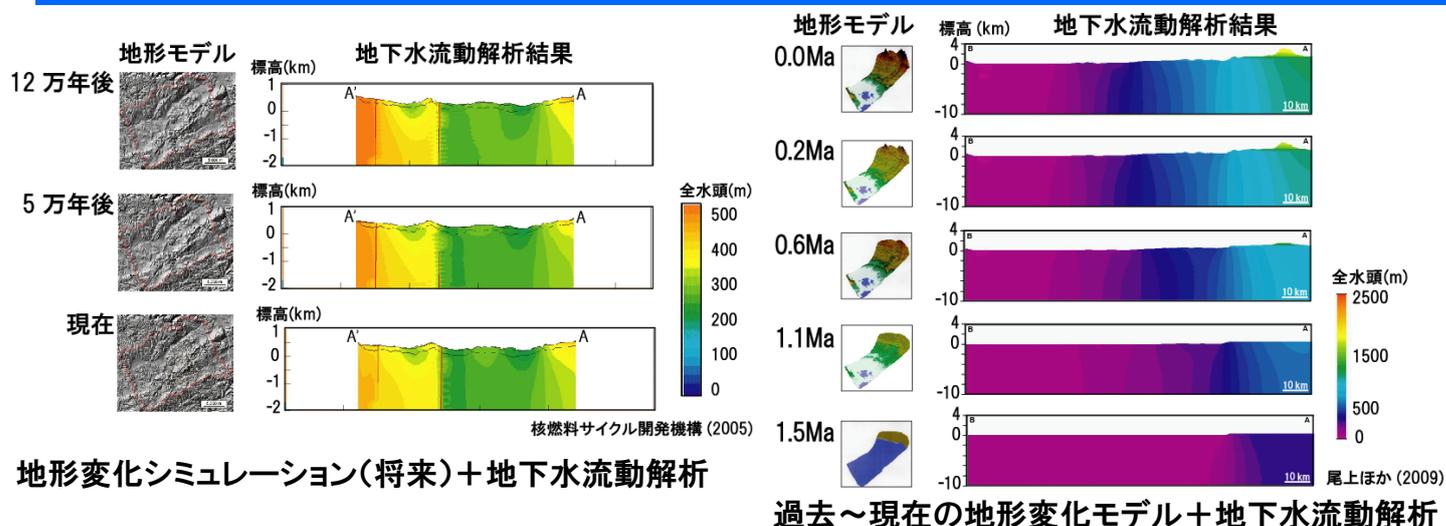
4. 地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

・地形変化を考慮した地下水流動解析

地形変化を考慮した地下水流動解析

第1期中期計画期間の目標:

天然現象に伴う長期間の地質環境条件の変動幅を把握するため、大局的な地形変化を考慮した地下水流動解析手法の開発を目指す。



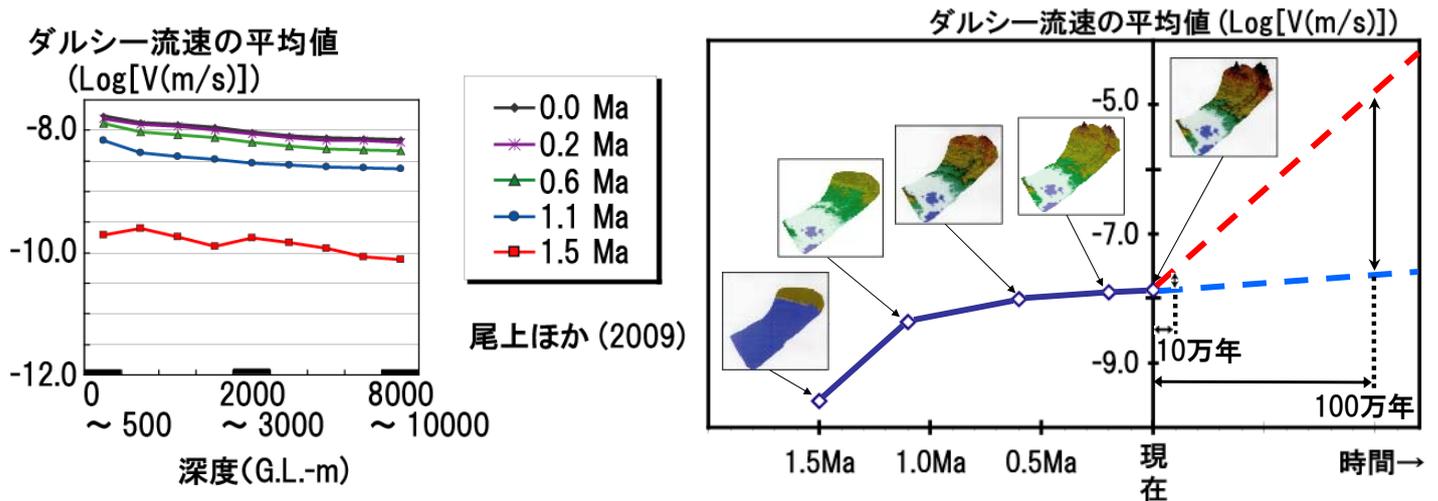
地形変化シミュレーション(将来)+地下水流動解析

過去～現在の地形変化モデル+地下水流動解析

地形変化シミュレーション結果を用いた将来の地下水流動解析(解析結果の検証方法がない)

過去～現在の地形を用いた地下水流動解析の結果を将来へ外挿

地形変化を考慮した地下水流動解析



過去～現在の地形変化に伴うダルシー流速の平均値の変化及び将来の変化幅の推定

- 数十万年の地形変化に伴う地下水流動特性の変動幅は僅か
(過去数十万年の傾向から現在の地下水流動場は概ね説明可能)
- 山が形成されるような時間スケールの場合には大きな変動幅
→ 対象とする時間スケールによって地下水流動特性の変動幅の不確実性が大きく異なる

隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究

1. 隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

・河成段丘を用いた内陸部における万年オーダーの隆起量の推定技術

2. 気候・海水準変動に関する調査技術

・内陸小盆地堆積物を用いた万年オーダーの古気候変動の推定技術

3. 三次元地形変化モデルの開発

・侵食・堆積に伴う大局的な地形変化をシミュレートする技術

4. 地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

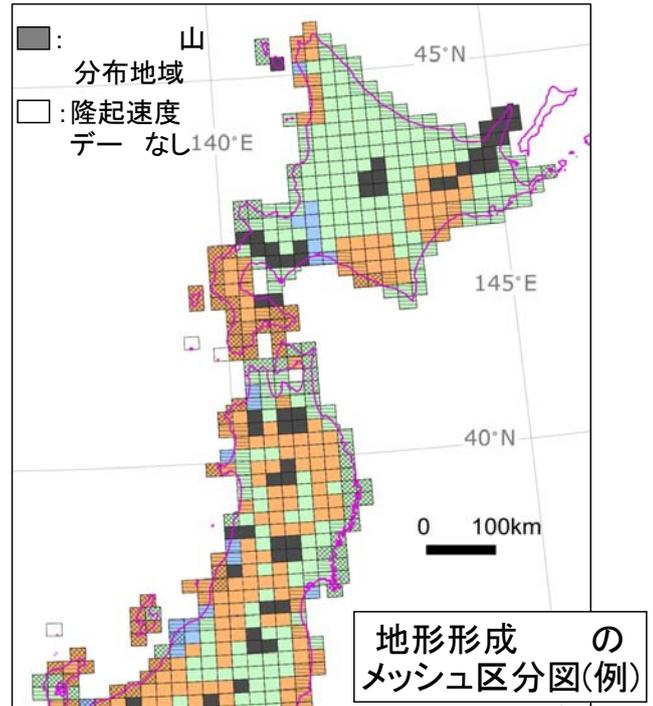
・地形変化を考慮した地下水流動解析

研究成果を汎用性のある形で整理

マトリクス表を用いた調査手法・データの整理法(案)

地形形成 (隆起 降と地形特徴)による区分 (例)

		降地域 0.0mm/yr	定~ 変 0.3mm/yr	隆起地域
域 (流~中流域)				
下流域 沿岸	の海岸			
	0.5 勾配の海岸			

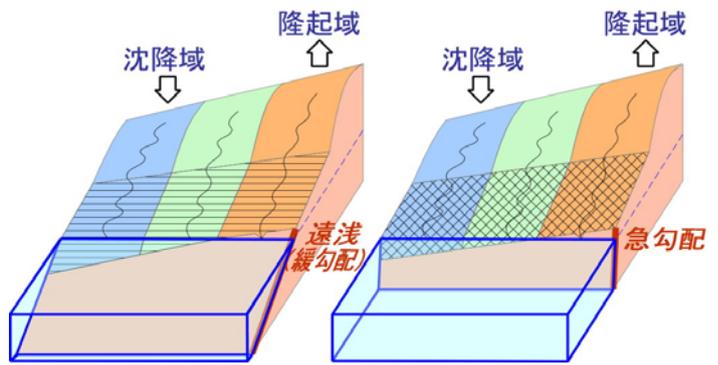


隆起速度: ほか(2004)をに 0.0mm/yr, 0.3mm/yr とする
 海岸勾配: する海メッシュ(-115m以)の平均勾配をに 0.5 とする

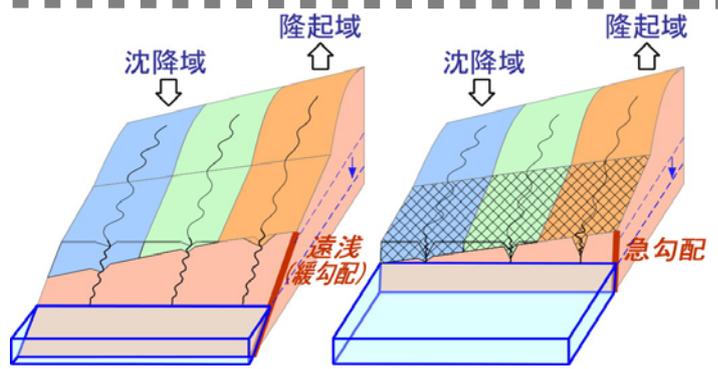
隆起沈降・侵食・気候変動は、緩慢な現象として日本のどこでも発生する。
 →隆起・沈降と地形特徴から日本全国を区分し、各区分で適用可能な調査手法や取得データを整理する方法を提示

マトリクス表を用いた調査手法・データの整理法(案)

間氷期 (高海面期)		降地域	定~ 変	隆起地域
域 (流~中流域)				
下流域 沿岸	の海岸			
	勾配の海岸			



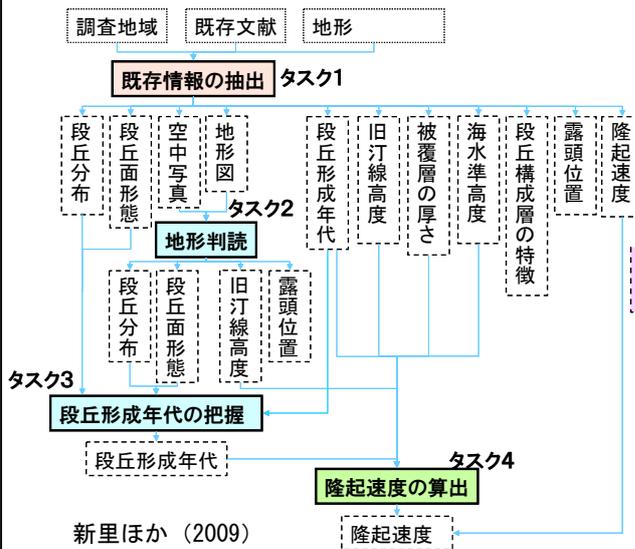
氷期 (低海面期)		降地域	定~ 変	隆起地域
域 (流~中流域)				
下流域 沿岸	中流域			
	勾配の海岸			



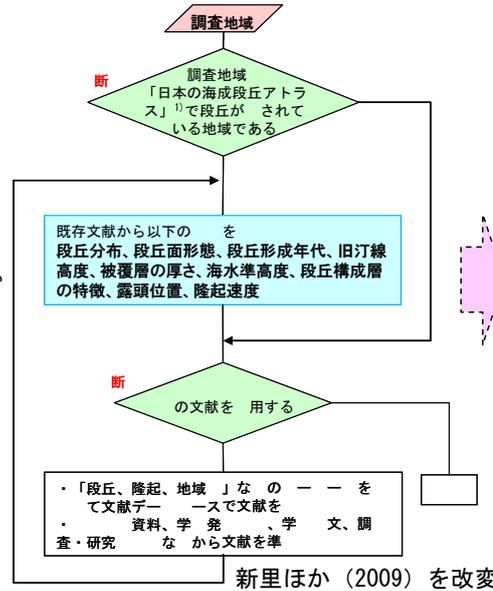
時間軸を考慮した場合、現在と異なる環境になる区分(地域)が存在する。

調査手法の選択・ノウハウ・考え方の整理の例

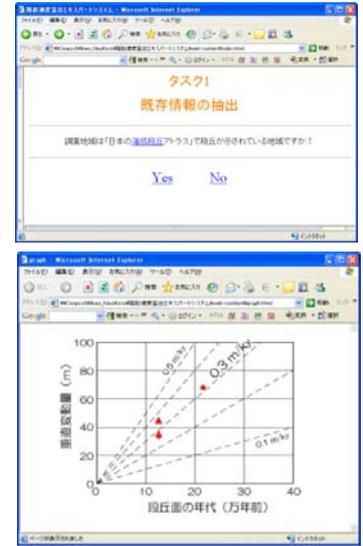
調査手順(タスクフロー)



タスクの際に行う意思決定の流れ



エキスパートシステムのイメージ



一部の調査については、調査のノウハウ・判断根拠などを分析・整理し、調査手順、意思決定の流れ、エキスパートシステム等としてまとめる → 経済産業省からの受託研究「地質環境総合評価技術高度化開発」として、東京・知識化Gr、幌延・堆積岩地質環境研究Gr、瑞浪・結晶質岩地質環境研究Grと共に実施中

隆起・侵食／気候・海水準変動に関する研究(まとめ)

1. 隆起・沈降・侵食等に関する調査技術

- ・河成段丘を用いた内陸部における万年オーダーの隆起量を推定する調査手法を提示
- ・旧河道を指標とした隆起量推定手法の開発を目指した研究を開始

2. 気候・海水準変動に関する調査技術

- ・万年オーダーのローカルな古気候変動を推定する手法を提示

3. 三次元地形変化モデルの開発

- ・侵食・堆積に伴う大局的な地形変化をシミュレートする技術を提示

4. 地質環境の変化を考慮した地下水流動解析手法の開発

- ・「シミュレーション」と「外挿」に基づいた将来の地下水流動特性の変動幅を推定する手法を提示

➤ 研究成果を汎用性のある形で整理