

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18786

研究課題名(和文) 島弧地殻の第四紀隆起史を河川地形の逆解析から求める試み

研究課題名(英文) Reconstruction of Quaternary crustal uplifting history of island arcs by inversion of river longitudinal profiles

研究代表者

成瀬 元 (Naruse, Hajime)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：40362438

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、河川縦断形状から日本列島のような変動帯のテクトニクスを復元する逆解析手法を開発した。本手法はMCMC法を採用しているため、結果の不確実性についても評価をすることができる。開発した手法を紀伊半島・四国・東北地方の河川系に適用したところ、過去12万年については既存手法とよく適合する結果を得ることができた。また、既存手法では困難なさらに過去(60-80万年前)の隆起速度履歴の復元にも成功している。河川縦断形逆解析法は、島弧の第四紀テクトニクスを遡って復元するのに適した手法であることを本研究は示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで困難であった第四紀島弧テクトニクスの面的かつ連続的な復元が本研究で開発した手法により可能となった。既存の地形学的手法では、隆起速度が復元できるのは段丘が存在する地域に限定されたり、熱年代学的手法では適用可能な岩相に制約があった。島弧の地殻隆起速度の履歴を知ることは、活動的縁辺域のプレートテクトニクスを理解することに役立つだけでなく、二酸化炭素回収・貯留に関する長期評価や、核廃棄物の地層処分にとっても基盤的な情報を与えるだろう。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed an inverse analysis method to reconstruct the tectonics of active continental margin such as the Japanese Islands from the longitudinal profiles of rivers. The method is based on the MCMC method, so that the uncertainty of the results can be evaluated. The developed method is applied to river systems in the Kii Peninsula, Shikoku and Tohoku regions, and the results for the past 120,000 years are in good agreement with the existing method. Furthermore, tectonic histories of past 600,000 - 800,000 years were estimated, which was difficult for existing methods. This study suggests that the inversion method of the river longitudinal profiles is suitable for reconstructing the Quaternary tectonics of island arcs.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

研究分野：堆積学

キーワード：逆解析 テクトニクス 堆積学 地形学 モーフォダイナミクス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地殻の隆起速度の時間的・空間的な変化は、プレートテクトニクスに関連した様々な現象について基礎的な情報を提供する。例えば、大陸衝突は広範囲における造山作用（地殻の隆起）とともに、プレートの弾性応答による沈降作用、すなわち前陸盆地の形成を引き起こす。山地の隆起速度履歴を復元することは、テクトニクスだけではなく、古気候変動の要因を探る上でも重要な課題である。日本列島のような活動的縁辺域では、地殻変動速度履歴がとりわけ複雑であり、その復元は困難な研究課題である。この分野の既存の研究手法には、隆起速度の分布を長期間にわたって面的に求めることができないという欠点があった。そこで、近年になり、地質学的時間スケールで面的に地殻隆起速度履歴を復元することのできる手法が Pritchard et al. (2009) によって提唱された。この手法は、まず岩盤河川の侵食作用を表すフォワードモデルを設定し、実際に観測される複数の河川縦断形を最もよく再現するようにモデルパラメーターセットを探索することで、地殻の隆起速度履歴を広い範囲で面的に復元するというものである。

しかし、島弧の地殻は大陸に比べて地体構造が複雑なため、基盤岩強度にばらつきがありうる。また、短周期（4-10 万年周期）の海水準変動が与える河床勾配への擾乱も、逆解析を難しくする可能性がある。これらの要因を考慮するためには、少なくとも、逆解析結果を推定の不確かさも含めて検討できる解析手法が必要となるだろう。

2. 研究の目的

本研究は、日本列島のような変動帯の河川系に用いることができる河川縦断形逆解析法を開発することを目的とする。そのために、最適化計算手法としてマルコフ連鎖モンテカルロ法（Markov Chain Monte Carlo method: MCMC）を採用する。既存の河川縦断形逆解析手法は最適化計算手法として準ニュートン法（共役勾配法や L-BFGS 法など）を採用しているため、解析結果の不確定性に関する評価が十分ではなかった。また、計算が局所的最適解に陥る可能性も高く、最適化計算を開始するパラメーター初期値に計算結果が依存するという問題点が指摘されている。MCMC はベイズ統計学における事後分布のサンプリング法として発達した手法であり、最適化計算にも応用することができる。この手法の利点は、適切に計算のチューニングが行われれば局所的最適解を避けることができ、さらに計算結果の不確定性についても評価が可能であるという点である。本研究では、最適化計算手法として MCMC を実装したモデルを西南日本外帯（紀伊半島および四国）の河川へ適用する。また、モデルが普遍性を持つことを確かめるため、テクトニックセッティングおよび基盤岩の岩質が異なる東北地方の河川にも手法を適用し、河川縦断形逆解析法の利点と今後の改善点を検討する。

3. 研究の方法

本研究は、国土地理院基盤地図情報 (<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>) 10 m メッシュ DEM (Digital Elevation Model) より河川縦断形のデータを抽出した。研究対象として選んだ河川系は、東北地方からは 7 河川（阿武隈川、雄物川、北上川、子吉川、馬淵川、最上川、米代川）であり、西南日本外帯の紀伊半島からは 2 河川系（紀の川、熊野川）、四国からは 6 河川系（那賀川、吉野川、物部川、仁淀川、肱川、四万十川）を計測した。

本研究では、河川縦断形の発達過程を表すフォワードモデルとして Stream Power Model (Howard, 1983) を採用し、隆起速度の時空分布から河川縦断形を計算した。地殻の隆起速度履歴を時間的・空間的に離散化し、フォワードモデルが観測された地形を最もよく再現する隆起速度値を MCMC によって探索した。隆起速度値の空間的離散化に当たっては、隆起速度を設定する点を等間隔に東北地方で 17 点、四国で 21 点、紀伊半島で 18 点配置した。これらの設定点に与えた値から、放射基底関数法を用いて隆起速度の空間的な補完を行い、各河川の流路に沿った任意の位置における隆起速度を求めた。一方、時間的な離散化については、東北地方では 0.8 Ma まで 0.2 Ma ごと、四国・紀伊半島では 2.5 Ma まで 0.5 Ma ごとに離散化し、スプライン補間によって任意の時間における各地点での隆起速度を求めた。パラメーターの事前分布としては隆起速度 0-1000 m/Myr の範囲の一様分布とし、尤度関数としてボルツマン分布を用いた。そして、MCMC によって得られた事後分布の期待値（EAP 値）を隆起速度の復元値とした。

4. 研究成果

紀伊半島の紀ノ川・熊野川の二河川系において河川縦断系の逆解析を行った結果、設定した合計 18 地点において、過去 1.5 Ma の間は隆起速度が概ね 200 m/Myr 以下であったことが復元された（図 1）。紀伊半島の中央部にあたる地点では、1.5Ma 以降の隆起速度の事後分布は極めて狭い範囲（ ± 50 m/Myr 程度）に収まっており、復元結果の信頼性は高い。復元結果の事後分布が狭い範囲に収まった過去 0.0--1.5 Ma の隆起速度の空間分布を検討すると、隆起速度の空間分布傾向は現在から過去まで大きく変化していないことが読み取られる。

四国の6河川系において河川縦断系の逆解析を行った結果、設定した合計21地点において、過去1.5 Maの間は隆起速度が概ね200 m/Myr以下であったものの、室戸岬の周辺では隆起速度が800 m/Myrと極めて高かったことが復元された(図2)。復元結果の事後分布が狭い範囲に収まった過去0.0-1.5 Maの隆起速度の空間分布を検討すると、室戸岬の隆起速度は高いまま長期間にわたって維持されている。

東北地方の河川地形の逆解析を行った結果、設定した合計17地点において過去0.8 Maの間で隆起速度が概ね200-500 m/Myrであったことが復元された(図3)。東北地方の中央部にあたる地点6-9, 11-12では、0.4 Ma以降の隆起速度の事後分布は比較的狭い範囲(±100 m/Myr程度)に収まっており、比較的信頼できる復元値が得られている。ただし、ほとんどの地点で、0.6 Ma以前の隆起速度事後分布のばらつきは極めて大きい。東北地方の北上山地においては比較的速い隆起速度が過去40万年間に渡って維持されていたことが復元結果からは読み取られる(図3)。一方、仙台平野からその北部にかけては隆起速度が遅い状態が維持されている。現在と40万年前の隆起速度分布の傾向に大きな違いは無いが、越後山脈については、その隆起速度が現在よりもやや速かった可能性が示唆される。

本研究は、MCMC法を用いた河川縦断形の逆解析により、日本列島の第四紀における隆起速度履歴を検討した。その結果、既存研究で海岸段丘やダム堆砂を用いて復元された過去10万年間の隆起速度の推定結果とよく一致する結果を得た。すなわち、まだ予察的な段階ではあるが、河川縦断形逆解析法は島弧の第四紀テクトクスを遡って復元するのに適した手法であることを本研究は示唆している。今後は、フォワードモデルの単純化のために省略された基盤岩強度や海水準変動が解析結果にどの程度本質的な影響を与えるか、より詳細な検討が必要となるだろう。

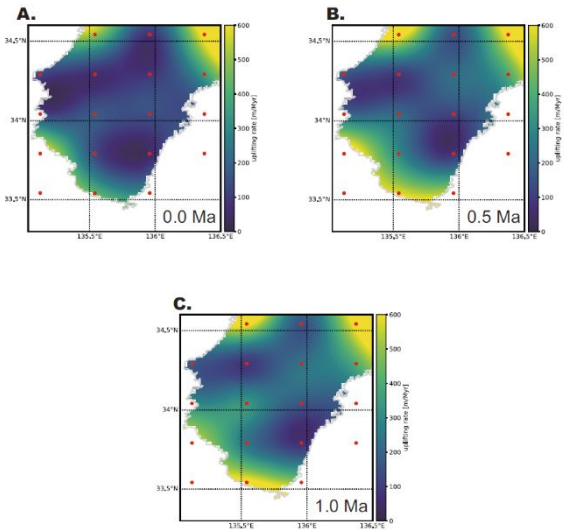


図1. 紀伊半島の隆起速度の復元結果。

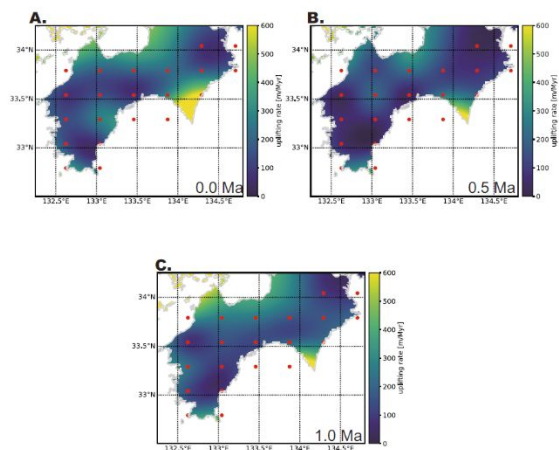


図2. 四国の隆起速度の復元結果。

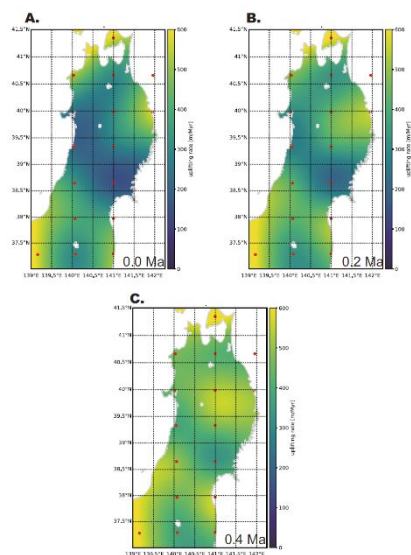


図3. 東北地方の隆起速度の復元結果。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wang Junhui, Naruse Hajime, Muto Tetsuji	4. 巻 32
2. 論文標題 The grade index model as a rationale for autogenic nonequilibrium responses of deltaic clinoform to relative sea level rise	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Basin Research	6. 最初と最後の頁 378 ~ 387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/bre.12418	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Katagiri Takahiro, Naruse Hajime, Ishikawa Naoto, Hirata Takafumi	4. 巻 29
2. 論文標題 Collisional bending of the western Paleo Kuril Arc deduced from paleomagnetic analysis and U/Pb age determination	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 1-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12329	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wang Junhui, Muto Tetsuji, Urata Kento, Sato Toshihiko, Naruse Hajime	4. 巻 46
2. 論文標題 Morphodynamics of River Deltas in Response to Different Basin Water Depths: An Experimental Examination of the Grade Index Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 5265 ~ 5273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL082483	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamashita Shota, Naruse Hajime, Nakajo Takeshi	4. 巻 5
2. 論文標題 Reconstruction of sediment-transport pathways on a modern microtidal coast by a new grain-size trend analysis method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-018-0166-9	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 KIKUCHI KAZUKI、NARUSE HAJIME、KOTAKE NOBUHIRO	4. 巻 33
2. 論文標題 EVALUATION OF ICHNODIVERSITY BY IMAGE-RESAMPLING METHOD TO CORRECT OUTCROP EXPOSURE BIAS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PALAIOS	6. 最初と最後の頁 204 ~ 217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2110/palo.2017.090	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Otsubo Makoto、Naruse Hajime、Miyakawa Ayumu	4. 巻 5
2. 論文標題 Temporal changes in the internal stresses and pore pressures in a large-scale submarine mass transport deposit	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-018-0219-0	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 中島由以佳・成瀬 元
2. 発表標題 河床縦断形の逆解析を用いた東北日本弧の地殻隆起速度の時空変動復元
3. 学会等名 日本堆積学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 松島 亘志、成瀬 元、横川 美和、東 良慶、今泉 文寿、佐々 真志、田島 芳満、知花 武佳	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 312
3. 書名 土砂動態学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	堤 昭人 (Tsutsumi Akito) (90324607)	京都大学・理学研究科・准教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関