

令和元年5月24日現在

機関番号：15301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12819

研究課題名(和文) 高分解能VOXEL型地形発達シミュレータの開発と海成段丘形成過程の詳細モデル構築

研究課題名(英文) Development of high-resolution VOXEL type landform evolution model for clarifying marine terrace formation

研究代表者

隈元 崇 (KUMAMOTO, Takashi)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：60285096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、(a) 新しい地形表現形式であるVOXEL型数値標高モデルの生成手法の確立と、(b) VOXEL型モデルのデータ形式に対応する地形変化シミュレータの新規開発であり、これらの有効性の確認のために、(c) 従来のDEM形式の数値標高モデルでは表現不可能であったノッチ(notch：波食窪)を含む海岸地形のVOXEL型データを独自に取得して1万年程度の地形変化の計算から本研究の地形変化シミュレータの性能を評価することの3点である。評価対象予定地域である房総半島や室戸半島、南西諸島の海岸地形について上記の作業を行い、地震性隆起の影響を含めた海成段丘の発達過程の解明を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高レベル放射性廃棄物の地層処分場の立地評価など実学的要請も含め、従来よりも精度の高い地形変化予測の研究成果が望まれており、「地形学」の分野から積極的な提言が必要である。しかし、これまで整備されてきたDEM形式の数値標高モデルは、完全な3次元データ形式ではないために表現不可能な地形が存在する。そのため、地形変化のモデル化や地形変化予測の研究分野において同程度の空間スケールを持つ工学分野の成果との連携や高分解能なデータを用いた長期間の地形変化の議論が難しい状況となっていて、研究の進展が期待されていた。これに対応する地形変化シミュレータの開発、および、現実地形での適用性の確認を本研究の意義である。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to compare and verify the observed maritime landforms including notch and maritime terraces and simulated landforms result derived from newly developed computer program in this study which enables to express notches by using the "VOXEL" (Volume-Pixel) model where two or more terrain points can be set on one point that previous conventional model of the DEM cannot realize in the Landform Evolution Models (LEMs).

研究分野：変動地形学

キーワード：地形変化プロセス VOXEL型数値標高モデル 地形変化シミュレータ

1. 研究開始当初の背景

高レベル放射性廃棄物の地層処分場の立地評価など実学的要請も含め、従来よりも精度の高い地形変化予測の研究成果が望まれており、「地形学」の分野から積極的な提言が必要である。しかし、これまで整備されてきた DEM 形式の数値標高モデルは、完全な 3 次元データ形式ではないために表現不可能な地形が存在する。そのため、地形変化のモデル化や地形変化予測の研究分野において、まず局所的な地形変化の評価が十分ではなく、そのため、同程度の空間スケールを持つ工学分野の成果との連携や、高分解能なデータを用いた長期間の地形変化の議論が難しい状況となっていて、研究の進展が期待されていた。上記のような背景の中で、その課題の解決手法として、近年の計算機の性能向上を受けて可能となった新しい地形表現形式である VOXEL 型数値標高モデルと、これに対応する地形変化シミュレータの開発、および、現実地形での適用性の確認を本研究の目的とした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(a) 新しい地形表現形式である VOXEL(ボクセル)型数値標高モデルの生成手法の確立と、(b) VOXEL 型モデルのデータ形式に対応する地形変化シミュレータの新規開発であり、これらの有効性の確認のために、(c) 従来の DEM 形式の数値標高モデルでは表現不可能であったノッチ (notch: 波食窪) を含む海岸地形の VOXEL 型データを独自に取得して 1 万年程度の地形変化の計算から本研究の地形変化シミュレータの性能を評価することの 3 点である。評価対象予定地域である房総半島や室戸半島、南西諸島の海岸地形について上記の作業を行い、地震性隆起の影響を含めた海成段丘の発達過程の解明を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、図 1 に示すように、VOXEL 型数値標高モデルを用いることによって、同一の平面座標上に 2 面以上の地形を設定する必要があるノッチの地形などが表現可能となる。本研究での VOXEL 型数値標高モデルの生成手法の確立は、こうした現実の複雑な地形のモデル化に対応するものは根本的に異なる。さらに、(1) 波浪に伴う侵食と堆積、(2) 河川の侵食による土砂移動と堆積、(3) 地殻変動および海水準変動による相対的垂直変動の各地形変化プロセスの定式化とパラメータ設定に関する観測データを、房総半島や室戸半島、南西諸島の海成段丘地形で実施する野外調査により取得して地形変化シミュレータに応用することで、段丘面形成に関する議論を高度化する。

従来の地形変化シミュレータでは、地形変化プロセスは定常的かつ決定論的な微分方程式を与える計算手法で表現されることが多かった。しかし、地形の表現が DEM 形式の疑似 3 次元の数値標高モデルであるために、「現実の地形」の変化を精度良く表現できないという課題があった。そこで、この点の進展のために、本研究では地形のデジタル化の際の詳細化として、図 1 に示した VOXEL 型数値標高モデルの導入を新たに試みる。

このための地形測量とそのデジタル化は既存の技術を組み合わせるとはいえ、1m 解像度の VOXEL 型数値標高モデルの作成手順の省力化と精度の検証までを含めたマニュアルの作成と公開は新しい試みである。さらに、VOXEL 型数値標高モデル用の地形変化シミュレータの開発は、地形発達予測の研究分野での発展性が望める挑戦的な試みである。

4. 研究成果

(1) 初年度の研究では、100年・10mスケールの地形発達シミュレーター (LEMs) の開発・検証・実行と、相模トラフの巨大地震に関する変動地形の考察を目的とした。そのため、DEMでは表現できなかったノッチの地形の表現が可能となる 1次元 VOXEL 型シミュレータの新たな C 言語プログラムコードの作成、海岸線後退速度の算出、相模トラフの地震について海底変動地形を proxy とした規模別頻度分布の推定を行った。対象地域として選定した千葉県房総半島南西部に位置する見物海岸は、関東圏の地震危険度評価にも関係があるとされている。そこで、当該地域を対象に、シミュレーションで得られる地形を基に、海成段丘の形成プロセスと相模トラフの地震の規模別

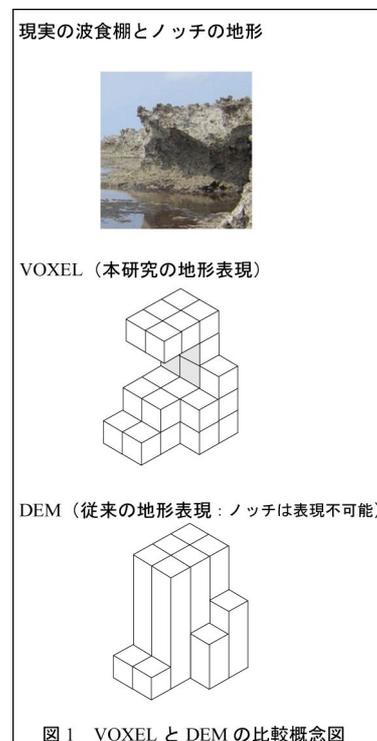


図 1

頻度分布を考察した。それに必要となる海岸線後退速度については、見物海岸周辺の1975年と2012年の空中写真に測量と精密な幾何補正を行い新たに算出した。その結果、見物海岸における海岸線後退速度を求めた。また、目的変数である相模トラフのプレート間地震の平均発生頻度の検証のために、相模湾内の海底地すべり地形をproxyとして規模別頻度分布から推定した。

以上のことを踏まえた結果(図2)から、現実地形と類似するのは条件として、初期地形:直線地形と波食棚の地形を組み合わせた地形,シミュレート期間:永仁地震発生年の1293年以降720年間,隆起モデル:元禄型地震のみ,海岸線後退速度R:0.05[m/yr],海底削剥速度A:Sunamura(1992)の値の0.001[m/yr]の場合となった。このことから、相模トラフにおける比較的規模の大きな元禄型地震は過去2000年間に少なくとも2回(永仁地震,元禄地震)発生したと考えることができる。これは、従来考えられていた穴倉(2001)の元禄型地震の発生間隔より短いため、関東圏の地震危険度評価の再検討が必要である。

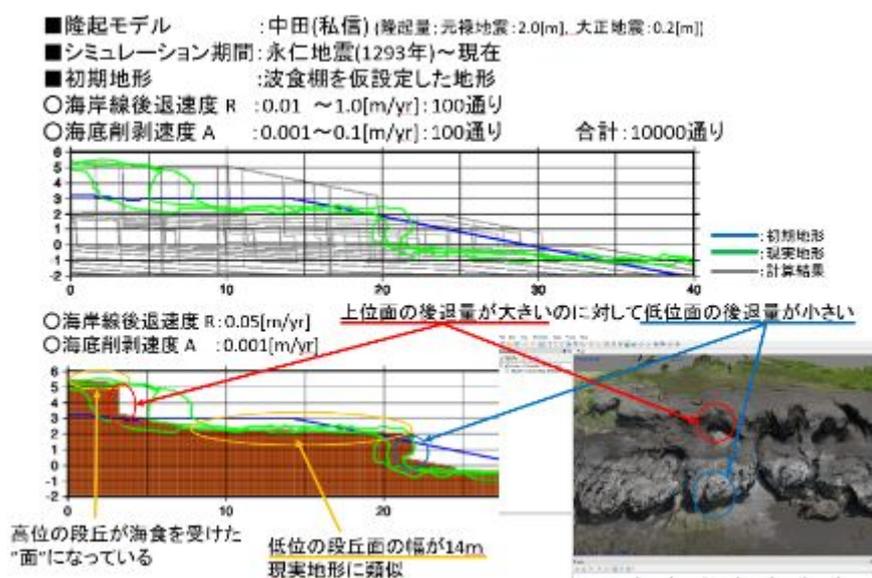


図2

(2) 研究の2か年目では、初期地形を過去の地形に設定して地形変化シミュレータ(LEMs)の計算結果を現実の現在の地形と比較することで計算に必要な地形変化プロセスのパラメータを定量的に評価することを目的とした。そのために、鹿児島湾北部の入戸カルデラから約29000年前に流下した入戸火砕流によるシラス台地を、その後河川が侵食して形成した谷底低地が広がる伊集院地域を対象地域に選定した。ここで、国土地理院が公開している10m-DEMと海上保安庁による沿岸海域データを統合してグリッド長15mの正方形格子でDEMを作成した。その初期地形は、DEMの谷地形を接峰面作成のアルゴリズムで埋める処理を施して近似した。従来の低解像度用のLEMsは、流路幅が1グリッド長を超えることは想定せず、流路と陸地が混在するDEMとしてとらえた簡便なモデルであった。そのため、高解像度のDEMにそのまま適用すると、流路幅が1グリッド長に限定され、流路の位置も一度固定されると下刻により変遷しないことにより、峡谷の形成などの現実の地形との乖離があった。その点を、本研究では流域面積と谷幅の経験的に検討することで、谷幅 VW と集水面積 CA において、「 $\log(VW) = 0.60\log(CA) - 1.89$ 」の回帰式を得た。

谷の拡幅作用は、集水面積が大きくなるにつれて土砂の侵食力・運搬力も増大して側刻の作用力が大きくなるためと考えられる。さらに、本研究では、この回帰式のばらつきより、シラス台地の谷壁面の地すべり・崩壊による後退速度の考察も行った。こうしたプロセスをLEMsに取り入れることで、谷の拡幅作用を表現できるモデルに改良し、伊集院地域の現実の地形に見られるシラス台地の幅400~700m,高さ30~110mの開析谷地形を過去から29000年間の計算で表現可能な地形変化シミュレータを構築した(図3)。

(3) 最終年度の研究では、10,000年・10mスケールの地形発達シミュレーター(LEMs)の開発・検証・実行について、九州南方・種子島西岸地域の最終間氷期以降の隆起海成段丘および沖合の沈水海底段丘のシミュレーションと結果から考察を行った。この中で、初年度に開発した、従来のDEMでは表現できなかったノッチの地形の表現が可能な1次元VOXEL型シミュレータの新たなC言語プログラムコードを応用して海岸線後退速度を算出すると同時に、南海トラフの日向灘沖の地震の地殻変動のモデル化のために、海底活断層の確実度の検討を取り込んだ。

具体的には、陸域と海域にそれぞれ段丘が分布する種子島南西部を対象に、最終間氷期以降13万年間のシミュレーションを行い、現在見られるような陸域と海域の段丘の再現を試みることでVOXEL型シミュレータの精度検証を行った(図4)。シミュレーションの初期地形には、国土地理

院の10mDEMと日本水路協会の海洋地形デジタルデータを統合して15m解像度のDEMを作成した。地形の変化量の計算は、物質の移動と質量の保存を考慮して、単位時間当たりの標高変化量 (a) 海水準変動, (b) 海食崖の後退侵食, (c) 浅海部の海底削剥作用, (d) 地殻変動による隆起・沈降をモデル化した。具体的な計算対象地形として、現在種子島南西部に分布するM1面 (Stage5e), M2面 (Stage5c) の陸域の海成段丘と、水面下のST1面・ST2面 (Stage3) に相当する未来の地形を考察した。このとき、海底面以深には固結した岩盤の上層として未固結な堆積物があるものと想定し、その上置層は (b)海食崖の後退プロセスにおいて極短期間に除去されるものと考え、初期地形に含めないことで、産総研の海域地質構造データベースから固結した地層の境界面の勾配を計測して外挿した。また、海域の沈水段丘の分布と陸域の隆起段丘の分布の相補性に着目して、初期地形を2種類想定してシミュレーションを行うこと、また、プレート境界の海底活断層と反無限弾性体の食い違いモデルにより地殻変動のシミュレーションへの取り込みより、実際の地形変化が再現可能となった。

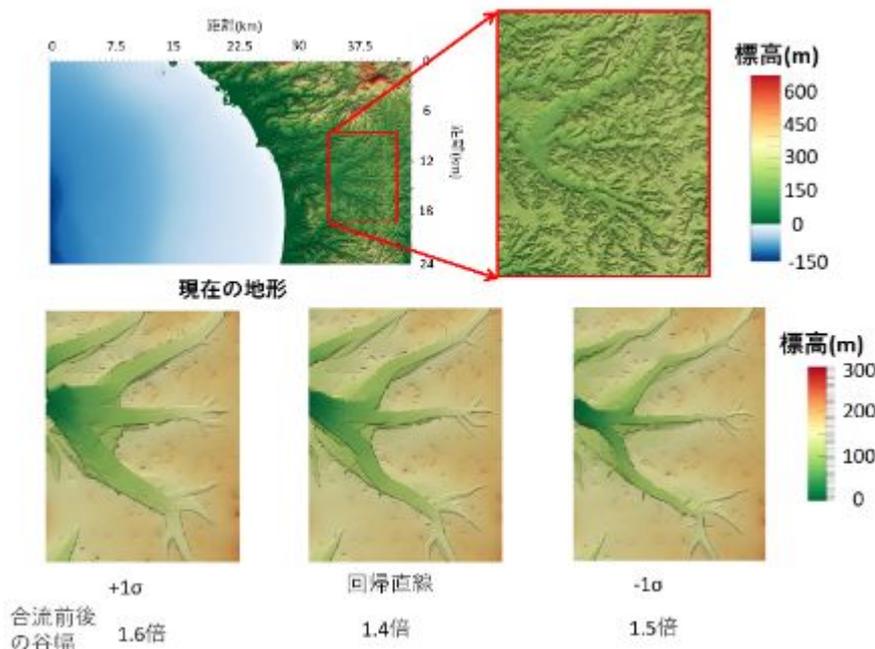


図3

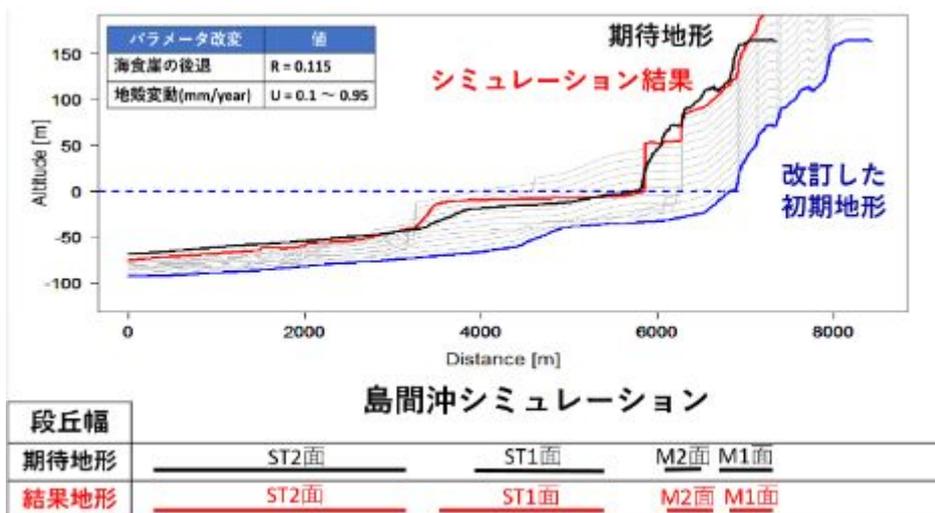


図4

上記のシミュレーションのための C 言語, および, R 言語のプログラムと作図のパラメータについては, そのコードとマニュアルの整備を進めて公開を予定する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. 森木ひかる・隈元 崇，アナグリフ画像による日本周辺の海底地すべりの判読と分布特性の検討，海上保安庁・海洋情報部研究報告，査読有，54，2017，1-16．

〔学会発表〕(計 2件)

1. 森木ひかる・島 史佳・隈元 崇・中田 高，日本海溝と南海トラフの海底変動地形と反射断面の比較および海底地すべりの空間分布特性の考察，2018年日本活断層学会秋季学術大会，2018．

2. 隈元 崇，内陸地殻内地震を対象とした確率論的地震動ハザード評価/課題，日本原子力学会・春季学術大会，2016．

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

現在，以下の論文を投稿中である．

隈元 崇・竹竝大士，VOXEL 型段丘形成シミュレータを用いた相模トラフ巨大地震に関する変動地形の考察，岡山大学創立 70 周年記念地理学論文集．

6．研究組織

研究代表者単独

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、研究者個人に帰属されます。