

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26287127

研究課題名(和文) 津波混濁流の発生条件と堆積機構：新しい混濁流発生メカニズムの解明

研究課題名(英文) Conditions for generating tsunami-induced turbidity currents and their depositional processes: Examination of a new generating mechanism of turbidity currents

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) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：数値実験の結果、混濁流の発生条件には明瞭な閾値が存在することが明らかになった。極めて希薄であっても、十分な高さまで浮遊堆積物が分布すれば、自己加速化作用により大規模な混濁流が発生する。一方、条件がわずかに異なると、まったく流れは発達しなかった。このことは、2011年津波に匹敵する規模の津波でなければ、おそらく広範囲に混濁流を発生させることは難しいことを示している。

一方、タービダイト逆解析手法については、サンプルを流向方向に沿っておおむね1 km間隔で採取すれば十分に可能であることが示された。本手法により、今後、津波起源タービダイトから過去の混濁流ならびに津波の規模の推定が可能になるだろう。

研究成果の概要(英文)：Firstly, as a result of numerical experiments, it was suggested that there are distinct threshold conditions to generate turbidity currents from tsunamis. Turbidity currents can be developed from very dilute suspended clouds due to the self-acceleration mechanism if initial height of clouds are sufficiently high. On the other hand, when the initial conditions are slightly below the threshold condition, turbidity current decays very rapidly. This suggests that only large-scale tsunamis like 2011 Tohoku-Oki Tsunami can produce turbidity currents.

Secondly, the inverse modeling of turbidites proposed in this study enables us to estimate the flow conditions from thickness and grain-size distributions of turbidites that are measured at every ca. 1 km along flow directions. This method will be useful for future investigation of past-tsunami records using tsunami-generated turbidites.

研究分野：堆積学

キーワード：津波 混濁流 堆積相解析 モーフォダイナミクス 逆解析 災害 海洋地質 タービダイト

1. 研究開始当初の背景

混濁流 (turbidity current) とは、水中で発生する密度流の一種である。堆積物が海中で巻き上げられると、浮遊堆積物が与える過剰密度により斜面を流下する密度流が発生する。浮遊堆積物の濃度・規模がある臨界条件を超えていると、流れは海底面を侵食しながら密度をさらに増加させ、数百 km にわたって移動する巨大な流れへと成長する。深海の地層には混濁流からの砂質堆積物 (タービダイト) が豊富に含まれている。しかしながら、これまで海底地すべりや嵐などが候補として挙げられてはいたものの、混濁流がそもそも発生するきっかけについては実態が不明のままであった。

2011年東北地方太平洋沖地震津波の発生後、申請者らは新たに「津波起源混濁流」を発見した。津波発生から3時間後、海底圧力計・地震計が混濁流の発生をとらえたのである。さらに、申請者らによる海底ボーリング調査の結果、周辺の広範な海域からタービダイトが得られた。流れの発生時刻・計測データ・回収された計測機器の状態から考えて、このイベントは地震動や海底地すべりでは説明できない。そこで、津波が深海 (水深100-450 m) の堆積物を巻き上げ、結果として浮遊堆積物濃度が密度流発生 of 「発火点」を突破したことにより、海底圧力計を吹き飛ばすほど強烈な (> 流速 2.2 m/s) 混濁流が発生したという「津波混濁流」説を申請者らは提唱したのである。

新たに提唱された「津波混濁流」説は、これまでの混濁流研究の常識を一変させる可能性を秘めている。東北沖での巨大津波の発生頻度 (400-1200 年に1回) と深海底でのタービダイト堆積間隔はオーダーで一致しており、津波は混濁流発生 of 主要原因である可能性がある。

2. 研究の目的

はたして、津波起源の混濁流はどの程度頻繁に起こる現象なのだろうか。そして、巨大津波の発生頻度をタービダイトから読み取ることが可能なのだろうか。これらの疑問を解決するため、本研究はまず津波・混濁流カップリング数値モデルを開発し、開発したモデルにより津波から混濁流が発生する臨界条件を求めることを試みた。さらに、「津波タービダイト」が持つ堆積学的特徴から、過去の津波の規模を推定する手法の開発を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、RNG k- ϵ モデルによる混濁流の数値モデルを利用し、津波起源混濁流の数値実験を行った。モデルの妥当性については、水槽実験による検証を行った。数値実験に当たっては、計算ドメイン内に実際の東北地方の海底地形を再現し、浅海域の様々な規模の浮遊堆積物雲から発生する混濁流の流速や

濃度を検討した。

さらに、実際に津波起源混濁流から堆積したタービダイトから津波規模を推定するため、タービダイトの逆解析手法を実装した。この手法では、実際のタービダイトの層厚・粒度分布が再現されるようにモデルの初期条件を最適化し、混濁流の水利条件を推定する。フォワードモデルとしては浅水方程式を用いた混合粒径の混濁流モデルを採用し、最適化計算手法としては遺伝的アルゴリズムを用いた。

4. 研究成果

数値実験の結果、混濁流の発生条件には初期濃度及び浮遊堆積物雲の高さに関して明瞭な閾値が存在することが明らかになった。極めて希薄であっても、十分な高さまで浮遊堆積物が分布すれば、自己加速化作用により大規模な混濁流が発生する。一方、条件が閾値をわずかに下回ると、まったく流れは発達しなかった。このことは、混濁流を発生させるためには津波にある程度以上の規模が必要とされることを示唆している。おそらく、2011年津波に匹敵する規模の津波でなければ、東北地方沿岸の広範囲に混濁流を発生させることは難しいだろう。

一方、実際に堆積したタービダイトから混濁流の水利条件を読み取る逆解析手法については、人工データの解析から、タービダイトのサンプルを流向方向に沿っておおむね1 km 間隔で採取すれば十分に可能であることが示された。この頻度でサンプリングを行った場合、遺伝的アルゴリズムによる最適化の結果、人工データを生成する際に用いた初期パラメーターがほぼ正確に復元できた。本手法により、今後、東北沖に堆積している津波起源タービダイトから過去の混濁流規模ならびに津波規模の推定を行うことが可能になるだろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計15件)

Yamashita, S., Naruse, H., & Nakajo, T. (2018). Reconstruction of sediment-transport pathways on a modern microtidal coast by a new grain-size trend analysis method. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s40645-018-0166-9>

Naruse, H. & Abe, T. (2017). Inverse tsunami flow modeling including nonequilibrium sediment transport, with application to deposits from the 2011 Tohoku-Oki tsunami. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*,

- 122, 2159-2182.
<https://doi.org/10.1002/2017JF004226>
- Ohata, K., Naruse, H., Yokokawa, M., & Viparelli, E. (2017). New bedform phase diagrams and discriminant functions for formative conditions of bedforms in open-channel flows. *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, 122, 2139-2158. <https://doi.org/10.1002/2017JF004290>
- 山本大貴, 増田富士雄, & 成瀬元. (2017). 水槽実験による津波起源混濁流の発生場所とそのメカニズムの解明. *堆積学研究*, 75(2), 65-72.
- Muto, T., Furubayashi, R., Tomer, A., Sato, T., Kim, W., Naruse, H., & Parker, G. (2016). Planform evolution of deltas with graded alluvial topsets: Insights from three dimensional tank experiments, geometric considerations and field applications. *Sedimentology*, 63(7), 2158-2189.
- 片桐貴浩, 成瀬元, 平田岳史, 服部健太郎, 2016, 北海道東部に分布する浦幌層群に含まれる細粒凝灰岩層の U-Pb 年代. *地質学雑誌*, v. 122(9).
- 成瀬元, 2016, 火星のロープ状地形の成因 - 土石流堆積物逆解析による予察的検討 - .*地学雑誌*, v. 125(1), p. 163-170.
- 成瀬元, 2016, 海底チャネル地形の多様性の要因: 海底チャネル理論平衡形状モデルからの検討. *石油技術協会誌*, v. 81(1), p. 22-32.
- Sasaki, H., Sasaki, Y., Saito-Kato, M., Naruse, H., Yumi, M., & Ishihara, Y. (2016). Stratigraphic variations in lacustrine sediment gravity-flow deposits intercalated in varved diatomite: An example from the Hiruzenbara Formation, Okayama Prefecture, southwest Japan. *Quaternary International*, 397, 208-222.
- 佐々木華, 石原与四郎, 佐々木泰典, 齋藤めぐみ, 成瀬元. (2015). 中部更新統蒜山原層の湖成年縞堆積物に挟在する洪水・斜面崩壊堆積物の堆積相と堆積頻度. *堆積学研究*, 74(1), 45-53.
- Talling, Peter J., et al. "Key future directions for research on turbidity currents and their deposits." *Journal of Sedimentary Research* 85.2 (2015): 153-169.
- Park, Jin Oh, Hajime Naruse, and Nathan L. Bangs. "Along strike variations in the Nankai shallow décollement properties and their implications for tsunami earthquake generation." *Geophysical Research Letters* 41.20 (2014): 7057-7064.
- Toshifumi Komatsu, Satoru Kato, Kento Hirata, Reishi Takashima, Yukari Ogata, Masahiro Oba, Hajime Naruse, Phuong H. T, Phong D. Nguyen, Huyen T. Dang, Truong N. Doan, Hung H. Nguyen, Susumu Sakata, Kunio Kaiho, Peter Königshof. "Devonian-Carboniferous transition containing a Hangenberg Black Shale equivalent in the Pho Han Formation on Cat Ba Island, northeastern Vietnam." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 404 (2014): 30-43.
- Steffen Kutterolf, Julie C. Schindlbeck, Rachel P. Scudder, Richard W. Murray, Kevin T. Pickering, Armin Freundt, Shasa Labanieh, Ken Heydolph, Sanny Saito, Hajime Naruse, Michael B. Underwood, and Huaichun Wu. "Large volume submarine ignimbrites in the Shikoku Basin: An example for explosive volcanism in the Western Pacific during the Late Miocene." *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 15.5 (2014): 1837-1851.
- Toshifumi Komatsu, Hajime Naruse, Yasunari Shigeta, Reishi Takashima, Takumi Maekawa, Huyen T. Dang, Tien C. Dinh, Phong D. Nguyen, Hung H. Nguyen, Gengo Tanaka, Masatoshi Sone. "Lower Triassic mixed carbonate and siliciclastic setting with Smithian-Spathian anoxic to dysoxic facies, An Chau basin, northeastern Vietnam." *Sedimentary Geology* 300 (2014): 28-48.
- [学会発表](計14件)
- NARUSE Hajime and ABE Tomoya(2017), Inverse analysis of tsunami deposits using non-steady flow model (SCG64-P04)(poster session)(abs.), Abstracts, Japan Geoscience Union Meeting ! Program, JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (DVD),2017,SCG64-P04,Japan Geoscience Union
- NARUSE Hajime and NAKANISHI Keisuke (2017), Threshold conditions for occurrence of tsunami-generated turbidity currents: examination by 2D numerical experiments (SCG65-09)(abs.), Abstracts, Japan Geoscience Union Meeting ! Program, JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (DVD),2017,,SCG65-09,Japan Geoscience Union
- Naruse, H. and Nakao, K., 2017. Inverse

analysis of turbidites by machine learning. AGU 2017 Fall Meeting, New Orleans.

成瀬 元, 2016. 津波堆積物逆解析へ向けたフォワードモデルの開発. 日本堆積学会 2016 年福岡大会講演要旨集, p. 88, 福岡

成瀬 元, 2016, 海底谷と海底チャネルがもつ混濁流の流量調整機能. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 HCG26-02, 幕張.

Naruse, H., 2016, A model for sediment capacity of turbidity currents considering sediment-fluid interactions with application to longitudinal equilibrium profile of submarine channels. AGU Fall Meeting 2014, Abstracts, EP41E-05, San Francisco (USA), December 12-16.

成瀬 元, 2015. 高濃度混濁流の発生条件. 日本堆積学会 2015 年つくば大会講演要旨集, p. 51-52, つくば

成瀬 元, 2015. 高濃度混濁流の平衡条件. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集, HCG35-11, 幕張

成瀬 元, 2015. 混濁流による海底チャネルの発達プロセス. 石油技術協会特別講演会・春季講演会 2015 要旨集 p. 9-10, 東京

成瀬 元, 2015. 海底扇状地の多様性の要因. 日本地質学会第 122 年学術大会講演要旨集, p. 252, 長野

Naruse, H., 2015. Governing factors to determine types of submarine fans: Consideration from the model of equilibrium profile of submarine channels. 2015 AGU Fall Meeting, San Francisco (Japan), December 14-18.

成瀬 元, 菅原 大助, 後藤 和久, 2014. 乱流運動エネルギー保存と干渉沈降を考慮した浮遊砂輸送キャパシティ. 日本地質学会第 121 年学術大会講演要旨, p. 104-104, 鹿児島

成瀬 元, 後藤和久, 菅原大助, 2014. 津波堆積物はなぜ薄いのか? - 流れの浮遊砂キャパシティ問題再考 -. 日本堆積学会 2014 年山口大会講演要旨, p. 60, 山口

Naruse, H., Sugawara, D., Goto, K., 2014. Estimation of capacity of suspended load considering effects of preservation of turbulent kinetic energy. AGU Fall Meeting 2014, Abstracts, EP13A-3501, San Francisco (USA), December 15-19.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 出願年月日 :
 国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 取得年月日 :
 国内外の別 :

〔その他〕
 ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成瀬 元 (NARUSE, Hajime)
 京都大学・大学院理学研究科・准教授
 研究者番号 : 40362438

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号 :

(4) 研究協力者

なし ()