

令和元年6月12日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01221

研究課題名(和文) 陸海を統合した詳細ステレオ画像による南西諸島とその周辺海域の変動地形学的研究

研究課題名(英文) Tectonic geomorphology of coastal area along the Ryukyu Arc based on the topographic anaglyphs from detailed digital elevation models covering Inland and Seafloor

研究代表者

後藤 秀昭 (Goto, Hideaki)

広島大学・文学研究科・准教授

研究者番号：40323183

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：南西諸島海溝周辺を対象に、陸と海の地形データを作成・収集するとともに、その判読と解析を通して、海洋プレートの沈み込みに伴う変動地形の再検討を行った。島棚の島嶼部が海溝側へ傾動していることや、島嶼から背弧海盆に連続する横ずれ断層が新たに見出され、広く信じられてきた沖縄トラフを形成する伸張性の正断層の動きは限定的で、島棚周辺から海溝付近では圧縮性の逆断層による変動地形が顕著であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南西諸島周辺はその西側にある沖縄トラフを形成する伸張性の活動が卓越すると広く信じられてきたが、南西諸島周辺から南西諸島海溝にかけては、圧縮性の逆断層や横ずれ断層による変動地形が海陸ともに顕著であることが明らかとなった。数万～数千年スケールでは南西諸島海溝に沿った沈み込みの営力が諸島付近まで蓄積していることを示し、発生しないとされている海溝に沿った巨大地震の発生について、検討の必要性を迫る成果といえる。

研究成果の概要(英文)：Topographic anaglyph images were viewed with red-cyan glasses, making it possible to recognize topographic relief features readily. Anaglyphs produced from digital elevation model (DEM) data are a very effective way of identifying tectonic geomorphology. This study aims to re-examine tectonic geomorphology and to present new tectonic maps for the late Quaternary of the coastal area along the Nansei-shoto islands, based on the interpretation of the topographic anaglyph derived from the digital surface model (DSM) of inland as well as the DEM of the seafloor.

Late Quaternary tectonic geomorphology in and around Yoron island like the NNW-SSE trending left-lateral strike-slip fault as well as the surface deformation associated with the arc-parallel anticline is estimated to be formed under E-W to WNW-ESE trending compressive stress field. This stress field would be related to the subduction of the Philippine Sea plate beneath Eurasian plate along the Nansei-shoto trench.

研究分野：地理学

キーワード：変動地形学 海成段丘 数値標高モデル 海底地形 海底活断層 地形アナグリフ

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 , CK - 19 ( 共通 )

## 1 . 研究開始当初の背景

数値化された地形データの整備と公開は、2007年の地理空間情報活用推進基本法の施行により急速に進んだ。これらを使った実体視可能なステレオ画像により、空中写真による地形判読では認識が困難であった変動地形が抽出されるようになった(後藤・杉戸, 2012)。

海底の地形についても、高解像度な地形データの収集とステレオ画像の作成により、地質構造を手がかりにしながら、海底地形を変動地形学的に解釈し、これまでとは全く異なる断層分布やプレート境界像が描かれるようになった(Nakata et al., 2012)。

陸上地形と海底地形の研究は、それぞれ別の分野で研究されており、海岸沿いの変動地形についても統合的に検討した研究は少ない。これは分野の違いだけでなく、海陸を統合して俯瞰する詳細な地形資料に乏しいことによると考えられる。

地形ステレオ画像は広域的に地形を俯瞰しながら、垂直倍率を大きくして微小な地形の変化を捉えることができる特徴を有しており(Goto, 2016)、沖積面の長波長の変形のほか、海成段丘の連続やわずかな傾動も容易に捉えることができる。南西諸島では、低解像度の地形データを用いた地形ステレオ画像でも、主軸(島棚)上にある島々の海成段丘が連続的に傾動している可能性の高いことが新たに明らかになってきた(後藤, 2015)。

## <引用文献>

後藤秀昭・杉戸信彦(2012): 数値標高モデルのステレオ画像を用いた活断層地形判読 . e-journal GEO , 7 , 197-213

Nakata, T., Goto, H., Watanabe, M., Yasuhiro Suzuki, Y., Nishizawa, A., Izumi, N., Horiuchi, D., Kido, Y. (2012): Active Faults along the Japan Trench and Source Faults of Large Earthquakes . Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, 254-262

Goto, H. (2016) : Extensive Area Map of Topographic Anaglyphs Covering Inland and Seafloor from Detailed Digital Elevation Model for Identifying Broad Tectonic Deformation . Kamae, K ed., Earthquakes, Tsunamis and Nuclear Risks: Prediction and Assessment Beyond the Fukushima Accident., 65-74

後藤秀昭(2015): 海陸を統合した広域ステレオ地形画像を用いた変動地形学的研究-関東平野南部と南西諸島中部周辺を事例に-. 広島大学大学院文学研究科論集特輯号, 75 , 87p.

## 2 . 研究の目的

本研究は、海底と陸上の詳細な地形データを用いて海陸を統合したステレオ画像を作成し、変動地形を読み解くことを通して、南西諸島沿岸域の地殻変動様式を検討することを目的とする。具体的には、海域の測深データを収集・加工するとともに、陸上の詳細な地形データを自ら作成し、南西諸島沿岸域の海陸を統合した地形ステレオ画像を作成する。また、この画像を変動地形学的に判読して、南西諸島海溝から沖縄トラフにかけて海陸をまたいだ活構造を明らかにする。本研究により、南西諸島海溝にそった巨大地震発生の可能性について検討できるようになるとともに、沿岸域の変動地形学的研究についての方法論的な新機軸となることを目指す。

## 3 . 研究の方法

- 1) 南西諸島において陸上の詳細な地形データを作成する。
- 2) 海底の等深線データを加工するとともに、海底のマルチビーム測深データについて海上保安庁などからデータを収集し、数値標高モデルに加工する。
- 3) 上記1および2のデータから、海陸を統合した詳細地形ステレオ画像を作成し、陸上および海底の変動地形について判読を行い、地図化する。
- 4) 陸上地形の判読結果をもとに、旧汀線高度の分布を明らかにする。海底地形の判読結果については既存の海底探査記録を再評価することで確認、修正する。
- 5) 海底活断層の分布と変位様式をもとに海成段丘の傾動様式を説明できる地殻変動を検討する。

## 4 . 研究成果

本研究では、南西諸島中部以南を中心に検討を行った。その成果として与論島、石垣島、伊是名島とその周辺海域について、学術大会、学術雑誌等で公表した。その概要を下記に記す。

### 1) 与論島とその周辺

#### 活断層による変位

海陸を統合した地形アナグリフを用いて変動地形学的に解釈すると、与論島を横切る北西-南東方向の左横ずれの活断層(宮辻断層)は、海面下に分布する現在のサンゴ礁を切断していることが新たにわかった。現在のサンゴ礁に認められる断層地形は陸上の断層崖同様に西側低下である。

この断層はさらに北西延長の与論海盆に延びるとされており(活断層研究会編, 1991)、地形ステレオ画像の判読では、盆地床に北西-南東方向に西側低下の低断層崖が認められ、隆起側近

傍にはプレッシャーリッジ状の細長い高まりが分布し、低下側では一部で溝状の凹地が確認できた。これらは横ずれの活断層に共通して認められる地形的特徴である。そのほか、与論島の北西端沖から北西-南東方向に与論海盆の盆地底を横切る長さ約 5km の低断層崖が新たに認められた。

与論島の南東沖の海底では、島から約 5km までは西側低下の断層崖が延びており、新期の変位を示すと考えられる低断層崖が一部で新たに確認された。この南東延長には、南与論海底谷を挟んで南西側が高く、海底谷の南西基部に沿うように南西側隆起の断層が延びているものと考えられる。このように北西-南東方向に延びる断層では与論島周辺から北西部と、与論島の南東沖の南東部で隆起側が異なるという横ずれ断層に特徴的な変位様式が確認された。

与論島の離水サンゴ礁と海底平坦面の変形

与論島では、宮辻断層より東の北半部で明瞭な離水サンゴ礁地形が認められ(木庭, 1980; 町田編, 2001), 地形ステレオ画像では 4 列の旧礁嶺地形を伴う海成段丘が認められる。旧礁嶺の頂部を基準にすると、4 列のいずれの旧礁嶺でも北で高く(Hirata, 1956), 南に向かって傾動している様子が確認できる。

一方、与論島の北東の海底には、地形ステレオ画像では 2 段の平坦面が認められ、いずれも、島棚の北西端近くに頂部をなし、島棚の延びる方向と同じ方向に軸をもつ背斜状の変形が認められる。この変形は、陸上の一般的な逆断層の運動に伴う変形と類似しており、島棚の北西側に北東-南西走向で南東傾斜の逆断層が延びているとすればこの変動地形を説明しやすい。

考察

島棚を胴切りして延びる横ずれ断層による変位および、島棚で認められる非対称な背斜状の隆起は、東西~東南東-西北西方向に軸を持つ圧縮性の応力によって形成されたと考えると統一的に説明可能である。このような与論島周辺の変動地形は、少なくとも後期更新世~完新世で継続していると考えられ、数千~数万年のタイムスケールで考えると、南西諸島海溝に沿ったフィリピン海プレートの沈み込みに伴う圧縮性の応力が島棚まで及んでいることを示していると考えられる。なお、調査地域とその周辺では、沖縄トラフに沿って見られるような伸張性の応力に伴うと思われる正断層や火山の地形は認められなかった。

## 2) 石垣島とその周辺

成果の概要

石垣島南部では南東部で高く、西に向かって低下する局地的な傾動があることが解った。石垣島南東沖には北東-南西方向の活断層が延びているとされており、その活動によって変形した可能性があることが明らかとなった。

石垣島南部の海成段丘の傾動

石垣島では 2 段の海成段丘が認められ(木庭, 1980), 島を取り巻くように分布する段丘面は MIS5e に形成され、その旧汀線高度は南部を除き 50~60m で、旧汀線高度が 84m を示す南西部のバナナ岳付近に隆起の中心があり、そこから周辺に低下するとされた(小池・町田編, 2001)。本研究の判読では、小池・町田編(2001)により南部にのみ発達するとされた下位の段丘面を 2 段に細分することができ、南部では 3 段の海成段丘面(M1 面, M2 面, M3 面とする)が発達することが解った。M2 面, M3 面の分布高度は、それぞれ南東端付近で 30m, 15m, その 7km 西で 20m, 10m と西への傾動が認められる。

石垣島周辺の海底地形と海底活断層

海底 130m 以浅に分布する急崖は、石西礁湖の広がる西部を除いて、島を取り囲むように 2 段認められる。北東の半島部では、水深 50m 程度と 80m 程度で、水深 50m 付近の急崖基部を堀・茅根(2000)は内側傾斜変換点(1B)と呼び、約 10~11ka の海面上昇が弱まった時期に形成されたとした。ただし、島の南東岸に、不規則な凹凸のある面が認められ、他の地域に比べて特異な様相を呈することが新たに解った。

海上保安庁(1991)の海底地質構造図「石垣南部」には石垣島南東沖には更新統の琉球層群を切断する北東-南西走向の断層が記載されている。南東部で認められた海成段丘の西への傾動は、短い波長の変形であり、沿岸に分布するこれらの断層に関連した変形の可能性がある。この断層は陸地から離れるように延び、構造図では図郭外のため、北東や東への連続は不明であるが、延長上には線状構造が認められる。この北西側に分布する水深 50~70m の平坦面は崖の頂部付近で陸側に傾いているのが判読できた。

## 3) 伊是名島とその周辺

成果の概要

伊是名島は東西約 4km, 南北約 4km の小規模な島であり、変動地形はこれまで報告されていなかった。孤立した小規模な島が分布する南西諸島などでは、最終氷期の地形が観察できる沿岸海底を含めて地形発達を検討することで広域的で連続的な変動地形が確認できるようになる可能性があることが示されたと考える。

伊是名島周辺の海底段丘と活断層

伊是名島とその北の伊平屋島の周りの海底地形について調査した安原(2013)の地形データを用いて分析した。この海域では、120m 以浅の地形が広がっており、最終氷期には最大幅 20km, 長さ 40km 程度の単一の陸地が広がっていたと考えられる。この付近の海底地形を細かく観察す

ると2段の平坦面が認められ、海底段丘と考えられる。伊是名島周辺ではそれぞれ、水深80m程度と50m程度である。

伊是名島の東には、これらの段丘地形を西南西方向に横切り、北側を低下させる約4kmの低崖が2条、認められる。また、この南の屋那覇島を横切る西南西走向の低崖が約20km断続的に延びており、低崖の北西部の海底段丘は南西落ち、南東部は北東落ちが明瞭である。段丘崖の横ずれは不明瞭で、低崖下の段丘面の変形が顕著である。これらの地形的特徴から正断層による変位地形と考えられる。

#### 伊是名島の地形と活断層

伊是名島は、中央と北部に、北西-南東に延びる標高100m程度の低山が2列、細長く延び、その周りに3段の段丘面が分布する。いずれの段丘も薄い砂礫層からなる。

伊是名島の東の海底に認められる低断層崖のうち、南の断層の西延長は伊是名島中央の山地の北東山麓に連続する。山麓に広がる中位の段丘面には北東落ちの低断層崖が認められる。一方、北部の山地の北東には、中位面を変位させる北東落ちの断層崖が認められ、海底段丘を変位させる北側の断層に連続するようにみえる。

#### <引用文献>

- 活断層研究会編(1991)『日本の活断層 分布図と資料』東京大学出版会  
木庭元晴(1980): 琉球層群と海岸段丘. 第四紀研究, 18, 189-208  
小池一之・町田洋編(2001)『日本の海成段丘アトラス』東京大学出版会  
Hirata, K. (1956) Ecological studies on the recent and raised coral reefs in Yoron island. Science report of Kagoshima University, 5, 97-118  
堀和明・茅根創(2000): 琉球列島中・南部の島棚地形の特徴とその形成過程について. 地理学評論, 73, 161-181  
海上保安庁(1991): 海底地質構造図「石垣南部」  
安原徹(2013): 沖縄島北西海域(沿岸域)における海底地形調査速報. 海洋情報部研究報告, 50, 80-83

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 11 件)

Goto, Hideaki, Late quaternary slip rates and vectors on the Median Tectonic Line active fault zone in eastern Shikoku, southwest Japan, Quaternary International, 査読無, 471 巻, 2018, pp.267-277

<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.013>

Goto, Hideaki, Araki, Kohsaku, Sato, Taichi, Topographic Anaglyphs from Detailed Digital Elevation Models Covering Inland and Seafloor for the Tectonic Geomorphology Studies in and around Yoron Island, Ryukyu Arc, Japan, Geosciences, 査読有, 8 巻, 2018, pp.363-363

<https://doi.org/10.3390/geosciences8100363>

後藤秀昭, 石垣島とその周辺海域を統合した変動地形の研究 -沿岸域の変動地形研究の発展に向けた海底地形情報整備の必要性-, 広島大学大学院文学研究科論集, 査読無, 78 巻, 2018, pp.107-122

<https://www.hiroshima-u.ac.jp/system/files/112173/goto.pdf>

堤 浩之・遠田晋次・後藤秀昭・熊原康博・石村大輔・高橋直也・谷口 薫・小俣雅志・郡谷順英・五味雅宏・浅野公之・岩田知孝, 熊本県益城町寺中における2016年熊本地震断層のトレンチ調査, 活断層研究, 査読有, 49 巻, 2018, pp.31-39

Goto, Hideaki, Late quaternary slip rates and vectors on the Median Tectonic Line active fault zone in eastern Shikoku, southwest Japan, Quaternary International, 査読有, Vol.471, Part B, 2017, pp.267-277

<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.013>

後藤秀昭, 地球を俯瞰する自然地理学 熊本地震と活断層, 科学, 査読無, 87 巻, 2017, pp.421-424

Goto, Hideaki, Tsutsumi, Hiroyuki, Toda, Shinji, Kumahara, Yasuhiro, Geomorphic features of surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake in and around the downtown of Kumamoto City, and implications on triggered slip along active faults, Earth, Planets and Space, 査読有, 69 巻, 26, 2017, pp.1-12

DOI: 10.1186/s40623-017-0603-9

森木ひかる, 隈元崇, 中田高, 後藤秀昭, 泉紀明, 西澤あずさ, 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, 海洋情報部研究報告, 査読有, 54 巻, 2017, pp.1-16

<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/KENKYU/report/rhr54/rhr54-Ar01.pdf>

Angster, Stephen, Wesnousky, Steven, Huang, Weiliang, Kent, Graham, Nakata, Takashi, Goto, Hideaki, Application of UAV Photography to Refining the Slip Rate on the Pyramid Lake Fault Zone, Nevada, Bulletin of the Seismological Society of America, 査読有,

106 巻, 2016, pp.65-74  
DOI: 10.1785/0120150144

石黒聡士・熊原康博・後藤秀昭・中田 高・松多信尚, 杉戸信彦, 廣内大助, 渡辺満久, 澤祥, 鈴木康弘, UAV による空撮と SfM-MVS 解析による地表地震断層の地形モデル作成とその精度-2014 年 11 月長野県北部の地震を例に-, リモートセンシング学会誌, 査読有, 53 巻, 2016, pp.107-116

<http://doi.org/10.11440/rssj.36.107>

Sugito, Nobuhiko, Goto, Hideaki, Kumahara, Yasuhiro, Tsutsumi, Hiroyuki, Nakata, Takashi, Kagohara, Kyoko, Matsuta, Nobuhisa, Yoshida, Haruka, Surface fault ruptures associated with the 14 April foreshock (Mj 6.5) of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, southwest Japan, Earth, Planets and Space, 査読有, 68.17 巻, 2016, pp.1-8  
DOI: 10.1186/s40623-016-0547-5

〔学会発表〕(計 12 件)

後藤秀昭, 沖縄県北部の伊是名島から海底段丘に連続する断層地形, 日本地理学会 2019 年春季学術大会, 2019

後藤秀昭, 南西諸島中部の与論島とその周辺海域の変動地形からみた応力軸, 地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018

Goto, Hideaki, Topographic Anaglyphs from Detailed Digital Elevation Models Covering Inland and Seafloor for the Tectonic Geomorphology Studies in and around Yoron Island, Ryukyu Arc, Japan, American Geophysical Union Fall Meeting 2018, 2018

後藤秀昭, 石垣島の変動地形とその周辺の海底地形 海陸を統合した地形ステレオ画像による検討, 日本地理学会 2018 年春季学術大会, 2018

後藤秀昭, 海陸を統合した地形データを用いた変動地形学的研究 石垣島の海成段丘の傾動と海底地形, 日本活断層学会 2017 年秋季学術大会, 2017

Goto, Hideaki, Late quaternary slip rates and recurrence interval on the Median Tectonic Line active fault zone in the eastern Shikoku, southwest Japan, Asian Oceania Geoscience Society 2017, 2017

林 貢平, 後藤秀昭・隈元崇, 海陸を統合した地形データからみた種子島南西部とその周辺の変動地形, 日本活断層学会 2017 年秋季学術大会, 2017

後藤秀昭, 関東平野の第四紀後期の活構造図 数値標高モデルによる地形ステレオ画像の判読に基づく, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016

後藤秀昭 他 21 名, 2016 年熊本地震の地表地震断層の分布とその特徴, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016

Goto, Hideaki, New Active Tectonic Map of the Kanto Plain Based on Interpretation of Topographic Anaglyphs Covering Inland and Seafloor, Derived Using a Detailed Digital Elevation Model, Asia Oceania Geosciences Society 2016, 2016

後藤秀昭 他 3 名, 熊本市街地付近の活断層と 2016 年熊本地震による地表変状, 日本活断層学会 2016 年度秋季学術大会, 2016

Goto, Hideaki, 他 22 名, Distribution of surface rupture associated the 2016 Kumamoto earthquake and its significance (招待講演), American Geophysical Union Fall meeting 2016, 2016

〔図書〕(計 3 件)

後藤秀昭 他 5 名, 国土地理院, 1:25,000 活断層図 布田川・日奈久断層帯とその周辺「八代 改訂版」, 2018, 1

後藤秀昭 他 1 名, 国土地理院, 1:25,000 活断層図 布田川・日奈久断層帯とその周辺「八代 改訂版」, 「日奈久」解説書, 2018, 12

熊原康博, 岡田真介, 楳原京子, 金田平太郎, 後藤秀昭, 堤浩之, 日本地図センター, 1:25,000 都市圏活断層図「熊本(改訂版)」, 2017, 1

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

なし

取得状況(計 0 件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

なし