調査報告

与那国島のジオサイト—台湾島を望む露頭が語る地形形成環境—

Geosites of Yonaguni Island Located at the Westernmost Point of Japan

尾方 隆幸・大坪 誠・伊藤 英之

OGATA Takayuki, OTSUBO Makoto and ITOH Hideyuki

(2019年7月26日受付 2019年12月1日受理)

琉球弧の最西端に位置する与那国島で、数値標高モデル (DEM) による地形解析と、露頭における地層・岩石と微地形の記載を行い、隣接する台湾島との関係も含めてジオサイトとしての価値を検討した。与那国島の表層地質は、主に八重山層群 (新第三系中新統) と琉球層群 (第四系更新統) からなり、地質条件によって異なる地形が形成されている。与那国島の代表的なジオサイトとして、ティンダバナ、久部良フリシ、サンニヌ台が挙げられる。ティンダバナでは、八重山層群と琉球層群の不整合が崖に露出し、地下水流出に伴うノッチが形成されている。久部良フリシでは、八重山層群の砂岩が波食棚を形成し、岩石海岸にはタフォニが発達する。サンニヌ台には正断層の露頭があり、断層と節理に支配された地形プロセスが認められる。与那国島のジオサイトは、外洋に囲まれた離島の自然環境や背弧海盆に近いテクトニクスを明瞭に示しており、将来的には台湾と連携したジオツーリズムやボーダーツーリズムに展開させうる可能性を秘めている。そのためにも、地球科学の複数分野を統合するような基礎的・応用的研究を継続することが必要である。

Yonaguni Island is located in the westernmost Ryukyu arc, where the geological setting extends to the Taiwan central range and the Luzon volcanic arc, along the subduction zone between the Eurasian and Philippine Sea plates. This paper reports the results of landform analyses based on the 10 m Digital Elevation Model and field observation at outcrops of three geosites. Miocene sandstone (Yaeyama Group) is broadly exposed on the island surface which forms low-altitude mountains and hills (maximum elevation 231 m). Pleistocene limestone (Ryukyu Group) partly covers the Yaeyama Group and forms uplifted marine terraces composed mainly of coral reef sediments. This paper focuses on three geosites: Tindabana; Kubura-furishi; and Sanninu-dai. Tindabana is a cliff including unconformity of the Yaeyama Group sandstone and Ryukyu Group limestone, producing groundwater discharge, springs, and notches. Kubura-furishi is a rocky coast consisting of a shore platform and cliffs made of the Yaeyama Group sandstone forming remarkable tafoni. Sanninu-dai shows normal faults and many joints derived from horizontal stresses. These geosites indicate geomorphic processes in isolated island environments and suggest landform development in relation to back-arc tectonics. Yonaguni Island presents an interesting field for geotourism and border tourism in collaboration with Taiwan.

キーワード: 琉球弧, 沖縄トラフ, 断層, 風化, 侵食

Key words: Ryukyu arc, Okinawa trough, fault, weathering, erosion

I はじめに

与那国島は、ユーラシアプレートとフィリピン海プレートとの収束境界に沿う島弧 (琉球弧) の最西端に位置する。琉球弧の最西端は、現在発達中の背弧海盆 (沖縄トラフ) の延長にあたり、島弧と背弧海盆それぞれの軸が収斂する位置関係にある (図1)。また、与那国島は、全方位を海洋に囲まれ、かつサンゴ礁の発達があまり良くないため、波や風を営力とする風化・侵食が著しい。

このような与那国島の地球科学的セッティングは、

内的営力と外的営力の両面から、特徴的な地形を形成している。これまで琉球弧を対象にした地球科学的研究は数多く行われてきたが、内的営力と外的営力を統合した地形発達や地形プロセスの理解は進んでいない (尾方・大坪 2019)。与那国島についても、表層地質図の作成 (坂井ほか 1978) や段丘面の対比 (大村ほか 1994) はなされてきたものの、応力情報に基づくテクトニクスの詳細な検討 (Kuramoto and Konishi 1989; Fabbri and Fournier 1999) には方法論的な課題が残り、風化・侵食プロセスの詳しい調査もなく、ユニークな地形形成環境の下で形成された地形の成因は

図1 与那国島の位置 (▲: 山地島, ○: 隆起サンゴ礁島; 等深線間隔 300 m)

Fig. 1 Geographic and geologic setting of Yonaguni Island

(▲: Accretionary complex islands; ○: uplifted coral reef islands. Contour interval is 300 m.)

The Ryukyu arc and Okinawa Trough lie along the subduction zone between the Eurasian and Philippine Sea plates. Yonaguni Island is located in the westernmost part of this island arc and in the western part of this back-arc basin.

十分に明らかにされていない。

さらに、与那国島の地形形成環境は、日本のジオダイバーシティを評価する上でも重要な位置づけにある。ジオサイトの価値を科学的に評価し、適切な保全と活用を図ることも求められるが、詳細な地球科学的研究がないため、必然として地球科学的価値の普及もなされていない。与那国島は日本最西端ということで一般にも注目されやすく、近年は外国人観光客も多く訪れるようになっており、地理学や地質学の調査に基づいた科学的な理解を普及させることは急務といえる。

筆者らは、与那国島のジオサイトとしての価値を地球科学的データに基づき整理することを目的に、学際的な調査・解析を進めてきた。まず、国土地理院基盤地図情報 10 m メッシュ¹⁾の DEM を用いて与那国島全域の地形解析を行い、典型的な地形が認められるジオサイト（ティンダバナ、久部良フリシ、サンニヌ台; 図2 参照）を抽出した。そして、各ジオサイトにおいて、露頭の記載、地形測量、地殻変動および風化・侵食プロセスを詳細に明らかにするための岩石や地下水のサンプリングとその力学的・地球化学的な分析、さらに海岸に形成されている微地形の数値シミュレーションを実施した。

本稿では、それらの調査・解析結果の速報として、地形解析の結果を示した上で、各ジオサイトの露頭における野外観察の結果を報告する。また、それらの結果に基づき、ジオサイトとしての価値を評価し、ジオツーリズムやボーダーツーリズムの可能性を議論する。

II 地形解析

1. 地質・地形概観

与那国島の表層地質は、新生代第三紀中新世（約2300万年前～約530万年前）に堆積した八重山層群、新生代第四紀更新世（約260万年前～約1万年前）に堆積した琉球層群、および完新統の堆積物（隆起サンゴ礁、沖積地、崖錐など）からなる（図2）。八重山層群はユーラシア大陸から運ばれた砂や泥が海底に堆積した地層で、与那国島では砂岩優勢の砂岩泥岩互層となる。琉球層群は部分的に八重山層群の上位に不整合で接し、礁性・碎屑性の石灰岩で構成される。与那国島は、琉球層群に広く覆われる隆起サンゴ礁の島（宮古島・石垣島南部・波照間島など）と異なり、琉球層群を欠き八重山層群が地表に露出する面積が大きい。

与那国島の地形は、八重山層群の砂岩が隆起と侵食

図2 与那国島の表層地質図（坂井ほか 1978 を改変）

1: 河川・湖沼堆積物, 2: 完新統の離水サンゴ礁, 3: 崖錐堆積物, 4: 更新統の石灰岩（琉球層群）, 5: 中新統の砂岩・泥岩（八重山層群）, 6: 断層, 7: 推定断層, 8: ジオサイト.

Fig. 2 Geologic map of Yonaguni Island (modified from Sakai et al. 1978)

Surface materials consist mainly of Pleistocene limestone (Ryukyu Group) and Miocene sandstone (Yaeyama Group). 1: Fluvial and lacustrine deposits (sand, silt, and clay); 2: Holocene raised coral reef; 3: talus deposits (sand and gravel); 4: Pleistocene limestone (Ryukyu Group); 5: Miocene sandstone and mudstone (Yaeyama Group); 6: faults; 7: inferred faults; 8: location of geosites.

図3 ブックシェルフ型正断層がつくる景観（東向きに撮影）

Fig. 3 Landscape formed by the bookshelf normal faults of Kubura

The fault topography formed by normal faults is well preserved on Yonaguni Island. These faults dip to the north, and the fault planes with northward dips are arranged almost in parallel.

を受けた丘陵, 琉球層群の石灰岩が隆起した段丘, 完新世の堆積面に大別され, 前二者は複数の正断層によって分断されている. 琉球弧の島嶼を地形学的に分類した目崎（1980）は, 与那国島を「山地島」としているが, 正断層による凹地や隆起サンゴ礁段丘の平坦面も多く, 典型的な山地島である西表島や石垣島北部とはかなり地形が異なる（尾方・井村 2018）. 正断層群が形成する第四紀断層地形が良く保存されていることは, 外部からの河川流入とそれに伴う土砂供給がないためでもある. これらの正断層群はおおむね北に傾斜するものが多く（坂井ほか1978）, 同じ傾斜方向の断層面がほぼ平行に配置するブックシェルフ型（たとえば, Ramsay and Huber 1984）をなす（図3）.

2. 地形解析

与那国島の高度段彩図と傾斜区分図を図4に示す. 島の中心付近には, およそ東西方向に伸びる開析された丘陵があり, それ以外は低標高で比較的平坦な地形面が広がる（図4a）. 丘陵は, 八重山層群の砂岩が正断層によって分断された地塁状の地形をなし, 標高の最も高い宇良部岳（標高231 m）を含む山塊と, 宇良部岳に次ぐ標高の久部良岳（標高195 m）を含む山塊に, 大きく二分される（図2参照）. 宇良部岳と久部良岳を含む山塊は, 隆起, 断層運動, 侵食の複合的な効果により, いずれも複雑な地形を呈する（図4b）. 島の最東端（東崎）, 南東部（新川鼻）, 北東部（馬鼻崎）には, 傾斜角 50° を超える急斜面が続く. 海岸に

図4 与那国島の高度段彩図 (a) と傾斜区分図 (b)

Fig. 4 Maps showing elevation (a) and slope (b) of Yonaguni Island

Landform analyses are based on the 10 m Digital Elevation Model of the Geographical Institute of Japan.

外では、ティンダバナなどに正断層による崖が連続する。これらの山塊や崖を除くと平坦面が多いが、平坦面のほとんどは琉球層群の石灰岩からなる隆起サンゴ礁段丘である。なお、祖納・久部良・比川の3つの集落は、いずれも小規模な沖積地に位置する(図2参照)。

表層地質と地形(標高・傾斜)には明瞭な関係が認められる。八重山層群が露出する丘陵は、琉球層群の段丘に比べて、標高が高く、傾斜が大きい。それぞれ

の表層地質ごとに傾斜角分布を求めると、平坦面(9°以下)の76%が琉球層群および完新統の堆積物に一致する。琉球層群が露出する面は50°以下の傾斜がほとんどで、それより傾斜の大きい琉球層群の斜面は、ティンダバナに代表されるような正断層によるものである。琉球層群を切る断層崖を除けば、急斜面(50°以上)のほとんどは八重山層群がつくる丘陵で、特に島の南東部のサンニヌ台周辺には傾斜角70°以上の急崖が連続する。

III ジオサイト

1. ティンダバナ

ティンダバナは、与那国島の中心集落である祖納の西側に位置する断層崖である。ティンダバナでは、地層・岩石の記載と、断層崖に発達する微地形の観察を行った。島弧および背弧海盆の軸におよそ平行するENE-WSW走向の正断層と、それと交差するNW-SE走向の正断層が、明瞭な崖を形成している（図2参照）。断層崖には八重山層群の砂岩・泥岩と琉球層群の石灰岩との不整合が露出し、石灰岩からなる崖の上で涵養された地下水が流出しており、数mの深さに及ぶノッチが形成されている（図5）。

ティンダバナの露頭では、砂岩に薄く挟まる泥岩部分が著しく破碎され、その破碎物がノッチの付近に集積している。特に不整合面付近では地下水の流出による風化が著しく（図6）、泥岩に多く含まれる粘土鉱物の膨潤性によるスレーキング（乾湿風化）がノッチを発達させ、それが上位の琉球層群の落石を引き起こしていると考えられる（たとえば、尾方・大坪 2019）。

露頭の砂岩の一部には、標高約50 mのところまで塩類風化によって形成される微地形（タフォニ）が認められる。地下水が涵養される段丘面は標高約75 mで、地下水の滞留時間は短く、溶存イオンは多くないと推察されるため、冬のモンスーンがもたらす海水飛沫による塩類の析出が大きく寄与していると考えられる。

段丘面で涵養されて不整合面から流出した地下水

図5 ティンダバナの露頭

Fig. 5 Outcrop of the Tindabana geosite

Notches are formed between the Miocene sandstone (Yaeyama Group) and Pleistocene limestone (Ryukyu Group). Slaking actively occurs at the clay-rich layer part of the Yaeyama Group.

図6 ティンダバナの不整合から流出する湧水

Fig. 6 Springs from the stratigraphic boundary of the Tindabana geosite

Groundwater discharge accelerates weathering and erosion, which form the notch between sandstone and limestone. The development of notches results in rockfalls at the limestone cliff.

図7 祖納の沖積地と集落・水田

Fig. 7 Small alluvial plain near the Sonai settlement

Groundwater discharge contributes to rice fields and other human activities on Yonaguni Island.

は、湧水となり、祖納集落の周辺に広がる沖積地の水田にも利用されている（図7）。与那国島の気候条件ではイネの二期作が可能であるが、労働力不足により現在は一期作しかなされていない。この沖積地の形成は、祖納北側の砂浜海岸（ナンタ浜）によって河川が堰き止められやすいこととも関係しており、洪水もしばしば発生する。最近では2019年5月13日に沖積地のほぼ全域が水没した。

2. 久部良フリシ

久部良フリシは、与那国島の北西側に位置する岩石

海岸である。久部良フリシでは、地層・岩石の記載と、海食崖に発達する微地形の観察を行った。この岩石海岸の一部には琉球層群の石灰岩もみられるが、大部分は八重山層群の砂岩からなる波食棚と海食崖である（図8）。このサイトに地質図スケールの断層は存在しないが（図2参照）、引張の応力によって形成されたとみられる砂岩の割れ目（伸張節理など）を広く観察できる。

久部良フリシの海食崖にはタフォニが発達している（図9）。タフォニは、海岸線からの距離80 m、海面からの高さ20 mを超える位置にも形成されている。久部良フリシの海食崖は北向きで、冬のモンスーンによる海水飛沫を受けやすく、また強風による蒸発も活発

に生じる。これらの環境条件により塩類風化が進行し、タフォニが発達したと考えられる。

砂岩の表面は、図9からもわかるように、タフォニが発達する面と平滑な面とに分けられる。平滑な面は、ごく微小な窪みが認められ、これからタフォニが発達するとみられる面と、ほぼ完全に平滑で、タフォニが侵食され尽くしたとみられる面が混在している。これらの判別には今後の詳しい調査が必要であるが、いずれにしても、この露頭では、塩類風化が地形変化の重要なきっかけになっていると推察される。

タフォニのような微地形をつくる時間スケールは、一般に $10^0 \sim 10^2$ 年とされる（Viles 2013）。また、この露頭の風化環境は、海面からの高さ、海岸線からの

図8 久部良フリシの露頭

Fig. 8 Outcrop of the Kubura-furishi geosite

The landform consists of a shore platform and cliffs of the Miocene sandstone (Yaeyama Group) covered partly by Pleistocene limestone (Ryukyu Group).

図9 久部良フリシの砂岩に形成されたタフォニ

Fig. 9 Tafoni formed on the sandstone surface of the Kubura-furishi geosite

These slopes include honeycomb structures and smooth surfaces, suggesting different geomorphic stages.

距離によって、大きく変わる。この露頭で現在みられる地形形成環境は、ほぼ現在の位置に海面が安定した約1万年前以後のものと考えられる。

3. サンニヌ台

サンニヌ台は与那国島の南東側に位置する海岸で、八重山層群の砂岩と琉球層群の石灰岩からなり、これらの地層は正断層で切られている（図10）。サンニヌ台では、断層露頭において、断層中心部を含む断層破砕帯の記載および断層の運動方向の把握を行った。断層破砕帯は一般的に断層コア（Fault core）とダメージゾーン（Damage zone）に分けられる（たとえば、Choi et al., 2016）。

サンニヌ台の断層（図10a）は、ENE-WSWの走向で北に60°ほど傾斜しており、断層面を挟んで北側の琉球層群が露出する岩体为上盤、南側の八重山層群が露出する岩体が下盤となる（図10b）。この断層の垂直隔離（断層のずれによる鉛直方向の食い違い量）は約70 mである。この断層は、断層コアの幅が約2～3 mで、ダメージゾーンの幅が約40 mであり、さらに副次的な断層面をもつ（図10b）。ダメージゾーンは

八重山層群および琉球層群の両方の地層に発達しているが、八重山層群の方が琉球層群よりもダメージゾーンの幅が大きい（図10b）。

下盤側の八重山層群では多数のクラックが認められる。断層コアから水平に約30 mの間に1 m²あたり10条以上のクラックが認められ、断層コアから水平に約30～40 mの間のクラックは1 m²あたり10条以下である。

上盤側の琉球層群では、その最下部の八重山層群由来の基底礫岩層が正断層による引きずりを受けておらず、その上位の石灰岩と一連に正断層変位を被っている。

図10cは断層コアの拡大写真で、厚さ約2 mの非常に柔らかい断層ガウジが認められる。断層ガウジの大部分は明灰色および暗灰色をなす。断層ガウジ中のせん断面には断層条線（断層のすべり痕）が認められ、断層条線の方向は上盤側が北北西にずれ落ちていることを示す。また、断層ガウジの一部は、正断層センスの断層運動による変形を受けながら赤褐色に変質している（図10c）。

図10 サンニヌ台の露頭

(a) 正断層地形, (b) 断層露頭, (c) 断層コア。断層露頭の崖の上の道路から崖下までの高さは約40 m。

Fig. 10 Fault outcrop in the Sanninu-dai geosite

(a) Fault topography, (b) Outcrop of normal fault and (c) Fault core. The height between the road on the cliff and the bottom of the cliff is ca. 40 m. This fault is one of normal faults cut the Miocene Yaeyama Group and the Quaternary Ryukyu Group to make the diamond island shape. This fault has all parts of the fault zone; fault gouge part, fault damage zone and wall rock zone. The fault gouge that has changed to reddish brown (area surrounded by the broken lines) is deformed by the normal faulting.

IV ジオサイトの地球科学的意義と課題

1. ジオサイトとしての科学的な価値

地形学の視点からジオサイトをみると、まず重要なことは、地形をつくる内的営力および外的営力として、どのような事象が読み解けるかを明確にすることである。内的営力には地殻変動と火山活動、外的営力には風化・侵食・運搬・堆積の素過程がある。IIIで述べた各ジオサイトは、適切な解説さえあれば、砂岩が地殻変動により隆起し、それが風化・侵食を受けたという地形発達や地形プロセスの基礎を学ぶジオサイトとして活用できる。

砂岩が岩石海岸を構成するところにはしばしば特徴的な風化プロセス（塩類風化）が認められるが（たとえば、松倉 2017）、与那国島の岩石海岸は、塩類風化を活発に引き起こしやすい条件にあると考えられる。アメダスデータ（与那国島）をみると、年平均気温 23.8℃、年平均風速 6.6 m/s（いずれも 1981～2010 年の平年値）で、与那国島は日本の中では高温と強風による蒸発を受けやすく、かつ激しい海水飛沫を浴びやすい地域であり、塩類風化を受けやすい地形形成環境にあるといえる。また、卓越風は、夏期（4～8月）が南、冬期（9～3月）は北北東と、明瞭に切り替わっており（1990～2010 年の平年値）、斜面方位によって塩類風化をもたらす気候環境に多様性がある。与那国島が、全方位を外洋に囲まれた地理的環境と、季節によって風向が異なるモンスーン地域にあることは、塩類風化を学ぶフィールドとして日本を代表するものになりえるとともに、環境条件の違いがもたらす風化プロセスへの影響を解明する地形学的研究の適地を提供している。

地質学的視点からみると、まずは八重山層群と琉球層群から、その堆積環境を読み解くことが重要になる。八重山層群と琉球層群の不整合は、それぞれが形成された地質時代間に大きな環境変化があったことを示している。その時間的ギャップは、日本列島（南琉球を除く）が大陸から離れて島弧（東北日本弧・西南日本弧・琉球弧）となり、激しい火山活動が続き、さらに第四紀氷河時代に入って氷期と間氷期を繰り返し始めた時代を含んでいる。日本列島にはそれらの地質学的証拠が数多く残されているが、与那国島では八

重山層群と琉球層群しか確認できない。この事実は、与那国島の堆積環境が日本では特殊であった可能性を示し、日本列島とその周辺の新生代の地層を考えるための貴重なジオサイトを提供している。

テクトニクスからの視点からは、明瞭な正断層地形が複数確認できる点で、日本随一のジオサイトになりえる。現在、プレートの収束境界に沿う島弧である日本列島は、基本的には短縮変形のテクトニクス場であり、日本列島で第四紀に活動している断層には逆断層ないしは横ずれ断層が多い（たとえば、Taira 2001）。その点で、正断層が明瞭に確認できる与那国島は、日本では極めて貴重である。とりわけサンニヌ台では、正断層の断層本体（断層ガウジ部）、断層破碎帯（ダメージゾーン）、健全部分と、断層帯を構成する主要要素（たとえば、Choi et al. 2016）を全て観察できる。正断層の構造を詳細に観察できる露頭が良い状態で保存されているサンニヌ台は、地殻が水平方向に引っ張られる地殻変動を研究する、またそれを学習するジオサイトとしての価値が極めて高い。さらに、この断層のすべり方向から、与那国島は南北方向に伸長変形を被っていることが示唆される。島が沖縄トラフに近いという位置関係および正断層の多くが沖縄トラフの中軸部方向（与那国島から見て北）に傾斜していることを踏まえると、与那国島の正断層群は大陸プレート（ユーラシアプレート）を分裂させる背弧海盆（沖縄トラフ）の拡大（Sibuet et al. 1995）と関連している可能性がある。沖縄トラフ内には与那国島で認められる正断層群と似た走向をもつ正断層が多数発達している（たとえば、古川 1991; 活断層研究会 1991）。今後、与那国島をフィールドにした研究から、琉球弧の構造発達史をより詳細に解明する必要がある。

与那国島のジオサイトの魅力は、以上に述べた地形や地層や地質構造のみではない。ティンダバナの事例のように、地層・岩石や地質構造は、水循環や、土地利用をはじめとする人間活動をコントロールする要因になっている。ジオサイトの科学的評価にあたっては、地理学や地質学のさまざまな分野を統合するセンスが重要で、そのためには学際的なチームによる多面的な調査が必須である。

図11 与那国島南岸に発達する砂岩の節理に支配された地形
Fig. 11 Landform controlled by joints of sandstone along the south coast of Yonaguni Island

2. ジオサイトの評価にみる科学的課題

与那国島の地形形成環境は、東に約30 km離れた西表島と比較することによって明瞭になる。西表島は、ほぼ全域が八重山層群の砂岩に覆われているが、マスマーブメントや河川による侵食が比較的起伏の大きい地形を形成している（たとえば、尾方 2011）。与那国島と西表島の地形の違いは、岩質（風化・侵食に対する抵抗性）や気候条件（風化・侵食を引き起こす営力）の違いのみでは説明できず、地殻変動とそれを引き起こす応力場の違いで説明される必要がある。与那国島の地形形成環境を理解する上で、引っ張りのテクニクスと正断層の地殻変動は極めて重要である。

ここで、国内航空会社の機内誌などでもその名称で紹介されている、いわゆる「海底遺跡ポイント」について言及しておきたい。この「海底遺跡ポイント」は、与那国島南岸付近のダイビングの名所であり、特に欧米からのダイバーに人気だという。その直線的な造形は確かに人工物のように見えるのかもしれないが、その北東延長上に位置するサンニヌ台の周辺にも、ほぼ同様の景観が形成されている（図11）。この景観は、砂岩の層理と直線的な節理に支配された風化・侵食プロセスによって形成されたと考えられ、与那国島の南岸で普遍的に観察できる地形である。

いわゆる「海底遺跡ポイント」の景観を地球科学的に評価するためには、氷河性ユースタシーを踏まえた検討も必須である。このダイビングポイントは海面下数mに過ぎず、その上端の一部は干潮時に海面上に露出するほど浅い。一方、サンニヌ台は約40 mの比高がある。この一連の地形は、現在の環境下では海域

と陸域という決定的な違いがあるとはいえ、その環境の違いが生まれたのは完新世に入った約1万年前に過ぎない。それに先立つ最終氷期には、海面からの高さによるわずかな環境の違い（たとえば塩類風化をもたらす海水飛沫の頻度や強度）はあったものの、岩石海岸が連続しており、タフォニのような微地形を除けば、主に節理に支配された同様の地形プロセスが認められた可能性が高い。

以上のように、与那国島にはさまざまな地球科学的魅力が存在するが、本稿で述べてきたような科学的な理解は、残念ながら島内ではほとんど認知されていない。各ジオサイトには簡略な説明看板が設置されているものの、地球科学的な解説は皆無に等しい。加えて、与那国町の公式ウェブサイトで地質に関する誤認が記述されていること、さらに、前述した「海底遺跡ポイント」における地球科学のおよび考古学的な理解が乏しいことなど、科学教育の観点からみると、さまざまな問題を抱えている。関係省庁、自治体、複数分野の地球科学研究者の協働によって、与那国島の地形形成環境に対する正しい理解を促していくことが必要である。

3. 台湾島との関係

与那国島は、台湾島の蘇澳港から東にわずか111 kmの距離にあり、地球科学的にも関係が深い。台湾島北端付近の野柳（図12; Yehliu）には、与那国島の八重山層群と対比される可能性の高い砂岩が分布する（たとえば、Tu and Chen 1990）。地層の対比には今後の詳しい地質学的調査が必要であるものの、与那国島の八重山層群に類似する地層は台湾島にも連続し

ているとみられる。この砂岩は与那国島と同様に塩類風化が著しく、それによって形成されたいわゆる「奇岩」に“Cute Princess”などの愛称が付けられ、ジオパークとしても保全・活用されている²⁾。

また、ユーラシアプレートの背弧海盆である沖縄トラフは、台湾島北東部まで延長していると考えられ、その末端とみられる宜蘭平野が陸上に露出する(図12; Yilan)。宜蘭平野では、GPS速度場から沖縄トラフの拡大に調和的な伸長変形が検出されており(Bos et al. 2003; Chang et al. 2003)、伸長変形でできた凹地に台湾中央山脈から大量の岩層が運搬され、厚く堆積している。宜蘭平野では伸長変形を生じさせる陸域の正断層は確認されていないものの、地中では伸長変形に調和的な正断層型地震が発生している(たとえば、Lu et al. 1995)。

さらに、与那国島に吹き付ける冬の北東モンスーンは、水蒸気を多く含む大気を台湾島に供給し、それが宜蘭～花蓮付近で台湾中央山脈にぶつかり強制上昇を発生させて大量の降雨をもたらしている。なお、この中央山脈と、その東側に位置する海岸山脈との境界

は、ユーラシアプレートとフィリピン海プレート(ルソン弧)との衝突境界である(図12参照)。この一帯のテクトニクスは複雑で、琉球弧の側ではフィリピン海プレートがユーラシアプレートに沈み込んでいるが、台湾島では衝突境界となり、さらに南下するとマニラ海溝においてユーラシアプレートがフィリピン海プレートに沈み込む逆転現象がみられる³⁾。

このように、与那国島と台湾島は、地球科学的にも極めて強い繋がりがあり、将来的には国境を越えた地球科学の研究・教育、さらにはジオツーリズムを組み入れたボーダーツーリズムに展開せうるポテンシャルも秘めている。そのような将来も見据えたうえで、与那国島のジオサイトを適切に保全・活用していくことが望まれる。

V まとめ

(1) 与那国島の地形の大部分は、新第三系の砂岩と第四系の石灰岩からなり、前者は主に丘陵、後者は主に段丘を形成している。

(2) ティンダバナでは、砂岩と石灰岩の不整合から湧水があり、それがノッチを形成している。ティンダバナは、地層・岩石、水循環、地形プロセス、土地利用などを総合的に学ぶジオサイトとして適している。

(3) 久部良フリシでは、砂岩の波食棚から続く崖で塩類風化が顕著に発生している。久部良フリシは、岩石海岸の地形とその風化・侵食プロセスを専門的に学ぶジオサイトとして適している。

(4) サンニヌ台には、背弧海盆の拡大に関連したとみられる正断層の大規模な露頭がある。サンニヌ台は、第四紀テクトニクス、さらには内的営力と外的営力の組み合わせで進行する地形変化を学際的に学ぶジオサイトとして適している。

(5) 与那国島のジオサイトの価値は、台湾島との繋がりを考えることでさらに高まる。国境を越えた地球科学の研究・教育に加え、ジオツーリズムを組み込んだボーダーツーリズムのパイオニア的存在になるポテンシャルを秘めている。

謝 辞

本研究は「与那国島の断層帯天然記念物緊急調査」

図12 与那国島周辺のテクトニックフレームワーク (Shyu et al. 2005を改変)

Fig. 12 Tectonic setting around Yonaguni Island (modified from Shyu et al. 2005)

The Okinawa Trough (back-arc basin) extends to the northeastern part of Taiwan, and the Yilan Plain at the end of the Okinawa Trough is exposed.

の一環として行われた。特に、野外調査を手伝っていただいた与那国町教育委員会の村松稔氏と、ジオサイトの価値について助言いただいた文化庁の柴田伊廣氏に感謝いたします。

注

- 1) <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- 2) <http://www.ylgeopark.org.tw/content/index/index.aspx>
- 3) 日本の地理教育で使用されている学校教科書では、尾方（2019）が指摘したように、この一帯のプレート境界に誤記が目立つ。

文 献

- 大村明雄・児玉京子・渡辺将美・鈴木 淳・太田陽子 1994. 与那国島のサンゴ礁段丘および段丘構成層からのウラン系列年代——それらの海面・地殻変動史への意義. 第四紀研究 33: 213–231.
- 尾方隆幸 2011. 琉球諸島のジオダイバーシティとジオツーリズム. 地学雑誌 120: 846–852.
- 尾方隆幸 2019. 地理教育の限界——アフリカ大陸の景観から. 地理 64(3): 12–19.
- 尾方隆幸・井村隆介 2018. 琉球弧の地形——現在の地形形成環境と地形形成プロセス. 鹿児島大学生物多様性研究会編『奄美群島の野生植物と栽培植物』10–25. 南方新社.
- 尾方隆幸・大坪 誠 2019. 琉球弧の地球科学的研究——断層と風化・侵食プロセスに関する研究の課題と展望. 第四紀研究 58: 377–395.
- 活断層研究会 1991. 新編日本の活断層 分布図と資料. 東京大学出版会.
- 坂井 卓・浜田正平・辻 和毅・鈴木 勲・黒川陸生 1978. 八重山群島と与那国島の地質. 琉球列島の地質学研究 3: 61–78.
- 古川雅英 1991. 琉球弧と沖縄トラフの発達史. 地学雑誌 100: 552–564.
- 松倉公憲 2017. 地形学からみた風化研究の問題点と今後の課題. 地学雑誌 126: 271–296.
- 目崎茂和 1980. 琉球列島における島の地形学的分類とその帯状分布. 琉球列島の地質学研究 5: 91–101.
- Bos, A. G., Spakman, W. and Nyst, M. C. J. 2003. Surface deformation and tectonic setting of Taiwan inferred from a GPS velocity field. *Journal of geophysical Research* 108: doi:10.1029/2002JB002336.
- Chang, C. P., Chang, T. Y., Angelier, J., Kao, H., Lee, J. C. and Yu, S. B. 2003. Strain and stress field in Taiwan oblique convergent system: Constraints from GPS observation and tectonic data. *Earth and Planetary Science Letters* 214: 115–127.
- Choi, J. H., Edwards, P., Ko, K. and Kim, Y. S. 2016. Definition and classification of fault damage zones: A review and a new methodological approach. *Earth Science Reviews* 152: 70–87.
- Fabbri, O. and Fournier, M. 1999. Extension in the southern Ryukyu arc (Japan): Link with oblique subduction and backarc rifting. *Tectonics* 18: 486–497.
- Kuramoto, S. and Konishi, K. 1989. The southwest Ryukyu Arc is a migrating microplate (forearc silver). *Tectonophysics* 163: 75–91.
- Lu, C. Y., Angelier, J., Chu, H. T. and Lee, J. C. 1995. Contractional, transcurrent, rotational and extensional tectonics: examples from Northern Taiwan. *Tectonophysics* 246: 129–146.
- Ramsay, J. G. and Huber M. I. 1984. The techniques of modern structural geology. Academic Press, 307p.
- Shyu, J. B. H., Sieh, K., Chen, Y. G. and Liu, C. S. 2009. Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes. *Journal of Geophysical Research* 110: B08402.
- Sibuet, J. C., Deffontaines, B., Hsu, S. K., Thureau, N., Lefort, J. P., Liu, C. S. and Act Party 1998. Okinawa Trough backarc basin: Early tectonic and magmatic evolution. *Journal of Geophysical Research* 103: 30245–30267.
- Taira, A. 2001. Tectonic evolution of the Japanese Island arc system. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 29: 109–134.
- Tu, M. and Chen, W. 1990. *Explanatory text of the geologic map of Taiwan*, Chungli, scale 1: 50000. Central Geological Survey.
- Viles, H. A. 2013. Synergistic weathering processes. In *Treatise on Geomorphology*, Vol. 4. ed. Shroder, J. F. and Pope, G. A. 12–26. San Diego: Academic Press.

〈著者略歴〉

尾方隆幸（おがた たかゆき）

1973年 東京都生まれ。琉球大学准教授。博士（理学）（筑波大学）。与那国島から台湾を望めたことがない。

大坪 誠（おおつば まこと）

1978年 福岡県生まれ。産業技術総合研究所主任研究員。博士（理学）（京都大学）。与那国島から台湾を望めたことがない。

伊藤英之（いとう ひでゆき）

1966年 北海道生まれ。岩手県立大学総合政策学部教授。博士（理学）（北海道大学）。与那国島から台湾を望めたことが一度だけある。