堆積学スクール 2017「第四紀サンゴ礁性堆積物と構造運動」参加報告

山田昌樹^{1*}・滝 俊文²・佐藤智之³

A report on the School of Sedimentology 2017 entitled “Quaternary coral reef sediments and tectonic movement”

Masaki Yamada^{1*}, Toshifumi Taki² and Tomoyuki Sato³

はじめに

日本堆積学会による堆積学スクール 2017「第四紀サンゴ礁性堆積物と構造運動」が、2017年11月2日(木)から4日(土)までの3日間、鹿児島県の南方約380kmに位置する喜界島において開催された(第1図)。喜界島サンゴ礁科学研究所で講義とコア観察を行い、野外巡検では炭酸塩岩の露頭や隆起サンゴ礁を観察した(松田, 2017)。また、11月5日(日)には、オプションとしてシュノーケリングによる現世サンゴ礁の観察が実施された。熊本大学の松田博貴氏に講師を務めていただいた本堆積学スクールには、一般会員6名、学生・院生会員1名、非会員一般1名が参加した。参加者の多くは、普段の研究では炭酸塩岩やサンゴ礁を取り扱っておらず、堆積学一般の知見を深めることを目的とされている方が多いように見受けられた。本稿では、4日間のスケジュールに沿って講義と野外巡検の内容を簡潔にまとめる。

スケジュール

11月2日(木)

10:30 喜界空港集合

受付: 2017年12月25日

¹ 東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

² 茨城大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

³ 産業技術総合研究所地質情報研究部門

Research Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

* Corresponding author: yamadama@eri.u-tokyo.ac.jp

11:00-12:00 講義: 琉球列島第四紀サンゴ礁性堆積物と喜界島の地質

13:00-17:00 野外巡検: 喜界島の地形と地質, 琉球層群の岩相

17:15-18:00 講義: 炭酸塩堆積物の基礎と分類

18:00-18:45 講義: 炭酸塩続成作用

19:00-23:00 懇親会

11月3日(金)

8:30-9:45 コア観察

10:00-16:30 野外巡検: 島尻層群, サンゴ礁複合体

17:00-18:00 講義: 琉球列島のサンゴ礁, 現世サンゴ礁北限域の沈水サンゴ礁

18:30-23:00 懇親会

11月4日(土)

8:30-15:30 野外巡検: 隆起サンゴ礁, 喜界島の水理地質, 喜界町埋蔵文化財センター

17:00 喜界空港解散

11月5日(日) *オプション

10:00-12:00 野外巡検: シュノーケリングによる現世サンゴ礁観察

第1日目

講義: 琉球列島第四紀サンゴ礁性堆積物と喜界島の地質

琉球列島の地形や海洋学的特徴, 堆積相分布についての講義をしていただいた(写真1)。琉球列島は、黒潮の背弧側への流入によって海水温が高くなっているため、比較的高緯度であるにも関わらずサンゴ礁が発達していることや琉球列島周辺には潮汐流が卓越することで水深100mの島棚縁であっても比較的粗粒な砂質堆積物が分布することな

第1図 喜界島の位置と標高(国土地理院の10m DEMを使用)。喜界島サンゴ礁科学研究所と野外巡検で訪れた観察地点(Stop 1-20, 阿伝集落, シュノーケリングポイント)の位置も図中に示す。

ど、琉球列島周辺独特の堆積環境について学んだ。また、喜界島の広範囲に分布する更新統琉球層群の岩相についてとそこから読み取れる海水準変動についても説明をしていただいた。喜界島では、サンゴ礁性石灰岩が全域に広がっており、岩相の古生物学的特徴や堆積構造などから推定される古水深を用いて、過去の海水準変動を読み取ることができることを学んだ。さらに、炭素・酸素安定同位体を用いてサンゴ礁堆積物を解析することで、より高解像度な海水準変動を読み取れる可能性があることを教示された。また、喜界島の外周全域には完新統隆起サンゴ礁が広がっており、複数の段丘面があることを知った。このような喜界島の地質・地理学的概略を学んだ後に野外巡検へと向かった。

野外巡検：喜界島の地形と地質、琉球層群の岩相

Stop 1 百之台：喜界島の地形—隆起サンゴ礁—

まず、喜界島南東側の断層崖上に位置する百之台を訪れた(第1図)。島の最高地点である百之台は、奄美十景に数

えられる展望地であり、島の周囲を取り囲む完新統隆起サンゴ礁を観察した(写真2a)。喜界島は隆起速度がきわめて速いため、浅礁湖(礁池)の発達が乏しく、隆起サンゴ礁の外側はすぐに礁斜面になるとの説明を受けた。また、標高10m程度の平坦な隆起サンゴ礁段丘上は、集落やサトウキビ畑として利用されていた。

Stop 2 テーバルバンタ：喜界島の地形と地質

南部の中西台に位置するテーバルバンタからは、北東方向に中西面(標高140m程度)と南西方向に上嘉鉄面(標高50m程度)が確認できた(第1図, 写真2b)。標高の異なる平坦面が複数見られ、喜界島が隆起を繰り返していることが一目瞭然であった。喜界島の地形が一望できる本観察地点では、喜界島の地質概略について説明を受けた。

Stop 3 西目：琉球層群の岩相—大型有孔虫石灰岩—

喜界島中央部の西目集落周辺には、大型有孔虫石灰岩と石灰藻球石灰岩が帯状に分布している(第1図)。本観察地点の露頭では、*Operculina ammonoides* や *Cycloclypeus carpenteri* が密集した大型有孔虫石灰岩(ラドストーン)を

写真 1 喜界島サンゴ礁科学研究所での松田博貴氏による講義の様子。

観察した (写真 2c)。

Stop 4 城久^{ぐすく}北方: 琉球層群の岩相—石灰藻球石灰岩 (中部更新統)—

本観察地点では、石灰藻球石灰岩からなる露頭を観察した (写真 2d)。中部更新統サンゴ礁複合体 (百之台層) に属するこの地点の石灰藻球石灰岩は、非常に堅固であった。最初は、直径 2 cm 程度の石灰藻球を見つけるのは容易ではなかったが、観察を続けるうちに判別ができるようになった。

Stop 5 城久南東方: 琉球層群の岩相—石灰藻球石灰岩 (上部更新統)—

続いて、城久の南東方面へと向かった (第 1 図)。これま

写真 2 (a) Stop 1: 百之台から望む喜界島の北東部。 (b) Stop 2: テーバルパンタの南西方向に観察された上嘉鉄面。 (c) Stop 3: 西目地域の露頭に見られた *Operculina ammonoides* を主体とする大型有孔虫石灰岩。 (d) Stop 4: 城久地域において石灰藻球石灰岩の説明をされる松田博貴氏。 (e) Stop 6: 城久地域で認められたドロマイト質石灰岩。 (f) Stop 7: スギラビーチの隆起サンゴ礁断面に見られる造礁サンゴ化石。

での地点で観察した琉球層群が中部更新統の石灰岩であったのに対して、本観察地点では上部更新統サンゴ礁複合体(湾層)の石灰藻球石灰岩を観察した。Stop 4に見られた中部更新統の石灰藻球石灰岩とは異なり、非常に柔らかくもろい印象を受けた。

Stop 6 城久西方：琉球層群の岩相—ドロマイト質石灰岩—

本観察地点では、ドロマイト化した生砕性石灰岩を観察した。城久地域におけるドロマイト質石灰岩は、薄灰色を呈し、堅固であった(写真 2e)。ここでは、石灰岩のドロマイト化作用に関する説明を受けた。

Stop 7 スギラビーチ：琉球層群の岩相—サンゴ石灰岩—、隆起サンゴ礁と礁断面

スギラビーチは喜界空港のすぐ傍に位置している(第1図)。喜界島の周縁は完新統隆起サンゴ礁が取り囲んでいるため、海水浴に適した砂浜は少ないが、スギラビーチは島随一の海水浴場として利用されている。ここでは、隆起サンゴ礁断面に見られる現地性造礁サンゴの典型的な礁構造が認められた(写真 2f)。また、ビーチ近くの公園施設の外壁にはサンゴ石灰岩の石材が用いられており、そこでもサンゴ石灰岩内に礁構造を観察することができた。

講義：炭酸塩堆積物の基礎と分類

炭酸塩堆積物の組成や分類について学んだ。また、炭酸塩岩を構成する一部である造礁サンゴや石灰藻類、有孔虫など多くの実物標本を見せていただいた。講義の最初に言われた「火成岩には鉱物が数多くあるけれど、炭酸塩岩は鉱物が3種類しかないから覚えるのが楽。」という言葉が印象的だった。しかし、いざ学んでみると、単純な鉱物組成も自生・膠結作用によって多種多様なセメントを形成していくことを知り、炭酸塩堆積物の分類もなかなか大変だと感じた。

講義：炭酸塩続成作用

炭酸塩岩の大きな特徴の1つとして、鉱物の化学的な特性により顕著な続成作用を被ることが挙げられる。講義では、続成作用に影響を与える間隙水のpHや二酸化炭素の分圧、温度、圧力の関係などについて説明していただいた。また、続成過程を考えることで、堆積後の環境変化を考える手がかりになることを学んだ。参加者は、野外巡検で観察した岩石がどのような続成作用を受けたのかを想像しながら受講することができた。

第2日目

コア観察

2日目の午前中は、喜界島サンゴ礁科学研究所にて炭酸塩岩堆積物のコア試料を観察した(写真 3a)。沖縄県伊良

部島において掘削された全長約100mのコア試料(CR-3; 本田ほか, 1993)の一部を見せていただいた。大型有孔虫や石灰藻球を含む石灰岩やサンゴ石灰岩の断面を自由に触れながら観察し、岩相から読み取ることのできる堆積環境の説明を受けた。堆積物には複数回の海水準変動履歴が保存されており、堆積相変化と海水準変動を対応させながらのコア観察は大変勉強になった。参加者は、1日目に炭酸塩堆積物や続成作用に関する講義を受け、野外でも炭酸塩堆積物やサンゴ礁堆積物の露頭を観察していたため、これまで見た経験のないようなコア試料に対しても想像を膨らませて議論することができた。

野外巡検：島尻層群、サンゴ礁複合体

Stop 8 伊砂南東方：島尻層群早町層

本観察地点には、喜界島の基盤である島尻層群早町層の泥岩優勢砂岩泥岩互層が分布している(写真 3b)。参加者は、斜面を登って堆積相を観察しながら、当時の堆積環境などについて議論を交わした。地質学とは関係ないが、日本では喜界島以南の地域に生息しているオオゴマダラ蝶(喜界町では保護蝶に指定されている日本最大級の蝶)が何匹も飛んでいた。

Stop 9 塩道北方：島尻層群/琉球層群不整合境界

ここでは、島尻層群早町層上位に重なる琉球層群の中部更新統サンゴ礁複合体と上部更新統サンゴ礁複合体を観察した。2017年9月の豪雨により崖の一部が崩壊したため、新鮮な地層を観察することができた。本観察地点では、島尻層群からサンゴ礁性堆積物(琉球層群)の遷移層とされているコケムシが密集する知念層が確認された。琉球列島の島々を含めてもあまり観察されない珍しい地層であるとの説明を受け、参加者は熱心に知念層の岩相を観察していた(写真 3c)。

Stop 10 佐手久：MIS4 礁複合体の礁相と礁前縁相

本地点(標高約15m)では、未固結生砕性石灰岩の段丘崖を観察した(第1図, 写真 3d)。露頭の上に認められる造礁サンゴ化石からは、 61.2 ± 0.9 kyの年代値が得られており、この段丘崖がMIS4からMIS3にかけて堆積した礁前縁相と考えられるとの説明を受けた。

Stop 11 平家森北方：MIS4 礁複合体の礁相と礁前縁相

標高約65mに位置する本観察地点にもMIS4礁複合体が認められる(第1図)。ここでは、半固結の生砕性グレインストーンとその上位の現地性造礁サンゴ化石を観察した。本観察地点から次のStop 12に向かう途中に、喜界島南東部のサンゴ石垣が多く残されている阿伝集落を訪れた(第1図, 写真 3e)。台風の被害を小さくするためにサンゴブロックを積み上げて作られた石垣はとても素晴らしい景観で、喜界町でも昔ながらのサンゴ石垣の保存・維持に取

写真 3 (a) 喜界島サンゴ礁科学研究所でのコア観察の様子. (b) Stop 8: 伊砂地域における泥岩優勢砂岩泥岩互層からなる島尻層群早町層. (c) Stop 9: 塩道地域の露頭で知念層を観察する参加者. (d) Stop 10: 佐手久地域の露頭で未固結生砕性石灰岩の説明をされる松田博貴氏. (e) 阿伝集落に残されているサンゴ石垣. (f) Stop 14: 水天宮地域においてサンゴ礁複合体の不整合を観察する参加者.

り組んでいるようだ.

Stop 12 水天宮西方：上部更新統砂丘砂層

喜界島の北岸沿いには、更新～完新統の層厚 20 m にも及ぶ砂丘砂層が分布している. 本地点では、琉球層群を不整合に覆う高角斜交層理が特徴的な砂丘砂層を観察した. 標高 50 m にも及ぶ地点において砂丘の砂層を観察したことで、喜界島の隆起速度の速さを体感した.

Stop 13 水天宮西方：中部/上部更新統サンゴ礁複合体

近年の圃場整備と遺跡群の発掘調査によって新たな露頭が出現し、水天宮周辺地域 (Stop 12-15, 第 1 図) の地層の理解が深まっている. 本地点では、中部更新統サンゴ礁複合体、上部更新統 MIS5a サンゴ礁複合体、そして旧期砂丘

砂層の累重関係を観察した. 層準ごとに異なる含有物を観察し、当時の堆積場についての説明を受けた.

Stop 14 水天宮南方：中部/上部更新統サンゴ礁複合体

本観察地点の露頭には、非常に明瞭な中部更新統サンゴ礁複合体と上部更新統サンゴ礁複体の不整合面が認められた (写真 3f). Stop 13 と同様に、ここでも不整合面を挟んだ 2 つの地層の違いを観察した.

Stop 15 花尾神社西方：上部更新統サンゴ礁複合体—コケムシマウンドー

本地点では、コケムシ片を大量に含んだ未固結～半固結のコケムシ質堆積物を観察した. コケムシ (外肛動物) は、様々な群体系を示す炭酸カルシウムからなる骨格をもち、

外壁には個虫が存在する小さな穴が無数にある。ここでは、生砕性炭酸塩堆積物中に網状、太枝状、細枝状などの様々なタイプのコケムシを観察することができた。

講義：琉球列島のサンゴ礁、現世サンゴ礁北限域の沈水サンゴ礁

サンゴの生態や琉球列島のサンゴ礁地形について講義していただいた。また、最終氷期最盛期（約 1.8 万年前）にも現在と同じ場所にサンゴ礁があったのかどうかを調べた海洋調査についても紹介していただいた。琉球列島は、現生サンゴ礁の北限域に位置しており、サンゴの数は少ないが、世界的に見ても属数が多いことが特徴であるとの説明を受けた。講義では、平成 17 年から平成 23 年に実施した音波探査やドレッジ調査、ROV による海底の画像観察について説明していただいた。それぞれの調査で確認された礁岩はいずれも最終氷期には極浅海域に位置していたと考えられ、最終氷期の沈水サンゴの可能性があると説明を受けた。当時の琉球列島周辺がどのような環境であったのか、想像力を刺激される興味深い内容であった。

第 3 日目

野外巡検：隆起サンゴ礁、喜界島の水理地質、喜界町埋蔵文化財センター

Stop 16 ^{しとおり} 志戸桶海岸：隆起サンゴ礁と礁地形

本観察地点には、広大な完新世サンゴ礁段丘が見られた。礁池と礁嶺の地形や地層の構成物を観察し、それぞれの段丘面の形成年代や海水準変動の履歴に関する説明を受けた。わずかに数千年前に形成されたサンゴ礁が陸上に多く露出しており、ここでも喜界島の隆起速度の速さを実感した。

Stop 17 ハワイビーチ：完新統隆起サンゴ礁とタイドプール

喜界島外縁には完新統隆起サンゴ礁が広く分布しているが、隆起サンゴ礁にはタイドプールが見られることが多い（第 1 図、写真 4a）。本観察地点は、美しい景観とタイドプール内で容易に現世造礁サンゴが観察できることもあり、“ハワイ”という愛称で近年人気スポットとなっているらしい。残念ながら、この日の気温は低く、強風が吹き荒れていたため、参加者は“ハワイ”を感じることはできなかった。

Stop 18 荒木海岸：隆起サンゴ礁と段丘面

本観察地点は、喜界島の中でも隆起速度が相対的に速いため、より多数の段丘を識別できた。肉眼でも容易に識別できる段丘もあったが、言われなければ分からないような段丘も見られた。しかしながら、精密な地形測量と地質調査により本観察地点において 6 段の段丘面を識別したとの

説明を受けた（佐々木ほか、2003）。

Stop 19 滝川湧水：喜界島の水理地質、喜界町埋蔵文化財センター

島最高標高の湧水である滝川湧水は、喜界島に数多く存在する湧水の 1 つで、その湧水量は日量約 1 万トンに達する（写真 4b）。喜界島では、基盤の島尻層群が不透水基盤を形成し、その上位の琉球層群の多孔質石灰岩が透水層となっているとの説明を受けた。また、水資源確保のために巨大な地下ダムが建設されたことについても教えていただいた。次に、滝川湧水のすぐ脇にある喜界町埋蔵文化財センターを訪れた。ここでは、センターの吉田忠弘氏に喜界島の遺跡群で発見された埋蔵物や当時の人々のルーツなどに関する説明を受けた（写真 4c）。

Stop 20 鳥の山公園：陸域炭酸塩堆積物“Tufa”

鳥の山公園近辺には、“Tufa”と呼ばれる陸域炭酸塩堆積物とそれにより形成される微地形が見られる。本地点では、不透水基盤である島尻層群上面からの湧水が、段丘崖を流下するのに伴って形成された階段状の石灰岩堤を観察した（写真 4d）。それぞれの堤には、縁辺部の高まりと内側のリムプールが形成されており、地質学的にも景観としても見応えのある地点であった。

第 4 日目（オプション）

野外巡検：シュノーケリングによる現世サンゴ礁観察

最終日はオプションとして、現世サンゴ礁を 1 時間ほど海中で観察した。この観察ツアーには 2 名が参加し、喜界島サンゴ礁科学研究所の長浜千夏氏に案内していただいた。

観察場所は前日に隆起サンゴ礁を観察した荒木海岸である（第 1 図）。現地でウェットスーツとシュノーケルを装備し、隆起サンゴ礁からなる浜から海に入った（写真 4e）。喜界島の海岸は一般に急勾配で、ここでも浜から数十メートルも泳げばすぐに水深が 10m を超した。浜を構成する隆起サンゴ礁が海中にそのままつながっているのだが、海中ではその表面のところどころに赤や緑の造礁サンゴが認められた（写真 4f）。海面から顔をあげて浜を見れば隆起したサンゴ礁の段丘が広がり、潜れば今まさにサンゴによってサンゴ礁が形成されている海底が広がっているため、地層形成過程を容易に思い描けた。サンゴ礁はおおよそ年間 1cm 程度ずつ成長するとの説明があり、漠然と想像していたよりも速い成長速度に個人的には驚いた。サンゴは海底面全域を覆っておらず成長速度がそのまま地層形成速度になるわけではないものの、炭酸塩岩形成の速度スケール感もおぼろげながら理解できた。

様々な群体系のサンゴを観察できたが、枝状のもの、直

写真 4 (a) Stop 17: ハワイビーチのタイドプール. (b) Stop 19: 滝川湧水において喜界島の水理地質を説明される松田博貴氏. (c) 喜界町埋蔵文化財センターにおいて吉田忠弘氏の説明を受ける参加者. (d) Stop 20: 鳥の山公園に発達するリムプールを伴った階段状の Tufa 堆積物. (e) シュノーケリングの様子 (平野暢之氏撮影). (f) シュノーケリングで観察した荒木海岸の現世サンゴ礁 (平野暢之氏撮影).

径が数 m にも及ぶ塊状のもの、非造礁性のソフトコーラルが特に数多く認められた。その中で、特に先端部分が白くなっている枝状のサンゴが少なからずあった。それは白化現象と呼ばれ、おそらく最近の海水温が高かったために共生する褐虫藻が減少し、サンゴが死にかけているのだそうだ。

また、海中ではサンゴ以外の生物も多数観察できた。特に体長数センチ程度の黒や青の魚が多く、数十匹の群れが常に複数視界に入るほどだった。一方、海底面にはシャコガイとウニがそこかしこに認められた。うまく潜れず観察できなかったが、岩場の裏にはエビもいたらしい。

おわりに

今回の堆積学スクールでは、これまで詳しく学ぶ機会がなかった炭酸塩岩石学やサンゴ礁学について、講義と巡検を通して多くのことを学ぶことができた。やはり、専門の講師に講義や巡検をしていただくことは、教科書から得られる知識とは比べ物にならないほど多くのことを吸収できると改めて実感した。堆積学に関わる全ての分野の教員が揃っている大学はおそらくないため、このような機会は大変貴重であると考え、今回は開催場所が遠方ということもあってか、残念ながら学生の参加が1名のみだったが、次回以降は学生の参加者が増えることを期待する。学問的

写真 5 (a) 喜界島サンゴ礁科学研究所での参加者集合写真. (b) 1 日目の懇親会 (バーベキュー) の様子. (c) 2 日目の懇親会 (鍋) の様子.

に非常に充実した 3 日間であったことはもちろんのこと、講義後に行われた懇親会も負けず劣らず最高であった。参加者全員で喜界島産の黒糖焼酎飲みながら堆積学談義や昔話で盛り上がり、非常に濃く、忘れがたい喜界島ライフを過ごすことができた (写真 5)。

謝辞：本堆積学スクールの講師を務めていただいた熊本大学の松田博貴氏，研究会のサポートをしていただいた駒越太郎氏（北海道大学/喜界島サンゴ礁科学研究所），平野暢之氏（熊本大学），長浜千夏氏（喜界島サンゴ礁科学研究所），そして会場を提供してくださった喜界島サンゴ礁科学研究所の関係者の皆様に心より御礼申し上げます。また，喜界島で発掘された遺跡等について説明してくださった喜界町埋蔵文化財センターの吉田忠弘氏にも深く感謝の意を表します。最後に，本堆積学スクールを企画，運営していただいた日本堆積学会行事委員の皆様に感謝申し上げます。

文 献

- 本田信幸，辻 喜弘，松田博貴，佐渡耕一郎，結城智也，1993，更新統琉球層群の堆積相と堆積環境—琉球列島伊良部島の例—。石油開発技術センター研究報告，**24**，123-151。
- 松田博貴，2017，第四紀サンゴ礁性堆積物と構造運動。堆積学スクール 2017 配布資料，136p。
- 佐々木圭一，大村明雄，福井裕康，2003，南西諸島喜界島西端の荒木海岸における完新世サンゴ礁段丘。金沢学院大学紀要 情報科学・自然科学編，**1**，167-174。