琉球諸島のジオダイバーシティとジオツーリズム

尾 方 隆 幸*

Geodiversity and Geotourism of the Ryukyu Islands

Takayuki OGATA*

Abstract

The Ryukyu Islands strongly promote the geodiversity of Japan. A sub-tropic natural environment forms coral reefs and various landscapes linked to surface processes, active tectonics, and Quaternary environmental changes. Field excursions permit geoscientific observations of such landscapes, which reveal geodiversity and a framework for geotourism. Fieldwork was undertaken to arrange an educational program for conserving geodiversity and for geotourism. This program demonstrates the geodiversity and geotourism of the Ryukyu Islands, in terms of geomorphology and related disciplines. Basic geotours observe landforms and sediments, and consider geomorphic processes: weathering, erosion, transport, sedimentation, uplift, and sea level change. Applied geotours observe landscapes indicating global environmental problems, such as global warming, climate change, sea level rise, acid rain, and ecosystem based on geomorphology and related geosciences. For instance, acid rain accelerates the chemical weathering (decomposition) of limestone and erosion of karst landforms that are distributed widely on raised coral reefs. Such geotours require both scientific and attractive geostories managed by geoscientists. Japanese geoscientists should propose models for geotours derived from field excursions for landscape observations that will contribute to education, conservation, and geotourism.

Key words : geopark, geotourism, geodiversity, geomorphology, field excursion, landscape, observation, Ryukyu Islands

キーワード : ジオパーク, ジオツーリズム, ジオダイバーシティ, 地形学, 野外巡検, 景観, 観察, 琉球諸島

I. はじめに

世界ジオパークネットワーク (Global Geoparks Network) は, ジオパークの三本柱として, conservation, education, geotourism をあげている。地球科学の研究者は, これらのすべてに対して積極的に関与する必要がある。ジオダイバーシティの保全にあたっては, 地球科学の立場から, 研究者が保全すべきジオサイトを評価・選

定する必要がある。ジオパークで地球科学の教育や環境教育を進めるためには, 研究者がその教育プログラムを開発することが不可欠である。ジオツーリズムの発展についても, 野外に設置する解説板の作成, ジオツアーのルート設定, インタープリターの養成などは, 研究者が主導をとるべきである。こうした活動を通して, 地域特性を生かしたジオツーリズムのフレームワークを構築しなければならない。さらに, ジオサイトの基礎研

* 琉球大学教育学部

* Faculty of Education, University of the Ryukyus, Okinawa, 903-0213, Japan

究、自治体や環境 NPO への働きかけ、産学官連携のマネジメントなど、地球科学の研究者が取り組むべき仕事は多い。

琉球大学教育学部自然地理学研究室は、こうした問題意識の下、2009 年度から 2010 年度にかけてプロジェクト研究「ジオツーリズムのための自然環境教育プログラムの開発」を遂行した(尾方, 2009)。本稿では、プロジェクト研究の成果を報告し、地形学の視点から琉球諸島のジオダイバーシティとジオツーリズムについて議論する。まずリストアップされたジオサイト資源から、琉球諸島のジオダイバーシティを整理する。つづいて、景観のタイプごとに考案されたモデル・ジオツアーを紹介し、琉球諸島で実現可能なジオツアーのストーリーを例示する。

ジオパーク活動において、地理学・地質学の研究者が果たすべき役割は大きい。ジオツアーがサイエンスツアーの一種である以上、そのプランニングとマネジメントは、研究者の介入を前提とする。とりわけ、ジオツアーにおけるストーリー性の構築は、研究者が関わらないと難しい。本稿で紹介するジオダイバーシティとジオツーリズムの議論は、ジオパーク活動に対する地球科学研究者の関わり方を示唆するものになろう。

II. 琉球諸島におけるジオパーク活動

琉球諸島におけるジオパーク活動は、琉球大学を会場として開催された全国学会の公開シンポジウムから本格的にはじまった(目代ほか, 2010; 尾方ほか, 2010)。その後、有志の研究者と関係者で「琉球列島ジオサイト研究会」(以下、研究会とする)を立ちあげた。また、ジオパーク活動は地方学会が中心になって進めるべきとの発想から、沖縄地理学会が発行する機関誌にジオパーク活動に関する報告等を積極的に掲載していくことにした(安谷屋, 2010; 高橋・尾方, 2010; 尾方, 2010, 2011; 田代・伊藤, 2011)。

沖縄県名護市にある名桜大学は、公開講座として、一般市民対象のジオツアーを実施している。2010 年 7 月には渡名喜島で一泊二日のツアーが行われ、30 名の参加者があった(田代・伊藤,

2011)。2011 年 3 月には沖縄島北部の本部半島で日帰りのツアーが開催され、36 名が参加した。これらのツアーの講師は、研究会のメンバーである。研究会は、こうした地道な活動をつづけていくことで、地元の一般市民にジオツーリズムの考え方を普及させることを目指している(口絵 4-図 3)。その結果、地元民からジオパーク設立の機運が高まることが期待される。

ジオダイバーシティ保全のための基礎研究も積極的に進めている。琉球諸島のジオサイト資源を代表するものに、洞窟(鍾乳洞)がある。洞窟の自然環境は、流域の農業的土地利用や観光利用など、人為的開発の影響を受けやすい。とりわけ観光鍾乳洞の場合、観光客によるオーバーユースが大気・水環境を変化させ、それが石灰岩の溶解プロセスにも影響を及ぼす危険性がある(たとえば、漆原ほか, 1998)。実際、沖縄島南部の観光鍾乳洞で大気環境のモニタリングを行った結果、通常値の 10 倍を超える二酸化炭素濃度が観測された(池田・尾方, 2011)。こうした基礎研究をつづけることも、持続可能なジオツーリズムのためには不可欠なことといえよう。

III. プロジェクト研究の概要

プロジェクト研究「ジオツーリズムのための自然環境教育プログラムの開発」では、研究・教育・社会貢献を密接にリンクさせることを意図した。野外での教育プログラムの開発は、筆者が担当する学科「生涯教育課程自然環境教育コース」が開講する自然地理学関係の授業のなかで行われた¹⁾。演習科目ではおもにジオサイト資源の評価とリストアップを、実習科目ではおもにモデル・ジオツアーの開発を行った。ジオサイト資源の評価においては、地球科学的な価値とジオダイバーシティ保全の視点を重視した。モデル・ジオツアーの開発においても、景観を地球科学的に読み解くことに力点を置いた。

野外巡検はこのプロジェクトの核になった。2009 年度には沖縄島北部・中南部、西表島で、2010 年度には沖縄島北部・中南部、石垣島、宮古島でフィールドワークを行い、景観を科学的に

観察する見方・考え方を教えながら、ジオサイト資源とジオツアーのコースについて議論した。巡検の成果は、個々の景観を解説するポスターとしてまとめられた。これは野外に設置する解説板を意識したもので、2009～2010年度に合計48枚のポスターが作製された。ポスターの専門性は、修学旅行生を対象にジオツアーを実施することを想定し、「地学や地理を履修していない高校生が理解できる程度」とした。

研究を進めるにあたっては、気候地形的要素を前面に出した。日本における琉球諸島の地球科学的な位置づけとジオダイバーシティを考えると、気候地形的視点は欠かせないためである。また、特定地域を前提にツアーコースを考えるのではなく、琉球諸島を象徴する景観をストーリーで結びつけ、複数地域で適用可能なツアーとして考案した。

ジオツアーにおいてはストーリー性が重要になる。モデル・ジオツアーを考案するにあたり、リストアップされたジオサイト資源を、「カルスト地形」「河川の地形・堆積物」「海岸の地形・堆積物」の3つのカテゴリーに分類した。そして、それぞれの景観を題材に、基礎的なモデル・ジオツアーを考案した（基礎ジオツアー）。ストーリーの軸には地形学の基本になる「地形・堆積物と地形プロセス」を置き、景観観察から地形形成営力を考察するツアーとした。つづいて、基礎ジオツアーをつなぎあわせることで、応用的なモデル・ジオツアーを考案した（応用ジオツアー）。

プロジェクト研究の成果は、すでに一般市民に向けて広く発信されている。2010年7月には、沖縄県立博物館・美術館の文化講座（地学・自然史部門）として、「沖縄県のジオパークを考える」との講演を行った。同年9月には、琉球大学亜熱帯島嶼科学超域研究推進機構が主催するイベント「沖縄科学の最前線2010」の「沖縄の自然」部門にてパネル展示とフロア講演を実施し、野外巡検で学生が作製したポスターも展示した（図1）。

IV. 地形学からみたジオダイバーシティ

日本列島のジオダイバーシティを考える上で、

図1 一般市民向けイベントにおけるパネル展示。

Fig. 1 Poster presentation in a public hall.

亜熱帯島嶼という独自の自然環境を有する琉球諸島は、欠かせない地域の1つである。地質条件と気候条件、さらには生物の活動に制約された独特の地形プロセスは、琉球諸島ならではの地形を形成し、その景観は日本のジオダイバーシティを顕著に高めている。本稿では、地形学の立場から、地形を形成する内的営力および外的営力に着目して、琉球諸島のジオダイバーシティを整理する。

琉球諸島は地殻変動の活発な地域である。氷期と間氷期が繰り返された第四紀の海面変動は、陸地の活発な隆起とともに、海岸にさまざまな景観を形成する。とりわけ、最終間氷期のサンゴ礁面は段丘として残され、その海拔高度から地殻変動の量が推定されている（口絵4-図1）。海岸に分布する完新世離水サンゴ礁、離水ノッチ、離水ビーチロックは、後氷期の活発な隆起を指標する地形・堆積物である。

図 2 岩盤が露出する河床（西表島浦内川）。基盤岩の風化が激しく、掃流物質が少ないため、河床を侵食する力が弱い。

Fig. 2 Rocky riverbed along the Urauchi River, Iriomote Island. Suspension load dominates because of deep weathering, which prevents erosion of riverbed.

亜熱帯の気候は、基盤岩の風化作用を促進する。たとえば、泥岩は物理的風化（乾湿風化）を受けやすく、泥岩からなる斜面では滑動（地すべり）が発生しやすい。石灰岩地域では、化学的風化（溶解）と溶食がさまざまなカルスト地形を形成する。古生代～中生代の石灰岩からなる地域には、星形のドリーネと、残丘地形としての円錐カルストがみられる（口絵 4-図 2）。第四紀石灰岩地域には鍾乳洞が発達し、地表面には石灰岩堤が形成されることもある。海岸に形成される石灰岩の崖は、崩落（落石）によって後退している（口絵 4-図 5）。隆起が激しいことも、地すべりや落石などの侵食作用を活発化させる。

河川の地形・堆積物をみると、浮遊物質が中心で、掃流物質が少ない。これは、斜面の活発な風化によって岩屑が細粒になるためである（図 2・図 3）。河川では侵食作用も堆積作用も不活発で、河床には岩盤が露出して遷急点が残りやすく、大規模な扇状地や三角州は形成されない。海岸の運搬作用には、サンゴ礁地域の特殊性が強く認められる。たとえば、碎波帯は礁縁に現れるため、波の運搬作用が引き起こすビーチサイクルは不明瞭である（口絵 4-図 6）。このように、河川の景観

図 3 砂州で閉塞された河口とマングローブ林（石垣島名蔵川）。基盤岩の風化が激しいため、狭い流域の河口部にも関わらず、堆積物は細粒である。

Fig. 3 Mangrove swamp along the Nagura River, Ishigaki Island. Deep weathering provides only sandy sediments.

にも海岸の景観にも、気候条件と生物の活動に起因する地形プロセスが顕著に見いだされる。

V. 地形学からみたジオツーリズム

地形学とその関連分野をベースに開発されたモデル・ジオツアーについて、対象となる景観および基礎的・応用的テーマを表 1 にまとめた。ツアー A～C は地形学の一般理論をストーリーでつなげたものであり、ツアー D～F はそれらを組み合わせて隣接分野への応用を試みたものである。その際には、地球環境システムおよび地球環境問題に関するテーマを積極的に盛り込んだ。

これらのツアーは、個々のテーマでも成り立つだけではなく、自在に組み合わせることでより複合的なテーマに発展させることができる。基礎ツアーと位置づけられる A～C のツアーを分析的な視点から実施することもできるし、応用ツアーと位置づけられる D～F のツアーを総合的な視点から実施することもできる。さらに、D～F をつなぎあわせたツアーを実施することで、琉球諸島の地形学的テーマのほとんどを網羅しながら、地球環境科学に対する興味・関心を引き出すことが可能になる。

表 1 地形学をベースにしたモデル・ジオツアー。

Table 1 Geotours based on geomorphology.

ツアー	対象となる景観	基礎テーマ	応用テーマ
A	カルスト地形	風化・侵食	
B	河川地形・堆積物	風化・侵食 運搬・堆積	
C	海岸地形・堆積物	風化・侵食 運搬・堆積 隆起 海面変動	
D	カルスト地形 河川地形・堆積物	風化・侵食 運搬・堆積	流域 水循環 水質 水資源 土砂災害 酸性雨
E	カルスト地形 海岸地形・堆積物	風化・侵食 運搬・堆積 隆起 海面変動	第四紀 気候変動 氷期 間氷期
F	河川地形・堆積物 海岸地形・堆積物	風化・侵食 運搬・堆積 隆起 海面変動	流域 生態系 海岸侵食 海面上昇 地球温暖化

1) 基礎ジオツアー

ツアー A では、カルスト地形から風化・侵食プロセスを考察する。石灰岩の溶解によって形成されるカルスト地形は、石灰岩地域特有の景観である（口絵 4 参照）。沖縄島北部にみられる円錐カルスト・タワーカルストや、沖縄島中南部・宮古島・石垣島などにみられる鍾乳洞を観察し、化学的風化、とくに溶解量と二酸化炭素濃度・pH・水温などとの関係を理解する。

ツアー B では、河川の地形・堆積物から、風化・侵食プロセスと運搬・堆積プロセスを考察する。沖縄島・石垣島・西表島を流れる河川の縦断形・横断形は、亜熱帯地域特有の景観を形成する（図 2・図 3 参照）。斜面の地形、河床に露出する岩盤、河川を流れる岩屑を観察し、基盤岩の物理的・化学的風化、斜面の崩落と滑動（地すべり）、河川の浮遊物質と掃流物質などを理解する。

ツアー C では、海岸の地形・堆積物から、風化・侵食・運搬・堆積プロセス、さらには隆起と海面変動を考察する。沖縄島・宮古島・石垣島などの海岸では、サンゴ礁地域特有の景観が形成される（口絵 4 参照）。石灰岩の崖やサンゴ礁海岸

の碎波帯を観察し、崖の崩落（落石）、波による岩屑の移動、離水した地形や堆積物、地形プロセスに対する生物の影響などを理解する。

2) 応用ジオツアー

ツアー A と B を組み合わせたツアー D では、地質条件と気候条件が地形を決定するという理解から、流域の水文地形プロセスを考察する。表流水が発生しにくい石灰岩地域は、地質条件による水循環プロセスの違いを考えるよいフィールドである。水循環プロセスは、地形学的な風化・侵食・運搬・堆積プロセス、さらには水質や水資源のあり方、土砂災害の発生様式にも影響する。酸性雨が石灰岩の溶解を促進させ、カルスト地形に影響を及ぼしていることは、地球環境問題を考える導入になる。

ツアー A と C を組み合わせたツアー E では、地形を形成する内的営力と外的営力の統一的な理解から、地球環境システムを考える基本でもある第四紀の自然環境を考察する。造礁サンゴはサンゴ礁地形を形成し、それが隆起して離水サンゴ礁になる。氷期-間氷期の気候変動は海面変動をもたらし、サンゴ礁段丘を形成する。サンゴ礁段丘

を構成する琉球石灰岩は溶食され、鍾乳洞が形成・発達・崩壊する。琉球諸島で広くみられる、この一連の自然史は、この地域の自然環境を読み解く上で最も重要なトピックといえる。

ツアー B と C を組み合わせたツアー F では、上流から下流への岩屑の流れを一連のものとして理解し、流域の自然環境を考察する。岩屑の多い河口部ではサンゴ礁地形の発達が悪い。これは、サンゴ礁海岸の環境問題を考える際に流域の視点が重要であることを示す事例である。個々の地形プロセスとしては、滑動と崩落との比較や、流砂と漂砂との比較、土砂収支もテーマになる。河口部に発達するマングローブ林の生態系から、海岸侵食を引き起こす海面上昇、その原因となる地球温暖化へとテーマを発展させることもできる。

VI. おわりに

ジオパーク活動には地理学・地質学のすべての分野が関わるべきである。本稿では、地形学の立場から、琉球諸島のジオダイバーシティとジオツーリズムについて議論した。そのため、対象とした景観やモデル・ジオツアーのテーマは、地球科学の全分野を網羅したものにはなっていない。また、本稿では「ジオサイト：地点」ではなく、「ジオダイバーシティ：景観（地形・堆積物）」という視点で議論を進めたため、対象とした景観は個別のサイトとは結びついていない。今後、本稿で示したジオダイバーシティに対して、地球科学の広い分野から検討が加えられるのが望ましい。加えて、個々の景観が分布する具体的なサイトと連動させた、ジオサイトのデータベース化が有効であろう。

本稿で紹介したモデル・ジオツアーは科学的な解説を前提にしているため、実践にあたっては解説板の設置や研究者によるガイドが必要になる。将来的にはインタープリターの養成が不可欠であろう。考案されたモデル・ジオツアーをもとに実践を重ね、一般市民のニーズも考慮して改善点を洗い出しながら、インタープリター養成のあり方を考えていく必要がある。

謝 辞

本稿は、日本地球惑星科学連合 2010 年大会パブリックセッション「ジオパーク」にて発表した内容をベースに、その後の成果を踏まえてまとめたものである。研究を進めるにあたり、琉球大学若手研究者支援研究費（課題名「ジオツーリズムのための自然環境教育プログラムの開発」）を使用した。琉球大学教育学部生涯教育課程自然環境教育コースの学生諸氏からは、授業を通して多くの示唆をいただいた。記してお礼を申し上げる。

注

- 1) 該当する授業科目は、「環境自然地理学」「環境自然地理学演習」「環境自然地理学実習」である。これらの授業では、参考図書として、サンゴ礁地域研究グループ（1990）、漆原（1996）、および松岡ほか（2007）を使用した。

文 献

- 安谷屋 昭（2010）：宮古諸島のジオパークの可能性を探る。沖縄地理, **10**, 41-47. [Adaniya, A. (2010): *Okinawa Journal of Geographical Studies (Okinawa Chiri)*, **10**, 41-47.]
- 池田未来・尾方隆幸（2011）：観光利用による鍾乳洞の大気環境変化—沖縄島「玉泉洞」における移動観測。沖縄地理, **11**, 33-41. [Ikeda, M. and Ogata, T. (2011): *Okinawa Journal of Geographical Studies (Okinawa Chiri)*, **11**, 33-41.]
- 松岡憲知・田中 博・杉田倫明・村山祐司・手塚 章・恩田裕一編（2007）：地球環境学。古今書院。[Matsuoka, N., Tanaka, H., Sugita, M., Murayama, Y., Tezuka, A. and Onda, Y. (2007): *Geoenvironmental Science*. Kokon Shoin.]
- 目代邦康・渡辺真人・堀 信行・中井達郎・河本大地・尾方隆幸・岩田修二・松本 淳（2010）：ジオパークと大地の遺産百選。E-Journal GEO, **5**, 56-62. [Mokudai, K., Watanabe, M., Hori, N., Nakai, T., Kohmoto, D., Ogata, T., Iwata, S. and Matsumoto, J. (2010): *E-Journal GEO*, **5**, 56-62.]
- 尾方隆幸（2009）：ジオツーリズムと学校教育・生涯教育—自然地理学の役割。琉球大学教育学部紀要, **75**, 207-212. [Ogata, T. (2009): *Bulletin of Faculty of Education, University of the Ryukyus*, **75**, 207-212.]
- 尾方隆幸（2010）：琉球列島におけるジオパーク活動（第1報）。沖縄地理, **10**, 49-50. [Ogata, T. (2010): *Okinawa Journal of Geographical Studies (Okinawa Chiri)*, **10**, 49-50.]
- 尾方隆幸（2011）：琉球列島におけるジオパーク活動（第2報）。沖縄地理, **11**, 87-89. [Ogata, T. (2011): *Okinawa Journal of Geographical Studies (Okinawa Chiri)*, **11**, 87-89.]
- 尾方隆幸・高橋 巧・藤田祐樹・山崎真治・目代邦康・大島順子・小野有五・河名俊男・目崎茂和（2010）：

- 琉球列島における地元主導のツーリズムと自然保護との共生. *E-Journal GEO*, **5**, 63-69. [Ogata, T., Takahashi, K., Fujita, M., Yamasaki, S., Mokudai, K., Ohshima, J., Ono, Y., Kawana, T. and Mezaki, S. (2010): *E-Journal GEO*, **5**, 63-69.]
- サンゴ礁地域研究グループ編 (1990): 熱い自然—サンゴ礁の環境誌. 古今書院. [Research Group on Coral Reef Regions in Japan (1990): *Tropics in Japan: Natural History of Coral Islands*. Kokon Shoin.]
- 高橋 巧・尾方隆幸 (2010): 「ガンガラーの谷」ガイドツアーとジオサイトとしての可能性. 沖縄地理, **10**, 35-40. [Takahashi, K. and Ogata, T. (2010): *Okinawa Journal of Geographical Studies (Okinawa Chiri)*, **10**, 35-40.]
- 田代 豊・伊藤泰人 (2011): 渡名喜島におけるジオツアーの試行. 沖縄地理, **11**, 77-80. [Tashiro, Y. and Ito, Y. (2011): *Okinawa Journal of Geographical Studies (Okinawa Chiri)*, **11**, 77-80.]
- 漆原和子編 (1996): カルスト—その環境と人びとのかかわり. 大明堂. [Urushibara-Yoshino, K. (1996): *Karst*. Taimeido.]
- 漆原和子・吉野徳康・上原 浩 (1998): 福島県あぶくま洞における観光客の入洞数と洞窟の大気環境の変化. 地理学評論 Ser. A, **71**, 527-536. [Urushibara-Yoshino, K., Yoshino, N. and Uehara, H. (1998): *Geographical Review of Japan, Ser. A (Chirigaku Hyoron)*, **71**, 527-536.]

(2011 年 1 月 31 日受付, 2011 年 4 月 18 日受理)