

特集

資料

Research Note



進化が繋ぐジオとエコ：伊豆大島を例として

How Evolutionary Biology Connects Geology and Ecology: A Case of Izu Oshima Geopark

伊藤 舜^{1, 2, 3, 4*}
ITO Shun^{1, 2, 3, 4*}

1: 日本ジオパークネットワーク生態学ワーキンググループ 2: 伊豆大島ジオパーク推進委員会事務局 3: 東邦大学理学部生物学科 4: 静岡大学大学院理学領域

1: Ecology Working Group of Japanese Geoparks Network 2: Izu Oshima Geopark Promotion Committee Office 3: Department of Biology, Faculty of Science, Toho University 4: College of Science, Shizuoka University

2024年1月12日投稿, 2024年5月13日受理

要 旨

進化は生物の遺伝する形質が世代を経るごとに変化する過程である。進化学ではこの過程の中で、どのような要因が関わるかの解明を主題とする。この時、地質学的活動は環境を激変させるため、生物進化に対して多大な影響をもたらす。したがって、多様な地質学的活動の痕跡が見られるジオパークは、地質学的活動の中で生じた生物進化を検証できるフィールドであることが期待される。例えば伊豆大島では、動物における体色の黒色化が見られる。これは玄武岩との関連が考えられる。このような知見は、生態サイトの選定や保全のみならず、ジオサイトの付加価値につながる。しかしながら、伊豆大島のような知見を得るためには、専門性や実験設備が課題になる。そのため、大学等研究機関や専門家との連携、学術研究助成の活用がより一層必要となるであろう。また各ジオパークでは、生物系専門員の積極的な雇用が地質学的活動と生物を繋ぐ最新の研究知見の蓄積に繋がることが期待される。

キーワード：進化, 分子系統, 連携, 学術助成, 伊豆大島

Keywords: Evolution, Molecular Phylogeny, Cooperation, Research Grant, Izu Oshima

背景

日本ジオパークでは、リストアップされたサイトの内、「ジオサイト以外の自然で価値があるもの、例えば生物・生態系など」が、自然サイト（エコサイト/生態サイト、伊豆大島ジオパークでは生態サイトとしているので、以後生態サイトと表記する）に分類されている（日本ジオパークネットワーク保全ワーキンググループ, 2018）。このカテゴリー分けでは、生態サイトがジオサイトと同等の扱いを受けている。しかしながら、ユネスコ世界ジオパークの基準では、生態サイトの指定は必須でなく、自然遺産（Natural heritage）は地質遺産と紐づくことで、地質遺産の価値を高めることだけが求められている（UNESCO, 2015）。中村（2024）は両者の捉え方の違いに対して、日本ジオパークではサイトに対する誤解が生じていた可能性を指摘した。その上で、地生態

学（geoecology）の考えを挙げ、地質遺産と自然遺産は互いに関連することを指摘した（中村, 2024）。

地生態学では、火山活動等の地質学的活動と群集構造の変化といった生態学的要因を関連付けて考える。しかしながら、生態的要因が形成された歴史、すなわちどのように、そしてなぜ形成されたのかを、地学的時間軸と連動して考慮する必要がある。進化学の考え方は、これら時間軸のギャップを埋め、我々の知見を更に深めることが期待される（山崎, 2020）。

進化学とは、生物の遺伝する形質が世代を経るごとに変化する過程の中で、どのような要因が関わるのかの解明を目的の一つにしている。例えば、生息場所の環境変化は、進化が生じる要因である（e.g. Futuyma, 1998）。地質学的活動は環境を大きく変化させるため、生物進化に対する影響を無視することはできない。多様な地質遺産を有

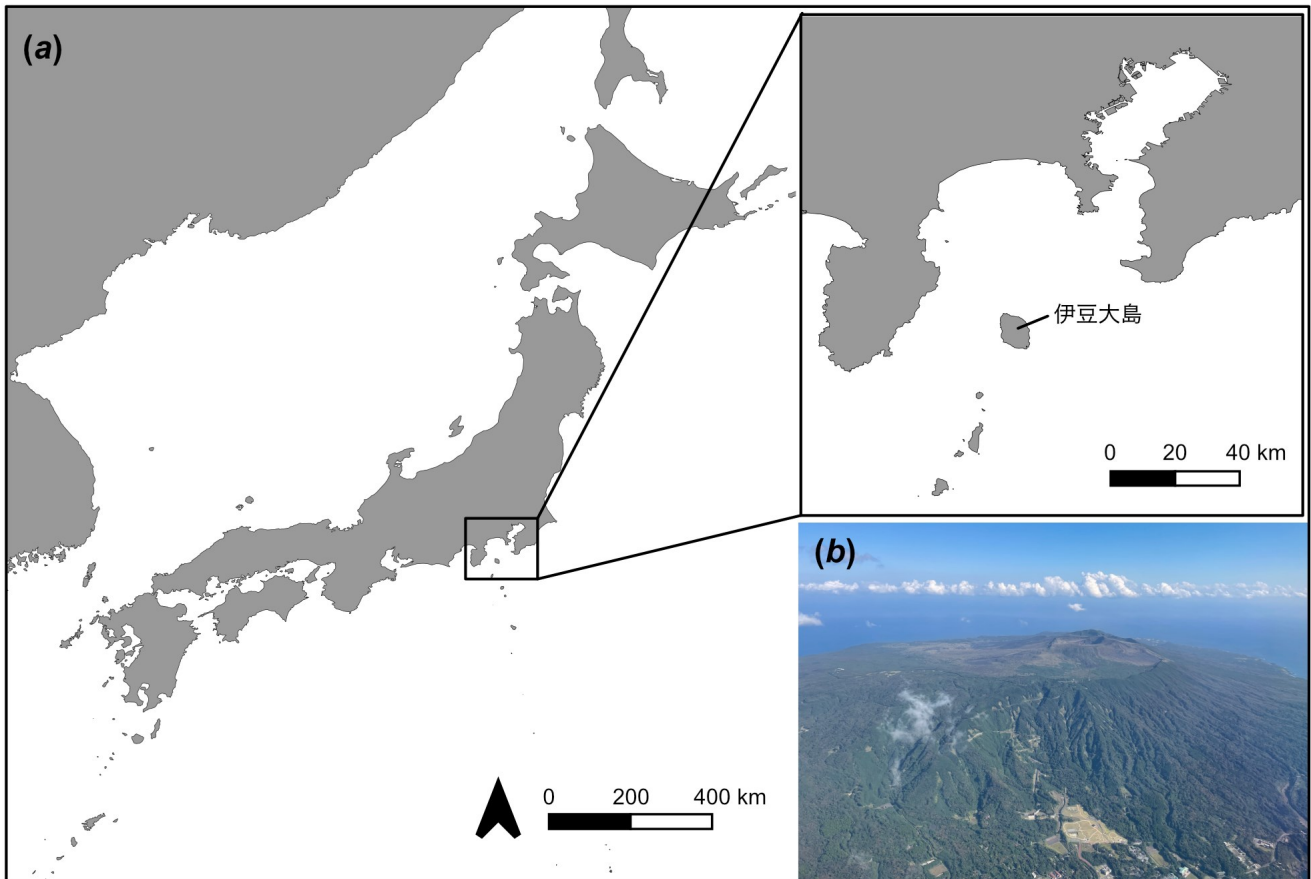


図1 (a) 伊豆大島の地理的位置と (b) 西側から見たカルデラ。カルデラ内には裏砂漠と呼ばれる火山灰とスコリアで覆われた大地が広がる。

Figure 1. (a) Map showing the location of Izu Oshima, Izu Islands, Japan. (b) The caldera as seen from the west side. Inside the caldera is an area called "Urasabaku Desert", which is covered with volcanic ash and scoria.

するジオパークでは、環境改変を伴う地質学的活動の痕跡を見ることができる。そのため、環境変化の中で、生物が遂げた進化に関する知見が得られる可能性がある。このような知見は、生態サイトの選定や保全のみならず、ジオサイトへの付加価値を提供することが期待される。そこで本報では伊豆大島をモデルに、ジオパークエリアでの生物進化の例を概観し、その重要性和将来性を考察する。

伊豆大島ジオパーク

伊豆大島は、伊豆諸島の最北に位置する火山島である(図1)。この島は、玄武岩質火山による地球活動の痕跡や現象を理解・観察できることに加え、火山活動と植生遷移の観察に優れていることと、防災体制が充実していることが評価され、2010年9月に日本ジオパークに認定された(日本ジオパーク委員会, 2010)。このように、伊豆大島ジオパークでは、認定当初から火山活動と生物資源の関連が評価されていた。

伊豆大島ジオパークで指定している生態サイト

は、いくつかの階層に分けられる。一つ目は生態系(群落)である。直近1986年の溶岩流上の植生遷移「1986年A溶岩流植生遷移」や、火山活動の影響を受けてから250年以上経過した植生から直近の影響を受けた場所まで、植生遷移の過程を一本道で観察できる「再生の一本道」が挙げられる。二つ目は種である。伊豆大島の名前を冠する「オオシマザクラ」や、伊豆大島各地で見られ、火山活動と関連があるヤブツバキ *Camellia japonica* 「椿」が挙げられる。三つ目は個体群である。カルデラ内に多く生育する伊豆諸島固有変種サクユリ *Lilium auratum* var. *platyphyllum* が「カルデラ内のサクユリ」として指定されている。そして、最後四つ目は個体であり、1552年の大噴火で溶岩流を免れたオオシマザクラ *Cerasus speciosa* の巨木「桜株(さくらっかぶ)」が指定されている。

これらは生活史や数世代の変化を対象にした生態的時間軸である。それに対して、伊豆大島を含めた伊豆諸島では、数千年~数十万年レベルの進化的時間軸での研究も行われている。進化的時間軸は地学的時間軸と一部重複するため、地質学的



図2 (a) 伊豆大島カルデラ内の環境。(b) カルデラ内で見られるシモダマイマイと (c) 神津島のシモダマイマイ。伊豆大島のものは暗色の個体が多い。

Figure 2. (a) The environment inside the caldera on Izu Oshima. (b) *Euhadra peliomphala simodae* found inside the caldera. Individuals on Izu Oshima possess a dark shell colour. (c) *Euhadra peliomphala simodae* from Kozu, one of the Izu Islands.

活動と生態資源の関連を考える際に、この視点を欠かすことはできない。

事例：黒い体色の動物群

玄武岩質火山に由来する黒い大地である伊豆大島では、黒い体色が適応的であることが、異なる分類群で示されている(図2a)。例えば、榎戸(1989)は、伊豆大島のハンミョウ類の内、ニワハンミョウ *Cicindela (Cicindela) japona* と、カワラハンミョウ *Chaetodera laetescripta*, シロヘリハンミョウ *Callytron yaasai*, エリザハンミョウ *Cylindera (Eugrapha) elisae* は、全体的に黒色が強く、黒色型の割合が高いことを示唆した。カワラハンミョウを用いた研究では、黒色の方が火山灰やスコリアに覆われた黒い大地とマッチするため、食べられにくくなり、結果として、黒い体色のハンミョウが生き残り、その形質が選択を受けたことが示された(Yamamoto & Sota, 2020)。

捕食者でも黒くなる進化は知られている。伊豆大島のシマヘビ *Elaphe quadrivirgata* は全身が真っ

黒なため、カラスヘビと呼ばれ、この黒色は潜性遺伝である(Kuriyama et al., 2013)。Kuriyama et al. (2011) は、起源の異なるシマヘビが少なくとも3回、伊豆大島に進出したことを分子系統解析から推定した。すなわち、大島の環境では黒色が適応的なため、複数回進出にも関わらず、潜性遺伝の形質が固定されたと考えられる。

陸産貝類シモダマイマイ *Euhadra peliomphala simodae* では紫外線という異なる要因により、体色(殻色)が黒くなる傾向が示された(Ito et al., 2023a,b)。黒い体色は先天的に適応度が低いものの、紫外線が強い環境では、紫外線防御の機能を持つため、適応度が高くなる。伊豆諸島では島の標高の上昇に伴い、紫外線が強くなる。また度重なる火山活動により、特に中央火口付近は開けた環境が多く、強い紫外線が降り注ぐ。すなわち、活発な火山活動が、結果的に黒い体色が適応的である環境を生み出したことが示唆された(図2b, c)。

以上のように火山活動により変化した環境は、各種動物の黒色化に関与したと考えられる。これ

は、玄武岩質火山である大島を象徴する生物進化のパターンであり、進化を加味することで、伊豆大島ジオパークのジオサイトに生物学的な付加価値を与え得る例である。

今後の展望

伊豆大島における体色の黒色化のように、進化的時間軸の中で、生物がどのように進化してきたのかを考慮することは、その環境の影響、ひいては地質学的活動にまで言及することに繋がる。したがって、進化の視点は生態サイトだけでなく、ジオサイトの価値も高めると言える。しかしながら、このような研究は野外調査や室内実験だけでなく、分子系統解析が用いられることが多い。遺伝子を用いた解析技術は近年益々安価になり、利用ハードルが低くなったものの、専門性や実験設備は必要である。したがって、大学等研究機関との連携や学術研究助成の活用が不可欠となる。

研究機関との連携では、山陰海岸ユネスコ世界ジオパークと隠岐ユネスコ世界ジオパークが好例である。山陰海岸ユネスコ世界ジオパークでは、様々な分類群の研究者を招聘し、網羅的な海岸生物相調査が実施された。そして分子系統解析と分類学的研究が行われ、新種の発見にも至った (Jimi et al., 2023; 太田, 2024)。得られた成果は拠点施設での展示やガイドブック作成に活用され、ジオパーク地域の学術的価値の向上と普及啓発にも貢献している (詳しくは、太田, 2024)。隠岐ユネスコ世界ジオパークは、大学と連携をした遺伝子解析から遺伝的多様性を把握した上で、ハマナスの保全プロジェクトを進めている (詳しくは、立花, 2024)。

学術研究助成の例には、山崎 (2021) が挙げられる。この研究では、室戸ユネスコ世界ジオパーク学術研究助成等を元に、ジオパーク内の陸産貝類3種を系統解析し、ジオパーク地域における地質学的要素と生態系の時空間的関係を考察した。これらの内、一部成果はIto et al. (2023c) の中でも示されている。またSano et al. (2022) は、栗駒山麓ジオパーク学術研究等奨励事業等を元に、日本列島のドブガイ類の系統解析を行い、異なる進化史を経た集団がジオパーク内に生息する可能性を示した。

これら事例のように、各ジオパークでは研究機関や専門家との連携、研究助成を柔軟に取り入れ

ることが、今後必要になると予想される。そして、日本ジオパークにおける地質遺産と生態学分野との関連を明示する事例が増加することが期待される。

生物系専門員の雇用についても、地質遺産と生態学分野との関連を示す上で欠かせない。近年、日本国内のジオパークでは生物系専門員が増加傾向にある (平田ほか, 2024a)。この傾向はジオパークの生態学分野に対してポジティブに働くことが期待される。例えば、三好ジオパーク構想では、生物系専門員がサイト選定の段階から関わることで、生態学的な専門的知見を含めた選定が可能になった (詳しくは、福井, 2024)。このような事例が増えることは、手法的な発展が目まぐるしい生物学分野での新知見をジオパークに取り入れられることに繋がるだろう。

本稿は、2023年10月28日に開催された第13回日本ジオパーク全国大会 in 関東の分科会①「ジオ・エコ・ヒト —なぜジオパークで生態学？」における発表内容を再構成したものである。同分科会の詳細については、平田ほか (2024a, 2024b) を参照されたい。

謝辞

第13回日本ジオパーク全国大会in 関東で行われた分科会「ジオ・エコ・ヒト—なぜジオパークで生態学？」で発表の機会をくださった上に、本記事に対して有意義な助言をくださった平田和彦氏と中村真介氏を始めとした生態学ワーキンググループの皆様へ謝意を示す。

文献

- 榎戸良裕 (1989) 伊豆諸島のハンミョウ. 神奈川虫報, 90, 147-152.
- 福井智香子 (2024) 自然遺産を守るための戦略の1つ: 三好ジオパーク構想のエコサイトの設定, 6 (1), 16-21p.
- Futuyma, D.J. (1998) Evolutionary biology, 3rd edition. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- 平田和彦・中村真介・藤井利衣子・加藤雄也・福井智香子 (2024a) 日本ジオパーク全国大会における分科会「ジオ・エコ・ヒト —なぜジオパークで生態学？」開催の経緯とねらい. ジオ

- パークと地域資源, 6 (1), 1-3p.
- 平田和彦・中村真介・藤井利衣子・加藤雄也・福井智香子・伊藤 舜・太田悠造・長船裕紀・立花寛奈・森口夏季 (2024b) 分科会「ジオ・エコ・ヒトーなぜジオパークで生態学？」の成果: 「エコ」に関する理解の共有と交流の活発化. *ジオパークと地域資源*, 6 (1), 63-67p.
- Ito, S., Chiba, S., Konuma, J. (2023a) Evolutionary history of inshore oceanic island land snails diversified in shell colour. *Journal of biogeography*, 50 (6), 1103--1116.
- Ito, S., Chiba, S., Konuma, J. (2023b) Overcoming the congenitally disadvantageous mutation through adaptation to environmental UV exposure in land snails. *Biology Letters*, 19 (11), 20230356.
- Ito, S., Yamazaki, D., Kameda, Y., Kagawa, O., Ye, B., Saito, T., Kimura, K., Do, V.T., Chiba, S., Hirano, T. (2023c) Taxonomic insights and evolutionary history in East Asian terrestrial slugs of the genus *Meghimatium*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 182, 107730.
- Jimi, N., Bessho-Uehara, M., Nakamura, K., Sakata, M., Hayashi, T., Kanie, S., Mitani, Y., Ohmiya, Y., Tsuyuki, A., Ota, Y., Woo, S.P., Ogoh, K. (2023) Investigating the diversity of bioluminescent marine worm *Polycirrus* (Annelida), with description of three new species from the Western Pacific. *Royal Society Open Science*, 10, 230039.
- Kuriyama, T., Brandley, M.C., Katayama, A., Mori, A., Honda, M., Hasegawa, M. (2011) A time-calibrated phylogenetic approach to assessing the phylogeography, colonization history and phenotypic evolution of snakes in the Japanese Izu Islands. *Journal of biogeography*, 38 (2), 259-271.
- Kuriyama, T., Misawa, H., Miyaji, K., Sugimoto, M., & Hasegawa, M. (2013) Pigment cell mechanisms underlying dorsal color - pattern polymorphism in the Japanese four - lined snake. *Journal of morphology*, 274 (12), 1353-1364.
- 中村真介 (2024) 日本のジオパークにおける「エコ」の捉え方ージオパークにおける自然遺産の保護へ向けてー. *ジオパークと地域資源*, 6 (1), 10-15p.
- 日本ジオパークネットワーク保全ワーキンググループ (2018) 日本ジオパークネットワークの自然資源保全に関する指針. 日本ジオパークネットワーク保全ワーキンググループ. 9p.
- 日本ジオパーク委員会 (2010) 第9回日本ジオパーク委員会. <https://jgc.geopark.jp/documents/201009.html>
- 太田悠造 (2024) 山陰海岸ユネスコ世界ジオパーク西部, 鳥取県岩美町浦富海岸における専門家を招聘した海岸生物相調査とその成果活用 6 (1), 33-39p.
- Sano, I., Saito, T., Ito, S., Ye, B., Uechi, T., Seo, T., Do, V.D., Kimura, K., Hirano, T., Yamazaki, D., Shirai, A., Kondo, T., Miura, O., Miyazaki, J., Chiba, S. (2022) Resolving species-level diversity of Beringiana and Sinanodonta mussels (Bivalvia: Unionidae) in the Japanese archipelago using genome-wide data. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 175, 107563.
- 立花寛奈 (2024) 隠岐ユネスコ世界ジオパーク地域におけるハマナス保全活動の苦悩と未来. *ジオパークと地域資源*, 6 (1), 48-54p.
- UNESCO (2015) Statutes of the International Geoscience and Geoparks Programme. IGGP/2015/ST-REV. 16p.
- Yamamoto, N., Sota, T. (2020) Evolutionary fine-tuning of background-matching camouflage among geographical populations in the sandy beach tiger beetle. *Proceedings of the Royal Society B*, 287 (1941), 20202315.
- 山崎大志 (2020) ジオパークと陸産貝類から迫る日本列島の生物固有性. *東北アジア研究センターニューズレター*, 84, 7.
- 山崎大志 (2021) 室戸半島における陸産貝類の起原および進化史の統合的解明. 2020年度 室戸ユネスコ世界ジオパーク学術研究助成金報告書, 1-12.