

第 19 回日本分類学会連合公開シンポジウム

「分類学者の研究フィールド最前線」

主催：日本分類学会連合

共催：国立科学博物館

コンビナー

塚越 哲（静岡大学・日本分類学会連合代表）

日 時

令和 2 年 1 月 11 日（土）13 時 30 分～17 時 00 分

会 場

国立科学博物館（上野本館）2 階講堂

プログラム

- 13:30～13:40 開会あいさつ・趣旨説明（塚越 哲）
- 13:40～14:10 脆弱な深海性クラゲ類：その研究の今
（ドゥーグル・J.リンズィー）
- 14:10～14:40 いかにして生きた材料で分類学を行うか
－ 昆虫嗜好性線虫の場合 －（神崎 菜摘）
- 14:40～15:10 栄えると滅ぶ腕足動物のジレンマ（椎野 勇太）
- 15:10～15:40 休憩
- 15:40～16:10 世界中のきのこを通して見た世界（保坂健太郎）
- 16:10～16:40 小笠原諸島火山列島～国内最難関の無人島調査への挑戦
（加藤 英寿）
- 16:40～16:55 総合討論
- 16:55～17:00 終了挨拶（細矢 剛）

開催主旨

日本分類学会連合は、全生物を対象にした生物多様性の研究および教育を強力に推進し、ひいては社会の要請に応えるよう活動を行なうことを目的として設立されました。生物多様性研究を一口で言い表すことは難しいものですが、「標本に基づく分類学」が基本となります。つまり、研究者は、各地から標本を集め、それについて研究し、成果を発表することで生物多様性の解明に貢献しています。そして、集めた標本は博物館などに収められ、未来に渡って活用されることになります。標本の探し方や集め方は研究対象の生物によってさまざまで、そこには、独自のやり方があります。そこで、今回は、動物、植物など様々な生物の標本を研究者が「どのように探し、集めるか」に焦点を絞り、一般の皆さんに紹介したいと思います。一般の方が、様々な方法を知ることにより、生物多様性研究の面白さに興味をもつきっかけとなり、さらに、学生諸氏が生物多様性研究を目指す一つの指針になればと思います。

日本分類学会連合代表

塚越 哲

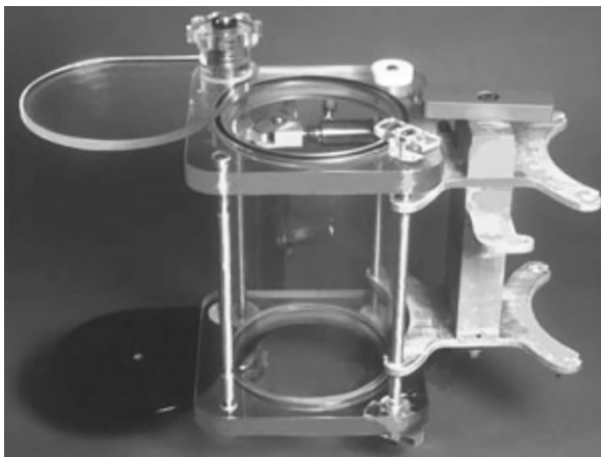
脆弱な深海性クラゲ類：その研究の今

ドゥーグル・J. リンズィー（海洋研究開発機構 超先鋭研究開発部門）

キーワード：クシクラゲ、無人探査機、有人潜水調査船、サクシヨンサンプラー、
プランクトンネット、仮想標本

深海性クラゲの多くは体が非常に脆弱で、水分が湿重量の 95%以上を占める種類が殆どです。昔からプランクトンネットを使って、標本を採集し、分類学的な仕事がされてきました。しかし、ネット採集で標本がダメージを受け、体がバラバラになってしまった上に、一網打尽で沢山のクラゲの種類が同時に採集されてしまい、異なる種類のクラゲのパーツが一種類のクラゲとして新種記載された例がいくつもあります。海中に瓶を持ち込み、スキューバダイバーが一個体一個体のクラゲを丁寧に採集し、その標本で実体が見えてきた種類が現れてきたが、深海性のクラゲについては有人潜水調査船及び無人探査機の登場で初めて分類学的な仕事が大きな一歩を踏みしました。水中掃除機のようなサクシヨンサンプラー、クラゲとそのまわりの水を同時に採集できる筒型のデトライトスサンプラーやゲートサンプラーを搭載し、標本採集を試みる時代となりました。

刺胞動物のクラゲはホルマリンなどによる化学固定が可能なので、新種記載は容易にできる仲間ですが、クシクラゲの仲間については湿重量の 98%以上を水分が占める種類が少なくありません。また、博物館に納められるべき ホロタイプ標本が残っていない種類が大半です。分類学的な仕事をしようとした場合、各論文に記載されている図や文章を参考にすることしかありません。多くの場合は似た種類に関してそれぞれが別種かシノニムかの判断ができず、実質的には分類学が 100 年以上殆ど進んでいません。もともとそれぞれのホロタイプが採集された海域に足を運び、再びその種を採集し、固定標本が残らないために、詳細な観察と撮影を行い、遺伝子解析をするための試料を確保することが必須になってきます。本発表ではクラゲ類研究の現状を示し、将来に向けてどんなアプローチを取れば研究が進められるかをも紹介します。



D サンプラー

管クラゲ類



ヒノオビクラゲ (*Marrus orthocanna*)

クシクラゲ類



キタカブトクラゲ (*Bolinopsis infundibulum*)

神崎菜摘（森林総合研究所関西支所）

キーワード：昆虫嗜好性線虫、記載分類、生体標本、培養株、交配試験

線虫分類の現状

生物分類学は、多くの場合、標本に基づいて行われており、基本的には、すでに死んだ固定標本を扱うことになる。これらの標本から直接得られる情報は、基本的には形態的、構造的特徴のみであり、ラベルなどから、分布、生息場所、宿主の情報を得ることはできるが、生きている姿、行動様式を明らかにすることは難しい。また、標本の状態によっては DNA 抽出などを行い、系統関係を明らかにするということもできるが、古いものや、アルデヒド系の固定では、DNA 抽出も困難なことが多い。そして、これは、分類学、博物学が、「死物学」や、「stamp collection」と揶揄される最大の理由であろう。

線虫の分類でも、これらの問題は同様で、伝統的に固定標本を用い、タイプ標本としては永久プレパラート、もしくは液浸標本を残す。しかし、軟組織で構成された非常に小さな半透明の体という線虫類に共通した構造的問題ゆえ、形態的特徴の保存は完全とは言えない。また、口腔などの微細形態を光学顕微鏡下で明らかにしようとする、複雑なものでは、標本を押しつぶして内部構造を外反させたり、全体を平たくつぶして、それぞれのエレメントをひとつずつ観察していく必要がある。すなわち、破壊試験に供するための多数の生体標本が必要となる。加えて、重要な形質においても種内、個体群内変異があり、一枚の図、数個体の固定標本しか使えない場合、種の特徴を明らかにすることは、実質的に不可能といえる。

分離株の重要性

さらに、近年の dense taxon sampling と分子同定により、多くの隠蔽種の存在が明らかにされている。これらの中には、実際、形態的差異がなく、バーコード領域とされるリボソーム RNA の部分配列で同種と判定されるものが、交配試験でやっとな別種であると確認されるという例もみられる。また、培地上での性状や、発生学的特性といった、これまでにあまり注目されてこなかった形質の分類学的重要性が明らかになった例もある。この結果、新種を新種と見極める、もしくは、種の異同を明らかにするための最も確実な方法は、結局のところ生物学的種概念、すなわち交配試験ということになる。

このような状況の下、培養不能な絶対的寄生者は流石にあきらめざるを得ないが、培養可能種については（特殊化した難培養種も含め）、培養株を用いて、形態的特徴のほか、バーコード領域の塩基配列、培養性状の観察、交配試験を組み合わせることで、種の異同を明らかにし、記載分類を試みている。

線虫の分離と培養株の確立

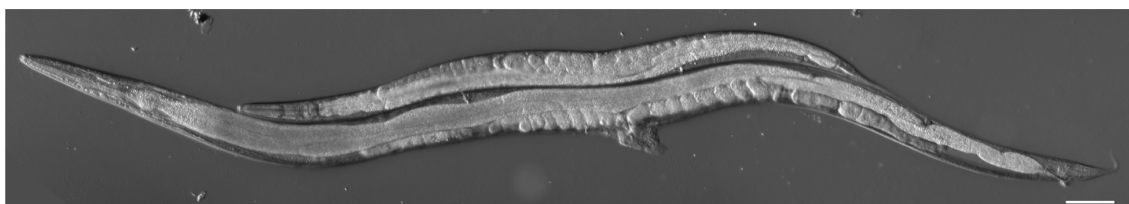
生体試料を用いて分類学的記載を行うためには、野外試料から、線虫を分離、培養し、培養株を作るという作業が必要になる。しかし、いかにして生きた状態で、分離可能な施設まで持ち帰るか、培養株をどのように維持するかという部分には、問題は多い。昆虫嗜好性線虫の場合、昆虫からの分離では、ホストとなる昆虫が死亡すると線虫の方も状態が悪化することが多いため、ホスト昆虫を良い状態のまま実験室に持ち帰るための温度管理などが必要となる。また、昆虫から休眠状態の線虫を分離するより、生息環境から増殖中の線虫を分離した方が培養効率は高い。培養不能種に関しても、その運動様態の観察など、採集からのタイムラグをいかにして短くするかといった点が重要になる。

線虫分離株の利用

分離、培養して分類学的材料として用いた培養線虫株は、Caenorhabditis Genome Centerなどの保存機関、一部の大学、研究機関で保存し、分類学的なリファレンス株として、また、実験株として、また生物防除資材候補としての利用を行っている。

たとえば、演者らが記載したものとしては、近年、石垣島のオオバイヌビワから分離された *Caenorhabditis inopinata* という種は、モデル生物である *C. elegans* の最近縁種であるが、*C. elegans* とは大きく異なる生理生態的特性を持つことから、培養株を用いて解析を行うことで、ゲノムレベルでの進化、生態的適応の研究において有用な材料となっている。また、絶対的捕食者でありながら、餌線虫種との共培養によってのみ培養可能な *Seinura caverna* は、糸状菌食性線虫との共通祖先をもつことから、食性の進化研究に、また有害線虫種を対象にした生物防除資材候補としての研究が行われている。

このように、分類、記載を行った後に、応用研究への利用へ発展させるうえでも分離株の確立、保存は重要であると考えている。



C. elegans (上) と、*C. inopinata* (下)：体サイズの違いの他、化学受容遺伝子群の縮退など、近縁種間で、生態的特性に関連したゲノムレベルでの大きな違いが見られる。



Seinura caverna の捕食行動：餌線虫の体に毒液と消化液の混合物を注入して麻痺させたのち、体外消化をする。絶対的捕食者で、餌線虫との共培養によって系統維持できる。糸状菌食性線虫と近縁であるため、消化関連遺伝子の解析などに利用可能である。

栄えると減ぶ腕足動物のジレンマ

椎野勇太（新潟大学理学部）

キーワード：化石、機能形態学、バイオメカニクス、形態種、適応放散

生物は、様々な生体生理的特性およびそれらの利点に基づいてデザインされた機能複合体である。したがって、個々の形態機能のみに基づいて複合体の成り立ちを理解することは難しい。一方、サンゴや腕足動物など定住性の無脊椎動物では、骨格や殻の形が運動能力に制約されにくく、まるで環境に置かれた構造物かのように振る舞うこともある。その場合、形態に備わった自律的な構造的あるいは機能性を解明してゆくことが、適応放散や形態進化のメカニズムを理解する足掛かりとなる。

海洋無脊椎動物の腕足動物は、二枚貝とは似て非なる生物である。殻の内側に、多数の触手が配列した触手冠と呼ばれる器官を持ち、この触手で海水中の微少有機懸濁物を濾過摂食している。現在の腕足動物は、触手に配列した繊毛の運動によって水流を生み出し、殻内外の水交換を行っている。しかし、繊毛運動によって作られる水流はきわめて弱い。各個体の都合によっては、周辺に生じる流水に身を任せ、殻の内外を自動的（受動的）に通り返ける水流を利用する。

現在では約 330 種しか生き残っていない腕足動物であるが、古生代には海洋の中心的な底生無脊椎動物であった。特に、古生代中後期に大繁栄した翼形態型スピリファー類と凹凸形態型プロダクタス類は、当時の多様性を構築した中心的な腕足動物である。本発表では、これらの二大形態型腕足動物を題材とした研究成果を紹介する。

翼形態型スピリファー類は古生代デボン紀の「腕足動物の多様性黄金期」を築いた仲間である。殻形態が備えた受動的な摂食機能を流体シミュレーションによって再現すると、殻の形が持つ機能によって、殻内で螺旋状の渦流が形成された（図1）。この渦流は、スピリファー類に共通する螺旋状の濾過器官を取り巻くように流れており、まるでサイクロンのような効果によって大量のエサを濾過することができたと考えられる（図1）。

凹形となる背殻と凸形となる腹殻を持った凹凸形態型プロダクタス類は、半埋没姿勢の個体生態として知られている。従来の解釈では、殻を力強く大きく開閉することで、能動的に濾過水流を形成できたと解釈されてきた。ところが、凹凸種の内形や内部構造に基づいた殻の開閉システムを再検討すると、狭く貧弱な開閉しか行えない関節構造および筋肉系であり、能動的な濾過摂食水流を形成できないことがわかった。さらに、殻形態モデルを用いた流水実験によって殻まわりの流れを可視化した結果、凹凸形の殻は、殻まわりの流向に依存しない定向的な濾過摂食水流を形成できる適応形態であることが実証された（図2）。

大繁栄へと至った2つの形態型は、まったく異なる濾過摂食様式を備えている。しかし、どちらの形態機能も、共に効率化が図られるように進化したように見える。スピリファー類

は、発達した螺旋状の濾過器官で多くのエサを濾過する「高代謝」を思わせる一方、軟体部の少ないプロダクタス類は「低代謝」を追求した無気力な生物像を連想させる。では、いったいどのような経緯で両者の機能設計が獲得されたのであろうか。

最初の翼形種および凹凸種は、オルドビス紀後期に登場した。当時は形態機能を担う形質が未発達で、エサを効果的に濾過する形態機能はまだ確立されていなかったと考えられる。翼形種の場合、初期の螺旋状濾過器官は、緩巻きで巻数も少ない。有機懸濁物が豊富になるデボン紀を待ちわびるかのように、サイクロン様的水流形成機能へとつながる遺伝的背景を備えた段階といえる。一方、凹凸種の多様化は、翼形種が多様化したデボン紀以降に始まった。特に、石炭紀後期からペルム紀初期まで続く寒冷化イベントの後に、信じられないほど劇的に多様化している。ペルム紀中期を特徴づける凹凸種の中には、左右対称性が失われたり、濾過器官が異常発達するグループも登場した。

多様化をもたらした形態の特殊化・機能化・最適化は、多様性の創出にとって必ずしも良いとは限らない。機能を持つことによってその機能を担保するサイズは制約されるし、機能の最適化や効率化が、新しい特性や戦略を生み出すイノベーションを妨げることもある。そのため、比較的安定な環境下で確立されてしまった最適な機能設計は、少しの環境変化や同じような機能性を備えた“上位互換”の登場によって、あっけなく絶滅する。腕足動物の多様性は、優れた形態機能の獲得が絶滅の序章であることを物語っており、画一的な機能化を回避しながら目立った成功を決してしないことが、長く生き延びる秘訣であることを教えてくれる。そういった形態を取り巻く設計論が、形態大進化の背景に秘められているのかもしれない。

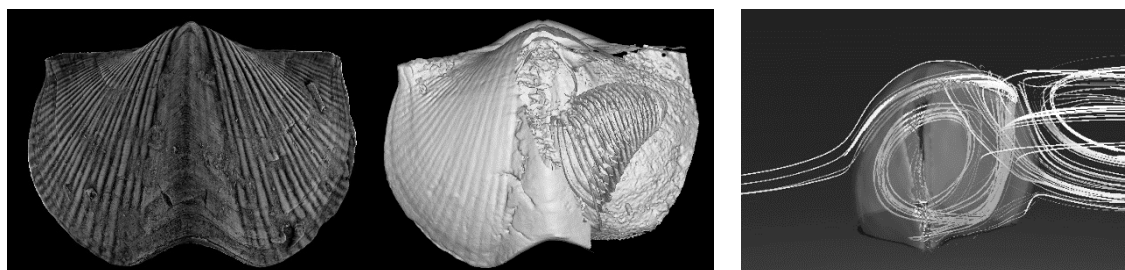


図1. 翼形態型スピリファー類の形態と受動的濾過摂食水流。螺旋状の濾過器官と同調する螺旋状の渦流が発生した。

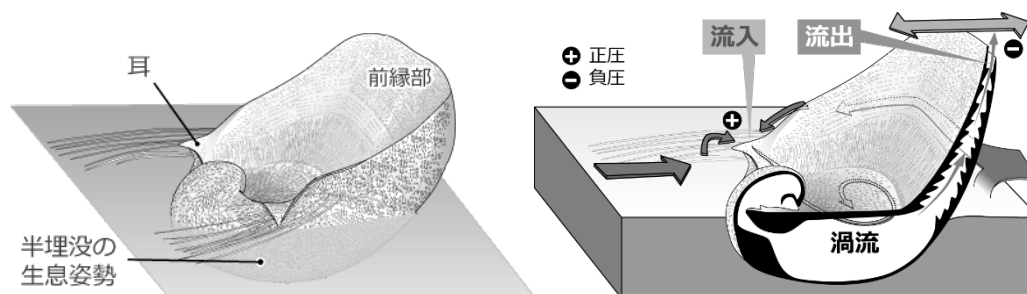


図2. 開口部から効果的な受動的濾過水流を形成する凹凸形態型プロダクタス類。

世界中のきのこを通して見た世界

保坂健太郎（国立科学博物館・植物研究部）

キーワード：海流、国際交流、生物地理、バイオエアロゾル、分散

『きのこ』はランクをもつ分類群ではなく、そのため分類学的には正式な名称ではない。菌界に属す生物のうち、子実体が肉眼で見えるくらいのサイズになる種を便宜的に総称したものである。子実体は有性生殖をして胞子を作るための器官で、植物でいえば花や果実のようなものなので、つまり花が大きいものはきのこ、花が見えないくらい小さいものはその他（カビ、など）、という非常にあいまいな区分けで定義されているグループともいえる。

そのようなごちゃ混ぜのグループではあるが、きのこの大半は担子菌門ハラタケ綱および子実体菌門の一部に属する。地球上の菌類は 150 万種もしくはそれ以上と推定されているが、そのうちきのこ類は少なくとも 10 万種以上存在すると考えられている。ただし、現状で名前が付いているのは 2 万種程度である。このことから明らかなのは、肉眼で存在が確認でき、多様性の把握は他の菌類（酵母やカビなどの微小菌）と比べて容易であるかのように見えるきのこでさえ、未知種のほうがはるかに多い、という現状である。

きのこは森に生えると思われることがあり、それはあながち間違いではない。きのこの多くは樹木を分解する木材腐朽菌、もしくは樹木の根を通じて共生関係にある菌根菌であるので、多様性の中心は森林域であろう。ただし、非森林域である草原、海岸、砂漠などに分布するきのこもあり、地球上においては南極大陸を含む全大陸に存在する。また、植物や動物における一般則とは異なり、必ずしも熱帯雨林での多様性が高いのではなく、日本のような温暖湿潤地域での多様性が最も高いという可能性が示唆されている。

上記の通り、未知種のほうがはるかに多い状況であるので、基礎的な野外調査は全世界規模で行われるべきなのはあきらかである。演者はこれまで南極大陸を「除く」全大陸できのこを対象としたフィールドワークを実施してきたが、そのほとんどの地域においてはほんの「点」での調査である（例えば、アフリカ大陸で唯一の調査は、カメルーンの一部地域で 2 週間ほどやっただけ）。また、現地の共同研究者によって継続的な調査が行われていない地域も多く、そのため非常に不満足な状態であっても、（無理やりであっても）なんとか多様性の比較対象になる程度の調査が進んだ地域、というのは残念ながらほとんどない。

これまで演者が様々な国・地域で行ってきたフィールドワークは、そのほとんどが子実体ベースによるものである。きのこは子実体以外の状態では肉眼で確認することができないため、これは当然のように思えるかもしれないし、事実伝統的にきのこの多様性調査は、子実体のみに基づいて行われてきたと言って過言ではない。ただし、子実体は花（もしくは実）のようなもの、ということから明らかなように、その発生の時期は限られる。生活環のなかで子実体が占める期間はごくわずかで、大半は胞子や菌糸というより微生物的な実体とし

て存在する。そのため、フィールドワークの目的が多様性の把握だけであれば、取り逃がしの多い子実体を相手にするのではなく、環境中（土、水、空気など）から孢子や菌糸を採取し、メタゲノム解析により DNA レベルの種構成比較を行った方がはるかに効率的である。

そのため世界規模でメタゲノム解析は進みつつあり、演者も近年はこれまでのフィールドワークと並行して、環境サンプルの採取にもはげんでいる。しかし、その重要性は認識しつつも、あえて伝統的な子実体ベースのフィールドワーク（つまり「きのこ狩り」）の重要性を指摘したい。子実体は多くの生物にとっての餌資源もしくは棲家となっており、その実体はメタゲノム解析だけでは明らかにできない。さらに、きのこ類の孢子はバイオエアロゾルとして常に空気中に分散していると考えられるが、それが定着するとは限らない。つまり、DNA として検出＝その場所にいる、というだけの日和見的な検出である可能性は捨てきれない。一方で、子実体として採集できた種は、少なくともその場で生活環を完結できた種であると言える。

きのこに限らず生き物の多くは長距離分散するので、国境をまたいだフィールドワークを必要とする研究者は多数いるであろう。最近では乾燥標本を含むいわゆる遺伝資源の移動に対するルールの厳格化などもあり、同時に複数の国でフィールドワークを実施するのは、様々な意味で面倒になってきた感じがする。そのような中で苦勞してフィールドワークをし続ける意味があるのか、あるのだとしたらどのようにスムーズに進めることができるのか、などについても言及したい。



図. (A) ブラジル・アマゾンで採集した世界最小のスッポンタケ類 *Xylophallus xylogenus* (2014 年 2 月)。米粒と並べている。(B) ダーウィンも採集した南米・フエゴ島のキッタリア *Cyttaria darwinii* (2010 年 2 月)。

小笠原諸島火山列島～国内最難関の無人島調査への挑戦

加藤英寿（首都大学東京・牧野標本館）

キーワード：海洋島、北硫黄島、南硫黄島、自然環境調査

東京都心から約 1000km 南南東に位置する小笠原諸島は、大小約 30 の島々で構成される亜熱帯の海洋島で、北から聳島列島、父島列島、母島列島からなる小笠原群島と、その南南西には北硫黄島・硫黄島・南硫黄島の 3 島からなる火山列島、そして西之島や南鳥島などの離島が点在する。これらの島々は、島ごとに様々な地誌的背景を有し、島の生物多様性の把握やそれらの由来、島嶼生態系の成り立ちなどを探る研究が進められている。ただし、小笠原諸島を構成する島々の多くは無人島で、現地調査は容易では無い。特に訪れることが困難な火山列島は、限られた調査の機会を最大限に生かすため、様々な分野の研究者による総合的な調査が実施されてきた。私は 1998 年から小笠原研究に取り組んできたが、北硫黄島は 3 回、南硫黄島は 2 回にわたり、植物担当として現地調査に参加する機会を得た。多分野の専門家との無人島キャンプ生活を伴う調査は、互いに様々な知見や刺激を与え合い、小さな島で凝縮された研究に浸ることが出来たという点でも、かけがえのない経験であったと思う。

火山列島に行くには、東京港から父島に定期船で片道 24 時間、さらに父島から調査船で北硫黄島まで約 14 時間、南硫黄島まで約 18 時間かかる（自衛隊が常駐する硫黄島は入間基地から輸送機でたった 3 時間…）。調査時期は天候が最も安定する梅雨明け直後の 6～7 月が最適だが、予測困難な天候に左右され、予定通り調査が出来るとは限らない。私が初めて北硫黄島調査を行った 2003 年は、梅雨明けが大幅に遅れて荒天が続いたため、出発が予定より 2 週間遅れ、その間は父島で待たされ続けた。それでも行ければ幸いで、年によっては調査を断念せざるを得ないこともある。まさに博打のような調査である。

火山列島は、島についてから本格的な試練が始まる。船を島に接岸できないため、ゴムボートに乗り換え、途中から泳いで上陸する。海が穏やかな時は良いが、海流や気圧の変化で海が荒れると、波に飲まれたり、離岸流で沖に流される危険もある。経験豊かなダイバーのサポートは必須だが、調査隊員は事前に様々な状況を想定した水泳訓練も課せられる。

南・北硫黄島は見ての通りの険しい地形故に、山頂部までの調査を行うには、ロープワークが欠かせないため、研究者は事前訓練を受けなければならない。現地ではまず、熟練した登山家達がルート工作を行い、ロープが設置された後、研究者達もクライミングギアを装着して登山に挑む。登山中は落石が頻発する上に、滑落などの事故や凄まじい暑さによる熱中症も懸念される。研究者は自分の調査ばかり優先させることはできず、自分と仲間の命を守るため、隊の一員としての自覚と責任の上で行動しなければならない。

また、無人島で上陸調査を行う際には、調査隊が自然に及ぼす影響を最小限にしなければ

ならない。特に、外来種等を持ち込むことが無いように出発前に装備品の検疫を徹底するとともに、父島に帰ってきた際に他の島の生き物を逸出させないための対策も重要である。

このような調査は、多方面にわたる協力者の存在が不可欠である。調査をサポートするダイバーや登山家、水や食料などを歩荷する山岳ガイドの方々に加えて、常に天候や海況の変化を見極めながら調査隊を見守り続ける調査船の船長や乗組員の方々、現地調査に参加せずとも準備段階から物資調達や梱包、検疫作業を支える島民の方々、そして調査実現に向けて予算獲得や許認可申請に情熱をもって取り組む行政担当の方々、どれ一つ欠けても調査は成り立たない。これほど多様な人々とともに調査を成し遂げたことを、私は誇りに思う。

こんなに危険で困難な調査を行う必要があるのか、疑問に思う人もいるかもしれない。しかし、危険で困難だからこそ、南硫黄島では「手つかずの自然」が残されてきた。一方で、戦前に人が住んだことで、その自然がどのように変化したかを知る手がかりが北硫黄島にはある。両島の比較研究を重ねることは、生物多様性が形成されていく過程と人類が及ぼす影響、そしてこれからの人と自然の関わり方を探ることにも繋がっている。

- 2007 年南硫黄島自然環境調査の成果は、下記サイトから【詳細検索】の【タイトル】に「特集 南硫黄 2007」と入力して検索すると、各種 pdf をダウンロード出来ます。
https://tokyo-metro-u.repo.nii.ac.jp/?page_id=30
- 2017 年南硫黄島自然環境調査の成果は、下記サイトからダウンロード出来ます。
http://www.tmu-ogasawara.jp/ogasawara_research_index2018.html
- 2019 年の北硫黄島調査の成果も、次年度の Ogasawara Research に掲載され、同様に小笠原研究委員会 HP に up される予定です。

