

はじめに

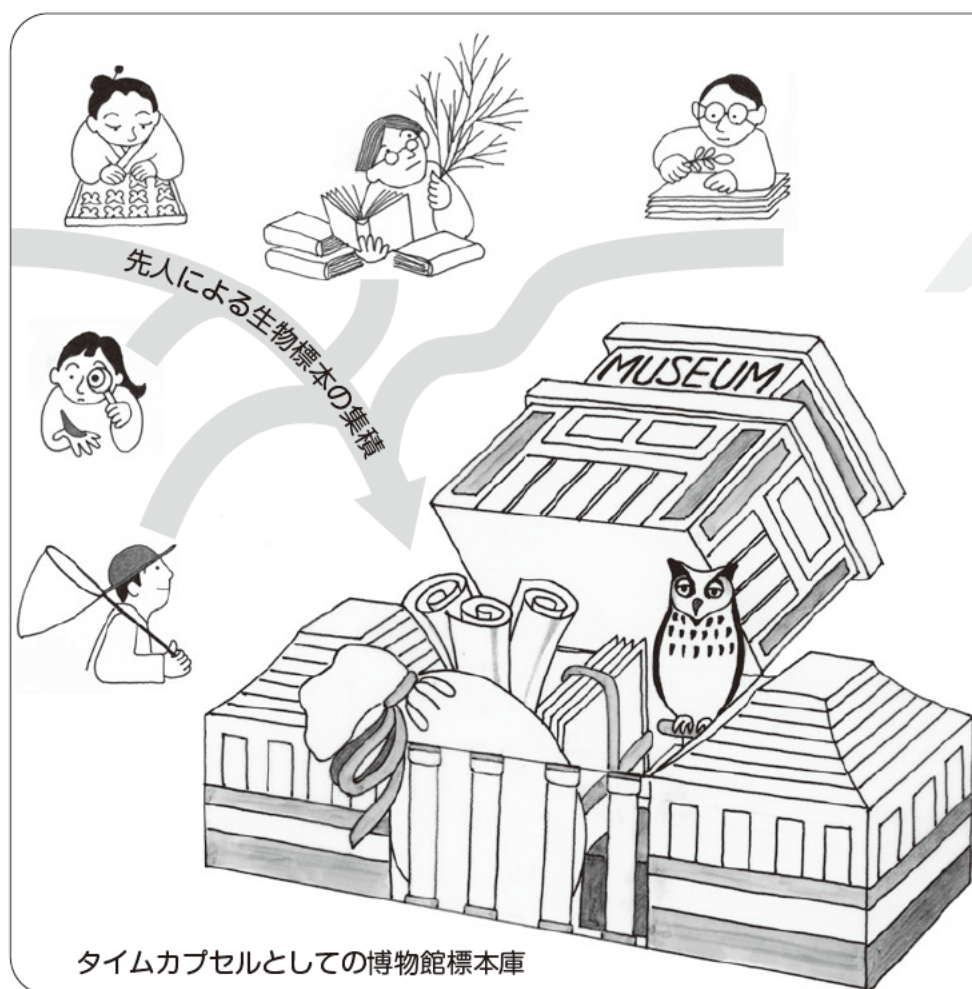
自然史博物館に足を踏み入れた瞬間から目に入る、多種多様な植物の押し葉標本、一面ずらりと並べられた昆虫標本、生き生きとした哺乳類や鳥類の剥製標本、そして太古のロマンを感じさせる大型動物の化石標本。こうした生物標本を見て、ワクワクしたことのある読者の方は少なくないだろう。来館者を楽しませ、長い地球の生命史や自然史の壮大さを伝えるのは博物館の一つの役割である。しかしながら、博物館がその役割を高いレベルで担い続けるためには、生物の進化や種の多様性、生態系のしくみに焦点を当てる自然史研究（Natural history）を同時に発展させ続けていくことが不可欠である。

博物館に収蔵されている標本は、来館者の心を躍らせる展示としての役割だけでなく、この自然史研究に大きく役立っている。例えば、標本の形態情報をもとに新種記載や分類学的再検討などが行われ、標本の採集情報（採集場所、採集年月日、採集者など）は、地域の生物相の解明や野生生物の分布予測などに用いられてきた。これらは自然史研究の根幹となるものであり、生物標本はその解明に大きな役割を果たしてきたといえる。また、その生物相の解明のなかで新たな種が発見されて新種の新しい標本が採集されたり、分布予測結果に基づいて新たな調査が行われて新産地の発見や標本採集が実施されたりというように、得られた研究結果は次の調査と標本採集を促し、そしてそれがまた次の研究の発見へとつながっていく。古くから行われてきた自然史研究では、このような流れを研究界全体で維持することで、新たな発見、そして自然史研究に関連するさまざまな分野の発展にも寄与してきた。

近年ではさらに新たな標本利用の形として、生物標本の中に含まれるDNAの遺伝情報が自然史研究で広く使われるようになってきている。もちろん生物標本は既に生存していないが、生命の設計図であるDNAはその生物が生存していたころの遺伝情報を今でも保存しているのである。もし標本の遺伝情報が利用できれば、どんな新しいことがわかるだろうか。ニホンカワウソ（絶滅種）の標本があれば、もう野外では目にすることができないニホンカワウソと他のカワウソの系統関係がわかるかもしれない。分類が困難なアザミ属の植物について標本が多く収蔵されていたら、形態や分布を調べながら系統解析も行うことで、グループ全体の分類学的研究を大きく進めることができるかもしれない。ギフチョウ（絶滅危惧II類）の絶

滅集団の標本があれば、既に失われてしまった絶滅集団の遺伝的多様性や地域性が推定できるかもしれない。水田雑草であるコナギの標本があれば、いつ除草剤耐性遺伝子を獲得して進化したのかを推定できるかもしれない。これらはあくまで一例であるが、「標本の遺伝情報が使えればこんなことができるのに……」と頭の中で思い描いた読者の中にもおられるかもしれない。

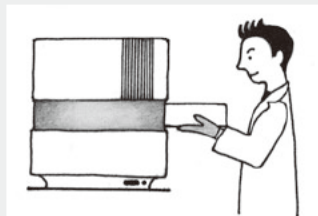
実際にこうした研究は世界中で取り組まれており、驚くべき発見が次々に報告されつつある。ニホンカワウソの剥製からはミトコンドリア DNA のゲノムが決定され、



ユーラシアカワウソに近縁であることがわかった (Waku *et al.*, 2016)。世界中のオサムシがいつどのように多様化してきたかは、現生個体に加えて標本も利用することによって網羅的に解明された (Sota *et al.*, 2022)。ニシツノメドリでは19～20世紀に採集された標本と現生個体を用いることで、遺伝的多様性・地域性の歴史的变化が推定され、地球温暖化による分布域の変化が雑種形成や遺伝的多様性の低下を引き起こしたことが示された (Kersten *et al.*, 2023)。殺虫剤に対して急速な進化を繰り返しているジャガイモの大害虫コロラドハムシの標本からは、各地で殺

貴重な標本から情報を取得する

第2部



そして新しい
事実が判明！

第1部



過去を知り、未来を予測することで
生物多様性を繋げていく

虫剤耐性遺伝子に対する選択圧がかかることで、ウィスコンシン州とニューヨーク州で並行的に殺虫剤耐性が進化したことが示唆されている (Cohen *et al.*, 2022)。このように、博物館標本の遺伝情報の利用は特に 2010 年代以降、爆発的に研究が進んでいる。過去の標本を用いてその生物の歴史に迫る。なんとロマンにあふれる研究だろうか。

爆発的に研究例が増加した背景には、次世代シーケンサーの開発と普及がある。生物標本は採集から長い時間が経過しているため、遺伝情報は断片化が進んで短くなるなど当初の生物が持っていた DNA と比べ劣化している。従来のサンガーシーケンサーや電気泳動では、劣化した DNA の解析が難しく、そのため研究材料として使用されることはほとんどなかった。次世代シーケンサーでは短断片の DNA も配列決定ができることから、生物標本中に DNA さえ残存していれば、解析は不可能ではなくなってきた。また、DNA だけでなく、安定同位体やタンパク質成分、化学成分などについても、近年の技術の発展によって解析が可能となりつつある。このような発展の経緯を経て、博物館を示す “Museum” と、ギリシャ語で「すべて・完全」を意味する “ome” に「学問」を意味する “ics” を合成した “Omics” という 2 つの言葉を組み合わせた “Museomics (ミューゼオミクス)” という言葉が 2000 年代後半につくられた。この Museomics は、博物館の生物標本が持つありとあらゆる情報を取り出して積極的に利用しようという野心的な学問分野であり、特に海外を中心に怒涛の勢いで研究が進んでいる。実際に Google Scholar によると、2023 年に出版された学術論文のうち、Museomics という単語を含んだ論文は 228 報にのぼっている。

しかし、先述の通り Museomics 自体がとても新しいものであるため、生物標本からの解析手法を解説した日本語の入門書はこれまでなかった。例えば生物標本の DNA を解析しようとする場合、新鮮なサンプルと比較すると DNA 自体が激しく劣化していることから、通常的手法では解析がきわめて困難であり、実験・解析の過程でさまざまな工夫が必要となる。こうした解析ノウハウが一般的に普及しないと、どれだけ魅力的な研究が可能であろうとなかなか普及しないのも道理である。こうした現状を打破し、生物標本が持つさまざまな情報に多くの方々に興味を持っていただければと思い、本書の制作を思い立った。

さらに、近年の博物館をとりまく深刻な台所事情も本書を執筆する動機となっている。2023 年、国立科学博物館が電気代などを賄うためにクラウドファンディングを実施したことが話題となった。これは国立科学博物館に限ったことではなく、多

くの博物館が近年の物価の上昇への対応に苦慮している。また近年は収蔵庫の空きスペースが多く博物館で減少しつつあり、標本コレクションの新規受け入れが厳しくなっているといった問題がある。このように博物館を取り巻く事情はお世辞にも順風満帆とはいえない状況にある。そうしたなか、博物館が収蔵する生物標本に再度注目することで、標本が持っている潜在的な価値を多くの方々に知っていたできれば幸いである。

本書は大きく分けて研究エッセイと解析手法の2つから構成されており、随所にコラムが掲載されている。研究エッセイでは、保全遺伝学、分子系統学、古代DNA、DNAバーコーディングなどによる多様な研究を紹介している。解析手法では、サンガーシーケンシングから全ゲノム解析までを盛り込み、さらに標本をめぐる博物館とのやり取りの注意点を紹介する。手法では基礎的な項目を盛り込むことによって、初学者でも Museomics 研究を始めやすいように配慮した。本書が、生物標本そのものやそれらを用いた研究に興味を抱ききっかけになれば、またさらにご自身で Museomics 研究を始めるきっかけになれば、責任編集一同これ以上の喜びはない。

2024年8月31日 中濱直之・中臺亮介・岩崎貴也・大西亘

引用文献

- Cohen, Z. P. *et al.* 2022. Museum genomics of an agricultural super-pest, the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Chrysomelidae), provides evidence of adaptation from standing variation. *Integrative and Comparative Biology* **62**: 1827–1837.
- Kersten, O. *et al.* 2023. Hybridization of Atlantic puffins in the Arctic coincides with 20th-century climate change. *Science Advances* **9**: eadh1407.
- Sota, T. *et al.* 2022. Global dispersal and diversification in ground beetles of the subfamily Carabinae. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **167**: 107355.
- Waku, D. *et al.* 2016. Evaluating the phylogenetic status of the extinct Japanese otter on the basis of mitochondrial genome analysis. *PLOS ONE* **11**: e0149341.

タイムカプセルの開き方

博物館標本が紡ぐ生物多様性の過去・現在・未来

目次

はじめに









中濱 直之・中臺 亮介・岩崎 貴也・大西 亘 3

第1部 標本から過去を知り、未来を予測する

- 第1章 標本のDNA情報からひもとく
絶滅危惧チョウ類の栄枯盛衰と保全 中濱 直之 13
- 第2章 博物館標本から稀少種の過去を探る：鳥類の保全遺伝学
表 溪太 33
- ⊗ 第3章 昆虫の標本DNAによる分子系統解析 長太 伸章 49
- ◆ コラム1 次世代シーケンサーを用いた海藻類のタイプ標本の遺伝子解析
鈴木 雅大 69
- ⊗ 第4章 古代DNAで探る縄文時代の鯨類の遺伝的多様性
岸田 拓士 79
- ⊗ 第5章 博物館に収蔵されている植物標本の
DNAバーコーディングへの活用 遠山 弘法 95
- ◆◆ コラム2 昆虫のDNAバーコーディングとその利用 岸本 圭子 113

第2部 標本から情報を取得する方法

- 第6章 標本DNAの活用法 伊藤 元己 123
- 第7章 標本を対象としたシーケンス解析 兼子 伸吾 135
- 第8章 標本DNAにおける
マイクロサテライト解析の手法 中濱 直之 143
- ◆◆ コラム3 博物館標本を用いた同位体分析研究 松林 順 149

	第9章 標本 DNA から MIG-seq でゲノムワイド変異を調べる	岩崎 貴也	157
	第10章 ターゲットキャプチャー法による遺伝情報の収集	中臺 亮介	167
	第11章 少数個体のゲノム全長に基づく集団解析	岸田 拓士	177
	第12章 DNA を長期保存する昆虫標本の作製手法	中濱 直之	187
	第13章 植物標本の非破壊的 DNA 抽出	杉田 典正	191
	コラム4 Museomics をとりまくデータベース	仲里 猛留	199
	コラム5 ミュゼオミクス時代の博物館とその役割	大西 亘	209
	第14章 標本のミュゼオミクスの利用について	岩崎 貴也・大西 亘	219
	執筆者紹介		239
	生物名索引		242
	事項索引		243