

海洋アライアンスシンポジウム

第19回 東京大学の海研究

「辺境を行く」



要旨集

2024.11.21.(Thu) 13:00-17:30 東京大学 農学部・弥生講堂 一条ホール

東京大学海洋アライアンス連携研究機構

〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5 大気海洋研究所520号室
Tel : 04-7136-6416 Fax : 04-7136-6418 E-mail : oa-office@oa.u-tokyo.ac.jp



URL : <http://www.oa.u-tokyo.ac.jp/>

ご挨拶

東京大学海洋アライアンス連携研究機構が主催する今年の「東京大学の海研究」シンポジウムは、海洋におけるフロンティア精神を念頭に「辺境を行く」と題して実施することになりました。

19回目の開催となり、歴史あるシンポジウムとなりつつありますが、今回の特徴はこれまでのより社会と密接に関わる諸問題の解決を念頭にしたテーマとは大きく異なる点にあります。直近の5年間は「海に生きる次世代を育てる」、「総合的な海洋の安全保障」、「国連海洋科学の10年」、「海洋プラスチック研究のゆくえ」、「水産改革と日本の魚食の未来」と題して開催しており、海洋の利活用のための海洋工学、水産学、法学、経済学などを包括した文理融合、学際研究を念頭に置いたものとなっていました。しかし、今回は基礎的科学的知見を収集し自然界における普遍の原則を探究しようとする海洋科学の原点に立ち返りつつ、深海、極地、海底、大航海といったキーワードが散りばめられ、研究成果の社会実装が求められる今日では薄れがちになった海洋の神秘性やロマン、そして冒険が感じ取られる内容となっています。

冒険といえば、ホモ・サピエンスとしての人類の歴史そのものが冒険の歴史なのであり、最初はアフリカからユーラシアへの長い旅路でした。それ以前に絶滅した種も含めて推測するとかなり早い段階から大海を渡洋した可能性が高く、人類の種の広がりには陸路だけではなく海洋での荒波を乗り越えた旅路があることは想像に難くありません。きっと、そこには未開の地を追い求めるフロンティア精神があったはずで、我々が確かな歴史として知ることのできる大航海時代からジェームズ・クックの探検航海に至る時代においてはいくつもの書籍からその精神を感じ取ることができます。そして、19世紀に入ると科学的調査に主な目的を置いた探検航海が組まれるようになりビーグル号航海は正にその代表例といえ、20世紀に入ると世界最深部のチャレンジャー海淵に到達するバチスカーフ・トリエステ号の挑戦があり、二次元の冒険が深海に至る三次元の冒険になりました。つまり、海洋科学の発展は、パイオニアたちの命をかけた挑戦によって支えられてきたのであり、今回のシンポジウムにおいて現在の研究者の姿を垣間見て頂けるものと思います。

人類の歴史的な冒険については、本学の総合研究博物館が主催し海洋アライアンス連携研究機構が後援したJPタワー学術文化総合ミュージアム「インターメディアテック」の特別展示『海の人類史 - パイオニアたちの100万年』でも紹介されており、ご覧になった方も多いことと思いますが、本シンポジウムでも関連する講演が予定されており、世界史の中の出来事と海洋の繋がりを実感頂けるものと確信しています。また、国際機関で海洋に関連する諸問題の解決を夢見る学生の活動についても報告がありますので、若き挑戦者たちの息吹を感じエールを送って頂ければ幸いです。



木村伸吾

東京大学海洋アライアンス連携研究機構 機構長
大気海洋研究所 海洋生物資源部門 教授

木村伸吾
Shingo Kimura

海洋アライアンスシンポジウム

第19回 東京大学の海研究 「辺境に行く」

● PROGRAM

【開会】

- ・開会挨拶 木村 伸吾（東京大学海洋アライアンス連携研究機構 機構長 大気海洋研究所 海洋生物資源部門 教授）
- ・趣旨説明 沖野 郷子（東京大学海洋アライアンス連携研究機構 副機構長 大気海洋研究所 海洋底科学部門 教授）

【第一部】研究者辺境に行く

- ・「深海と超深海の境目はどこ」狩野 泰則（東京大学 大気海洋研究所 准教授）
- ・「海底下の岩石圏生命の発見とそこから広がる可能性」鈴木 庸平（東京大学 大学院理学系研究科 准教授）
- ・「深海でも生分解性プラスチックは微生物により分解されることを実証」岩田 忠久（東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授）
- ・「変わりゆく北極海、海氷と海洋のダイナミズム」川口 悠介（東京大学 大気海洋研究所 助教）
- ・「作ったロボットとともに南極海へ挑む」山縣 広和（東京大学 生産技術研究所 特任研究員）

【第二部】辺境に挑んだ先達の物語

- ・「海を越えた最初の日本列島人 ―実験航海で探った3万年前の挑戦―」海部 陽介（東京大学 総合研究博物館 教授）
- ・「世界史を拓くヴァイキングの船舶」小澤 実（立教大学 文学部 教授）
- ・「ポルトガル海上帝国とカフル人 ―「弥助問題」を端緒に―」岡 美穂子（東京大学 史料編纂所 准教授）
- ・「オランダ東インド会社とモンスーン・アジア：シナ海とインド洋を結んだアジア域内貿易」島田 竜登（東京大学 大学院人文社会系研究科 准教授）

【第三部】アライアンス学生海外インターンシップ報告

- 2023年度 国際海事機関 (IMO) 派遣 高畑 彩（東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 修士課程 2年）
- 2024年度 国連食糧農業機関 (FAO) 派遣 小川 翔太郎（東京大学 大学院農学生命科学研究科 水圏生物科学専攻 博士課程 1年）

【閉会】

- ・閉会挨拶 茅根 創（東京大学 大学院理学系研究科 教授）

趣旨説明

人類は陸上で進化し、地球のさまざまな場所に生活の場を広げ、文明を築いてきました。私たちが現在利用している様々な移動手段の中で、船は最も古くからあるものです。ご先祖様たちは、丸木舟や葦舟を使って、より遠くへ、知らない土地へと出かけていったはずです。時には、行先が定まらないまま、新天地を目指して船出した人たちもいたのでしょう。「辺境」は、中央（都）から遠く離れた土地を意味する言葉です。住み慣れた土地を離れ、水平線を眺め、そして海の先の遠く離れたところへ行ってみようと思った人々がいたからこそ、今の世界があります。いつの時代も、海は人類にとって辺境=フロンティアでした。

いま、地球上で地図のない場所はほぼありません。人工衛星からの画像も驚くほど鮮明です。Google Earthでは世界中のさまざまな場所を訪れたかのような体験が可能になり、遠い国の街角をストリートビューでぶらぶらすることもできます。でも海は？インターネット上ですら訪れることができません。精度のよい海底の地図がある場所は、21世紀の現在でも、世界の3割程度にすぎません。海にはまだ未踏の世界が広がっています。特に深海や極域の海は、まさにたどり着くことも難しい辺境として残されています。

研究者は、どのような分野であれ、未知のことを明らかにしたいと願っています。その意味では、常に辺境=フロンティアを旅していると言ってよいでしょう。しかし、比喩ではなく、まさに「辺境」を研究対象としている人達があります。本シンポジウムでは、さまざまな分野で辺境としての海を研究する方にご登壇いただきます。

第一部は、「研究者辺境に行く」と題して、海をフィールドとする研究の中でも、特に極限環境の海での観測研究をされている5人の方にお話しいただきます。超深海、北極海、そして氷の下での観測に挑む様子が紹介されます。辺境のおもしろさ、辺境での苦勞、研究室内とは全く違う世界についてお聞き下さい。

第二部は、「辺境に挑んだ先達の物語」として、過去のそれぞれの時代に、危険を冒してでも海を渡った人たちの研究を4人の方にご紹介いただきます。3万年前に日本列島に渡ってきた人類にはじまり、中世、近代へと時間を辿っていきます。それぞれの時代に、海はどのような存在として捉えられており、なにを目指して海を渡ったのか、思いを馳せたいと思います。

本シンポジウムが、人類にとって今も辺境である海を、さまざまな角度で見直す機会となることを期待しています。



沖野郷子

東京大学海洋アライアンス連携研究機構 副機構長
大気海洋研究所 海洋底科学部門 教授

沖野郷子
Kyoko Okino

深海と超深海の境目はどこ？

狩野 泰則

(東京大学 大気海洋研究所 准教授)



東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻博士課程を2002年に修了(博士・理学)。国立科学博物館地学研究部・東京大学海洋研究所(日本学術振興会特別研究員PD)、宮崎大学農学部生物環境科学科(助手)を経て、2010年より現職。熱帯・亜熱帯域の河川ならびに浅海性の貝類を主な対象に、底生無脊椎動物の系統進化・分類・生態・初期発生と生物地理に関する研究を行ってきた。2007年よりパリ国立自然史博物館など欧州各国の博物館に滞在し国際共同研究を進めている。現職での主なテーマは学術研究船でのトロール採集に基づく深海の動物多様性分布と幼生の個体分散。国際軟体動物学会事務長。

YASUNORI KANO



KH-23-5航海出航前の白鳳丸 有明にて



4 mビームトロールによる海溝からの底生動物採集



白鳳丸コールドルームでの生物拾い出し



北海道沖の千島海溝(水深7,285-7,293m)から得られた二枚貝類

深海帯(abyssal zone)の海底は地球表面の約6割を占める広大なハビタットで、熱帯雨林に匹敵する高い動物の多様性を擁するとされる。この多様化には、地形や水平距離に起因する地理的隔離よりも、水深差に伴う水温・溶存酸素・塩濃度や栄養供給などの環境勾配が重要な役割を果たすと考えられている(深度分化説)。一方、深海より更に下の深度帯である超深海(hadal zone)すなわち海溝域は、アクセスの困難さから調査が遅れており、地球上で最後のフロンティアともいわれる。どんな動物が何種類いるのか？ なにが種の分布を規定し、また種分化はどのように起きるのか？

海溝の動物相研究は1950-1970年代に大きく発展した。当時、デンマーク海軍のガラテア号やソビエト連邦の調査船ビチャージは、先細りの長大なワイヤーを使用し海溝最深部のビームトロール網採集に成功したが、いずれの標本もホルマリン保存されDNA解析に利用できず、形態の保存状態も良好でない。1980年代以降には、独立して潜航・浮上を行う餌入りワナ付き撮影装置が海溝動物研究の主流となった。同装置は長大なワイヤーを必要とせず比較的手軽であり、魚肉などのエサに寄ってくる運動性の高い動物、特に大型のヨコエビ類と魚類を選択的に撮影・採集する。しかし、種数の点では海溝の動物全体のごく僅かな部分をカバーするに過ぎず、多様性の大部分を占める底生の貝類・ナマコ・ゴカイ類などについては、知見の集積、特に多様性把握の基礎となる標本試料の集積が遅れていた。

東京大学大気海洋研究所の底生生物グループ・観測研究推進グループは、2021年より深海カメラ動画解析によるビームトロール曳網手法の改善に取り組んでおり、これまで世界的に水深の1.3-1.8倍で運用されてきたワイヤー繰り出し長を1.01-1.08倍とすることに成功した。これにより観測時間の大幅削減と水深8,000 m超での曳網が可能となり、昨年の学術研究船白鳳丸KH-23-5次航海では41曳網中の全41回(水深3,428-8,018 m)で生物採集に成功するなど、著しい信頼性向上をも達成している。

千島海溝南部から日本海溝で実施した上記KH-23-5ならびにKH-22-8次航海では、この新手法を用い、海溝域における世界最高位の網羅的底生動物採集に成功した。このうち、水深5,000 m以深の32測点で得られた貝類を形態学的・分子生物学的手法により150種に分類し、その種組成を比較した結果、水深6,600 m付近に明瞭なギャップが存在すること、また種組成がそれ以深でも深度方向に変化することを発見した。海洋の深度帯区分(漸深海・深海・超深海)は生物相により規定されるが、深海／超深海帯の境界水深についてはこれまで定量的な解析が行われておらず、定性的な考察により6,000 mもしくは6,500 mのいずれかが採用されてきた。今回の結果は後者の6,500 m説を強く支持するが、これが全球的に当てはまる境界であるかについて、現在、更なる検討を行っている。

このような超深海動物の分布と種分化を規定する環境要因は何か？ 海溝内の水は上下に混合され、水温・溶存酸素・塩濃度はほぼ均一であると考えられている。また、今回の海溝内測点の多くは海溝軸あるいは斜面の大きな棚に位置する平坦な海底であり、地形による有機物の集積にも大差はないと思われた。とすれば、超深海動物の鉛直方向の種分化や分布パターンは、水深(水圧)そのものに対しての適応の結果と説明できるのではないだろうか。

日本はそのEEZ内に5つの海溝を含み、6,000 m以深の水塊体積において世界一の「超深海大国」である。また千島・日本海溝は、同海域の高い表層基礎生産と豊富な沈降粒子を反映し、世界の海溝中で最も大きな底生物量と高い多様性を示す点で、超深海動物研究に最適なフィールドといえる。今後、8,000 m以深での比較、浮遊幼生の行動や地点間・海溝間の分散、成体の生息する基質(泥)の定量解析などを中心に、白鳳丸による観測研究を継続したい。

海底下の岩石圏生命の発見と そこから広がる可能性

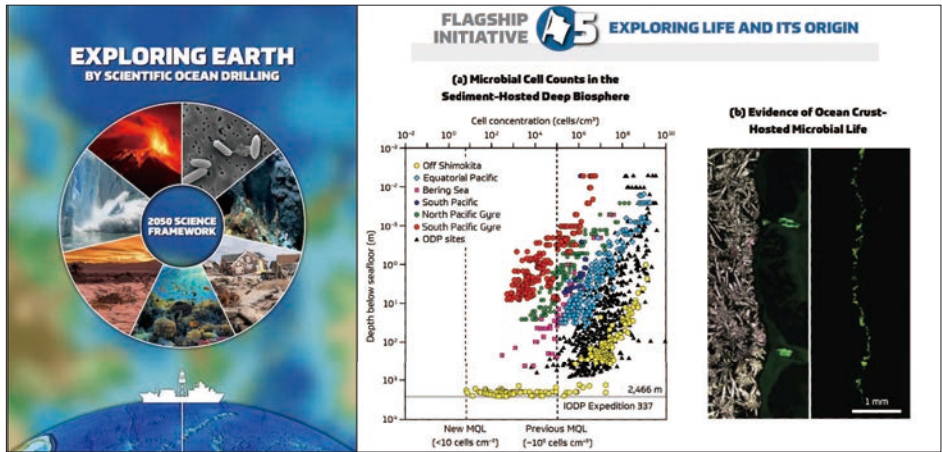
鈴木 庸平

(東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻・微生物科学イノベーション連携研究機構 准教授)



2002 年にウィスコンシン大学マディソン校地質・地球物理学専攻で博士課程を修了し、海洋研究開発機構極限環境生物圏研究センター研究員、産業技術総合研究所深部地質環境センター研究員を経て2011 年より現職。専門は地球微生物学で、光合成の物質生産に依存しない生態系(ダーク・バイオスフィア)における生物と無機物質との相互作用の解明を目指している。海洋研究開発機構では「しんかい6500」を用いた深海底熱水噴出域生態系調査、産業技術総合研究所では地下施設を用いた陸域地下深部生態系調査、現職では陸海を問わず国際深海科学掘削計画(IODP)や国際陸上科学掘削計画(ICDP)で得られた岩石コア試料を対象にした地下生命圏研究を行っている。その他にも、近海の高底資源として重要な海底熱水鉱床やマンガン団塊・クラストに生息する微生物に関する研究や、油田ガス田を胚胎する海成堆積岩に生息する微生物の研究もおこなっている。現在は地球外生命探査にも関わっており、国際宇宙空間研究委員会(COSPAR)の惑星保護委員会の委員、国内では宇宙航空研究開発機構(JAXA)の惑星保護審査部会委員を務める。

YOHEY SUZUKI



海洋に残された辺境：海底下の岩石圏生態系

海洋には深海平原と呼ばれる海底が大陸縁辺から中央海嶺の間に広がっている。海底面は細粒の堆積物が覆っているが、その下には中央海嶺で噴出した溶岩が普遍的に存在する。中央海嶺で噴出してから1000万年程度で冷え、岩石内の隙間が詰まるため、生命活動に必要な水の流れがない閉鎖的な場として生命探査の対象になってこなかった。この生命探査の辺境にアクセスするためには、海洋掘削船で堆積物を貫いた後に、さらにドリルで硬い岩石を掘り出す必要もあり、この掘削で生じる汚染についても対処する必要がある。生命の存在がどちらかというとな否定的な海底下の岩石を、莫大な費用と労力をかけて調べようとする研究者がいなかったことは容易に理解できる。

海の砂漠の下に生命圏？ 海洋科学掘削によるアプローチ

南太平洋環流域と呼ばれる海域は、海洋全体を見ても植物プランクトンによる一次生産が最も少ない海の砂漠と呼ばれ、海底に供給される光合成由来の有機物がほとんどないことを意味する。このような海底下に生息する微生物生態系の実態解明のため、2010年に統合国際深海掘削計画(IODP)の329次航海が行われた。乗船してみるとこれまで微生物が大量に生息するとされていた堆積物ですら微生物が生息するか不明な状況で、さらに可能性が低い堆積物下の溶岩を調べようとする研究者はいなかった。形成年代が1000万年から1億400万年の岩石コアが掘削により取得され、その際蛍光ビーズによる汚染評価は行われたものの、確立した分析手法はなく手探り状態で研究が進められた。

苦悩の末の分析手法確立と腸内並みの微生物生態系の発見

そこで思いついたので、岩石中の粘土鉱物を分析する方法と微生物細胞を可視化する方法を組み合わせることであった。最終的にはナノ固体分析手法で細胞密度の定量に行い、そこで得られた数字は岩石内であるに関わらず我々人間の腸内と同等であり、これまでの常識を覆す成果となりメディアでも大々的に報じられた。

CNN: Life found in rocks beneath the ocean floor give scientists hope of finding life on Mars
<https://edition.cnn.com/2020/04/02/world/earth-ocean-rock-life-mars-scnc/index.html>

The Atlantic: The Last Place on Earth We'd Ever Expect to Find Life
<https://www.theatlantic.com/science/archive/2020/05/life-microbes-ocean-floor/611755/>

National Geographic: Bizarre life-forms found thriving in ancient rocks beneath the seafloor
<https://www.nationalgeographic.com/science/article/life-found-thriving-in-one-of-the-least-likely-spots-on-earth>

現在この発見を足がかりに、生命誕生や地球外生命存在の可能性が指摘される超塩基性岩中の微生物生態について研究を行なっている。具体的には「しんかい6500」を用いた東北沖プススポット火山のマントル捕獲岩や、20億年前に形成したプッシュフェルト複合岩体に生息する微生物についてICDPの掘削調査に参画して研究を行なっている。プッシュフェルト複合岩体からの微生物の発見はNHKにより大々的に報じられ多くの関心と期待が寄せられている。

NHK:20億年前"地球最古の微生物？ 生命の起源に迫る重要な発見か
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240718/k10014514831000.html>

深海でも生分解性プラスチックは微生物により分解されることを実証

岩田忠久
(東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 高分子材料科学研究室 教授)



1989年 京都大学農学部林産工学科卒業
1992年 フランス政府給費留学生・CNRS-CERMAV留学
1994年 京都大学大学院農学研究科博士課程修了、京大博士(農学)
1995年 日本学術振興会・特別研究員
1996年 理化学研究所・研究員
2006年 東京大学大学院農学生命科学研究科・助教授
2012年 同上・教授
2018年 総長補佐
2023年 副研究科長／総長特任補佐
主な受賞:2006年繊維学会賞、2010年ドイツイノベーションアワード、
2018年高分子学会賞、2020年文部科学大臣表彰
専門:高分子材料学、生分解性バイオマスプラスチック
趣味:水泳、1000円以下のおいしいワイン、スヌーカー

TADAHISA IWATA

1. 緒言

これまでポリ乳酸や微生物産生ポリエステルなどを始めとする多くの生分解性プラスチックが開発され、そのコンポスト生分解性、土壌、河川、湖、浅海域における環境生分解性の評価が行われている。しかしながら、海洋プラスチックごみが最終的に行く着く深海において、生分解性プラスチックが本当に生分解されるのか、生分解性プラスチックを分解できる微生物が深海に存在しているのかについては、これまで誰も証明したことはなかった。

今回、様々な生分解性プラスチック(ポリ乳酸を除く)が、神奈川県三崎沖(水深757m)、静岡県初島沖(水深855m)、伊豆小笠原島弧海底火山付近の明神海丘(水深1,292m)、黒潮統流域の深海平原(水深5,503m)、日本最東端の南鳥島沖(水深5,552m)のいずれの深海でも、微生物により分解されることを世界で初めて明らかにしたので、その内容について報告する¹⁾。また、微生物産生ポリエステル(PHA)のマイクロビーズを作製し、その深海分解性についても評価したので合わせて報告する²⁾。

2. 実験

本研究では、有人潜水調査船「しんかい6500」とフリーフォール型深海探査機「江戸っ子1号」を用いて、生分解性プラスチックと汎用プラスチックを深海に所定期間設置し、それらサンプルの重量や形状の変化、サンプル表面に付着した微生物の解析を行った。生分解性プラスチックとして、微生物産生ポリエステル(PHA)やポリ乳酸を始めとする生分解性脂肪族ポリエステルと多糖類エステル誘導体を検討した。また同時に、浮遊プラスチックごみが多い東京湾の海洋研究開発機構の岸壁(神奈川県横須賀市、水深約5m)にも同様のサンプルを設置し、生分解速度の比較も行った。深海に設置したサンプルを3ヶ月～14ヶ月後に引き上げ、フィルムや射出成形体の重量と厚みの変化、表面に付着した分解微生物の解析を行った。

3. フィルムとマイクロビーズの深海分解性

図1に示すように、有人潜水調査船「しんかい6500」により深海底に設置して3ヶ月後の生分解性プラスチックサンプルには、マリンスノーが堆積している様子が観察された。サンプル表面に付着した無数の微生物の作用により、サンプル表面にクレーターができるように生分解が進行することが明らかになった。重量減少およびサンプルの厚さ解析より、汎用プラスチックとポリ乳酸は全く分解されないのに対し、ポリ乳酸を除く他の生分解性ポリエステルと多糖類エステル誘導体はいずれの深海底でも分解されることがわかった¹⁾。さらに、PHAから作製した50～100μmサイズのマイクロビーズも、深海で微生物の分泌するPHA分解酵素で分解されることがも明確となった²⁾。

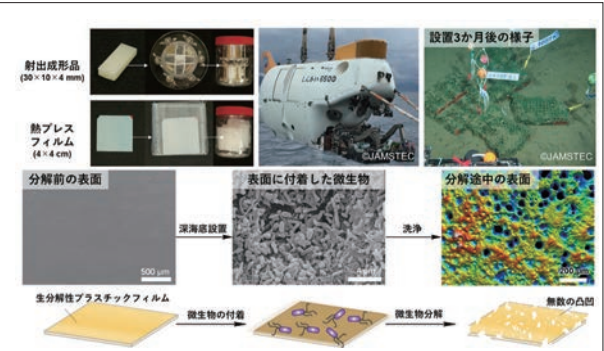


図1 深海における生分解性プラスチックの微生物分解

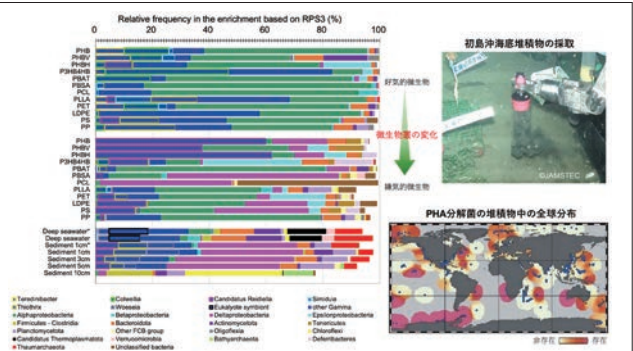


図2 プラスチック表面、深海水、海底土中の微生物の菌叢解析とPHA分解菌の解析物中の全球分布

4. 深海分解速度

深海と岸壁における生分解速度(μg/cm²/day)を比較すると、岸壁の分解速度に対して、水深1,000mの深海では5分の1から10分の1、水深5,000mの深海では約20分の1であることがわかった。この生分解速度の低下は、水深が深くなることによる水圧や水温などの環境変化に加え、微生物の存在量や多様性が減少するために引き起こされると考えられる。

今回実験に用いた生分解性プラスチックの1つである微生物産生ポリエステルでレジ袋(一般的な厚さ=15μm)を作製したとして、初島沖(水深855m)での分解速度を用いて深海における分解期間を計算すると、約3週間から2ヶ月間で分解されると予想された。

5. 深海に存在する分解微生物の解析

走査型電子顕微鏡を用いて深海に設置したプラスチック表面の様子を観察したところ、汎用プラスチックやポリ乳酸のサンプル表面にも多少の微生物は付着していたが、生分解性プラスチック表面には多数の微生物がびっしりと付着する様子が観察された(図2)。初島沖の深海底に4ヶ月設置したフィルム表面には好気的な微生物(青や緑色)のみ存在したが、14ヶ月後には嫌気的な微生物(ピンク色)が支配的になっていくことがわかった。また、14ヶ月後のフィルム表面の微生物菌叢は、サンプル直下の海底堆積物中の菌叢とほぼ同じであった。この結果から、深海設置から数ヶ月は海水中に存在する好気的な微生物が付着し、時間と共に海底堆積物中に存在する嫌気的な微生物がフィルム表面に移動することがわかった(図2)。これはサンプル表面に時間と共にマリンスノーが堆積し、好気的条件から嫌気的条件に変化したことによるものと考えられた。

サンプル表面に付着した微生物の16S rRNA遺伝子およびメタゲノム解析を行ったところ、生分解性プラスチックを分解する微生物産生ポリエステル(PHA)分解酵素、ポリエステラーゼやクチナーゼの遺伝子の塩基配列を有する新たな微生物を6種類発見した。発見した微生物は世界中の海底堆積物に存在していることがわかり、今回分解が実証された生分解性プラスチックは日本近海のみならず、世界中の海域で生分解されるものと考えられる。

参考文献

- 1) T. Omura, et al., Nature Communications,15, Article number: 568 (2024).
- 2) N. Hyodo, et al., Scientific Reports, 14, Article number: 10302 (2024).

変わりゆく北極海、海氷と海洋のダイナミズム

川口 悠介
(東京大学 大気海洋研究所 助教)



北海道大学水産学部卒業(2004年)。東京大学卓越研究員。専門分野は極域を中心とした海洋物理学。大学院時代は北大低温科学研究所に在籍し、北極海、オホーツク海、南極海における海氷と海洋の物理プロセスの研究に着手する。海洋研究開発機構(JAMSTEC)では、ポスドク、そして、研究員として、北極海の気候変動と海氷減少に関する研究に従事。2013年から2015年にかけて、日本学術振興会の海外特別研究員に選ばれ、米国ワシントン大学Polar Science Centerの客員研究員として在籍し、北極点観測プロジェクト(NPEO)に参加。これまでに、JAMSTECの「みらい」、ロシア極東気象海洋研究所の「マルタノフスキー号」、ドイツのAlfred Wegener海洋研究所の砕氷船「ポーラ・シュテルン号」など、北極圏での数多くの調査航海に参加。2011年と2023年には念願の北極点への到達を果たす。2017年より現職。

YUSUKE KAWAGUCHI



なぜ日本から遠く離れた北極海で研究をする必要があるのか？

研究費として国民の税金の一部を使ってまで、日本から地理的に遠い北極海を研究するメリットは何か？ 本当に北極海を研究する必要があるのか？ このような質問を幾度も投げかけられてきました。質問者の意図には、日本人の生活や経済に直接的な利益を生み出さない研究という批判的なニュアンスを感じたこともあります。実際、当時の私自身の研究へのモチベーションは、自分自身の知的好奇心、極域研究への憧れやロマン、そして最後に社会貢献や社会的意義、という順番だったように思います。

私が極域の研究を始めた2000年代初頭、北極海の家氷面積は急激に減少しており、地球温暖化の象徴として大きな注目を集めていました。この時期、日本は国際社会の中でも北極海の研究をリードしていました。これは、日本の経済力や科学技術力が当時、国際社会において高いプレゼンスを示しており、先進諸国のリーダーの一つとして、他国からも極域研究の成果が大いに期待されていたからだと思います。2010年代、2020年代においても北極海の家氷は依然として低水準にありますが、その間、国際的な経済格差や国々の勢いが大きく変化しました。一方で、この期間に日本は津波、台風、豪雨、豪雪といった多くの自然災害を経験し、国民一人ひとりが自然災害の恐ろしさを肌で感じる機会が増えたように思います。この経験から、自然への畏怖心が強まり、自然科学研究の重要性を今まで以上に理解し、応援する声も増えたと感じています。SDGsという言葉の浸透も、こうした時代背景が関係しているのではないのでしょうか。

地球規模の環境問題と日本の果たす役割

2010年代以降、中国や韓国は北極圏での研究活動に本格的に取り組み始めました。北極海の家氷域を研究するために新たな砕氷船を建造し、アメリカや欧州から最先端の研究者を招くことで、国際的な研究プラットフォームとしての地位を確立しつつ、自国の研究成果を急速に増加させています。一方で、北極海に向かう砕氷船を持たない日本は、海洋研究開発機構の「みらい」や北海道大学の「おしよろ丸」を用いて、北極海の入りにあたる季節海氷域(夏に海氷が消失する海域)を中心に研究を進めてきました。これらの海域では、以前よりも海氷の消失が顕著であり、その原因や影響を調査することには一定の意義があります。しかしながら、北極海全体を俯瞰した際、分厚い多年氷(夏を越えて残る海氷で、厚さが10mを超えることも)が存在する高緯度海域(北極点付近)に関する知見の獲得には限界がありました。

新たに就航される北極砕氷船と今後の北極研究

多年氷域の研究には、他国の砕氷船やアイスキャンプに個人ベースで参加する以外に方法がなく、日本が北極研究でリードするのは困難でした。しかし、こうした状況を受け、日本政府は北極海の多年氷を研究対象とした新しい砕氷船の建造を決定しました(2026年度竣工予定)。日本が砕氷船という強力な研究設備を手に入れることで、今後どのように北極研究で存在感を発揮するのか、大いに期待されます。次世代の優秀な研究者や技術者を北極海の研究分野に惹きつけるためにも、なぜ北極海の研究が必要なのかという問いに対する明確な答えを、現役世代の我々が示していく必要があると感じています。

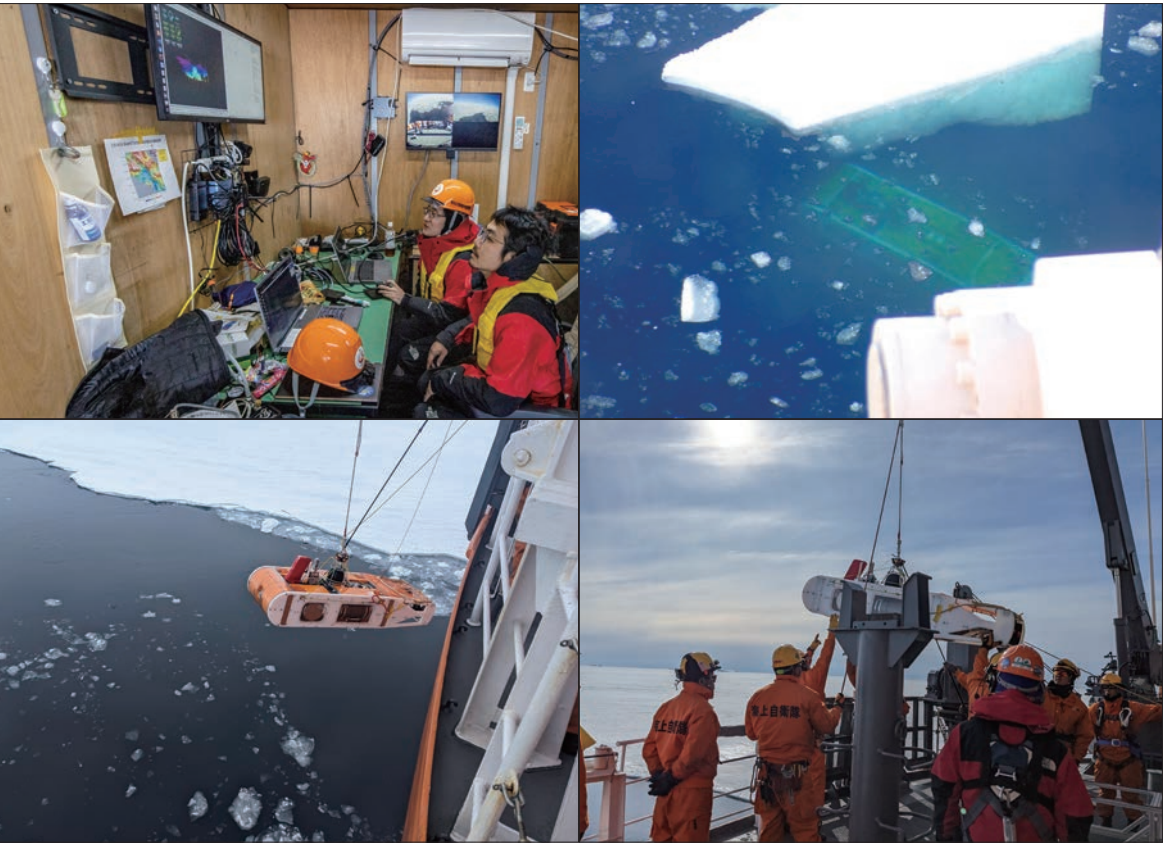
作ったロボットとともに南極海へ挑む

山縣 広和
(東京大学 生産技術研究所 特任研究員)



慶應義塾大学工学部機械工学科卒。2018年、慶應義塾大学 理工学研究科 総合デザイン工学専攻修了。博士(工学)。現在は東京大学 生産技術研究所 特任研究員。南極観測用の自律型水中ロボット(Autonomous Underwater Vehicle :AUV)MONACAの設計、開発、運用を担当している。また、教育用遠隔操作型水中ロボット(Remotely Operated Vehicle:ROV)の考案など水中ロボット教育を通じて水中ロボット技術の向上や STEAM 教育を実施し、後進の教育を積極的に実施している。2022年度に第64次南極地域観測隊の夏隊に重点観測部門のAUV運用担当者として砕氷船「しらせ」に乗船、日本よりオーストラリアを経由して南極域に入る。2024年度には第66次南極地域観測隊隊員となり、AUV運用担当者として12月より2度目の南極に挑む。

HIROKAZU YAMAGATA



南極におけるAUV観測の意義

南極氷床は世界に存在する氷の実に9割を占め、面積としては実に日本列島の36倍という広大さを持つ。そんな巨大な氷が海と接していれば、それは熱循環の起点として機能する。具体的には南極で冷やされた海水は深層海流として地球を循環することで熱循環を促すことがわかっている。よって、気候変動を探るためには南極氷床の熱の流入出を見極めていく必要がある。流入は氷床を形成する雪であり、これは人工衛星を用いてほぼ正確に知ることができている。しかし、流出量は想定が難しい。なぜならば、融解は海中で起きており、厚さが数百mある氷の裏側で電波の届かない海中を長距離移動して探査する必要に迫られるためだ。

そこで、人的リスクを軽減するために水中ロボットの活用が検討された。しかし、ROVでは操縦のためにテザーケーブルを引きずることになり、氷の天井の下を水平距離で数キロ走る用途に使うことは難しい。よって、より自由に海を航行できるAUVの活用が広く提案され、現在南極海においては10例程度のAUV運用実績がある。

南極におけるAUV観測の意義

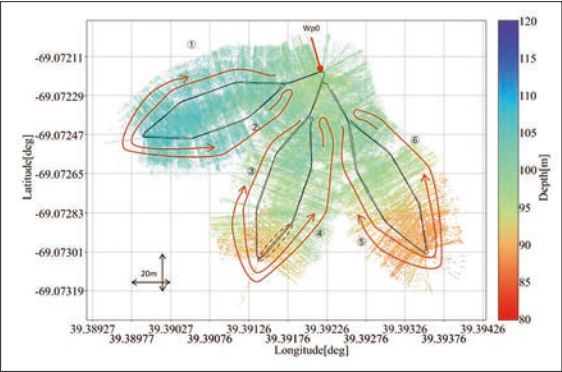
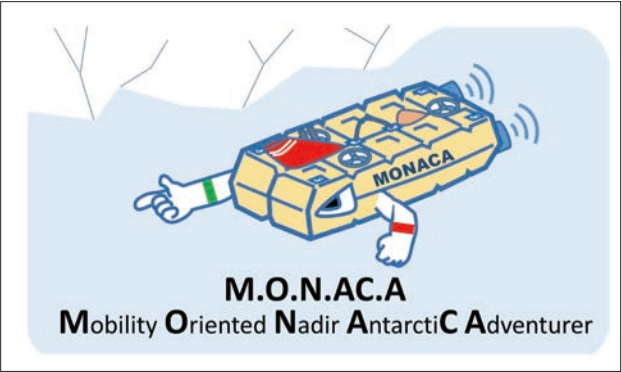
開発を開始した段階で、我が国では海水下でAUVを運用した事例はあったが、南極でAUVを投入した前例がなかったため、海外文献等からの調査となった。機器類等や基本的なスペック、表層的な運用は文献から得ることができたものの、仕様決定において本質的なロジックの部分はノウハウであり入手が困難であった。また、南極観測の場合、必然的に運用される船が固定となるため、その船舶の特性や南極での運用状況は仕様に入れ込んでいく必要がある。しかし、最初期にはこれらの情報は適切なものを得ることが難しく仕様が全く固まらない。

仕方無しに、明確な環境上の仕様以外はあとからの調整余裕を広く取った、妥協したコンセプトを採ることにした。そして妥協によるコンセプトを一切妥協せずに作り上げたAUVがMONACAである。MONACAは全長2.1m、重量は235kgで4つのヒープ(垂直)スラスターと2つのサージ(水平)スラスターで3次元の姿勢制御および横以外への移動を行うことができる。中央に搭載されたセンサモジュールは向きを切り替えることで海底と海水のどちらか一方を探査することができる。結果的にはこの設計コンセプトは今の探索的な運用にフィットし、64次観測隊や今年の66次観測隊での実運用につながった。

海では先端の技術を扱い、陸では辺境開拓村の技術者として

MONACAは2019年の進水以来、沼津、下田での航行試験や紋別での低温評価試験を経て、2022年度に第64次南極地域観測隊でのAUV運用を目指し南極海にラングホブデ沖に投入された。20回ダイブを実施し、海水約50万m²、海底約46万m² (重複を含む)面積のデータを取得したものの、最終的にテザーケーブルを切ることはできなかった。テザーを切らなかった理由としては、大きく分けて、機器トラブルと環境要因が挙げられる。機器トラブルは砕氷の振動によるハンダのクラックである。環境要因としては海水やしらせとの連携によるところが多い。海水に投入と帰還に必要な開放水面を確保し続けることは当時の環境では難しかった。66次ではこれらの失敗を生かした改善と連携を進めて挑むことを考えている。

余談になるが、南極は一般的な地域と異なり、インフラが停止した場合、外部からのフォローが得られない。そのような辺境において技術者の重要度は高い。私自身も毎日いくつかインフラ関連の作業を受け持った。研究は人の営みの一部とはいえ、これほど研究と生活が混ざりあった環境は他にはないだろう。そういった点では自らの技術や工学の価値観を見直す大変良い機会だったと考えている。



海を越えた最初の日本列島人

ー実験航海で探った3万年前の挑戦ー

海部 陽介

(東京大学 総合研究博物館 教授)



人類進化学者。理学博士。東京大学卒業。東京大学大学院理学系研究科博士課程在籍後、1995年より国立科学博物館人類研究部にて研究活動を行い、2020年より現職。化石などから約200万年におよぶアジアの人類史を研究している。クラウドファンディングを成功させ、最初の日本列島人の大航海を再現する「3万年前の航海 徹底再現プロジェクト」(国立科学博物館：2016－2019)を実行。2019年に、丸木舟で台湾から与那国島へ渡る実験航海を成功させた。著書に『人間らしさとは何か』(河出書房新社)、『サピエンス日本上陸』(講談社)、『日本人はどこから来たのか?』(文藝春秋：古代歴史文化賞)、『人類がたどってきた道』(NHK出版)など。日本学術振興会賞(2012)、モンペルチャレンジアワード(2016)、山縣勝見賞(2019)、日本航海学会航海功績賞(2020)、海洋立国推進功労者表彰(2021)、日本人類学会賞(2023)などを受賞。

YOSUKE KAIFU



上)台湾の山からみた与那国島方面の海。下)台湾を出航した丸木舟

人類最初の本格的海洋進出

霊長類の一グループである人類が、はじめて海を越えて島へ渡ったのは、100万年前頃にさかのぼる。それは東南アジアの原人たちによるものだったが、狭い海峡を越えて(手段は不明)インドネシアのフローレス島などに渡った彼ら彼女らは、身体と脳の縮小という奇妙な進化を遂げた後、5万年前頃に姿を消してしまった。この水準を大きく超えて、次々と渡海を繰り返し、地球上のほとんどの島を居住域に組み入れてしまったのは、航海技術を発達させた私たち、ホモ・サピエンスだった。私が“本格的”海洋進出と呼ぶこの一連の出来事がはじまったのは、約5万～1.5万年前の後期旧石器時代と呼ばれる時期のことである。

渡海の難易度

アフリカから世界へ広がったホモ・サピエンスは、5万年前頃から、オーストラリアやニューギニア、フィリピンなど、海の向こうにある島や陸塊へ到達するようになった。3万8000年前以降にはじまる日本列島への渡来は、こうした西太平洋海域における人類最古段階の本格的海洋進出の一局面であったが、それは難易度という側面で興味深い。特に琉球列島の海域には、秒速1～2メートルで流れる世界最大規模の海流「黒潮」が流れ込み、隣の島が見えないほど広い海峡がある。とりわけ渡るのが困難なのは、黒潮本流が流れ込む種子島と奄美大島間のトカラ列島の海、当時も230キロメートル以上の距離があって目標の島を目視できなかった(地球が丸いため)沖縄島－宮古島間の海峡、黒潮本流が流れかつ目標の島が見えない台湾から与那国島への海峡の3つであろう。これらの海峡の全てを渡らずとも琉球列島の遺跡分布を説明できるが、少なくとも2つは越える必要があり、実際に3つを越えた可能性も十分にある。

航海の実態を探るプロジェクト

旧石器人は、当時の技術でどのように琉球の海を越えたのか？ それはどれだけ困難な挑戦で、彼ら彼女らは、なぜそのような挑戦を決意したのか？ 研究室の中でいくら作業しても、これらの謎には迫れない。そこで私は前職の国立科学博物館において「3万年前の航海 徹底再現プロジェクト」(2016－2019)を企画・実行することにした。それは学術的根拠をもとに当時の舟を推定して復元し、自分たちで実際に航海を行い、祖先たちの海への挑戦を再現して理解しようとするものである。2013年からの準備を経て2016年より正式に開始し、数々の実験を行った本プロジェクトは、2019年7月の丸木舟による台湾→与那国島への航海成功により完結したので、ここではその成果について紹介したい。

参考

[書籍] 『サピエンス日本上陸 3万年前の大航海』 海部陽介著 講談社 2020

[記録映画] 『スギメ』 (Amazonプライム・ビデオ、U-NEXT等で配信中)

[論文] Kaifu, Y., 2022. A synthetic model of Palaeolithic seafaring in the Ryukyu Islands, southwestern Japan. World Archaeology 54, 187–206. (無料ダウンロード可)

[ウェブサイト] <https://www.kahaku.go.jp/research/activities/special/koukai/>

世界史を拓くヴァイキングの船舶

小澤 実
(立教大学 文学部 教授)



1973年愛媛県生。1992年東京大学文科3類入学。1994年同文学部、97年同大学院人文社会系研究科修士課程、2000年同大学院博士課程に進学。2000年日本学術振興会特別研究員(DC1)、2007年名古屋大学グローバルCOE研究員を経て、2011年立教大学文学部准教授。2018年同教授。その間、コペンハーゲン大学とオックスフォード大学で客員研究員を務める。専門は西洋中世史・北欧史・史学史。編著として、M. Ozawa, T. M. Smith, and G. Strack (eds.), *Communicating Papal Authority in the Middle Ages* (Routledge, 2023); 谷口幸男(小澤実編)『ルーン文字研究序説』(八坂書房、2022); 小澤実・佐藤雄基編『史学科の比較史』(勉誠出版、2022); 小澤実編『近代日本の偽史言説』(勉誠出版、2017); 小澤実・長縄宣博編『北西ユーラシアの歴史空間』(北海道大学出版会、2016)他。

MINORU OZAWA



ヴァイキングの世界

ヴァイキングと聞いて何を思い浮かべるだろうか。ツノのついた兜をかぶり、ドラゴンの舐先のついた船に乗り、斧と盾を身につけて都市や教会を略奪する海賊、という姿が一般的であろうか。しかし、実際のヴァイキングは、兜にツノもついていないし、舐先に彫られているのがドラゴンであるかどうかかわからないし、略奪ばかりをしているわけでもない。

ヴァイキングとは、今から1000年以上前の8世紀半ばから11世紀の半ばにかけて北ヨーロッパを中心に活動した、北欧出自の集団を指す。彼らは、故郷北欧を離れて、ヨーロッパ大陸のみならず、北アメリカから中央アジアに至る空間に拡大し、略奪・交易・植民といった活動を行うと同時に、北欧本国においては、現在のデンマーク・ノルウェー・スウェーデンの基礎となるヴァイキング国家を打ち立てた。ロシアやウクライナ、アイルランドやスコットランド、さらにアイスランドなどは、ヴァイキングの拡大の結果成立したと言っても過言ではない。北欧の歴史学や考古学では、この300年を特別に「ヴァイキング時代」と呼ぶことすらある。

辺境の蛮族、と言われがちなヴァイキングは、中世において、「世界」を制し大きな変更を迫った存在でもある。

海域世界と船舶

ヴァイキングが「世界」を制した理由の一つは、彼らの航海技術と造船技術が卓越していたからである。ヴァイキングの出身地である北欧は、北海、バルト海そして北極海に囲まれた地域である。高地から流れ出る大小の河川が毛細血管のように大地を覆い、平野部には湖沼、山岳地にはフィヨルドが広がる。北欧周辺のみならず、北大西洋から北海、バルト海、黒海そして地中海にかけて、ヴァイキングの活動圏域には無数の島嶼が広がる。こうした自然条件の中、ヴァイキングたちは常に船舶で移動する。豊富な木材資源と鉱山資源を用い大量生産の対象である船舶は、彼らの財産であるとともに、戦闘、交易、冒険を支えたインフラストラクチャーでもあった。

ヴァイキングの観点に立てば、自ずと歴史を見る目も変わる。陸上生活を基盤としたイングランド、フランス、ドイツなど西欧諸国の歴史を見た場合、ヨーロッパ半島の陸地部分が歴史の舞台となる。しかしヨーロッパ半島は、北海、大西洋、地中海といった海域に囲まれている。そうした海域を船舶で自由に移動した、「辺境」出身のヴァイキングへの注目は、ヨーロッパをアメリカ、アフリカ、アジアへと結びつける、海域から見た歴史にも繋がってくるだろう。

自然科学との協働

こうしたヴァイキング船の研究は急ピッチで進んでいる。デンマークのロスキレにあるヴァイキング船博物館では、1000年前のヴァイキング船を再現し、様々な実験が行われている。ヴァイキング船の木材の分析は、こうした船舶がヴァイキングの拡大した各地で造船されていたことを証言する。ヴァイキングの墓地(しばしば船が用いられている)で採集されたDNAの分析は、彼らがさまざまな地域出身であったことや女性の指導者がいたことを明らかにしている。船舶による拡大先であるグリーンランドの氷床コアを用いた調査は、数千年にわたる気候変動を再現する手がかりとなっている。報告者は歴史家としてラテン語、古英語、アイスランド語などを用いた文献調査を行うが、もはや、考古学にとどまらず、NatureやCellに掲載される論文を参照にしなければ、「世界」を制したヴァイキングの姿は再現できない段階に入っている。

そういった意味では、世界史もまた文理協働の時代に入っている。

ポルトガル海上帝国とカフル人

―「弥助問題」を端緒に―

岡 美穂子

(東京大学 史料編纂所 准教授)



1974年兵庫県生まれ。京都大学大学院人間環境学研究科博士課程修了。2003年より東京大学史料編纂所助手。ポルトガル、スペイン、イタリアなどに長期留学と在外研修。専門は、大航海時代のヨーロッパ人の日本到着とそれに続く社会文化変容の研究。16、17世紀の日本に関するイエズス会史料とポルトガルの海外行政文書を分析してきた。現在は地方自治体の歴史関連事業への協力を通じて、豊かな歴史文化財やその研究を市民や子どもの歴史理解に生かすプランニング事業に参加。グローバルなビジョンからの日本史研究にも関心があり、フランスのC N R S、イタリアのミラノ大学、U S A のミシガン大学等での共同研究に参加。単著に*The Namban Trade: Merchants and Missionaries in 16th and 17th Century Japan*, Brill (2021)、編著に*War and Trade in Maritime East Asia*, Palgrave Macmillan(2022)等。歴史教育補助教本として『つなぐ世界史』(清水書院)第1巻、第2巻の監修(2023)、子ども向けに『日本の歴史 別巻 まんが人物事典』(角川書店、2024)の監修等を手がける。

MIHOKO OKA



ポルトガル海上帝国

大航海時代、ヨーロッパの最西端の国ポルトガルが大西洋に乗り出し、その後のグローバル経済の先駆けとなるネットワークを築いたのは周知のことである。しかしながら彼らを迎え入れた諸地域の歴史を多少紐解きながら、大航海時代を振り返ってみると、《支配者》となり得たのは、南北アメリカのように、元々土地に対する人口がまばらで、しかも原住民が新たに持ち込まれた病原菌等によって壊滅に近い状態に陥った地域に限られる現象であると思われる。ポルトガル人のアジア進出は、イスラーム勢力への対抗意識から、覇権を確立する意図がなかったわけではな

ポルトガル人の奴隷貿易

その後約500年の世界の歴史を考えるにあたって、この時代の大きな特徴として挙げられるのは、ポルトガル人がアフリカやアジアなどで入手した奴隷を世界各地に移動させたことである。ただし、アメリカ新大陸の開発需要などから大規模に奴隷が取引されるようになるのは17世紀以降のことで、16世紀中の奴隷取引の用途は主に船員、傭兵、家事奴隷、農業といった一般的な労働であった。人種や年齢によって主な使途がおおよそ決まっており、子どもは性別問わず家事奴隷や子守に、男性は成人に近くなると兵士や船員の仕事に従事し、女性

カフル人とは？

インド洋を主な舞台として展開したポルトガル人にとって、イスラーム勢力との戦闘や船上のあらゆる労働に適性のある東アフリカ人の奴隷は大きな需要があった。彼らはムスリムからは「異教徒」を意味する「カフィール」の土地として意識された「カフラリア」出身者として「カフル人」と呼ばれたが、キリスト教徒であるポルトガル人たちが「カフル人」と呼ぶ場合は、単に「カフラリア出身者」の意味で、「異教徒」という差別感情は含まれない。カフル人は屈強で知られ、戦闘能力を求めるポルトガル人には重宝された。日本で最も知られている「カフル人」は、1573年に天下統一を果たした織田信長の家臣となった「弥助」であろう。一般の人が思うほどには同時代史料が多くはない歴史上の著名人と引けを取らぬほどに、日欧の史料に登場するこの人物を取り上げることで、グローバルな視点から見た日本史の面白さを提案したい。

オランダ東インド会社とモンスーン・アジア ：シナ海とインド洋を結んだアジア域内貿易

島田 竜登

(東京大学 大学院人文社会系研究科 准教授)



早稲田大学政治経済学部経済学科卒。オランダ・ライデン大学PhD。2012年より現職。東南アジア史、南アジア史を担当する。専門は海域アジア史、アジア経済史、グローバル・ヒストリー。16世紀以降の海域アジアの貿易史や異文化間交流史などの研究に従事してきた。また、これらをベースにグローバル・ヒストリー研究や歴史学の方法などにも関心がある。主要著作として、The Intra-Asian Trade in Japanese Copper by the Dutch East India Company during the Eighteenth Century, Leiden and Boston: Brill, 2005、『グローバル経済史』放送大学教育振興会、2018年(共著)、『1683年 近世世界の変容』山川出版社、2018年(編著)、『構造化される世界 14～19世紀』岩波講座世界歴史第11巻、岩波書店、2022年(共編著)、Connecting the Indian Ocean World: Across Sea and Land, London and New York: Routledge, 2023(共編著)などがある。

RYUTO SHIMADA



オランダ東インド会社の設立

1602年、オランダ東インド会社が設立された。オランダ国内で唯一、アフリカ大陸南端の喜望峰を経由したアジアとの貿易を許された会社であった。1590年代からオランダ各地に設立されていたアジア貿易の諸会社を統合し、過当競争を排除するため一社に統合されたのであった。1600年に設立されていたイギリスの東インド会社と比べ、資本金は10倍をはるかにしのぎ、先行するポルトガルのアジア貿易に挑戦をしかけたのである。

オランダ東インド会社はしばしば史上初の株式会社と呼ばれる。当時、オランダのアムステルダムは西ヨーロッパ経済の中心であり、国内から集めた多額の資本金を元手にアジア貿易に乗り出した。会社の運営方針として効率性を重視し、制度面でも有限責任制や株式の売買の自由などが導入された。利益を追求することを最大の課題としていたのであった。

自然環境を熟知し効率的なビジネスを構築

効率的な企業運営を心掛け、利益を追求するためには、自然科学的な知識を探索し、それをビジネスに応用することを忘れなかった。例えば、17世紀初めのブラウエル・ルートの発見を挙げることが出来よう。喜望峰を出たのち、そのまま東に船を向かわせ、オーストラリアの直前に至る。南緯40度に西寄りの卓越風を利用する航路を発見したのである。さらにオーストラリアの直前で進路を北に定めると、現在のインドネシアのジャワ島に到達する。このルートを開発することで、マルク諸島(モルッカ諸島、香料諸島とも呼ばれる)の高級香辛料を産出する地域へ、いち早く到達することができた。16世紀にはポルトガルがアジアの海に渡って来てはいたが、彼らは喜望峰を経てアフリカ大陸の東海岸に沿って北上し、アラビア海に到達することにしていた。香辛料への産地へは未だ遠い場所にあるとともに、アラビア海でムスリムの諸勢力との争いが連続して発生していた。

新航路のことばかりではない。オランダ東インド会社は海域アジア各地の農産物などを商っていたので、その農産物など植物一般に関して自然科学的な知識を蓄えることにもエネルギーを費やした。自然科学的な知識の集積は効率的な生産やその産物の効率的な入手を可能にする。ときに商業用栽培植物の移植ということも可能にした。18世紀にジャワ島やセイロン島でコーヒー栽培を始めたのはその好例である。

アジア域内貿易の実現

オランダ東インド会社の一大特色はヨーロッパ・アジア間貿易とアジア域内貿易を有機的に結合させたことである。ヨーロッパの本国とアジアを結ぶ貿易は、オランダに限らずイギリスやフランスの東インド会社も行っていた。そもそも東インド会社設立時の本来の目的にかなう貿易であった。本国から銀を持ち出し、それをもとに、胡椒をはじめとした香辛料などをアジアで購入し、本国に持ち帰るのであった。

さらに、オランダ東インド会社はアジア域内貿易にも乗り出していた。イギリスやフランスの東インド会社は資金不足や軍事力不足で、こちらの方には手を出せなかったことと対照的であった。実際、オランダ東インド会社は、東アジアから東南アジア、南アジアをへて西アジアにまで、各地に商館を設置し、このアジア内の商館を縦横に結んで域内貿易にも参入していた。オランダから持ち出した銀はいったんこのアジア域内貿易に投下され、その利益は最終的にオランダ本国が必要としているアジア商品の購入費用に充てられた。結局のところ、オランダ本国からの銀の持ち出しに成功したのであった。

もちろん海域アジア内をくまなく航行する知識と技術が必要であった。とくに季節風を知り尽くすことで、それが技術的に可能となり、最終的にはシナ海とインド洋を結ぶ定期船の運行を可能にしていたのである。