



Blue  
Planet  
Prize  
2023

2023年(第32回)ブループラネット賞  
受賞者 取材抄録

---

リチャード・トンプソン教授  
タマラ・ギャロウェイ教授  
ペネロープ・リンデキュー教授



### リチャード・トンプソン教授/ 中

1963年7月15日英国生まれ

プリマス大学教授、プリマス大学海洋研究所所長

### タマラ・ギャロウェイ教授/ 右

1963年2月6日英国生まれ

エクセター大学教授、エクセター大学生態毒性学研究グループ

### ペネロープ・リンデキュー教授/ 左

1971年9月7日英国生まれ

プリマス海洋研究所、海洋生態学・生物多様性 科学部門長

## —3教授によるマイクロプラスチックに関する研究と成果—

プラスチックごみは、海洋生物や社会に大きなリスクをもたらし、広範囲にわたって存在する分解しにくい汚染物質です。しかし、1998年にリチャード・トンプソン教授が海洋プラスチックの研究を開始するまで、直径5ミリメートル以下の小さなプラスチック片、現在ではマイクロプラスチックとして一般的に知られているものの、その存在、環境への影響についてはほとんど何もわかっていませんでした。2004年、トンプソン教授が Science 誌に発表した論文は、海洋における「マイクロプラスチック」を初めて記述したものであり、2020年だけでも世界中で2,000を超える研究論文が発表される新しい学術分野を確立しました。それ以来、トンプソン教授、タマラ・ギャロウェイ教授、ペネロープ・リンデキュー教授、そして彼らの仲間の研究者たちは、この分野の研究を進めるために共に協力して取り組んできました。

研究チームはマイクロプラスチックの海洋分布と長期蓄積の状況を明らかにしました。トンプソン教授と共同研究者による2004年の論文「Lost at Sea: Where Is All the Plastic? (海洋で行方不明：プラスチックはどこへ行った?)」は、直径わずか20マイクロメートルの合成ポリマーの小さな破片が北西大西洋の堆積物と水柱（水の表面から底までの垂直方向の範囲）に広く存在することを示しました。40年間にわたるプランクトンの保存サンプルのデータを用いて、これらのプラスチック粒子の量が時間の経過とともに増加していることを明らかにし、ポリマーの種類を特定し、さまざまな海洋無脊椎動物がこれらの粒子を体内に取り込めることを確認しました。これらの粒子は「マイクロプラスチック」と呼ばれ、

この言葉は今では科学的な議論だけでなく一般にも広く使用されています。トンプソン教授、ギャロウェイ教授、リンデキュー教授はその後、マイクロプラスチック汚染の海洋における広がりを明らかにし、世界中の海岸線、深海や北極の海氷など遠隔地でも、どこにでも存在することを実証しました。リンデキュー教授とギャロウェイ教授は、物理的なプロセスだけではマイクロプラスチックの環境中での分布を説明できないという証拠を提示し、海洋生物によりマイクロプラスチックがどのように再拡散され、食物網を通じて最終的に人間に到達するまでの経路を示しました。リンデキュー教授とギャロウェイ教授は最近、これらの生態学的な輸送経路の1つである、底生生物（海底にすむ生物）によるマイクロプラスチックの堆積物への取り込みを確認しました。

現代の科学の進展は協奏的な取り組みによるものであり、マイクロプラスチックの研究にも多くの研究者が貢献しています。しかし、今回の受賞者は、これまで独創的で影響力のある重要な貢献をしてきました。実験によりマイクロプラスチックが海洋食物網の底辺にいる動物プランクトンによって取り込まれ、実際の環境と同程度の濃度でも、海洋生物の摂餌、成長、繁殖を阻害し、自然環境において餌から捕食者に食物連鎖を通して上がっていくという、世界初の証拠を示したこともその一つです。その後、彼らはザル貝やゴカイなどの底生生物から、商業的に重要な魚やムール貝、クジラ、カメ、アザラシなどの大型で人気のある海洋生物に至るまで、幅広い海洋生物によるマイクロプラスチックの摂取を調査してきました。マイクロプラスチックに関する知見を深める上で、これ以上の貢献をした研究グループはないでしょう。その影響力の大きさは、今回の受賞者たちが関わった膨大な論文発表数からも明らかであり、その多くは今では引用文献の定番となっています。

英国の三名の科学者グループは、汚染物質であるマイクロプラスチックが海洋生物に与える影響を調査し、その中でも海洋無脊椎動物がマイクロプラスチックの摂取後に受ける有害な影響に焦点を当て、次のようなことを見出しました。

- ・動物プランクトンやその他の海洋無脊椎動物が餌と間違えてマイクロプラスチックを飲み込むと、満腹感のため本物の餌の摂取量が減ります。これにより栄養不足になり、繁殖率が低下し、孵化しない卵の割合が増え、最終的に生存能力が低下してしまいます。
- ・マイクロプラスチックに添加された特定の化学物質は、脱皮を妨げ、動物プランクトンの成長を阻害します。
- ・様々な添加物を含むプラスチックは、海洋無脊椎動物の免疫系とホルモン系を攪乱する可能性があり、繁殖能力と発育に影響を与えます。
- ・動物プランクトンは食物網の底辺の存在なので、栄養不足や健康被害などの影響でその個体数が減少すると、動物プランクトンを餌とする生き物たちの利用可能な食料が減ってしまいます。
- ・動物プランクトンは水中で有機物を含む糞粒を排出しますが、最終的にそれらは海底に沈降します。この深海への炭素の移動は生物ポンプと呼ばれ、地球温暖化の緩和に重要な役割を果たしています。しかし、マイクロプラスチックの密度は小さいので、摂取すると、

マイクロプラスチックを含んだ糞粒の浮力は大きくなり沈降が妨げられ、深海への炭素の移送量が減ることで地球温暖化が加速する可能性があります。

マイクロプラスチックが存在することで、相互に密接に関連する複数の経路を通じて、さらに食物網が攪乱します。

- ・動物プランクトンが誤ってマイクロプラスチックを摂取し、それを小さな魚が食べます。
- ・これらの小さな魚は、海水からも直接マイクロプラスチックを摂取して、さらにプラスチックによる汚染に晒されます。
- ・これらの魚を捕食する大きな魚や海洋哺乳類は、直接および間接的なさまざまな経路から濃縮されたプラスチックを摂取し、健康上の問題や、生態系の混乱につながる可能性があります。

このプラスチックの連鎖が示すように、汚染は海洋生態系のあらゆるレベルに広がっています。このプラスチックの連鎖は海洋生物の健康に深刻な脅威をもたらし、生態系の繊細なバランスを乱します。また、プラスチック汚染は海洋生物にとどまらず、野生生物や人間の体内組織にも影響を及ぼします。しかし、現在はまだ、汚染の程度、摂取場所、そして結果として生じる悪影響を研究しているところです。生態毒性学の専門家であるギャロウェイ教授は次のように語っています。「毒性学では、どんな物質も潜在的に有害であり、完全に無害なものは存在しないという原則があります。毒性はその物質の摂取量によって決まり、一般的に摂取量が多ければ多いほど、毒性も強く現れます。マイクロプラスチックに関しては、まだ有害な影響が出始めるしきい値を解明している最中です。」



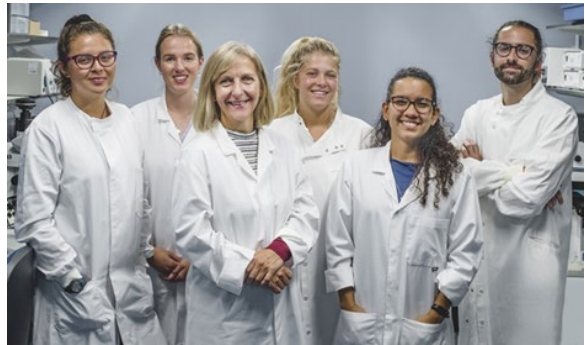
マイクロプラスチックを摂取する動物プランクトン

マイクロプラスチックが海洋生物に与える影響について深く研究を進めている三人は、同時に解決策も模索しています。その一つは、ムール貝などの二枚貝が持つマイクロプラスチック除去能力を活用するというものです。リンデキュー教授のチームは現在、これらの自然ろ過方法の試験をしています。

二枚貝、例えばムール貝などは、餌を得るために海水を濾過します。彼らは非常に旺盛な食欲を持ち、1日に最大15万リットルもの大量の水を濾過できます。さらに、貝類は他の脆弱な生物に比べて、プラスチック汚染に対する耐性が非常に優れています。リンデキュー教授らのチームは、沿岸の状況を再現した特殊な水槽を作り、ムール貝を中に入れ、自然環



境で流水からマイクロプラスチックを除去する能力を評価しました。その結果、1 キログラムのムール貝は 1 時間に 25 万個のマイクロプラスチックを濾過できることがわかりました。マイクロプラスチックの大部分はムール貝に摂取されて排出されるため、研究チームは自然環境の中に特注のかご型の容器にムール貝を詰めてフィールド試験も行いました。容器の底には漏斗のような装置を設置し、マイクロプラスチックが含まれるムール貝の排泄物を収集しました。リンデキュー教授は、このやり方は世界中のどんな二枚貝でも実施可能であると言っています。



ギャロウェイ教授はさまざまな企業と共同で、使用後に水と二酸化炭素に分解される生分解性プラスチック代替品の開発を目指し、有機廃棄物の活用方法を検討しています。現在検討している方法の一つは、バナナの皮に含まれる有機物からポリマーを抽出するというものです。ギャロウェイ教授らのチームは、プラスチックの利便性を持つ一方で、使用後は環境に害を及ぼすことなく容易に分解できる試作品の設計に取り組んでいます。また、プラスチック廃棄物が重大な環境問題となっているガラパゴス諸島で、リンデキュー教授との共同研究も継続中です。研究チームは、廃棄物を出発物質とした新しいプラスチック材料を開発し、環境中で自然に生分解するように設計することで、プラスチックごみに対処することを目的としています。



トンプソン教授とリンデキュー教授が共同で取り組んでいるプロジェクトの一つに、バイオプラスチックリスクプロジェクトがあります。バイオプラスチックは、植物由来の材料の炭素源から作られ、再生可能なプラスチックです。生分解性のバイオプラスチックは、従来のプラスチックの代替品として急速に普及しており、かなりの量が海洋環境に入り込んでいます。しかし、残念ながら、この分野の研究はまだ不十分です。生物由来の原料で作られていても、できたものの分解性は環境条件に大きく左右されます。トンプソン教授とリンデキュー教授が率いる研究チームは、陸地、海洋、堆積物中などさまざまな自然環境に、種々の生分解性素材を置き、いろいろな生態系での生分解プロセスを研究しています。これらの生分解性物質がそれぞれの環境とどのように相互作用し、移動するのか、生態系機能や生物地球化学的な循環でどのように処理されるのか、堆積物中に定着するのか、また潜在的な悪影響はないのかを調べています。このような研究で、環境への影響が非常に小さい新規代替

品開発のために必要なしっかりしたエビデンスを提供することを目指しています。

こうした共同研究を通じて、3人の教授は既存のプラスチック問題に取り組むだけでなく、マイクロプラスチックの周辺の新たな懸念事項にも積極的に取り組んでいます。

プラスチックに対する懸念は、マイクロプラスチックだけにとどまりません。10年以上前に、化粧品に含まれるプラスチックを調査した論文で、たった1つの化粧品容器に300万個ものプラスチック粒子が入っていることが明らかになりました。この事実は英国議会に提出され、このような化粧品の製造を禁止する法律が制定されました。しかし、さらなる懸念が生じています。その一例がマイクロファイバーです。マイクロファイバーは、合成繊維でできた衣類や布地から発生するプラスチック繊維です。これらの細くて長いプラスチック繊維は、布地の廃棄物、製造工程、衣類の洗濯から発生します。毎年何億着もの衣類が生産され、その3分の1が未使用のまま廃棄されており、このようなプラスチック繊維が環境に絶えずに放出され続けていることは、新たな大きな問題となっています。

イモージェン・ナッパー博士は、トンプソン教授との共同研究で、繊維が環境に放出される量を減らすための広範な研究を行いました。その結果、衣類の素材や製造工程を変更することで、繊維の放出量を最大80%削減できる可能性が明らかになりました。この発見は、マイクロプラスチックの環境放出を抑制するために、素材選びがいかに重要であることを示しています。しかし、問題はそれだけではありません。マイクロプラスチック汚染のもう一つの大きな発生源がすぐ足元にもありました。タイヤです。車を運転するたびに、タイヤは摩耗し、何千もの粒子を路面に放出しているのです。

これらの微小粒子は環境に放出され、土壌、空気、水路に広がっていきます。大雨によって排水溝に流れ込み、最終的には川や海へと行き着きます。タイヤ由来の粒子の問題は、他の種類のプラスチックよりもタイヤ由来の粒子の毒性が高いことにあります。さらに、極めて小さく、黒色であるため、検出も非常に困難です。タイヤは必要不可欠であり、電気自動車の時代になっても必須であることを考慮すると、今日の社会でタイヤの使用をなくすことは現実的ではありません。現在、教授たちはタイヤ粒子の移動や蓄積のパターンを研究し、含まれる可能性のある毒性の高い化学物質を特定しようとしています。計画と設計の段階で安全性に配慮するためのエビデンスを提供し、最終的にはより安全なタイヤの製造を推進するための研究です。

マイクロプラスチック問題の先駆者であり、世界的権威であるトンプソン教授は、貴重な情報を得るために多くの科学者と協力しています。深海を探索している研究者たちは、数千メートルの深さで見つかったプラスチックについて彼に意見を求めています。トンプソン教授は、自然史博物館のルーシー・ウッドオール博士と共同で、深海底堆積物中に高レベルで含まれていたプラスチックを同定しました。北極で研究する科学者たちは、北極地域から回収された氷床コアを分析してプラスチックを発見しました。北米北極圏に住む先住民も、飲料水の味の変化を報告し、プラスチック汚染への懸念を表明しています。さらに、エベレスト山頂付近の雪を分析したプロジェクトでも、プラスチックの存在が確認されました。

マイクロプラスチックには、マイクロ粒子、ナノ粒子、マイクロビーズなどがあり、世界中どこにでも存在しており、目には見えませんが海洋循環や大気循環を通じて、人間や自然の中を通り抜けているのです。

マイクロプラスチック汚染の危険性について警鐘を鳴らしたトンプソン教授、ギャロウェイ教授、リンデキュー教授、そして共同研究者たちの取り組みは、2015年米国でのマイクロビーズ除去海域法(Microbead-Free Waters Act)の制定に大きく貢献しました。2017年には、国連環境総会(UNEA)が海洋環境におけるプラスチック汚染に対処する世界的コミットメントを採択。その後、2018年には、英国、スウェーデン、カナダ、ニュージーランド、韓国で、この問題に対処するため、マイクロビーズを含む製品を禁止する法律が制定されました。さらに、EU域内の化学物質を規制するREACH規制では、意図的にマイクロプラスチックを製品に添加することを世界的に禁じています。三名の教授たちのこれらの研究成果は、政策決定者に影響を与え、政策の変更を促し、国際社会のための国際政策に活かされているのです。

## —受賞者たちの経歴(個人、教育、専門)—

### リチャード・トンプソン教授

リチャード・トンプソン教授は、1963年7月に英国ノッティンガムで生まれ、大学入学まで同地で暮らしました。両親は共にノッティンガムにルーツを持つ家系であり、100年以上前から代々そこに住んでいました。親戚も多くが近くに住んでいました。市郊外にあった家族の家は、魅力的な庭があり、幼少期には、庭に大きな穴を掘って池を作り、動物を飼っていました。

家族との頻繁な海への旅や、近くの川を探検してそこに住む生き物を見ることは、トンプソン教授にとって大切な思い出となり、自然界、特に水辺との深い結びつきを育みました。幼少期の忘れられない記憶の一つは、海洋学者ジャック・イヴ・クストーが司会を務めたテレビドキュメンタリーシリーズ「ジャック・クストーの海底世界」に魅了されたものです。

トンプソン教授の生物学への情熱に火をつけたのは、科学的探究への生まれ持った好奇心を育んだ熱心な教師でした。高校卒業後、学問的な道に迷いながらも、バースデーカードからクリスマスの飾りまで何でも売る自分の店を7年間経営し、ビジネスの世界に飛び込みました。成功を取めたものの、その仕事には個人的な充足感もなく、高等教育への道を模索するようになりました。この間、彼は積極的にシュノーケリングを楽しみ、余暇にダイビング技術も習得し、海への愛はさらに深まっていきました。これが、自然な流れで海洋生物学へと向かうきっかけとなりました。



ノッティンガムの小学校  
時代のトンプソン教授

トンプソン教授は海洋生物学のキャリアを目指し、ニューカッスル大学に入学しました。他の大学にも興味がありましたが、ニューカッスルがタイン川に近く、海岸線からも程ない距離にあったことが決め手となりました。海との絶え間ないつながりが、彼にとって最も重要だったのです。大学時代を振り返るトンプソン教授の表情は、学業での成功を懐かしさとともに語ります。その成功体験で、さらなる探求心が湧き上がりました。そして学士号取得後、一時的に建設現場での肉体労働も経験しながら、学問にも集中し、リバプール大学で博士課程へと進みます。

リバプール大学では、トンプソン教授は貝類の摂食と生態系との緊密な関係に深く没頭し、沿岸生態系に与えるその重大な影響を明らかにしました。貝類の群れは藻類をむさぼり食らいますが、これによって連鎖反応が起こり、大型海藻が少なくなり、それに依存する生物に影響を与えて生物多様性の変化を引き起こします。逆に、藻類が急増すると貝類の数が減少し、生態系全体が再構築されます。"この繊細な均衡を理解することは非常に重要でした"と、トンプソン教授はこの研究の重要性を強調しています。

波に荒々しく洗われる海岸では、フジツボやムール貝などの濾過摂食者が、絶え間ない水流のおかげで豊富に繁栄しています。反して、穏やかな場所では緑豊かな藻類の成長が好まれます。しかし、中程度の波がある海岸でさえ、劇的な変動を経験し、ある年は豊富な藻類に恵まれ、数年後には完全な荒地になってしまうこともあります。この繊細なバランスを乱す環境要因は何なのでしょう？ トンプソン教授の綿密な研究は、気象要因が重要な役割を果たしていることを明らかにしました。



ニューカッスル大学の  
卒業式

太陽高度が上がり気温上昇や紫外線量増加、乾燥ストレスが強まる夏場には、これらの影響がさらに顕著に現れます。藻類と貝類ともに受ける影響は大きく、トンプソン教授はこうした自然の相互作用を理解することの重要性を強調しています。自然変動と人間活動による変化を区別することは、環境の変化を包括的に理解するために不可欠です。この区別により、自然の変動を誤って人間の行動によるものと結びつけてしまうことを防ぎ、情報に基づいた保全と管理の実践が可能となります。

リバプール大学での博士課程を終えた1996年、トンプソン教授はニューカッスル大学とサウサンプトン大学で講師職を務めました。その後、彼は最終的にプリマスに落ち着き、プリマス大学海洋生態学部門の職に就きました。

博士課程での研究中、トンプソン教授は海岸清掃に取り組み、海岸線沿いに一生懸命ごみを集めました。しかし、懸命な努力にもかかわらず、ゴミの波は際限なく押し寄せ、教授はごみの発生源の特定を急ぎました。より深く理解するため、トンプソン教授は地元ボランティアに協力を仰ぎました。一緒に大規模な海岸清掃を行い、集めたゴミを綿密に分類し、データを記録しました。しかし、心配な事実が浮かび上がりました。最もたくさんあり問題となりそうなプラスチック片は、その小ささゆえに見落とされ、記録されていないのです。こ



れに気づいた教授は、学生たちに海岸で最も小さなプラスチックを見つけ出すように言いました。学生たちの集めた海岸の砂のサンプルを顕微鏡で調べたところ、これまで気づかれていなかった非常に小さなマイクロプラスチックの存在が確認され、この目に見えない脅威が広がっていることが明らかになりました

化学者の協力を得て粒子を分析したトンプソン教授は、ポリエチレンをはじめとする一般的なポリマーを確認しました。これが、トンプソン教授のマイクロプラスチック探求の始まりとなりました。約10年後の2004年、彼は科学誌「Science」に「海上で行方不明：すべてのプラスチックはどこへ？」というタイトルの論文を発表しました。この論文は、微小なプラスチック粒子が海の目に見えない汚染物として蓄積されていることを明らかにした、それまで見過ごされてきた現実でした。発表後、予想以上の大きな反響にトンプソン教授は驚きました。大学にはメールや電話による問い合わせが殺到しました。その結果、トンプソン教授は主要な研究テーマを海洋生態学から喫緊のプラスチック汚染問題へと移し、多くの研究時間をこの問題に費やすことになりました。この画期的な論文は、プラスチックに関する新たな科学的研究分野を切り開きました。

トンプソン教授は、彼の論文が「Science」誌に掲載されたことを非常に幸運だと考えています。当時、彼のプラスチック研究は資金不足で、余暇に個人的な興味で進められていました。本質的には、趣味としての追求に近いものでした。彼は、多額の資金を必要とせず研究に貢献してくれた多くの学生ボランティアの貴重な支援に感謝を表しています。時間の制約がなく、自由に深く研究できたこと、またいくつかの幸運な偶然も論文の作成に役立ちました。彼は、これらの小さなプラスチック片を説明するために「マイクロプラスチック」という用語を生み出し、5mm以下の粒子と定義しました。

「Science」誌への掲載で、マイクロプラスチック問題が世界的によく知られるようになり、トンプソン教授の研究の方向性は大きく変わりました。論文の発表後、この重要なマイクロプラスチック問題を軸に、ギャロウェイ教授、リンデキュー教授をはじめとする様々な分野の科学者との積極的な共同研究が活発になりました。

東京農工大学の高田秀重教授の研究論文が、トンプソン教授のプラスチックと化学物質とのつながりへの興味をかき立てました。高田教授の研究は、驚くべき事実を明らかにしました。プラスチックは、環境中の化学物質との親和性が高いということです。プラスチック製のボウルの中で、カレー色の食用色素がついた食器を洗うことを想像してみてください。着色料は疎水性のため、水よりもプラスチックに頑固に付着し、好んでくっつきます。この研究は、プラスチックが有毒な化学物質の媒介となり、環境中に放出されて海洋生物に影響を与える可能性があるという懸念を引き起こしました。これらの示唆に魅了され、学部長の勧めもあり、トンプソン教授は著名な生態毒性学者であるギャロウェイ教授の専門知識を求めました。

トンプソン教授はギャロウェイ教授の紹介で、リンデキュー教授と出会いました。リンデキュー教授はプリマス海洋研究所に所属しており、プラスチックとプランクトンの相互作用に深い関心を抱いていました。プランクトンは海洋食物網の基礎であり、汚染されたプラ

プラスチックが海洋生物に与える影響を研究する上で極めて重要な役割を果たします。ブランクトン研究の専門家であるリンデキュー教授、生態毒性学が専門のギャロウェイ教授、そして環境科学と海洋生物学の専門家であるトンプソン教授という、三位一体のコラボレーションがこのプリマス近郊の小さな地域を、プラスチック研究における世界的なリーダーへと押し上げました。

### タマラ・ギャロウェイ教授

ギャロウェイ教授は1963年2月に英国のサセックスで生まれ、1歳の時にスコットランドのグラスゴーに引っ越しました。彼女は4人家族の長女として、グラスゴー大学でロシア語学を教える父親、教師の母親、兄と一緒に暮らしました。都市のはずれにある彼らの家は、スコットランドの美しい自然に囲まれており、彼女はよく自然散策をしていました。また、家で人形遊びをするのも好きでした。ギャロウェイ教授は幼い頃から、自分の周りのものに強い好奇心を示し、特に物の仕組みを理解しようとしていました。彼女は、さまざまな興味を常に支持し、奨励してくれた両親



子供の頃のギャロウェイ教授

に深い感謝の念を抱いています。しかし、科学と生物学への情熱が本当に開花したのは、大学時代のことでした。スコットランドの大学教育は、イングランドの大学教育とはいくつかの点で異なっています。授業料は無料で、"broad general" プログラムと呼ばれる特徴ある学制の下で運営されています。1年目は幅広い一般科目を履修し、その後の3年間の学部課程では、選択した分野の専門を学びます。ギャロウェイ教授は、グラスゴー大学で生化学を専攻し、学問の道を歩み始めました。近所に住んでいた微生物学者で、父親の親友でもあるダンカン・スチュアート・タール博士の研究室を訪れたことがギャロウェイ教授には転機となりました。



彼女が生物学に魅了されたのは、大学の頃でした。生命の複雑なメカニズムの解釈、人間の存在の複雑さ、そして生命体の進化は、とても魅力あるものでした。彼女は、海洋の深部から広大な空に至るまで、さまざまな生き物が持つ独自の特性をこの学問がいかにかに探求し、その多様な適応の基礎を解き明かしていくのにかに驚嘆しました。生物学の奥深さを理解し、これらの現象に完全に魅了されてしまいました。ギャロウェイ教授は、グラスゴー大学での生化学の学士課程を終えた後、エディンバラ大学医学部で生化学の博士課程に進み、生命プロセスを可能にする生化学をさらに深く探求しました。そこで彼女は、コレラ菌が産生する複雑な毒素に焦点を当てました。この博士課程で、環境への情熱が芽生え始めました。興味を持つようになったのは、生態学者による魅力的な講演を聴いた時で、人間の活動による環

境への影響を見事に説明した講演でした。私たちが出す膨大な量の廃棄物、燃やす莫大な量の石油、枯渇させてしまう多くの川。ギャロウェイ教授は、その影響の規模と複雑さに驚き、すぐに興味をそられました。人間が環境へ残す影響に対する認識がひどく不十分であることに気づいたのです。

彼女が研究したコレラ毒素は、細菌の構造だけで説明できるものではなく、環境要因に大きく左右されるものでした。ただ細菌に触れるだけでは大きな害はないかもしれませんが、汚染された水や劣悪な衛生環境のように不衛生な条件で細菌が繁殖すると、人間に重篤な病気を引き起こす可能性があります。したがって、この問題への対処は、細菌自体をターゲットにするだけでなく、環境衛生や衛生習慣の改善に焦点を当てることが重要となります。深い情熱と友人や恩師の揺るぎないサポートに支えられ、ギャロウェイ教授はエディンバラ大学で生化学の博士課程を修了しました。卒業後、ロンドンの製薬会社で臨床診断のキャリアを積みました。しかし、1988年に第一子を出産した後に7年間、キャリアを中断し、子育てに専念しました。

子供たちを育てながら、ギャロウェイ教授一家はロンドンから、イギリス南西部のコーンウォールへ移り住みました。この期間、彼女はいくつかの専門学校(further education colleges)でパートタイム講師として教えていました。そして、ある小さな町郊外であったパーティーでの偶然の出会いが、彼女のキャリアにおける重要な転機となります。1978年のノーベル化学賞受賞者であるピーター・ミッチェル博士と出会い、彼女は将来の仕事について話しました。すると、ミッチェル博士は、彼の個人的な研究機関での研究助手としてのポジション提供を申し出てくれたのです。この思いがけないチャンスに、彼女の科学への情熱は再び燃え上がりました。ミッチェル博士は、科学的方法論に関して2つの基本方針を伝えました。それらは消えることなくギャロウェイ教授の心に深く刻まれました。1つ目は、実験を実施するよりも10倍の時間をかけて熟考すること。2つ目は、実験内容を一文で簡潔に説明できないような実験は意味がないということでした。これらの考え方は、彼女の実験の進め方に深い影響を与えました。今でも彼女は、「目的が正確に言えるか、この実験は十分に考えた上で行おうとしているか」と自分に問いかけることを習慣としています。さらに、これらの考え方を学生たちにも浸透させ、ミッチェル博士の有益な教えを伝えていくことを目指しています。

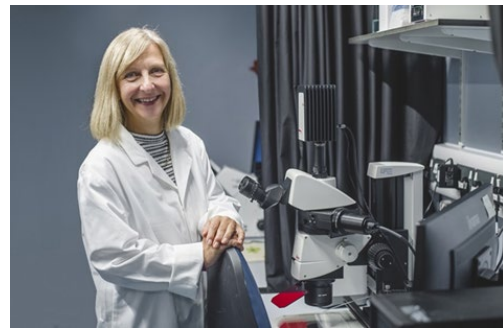
ギャロウェイ教授の大学でのキャリアは、プリマス大学で看護師向けの生物学講師として非常勤で働いたことから始まりました。その後、同大学内の研究グループに移り、生態毒性学の研究に没頭します。彼女のキャリアにおける次の重要な転機は、1998年に殺虫剤の影響について研究していた博士課程の学生を指導したことで、生態毒性学での仕事が始まりました。生態毒性学とは、有害な汚染物質が環境に与える生態学的影響を解き明かす学問で、個別の生物だけでなく、群れ、個体数、生息地の役目、さらに分子レベルでの小さな変化まで綿密に評価します。この分野では、これらの変化が細胞や生物に与える影響を幅広く研究・調査し、最終的には環境への影響を理解し軽減することを目的としています。

人間の健康に関する専門知識を生かし、ギャロウェイ教授は新たな道を歩み始めました。

それは、汚染物質が海洋生物や水中生物に与える影響を調査することでした。この研究分野をさらに深く掘り下げるため、プリマス大学で別の研究を進めていたリチャード・トンプソン教授との共同研究を開始しました。この共同研究は非常に重要であると認められ、ギャロウェイ教授はエクセター大学での教授職に応募するきっかけとなりました。2007年、彼女は生態毒性学の教授職に就き、人生の大きな節目になりました。その後の数年間、リンデキュー教授とともに学生の共同指導を行い、トンプソン教授、リンデキュー教授との間に長く実りある協力関係が築かれました。

ギャロウェイ教授の主要な研究対象は、内分泌攪乱物質と呼ばれる、環境に放出され重大な生態毒性学的リスクをもたらす人工の化学物質です。それらの物質とプラスチック生産との密接な関係から、ギャロウェイ教授はトンプソン教授と協力してプラスチックのライフサイクルに関する包括的な調査を開始し、廃棄後の行き先と生態系への影響を明らかにしました。ギャロウェイ教授にとって、この研究は人間の健康に関する科学や診断研究という過去の専門分野を飛び出し、全く新しい研究領域を切り開くものでした。

海洋生物へのマイクロプラスチックの影響に関する著名な専門家であるトンプソン教授と、人間の健康に関する科学のバックグラウンドを持つ生態毒性学者ギャロウェイ教授の共同研究は、海洋食物網に組み込まれている微小プランクトンの生態学の専門家であるリンデキュー教授の参加によってさらに強化されました。この共同研究では、各人の知識と専門性を結集させることで、プラスチックが海洋生物とその生態系にどのように影響を与えるかという理解を大幅に前進させることに成功しました。



### ペネロープ・リンデキュー教授

ペネロープ・リンデキュー教授は、1971年9月、英国南西部のトットネス近郊の村で生まれました。幼少期を家族とともにこの村で過ごしました。父親は郵便配達員、母親は教師、そして年上の兄がいました。活発な子供で、家の周りの森や野原で遊びまわっていました。2歳の頃には、喋る人形をドライバーで分解して音が出る仕組みを調べるほどの好奇心の持ち主でした。

リンデキュー教授は幼い頃から深く自然を愛し、動物が



子供の頃のリンデキュー教授



大好きでしたが、中学・高校時代には、数学、化学、物理、生物、芸術に対してしだいに強い興味を持ち始めました。そして、中等学校6年生（日本の高校3年生に相当）のときに、生物学への想いが大きくなりました。分子レベルから生態系レベルまであらゆる生物の役目と生きていくための仕組みを扱うこの分野に強く心を奪われたのです。

熱意あふれる高校時代の生物学の先生の指導で、リンデキュー教授はバース大学で応用生物学を学ぶ道を選びました。大学では、分子生物学、生化学、薬理学、生態学に焦点を当てた広範囲な生物学の教育を受け、学習は教室内だけにとどまらず、多様なフィールドワークや実験室作業もありました。ペニーは、多発性硬化症の動物モデル開発、菌類の詳細な解析、コーンウォールのリザード半島での海洋生態学研究など、幅広い分野で経験を積みました。大学での学びが進むにつれて、彼女の情熱は生化学へと傾いていきました。特に、分子レベルでの生物の精巧な動きに魅了されたのです。

バース大学を卒業した後は、プリマス海洋研究所で国際動物プランクトンの生物学的生産に関するシンポジウムの開催と、その成果報告書の編集の仕事に携わりました。この仕事を通じて、彼女は動物プランクトンへの情熱に目覚め、ニュージーランド、オーストラリア、東南アジアへ今の伴侶との旅行に出発する前に、博士課程の学生を指導できる教員の協力を得て、博士論文提案書を作成しました。この提案は動物プランクトンについて詳説したもので、大学での分子生物学の知見も活用しました。この提案は見事採用され、旅行から戻ると、プリマス海洋研究所で博士課程の研究を始めました。彼女の学部での研究では、海洋科学はメインではありませんでしたが、世界中の生態系で小さな動物プランクトンが果たす重要な役割にすぐに魅了されました。顕微鏡をのぞいて、動物プランクトンの複雑な形態と魅惑的な美しさに驚いたのです。

プリマス海洋研究所での初期の研究は、動物プランクトンの分子レベルでの識別と、変わりゆく環境への適応に焦点を置いていました。しかし、彼女の研究は、2004年にリチャード・トンプソン教授がマイクロプラスチック汚染についての画期的な論文を発表したことで大きく方向転換しました。マイクロプラスチックの発見を知り、生態系のつながりに不可欠な存在である動物プランクトンに対し、目に見えないほど小さなプラスチック破片が与える影響を研究したいと強く思ったのです。

ペネロープ・リンデキュー教授とタマラ・ギャロウェイ教授は、ナノプラスチックとマイクロプラスチックに関する会議で初めて出会いました。二人とも、海洋環境や海洋生物にプラスチックが悪影響を及ぼす可能性について深い懸念を持っていましたが、研究のしかたは異なっていました。ギャロウェイ教授は生態毒性学の側面に焦点を当てていたのに対し、リンデキュー教授は動物プランクトンの専門家でした。同じ懸念を持っていたことと、学生を二人で指導したことで、二人の実りある共同研究の基礎が築かれました。プラスチックの発生源、分布、影響に関する共同研究の範囲は、年々大幅に拡大していきました。リチャード・トンプソン教授が加わったことで、この学際的な協力関係は、英国の南西部の街を中心にして、さまざまな分野の研究者も巻き込んだプラスチック研究の一大拠点となるほど強力なものとなりました。異なる分野の専門家が集結したことで、チームはより広い視野で問

題を捉え、評価し、新たな分析手法を開発し、現状に挑戦し、解決策を見出すことができました。

2013年、リンデキュー教授とその研究チームは画期的な成果を発表しました。世界で初めて、動物プランクトンがマイクロプラスチックを汚染物質として取り込んでいることを実証する研究論文を発表したのです。さらに重要なのは、蛍光染料で標識されたマイクロプラスチックが動物プランクトンに摂取され、消化管を通過していく様子を鮮明に捉えた画像を公開したことでした。マイクロプラスチックに汚染される瞬間の様子を示した生々しい映像は、多くの強い反響がありました。問題の深刻さを視覚的に訴えかけ、社会的関心を喚起し、行動を求める強いメッセージとなりました。

リンデキュー教授のチームは、画期的な発見につながる独創的な研究技術をいくつも開発してきました。そのひとつが、酵素分解技術を用いて生物材料からマイクロプラスチックを分離する方法です。これは、動物プランクトンからDNAを抽出するためにリンデキュー教授が開発した技術を応用したものです。

また、堆積物からマイクロプラスチックを抽出する巧妙な手法も考案しています。この方法は、高濃度の食塩水を利用して、無機物だけ沈殿させ、マイクロプラスチックを浮かせます。その後、機械的に両者を分離するのです。有機物除去法を土台として、リンデキュー教授のチームは海洋での最上位の捕食者であるアザラシのマイクロプラスチック摂取を調べる研究のために新しい連続分析法を考案しました。アザラシの排泄物を収集し、その中のマイクロプラスチックを評価することを目的とし、分子レベルの分析技術を用いてアザラシがどのような餌を食べているのかを調べました。この連続分析法により、アザラシが食べる魚に含まれるプラスチック含有量とマイクロプラスチックの食物連鎖上での移動についての知見が得られます。これらの方法は、環境への影響を最小限に抑えるように最適化されました。2019年、リンデキュー教授らの研究チームは、マイクロプラスチックは密度が小さいので、動物プランクトンが摂取したとき、彼らの排泄物である「糞粒」の沈降速度に影響を与えることを実証しました。糞粒の沈降は、有機物や炭素が海面から深海へと運ばれる重要な経路のひとつです。この発見は、深海生態系、炭素循環、そして気候変動に重大な影響を及ぼす可能性があります。



リンデキュー教授は、生物学の枠を超えて活動範囲を広げ、化学者、リモートセンシング技術者、数理モデル作成者たちとも共同研究を行っています。そのひとつは、環境経済学者たちとの共同研究で、海洋プラスチック汚染がもたらす経済的影響を明らかにする論文を作成しました。この画期的な研究は、海洋生態系が提供する巨大な価値をもたらす生態系サービスを海洋環境汚染がどのように侵害しているかについて注目しています。研究者たちの推計では、年間の経済的損失が5,000億ドルから、なんと2兆5,000億ドルにも及ぶとい

う深刻な現状が示されています。

数多くの研究が、海洋プラスチック汚染の多面的影響を浮き彫りにし、生態系サービスのあらゆる側面に有害な影響を及ぼすことを明らかにしています。生態系サービスとは、食料や資材といった具体的な資源（供給サービス）、海洋の気候調節や防潮といった重要な調節機能（調節サービス）、さらにはその美しさやレクリエーションの機会から得られる文化的価値（文化サービス）などを指します。

多様な分野の研究者による共同研究で、専門知識を結集し、アイデアを交換することで革新的な研究手法を生み出すことができると明らかになりました。リンデキュー教授は、このような協働精神がプリマス海洋研究所の基盤であると考えており、活気に満ちた様々な科学的才能を引きつけ、育てていると考えています。

### —受賞者たちのリラックス法と研究アプローチ—

熱心な研究者であるトンプソン教授は、休暇と質の高い家族との時間を重視して心身をリフレッシュすることを大切にしています。余暇には、ボートやカヌーでのアウトドア活動、コインや切手の収集など多彩な趣味を楽しんでいます。美味しい食事、ワイン、そして自然の中での短い散歩も、彼にとって不可欠な充電方法です。職務においてトンプソン教授が優先するのは、科学的調査の正確さと妥当性です。



トンプソン教授とお嬢さんたち  
(王立協会フェローに選任時)

多忙な研究生生活の合間、ギャロウェイ教授は海で息抜きをします。友人たちと泳いだりパドルボードに乗ったり、季節を問わず、海は彼女にとっても大切な場所です。高名な彫刻家であるパートナーのサイモンさんとともに、海、川、荒野、森林に囲まれたコーンウォールに暮らすギャロウェイ教授は、コーンウォールを世界で最も美しい場所のひとつだと考えています。愛犬との散歩もまた、大切なリフレッシュタイムであり、ヨガを日々の生活に組み込むこみ熱心に取り組んでいます。ギャロウェイ教授の仕事哲学は、自分で本当に情熱を持てることを見つけ出し、取り組むことを大切にすることです。また、行動の目的が明確でなければ立ち止まって再考すべきだとの信念を持っています。幸いにも、ギャロウェイ教授は自分の仕事を純粋に愛する気持ちを持っています。自分ではほぼ趣味と思えることに携わって、しかも報酬までもらえるということをととても幸せに感じています。



友人とサーフィンを楽しむ  
ギャロウェイ教授



情熱を傾けることは研究室の中にとどまりません。リンデキュー教授は多岐にわたる趣味を持っています。リラックスしたいときは、伝統的な木造ボート「コーニッシュ・パイロット・ギグ」を漕いでレースに参加し、波風を切り裂く爽快さを味わいます。また、海沿いを散歩したり、海で泳いだりすることも彼女にとって安らぎのひとつです。自然を愛する気持ちは庭を愛する気持ちにもつながり、庭で野菜や果物を育てたり、自家製ジュースやジャムを作ったりしています。プラスチックごみの削減への貢献とともに、楽しみながらの取り組みです。寒い時期には、浜辺で拾ったガラス片を使って美しいジュエリーを作ったり、クロシェ編みをしたりする創造的な趣味などに夢中になります。緑豊かな自然の中で育ったので、リンデキュー教授は、家族や忠実な飼い犬と屋外で過ごす時間を大切にしています。



リンデキュー教授  
お嬢さんたちと SUP の上で

リンデキュー教授はリーダーシップのスタイルとして、揺るぎない誠実さと共に、メンバーに対する信頼と尊敬を大切にしています。リーダーとして、個々のメンバーの秘めた能力を开花させるような温かな環境を作ることを心がけています。革新性、創造性、そして粘り強さを育み、最終的には、将来の世代のために海洋の生物多様性、健康、生産性を大きく向上させるようなインパクトのある研究をチームとともに生み出すことが目標です。

### —三人の受賞者からのメッセージ—

以下に、環境に対する彼らの懸念と、政策立案者、産業界、そして私たち一人一人に向けてのメッセージをご紹介します。





「増加し続ける人口が、居住可能な土地や持続可能な環境条件、適切な気温、アクセス可能な水源や食料源などに、エスカレートするプレッシャーをかけているという迫り来る脅威を私は予見しています。人間が引き起こしている気候変動は、私たち人類にとって重大な課題となり、将来的にはますます希少な資源をめぐる紛争を引き起こす可能性があります。

私の産業界と政策立案者への緊急メッセージは、プラスチックの責任ある利用に集約されます。1950年代に導入された耐久性に優れ安価なプラスチックは革新的でしたが、利便性を優先した使い捨て文化の採用は悪影響をもたらしました。1950年代、世界におけるプラスチック生産量は500万トンで、その約40%が使い捨てとして利用されていました。しかし、これは世界的規模で見ればまだ比較的少なめな量でした。対照的に、現在では4億トンのプラスチックが製造されており、その40%が依然として使い捨てです。地球は、このような過剰な廃棄物発生率を維持することはできません。

私たちはペットボトルやスナック菓子の袋など、プラスチック製品を使い終えた時、その後の行き先をしっかりと考える必要があります。だからこそ、製品のデザイン段階から根本的な変革が必要です。設計過程に環境への配慮を取り入れることで、マイクロファイバーやタイヤ粒子、マイクロビーズなど有害な微小粒子の環境への流出を大幅に減らすことができます。政府は、責任を持ってビジネスを進めている企業が、環境責任を軽視する企業によって不利な立場に置かれないよう、しっかりとした制度を構築する必要があります。

より責任あるプラスチック利用へと舵を切っていくためには、公正な市場環境を維持しながら、責任を持ってビジネスを進めよう促す法整備が必要です。同時に、生産における必要不可欠な変化を受け入れるための、積極的な消費者参加も求められます。地球の限られた資源を責任を持って活用する方法について、消費者を教育することは不可欠です。さらに、私たち自身の行動を見直し、修正することも重要です。使い捨て袋の必要性を問い直し、再利用可能な代替品を選ぶなど、50~60年以上も深く根付いた習慣を変えるのは非常に困難な課題です。しかし、漸進的な前進は可能です。例えば、買い物中に自分のエコバッグを持参するのは小さな一歩ですが、日々の生活の中で、不要なプラスチック製品を避け、可能な限り製品を再利用するなど、様々な取り組みを通していくことで、この問題に対処することができます。

青い地球の未来は、私たちの手の中に大きくかかっています。プラスチックを例に考えると、その海洋生物への明白な害や潜在的な健康への影響にもかかわらず、解決策は生活から排除することにあるとは思いません。むしろ、それはプラスチックをより責任を持って使うことにあります。このアプローチを、気候変動や他の環境危機に対しても展開できるものと強く信じています。しかし、これらの目標を達成するには、政府、企業、そして一人ひとりの献身と、変化を受け入れ行動を起こすという集団的取り組みが必要です。」

「際限なき消費と無責任な廃棄の習慣こそ、問題の根源です。私たちは過剰に採掘し、車に乗り、生産し、何も考えずに捨てています。何を消費し、何を捨てているのか、そしてどのようにしてより持続可能な未来へとシフトできるのか。今こそ立ち止まり、考えるべき時です。

政策立案者の方々には、「世界的なプラスチック条約」を強力な変革力とすることに断固たる決意を表明するよう強く求めます。ストックホルム条約、水俣条約、酸性雨との闘争など、成功した先例は、集団的な取り組みが環境を劇的に改善できることを証明しています。皆が一丸となって行動することで、大きな変化をもたらすことができるのです。

プラスチック汚染の悲惨な実態を自分の目で見ると、私は産業界の方々にガラパゴス諸島を訪れることを勧めます。海岸線から遠く離れたこの手つかずの生態系は、悲しいことにプラスチックごみで汚染されています。あなたの会社のブランドは本当に、このような環境破壊に加担したいのでしょうか？一緒に力を合わせて、この魅力あふれる景色に入り込んでくる廃棄物から守り、より持続可能な未来を築きましょう。

一般の方々への私のメッセージは、消費習慣を見直しましょうということです。購入する前に、意識的に立ち止まってください。自分に問いかけてください。本当にその品物が必要ですか？それは使い捨てではありませんか？使用後はどうなるのでしょうか？私たちは一致団結してプラスチックへの依存を減らすことができますでしょうか？小さな変化でも、何十億倍にもなれば、世界を変える力を持っています。非常に大変な問題ではありますが、私は楽観的です。数えきれないほどの人々の情熱と、科学者たちのたゆまぬ努力に、私は希望と未来の可能性を信じています。」

「私の最も懸念しているのは、地球が直面している気候変動の相乗的な激化です。このまま高頻度・高強度で気候災害が続けば、後戻りできないほどの損害をもたらす臨界点に達する恐れがあります。いくつものストレスが地球に及ぼす複合的な影響、それが私の最も恐れていることです。どんなに小さな人間の選択でも、良い影響あるいは悪影響を及ぼす可能性を秘めていることを強調するのは、科学者としての義務だと思います。産業界と政策立案者には、科学的証拠が示す厳しい警告に耳を傾けるよう強く求めます。短期的な少数の利益ではなく、しっかりしたデータに基づいた行動を優先し、地球の長期的な幸福と保護を図りましょう。

消費者、市民としての私たちは、地球の未来を形作る上で計り知れない力を持っています。旅行の選択から食べるものまで、すべての選択は環境に対して影響を及ぼします。旅をすることによる影響を減らし、休暇で訪れる場所や航空機の使用頻度を見直し、食事に植物ベースの選択肢を取り入れることで、私たちは力を合わせていろいろな変化を起こすことができます。一見小さな行動であっても、積み重ねれば大きな影響を生み出すことができます。プラスチックに関しては、再利用可能な代替品など責任ある行動をとることで、その壊滅的な影響を抑制することができます。私の最大の希望は、地球は繊細なバランスにあることに人類が気づくことです。地球の限界内に暮らすことを学び、資源に対する敬意を育み、際限のない過剰消費を抑えることで、次世代のために、生物多様性に溢れ、持続可能な繁栄を実現した未来に向けて進めるのです。」