

第147号（2019年4月9日発行）



愛研技術通信

掲 示 板

法令・告示・通知・最新記事・その他

新年度を迎え、弊社にも2名、期待のフレッシュマンが入社。御鞭撻をいただきますよう次号で紹介をさせていただきます。



<新入社員に囲まれて 写真中央が社長>

○ 水1Lの分析で絶滅危惧種ニホンウナギの河川内分布を明らかにできることを確認

2019年3月1日 神戸大学 報道発表抜粋

【 概要 】

神戸大学大学院理学研究科の板倉光学振特別研究員、中央大学の脇谷量子郎機構助教、京都大学の山本哲史助教、中央大学の海部健三准教授、神戸大学の佐藤拓哉准教授と源利文准教授からなる研究グループは、1Lの河川水中の環境DNA量を分析することで、ニホンウナギの河川での生息状況を把握できることを世界で初めて明らかにしました。これにより、ニホンウナギの河川でのモニタリングを短期間で効率的に行うことが可能となり、絶滅が危惧される本種資源の保全に大きく貢献できるものと期待されます。

【 研究の背景 】

ウナギ属魚類は外洋で産卵し、沿岸や河川で成長する降河回遊魚です。世界に16種が知られ、その分布は広く150か国にわたります。東アジアに広く分布するニホンウナギは、古来より我が国の重要な食資源として、和歌や絵画の題材として、時には信仰の対象として、多様な生態系サービスを供給してきました。しかし、その漁獲量は1970年代以降激減し、2014年には国際自然保護連合（IUCN）によって絶滅危惧種に指定され、資源の保全が急務となっています。

生物を保全するためには、対象生物の分布域や資源量に関するデータの取得が欠かせません。

一般に、ニホンウナギの河川調査では、電気ショッカーを用いて採集を行います。しかし、調査には人的・時間的に大きな労力がかかるため、ニホンウナギのように河川の下流から上流まで広く生息し、地理的にも分布域が広い生物の場合は十分なデータが得られていないという課題がありました。また、通常調査を行う日中、夜行性であるウナギは植生や泥の中に隠れているため、従来の採集調査ではしばしばウナギを見落とすという問題もありました。そこで私たちは、低労力でかつ正確なモニタリング調査手法を検討するため、近年急速に技術発展する環境DNA分析手法がニホンウナギの分布調査に有用であるかどうかを調べました。



図1 絶滅が危惧されるニホンウナギ
(*Anguilla japonica*)

【 研究の内容 】

私たちは、国内の10河川の下流から上流にわたる全125地点において、河川水を1L汲み、そこに含まれるニホンウナギの環境DNA量をリアルタイムPCR法によって測定しました。同時に、同地点において電気ショッカーを用いた定量的な採集調査を行い、ニホンウナギの採集個体数・生物量を求め、環境DNA分析の結果と比較しました。



図 2. 調査風景。電気ショッカーによる採集調査（左）、環境 DNA 分析用の採水（右）

その結果、電気ショッカー調査によってニホンウナギが確認された地点の 91.8% (61 地点中 56 地点) でウナギの環境 DNA が検出されただけでなく、低密度で生息しているためにウナギが採集されなかった 35 地点（主に上流域）においても環境 DNA が検出されました。これにより、環境 DNA 分析手法はニホンウナギの河川内分布を従来の採集調査よりも高精度で検出できることが初めて明らかになりました。さらに、採集調査によって得られたニホンウナギの個体数・生物量は環境 DNA 濃度と正の相関があることから、環境 DNA を調べることで河川におけるニホンウナギの個体数・生物量のある程度推定できる可能性も見出しました。

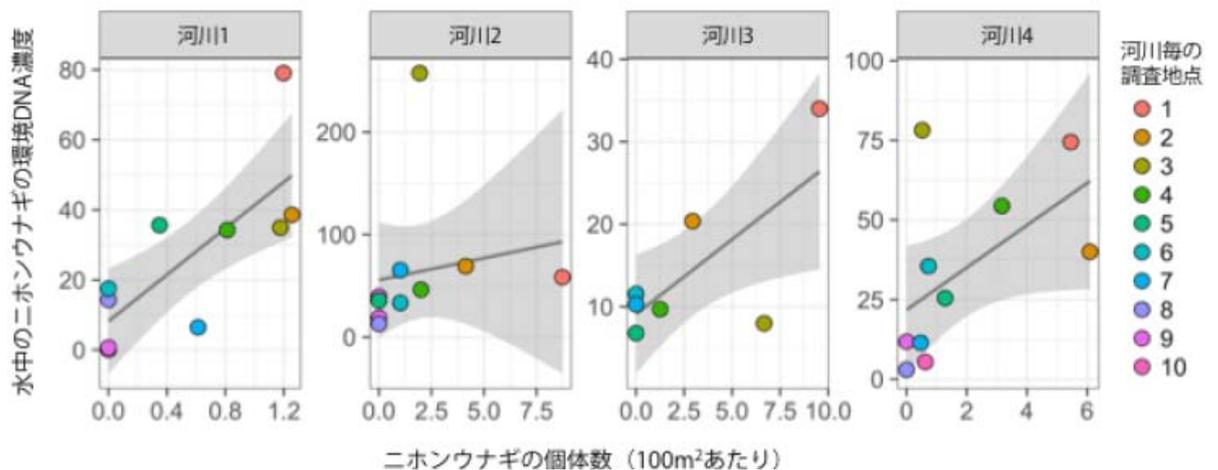


図 3. ニホンウナギの個体数と河川中の環境 DNA 濃度との関係

ウナギ属魚類の生息数が下流から上流に向かって減少することは広く知られていますが、本研究における環境 DNA 濃度も同様の傾向が見られたことから、環境 DNA 分析の結果は、ウナギ属魚類の河川での基本的な生態特性を良く表していると考えられます。

今回の研究では、電気ショッカーを用いた採集調査は1河川につき3人以上で少なくとも3日間を要しましたが、環境DNA分析のための採水は2人で長くとも半日間、その後の処理は1人で1.5日間で終了しました。つまり、河川全域や複数河川など大規模な分布調査を行う上で、環境DNA分析手法の方が人的・時間的資源の面でも優れていると考えられます。

【 今後の展開 】

本研究成果にも示されているように、環境DNA分析手法は、従来の方法よりも時間や労力的に低コストであるため、広域分布するニホンウナギのモニタリングが容易となります。今後、より大規模な資源動態のモニタリングが可能になることと期待されます。また、非致命的な手法である点も、絶滅危惧種であるニホンウナギのモニタリングにおいて有益です。現在では、環境DNA分析手法を用いたウナギ属魚類のモニタリング調査を国内外のフィールドで実施しています。環境DNA分析手法を導入することで、国を跨いで分布する本属魚類に対して国際的に統一された手法でのモニタリングの実施が容易となり、全球規模で資源減少が懸念されるウナギ属魚類の保全と持続的利用に対して大きく貢献できるものと考えています。

また、河川における外来ウナギの移入の実態を調査する際にも有効です。過去20年間に国内の多くの水系で放流された外来のウナギ属魚類（ヨーロッパウナギやアメリカウナギなど）の生息が報告されています。これらの種とニホンウナギは外見では見分けることができず、生息していても発見することは困難であることに加えて、長寿命（数十年）なために長期にわたって生態系に影響を及ぼすことが懸念されます。環境DNA分析による広域調査を行うことで、国内における外来ウナギの分布状況や早期発見などが期待されます。

河川における環境DNA濃度は、生物の個体数や生物量に加えて、流速や水深などの物理特性によっても、DNAの分解や分散距離を通して影響を受けることが分かっています。そのため今後は、物理特性が環境DNA濃度に与える影響を明らかにすることで、環境DNA分析によるニホンウナギの個体数や生物量の予測精度を高めていく必要があります。

【 環境DNAとは 】

DNAはすべての細胞に存在し、DNAの情報に基づいて体の細胞、器官、臓器が作られます。

水中、土壌中、空気中などあらゆる環境中には、そこに生息している生物由来のDNAが存在しています。そのDNAを総称して、環境DNAと呼んでいます。水の場合には魚類をはじめとした水生生物の排泄物や粘液、表皮などの細胞が水中に剥がれ落ちたものに由来するDNAが含まれています。その環境DNAを採取し分析することで、生物の存在や生物量・個体数、さらには遺伝情報などの膨大なデータを得ることが可能です。

【 リアルタイムPCR法とは 】

PCRとは Polymerase Chain Reaction（ポリメラーゼ連鎖反応）の頭文字をとったものです。

DNAは加熱により、2本鎖が1本ずつに分離します。分離したDNAに酵素（DNAポリメラーゼ）と合成の引き金になる1本鎖核酸（プライマー）を加えると元の塩基配列を基に対になる塩基配列が合成されます。この合成反応を繰り返し行うことで、DNAが2倍・4倍・8倍・・・と指数関

数的に増加します。この方法を用いると、DNA を数時間で 100 万倍に増幅できます。微量の DNA を検出することは難しいですが、同じ DNA が多量にあれば検出が容易になります。

リアルタイム PCR 法は合成反応液の中にあらかじめ蛍光プローブあるいは蛍光色素を添加し、リアルタイムで目的遺伝子の増幅をモニタリングする方法です。

○ 「はやぶさ2」の近赤外分光計によって観測された小惑星リュウグウの 表面組成

2019年3月20日 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 報道発表抜粋

小惑星探査機「はやぶさ2」による小惑星Ryugu（リュウグウ）の探査活動に基づく初期成果をまとめた3編の論文が、Science（サイエンス）誌のウェブサイトに2019年3月19日（日本時間3月20日）に掲載されました。本号では、近赤外分光計によって観測した「りゅうぐう」表面組成に関する論文の抜粋を掲載します。

【 研究の背景 】

「はやぶさ2」は、地球に接近する小惑星であるリュウグウの表面から試料を採取して、地球に持ち帰るサンプルリターンミッションを目指しています。その試料の分析から得られる物質科学的情報は、試料を採取した場所の地質学的情報と組み合わせることによって、天体の歴史を紐解く重要な手掛かりとなります。

リュウグウは、「はやぶさ2」の到着前に行われた望遠鏡観測から、C型と呼ばれるスペクトルタイプに分類され、水や有機物を含む炭素質隕石に似た組成を持つと考えられてきました。しかしながら、水酸基や水分子の顕著な赤外吸収が現れる $3\mu\text{m}$ 波長帯のデータがなかったことから、その組成や水の存在は確定的ではありませんでした。

【 研究内容と結果 】

近赤外分光計（NIRS3）の観測から得られた $3\mu\text{m}$ 波長帯のスペクトルを解析し、リュウグウ表面の組成と水の存在を明らかにしました。

・リュウグウの表面には含水鉱物の形で水が存在する

NIRS3 が取得したリュウグウの反射スペクトルには、水酸基に起因する微弱な $2.72\mu\text{m}$ の吸収（OH吸収）が見られることを明らかにしました。これは、僅かながら水分を含む鉱物（含水鉱物）がリュウグウ表面に存在することを示す直接的な証拠と言えます。

・加熱や衝撃を受けた炭素質隕石に類似

リュウグウの反射スペクトルには、上記の微弱なOH吸収に加えて、極端に低い反射率（2%）や緩やかな正のスペクトル勾配などの特徴も見られました。実験室で測定された様々な隕石のスペクトルと比較をした結果、それらの特徴と合致する隕石は、 500°C 程度の加熱か 10GPa 以

下の衝撃を受けた特殊な炭素質隕石に限られることがわかりました。これは、リュウグウを構成する物質が加熱や衝撃による二次的な変成作用を経験したことを示唆しています。

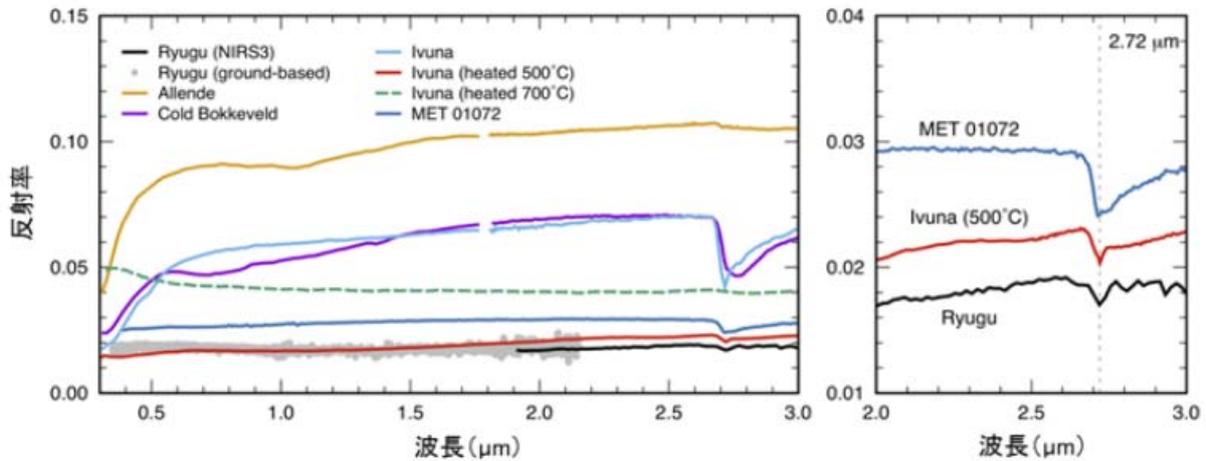


図. リュウグウと炭素質隕石の反射スペクトルの比較. 右図は左図を NIRS3 の波長範囲で拡大したもの
500°Cに加熱された Ivuna 隕石 (CI1 と分類) と MET 01072 (衝撃 CM2 と分類) のスペクトル
は、明るさと形状において NIR 波長で Ryugu と似ています。

(投稿した雑誌「Science」誌より引用)

・リュウグウの表面組成は均質

NIRS3 による全球観測の結果、OH 吸収の吸収強度と中心波長に場所による有意な差は見られないことがわかりました。このことは、リュウグウが全体的に均質な組成であることを示しています。また、リュウグウが母天体の衝突破片でできたラブルパイル天体であることと合わせて考えると、母天体の内部物質も均質な組成であったと推測されます。

【 リュウグウの形成過程 】

リュウグウは、そのスペクトル特徴から加熱や衝撃による変成を受けたことが示唆されますが、その変成の原因については、(1) 母天体内部での放射性加熱、(2) 母天体が衝突破壊された際の衝撃加熱、(3) リュウグウが太陽に接近した際の太陽光加熱、などが考えられます。また、もしリュウグウが隕石カタログにない物質だとすると、加熱や衝撃ではなく、母天体上での水質変成作用が効果的に働かなかったという可能性も残ります。これらの答えは、「はやぶさ 2」が地球に持ち帰る試料の分析によって明らかになると思われます。

【 地球の水の起源 】

リュウグウのような C 型小惑星は、地球に水をもたらした有力な候補の一つと考えられています。実際、地球に存在する水のどのくらいの割合が C 型小惑星によってもたらされたかを知るには、地球が誕生した後に衝突した小惑星の数量と合わせて、それらの内部に保持されていた水の量に関する情報が必要であり、そのためには、C 型小惑星上で水質変成作用が起きた際の水の行方 (天体の外に放出されたのか、それとも内部に閉じ込められたのか) を理解することが重要

です。本研究で得られたリュウグウの地質学的情報と、将来の試料分析から得られる物質科学的情報とを組み合わせることによって、母天体で起きた水質変成作用に関する理解を深めることができ、最終的に地球の水の起源に迫れるだろうと期待されます。

【 近赤外分光計とは 】

近赤外分光計は、近赤外である波長 $3\mu\text{m}$ 付近の吸収バンドを調べる分光計です。水や氷、あるいは含水鉱物が存在すると、 $3\mu\text{m}$ 付近に吸収が見られます。特に、吸収が最大となる波長や吸収帯の波形は、物質中に含まれる鉱物や水質変成、熱変成の仕方によって異なります。その特徴を地域ごとに詳しく観測し、小惑星表層の化学的性質、特に含水鉱物の状態と分布を調べます。

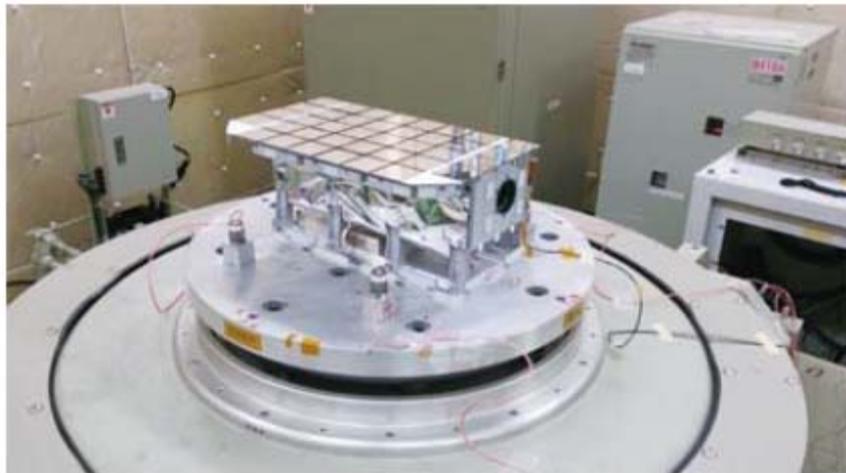


写真. 近赤外分光計 (NIRS3) 分光計ユニット
(JAXA ホームページより引用)

【 隕石の分類 】

隕石は「始原的な隕石」と「分化した隕石」とに大きく2種類に分けることができます。「始原的な隕石」は全体が融けた形跡のない、46億年前に太陽系ができた頃の物質をそのまま集めたものと考えられます。これに対して「分化した隕石」は一度全体が融け、化学的な分別を受けた隕石です。このうち多くは、太陽系ができてからすぐ(1000万年以内)に融けたと考えられています。

「始原的な隕石」はすべて「球粒隕石」(chondrite; コンドライト)です。球粒隕石は落下する隕石の大多数、87パーセントを占める岩石質の隕石です。「球粒」(chondrule; コンドルール)と呼ばれる直径数ミリメートルの丸い粒がたくさん入っている事から、そう名付けられました。球粒と球粒の間は非常に細かい鉱物の結晶で埋められています。多くはここに鉄とニッケルを主成分とする金属を含むので、球粒隕石のほとんどは磁石にくっつきます。

球粒隕石は鉄や金属の含有量などにしたがって、いくつかの化学的グループに分類されます。金属をほとんど含まず、炭素や水といった揮発性の成分を多く含むものは炭素質球粒隕石(carbonaceous chondrite: Cグループ)。反対に金属を多く含むものは、頑火輝石球粒隕石(enstatite chondrite: Eグループ)。実はどちらの隕石も元素としての鉄は20~30パーセント

含んでいます。しかしEグループはすべての鉄が金属なのに対し、Cグループではほとんどの鉄が酸化物として鉱物の中に入っているのです。

これらの中間にあたるのが、金属の多い方からH、L、LLと呼ばれる3つのグループです。Hは鉄が多い (high total iron)、Lは鉄が少ない (low total iron)、LLは鉄も金属も少ない (low total iron, low metal) という意味です。2018年小牧市の民家に落下した隕石は、L6 普通コンドライト (球粒隕石) と確定しています。

球粒隕石は化学的グループによる分類に加え、球粒がはっきり見られるかどうか等の特徴で、さらに岩石学的タイプと呼ばれる 1~7 の数字が付けられます。これは隕石に融けるほどではありませんが、熱や圧力が加わって徐々に変成していったためと考えられています。これらの理由から岩石学的タイプは“熱変成度”とも呼ばれています。

粒隕石の分類は、前述の化学的グループと岩石学的タイプを組み合わせで表します。中でもC1は球粒が見られず、水分を20パーセント、炭素を3パーセントも含んでいるという特別な隕石で、その組成は、太陽系ができた当時のままに保たれています。このため最も始原的な隕石であると言われています。

(国立科学博物館ホームページより引用)

編集後記

新元号が「令和」と決まりました。「平成」が発表されたときには一瞬、違和感を感じましたが、すぐに違和感がなくなりました。従来、元号は中国の古典からの出典で、日頃見聞きしない文言のため最初は違和感があるのかもしれませんが、毎日使うためすぐに慣れてしまうのでしょうか。「令和」は改元まで1ヶ月あるので、5月から人は普通に使えるのではないかと思います。機械のほうはスムーズに移行できるか少し心配です。なにせ30年ぶりのことなので・・・。

(A. K)



株式会社 愛研

(<http://www.ai-ken.co.jp>)

本社 〒463-0037 名古屋市守山区天子田 2-710

電話(052)771-2717 FAX(052)771-2641

半田営業所 〒475-0088 半田市花田町 2-65

電話(0569)28-4738 FAX(0569)28-4749