

環境DNA技術で分かった 日本全国に棲む魚の実態

—環境DNA技術を使った「日本全国一斉魚類相調査」で分かった各地に棲む魚の実態はとても興味深いですね。

宮 従来のように魚を捕ったり、潜水して生態を目視するなどの調査では、膨大な時間やコストをかけても分かり得なかったことが、環境DNA技術によって短期間かつ低コストで分かるようになりました。

全国一斉調査は北海道から沖縄の離島まで528地点で行いましたが期間はわずか3ヶ月弱でした。各地点でのサンプリングは「バケツで水を汲む、それを注射器によってフィルターでろ過する」というだけで、そのコストは実質旅費程度です。(図1)

採水に使うバケツは皆さんの家庭にあるようなものです。使う時には一回一回次亜塩素酸で除菌します。目に見えなくても私たちが触れた時に残ったDNAや空気中の様々なもののDNAがついているのです。そうしてロープにくくりつけたバケツを海に投げて水を汲むという

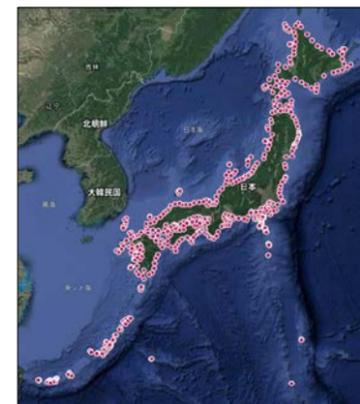


図1. 全国一斉調査で採水を行った調査地点

極めてローテクな手法です。

水は現地で注射器によって、すぐろ過するわけですが、フィルターの技術がとても向上したおかげで、私達でも「携帯用ろ過キット」を作ることが出来るようになりました。これがあれば外国の秘境のような場所でもすぐにサンプルを採取できます。サンプルさえ持ち帰ることが出来れば、あとは研究室に戻ってDNAを抽出、増幅して次世代シーケンサで塩基配列を決定してデータを分析、そしてどんな魚種がそこにいたのかを明らかにします。

—サンプリングは「バケツで海の水を汲む」という手軽な方法ですね。

宮 全国一斉調査では、ちょっと採水するのも嫌になるような東京湾の海水もバケツで汲んで調べましたよ(笑)。東京湾沿岸の場合は、9地点の海水を調べました。(図2)千葉県房総半島の富津、袖ヶ浦、千葉港、浦安、東京の青海、神奈川の東扇島、根岸、猿島、三浦半島の走水の9地点です。

その中でも汚れていたのは想像どおり、最も奥まった場所にある東京の青海で、水が赤くなって、汚れがひどいので、ろ過器がすぐに目詰まりしてしまいました。

東京湾の水から環境DNAを分析したところ、どんな魚が棲んでいたかという点、ほとんどの地点でカタチイワシ、ボラ、クロダイ、スズキなどが共通して見られました。

一方で東京湾の奥の地点と太平洋に近い外側の地点では随分差もありました。魚の種類を見ると、



図2. 全国一斉調査で東京湾内において採水を行った9地点

富津では30種弱、釣り公園がある袖ヶ浦ではクロダイやメジナなど30種を超え、三浦半島側の猿島は20種くらい、走水は35種ほどが検出されたのに対して、江東区の青海は10種未満でした。しかし海の汚れがひどかった青海にサヨリがいたことも分かり、驚きました。東京湾も房総半島や三浦半島の方まで出ると、かなり豊かな種類の魚がいることが分かったのは、単純に面白いものでした。

—バケツ一杯の水から世界中の魚が分かるわけですね。

宮 バケツ一杯の水から調査する「環境DNAメタバーコーディング法」という分析技術は、間違いなく世界標準になります。さらに、私が開発したMiFishプライマーによる環境DNAメタバーコーディング法の「市場占有率」は日増しに上がっています。EU諸国では近いうちに標準法として採用されるでしょう。(図3)

日本では「未開の地」である海の生物調査を行った事例もあります。

環境省から頼まれた案件で、小笠原諸島・西之島周辺の魚を環境DNAで調査したのです。

科学の 峰々 100

取材日：2019年5月14日
東京科学機器協会会議室

千葉県立中央博物館 生態・環境研究部・部長

みや まさき

宮 正樹 先生 に聞く

既成概念を打破し、環境DNA技術で バケツ一杯の水から魚類3万種を検出

下

聞き手：高橋 秀雄 日本科学機器協会 広報副委員長
富山 裕明 〃 広報委員
岡田 康弘 〃 事務局長
(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

宮 正樹 先生のプロフィール

1984年 3月 東京大学大学院 農学系研究科 水産学専門課程修士課程修了
1987年 3月 東京大学大学院 農学系研究科 水産学専門課程博士課程修了
1989年 4月 千葉県立中央博物館で勤務開始(技師～上席研究員)
1997年 4月 千葉大学大学院客員助教授～准教授(2013年3月まで)
2011年 4月～同博物館 動物学研究科 科長
2013年 4月～同博物館 動物学研究科 主席研究員(兼)科長
2013年 4月 千葉大学大学院 客員教授(2015年3月まで)
2016年 4月～千葉県立中央博物館 生態・環境研究部 部長

〈功績〉

■ミトコンドリアゲノム全長配列(約16,500塩基対)の高速決定法を開発(Miya & Nishida 1999)
同技術で大規模データに基づく大系統解明の先駆けとなる研究を実施、数々の世界的発見

■魚類環境DNAメタバーコーディング法(同時並列多種検出法)の技術を開発
「バケツ一杯の水で棲んでいる魚がわかる技術」として注目を浴び今後の世界標準の技術となると見られている

〈受賞〉

2004年 8月 日本進化学会 奨励賞
2010年10月 日本魚類学会 論文賞

〈著書〉

「新たな魚類大系統 — 遺伝子で解き明かす魚類3万種の由来と現在」
(2016年慶應大学出版会)



環境DNAで、魚以外の
様々な動物の棲息も解明

—環境DNAによって得られるメリットは、大きなものがあるわけですね。

宮 ここまで環境DNAの解析によって、そこに棲む“魚”が特定出来るということをお話してきましたが、実はもうひと段階先に進んでいます。ほ乳類、鳥類、エビやカニなどの十脚甲殻類についても、どんな種類の生物が棲んでいるのかを明らかにすることが出来るようになりました。

ほ乳類や鳥類の場合には飲み水に着目しました。どんな生き物でも、生きるためには水に接触しますので、飲み水に動物が残した環境DNAを分析出来れば、周囲にどんな生物が棲んでいるのかを明らかに出来ると考えたわけですね。ほ乳類、鳥類、甲殻類と実証実験は別々にやりましたが、基本的な考え方は同じです。

また、それぞれの場合で、環境DNAから種類を特定する際に、DNAに目印をつけるプライマーは魚類とは違うものが必要でしたので、新たに開発しました。その結果、思った通りの結果が得られ「水一杯で生息種把握」という見出しで多くのメディアで取り上げていただきました。池など飲み水にしている水一杯があれば、周辺の生息種が環境DNAから分かるのです。



そんなアイゴが、房総半島の11地点にいつどのように出現するのか、手に取るように分かるわけです。8月から10月の暖かい時期は11地点のほぼ全てにいますが、11月下旬から少しずつ北側では出現しなくなり、2月には南側の4地点だけに出現しています。そして3月から暖かくなるに連れて、また出現地域は北の方へ拡大していくというパターンが見てとれました。そういった魚の動きを捉えられるのです。

気象観測データのように
魚の生態データが出来る

—それが分かると、養殖場をどこに設置するかなどの対策がとれますね。様々な魚種についてデータを積み重ねていくと、気象庁に観測データがあるように、海の生態データが出来るということですね。

宮 その通りです。日本の海のデータも出来、また世界的に行えば世界中の海のデータが出来上がります。この意義は非常に大きいでしょう。

隔週ごとに行ってきた房総半島の調査はすでに43回を数えました。今年8月に50回に到達する予定なので、この機関誌をご覧いただくころには終えているでしょう。50回という回数には意味があり「エンピリカル・ダイナミクス・モデリング (EDM)」という非常に難しい理論があるのですが、50回等間隔のサンプリングデータがあれば、その理論を使うことで短期予測が出来るのです。

また、現在行っている隔週の調査が50回終わったあとは、今度は

4月、5月とまた温暖になると増えていきます。では地点ごとに水温と魚の種数の関係はどうかというと、水温の上下と検出魚種数の上下が明瞭に関係していると分かる場所が多いものの、その限りとも言えない地点もあるということも分かりました。

その他、魚種ごとに着目したデータも色々分かれます。例えば、特定の地点にはほぼ一年中出现する魚は何種類か、あるいは特定の期間しか出現しない魚は何種類か、両者の比率や出現パターンは地点ごとにどう違うかということや、亜熱帯性の魚種を時系列で見ると夏から秋には検出されるものの、冬場は全く検出されなくなる、ではその水温の境界はどれくらいかといったことも分かれます。

—環境DNAから分かることを、水温など違うデータと組み合わせることで、海の生態がより詳しく解明されていくわけですね。

宮 そうです。ある特定の魚が、一年の間にどこにどれくらいの頻度で出現するかなども、11地点を時系列で俯瞰すると一目瞭然です。

例えば全国の漁場で大変な問題になっている“磯焼け”の犯人とも言われるアイゴという魚がいます。磯焼けとは、本来あるはずの海藻が海からなくなってしまう現象で、これが起きると海藻をエサとするアワビやサザエなどが育つことが出来ずに水産業に大きなダメージとなっています。その海藻を食べ尽くしてしまうのがアイゴではないかと言われています。

繰り返しのDNA調査で
魚の時空間移動も分かる

宮 もう1つ、環境DNAによる調査の素晴らしい点は、低コストかつ短時間でできること、高頻度で調査が出来ることです。その結果、魚が時間とともにどう動くかという「時空間移動」を明らかに出来ます。

この調査は房総半島ですでに実施しています。房総半島南部を囲うように東はいすみ市、南は館山市、西は富津市津浜に渡る11地点で、2週間に1回、バケツ一杯の採水から、環境DNAを分析して棲む魚を特定する調査を2017年8月から現在まで継続的に行っています。

先にも申し上げましたが、1地点で汲んだ水に含まれる環境DNAを分析して得られるデータは膨大で、だいたい1地点あたり約10万本の塩基配列が得られます。それをMiFish法(環境DNAの塩基配列から魚種を特定する技術)で魚種を特定します。これを全地点で行った結果、房総半島の沿岸11地点に500種を超す魚がいることが明らかになりました。

そこでどんな魚が検出されたのかの詳細は省きますが、1位がメジナで2位がクサフグでした。クサフグは堤防釣りを楽しむ人にとってありがたない魚とされていて、投げ捨てられて干上がっている姿を見ることも多いのです。(笑)

こうした調査を隔週行うことで、実に様々なことが分かります。例えば全地点の合計の魚種数を見ると、暖かい夏の季節は数多くなり、11月、12月と寒くなっていくと減少して、

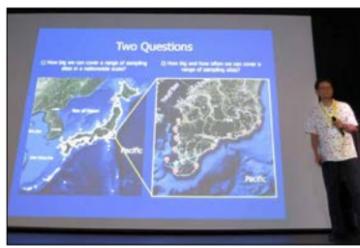


図3. 2019年7月イギリスで行われた環境DNAの国際会議で基調講演を行った宮先生

西之島は海底火山の噴火で新しく出来た島です。そこには新たに出来た生態系があり、それを調べたい研究者は多く、生物学者にとって憧れの島と言われています。

その島を囲む海上の数地点に調査ポイントを定めて採水をし、環境DNAを分析して棲む魚を明らかにしたのですが、採水中に西之島が噴火し、危険な事態に遭遇するハプニングがありました。私が直接現場に立ち会ったわけではありませんが、立ち上る噴煙をバックに採水するという稀有な体験となりましたが、島周辺に棲む未開の地の生物の一端を明らかにすることが出来ました。

世界を見ると潜水調査などが難しい海域などはたくさんあります。海溝や深海となると更にハードルは高くなります。しかし「バケツ一杯の水を採水すれば調べられる」環境DNAによる調査ですと、世界中の海の中をまるで潜って見て来たかのように、そこに棲む魚が分かるわけです。

この方法ならば、各国の研究者が連携すればすぐに出来ることでもあります。私自身はこれだけのことを環境DNAで明らかにすることが出来たので、その実行は次世代の研究者に託したいと思っています。



環境DNAで分かる海の生物データは
気象予測のように人類に貢献するもの
になりえるはずです。

で、いまだに苦い思い出の夢を見る
ことがある私がそうなれたのですから、
勉強というのは探求心に突き動かされる
ものだと思います。

—先生が勤務している千葉県立
中央博物館の魅力も教えていた
だけですか。

宮 一言で言うと“千葉のことなら
何でもわかる博物館”です。千葉の
ローカルなことに力を入れていまし
て、今話題のチバニアンなどがより
深く詳しく、面白くわかることはも
ちろんですが、科学分野だけでなく
「千葉の鉄道」の展示を行うような
企画展を開催したり、多岐にわたります。
様々な面から見た千葉の歴史的事
件、あるいは民族的な目線からの展
示など、あらゆることを百科事典
的に楽しめる博物館ですので、是非
ご来館ください。(図5)

—好奇心と探究心で新分野を切り
開かれた宮先生の更なるご活躍を
期待いたします。

次号「科学の峰々」は、
独立行政法人 日本学術振興会
理事 家 泰弘先生(東京大学名誉
教授)にお話を伺います。

もらえて、研究の一方で楽しい経験
となりました。(図4)

—そうした釣りから芽生えた探求
心が、世界の大発見にまでつな
がっていったわけですね。ところで
先生は小中学生の理科教育につ
いて、どうお考えでしょうか。

宮 一番大事なのは好奇心と探
求心で、それを育むためには、やは
り子供の時に遊ぶことだと思います。
小さな時から勉強なんかしていて
はダメで、それはある時からでいい
と思います。私の小学生の時は本
当に釣りのことしか考えてなく、そ
れが発展してアカデミアの世界を知
り、色々な研究に結果的につながり
ましたが、根本は探求心です。

学校のテストのように人が出した
問題を解くことより、誰も知らないこ
とを自分で発見したいという気持ち
が原動力にあります。幻のサメと言
われていたミツクリザメを発見したり、
33,000種の魚類の大系統を作り上
げた時に、これまで考えられていな

かったグループを突き止めたり出来
たのも、そうした思いが根本にあっ
たからと言えるでしょう。

若い頃の勉強ですごく有益に
なったことで覚えているのが、英語
で書かれた大著をまるごと一冊翻
訳したことでした。言語についても
大変大きな学びになりました。翻訳
するうちに、英語の言語構造そのも
のがどういうなりたちなのか、とい
うことがどんどん体に染みついて理
解できるようになりました。

おかげでその後、英語で分かり
やすい文章が書けるようになり、私
の英語の論文を読んだネイティブ
の研究者からも読みやすいとほめ
ていただいています。

定期テストなどがとにかく大嫌い



図5. 千葉県立中央博物館のウェブサイトのトップページ。
1年中様々な行事が開催されている。「バケツ一杯の水でエビやカニがわかる技術」
も紹介されている。

科研費獲得への奮闘が 環境DNAへの道を拓く

—先生は環境DNAに取り組む以
前は、「ミトコンドリアゲノム全長配列
の高速決定法」を開発し魚種3万
種の由来を解明されました。その
後に「環境DNA」に照準を合わせた
きっかけには、確固たるビジョンのよ
うなものがあったのでしょうか。

宮 実はそんなに格好いいものでは
ありません。研究テーマを転換した
最大の理由はただ一つに尽きまし
て「科研費の不採択」です。それ
まで15年に渡り、共同研究者の先
生と一緒にミトコンドリアゲノム関
連で研究費を獲得出来ていました。
その期間、私は研究プロジェクトを
マンネリ化させるのではなく、より
発展的で意義あるものにしなければ
ならないという意識を強く持って
いて、不採択となった年も熟考した
末に申請書を書き上げ、その内容
は周囲の人々にも評価を受けまし
た。

当然採択されるだろうと高をく
くっていました…「不採択」という
悪夢の宣告を受け、本当に頭が真
白になりました。大きさでなく、研
究に関して“一文無し”になること
を告知されたようなものなのです。

これは今までの延長線上の研究
ではない、新しい分野に何か挑
戦しなければならない、と考
えに考え抜いたあげく思い出した
のが、その1年程前にデンマーク
の研究者から聞いたことがあ
った環境DNAについてのこと
でした。

当時は半信半疑の技術で、むしろ
“疑”の方が強かったようなイメ

ジすらありましたが、詳細を調
べていくと大きな可能性を秘めて
いるように感じました。

そこで資金を提供してくれそ
うな別の助成団体で、しかも環
境DNA関連という絞り込んだ
テーマで公募をしているところ
はないかと探したところ、奇
跡的に見つけることが出来まし
た。すでに提案していたグル
ープもあったと知り、コンタ
クトをとると、私が考えた領
域が研究項目に入っていな
かったので共同研究すること
は有意義だと理解していただき
ました。結果的に共同研究チ
ームを組織して応募し、採
択されました。

科研費の不採択から環境DNA
という全くの未知の分野に踏
み出したわけですが、その結
果色々な発見も出来たわけ
で、何がどう転がるかは、
分からないものですね。

—博物館勤務の仕事をしなが
ら、科研費の不採択をバネに
新分野へ踏み出し、他の研
究者と交流をはかられた
行動力に敬服します。

宮 県立の博物館に所属する
私のような地方公務員は、サイ
エンスの世界では明らかにア
ウトローだと思います。研
究を続けてきたこと自体が
珍しい事例になると思いま
すが、これは日本に限ったこ
とでなく世界中で同じ現象
が見られます。

そんな中で嬉しいメッセージも
いただきました。若い研究者
が公募に応募する際に私のこ
とを思い浮かべたそうです。
「地方の博物館でもこれだけ
の研究成果をあげられるの
だから、業績をあげられるか
ど

うかは組織うんぬんではなく
本人次第」と思ったそうです。

その通りだと思いますし、一
人の研究者に前向きな気持ち
を与えられたのは、心から大
変嬉しく思いました。

大発見につながる研究の 源泉は、好奇心と探求心

—先生は子供の頃から魚に興
味をお持ちだったのですか。

宮 私は子供の頃から釣りが
大好きでした。勉強なんかそ
っちのけで釣りに夢中で、自
分で言うのもなんですが才能
があったと思います。という
よりも、こんな魚を釣りたい
と思ったら、その目的に向か
って探求心をどこまでも持
って行動していました。天気
はどうだろうか、どんな仕掛
けが必要か、どんなテクニ
ックがあるのか、どんな技を
使えばいいか、などと小学
生の頃から考えてばかりで
した。それがピタリとはま
った時が快感でした。

成人してからは、好んで釣
りすることは長らくありませ
んでしたが、数年前に釣り番
組への出演依頼が来て、その
練習に30年ぶりに竿を握
って釣りをしたら、プロの方
に「プロになりませんか…」
とほめていただきました。や
はり小さな時にやったことは
体が覚えているのですね。自
分が主人公の釣り番組も作
っ



図4. 釣り番組「Fishing Café」の第46回「時代
を超えた探究心が世界を変える」と題する主演番組。