

## 将来の環境変化と生態系の評価

池田 茂・村岡敬子

### 1. はじめに

50年先など将来の環境変化を考えると、地球温暖化の影響はどのようなだろうか。世界の平均気温は長期的に見て上昇傾向にあり、1891年以降100年あたり、 $0.68^{\circ}\text{C}$ の割合で上昇した。特に北半球の中・高緯度では顕著な気温上昇がみられる。また、海面水位は海水の熱膨張、氷河や氷床の融解や流出により上昇しており、海洋内部の水温も上昇している<sup>1)</sup>。

日本の平均気温も上昇傾向で、100年あたり $1.15^{\circ}\text{C}$ の割合で上昇し、最低気温が $25^{\circ}\text{C}$ 以上の熱帯夜の日数も増加傾向を示している。また、降雨に目を向ければ、日降雨量が100mm以上の大雨の日数は増加傾向にあり、さらなるデータの蓄積が必要であるものの、アメダス観測による時間あたり50mm以上の頻度は、明瞭な増加傾向にある。

気候変動の影響と考えられる現象は、日本でも既に現れ始めており、今後様々な分野でその影響が拡大するとみられている。例えば、大雨に伴う災害のリスクの増加、地域によって無降水日数の増加や積雪量の減少による渇水の増加が予測されている。環境分野では、気候変動が水温や水質に及ぼす影響要因と、その相互の関連は非常に複雑であるが、河川や湖などにおいて、水温上昇に伴って植物プランクトンが増加したり、水循環が十分に行われなくなったりすることで、水質が悪化する可能性がある。また、我々の身近にも、既に植生の変化、野生哺乳類の増加や分布拡大、一部昆虫類の北上などが確認されている<sup>1)</sup>。

河川水辺の国勢調査は、河川事業、河川管理等を適切に推進するため、河川を環境という観点から捉えた定期的、継続的、統一的な河川に関する基礎情報の収集整備を図る目的で、平成2年より、植物、魚介類、底生動物、鳥類、両生類、昆虫類等に関して実施されてきている。生態系に関

する調査資料は、水文や水質に関する調査資料と比較して蓄積も浅く、今後とも収集・整備を継続的に行う必要がある。

近年、生物の遺伝情報を活用した技術は、急速に進歩し、長期的な生物の生活史特性の推察、及び環境の調査・評価など、その応用は多方面にわたっている。そこで、遺伝情報に関する技術について、将来の可能性及び土木研究所における取り組みを紹介する。

### 2. 遺伝子技術の発展とその応用

#### 2.1 遺伝子技術の急速な発展をもたらした発見

ノーベル化学賞を2回受賞した唯一の人物であるとともに、もう1回(計3回)、ノーベル賞を受賞するのではといわれていた研究者がいた。英国の生化学者、故フレデリック・サンガー(1918～2013)である。彼らが発見した「DNA (deoxyribonucleic acid) 塩基配列決定法 (DNA sequencing)」により、遺伝子の情報をDNAの最小単位である1塩基まで詳細に文字情報として表わし、比較することができるようになった。サンガーの後、1993年にノーベル化学賞を受賞した米国の生化学者キャリー・マリスが開発した「PCR (polymerase chain reaction、ポリメラーゼ連鎖反応)法」は、微量なDNAを使って遺伝子の分析をすることを可能とした。これらの技術は、さらに多くの研究者や技術者によって応用研究・開発がすすめられ、医薬の領域だけでなく生物学、農学、考古学、歴史学、そして犯罪捜査(法医学)などの分野において、これまでわからなかったことをあぶり出す、重要なツールとなっている。これらの分野に直接かかわっていない我々にとっても、「DNA解析の結果に基づけば、全ての人類の祖先はアフリカの1女性(ミトコンドリア・イブ)に行きつく<sup>2)</sup>」、「犯行現場に残されていた〇〇と容疑者のDNA型が一致」などの記事は、誰もが一度ならず目にしたことがあるだろう。

環境分野の調査においても、こうした技術を活

A survey and evaluation of the environment in the future

\*土木用語解説：PCR法

用した多くの事例を目にすることができる。例えば、「哺乳類の糞のDNAから生息個体数や行動範囲を推定<sup>3)</sup>」、「遺伝情報に基づき保全すべき在来種の集団を決定<sup>4)</sup>」などがあげられる。

## 2.2 水の中から生物情報を得る！

国内外の水域の生物を対象とした研究者らが注目している調査手法に「環境DNA」と呼ばれるものがある<sup>5)</sup>。これは、水中に浮遊する生物の組織（粘膜など）のDNAを分析し、その環境中に何が（種判別）どのくらい（定量）いたかを、生物を直接観察することなく捉えようとする技術である。

サンショウウオを例に、「環境DNA」の概要を説明しよう（図-1）。サンショウウオの体の表面は粘膜でおおわれている。活動している間、体の表面や口腔などから少しずつサンショウウオの粘膜が水中に分散していく。サンショウウオが多ければ、あるいは大きなサンショウウオが多ければ、周辺に浮遊する粘膜の量は多くなる。調査者は、調査地点にて河川水を採水し、実験室に持ち帰る。ここに、採水したサンプル水の中には調査地点周辺に生息するサンショウウオ以外の生物や水域外から流入した落ち葉や昆虫などさまざまな生物の粘膜や組織片が混在しているが、これらを全てひっくるめて、DNAを抽出する。この全DNAからサンショウウオ特有のDNAの量を分析し、地点毎の比較を行っていくのである。この技術は、生物種毎にその生物特有の遺伝情報が存在することを利用したもので、あらかじめサンショウウオ特有のDNAを特定し、定量する方法が検証実験を通じて明らかとなり、実用化されれば、生物に

直接接触することなく、簡便に生物分布調査を行うことが可能となる。まだ研究段階ではあるが、「環境DNA」の技術は、将来的に希少生物を含む魚類の調査や評価等への応用が期待される技術である。

DNAは全ての生物に、体の大小にかかわらず存在する。まだすぐにはいかないが、今後微生物等あらゆる生物の遺伝情報が蓄積されることによって河川・湖沼におけるプランクトンの調査も、採水⇒DNA抽出⇒分析のステップで分類・定量が可能となる日が将来やってくるのではないだろうか。

## 3. 現在の取り組み状況

### 3.1 魚類集団の多様性

石川啄木が「ふるさとの 訛なつかし 停車場の人ごみの中に そを聴きに行く」と詠んだ通り、上野駅や東京駅では、いろいろな土地の言葉を耳にすることができる。それぞれの地域の文化や風土につちかわれてきたこの訛りは、近い地域の間においては共通点も多い。生物の遺伝情報も、またしかりである。特に淡水魚のように、生涯にわたりその水系内で暮らし、他の水系の個体とは交流しない生活史をもつものは、水系ごとに、長い期間にわたり蓄積されてきた個性を遺伝情報の中に見ることができる。そうして、人為的な移動がなされていないならば、長い歴史の中で互いに交わる可能性があった近い水系間でよく似ており、遠い水系間では異なってくる。こうした違いは、その地域で魚が生活する上で重要な意味を持つこともあり、それぞれの水系や地域に生息してきた

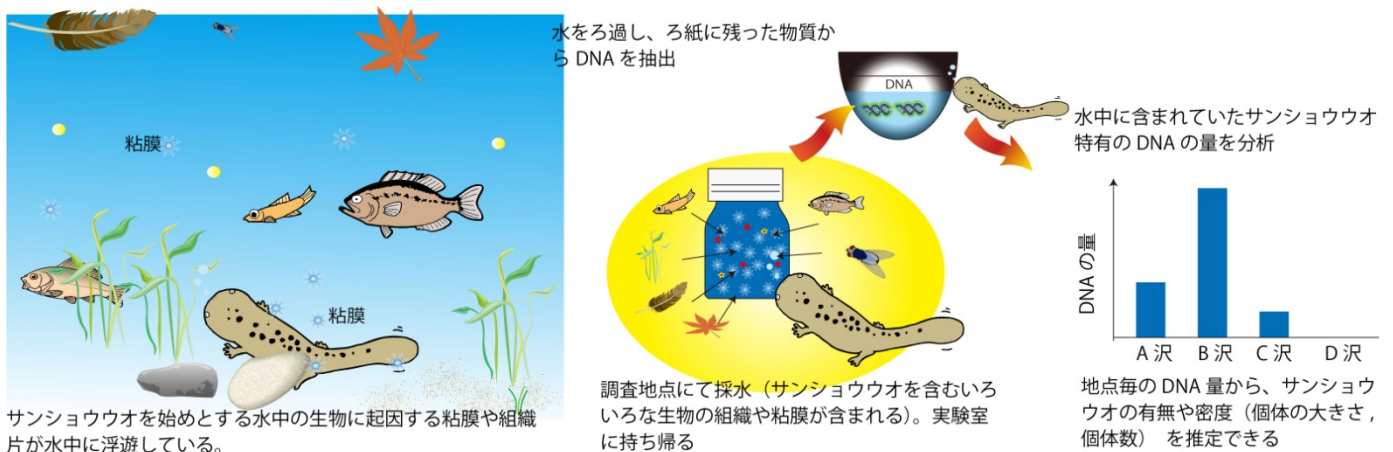


図-1 「環境DNA」の概要

魚類集団を守っていくことが重要である。

さらに、遺伝情報の違いを細かく比較していくと、互いに交わる同じ地域に生息しながらも、個体ごとの違いを見出すことができる。冒頭のお国訛りにおきかえれば、同じ地域に暮らす人々の間でも、家族によって話し方に癖があるようなもので、地域集団の豊かさ（＝地域集団の遺伝的多様性）を示す指標となる。もし、長い時間を経て蓄積されてきた地域集団の遺伝的多様性が急激に減少するようなことがあれば、それは繁殖や仔稚魚の生残等において何らかの大きなインパクトが発生したことを示す。また、過去において著しい個体数の減少を経験していれば、その履歴が遺伝情報に記録されることとなる。遺伝情報の多様性は、過去あるいは将来における環境の変化などのインパクトによる生態系への影響を評価する指標のひとつとなる。

### 3.2 魚類への応用

こうした地域集団の遺伝的多様性を使って、魚類集団の動態を推定することができる。ここに、魚類の利用する環境に変化があったとする。環境の変化後における影響を適格に評価するためには、それぞれの魚種がどのくらいの範囲を移動しながら集団を形成しているのか捉えたい。検討を行うのが望ましいが、現地調査でそれを捉えるのはなかなか困難である。もし、その魚種の移動・分散範囲が大きく、遺伝的な交流が広い範囲で行われていれば、血縁度が高い（遺伝的に近い）個体が広く分布することとなる。一方、移動・分散範囲が小さい場合には、対象とする地点から遠ざかると血縁度が急速に低下する現象がみられるはずである（図-2）。各々の魚種がどのくらいの移

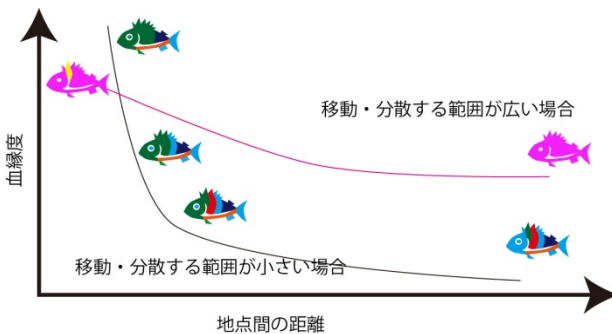


図-2 移動・分散の範囲と血縁度

ある魚種が河川内の上下流等の広い範囲にわたり移動・分散していれば、遠く離れた地点間においても血縁度は高く保たれる（上）。一方、移動・分散範囲が小さければ、対象とする地点から遠ざかると、血縁度が低くなりやすい（下）。

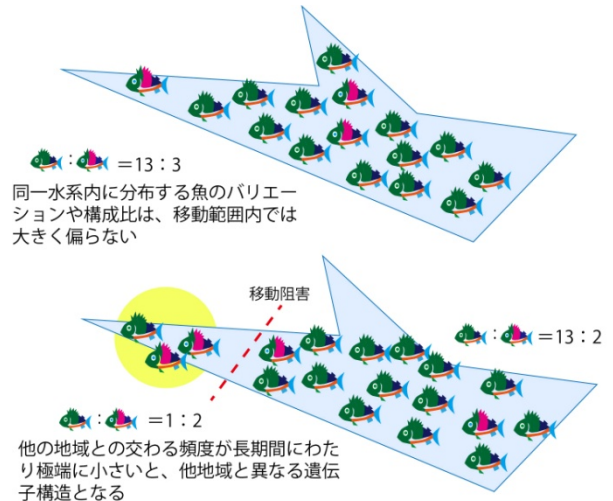


図-3 河川における移動障害を調べる

動・分散範囲をもっているかについて、河川生態チームでは、太田川などをフィールドとした研究を進めており、研究成果が得られつつあるところである。また、移動障害要因があれば、魚類集団内の遺伝的組成に偏りが生じることを利用し、魚類の移動環境の評価にも取り組んでいる<sup>6),7)</sup>（図-3）。

### 3.3 植物への応用

外来種であり河川の樹林化の一因でもあるハリエンジュは種子からの繁殖だけでなく、株や根、枝などからも萌芽する特性をもつ。そのため、出水時などに上流から種子や枝・根などの形で流下してきたものが下流に定着し、拡大している場合もあり、そのような場合には樹林化が問題となっているエリアだけでなく、上流域における主たる供給源の当該樹種に対しても適切な措置を行うことが樹林化対策として有効となる可能性がある。天竜川の流域内におけるハリエンジュの侵入や拡大の仕組みを推定することを試みた事例では、各地点の遺伝子が他水系のハリエンジュの遺伝子と複雑に絡み合っていることから、流域外など複数の地点を起源とするハリエンジュが流域内に分布することが示された<sup>8)</sup>。また遺伝情報が一致するクローン個体の比率に、地点間のばらつきがみられた（図-4）。クローン率が高い地点は他地域からの侵入が小さく当該地点でクローン樹林帯を形成しやすい、あるいは短時間にクローン個体が樹林を形成した可能性が考えられる。さらに、各地点のクローン率をみると、上流から下流方向への増加や減少といった一定の傾向は認められない。



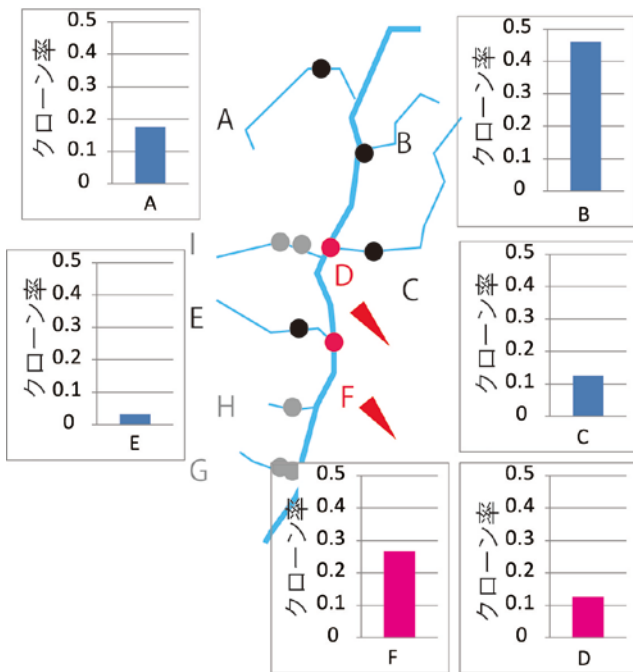


図-4 ハリエンジユの地点内のクローン率

地点D、Fは本川、他は支川。クローン率は、遺伝情報が分析の範囲で完全に一致するものをクローン個体として判断した。

このように、植生分布など見た目では分かりにくい、植物の分布域拡大の履歴や繁殖適地を遺伝情報から推定することができる。この技術は、外来種の抑制対策だけでなく、貴重植物の保全や移植などにも活用が可能である。

#### 4. おわりに

気候変動に関する第4次評価報告書は、「適応策と緩和策のどちらも、その一方だけでは全ての気候変動の影響を防ぐことはできないが、緩和策と適応策の両者が相互に補完し合い、気候変動のリスクを大きく低減することが可能であることは、確信度が高い。」と評価している。緩和策は、根本的な原因である温室効果ガスの削減であり、適応策は緩和策を講じても生じる可能性のある避けられない影響に対する対処という関係にある。

地球温暖化に係る環境への影響評価は、生物の生活史等長期的な視点にも立って、ある特定の要

素や生物だけに着目するのではなく、複合的な変化を含めて多面的に対処していく必要がある。このため、これまでの河川環境に関する情報を蓄積していくとともに、遺伝子技術など先端技術の活用を含めて、河川環境、生態系の状態や変化を継続的にきめ細かく調査・評価し、効率的な方策を講じていくことが重要である。

#### 参考文献

- 1) 気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート：日本の気候変動とその影響 2012 年度版、2012
- 2) 例えば、Bryan Sykes 著、大野晶子訳、イブと7人の娘たち、ヴィレッジブックス、2001
- 3) 電力中央研究所 研究報告書 V08043：中型哺乳類を典型性注目種とした生態系アセスメント手法の開発－DNA 情報を利用したタヌキ・アナグマの個体数推定－、2009
- 4) 村岡敬子、三輪準二、高橋政則：遺伝情報を用いたダム周辺に生息する希少魚種の保全計画、ダム技術 305、pp22～29、2012
- 5) Minamoto, T., Yamanaka, H., et.al. Surveillance of fish species composition using environmental DNA, Limnology, 2011
- 6) 土木研究所共同研究報告書号、河川事業における遺伝情報の活用に関する共同研究報告書、(2015 予定)
- 7) 村岡敬子、篠塚由美、須藤祐二、他：AFLP を用いた魚類の移動環境評価の試み、DNA 多型 Vol.20、pp132～137、2012
- 8) 村岡敬子、池田茂、赤松史一他：河川事業への遺伝情報活用の試み、DNA 多型、Vol.22、pp77～79、2014

池田 茂



(独)土木研究所つくば中央  
研究所水環境研究グループ長  
Shigeru IKEDA

村岡敬子



(独)土木研究所つくば中央  
研究所水環境研究グループ  
河川生態チーム 主任  
研究員  
Keiko MURAOKA