



環境DNA分析手法による高校生研究活動への支援

源, 利文
伊藤, 真之
蛸名, 邦禎

(Citation)

日本科学教育学会研究会研究報告, 30(7):21-24

(Issue Date)

2016-05-28

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©日本科学教育学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003941>



環境 DNA 分析手法による高校生研究活動への支援

Supporting research activities of high school students using environmental DNA analysis

源利文、伊藤真之、蛭名邦禎

MINAMOTO, Toshifumi^{1,2}, ITOH, Masayuki^{1,2}, and EBINA, Kuniyoshi^{1,2}¹神戸大学大学院人間発達環境学研究科, ²神戸大学サイエンスショップ¹Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University²Kobe University Science Shop

【要約】高校生の科学研究活動がますますさかんになる中、生態学分野の研究では十分な数のフィールドデータを得られないなどの困難がある。ここでは、近年開発が進み実用化が急速に進む環境 DNA 分析手法を用いた高校生の研究活動への支援を行った例について報告する。兵庫県立農業高等学校の生物部が実施した希少淡水魚カワバタモロコの調査研究では、高大連携しての調査の結果、カワバタモロコの新規生息地を複数発見することに成功した。また、兵庫県立加古川東高校では外来のアカミミガメの分布調査に用いることのできる環境 DNA 分析系を開発し、野外への適用に成功した。これらの高校の研究成果は生態学分野の学会誌に学術論文として掲載されたり学会で賞を獲得したりするなど、学術的にもレベルの高い研究となった。本稿ではこのような事例を紹介し、環境 DNA 分析手法を用いた科学教育や環境教育の可能性について述べる。

【キーワード】 環境 DNA 分析, 課題研究, 部活動, PCR (Polymerase Chain Reaction)

1. はじめに

近年、高校生の科学研究活動がますます盛んになっている。科学部などの部活動だけでなく、スーパーサイエンスハイスクール指定校などにおける課題研究や、個人で科学研究に取り組む生徒も多い。例えば、兵庫県で毎年冬に開催されている高校生の科学技術分野の研究発表・交流会「サイエンスフェア in 兵庫」には兵庫県内を中心に約 1000 人の高校生および高専生が参加し、100 件以上の研究発表が行われる。このような高校生の科学研究活動の中でも、生態学分野は比較的ポピュラーなテーマである。日本生態学会の全国大会における高校生のポスター発表には毎年数十件の応募があり、2016 年 3 月に仙台で開催された大会では全国の高校から合計 40 件の発表があった。

このように、生態学分野は高校生にとって興味を引く研究分野のひとつであるが、一方で様々な困難もある。特に、基本的に平日の昼間には授業がある高校生にとって、フィールドデータの数を増やすことは困難であり、結果として、統計的な

解析に耐え得るデータの取得まで至らない例が多く見られる。また、生物種によっては同定が難しく、そのことも研究を難しくする。つまり、潜在的には多くの高校生が生態学的な研究への興味を持っているが、本格的なデータをとることの困難さがレベルの高い研究を阻害する要因の一つとなっている可能性がある。

著者らのグループでは、環境 DNA 分析手法を用いて、高校生の研究活動、とりわけ水域生態学分野の研究の支援を行っている。環境 DNA とは環境サンプル中に存在する DNA の総称である。近年、環境 DNA を分析することで、特に水域の大型生物（ここでは微生物ではない、目に見える大きさの生物を指す）の分布情報を得ることが可能である事が報告され (Ficetola et al., 2009; Minamoto et al., 2012)、生態学分野の研究ツールとして注目されている。水域における環境 DNA 分析では、調査地で行う作業が採水だけであるために多地点での調査を行うことが容易であることや、生物種の同定を DNA の塩基配列によって行うために生物分類の専門的な知識が不要であることなど、上

に述べたような高校生が生態学の研究に取り組む上で直面する困難を取り除くことができる可能性がある。本稿では、環境 DNA 分析を用いた高校生の研究活動の事例を紹介し、期待される効果と今後の課題について述べる。

2. 実践例 1: 兵庫県立農業高校におけるカワバタモロコ環境 DNA 調査

兵庫県立農業高校生物部では以前からカワバタモロコの保全活動に取り組んで来た。カワバタモロコはコイ科の淡水魚で、環境省レッドリストに絶滅危惧 IB 類（近い将来における野生での絶滅の危険性が高いもの）として記載されている絶滅危惧種である。兵庫県版および神戸版のレッドデータでも A ランク（緊急の保全対策、厳重な保全対策の必要な種）に指定されている。農業高校による保全のための取り組みは従来から高く評価されてきた。

しかし、カワバタモロコの生息地は兵庫県下で約 30 箇所が知られているのみであり、カワバタモロコの新規生息地の探索や、生息に適した条件の検討のためには、生息地の簡便な調査法の確立が求められていた。そこで、2013 年度から、神戸大学および広島大学と共同で、環境 DNA 分析手法を用いたカワバタモロコの新規生息地の探索に取り組んだ。以下の取り組みの内容の詳細については、福岡ら（印刷中）を参照頂きたい。



図 1 野外調査の様子（兵庫県立農業高校）

第一段階として、大学側が環境 DNA の検出系を作成し、高校側は検出系の評価のために現地での

捕獲調査を担当した。その結果、生息が確認されている池では環境 DNA が検出され、生息しないと考えられる池では環境 DNA が検出されないという目論み通りの結果が得られたため、次は本格的な採水調査を行った。約 80 箇所の池で採水し、6 箇所の池からカワバタモロコの環境 DNA の検出に成功した。後日農業高校の生徒らによって環境 DNA の検出された 6 箇所の池での捕獲調査を行ったところ、5 箇所でカワバタモロコの生息が確認され、環境 DNA 分析を通じた高大の連携によって絶滅危惧種の新規生息地を多数同時に発見するという稀有な事例となった。農業高校はこれらの研究結果をまとめ、2014 年度の兵庫県総合文化祭自然科学部門で最優秀賞、2015 年度の全国総合文化祭で奨励賞を獲得した。また、この内容について、高大の共著によって学術論文をまとめるなど（福岡ら、印刷中）、学術的な研究としても十分に高いレベルの研究活動を行うことができた。

3. 実践例 2: 兵庫県立加古川東高校におけるアカミミガメの環境 DNA 調査

2014 年度からは兵庫県立加古川東高校の課題研究として、環境 DNA 分析を用いたアカミミガメの生息状況に関する研究を始めた。アカミミガメは北米原産の外来種であり、資源の競合等によってニホンイシガメなど日本在来のカメ類に大きな影響を与えている。国際的には世界自然保護連合 (IUCN) の「世界の侵略的外来種ワースト 100」にリストされ、国内でも外来生物法で要注意外来生物に指定されている。加古川東高校では課題研究として 2014 年度からアカミミガメの環境 DNA 分析法の開発を始めた。アカミミガメの検出系は、大学側の指導の下、高校生自身が設計作業を行った。1 年間の課題研究を通じて、検出系がアカミミガメを特異的に検出できることを確認した。2015 年度には研究を生物部が引き継ぎ、野外におけるアカミミガメの環境 DNA 検出に取り組んだ（図 2）。その結果、学校周辺の 11 箇所の水サンプル全てからアカミミガメの環境 DNA が検出され、兵庫県東播地域におけるアカミミガメの深刻な侵入状況を反映した結果を得ることができた。



図2 水の濾過作業の様子（加古川東高校）

爬虫類の環境DNA検出は国際的にも研究例が少なく、高校生による本研究も科学的な重要度の高いものである。この成果は2015年度の兵庫県高等学校総合文化祭で発表され優良賞を獲得し、また、2016年の日本生態学会全国大会で高校生ポスター部門審査員特別賞を受賞するなど、高く評価された。

4. 実習体験授業等への取り込み例

高校生の科学研究活動への支援と平行して、高大連携事業（実習体験等）においても環境DNA分析実習を教育プログラム化している。具体的なプログラムの流れは図3の通りである。

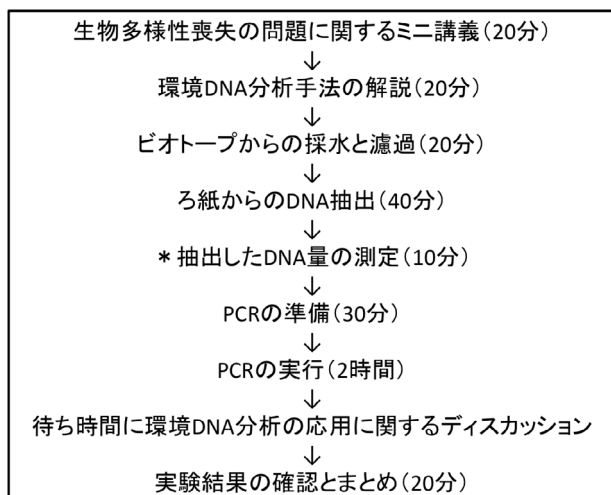


図3 高大連携事業における環境DNA分析プログラムの流れ。合計4時間40分程度かかる。時間が2時間程度の場合は、アスタリスク(*)で示したDNA量の測定までで終える。

本プログラムでは導入時に地球環境問題としての生物多様性の喪失の問題を取り上げる。これまでの経験上、多くの生徒にとって地球環境問題と言えば地球温暖化（気候変動）の問題であり、その他の地球環境問題は知識としては知っているものの、地球温暖化が最も重大な問題で深刻な状況にあるという認識を生徒達は強く持っている。そこで、Nature 誌に掲載された Röckstrom らのプラネタリーバウンダリーの図（Röckstrom et al. 2009: Figure 1）を示しながら生物多様性の喪失が大きな問題である事を示す。その後、生物分布の現状把握の難しさ、それを解決するための手法としての環境DNA分析という流れで実験を導入すると、研究の意義や、実際に行う実験の意味の理解を促進するようである。この実習では対象DNAの増幅を行うPCR（Polymerase Chain Reaction: ポリメラーゼ連鎖反応）の待ち時間が比較的長いのが欠点であるが、導入時に問題点を良く把握していれば、待ち時間に行うディスカッションが大変に盛り上がり、待ち時間を有効に使うことができる。

5. 考察

環境DNA分析手法は現場での作業が採水だけであるため、フィールドデータを数多く得ることが容易であり、高校生にとって本格的な研究を行うのが難しい生態学分野の研究ツールとして有用である。環境DNA分析はサンプル水中に存在するDNA情報から生物分布を描き出すものであり、それ自体のおもしろさが生徒達の興味を引くようである。また、特に「生きもの好き」な生徒でなくても研究に取り組めることから、そのような生徒が調査・研究を通じて生きものや生態系への理解を深める、あるいは「生きもの好き」へと変容する可能性も考えられる。さらに、リアルタイムPCRや通常のPCRを用いた実験は、その手法の理解のために、化学、物理、あるいは数学などの他分野の学問の知識が必要となる。加古川東高校の場合のように、検出系を自ら設計する場合にはバイオインフォマティクスの基礎的な知識も要求される。結果として、専門知識だけでなく幅広い

知識を要求される通常の科学の営みを高校生に伝達する手段として有効であると考えられる。また、地球環境問題としての生物多様性の喪失の問題の理解と組み合わせることで環境教育の面でも効果があるようである。なお、本稿の趣旨からは離れるが、ここで紹介した2例の高校と大学側が知り合うきっかけとなったのは、いずれも一般向けの講演会やサイエンスカフェであった。このような一般向けの科学イベントの開催が高校生の科学活動にとって重要な意義を持つことも特筆しておきたい。

ここまで環境DNA分析を用いた高校生の科学研究活動の支援について、ポジティブな面を述べてきたが、いくつか課題もある。最大の課題は実験に必要な機器が高価で、一般に高校に設置されているものではないことである。ここで紹介した2例の研究はいずれもリアルタイムPCR機を用いたPCR実験を行っており、実験には大学の機器を利用している。現在、この実験を通常のPCR機で行えるよう、実験系の改善を行っているところであるが、通常のPCR機も必ずしも高校で備えているものではない。高価な機器を必要としない定温反応の実験系に持ち込むことで、より手軽に実験を行えるようになると考えられ、通常の実験教材としての利用も可能になる可能性がある。また、先に教育面の効果を述べたが、DNA抽出、PCR実験、シーケンシングなどは原理の理解が追いつかないとブラックボックス化してしまい、意味がわからないままに結果を得てしまうケースもありうる。そのため、実験の原理の説明にはしっかりと時間を割いて生徒の理解度を確認しながら進める必要がある。さらに、生態学の研究における生きもの調査はもともと「生きもの好き」な生徒にとっては最も楽しいシーンであるはずだが、環境DNA分析の場合には生きものそのものを直接見ることなく調査を終えてしまうことなど、生物や生態といった身近な自然への興味を喚起することが難しい側面もある。この点については、調査地に出た際に知識のある者が生きものや環境に関する知識を提供することで補うことができるだろう。

6. おわりに

本稿では、環境DNA分析手法を用いた高校生の科学研究活動の支援についての事例を報告し、その教育効果について考察した。魚類や爬虫類といった目に見える大きさの生物の環境DNA分析は手法自体が新しく、環境DNAが時空間的にどれくらいの範囲の生物分布を反映するかなど、まだわからない点が多い。しかし、現場で行う作業が採水だけであることや、比較的高価な器材が必要ではあるものの、実験自体はそれほど難しくないため、高校生でも取り組む事へのハードルが低い。最先端の技術でありながら、高校生でも取り組むことができるという点で、高校生の科学研究さらには環境教育や科学教育の手段として有効なのではないかと考えられる。また、環境DNAの研究者の側からも、様々な地域の様々な水域の環境DNAアーカイビングの重要性が指摘されており（源ら、印刷中）、高校生をはじめとして市民科学者らとともにサンプルを収集することは、水中生物相のスナップショットを後世に残すために重要な役割を果たすことだろう。今回の報告では、環境教育や科学教育としての効果を測定することはできなかったが、今後は研究への参加や高大連携事業を通じた教育効果や、生きものや生態系に対する態度の変容の過程についての検討も行っていく必要があるだろう。

引用文献

- Ficetola, G. F. et al.: Species detection using environmental DNA from water samples, *Biology Letters*, 4 (4), 423-425, 2008
- 福岡有紗ほか5名: 在来希少種カワバタモロコの環境DNAによる検出系の確立, 日本生態学会誌, 印刷中.
- Minamoto, T. et al.: Surveillance of fish species composition using environmental DNA. *Limnology*, 13 (2), 193-197, 2012.
- 源利文ほか5名: 環境DNA分析のさらなる進展にむけて, 日本生態学会誌, 印刷中.
- Rockström, J. et al.: A safe operating space for humanity, *Nature*, 461 (24), 472-475, 2009.