

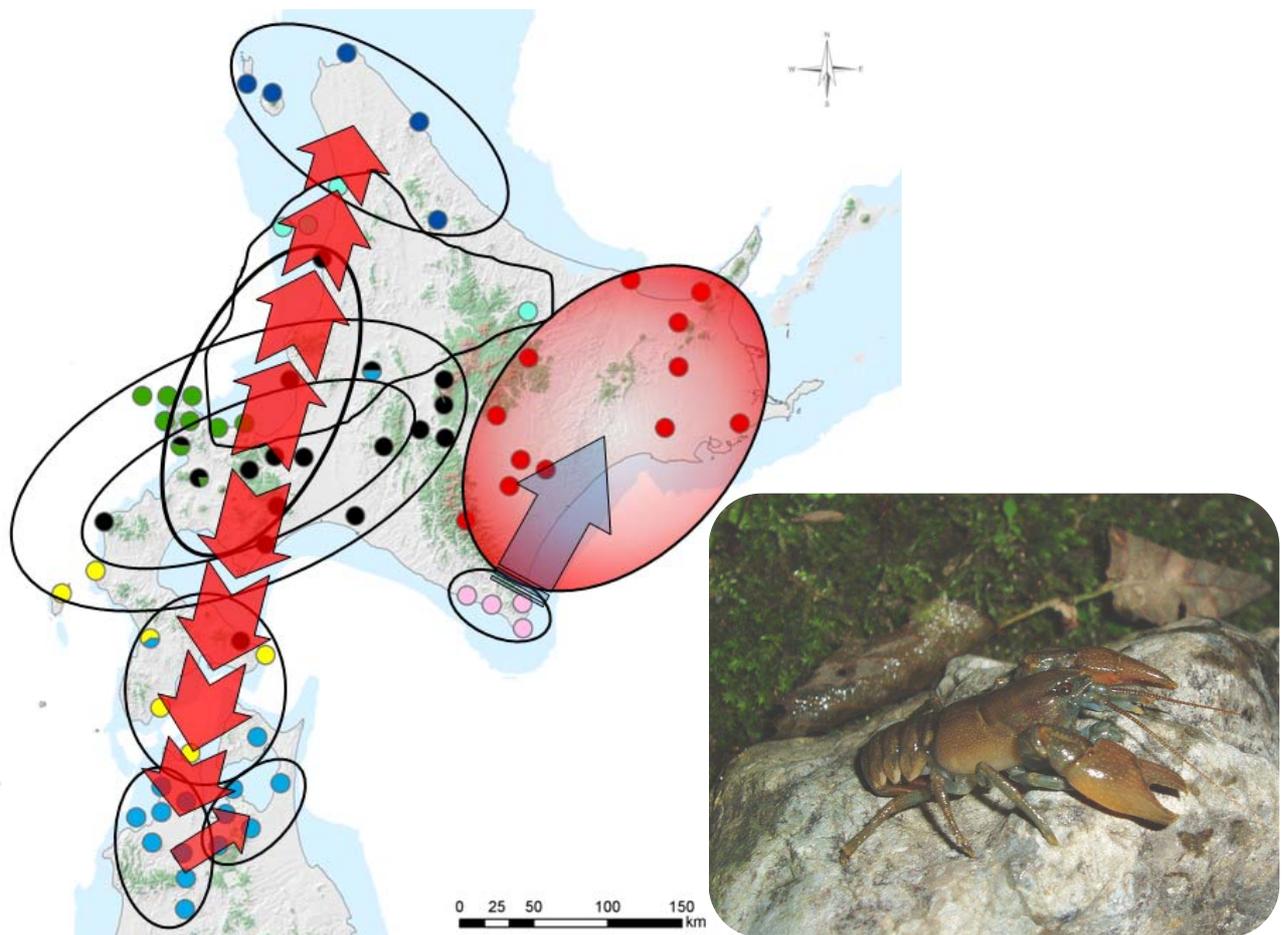
ニホンザリガニのDNAに北日本の歴史が保存：地域絶滅を危惧

(2012年5月1日：第1稿)

- ・絶滅危惧種ニホンザリガニのDNAに地史や古環境など北日本の歴史が残されていることを発見
- ・現在進行している地域個体群の絶滅が歴史遺産の損失に繋がることを指摘
- ・日本唯一の固有種と考えられていたが別種レベルに分かれた2グループが存在することを発見

Koizumi I., Usio N., Kawai T., Azuma N. and Masuda R. (2012) Loss of genetic diversity means loss of geological information: the endangered Japanese crayfish possessed remarkable historical footprints (遺伝的多様性の損失は地史的情報の損失を意味する：絶滅危惧種ニホンザリガニが示す顕著な歴史的痕跡) .

PLoS ONE, 7, e33986



本研究成果は、北海道新聞（朝刊一面）、朝日新聞（夕刊一面、朝日デジタル）、科学新聞（一面）、共同通信社、毎日新聞、日経新聞（日経デジタル）、東奥日報、秋田魁新報、河北新聞、マイナビニュース、Yahoo ニュース、その他多くのメディアに取り上げられました。

研究の概略（日本語）はこちらをご覧ください：http://www.hokudai.ac.jp/news/120329_pr_cris.pdf

論文はこちらからダウンロードできます：

<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0033986>

本稿ではニホンザリガニの学術的・歴史的価値について本研究成果を踏まえながら説明し、本種の保護管理について意見を述べます。ニホンザリガニ、その他絶滅危惧種の保護管理に携わっている方々に読んで頂きたいと思い執筆しました。はじめの3ページが要約で、その後少し詳しい解説を付けました。

本稿はニホンザリガニの遺伝子解析を担当させて頂いた小泉の私見です。ニホンザリガニの研究については、これまで幾人かの方々が精力的に取り組んでこられました。長年、保護の現場に関わってきた人達も多く、私の意見は不十分なところもあると思います。ただ、異なる視点からの意見も有用かと思い執筆に至りました。引用文献、図表をはじめまだまだ整理しきれていない部分も多いため、随時、更新できればと思います。詳しいザリガニの研究および保全につきましては、最近優れた書籍が出版されましたので、こちらをご参照ください。

『ザリガニの生物学』川井唯史・高畑雅一編者。2010年、北海道大学出版会

ニホンザリガニが貴重な理由

1. **日本唯一の在来ザリガニ。**北海道と東北の一部にのみ生息する**日本固有種**。
2. 淡水ザリガニは世界で約600種が知られているが、アジアにはわずか4種。さらに、ニホンザリガニは**北半球のザリガニの中でも最も祖先的**という研究結果もあり、ザリガニ属の進化を探る上で極めて重要。
3. 地域固有性が非常に高く、**河川（湖沼）ごとに独自のDNA型**を持つ。このような河川集団の遺伝構造には、大昔に海面が下がって島々が陸続きになった歴史（陸橋化）や河川同士が融合したり分離したりした歴史（河川争奪）が刻み込まれている。したがって、ニホンザリガニは**学術的価値のみならず、歴史遺産としての価値も非常に高い**。
4. 人為的な環境変化や外来ザリガニの侵入などによって地域個体群が急速に衰退。ニホンザリガニは河川ごとに異なるDNA型を持つため、**地域絶滅により固有のDNA型が永久に失われてしまう**。つまり、**地域絶滅はニホンザリガニの一部を失うという単純なものではなく、古環境や地史など北日本の歴史情報の損失を意味する**。
5. ニホンザリガニは多くの野生生物の保護管理にも重要な示唆を与える。“同一種内における地域変異（＝遺伝的多様性）”の重要性は直感的な理解が難しく、未だ一般市民に普及しているとは言いがたい。**地域個体群が絶滅したり、他の地域からの移植により遺伝構造が攪乱されたりすると、過去数百万年にわたる生物学および地理的歴史が消失してしまう**。ニホンザリガニはこのような地域固有性の保全を伝えるための優れた事例になる。

ニホンザリガニの2つのグループについて

1. ニホンザリガニは、日高山脈から東の道東グループと、それ以外の西グループ（道東を除く北海道および本州北部）に大きく分けられる。西グループは札幌近郊を中心とし、南北にゆっくりと分布を拡大。道東グループは襟裳岬先端部から一気に分布を拡大(1 ページ目の図)。
2. 両グループは300-500 万年前に共通祖先から分かれたと推定(ヒトとサルの分岐が500-600 万年前)。DNA の違いだけでみれば亜種または別種といえる。
3. 両グループが交雑して代々子孫を残していけるかどうかは不明（別種であるための条件：生物学的種概念）。別種かどうかを判定するためには今後の詳細な研究が必要。

ニホンザリガニの保護管理指針

1. 現在進行している地域個体群の衰退（絶滅）に歯止めをかけることが第一。衰退の原因は地域ごとに異なるため（生息地の消失・改変、外来種）、地域に即した保護管理が必要。
2. 絶対に他の河川（湖沼）に移植しない。飼育個体を野外に放すのは厳禁。絶滅河川への再導入も行わない。ニホンザリガニは河川ごとに固有の遺伝集団を形成しているため、他の河川に放流すると過去数百万年にわたってニホンザリガニが形成してきた歴史が壊れてしまう。さらに、これは北日本の地史や古気候を探る手がかりも失わせる。
3. 遺伝的多様性が最大化されるように保護個体群の優先順位をつける。分布域全体における遺伝構造が明らかになってきたため、優先的に保護すべき地域の特長が可能になった。例えば、全体の多様性を最大化するには最も新しい個体群（宗谷岬、東北南部、十勝川上流など）と最も古い個体群（札幌近郊、襟裳岬）を同時に保護すべきであろう。将来的には、遺伝的な特性に加えて、個体群がおかれている状況も加味するのが望ましい。例えば、遺伝的固有性が高く、個体群サイズが小さい地域が保護の上で最優先。逆に、遺伝的固有性が低く、個体群サイズも大きい河川は緊急性が低い。
4. 歴史遺産が失われる前に DNA 情報だけでも集めておく。地域個体群の絶滅はその地域の地史的情報も失わせる。したがって、出来るだけ多くの河川で遺伝情報だけでも蓄積しておくのが望ましい。DNA はハサミや足の先端の一部組織からでも抽出できるため、非致命的にサンプルを集めることができる（*注）。

*注：今回の研究で用いたサンプルについて

大部分のサンプルについては、現地で採集した個体のハサミや足の先端の部分を切り取ってアルコール（99%エタノール）に保存して持ち帰りました。もちろんそれらの個体は元の場所に再放流しています。ハサミの一部を取ることでダメージがないわけではないと思います。ただ、自然界では捕食者に対して、あるいはザリガニ同士の闘争によってハサミがない個体はたくさんいます。また、ザリガニのハサミや足は時間が立てば再生するので、このような採集方法にしました。小さくてハサミが取れない個体は採集させて貰いました。ただし、個体の採集はザリガニがたくさんいる場所のみで行いました（一地点につき最大10匹程度）。

また、幾つかのサンプルは昔からザリガニの研究をしている専門家（川井唯史さん）が過去数十年かけて少しずつ集めてきたものも含まれています（冷凍保存、アルコール保存）。残念ながら支笏湖などではニホンザリガニがほぼ絶滅してしまっており、このようなサンプルがなければ遺伝情報も永遠に失われていたかもしれません。地域絶滅が起こる前に、遺伝子サンプルだけでも残しておく必要があると思います。

ただし、専門知識がない人がサンプリングを行うとDNAが抽出できないばかりか、ニホンザリガニにダメージを与える可能性があるかもしれません。不必要にハサミを切断するのは慎んで頂ければと思います。

以下、冒頭で述べた要約の説明です。

ニホンザリガニが貴重な理由

1. 日本唯一の固有ザリガニ

現在、日本には 3 種類のザリガニがいます。ただし、昔から日本に生息していた在来種はニホンザリガニ 1 種のみです。本種の自然分布は北海道、青森、秋田、岩手の 1 道 3 県です（岩手は人為移植の可能性あり）。また、ニホンザリガニは日本にのみ生息する固有種でもあり、まさに名前が代表する日本のザリガニです。

ご存知の方も多いと思いますが、関東以西にいる赤いザリガニは外来のアメリカザリガニです。ニホンザリガニは冷水性ですが、アメリカザリガニは温暖な地域を好みます。このため、この 2 種は同じ場所に生息していません。しかし、もう一種の外来種であるウチダザリガニは北海道にも生息し、ニホンザリガニを脅かしています。ニホンザリガニはこれらの外来ザリガニよりもずっと小型で、動きが遅く、競争力で大きく劣ります。ウチダザリガニがニホンザリガニを捕食する例も確認されています。さらに、ウチダザリガニやアメリカザリガニが 1-3 年で成熟するのに対し、ニホンザリガニが繁殖できるようになるまでは 5-6 年かかると考えられています。直接的な競争のみならず、繁殖力の面からも外来ザリガニと比べて大きく劣ります。

・ニホンザリガニの生物学的特徴については先述した『ザリガニの生物学』が非常に詳しいです。外来種との競合については、第IV部／第3章でよく纏められています。

・西川潮さんのウェブサイトにある「ザリガニの部屋」も読みやすくまとまっています

<http://www2.cc.niigata-u.ac.jp/~usio.n/zarigani-no-heya.html>

2. 世界のザリガニの中でニホンザリガニの位置づけ

日本には一種しかいないザリガニですが、世界には約 600 種のザリガニが知られています。多くは北米大陸とオセアニアに分布していますが、マダガスカルなどの離島にも生息しています。興味深いことにザリガニは全て淡水性で、その祖先は海産のアカザエビが“ただ一回”淡水域へ侵入したものが進化しました（単一起源説）。海産のエビがそれぞれの大陸で独立に

淡水へと進出していった（複数起源説）のではなく、北米のザリガニもマダガスカルのザリガニもひとつの共通祖先を持つのです。では、海を渡れない淡水ザリガニが、なぜ別々の大陸に住んでいるのでしょうか。

実はザリガニが海を越えて移動したのではなく、大陸自体が分裂したり、くっついたりして現在の海を越えたザリガニの分布が形成されました。ザリガニの起源は 3 億年前、全ての大陸が融合していたパンゲア（超大陸）の時代にまで遡ります。恐竜が栄えたジュラ紀・白亜紀（0.5-2 億年前）よりも古い時代に進化した生物です。ザリガニの祖先は超大陸の中で、地殻変動などにより河川が融合したり分離したりするイベントを通して少しずつ分布を広げていったと考えられます。アルフレッド・ウエゲナーは淡水性ザリガニなどの海を越えた分布を大陸移動の証拠として挙げています（著書の中では“淡水性の甲殻類など”と記述されており、特別にザリガニを指していた訳ではありませんが）。今回の DNA の研究から津軽海峡の陸地化（陸橋化）が示唆されましたが、同じような理屈によります。

3 億年以上前のただ一度の淡水域への進出を切掛けに、ザリガニは 600 種まで分化しました（もちろん過去には絶滅した種もたくさんいるでしょうから、種分化のイベントはずっと多かったはず）。しかし、現在の 600 種の地理的分布は非常に偏っており、約 60%が北米大陸に、約 20%がオセアニアに生息しています。アジアにはわずか 4 種（0.5%）しか生息していません。なぜ大陸間でこれほど種分化のスピードが違うのかという問いも生物進化を考える上で非常に興味深いテーマです。

アジアザリガニは非常に少数派ですが、実はザリガニの進化を考える上で重要な位置を占めている可能性が高いです。ミトコンドリア DNA を用いた系統解析によると、北半球のザリガニの中でアジアザリガニが一番祖先的であるという結果が得られています（Ahn et al. 2006）。しかもアジアザリガニの中でもニホンザリガニが一番祖先的という結果になっています。400 種以上いる北半球のザリガニの中でニホンザリガニが最も古い系統であるという結果は我々日本人には興奮するものであります。今後は核 DNA などを用いたより詳細な研究が必要ですが、ザリガニの進化を考える上でニホンザリガニの重要性は変わらないと思います。

・ザリガニの進化史や不思議な分布については、先述した『ザリガニの生物学』の第Ⅱ部／第 1 章で纏められています。ニホンザリガニが北半球のザリガニで最も祖先的という結果を示しているのは以下の原著論文です。

Ahn DH, Kawai T, Kim SJ, Rho HS, Jung JW, et al. (2006) Phylogeny of northern hemisphere freshwater crayfishes based on 16S rRNA gene analysis. Korean Journal of Genetics 28: 185-192

3. 地域固有の遺伝子に刻まれた地域の歴史

世界的にも貴重なニホンザリガニですが北日本の地史を探る上でも重要であることが分かってきました。ウェゲナーは生物の分布から大陸の過去を推論しましたが、現在では種内の DNA 型の分布を調べることでより詳細な過去が推定できるようになってきました。ただ、通常の多くの生物は広範囲に移動するため DNA の分布がある程度均一化されており、比較的近い過去しか推定できません（数万年から数十万年）。一方、ニホンザリガニは種自体の歴史が古く、かつ移動性が極端に低いため（移動はほぼ河川内に限定、移動能力も低い）、数百万年という古い過去の記憶が残されていました。ニホンザリガニが辿ってきた分布拡大の歴史が明瞭に復元されましたが（1 ページ目の図）、これほど過去が復元できた例は非常に少ないです。この分布拡大過程や遺伝子の分布パターンを調べることにより、ニホンザリガニおよび地域の歴史について以下のことが明らかとなりました。

- ・ 別種レベルに分かれた東西 2 つのグループが存在。数百万年前に存在した 2 カ所のレフュージア（避難場所）から現在の分布が形成されたことが示唆。
- ・ 西グループは札幌近郊（石狩平野）を起源として 200-500 万年かけて南北にゆっくりと分布を拡大。津軽海峡は 2 度に渡って越えた可能性あり（100 万年前後および 2-10 万年前の最終氷河期）。ニホンザリガニは海水中での移動ができないため、氷河期の海面低下に伴う津軽海峡の陸橋化が示唆。
- ・ 東グループは襟裳岬を起源として、比較的最近（50 万年ほど前）一気に分布を拡大。西グループでは河川（地域）ごとに DNA 型が異なるが、道東域はひとつの DNA 型が広域を占める。道東は平坦な地形のため移動性の低いニホンザリガニでも速やかに分布を拡大できたと考えられる。
- ・ DNA 型の広がり方をみると海岸伝いに分布を拡大しているようにも見える。氷河期の海面低下時に下流域で河川同士が合流して、分布を広げたのかも知れない。今後、適切なサンプリング計画を立てて本仮説を検証したい。
- ・ 本研究では、進化速度の遅いミトコンドリア DNA (16S rRNA 領域)を用いた。より進化速度の速い領域を調べることにより、河川争奪などの詳細な地史的イベントが明らかになる可能性が高い。礼文、焼尻などの離島が繋がった時期も特定できるかも知れない。

*以上の年代推定はミトコンドリア DNA (16S rRNA 領域)の突然変異率から推定しています。このような分子時計には様々な不確定要素が伴います。したがって、上記した年代は非常に大雑把な目安でしかありません。今後、様々な DNA 領域を調べることにより、正確な時代を特定していきたいと思っています。

この内容の概要はこちら：http://www.hokudai.ac.jp/news/120329_pr_cris.pdf

詳細な内容は原著論文に書いてあります

<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0033986>

4. 遺伝的多様性の損失は歴史遺産の損失に繋がる

世界のザリガニの進化史を語る上でも、また北日本の地史を考える上でも、非常に貴重なニホンザリガニですが、現在、絶滅の危機に瀕しています。場所によってはかなりの個体数を維持しているところもありますが、地域的に絶滅してしまった河川（湖沼）も数多くあります。特に湖沼域での消失が顕著で、支笏湖、洞爺湖、然別湖、屈斜路湖、大沼、オンネトーなどでは個体群がほぼ絶滅したと考えられています。これらの広大な生息地で、一匹残らず消えてしまうというのは、非常に不思議なことですが、残念ながらこれが現実です。水質汚染や外来ザリガニ由来の病原菌などがあれば、水域全体の個体群へ影響することがあります。また、砂防堰堤や河川改修で個体群が消失するのは容易に想像できますが、一見、環境の変化が見られなくてもわずか数年で個体群が消失する可能性もあるようです（川井・布川・山田 2009）。ニホンザリガニは環境変化に対して非常に脆弱であり、絶滅に迫りやる原因も多岐に渡るため、地域ごとの衰退原因の究明と適切な保護管理が望まれます。

このような地域絶滅について『ニホンザリガニの一部がいなくなっただけ。種レベルの絶滅ではないから大丈夫』と考える人もいるかもしれませんが、しかし、ニホンザリガニの地域絶滅はそれだけに留まりません。先述したように、河川ごとに独自の遺伝集団を形成しており、それが河川争奪や環境変動などの土地の歴史を含んでいるのです。したがって、ニホンザリガニの地域絶滅はその土地の過去の手がかりを消し去ってしまうのです。

5. 絶滅危惧種保護における優れた事例

国際的な生物保護の枠組みとして生物多様性条約があります。ここで主目的として挙げられているのが、種の多様性、生態系の多様性と並んで“遺伝的多様性”の保全があります。種多様性の保全は出来るだけ多くの種を守るという直感的なものですが、遺伝的多様性と言われても多くの人はピンと来ないかもしれません。遺伝的多様性とは同一種内の地域変異のことで、生物多様性の根幹をなします。簡単に言うと、同じ人間でも地域によって異なるし、同じ地域でも、さらには同じ家族内でも少しずつ遺伝的特性が異なるということです。こういった少しの違いが究極的には、種分化、つまり生物多様性の増加に繋がります。ニホンザリガニの東西グループはまさに種が分かれようとしている途中かも知れません。

同一種内の地域変異の重要性はこれまで見過ごされてきました。同じ種なのでどこの地域で捕獲されても同じだろうという理由です。このため、釣魚として人気のあるイワナやヤマメなどは全国的に様々な地域由来の魚が放流され、遺伝的に均一化してしまいました。本当に釣りが好きな人達は原生の（native）イワナやヤマメを釣るために人が入らない源流域まで釣りに出かけます。釣り人達は、本来は地域ごとにイワナやヤマメの顔が違うことを知っており、その固有性を尊重しているのです。

数が減ってしまった、あるいは絶滅してしまった地域に、その生物を放流しようという動きがあります。よかれと思って行った行為がマイナスになることがあります。その地域にはもともとその環境に適応していた個体群が形成していたと考えられます。そのような地域に他からの個体（遺伝子）を導入することにより、中途半端な子孫が生まれることが考えられます。実際に、サケの放流などで地域固有の特性が攪乱されて、自然個体群が悪影響を被っている例も報告されています。『地域ごとに違うかどうか分からない、悪影響があるかどうか分からない』という状況であれば、悪いケースに陥らないように保守的な措置をとる『予防原則』に従うべきだと考えます。当然、今回の場合は『放流しない』という措置になります。

さらに、今回のニホンザリガニの研究では地域個体群が過去の歴史を保有していることが明らかとなりました。ニホンザリガニは放流などの人為的な攪乱がなかったために、幸運にも陸橋化など過去の履歴が復元されました。ニホンザリガニでも過去には幾らかの人為的な移植がありましたが、遺伝的組成が大きく攪乱されるほどではありませんでした。

遺伝的多様性が重要であることは、先に述べた適応分化（新しい種の誕生）の視点に加え、多様性が高い個体群の方が絶滅しづらい、あるいは環境変動に適応できるといった点から説明されてきました。一方、地域の歴史遺産としての遺伝的多様性については言及されておらず、ニホンザリガニの研究はこれを明瞭に示してくれました。ニホンザリガニほどではなくても、多くの生物は遺伝構造（遺伝的多様性）の中に、その種が歩んできた歴史、ひいては土地の歴史、環境の歴史が残されています。これから DNA の解析技術が益々発展し、多くの生物で地域ごとの固有性や土地の歴史を含んだ遺伝構造が明らかになってくることでしょう。今回のニホンザリガニの研究は、最も顕著な事例として他の生物の保護管理の指針に役立つことが期待できます。