

学 位 論 文 題 名

Metapopulation Ecology of the stream-dwelling
Dolly Varden in the Sorachi River

(空知川水系のオショロコマにおけるメタ個体群構造)

学位論文内容の要旨

1. 近年脚光を浴びているメタ個体群の研究は、これまで単一個体群を扱うだけでは説明しきれなかった多くの生態学的現象を、局所個体群同士の連結という観点から解明してきた。このメタ個体群研究の発展は、コンピュータの高性能化により複雑な数値計算が可能になったこと、近年の環境破壊を懸念してメタ個体群への応用面での期待が高まったこと、などの背景が挙げられる。しかし、この急速な理論的進展と高まる期待の一方で、多数の局所個体群を同時に調査しなければならないメタ個体群の実証研究は、大幅に立ち遅れているのが現状である。本研究では、この局所個体群とメタ個体群という2つのスケールにおいて野外調査と遺伝的解析を併せることにより、単独の調査では理解できなかったサケ科魚類のメタ個体群構造を明らかにすることを目的とした。

河川性オショロコマを対象に、以下のような大規模な野外調査と分子生物学的手法を用いて、メタ個体群の実証研究を進めた。(1) 局所個体群(支流)レベルでは標識・再捕獲法、ワナかけ調査を基盤とした詳細な生活史の記述、および5年間にわたる個体数変動の追跡を、(2) メタ個体群(水系全体)レベルではマイクロサテライト分析による遺伝的個体群構造の評価、および各支流における魚の占有データから“絶滅・新生”メタ個体群構造の検証を、それぞれ行った。

2. 北海道の空知川は多数の小支流が大きな本流に直接注ぎ込むという特徴的な河川形態であった。本河川のオショロコマは、支流と本流を生息空間として利用しており、産卵は支流でのみ行なうことが明らかとなった。このことから、空知川のオショロコマは、各支流を局所個体群、水系全体をメタ個体群の単位と捉えることができると考えられた。

3. 近接した4支流における標識再捕獲法とワナかけ調査から、空知川のオショロコマには2種類の生活型が存在することが明らかとなった。支流内で成熟する小型の支流残留型と、本流で成長し産卵のため再び支流に遡上する本流移動型である。この本流移動型が支流個体群間の移住を担っていると考えられた。また、オスよりもメスの方が本流へ降りる傾向が強く、この移動の性差は個体群プロセスにも大きく影響すると考えられた。

サケ科魚類では、川と海(湖)ではこういった生活史二型がよくみられるが、“支流－本流”で詳細に報告されたのはこれが初めてである。また滝の上流では移動型の頻度が少なく残留型個体が個体群の大部分を占めていた。さらに、滝上の個体群は滝下の個体群と遺伝的分化を起こしていた。このことから滝上の個体は、一度滝を下ると、再び滝を遡上することが困難なため、滝上に残留する戦略をとっている可能性が示唆された。

4. 産卵時期の個体の移動は、次世代の個体数や遺伝子プールに大きな影響を及ぼすため、生

活史の中でも特に重要なイベントである。通常、サケ科魚類の産卵遡上は流量や水温の変化といった環境要因によって引き起こされる。しかし、本調査地のように湧水起源の安定な条件下では、環境による移動のトリガーがかかりにくく、他の要因が移動に影響する可能性がある。4支流における4年間のワナかけ調査から、降水量による流量変化がオショロコマの産卵遡上に影響することが明らかとなった。しかしその影響は弱く、2つの支流のオス個体だけにみられた。一方、3つの支流においてオスの遡上はメスの遡上と同調していた。したがって、オスの遡上はメス個体によっても影響されることが示唆された。

メスの資源は産卵環境、オスの資源はメス個体であると考え、オスパイアスの遺伝子流動が示唆された。

5. 空知川水系全体でどのような遺伝的個体群構造をとっているかを調査した。個体群間の移住の程度によって(1)水系単一個体群、(2)メタ個体群、(3)支流独立個体群、という3つの仮説が考えられる。マイクロサテライト解析の結果、1水系内という小さいスケールにもかかわらず、支流個体群間で有意な遺伝的分化が認められた。したがって、単一個体群ではないことが明らかとなった。また、遺伝的距離と地理的距離には正の相関が認められた(Isolation-by-distance: IBD)。これは近接支流間で遺伝的交流があることを意味する。したがって、空知川のオショロコマは、各支流が独立した個体群ではなく、水系全体で遺伝的メタ個体群構造を取っていることが明らかとなった。

本研究のような小スケールにおけるIBDは、これまでのサケ科魚類の研究ではほとんどみつかっていなかった。また、本個体群では10km以内の小スケールで遺伝的分化が認められており、移住はそれほど頻繁でなく、本流移動型が支流に対して母川回帰をしている可能性が示唆された。

6. 遺伝的解析では、近接支流間で有意な遺伝的分化が認められなかった。これは支流間で個体の移住があることを示唆している。もし、これらの支流間で移住により個体数変動も同調していれば各支流を局所個体群として扱うメタ個体群の適用は妥当ではない。そこで近接4支流における5年間の個体数変動のデータを解析したところ、0歳魚の個体数変動は支流間である程度同調がみられたが、1歳以上の個体では同調性が認められなかった。したがって、隣り合った集団でも完全な同調はしておらず、空知川水系のオショロコマは各支流で独自のデモグラフィを持った局所個体群であると考えられた。

これまで、遺伝的分化が起きていない集団は、しばしば同一の集団として扱われてきた。本研究では、たとえ遺伝的分化がなくても個体群動態の観点からは均一な集団ではないことを明らかにした。個体群動態の同調スケールと遺伝的分化のスケールを併せて考えることが重要である。

7. 支流個体群において実際に“絶滅-新生”が起きているかどうかを、水系レベルの野外調査から検討した。理論的研究では、(A)小さい個体群で絶滅確率が高く、(B)隔離された個体群で新生率が低いことが予測されている。そこで、78本の支流においてオショロコマの有無を確認し、(A)支流サイズと(B)隣接個体群までの距離を説明変数としたロジスティック回帰分析を行った。その結果、上中流域のみを解析に用いると両変数が有意であり、絶滅-新生のメタ個体群構造が示唆された。一方、下流域を解析に加えると距離の効果が検出されなかった。下流域は農地化などの人為的影響を受けていることが示唆された。したがって、下流域では絶滅後の再新生がうまく行なわれていない非平衡状態にあると考えられた。

8. 絶滅-新生のメタ個体群構造が示唆されたが、野外調査だけでは、全ての局所個体群が絶滅する可能性があるのか(Levins type)あるいは、ある個体群は絶滅しないのか(Mainland-island type)までは明らかにできなかった。しかし、本研究では遺伝的解析により大きい支流集団間で移住とドリフトが平衡状態にあることを確認している。遺伝的平衡が達

成される時間は、一般に局所的な絶滅や新生といった生態学的時間よりも長いことから、大きい個体群は時間的に安定していると考えられた。以上の結果から、空知川のオショロコマでは Mainland-island type のメタ個体群構造をとっており、また、下流域では絶滅－新生が平衡状態にはないと結論された。

学位論文審査の要旨

主査	教授	前川	光司
副査	教授	齋藤	裕
副査	助教授	齋藤	隆
副査	助教授	秋元	信一

学位論文題名

Metapopulation Ecology of the stream-dwelling Dolly Varden in the Sorachi River

(空知川水系のオショロコマにおけるメタ個体群構造)

本研究は 111 ページの英文論文で、引用文献 210 を含み、6 章で構成されている。他に参考論文 3 編が添えられている。

1. 近年脚光を浴びているメタ個体群の研究は、これまで単一個体群を扱うだけでは説明しきれなかった多くの生態学的現象を、局所個体群同士の連結という観点から解明してきた。本研究では、この局所個体群とメタ個体群という 2 つのスケールにおいて野外調査と遺伝的解析を併せることにより、サケ科魚類のメタ個体群構造を明らかにすることを目的とした。河川性オショロコマを対象に、局所個体群(支流)レベルでは標識・再捕獲法、ワナかけ調査を基盤とした詳細な生活史の記述、および 5 年間にわたる個体数変動の追跡、メタ個体群(水系全体)レベルではマイクロサテライト分析による遺伝的個体群構造の評価、および各支流における魚の占有データから“絶滅・新生”メタ個体群構造の検証を、それぞれ行った。
2. 空知川のオショロコマには支流内で成熟する小型の支流残留型と、本流で成長し産卵のため再び支流に遡上する本流移動型の 2 型の存在が明らかとなった。この本流移動型が支流個体群間の移住を担っていると考えられた。また、オスよりもメスの方が本流へ降りる傾向が強く、この移動の性差は個体群プロセスにも大きく影響すると考えられた。
3. 産卵時期の個体の移動は、次世代の個体数や遺伝子プールに大きな影響を及ぼすため、生活史の中でも特に重要なイベントである。湧水起源の安定な条件下において、環境による移動のトリガーを明らかにするために、4 年間のワナかけ調査を行った。これらから、降水量による流量変化がオショロコマの産卵遡上に影響することが明らかとなった。しかしその影響は弱く、2 つの支流のオス個体だけにみられた。一方、3 つの支流においてオスの遡上はメスの遡上と同調していた。したがって、オスの遡上はメス個体によっても影響されることが示唆された。
4. 空知川水系全体でどのような遺伝的個体群構造をとっているかを調査した。マイクロサテライト解析の結果、1 水系内という小さいスケールにもかかわらず、支流個体群間で有意な遺伝的分化が認められ、均一な個体群ではないことが明らかとなった。また、遺伝的

距離と地理的距離には正の相関が認められた (Isolation-by-distance: IBD)。これは近接支流間で遺伝的交流があることを意味する。このことから、空知川のオショロコマは、各支流が独立した個体群ではなく、水系全体で遺伝的メタ個体群構造を取っていることが明らかとなった。また、本流移動型が支流に対して母川回帰をしている可能性が示唆された。

5. もし、近接支流間で移住により個体数変動も同調していれば各支流を局所個体群として扱うメタ個体群の適用は妥当ではない。近接4支流における5年間の個体数変動のデータを解析したところ、0歳魚の個体数変動は支流間で同調していた。一方、1歳以上の個体では同調性が認められなかった。したがって、隣り合った集団でも完全な同調はしておらず、空知川水系のオショロコマは各支流で独自のデモグラフィーを持った局所個体群であると考えられた。

本研究において、たとえ遺伝的分化がなくても個体群動態の観点からは均一な集団ではないことが明らかとなった。

6. 理論的研究では、(A) 小さい個体群で絶滅確率が高く、(B) 隔離された個体群で新生率が低いことが予測される。そこで、78本の支流においてオショロコマの有無を確認し、(A) 支流サイズと (B) 隣接個体群までの距離を説明変数としたロジスティック回帰分析を行った。その結果、上中流域のみを解析に用いると両変数が有意であり、絶滅-新生のメタ個体群構造が示唆された。一方、下流域を解析に加えると距離の効果が検出されなかった。下流域は農地化などの人為的影響を受けていることが示唆された。

7. 本研究では遺伝的解析により、大きい支流集団間で移住とドリフトが平衡状態にあること、遺伝的平衡が達成される時間は、一般に局所的な絶滅や新生といった生態学的時間よりも長いことから、大きい個体群は時間的に安定していると考えられた。以上の結果から、空知川のオショロコマでは Mainland-island type のメタ個体群構造をとっており、また、下流域では絶滅-新生（あるいは移住-ドリフト）が平衡状態にはないと結論された。

以上のように、本研究は河川性オショロコマのメタ個体群構造を生態的・遺伝的に明らかにしたものであり、得られた成果は学術的に貴重なものであり、その保全のための基礎資料としても高く評価される。よって審査員一同は、小泉逸郎が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。