

■自然へのアプローチ — 今、若い研究者がとりくんでいること — 11

魚類の資源管理と保全，生態に関する研究

三重大学大学院生物資源学研究科 原 田 泰 志

Studies on management, conservation and ecology of fish populations. Yasushi Harada (*Graduate School of Bioresources, Mie University*)

三重大学大学院生物資源学研究科・生物圏生命科学専攻・海洋生物科学講座・海洋個体群動態学研究室というのが我々の研究室の正式な名前である。長ったらしい名前であるが，元々の名前は，三重大学水産学部資源解析学研究室である。水産資源解析学は，食糧資源としての魚について，その漁獲を管理（減らさずにいつまでもたくさん穫る等）するための基礎となる資源状態の評価や管理方策の立案・評価が主題である。手法としては，漁業を通じてあるいは調査を行って収集したデータの統計学的解析や，数理モデルを用いた数値解析やシミュレーションが中心である。近年は，種苗放流のようなつくる漁業の展開や，野生生物の保全への世間や学生たちの関心の高まり等によって，より広い範囲の課題を扱うようになった。とくに，我々の研究室では，河川や池の魚類個体群について野外調査をてがける学生が増えている。なお，研究室の名前に「海洋」がついているが，とくに対象を海だけに限るものではない。

本稿では，私の指導のもとにあった大学院生が取り組んできた課題のうち，自然保護に関連しそうなものである，「種苗放流の野生集団への影響」および「溪流魚の資源管理と保全」の二つについて，他の話題にもふれつつ簡単に紹介したい。

種苗放流の野生集団への影響

漁業対象種の種苗放流はサケを代表に長い歴史をもち，我が国の海面において現在では魚類や甲殻類，貝類，ウニ・ナマコ類をふくむ70種以上で行われている。また河川や湖沼でもアユやイワナ，アマゴ等の溪流魚，ワカサギなどでさかんに行われている。

このように大々的に行われている放流であるが，自然保護の観点から悪い評判もきかれる。「生態系のバランスを考えず，増やしたい種類だけを増やそうとする」，「種苗の由来や遺伝的多様性に対する配慮がない」，「病気をもちこむ」，「もともとそこにいなかった生き物を持ち込む」，「放流が乱獲や環境悪化の免罪符になっている」，など。

このような問題のなかには，種苗放流の本質に係っており，解決不可能なものが含まれる可能性があるが，軽減可能なものの軽減は重要な課題である。

金岩（現東京農業大学）はこれらのうち，遺伝的多様性に注目して，数理モデルを用いた研究を行った。

遺伝的多様性に関する問題は，遺伝子頻度の偶然的变化（遺伝的浮動）に伴うものと，遺伝子頻度の方向性のある変化によるものに大きく分ける

れる。前者には遺伝的単純化や有害遺伝子の偶然的固定などがあり、種苗生産に用いられる親が少数である場合に問題となる。後者には人工環境に適応した性質を持つようになる家魚化や、放流場所の在来個体群に存在しなかった外来遺伝子の浸透などがあり、種苗生産の過程で特定の性質を持った個体が選抜されてしまう場合や、放流場所以外で採捕された魚あるいはそれをもとにして生産された種苗が放流される場合に問題となる。Kanaiwa & Harada (2002) は、後者の一つでありながらこれまであまり議論されてこなかった性決定機構への影響に注目した。

さまざまな魚類の性決定が温度等の環境条件の影響をうけることが知られている。たとえば、ヒラメは形態的に分化した性染色体は持っていないが、遺伝子型XXの個体が雌に、XYの個体が雄になるXX-XY型の遺伝的性決定機構をもっている。そして、稚魚期に体験する温度によっては、本来雌になるべき遺伝子型XXの個体が雄になる。この現象は性転換 (sex-reversal) とよばれ、性転換によって生じたXX型の雄は性転換雄 (sex-reversed male) と呼ばれている。XY型の雄とXX型の雌が交配してできる子供の半分はXX型であり、半分はXY型である。一方、XX型の性転換雄とXX型の雌が交配してできる子供はそのすべてがXX型となる。だから、XX型の性転換雄が繁殖に参加すると、集団中のY遺伝子の頻度は0.5以下になる。このように、性転換が起るとY遺伝子の頻度は性転換がないときに比べて低下すると考えられる。

種苗生産の過程でこのような性転換が高率で起こり、性転換雄を高い割合で含む種苗が放流されたとする。そのとき、これらの種苗が親となって野外での再生産に参加すると、次世代においてY遺伝子の頻度が減少する。そして、条件によっては、Y遺伝子の消失をもたらす可能性がある。

金岩はこのような過程を数理モデルにして解析することによって、Y遺伝子消失の条件を求めるとともに、消失を防ぐための方策についても検討した。たとえば、養殖場で何世代も飼育されている個体を種苗生産の際に親として用いる場合に比べて、野外で生まれた個体 (放流魚の子孫が含まれる可能性がある) を用いる場合では、消失の可能性が大幅に低いこと、などが示された。

Y遺伝子の消失の起こりにくい種苗放流方策は、他の影響の軽減にも有効である。種苗放流の野生集団への影響は0にはできないが、減らすことはできる。種苗放流による資源増大を企図するときには、このようなリスク軽減方策をとることは重要である。

上で述べたものは理論的な検討であるが、久保田、古川、筏は、種苗放流の遺伝的影響について、河村 (養殖研究所：現三重大学) と協力し、和歌山県の古座川の個体群について、実証的検討を行った (Kawamura et al., 2007)。調査水系では、過去から他河川由来の種苗の放流がなされているが、検討の結果、過去から放流が行われてきた水系とそれ以外の水域では異なった遺伝子頻度であること、放流が行われてこなかった水域 (複数) は、支流の最上流部で滝や堰堤で下流からの遡上がさまたげられた場所にあること、それらの水域に生息する隔離集団では、遺伝的な単型化がすすんでいること、核遺伝子のマイクロサテライトマーカーにおいて、隔離集団間で分化がみられることから、それぞれの隔離集団で独立に遺伝的浮動がおこり単型化が進んだと考えられることなどが明らかになった。また、放流を施されている個体群における個体群動態の調査によって、放流魚の再生産への貢献は単年では小さいが、放流魚由来とみられる遺伝子が天然生まれの個体から高い割合で検出されることから判断して、長年にわたる放流の影響が蓄積し大きな影響をもたらしているこ

とが示唆された。

溪流魚の資源管理・保全・生態に関する研究

前項でのべた、放流の遺伝的影響の実証研究は溪流魚についてのものであったが、溪流魚については、その他の観点からも検討を行っている。

渓流域の場合、久保田らが古座川上流域の個体群について示したように、多くの場所に他所由来のあるいは継代飼育された種苗が放流されてきたため、純粋の在来個体群がいるとしても、滝あるいは堰堤で下流から隔てられた源流域のみである場合が多い。このような源流域の個体群は小集団化し、遺伝的多様性の低下がしばしばみられる。また、溪流魚は利用する対象でもあるため、保全のみを目標とした管理を目指すことはできず、利用と在来個体群の保全の両立が求められている。

溪流魚において、保全と利用の両立を可能にする手法として考えられるのがゾーニング管理である（中村・飯田，2009）。その形態として例えば以下のようなものが考えられる。源流に隔離されて残る在来個体群については、放流を行わず、漁獲による減少をおさえるための禁漁区あるいは捕獲は許すが持ち帰りを禁ずるキャッチ&リリース区とする。その下流で、比較的生息環境に恵まれ、天然の再生産での漁場維持が可能と考えられる水域では、放流をしないが、キャッチ&リリースや入漁者数の制限により天然の再生産を確保できる範囲での利用をする。そうすることにより、数は少ないかもしれないが、天然生まれの美しい魚が釣れる釣り場とする。さらに下流では、放流中心に、利用のために最適化した管理を行う。これは一例であり、このほかにもさまざまな管理形態の区間を組み合わせるゾーニング管理が考えられる。ゾーニング管理は在来個体群の保全だけでなく、釣り人のニーズの多様化（旧来の持ち帰る魚

の数に満足を得る釣り人に加え、持ち帰らなくても釣ることで満足を与える釣り人や、数は少なくても天然の再生産による魚を釣りたいと考える釣り人の増加等）にも対応でき、ニーズの異なる人たちをすみわけさせることによって総合的に漁場の価値を高めるという効果もある。ある程度広い範囲の上下流移動を生活史の一部として暮らしてきた魚を、移動バリアーの存在を前提に保全しようというのであるから、保全のみを重視する観点からは次善の策でしかありえないが、放流等による影響の目前で在来系統を維持しようとするには現実的な策である。

我々はこのようなゾーニング管理について数理モデルを用いたシミュレーションによる検討を行うとともに、野外の実際のフィールドでの試験にもとりくんでいる。

孤立し、小集団化した在来集団の系統の存続可能性を高めるためには、小集団間の交流を人為的に促進することによる遺伝的多様性の回復や、溪流魚が絶滅した水域へ移植することによる再生等、さまざまな方法が考えられる（中村・飯田，2009）。

2004年、三重県南部は台風14号による豪雨被害にあい、宮川上流域では、いくつもの支流でアマゴが絶滅した。また絶滅しなかった支流においても大幅な個体数の減少があった。災害後、2006年、2007年の2年間、地元漁協は全支流を禁漁にし、資源の回復をはかった。山田は修士論文のための研究において、この2年間の禁漁の効果を調査するとともに、災害とその後の工事により、アマゴの生息可能量がどれくらい減少しているかを、流域面積と生息可能量の関係にもとづくモデルによって試算した。また、2007年秋に同一水系で過去に放流がおこなわれていない谷の天然魚を絶滅水域である八知山谷に導入し、追跡調査を行った（山田の大学院修了後の現在も本人により継続中）。なお、八知山谷は、絶滅前には放流が行われて漁

場として利用されていた支流であったが、導入後、地元漁協の協力により禁漁水域としていただいた。支流内での個体群の増大や分布の拡大状況のモニタリング、さらにマイクロサテライトマーカーを用いた遺伝的多様性の追跡を、河村とその指導学生である宮原と協同して行っている。現在までのところ、個体群は順調に回復してきており、遺伝的多様性の大きな低下もみられない。このことから、次の段階として、再生された個体群の個体の種苗生産への利用や、他の絶滅水域の再生への利用の可能性を検討しだしている。また、別の流域の孤立水域において、人為的交流による遺伝的多

様性の回復の試験も今年度開始した。なお、これらの研究は、水産庁の「健全な内水面生態系復元等推進委託事業」の一環として、水産総合研究センターや複数の県の水産試験場が参画するプロジェクトの一部として行っている。

資源管理や保全の研究においては、この研究のように、現実には保全策や資源管理方策を実践し、その過程を調査研究することがひとつの重要な手法であると我々は考えている。

同様の考え方に基づく渓流域での研究として、佐藤（現奈良女子大）、有蘭らが名越（元奈良女子大）、渡辺（京都大学）らの協力を得ながらキ



図1. 電気ショッカーによる溪流魚の捕獲。

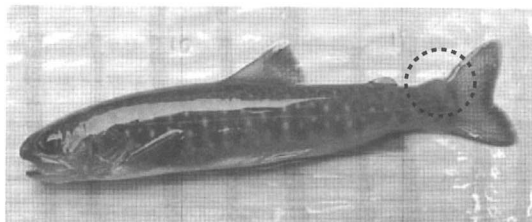


図3. イワナにみられる奇形。

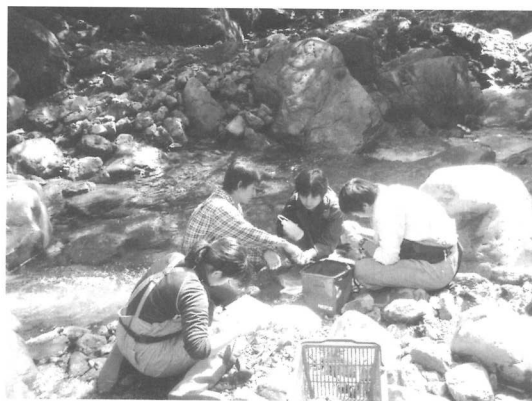


図2. 計測・写真撮影・標識・ひれ断片採取・胃内容採取作業中。



図4. 間伐材などで造った淵。

リクチを対象に行っている研究があげられる。キリクチは世界最南限のイワナの地域個体群であるが、生息地破壊や釣獲圧に加え、移入された他系統のイワナとの交雑や、アマゴとの競争により、分布をせばめ、現在では十津川流域の二つの支流にいくつかの孤立した個体群として存続するのみとなっている。

彼らは、まず分布域の現状把握を聞き取り調査と現地調査、およびDNA解析によって行った。そして、キリクチの過去の分布域の多くには、非在来のニッコウイワナもしくはそれとキリクチの交雑個体群が生息しており、遺伝的に純粋と考えられるキリクチ個体群は、それぞれの流域の最上流水域に隔離されていることを見いだした。また、隔離個体群について、PVA（個体群存続可能性分析）モデルによる遺伝的有効集団サイズの推定を行い、それらが、長期間の存続ために十分な大きさを持たないと考えられることを明らかにし、人為的な交流による、有効集団サイズの増大が望ましいことを示した（Sato & Harada, 2008）。

次に、キリクチ個体群の存続を危うくしている要因について、長期間の調査データの解析から、キリクチの生息がアマゴとの種間競争で悪影響を受けていることを示唆した（佐藤ほか, 2006）。また、主要な2つの隔離個体群において、奇形個体の出現頻度を調べるとともに、奇形個体の生残率が、正常個体のおよそ1/2であることも示した（Sato, 2006）。

さらに、現実的な個体群管理策の効果を実証するため、河床の平坦化（淵の減少）が著しいキリクチ生息河川において、間伐材や蛇カゴ、もしくは自然巨礫を用いて淵の造成を行ない、その効果を検証した（佐藤・名越, 2005；Sato et al., 2008a）。また、地元漁協により禁漁区に指定された生息河川において、禁漁前後の生息状況を調べ、個体数と個体サイズ、産卵床数の増大を実証

した。

現在は、有効集団サイズの増大のための人為的交流について、実施の可能性を検討しているところである。

このように、さまざまな観点から実践的な保全の基礎となる研究を実施してきた佐藤であるが、野外調査の過程でハリガネムシに寄生されたバツタ類が、秋季における溪流魚の餌資源として非常に重要であることを見だし（Sato et al., 2008 b）、寄生者による宿主個体の行動の操作が河川と森林の間のエネルギー移動に果たす役割などへ、研究の幅を広げている。

また、紙数の関係で詳細には紹介できないが、鹿野（現九州大学）はアマゴとその変異型であるイワメとの関係を詳細に検討した（Kano et al., 2006）。また、アマゴにおけるオスのメス擬態について研究した（Kano et al., 2005）。また、生息環境が比較的良好に保存されていると考えられる白神山地におけるイワナの生態について、さまざまな観点から検討した。

淡水魚についてのその他の研究

現在、カワバタモロコについて複数の学生が協力しあって研究を行っている。鈴木は、滋賀県の多数のため池において、継続的に野外調査を行い、カワバタモロコの分布制限要因等についていくつかの観点から検討してきた。その過程で、ため池の集団の間での大きな生活史の分化を見いだした。この生活史分化はカワバタモロコが本来の生息地である河川氾濫原からため池に隔離されて以後に生じたものと考えられ、その成因と保全上の意義について検討中である。畠山は鈴木と協力し、餌環境に代表される環境条件がカワバタモロコの再生産と個体群特性に与える影響を検討している。また、上野は、三重県の一流域で、カワバタモロ



図5. カワバタモロコの生息する一ため池.



図6. ため池でのプランクトン採集.

コの再導入についての実践的研究を行っている。一方、高久は、出身校の近畿大学大学院で人工飼育のための基礎的研究を行ってきた経験を活かし、飼育個体を用いた初期生残制限要因の検討などを行っている。これらの研究はいずれも現在進行形であり、その結果は彼らの修士・博士学位論文の一部となる。

これら以外の魚種について研究した学生もいる。鳥居は、ネコギギの分布と環境条件の関係についての研究を行った（鳥居ほか、2008）。丸山は、カラドジョウ等の外来ドジョウの侵入のリスクについて、野外調査と遺伝子解析を中心に検討を行った。大塚は、水田でのドジョウの個体群動態について、標識再捕法等を用いて検討を行った。加藤は三重県の宮川流域におけるアジメドジョウの分布を決めている要因について検討した。

スペースの関係でとりあげられなかったが、我々の研究室ではここにあげた以外にも、それぞれの興味に応じてさまざまな研究を学生達が行ってきた。最後に、ここにあげたものを含め、いずれの研究も外部の研究者や地元漁協等の関係者の協力を得てはじめて可能になったことを記しておく。

引用文献

- Kanaiwa, M. & Y. Harada. 2002. Genetic risk involved in mass release of a fish having environmental sex determination. *Population Ecology*, 44 : 7-15.
- Kano, Y., Y. Shimizu & K. Kondou. 2005. Status-dependent female mimicry in landlocked red-spotted masu salmon. *Journal of Ethology*, 24 : 1-7.
- , —— & —— . 2006. Sympatric, simultaneous, and random mating between markless trout (iwame; *Oncorhynchus iwame*) and red-spotted masu salmon (amago; *Oncorhynchus masou ishikawae*). *Zoological Science*, 23 : 71-77.
- Kawamura, K., M. Kubota, M. Furukawa & Y. Harada. 2007. The genetic structure of endangered indigenous populations of the amago salmon, *Oncorhynchus masou ishikawae*, in Japan. *Conservation Genetics*, 8 : 1163-1176.
- 中村智幸・飯田遥（編著）. 2009. 守る・増やす溪流魚. 134pp. 農山漁村文化協会, 東京.

- Sato, T. 2006. Occurrence of deformed fish and their fitness-related traits in Kirikuchi charr *Salvelinus leucomaenis japonicus*, the southernmost population of the genus *Salvelinus*. Zoological Science, 23 : 593-599.
- , M. Arizono, R. Sone & Y. Harada. 2008 a. Parasite-mediated allochthonous input: Do hairworms enhance subsidised predation of stream salmonids on crickets? Canadian Journal of Zoology, 86 : 231-235.
- & Y. Harada. 2008. Loss of genetic variation and effective population size of Kirikuchi charr: implications for the management of small, isolated salmonid populations. Animal Conservation, 11 : 153-159.
- 佐藤拓哉・名越誠. 2005. 山地渓流域における淵の造成による河川環境の局所的回復と魚類個体群の短期的な反応. 関西自然保護機構会誌, 27 : 35-43.
- ・——・森誠一・渡辺勝敏・鹿野雄一. 2006. 世界最南限のイワナ個体群 “キリクチ” の個体数変動と生息現状. 保全生態学研究, 11 : 13-20.
- Sato T., R. Sone, M. Arizono & M. Nagoshi. 2008b. Effects of instream structures on Kirikuchi charr, the southernmost population of the genus *Salvelinus*, in a small mountain stream of Japan. Fisheries Science, 74 : 322-329.
- 鳥居千晴・原田泰志・久米学. 2008. 三重県雲出川水系の一支流における希少種ネコギギの河川内分布と生息環境特性. 陸水生物学報, 23 : 43-51.

