

河川の分断化が魚類個体群に及ぼす影響

Effects of stream habitat fragmentation on fish populations

愛媛大学大学院理工学研究科 井上 幹生
愛媛大学大学院理工学研究科 菊地 修吾
北海道大学大学院地球環境科学研究院 川西 亮太

人工構造物による河川の分断化が淡水魚個体群に及ぼす影響について、四国の一級河川・重信川流域におけるヒナイシドジョウおよびアマゴの局所絶滅を示唆する解析結果を報告する。重信川流域全域に調査地を設定し、ヒナイシドジョウの生息の有無と環境要因との関係を解析した結果、本種の生息は河床の中礫割合が27.7%以上の区間にほぼ限定されていることが明らかとなった。しかし、中礫割合が豊富な区間であっても、分断化流路長が0.97km以下の区間では出現割合が低下することが示され、構造物によって流路長1km程度以下にまで生息地が断片化すると個体群縮小による局所絶滅が起こることが示唆された。重信川支流・石手川の源流域でアマゴを対象に同様な解析を行った結果、構造物による隔離集水域面積が0.85km²以下となるような場所で絶滅確率が上昇することが示唆された。これら2種の解析では、流路長にして1km、集水域面積で1km²程度以下のサイズにまで断片化されると局所絶滅が顕在化することが示唆されたが、そのような小サイズにまで断片化してしまう構造物は治山・砂防ダムや農業用取水堰である。それら比較的小規模であるが多数設置されている構造物のインパクトを重視する必要がある。

キーワード：*Cobitis shikokuensis*, *Oncorhynchus masou*、局所絶滅、取水堰、治山・砂防ダム

We report field investigations that suggest local extinctions of two freshwater fishes, spinous loach and red-spotted masu salmon (non-anadromous population), due to habitat fragmentation by dams in the Shigenobu River, Shikoku. We analyzed habitat factors affecting the presence/absence of the loach using 47 sites established over the Shigenobu River. The results indicated that their presence/absence was explained by a combination of percent pebble and the length of river fragment; loach incidence was high in sites with abundant pebble (> 27.7%) but low in sites with short river fragment (<0.97km) even if pebbles were abundant. Similar analysis was conducted for the salmon in headwater catchments of the Shigenobu River. The analysis showed that local extinctions were apparent in stream reaches at catchment areas <0.85km². The two examples suggest that local extinctions would occur where habitat size is decreased to less than about 1km in channel length or 1km² in catchment area. Although sediment-control dams and weirs are generally small in size, these are numerous installed throughout catchment, from headwaters to mouth. These types of small dams should be considered as a significant agent of habitat fragmentation.

Key words : *Cobitis shikokuensis*, *Oncorhynchus masou*, local extinction, weir, sediment-control dam

1. はじめに

日本では、ほぼ全ての河川において防災や利水を目的とした横断構造物が数多く設置されている(森田・山本 2004)。治山・砂防ダム、取水堰、およびより大型の多目的貯水ダム等、その用途や規模は様々であるが、これらは共通して河川生物の移動阻害要因となっており、特に魚類においては様々な影響が報告されている。例えば、通し回遊魚の遡上が阻害されることによる堰堤上流側での魚類相の著しい単純化や(中野ほか 1995; 棗田・瀬谷 2012)、貯水ダム湛水域の出現に伴う回遊様式の変化(貯水池を利用した陸封回遊:

Nakano et al. 1990; 高木ほか2011)、また、ダムによって隔離された個体群の絶滅リスクの上昇(Morita and Yamamoto 2002; 遠藤ほか 2006)などがある。以上のように、ダムによる移動阻害が魚類に及ぼす影響には、いくつかの様式があるが、どのような影響が顕在化するかは、ダムの高さや湛水域の有無といったダムの構造的特性、および生息魚種の生態的特性(特に回遊様式)などとも関連している。

筆者らは、四国の河川において、数種の淡水魚を対象に、それらの分布、生息量と河川の環境特性との関係に関する解析を行ってきたが、河川横断構造物の影響はしばしば検出される。本報告では、ヒナイシドジョ

ウを対象としたKawanishi et al. (2011) およびアマゴを対象とした菊地・井上 (2014) を基に、分断化が魚類個体群に及ぼす影響を報告する。ヒナシドジョウとアマゴはともに非回遊性で(ただし、アマゴについてはサツキマスと呼ばれる回遊型個体が多い地域もある)、それらの生活史は河川内のみで完結する。よって、ダム等の移動阻害構造物の影響は回遊性魚類に比べるとさほど大きくないとみなされることもあるかもしれない。今回の報告は、非回遊性の魚類であっても生息地の分断化に伴う個体群の縮小が局所絶滅を引き起こすことを示唆する事例である。

2. ヒナシドジョウに対する分断化の影響

(1) 目的

ヒナシドジョウは、四国西部に固有の淡水魚であり希少種とされているが、愛媛県の重信川流域では上流域から下流域まで広く分布する (Kawanishi et al. 2011)。また、重信川は土砂生産の多い典型的な天井川であり、上流から河口付近まで、土砂移動を緩和するための治山・砂防ダム、床固め工が連続的に配置されている。さらに、利水用の取水堰や貯水ダムもあり、流域全体で生息地の分断化が起こっている (図-1)。ヒナシドジョウは、この流域の源流域近くから河口付近まで分布しているものの、全く生息していない区間も多く、そのような生息の有無がどのような環境条件によって決まっているのかを明らかにすることを目的とし、調査解析を行った。

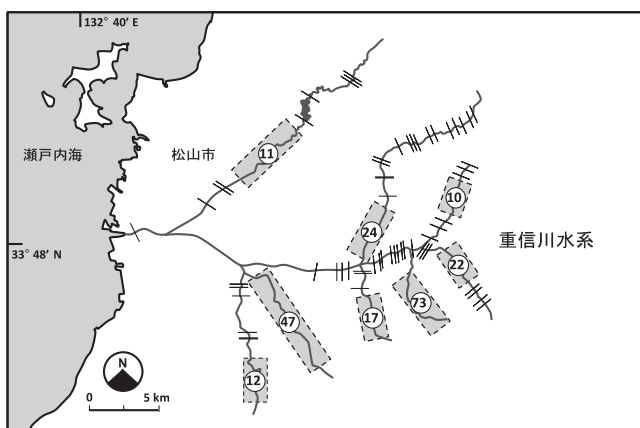


図-1 重信川流域の地図(Kawanishi et al. 2011より)。堤高0.5m以上の横断構造物を横断線で示す。灰色の部分には構造物が多すぎて横断線で示せない部分。数字が構造物の数を示す。

(2) 調査地および方法

重信川は、流域面積445km²、本川流路長36kmの典型的な天井川であり、今回の現地調査で確認しただけでも300基以上の横断構造物が存在する (図-1)。この

流域の本支流全域にわたり、47の調査区間を設定し、各区間において電気漁具を用いてヒナシドジョウの生息の有無を確認するとともに、集水域面積、標高、河床勾配、河道幅、水温、底質構成(デトリタス、砂、小礫、中礫、大、巨礫、岩盤、それぞれの割合)、干上がり頻度、水質(導電率、溶存酸素)に関する調査を行った。また、分断化の指標として、調査区間よりも下流側の横断構造物から調査区間の上流側の横断構造物までの距離(分断化流路長:分断化された生息域サイズを表す)を用いた。これらの変数を説明変数、ヒナシドジョウの生息の有無を応答変数として分類木分析を行った。

(3) 結果と考察

47調査区間のうち、本種の生息が確認されたのは約半数の24区間であった。分類木分析の結果(図-2、3)、本種の有無は第一に中礫(礫径17-64mm)割合で説明され、本種の生息区間は中礫割合が27.7%以上の区間にはほぼ限定されることが明らかとなった。しかし、そのような中礫が豊富な区間であっても分断化流路長が0.97km以下の区間では、出現割合が低下することが示された。本種は上流から下流まで広く連続的に分布しているように見えるが、移動性は低いと考えられており、本調査河川のように分断構造物が多数存在す

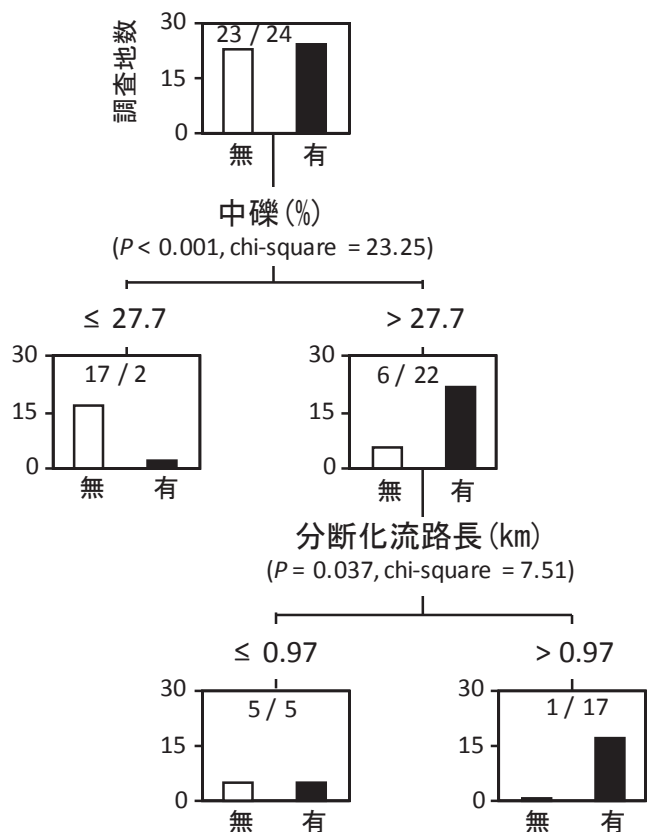


図-2 ヒナシドジョウの有無に対する分類木分析の結果 (Kawanishi et al. 2011より)

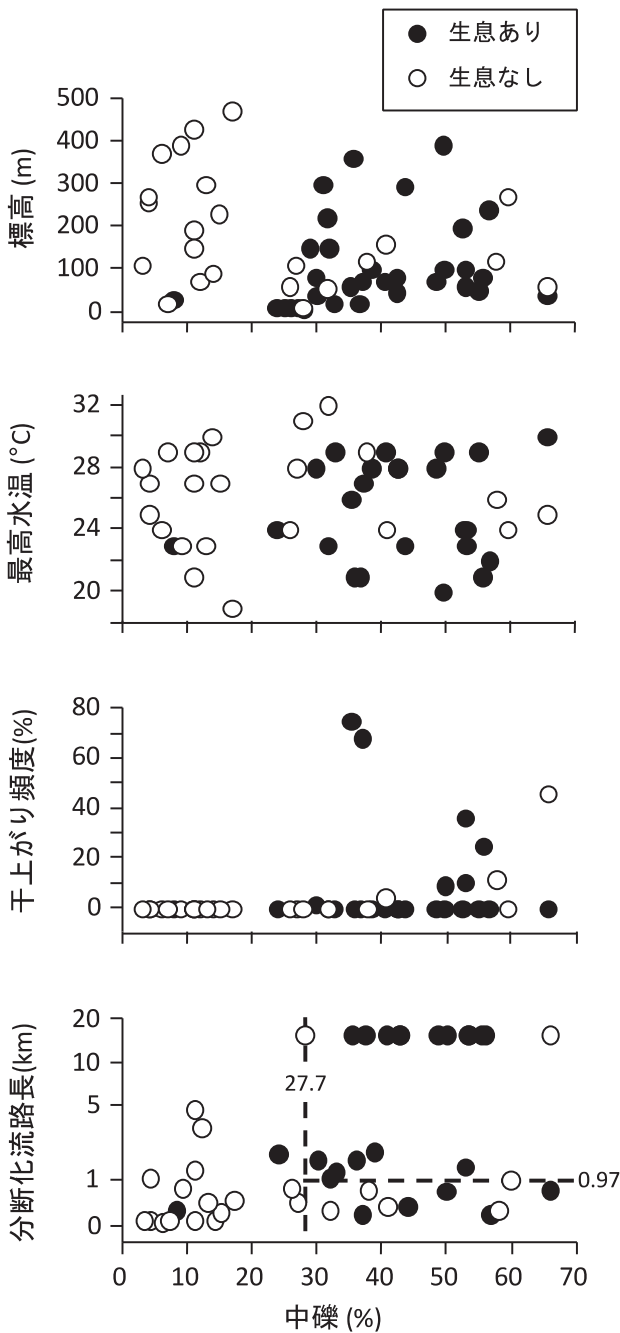


図-3 ヒナイシドジョウの有無と環境要素との関係 (Kawanishi et al. 2011より)

る流域においては個体群の分断化が生じていることが示唆される。そして、流路長にして約1km以下にまで分断化されると、それによる局所的な絶滅が起こっている可能性を今回の結果は示唆している。

今回の調査により、ヒナイシドジョウは重信川流域全体にわたって広く生息していることが明らかとなったが (Kawanishi et al. 2011)、この広域分布の解釈には注意を要する。分布範囲の広さが本種の高い存続性を表すとは限らないということである。前述のように、重信川には300基以上の分断化構造物が存在し、流路長100m程度までに分断化された区間も多数存在する

(図-3)。分断化による影響が局所絶滅というかたちで発現するには数十年オーダー以上の年月がかかるため (Morita and Yamamoto 2002)、現在、広い範囲に生息しているように見えても、今後、分断化された小区間で絶滅が生じることにより分布域が順次縮小する可能性もある。分断化河川における移動の一方向性、すなわち、構造物上流から下流への移動は可能だがその逆は不可能ということを考えると、本調査河川流域でヒナイシドジョウを存続させていくためには、より上流側の生息地の保全が極めて重要となるであろう。

3. 河川横断構造物によるアマゴ个体群の分断化

(1) 目的

河川上流域には治山・砂防ダムが無数に連続的に設置されている。これらのダムでは、上流から下流への魚類の移動 (流下) はありえても、ダム下流側から上流側へ遡上するのは不可能なものが多い。よって、ダム上流側では個体群の孤立化がおり、集団サイズが縮小することで絶滅確率は上昇することになる。すなわち、治山・砂防ダムが連続的に配置されるような上流域では、魚類は最上流側の集団から絶滅していく危険性が高い。本調査では、河川の最上流域に分布するアマゴを対象に、そのような影響が実際に検出されるか、検出されるとすれば、絶滅の危険性が高まる生息域サイズ (集水面積) はどの程度かを明らかにすることを目的とした。

(2) 調査地および方法

調査は愛媛県を流れる重信川の支流である石手川の源流域で行った。この調査流域 (集水域面積約20km²) には少なくとも57ヶ所の移動障害構造物 (治山・砂防ダム, 取水堰, および自然の滝) が存在する。この流域に、区間長50-60mの調査区間を69区間設定した。アマゴの分布上限を特定することができるように、調査区間にはアマゴの生息が見られなくなる最源流部まで含めるようにした。調査支流全域を踏査し、分断構造物 (治山・砂防ダム, 取水堰, 滝) の位置を記録した。各調査区間において、電気漁具を用いてアマゴの採捕を行い、アマゴの生息の有無を調査した。

各調査地の環境特性を表すために、標高、流程上の位置を表す「調査区間より上流側の集水面積 (以下, 集水域面積)」, 分断化構造物により縮小された生息域サイズを表す「調査地よりも下流側に存在する分断構造物より上流側の集水域面積 (以下, 隔離集水域面積)」, 河道サイズを表す「平均水面幅」、生息場所要

素である「淵面積割合」および「カバー割合」を計測した。これらの変数を説明変数、アマゴの有無を応答変数とした分類木分析を行い、分断構造物がアマゴの有無に影響しているかを検討した。

(3) 結果と考察

調査した69区間のうち46区間でアマゴの生息が確認された。分類木分析の結果、アマゴの有無は、「集水域面積」と「隔離集水域面積」の2変数で説明された(図-4、5)。集水域面積 0.49km^2 以下となる地点ではほとんど生息しないが、 0.89km^2 以上となる地点ではほとんどの区間で生息していることが示された。それらの中間域では、分断化集水面積の影響が検出され、それが 0.85km^2 より小さくなるような地点では生息区間数が少なくなった。

この結果より、アマゴ分布域の上限は集水域面積にしておよそ 0.5km^2 程度となる流程に位置するが、分断構造物により生息域が 0.85km^2 以下となるような場合には絶滅確率が上昇することが示唆される。すなわち、おおよそ集水域面積 1km^2 以下となるような源流部での分断化構造物の設置は、アマゴ個体群を上流側から順次絶滅させていくような影響があると推測される。

今回と同様な、人工構造物による分布域上限からの局所絶滅は、山梨県・富士川上流域のイワナとアマゴでも報告されている(遠藤ほか 2006)。彼らは、過去の分布情報と比較することによって、構造物の建造後

にその上流側でイワナまたはアマゴが絶滅したことを、それぞれ7河川ずつで確認している。また、構造物上流側における両種個体群の有無が、主に構造物上流側の集水域面積で説明されることをロジスティック回帰分析によって示した。50%存在確率に基づくその閾値は、イワナでは集水域面積 1.0km^2 、アマゴでは 2.2km^2 となっており、調査時点(2004年)においては、その程度までに生息域を縮小させてしまうような構造物で局所絶滅が顕在化していたことを示唆している。また、北海道における、構造物の建造年(隔離時間)を考慮した解析においても(Morita and Yamamoto 2002)、構造物上流側のイワナの有無を決める集水域面積の閾値は(50%存在確率)、建造後30-50年を想定すると、集水域面積 $1-2\text{km}^2$ 程度であることが示されている。北アメリカでは、河川最上流部に生息するカットスロートトラウトを対象に同様な解析が行われており(Peterson et al. 2014)、それによれば、人工構造物上流側でのカットスロートトラウトの有無を決める閾値は、構造物上流側での流路長 1.7km と推定されている(本調査地では、流路長 1.7km を含む集水域面積は約 1.7km^2 に相当する)。

今回の結果では、人工構造物の影響が顕在化している場所は集水域面積 1km^2 程度以下に位置することが示されたが、この値は、上記のような既存の報告に比べると若干小さい。このような差違をもたらす要因としては、隔離されてからの時間(構造物の建造年;本調査では特定していない)、対象河川における魚の生息密度(環境収容力)、および水系密度に関する気象・水文特性(例えば、集水域面積が同じでも流路長が異なる)の違いなどが考えられる。しかし、今回の結果および既存の報告を総じて見ると、人工構造物による渓流魚の局所絶滅は、集水域面積 2km^2 以下となるような最上流部で起こっていると言えるであろう。

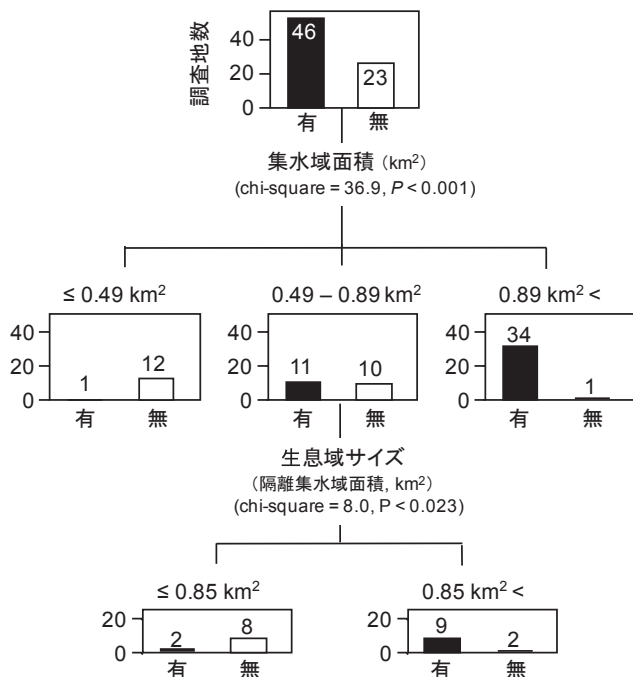


図-4 アマゴの有無に対する分類木分析の結果(菊地・井上 2014より)

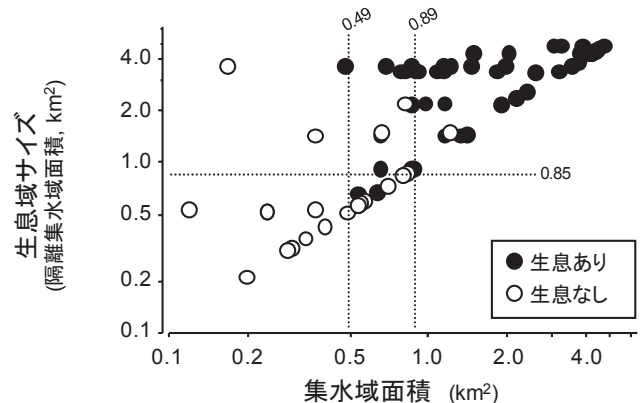


図-5 アマゴの有無と集水面積および生息地サイズとの関係(菊地・井上 2014より)

治山・砂防ダムは連続的に配備されることが多いが(高橋 1990; 中村 2001; 遠藤ほか 2006)、そのような場合、ダムによってその上流側の集団が絶滅すると、次はそのダムの下流側の集団が最上流の隔離集団となるため、局所絶滅は、源頭から下流に向かって波及すると考えられる。本調査地における局所絶滅域は、現在のところ集水域面積1km²以下に位置するが、今後、絶滅域はより下流へと拡大することが予想される。今回の結果は、アマゴのような最上流域に生息する魚類個体群にとっては、魚道の設置といった分断化の緩和は、集水域面積1km²以下といった最上流域でこそ重要であることを示すものである。

4. おわりに

今回の調査河川である重信川のように、日本のほとんどの河川で移動障害構造物による分断化、生息地の断片化が進んでいる。そのような状況下に生息する魚類にとっては、移動が制限されると同時に交流が絶たれ、個体群が複数の小集団に分断化されることになる。そのようにしてそれぞれの集団サイズが著しく小さくなると、環境変動および人口学的確率性や遺伝的劣化を介して、個々の集団が絶滅する危険性が上昇する(原田 1999; 森田・山本 2004)。今回報告した重信川水系のアマゴおよびヒナシドジョウのデータでは、それぞれ、集水面積にして1km²、流路長にして1km以下の分断化で局所絶滅が顕在化していることが示唆された。その程度の小ささまでに水系を細かく断片化してしまう横断構造物は、農業用の取水堰や、水系末端部(源流域)に多数設置される治山・砂防ダムである。一般的に「ダム、ダム湖」と呼ばれるような、堤高が高くその背後に貯水池を伴う多目的貯水ダムは、治山・砂防ダムや農業用取水堰に比べて大規模であり潜在的なインパクトは大きいと考えられる。しかし、治山・砂防ダムや取水堰は河川全体にわたって大量に設置されているため、河川に分断化という面においてはこれらの方がインパクトは大きいものと思われる。実際、今回の調査地である重信川にはいくつかの大規模な貯水ダム(例えば、石手川ダム)が設置されているが、今回検出されたアマゴおよびヒナシドジョウの局所絶滅に関与していたのはそれら以外の構造物であった。このことは貯水ダムの評価や実際の管理においても重要な視点を提供する。大規模な貯水ダムは生態系に対するインパクト要因としてその対策等を配慮されがちであるが、貯水ダムにおいて移動障害要因の緩和に多大なコストをかけたとしても、実際にそれよりも

優先的にはたらく移動障害要因があるとするればそのコストにみあう効果は得られないことになる。特定の巨大構造物の影響のみに焦点を当てるだけでなく、流域全体における構造物の分布を見渡した上での影響評価とその対策が重要となろう。

参考文献

- 1) 遠藤辰典・坪井潤一・岩田智也(2006) 河川工作物がイワナとアマゴの個体群存続に及ぼす影響. 保全生態学研究 11: 4-12.
- 2) 原田泰志(1999) 小集団化に伴う遺伝的劣化. 「淡水生物の保全生態学-復元生態学に向けて-」(森誠一編), pp. 33-41. 信山社サイテック, 東京.
- 3) Kawanishi R., Inoue M., Takagi M., Miyake Y. & Shimizu T. (2011) Habitat factors affecting the distribution and abundance of the spinous loach *Cobitis shikokuensis* in southwestern Japan. *Ichthyological Research* 58: 202-208.
- 4) 菊地修吾・井上幹生(2014) 人工構造物による溪流魚個体群の分断化—源頭から波及する絶滅—. *応用生態工学* 17: 17-28.
- 5) Morita K. & Yamamoto S. (2002) Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. *Conservation Biology* 16: 1318-1323.
- 6) 森田健太郎・山本祥一郎(2004) ダム構築による河川分断化がもたらすもの～川は森と海をつなぐ道～. 「サケ・マスの生態と進化」(前川光司編), pp. 281-312. 文一総合出版, 東京.
- 7) 中村智幸(2001) 聞き取り調査によるイワナ在来個体群の生息分布推定. *砂防学会誌* 53 (5) : 3-9.
- 8) 中野繁・井上幹生・桑原慎知・豊島照雄・北條元・藤戸永志・杉山弘・奥山悟, 笹賀一郎(1995) 北海道大学天塩・中川地方演習林および隣接地域における淡水魚類相と治山・砂防ダムが分布に及ぼす影響. *北海道大学農学部演習林研究報告* 52 (2) : 95-109.
- 9) Nakano S., Maekawa K. & Yamamoto S. (1990) Changes in life cycle of charr following artificial lake construction by damming. *Nippon Suisan Gakkaishi* 56: 1901-1905.
- 10) 棗田孝晴・瀬谷政貴(2012) 利根川最下流域に流入する感潮河川最下流部の堰が魚類相に及ぼす影響. *応用生態工学* 15: 187-195.
- 11) Peterson D. P., Rieman B. E., Horan D. L. & Young M. K. (2014) Patch size but not short-term isolation influences occurrence of westslope cutthroat trout above human-made barriers. *Ecology of Freshwater Fish* 23: 556-571.
- 12) 高木基裕・矢野諭・柴川涼平・清水孝昭・大原健一・角崎嘉史・川西亮太・井上幹生(2011) 愛媛県・重信川水系の石手川ダムにおけるオオヨシボリの陸封化と遺伝的分化. *応用生態工学* 14: 35-44.
- 13) 高橋裕(1990) 河川構造物. 「河川工学」, pp. 196-255. 東京大学出版会, 東京.