

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：23303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26340092

研究課題名(和文) 能登半島里山地帯に生息する絶滅危惧種カワツメの生態と減少要因の解明

研究課題名(英文) Elucidation of the ecology and declining factors of endangered species Arctic lamprey living in the Satoyama area of Noto Peninsula

研究代表者

柳井 清治 (Yanai, Seiji)

石川県立大学・生物資源環境学部・教授

研究者番号：20337009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：カワツメの分布南限域である能登半島において、その減少要因の解明を行った。この地域では2000年以前には11河川で捕獲されていたが、それ以降は2河川しか捕獲されておらず、減少傾向が顕著である。その原因として、幼生が生息する細粒土砂の堆積するワンド地形が河川工事により消失してしまったことが挙げられる。またカワツメは29.3℃が上限致死水温であるため、河川水温の低い上流域に遡上させる必要がある。しかし遡上能力が極めて低い(限界遡上能力20cm)ため、多くの河川構造物により遡上を妨げられている。今後障壁となるこれらの構造物を改良し、河川の連続性を図ることが南限域の本種の保全を図るうえで重要である。

研究成果の概要(英文)：The factor of decreasing lamprey was studied in Noto Peninsula, which is the southern distribution border. In this area, arctic lamprey was captured in 11 rivers before 2000 using special fishing gear called "Kanko", but only 2 rivers have been captured since 2000. The cause of decline was largely influenced by the channel alternation done in the 1980's. For larvae living in muddy substrate, the side cavity topography on which fine grain sediments are deposited is indispensable, but this topography has disappeared due to channel work. Global warming is also important factor, the 29.3℃ is upper limit temperature for survive. They need to migrate for low temperature upstream area. However, the migration ability is extremely low (limit height for migration was about 20 cm). It was concluded that improving the river structure that becomes a barrier and restoring continuity of river is important for conservation of this species in the southern distribution border in Japan.

研究分野：流域環境学

キーワード：カワツメ 能登半島 生息場 幼生 減少要因 ワンド 河川水温 遡上能力

1. 研究開始時の背景

(1) カワヤツメ (*Lethenteron japonicum*) はヤツメウナギ類の一種であり、北極圏と北太平洋およびアジアに分布する遡河回遊魚である (Hardisty 2006)。日本では内水面漁業の対象魚として現在でも商業的な価値をもつが、その漁獲量は最盛期の 1/50 以下に減衰しており (北海道 2007)、各都道府県のレッドデータブックでは準絶滅危惧種から絶滅危惧類、ヨーロッパにおいても危急種に指定されている (Renaud 1997) (図 1)。これらの減少は、幼生期における生息環境の消失や、親魚の産卵環境の消失、河川構造物などによる遡上障害そして温暖化による水温上昇など複数の要因によると考えられる。

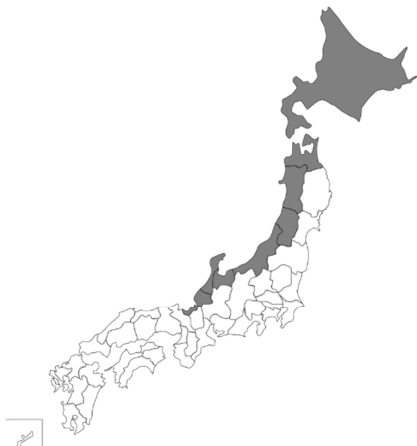


図 1 過去 10 年間のカワヤツメの生息状況
(斜線部過去 10 年間で生息の報告がある道県)

(2) 近年、ヤツメウナギの持つ価値に対する関心は非常に高まっている。ヤツメウナギやタウナギは地球上に生存する唯一の無顎類であり、そのため脊椎動物の進化を探る上で極めて貴重な研究対象となっている。まさに、こうした古代魚が身近な川に存在すること自体が奇跡に近いといっても過言ではない。通常ゲノムを解析する対象としては北米に生息するウミヤツメ (*Petromyzon marinus*) が一般的であるが、日本に生息するカワヤツメはそれらに比べてゲノムサイズが小さく好適な研究材料と考えられている。日本のカワヤツメを使った比較ゲノム学の研究プロジェクト (筆者も含む) も進められ、脊椎動物の起源に関する最新の知見も得られている (Mehta et al. 2013)。

(3) ヤツメウナギ類は文化的にも重要な意味を持っている。アメリカ西部オレゴン州からワシントン州を流れるコロンビア川流域に居住する先住民たちは、この魚を神として古くからあがめてきた。我が国においても北陸や北海道などの農村地帯では重要な蛋白源となっており、カワヤツメの捕獲が地域の恒例行事やカワヤツメを使った祭りなども行われてきた。しかし資源の減少とともにそうした行事も廃れてしまった。カワヤツメを復活

させることは疲弊した農村地帯にうおいを与え、地域活性化の材料の一つとなりうる。このようにこの魚は一般的な食料としての価値 (供給サービス) のみならず、遺伝資源や薬用、そして宗教や祭礼など幅広い生態系サービスの多くをわれわれ人類に与えてくれる。

2. 研究の目的

カワヤツメは北海道から島根県までの主に日本海側の河川に遡上する回遊魚であるが、全国的に減少し、環境省の絶滅危惧類に登録されている。南限に当たる能登半島は里山の景観が良好に保存された地域であり、2011年には FAO から世界農業遺産に登録された。この地域は景観のみならず自然資源も豊富であり、とくに春には多くのカワヤツメがこの地域の河川に遡上し、農村地帯の貴重な食料源となっていた。しかし近年その個体数は激減し、その存在すら知る人が少なくなっている。そこで現在希少価値となっているカワヤツメの生態と減少要因を探り、里山にふさわしい環境保全対策を提示することを目標とする。カワヤツメの減少要因は主に農地環境や河川環境変化、ダムによる遡上障害、護岸による生息場の減少、農薬によるものと考えられているが、まだ特定できていない。この研究ではその減少要因を物理的・化学的な観点から明らかにし、カワヤツメ資源とその生態系サービスの復活を図ることを目的とする。

3. 研究方法

(1) 分布南限地域である、能登半島に生息するカワヤツメを対象として生息実態調査を行う。調査は石川県の内水面漁協、市町村の協力を得て広域にアンケート調査を行うとともに、カワヤツメを捕獲してきた川漁師への聞き取り調査を行う。

(2) 過去多く生息していたが、現在その個体数が激減した能登半島の河川において、幼生と親魚の生息実態調査を行う。同時に航空写真や地形図を用いて、過去に生息可能であったと思われる場所のポテンシャルハビタットを作成する。遡上の障害物とみられる堰堤、頭首工などの構造物の分布を GIS 上に記入するとともに、生息に及ぼす環境要因についても記載をおこなう。

(3) 地球温暖化により河川水温が上昇した場合の生息限界温度について、実験室においてインキュベータ内で飼育実験を行い明らかにする。また河川の取扱い (河畔林の保護など) によっても水温上昇は異なるが、そうした河川流域の取扱いの違いを含めて予測を行う。

(4) 親魚の遡上にとって阻害要因となる落差工について実験室内の水槽を用いて解析を行う。現在河川に設置されている構造物に設置されている魚道の多くが、サケ科魚類などの大型魚を対象としたものであり、ヤツメウナギのような泳ぎ上り型の魚は対象としていない。したがってどのような落差が遡上の限界なのか、どのような構造がよいかについては検討を行う。

(5) 幼生がどのように泥中の有機物を摂取するかについて、胃内に含まれる細菌の DNA 解析を行い、セルロースを分解する酵素が生成されているかを確認する。さらに幼生と底質をサンプリングし、実験室で乾燥抽出し、幼生は筋肉組織、底質は有機物成分を抽出し質量分析にかけて窒素安定同位体比や炭素安定同位体比を測定し、その組み合わせにより季節ごとの餌起源の推定を行う。

(6) 資源量の減少した河川にカワヤツメを復元するために、親魚から卵子と精子を採取し、人工授精を行い、効果的な増殖法を確立する。さらに得られた稚魚を飼育するための最適なエサについて解明を行う。

4. 研究成果

(1) 能登半島における絶滅危惧種カワヤツメの過去からの生息実態と利用文化を明らかにするため、能登半島を流れる 11 河川流域において地域住民へのアンケート、川漁師への聞き取りおよび役場での文献調査を行った。この結果、2000 年以前は 9 河川で捕獲・生息が確認されていたが、2000 年以降は 2 河川しか確認できなくなっていた。カワヤツメが最も捕獲され利用されていたのが、能登町の町野川であり、カンコと呼ばれる特殊な漁具を使ってヤツメが捕獲されており(図 2)、捕獲されたヤツメはかば焼きなどで利用され、春の格別な風物詩として地域文化を担っている。



図 2 カンコ漁の様子

た。しかし漁獲量は 1980 年以降急激に激減しており、その原因として河川改修による影響を挙げた人が多かった。今後、能登に育まれた独特なカワヤツメ文化を維持するために、河川環境の改善と放流を行い、地域の子供たちへの文化の継承を行っていく必要がある。

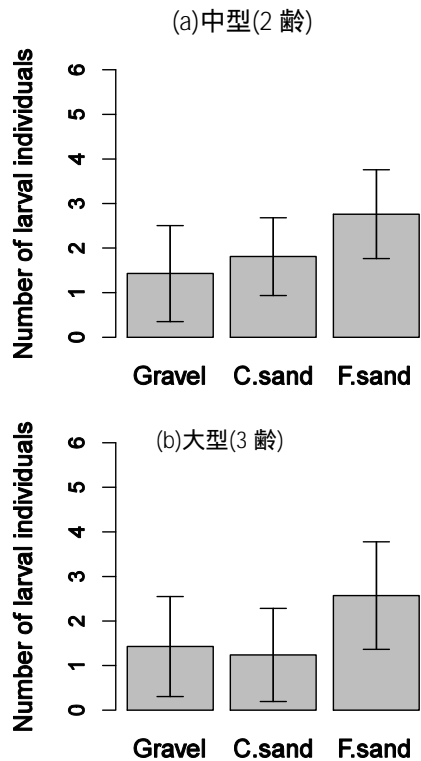


図 3 幼生サイズごとの底質粒径の選好性

(2) カワヤツメの分布南限地帯に生息する幼生の秋季の微生息場を、能登半島北部を流れる町野川において、野外生息環境調査と室内飼育実験により明らかにした。幼生の密度は、直線的な河岸に比べて、河岸付近が入り組んだワンド地形で高かった。ワンド地形の物理環境は、細粒砂以下の粒径と有機物の割合が高く、対照区に比べて流速が緩やかであった。室内飼育実験においても幼生は 2 齡、3 齡とも粒径が最も細かい底質 (0.25mm 以下) を選好しており(図 3)、この粒径の底質が幼生にとって重要な生息条件であることを明らかにした。本河川において 1970~1990 年代にかけて河道拡幅や護岸工事などの改修工事が行われており、それに伴って河岸環境は単調化し、幼生の生息場となるワンド地形が減少した可能性が考えられた。

(3) 野外生息環境調査より、底質に細粒な粒径と有機物が最も堆積するワンドでは、カワヤツメ幼生がほとんど確認されなかった。この地点は酸化還元電位の値が最も低く底質が嫌氣的であったために、幼生にとって生息しづらい環境であったことが推測される。室内飼育実験においても、幼生が酸化還元電位の高い底質を選択したことから、幼生は好氣的な底質を選択すると考えられる。カワヤツメの分布南限に位置する町野川では比較的水

温が高くなる。水温が高いことによって底質が嫌氣的になりやすく、餌となる有機物が堆積しながらも、流れ込みなどによって好氣的に保たれる環境が幼生の生息場として望ましい。

(4) カワヤツメの分布南限における夏季の高水温による幼生への影響を明らかにするため、本研究は幼生の温度耐性と町野川における河川水温と幼生の分布を調べた。ILT (Incipient Lethal Temperature) 法によって幼生の上限致死水温（実験期間1週間）は29.3と推定された。またACE (Acclimated Chronic Exposure) 法による実験から、幼生の上限致死水温は実験期間が1カ月の場合、29.5より高く31未満と推定された。ACE法で、幼生の重量は実験開始時に比べて18から28の間では増加していたが、29.5で減少していた。その為、この付近の水温は成長と生存に関わる限界値と推測される(図4)。

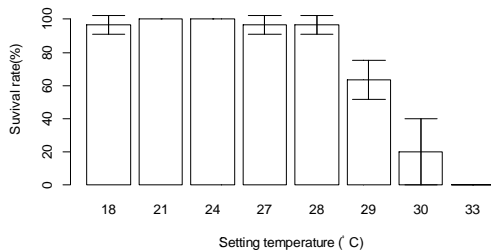


図4 カワヤツメ幼生の上限致死水温

(5) 分布南限である町野川における幼生の分布は中流部の落差1mの堰堤の下流側のみ分布していた。その上流側には陸封型のスナヤツメ幼生が分布していたことから、この結果はカワヤツメ親魚が堰堤の上流側へ移動できず、幼生の生息域が堰堤の下流側に制限されている可能性を示唆していた。

一方、夏季の河川水温は、上流から下流に向かって上昇していた。カワヤツメ幼生の分布上限域における最高水温は30.0を記録し、本研究によって推定された幼生の上限致死水温付近に到達していたことから、生存に適していない可能性が示された。しかし、河川において幼生が生活する底質中の水温（底質深2cm）は河川水に比べて約2℃低く、28前後では生存率や成長に異常が生じていなかった。このことから、幼生は高い水温による代謝異常などの影響を、水温の低い底質に潜ることで回避していたのかもしれない。しかし今後の地球温暖化に伴う水温上昇によって、幼生の分布域が制限される可能性があり、水温の低い上流域を利用させていくことが望ましい。

(6) 親魚の遡上能力と河川構造物の影響
野外で観察された、カワヤツメ親魚の遡上障害となる河川構造物の落差を明らかにするため、水理実験施設を用いて遡上実験を行った。水路内で落差11cmと24cmで鉛直の隔壁と傾斜隔壁を設定し、それぞれ昼間と夜間

で親魚の遡上率を比較した。この結果カワヤツメは昼間より夜間の遡上行動が活発であり、11cmの水位差では遡上できるが、24cmの水位差では遡上できないことがわかった。また画像解析から遡上可能な水位差は20cm程度と推定された。この結果から河川構造物はカワヤツメの遡上に大きく影響し、たとえ小規模な落差工であっても遡上を妨げ、好適な産卵場にたどり着けないことが減少要因の一つとなっている可能性が示された。

(7) 室内においてカワヤツメ幼生を飼育し、河畔林由来の落葉リターを給餌した結果、78日間で全長は46%増加し、重量も200%増加した。さらに幼生の炭素同位体比は-26.2‰、落葉リターの同位体比-30.7‰、容器内に繁殖した藻類の同位体比-40.5‰であった。このことから幼生は藻類ではなく、落葉リターから主に栄養を摂取していることが明らかになった。秋から冬にかけて河畔林から河川内に供給される落葉などの有機物は、幼生にとって重要な餌資源であると考えられた。その為、河川環境として落葉広葉樹などの河畔林の保全が重要で、下流方向への有機物の移動が河川横断構造物によって遮断されないことが望ましい。

(8) 幼生を室内で飼育し、異なる餌を与えて腸内細菌叢を調べた。落葉は難分解性物質のセルロースやリグニンから構成されているが、幼生の腸管内から単離された14株の内、八口形成法によって7株がセルロース分解活性を示し、4株がリグニン分解活性を示した。TLC法によって、菌体はリグニンを体外に排出した酵素によって分解していた。その為、幼生の腸管内においても、菌体から分解酵素が分泌されており、幼生はそれらを利用して落葉リターを分解し栄養を摂取していたと考えられる。またセルロース活性を示した菌株の中でも、Aeromonas属やBacillus属は変態したヤツメウナギ類の腸内優占種として知られている。特にAeromonas属は、魚類の血液分解能を有しているため、成体の吸血摂食に関係していると報告されている。その為、幼生期から変態期にかけて食性は大きく変化するが、生活史を通して腸内細菌が餌の分解機能に関係している可能性がある。

(9) 人工授精

カワヤツメ親魚を用いて人工授精した結果、良好な受精卵を採取し受精卵の蓄養密度を適切な条件で実施することで、87%（最高99%、

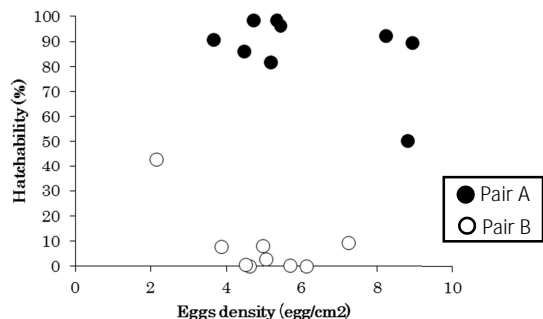


図5 成熟度の異なるペアから得られた受精卵の蓄養密度と孵化率の関係

最低 50%) の受精卵を孵化させることに成功した(図 5)。親魚の成熟度合は 第一背鰭と第二背鰭の間隔が密着すること、雌個体では、体色が黒色から緑色に変化すること、腹部が膨張すること、生殖器の突起(Urogenital papilla)が発達することによって相対的に判断する必要がある。受精卵は水の入ったプラスチック製の容器に約 10 粒/cm²以下の密度で投入し、エアレーションを行うことで、87%の受精卵が孵化した。受精卵の入った容器は遮光され、室温 19 に保たれた恒温室で蓄養することで、約 8~9 日で孵化する。孵化するまでの積算水温は 152~171 と推定された。蓄養中、水替えを行った容器(2日に1回・4日に1回)と水替えを行わなかった容器で孵化率を比較したが、明瞭な差は見られなかった。

(10) 初期幼生の飼育

全長約 3mm の孵化した幼生を無給餌で蓄養すると、18 日後に 8mm となり成長は収束した。卵黄などの内因性栄養による成長が終了し、この時期から外因性栄養を摂取する必要があると推測される。初期幼生の飼育環境として、底質を提供せずに 1 週間蓄養した場合、幼生の生存率は 0% で、底質を提供した場合の生存率は 66.7~86.7% であった。また孵化 1 か月後の全長 1.1 ± 0.1cm の幼生は、全長 4.3 ± 0.4 cm に比べて、細粒砂への潜砂能力はわずかに低く極細粒砂によく潜砂していたが、より大きな幼生と有意な差はなかった。以上のことから、孵化後 2 週間経過した幼生に対して、速やかに飼育環境として極細粒砂や細粒砂などの細かな底質を提供する必要がある。

さらに餌の種類と幼生の蓄養密度を変化させ、初期幼生の生存率を調べた飼育実験を行った。餌の種類としてドライイーストや藻類、落葉リター、落葉リターとドライイースト混合を幼生に給餌した。この結果、ドライイーストを給餌した幼生の成長率が高かった(図 6)。ドライイーストは粒径が約 10 μm と細粒であり、小型の幼生にとって摂食効率が高いと考えられる。また別の飼育実験では、初期幼生を 1667 尾/m²密度で蓄養した時、生存率は 10000、16667 尾/m² に比べて高く、最高で 55.2% を記録した。餌の種類として、幼生の生存率はドライイーストと小麦粉を給餌したもので高かった。ドライイーストと小麦粉、水産飼料を給餌した幼生の成長率は高かったが、生存率は低かった。今後、給餌量を増やすことや、幼生をさらに低い密度で蓄養し生存率を向上させる飼育方法を検討する必要がある。

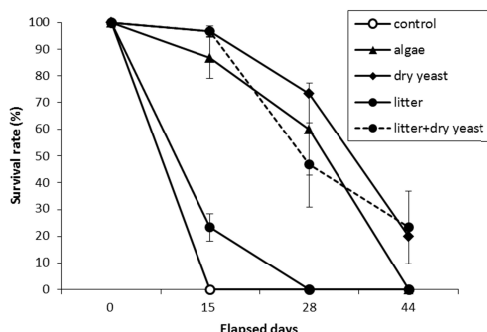


図 6 餌の種類ごとの幼生の生存率

<引用文献>

- Hardisty, M. W., & Potter, I. C. (1971). The behavior, ecology and growth of larval lampreys. In M. W. Hardisty & I. C. Potter (Eds.), *The Biology of Lampreys* (Vol. 1, pp. 85–125). London: Academic Press.
- Mehta T. K., Ravi V., Yamasaki S., Lee A. P., Lian M. M., Tay B., Tohari S., Yanai S., Tay A., Brenner S., and Venkatesh B. (2013) Evidence for at least six Hox clusters in the Japanese lamprey (*Lethenteron japonicum*). *PNAS* 110 (40), 16044-16049; <https://doi.org/10.1073/pnas.1315760110>
- 北海道 石狩振興局 (2006) カワヤツメ資源の減少. <http://www.ishikari.pref.hokkaido.lg.jp/ss/sis/grp/yatume2.pdf>
- Renaud, C. B. (1997). Conservation status of Northern Hemisphere lampreys (Petromyzontidae). *Journal of Applied Ichthyology*, 13(3), 143–148. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1997.tb00114.x>

5 . 主な発表論文

[雑誌論文](計 2 件)

- 荒川裕亮・柳井清治、能登半島における絶滅危惧種カワヤツメ幼生の秋季微生物環境、応用生態工学、査読有、20 巻、2017、11-24
- 荒川祐亮、志摩俊弘、柳井清治、能登半島里川におけるカワヤツメに関する地域文化とその漁獲量の推移、石川県立大学紀要、査読有、1 巻、2018、印刷中

[学会・研究会発表](計 8 件)

- 1) 吉竹寛矩、一恩英二、長野峻介、藤原洋一、柳井清治、魚道隔壁におけるカワヤツメの遡上行動と遡上率に影響を与える要因、雨水資源化システム学会講演、名古屋市、2015 年 9 月
- 2) 柳井清治、能登里山地帯を流れる河川に生息するカワヤツメの生態・利用と再生の試み、全国湖沼河川養殖研究会第 88 回大会招待講演、金沢市、2015 年 9 月
- 3) Arakawa H., Yanai S. Artificial propagation and rearing of larval Arctic lamprey from Noto Peninsula, Ishikawa Prefecture, Japan, 2015 Joint Seminar on Environmental Ecology and Restoration between Taiwan and Japan, Changhua, Taiwan, (August 2015) .
- 4) Arakawa H., Yanai S., Murakami T., Miyake K. Processing mechanism for terrestrial leaf litter by larval Arctic lamprey (*Lethenteron japonicum*), 2016 Joint Seminar on Environmental Ecology and Restoration between Taiwan and Japan, Housu, Japan, (September 2016)

- 5) Arakawa H., Yanai S., Murakami T., Miyake K.
Arctic lamprey (*Lethenteron japonicum*) larvae
employ gut microbes to digest terrestrial leaf litter,
Northwest Fish Culture Concepts, Centralia, USA,
(December 2016) .
- 6) 荒川裕亮、柳井清治、石川県能登半島における
絶滅危惧種カワヤツメ幼生の微生物場、応用生
態工学会、郡山市、2015年9月.
- 7) 荒川裕亮、柳井清治、底質粒径が絶滅危惧種カ
ワヤツメ初期幼生に与える影響～ワンド地形が
持つ有用性～、日本生態学会、仙台市、2016
年3月.
- 8) Arakawa H., Yanai S., Lampman R. T., Tyler B., Moser
M. L., Alexiades A. Upper thermal tolerance of
Arctic Lamprey and Pacific Lamprey larvae and
instream thermal dynamics within larval lamprey
habitat in Ishikawa, Japan (southern limit of Arctic
Lamprey distribution) and Yakima Subbasin,
Washington State, USA (Upper Columbia River
tributary) , Alaska Chapter/ Western Division
American Fisheries Society 43rd Annual Meeting,
Anchorage, AK, USA (May, 2018)

[その他]ホームページ・新聞記事など

能登半島の里川に棲むカワヤツメの人工ふ化に
成功！地元小学生を対象に放流会開催
<http://www.ishikawa-pu.ac.jp/news/?p=3166>
能登半島の伝統文化カワヤツメのカンコ漁を体
験しました
[http://ryuukikankyou.blog.fc2.com/blog-entry-
22.html](http://ryuukikankyou.blog.fc2.com/blog-entry-22.html)
能登の里川で地元小学生とカワヤツメ幼生を放
流 [https://ja-
jp.facebook.com/permalink.php?story_fbid=11838
10631724124&id=832879526817238](https://ja-jp.facebook.com/permalink.php?story_fbid=1183810631724124&id=832879526817238)
能登町と県立大 カワヤツメ稚魚を放流
[http://www.town.noto.lg.jp/www/info/detail.jsp?co
mmon_id=11255](http://www.town.noto.lg.jp/www/info/detail.jsp?common_id=11255)
能登・里山地帯のカワヤツメ、いしかわ自然史
第65号、2015年
カワヤツメの人工繁殖北国新聞、2015年7月13
日付朝刊

6. 研究組織
(1) 研究代表者

柳井 清治 (YANAI Seiji)

石川県立大学・生物資源環境学部・環境科学
科・教授

研究者番号 20337009

(2) 連携研究者

一恩 英二 (Ichion Eiji)

石川県立大学・生物資源環境学部・環境科学
科・教授

研究者番号 10320912

(3) 研究協力者

荒川 祐亮 (Arakawa Hiroaki)

石川県立大学大学院博士課程

Ralph Lampman

Yakama Nation Fisheries, Washington, USA