

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00646

研究課題名(和文) 在来種の排除を伴わない移入種定着の影響：資源分割を介した生産構造の改変

研究課題名(英文) Effects of non-native species through resource partitioning: alteration of productivity

研究代表者

井上 幹生 (Inoue, Mikio)

愛媛大学・理工学研究科(理学系)・教授

研究者番号：10294787

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、四国の河川において移入種であるイワナと在来種であるアマゴが資源分割により共存することによって両種の総生産量が高まるかどうかについて検討した。アマゴは単独の場合よりもイワナと共存する場合の方が成長量が高いことが示された。これを反映して、統計的には有意ではないものの、総生産量は共存域で高くなる傾向が見られた。今回の結果により、類似した種間での資源分割が総生産を高める可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

移入種による在来種の排除など、移入種が在来生物群集に与える際立ったインパクトは数多く報告されているが、実際には、移入種が在来種を絶滅させてしまう例よりも、在来種を排除せずに共存する例の方が圧倒的に多い。このような、より普遍的に見られる移入種と在来種の共存が生物群集に及ぼす影響に着目することは、現実的な移入種管理を行う上で重要である。また、資源分割による共存が生産性を高める可能性を示唆した本研究は、移入種問題のみならず種多様性の生態的機能評価という側面においても新たな知見を提供するものである。

研究成果の概要(英文)：This study examined whether coexisting of non-native charr and native masu salmon results in an increase of total fish production. The results indicated that growth of masu salmon was higher in the coexisting sites than in the sites where only masu salmon inhabited. As a result, the coexisting sites had higher mean total fish production than the masu salmon sites, although the difference was not statistically significant. The results suggested that coexisting of ecologically similar species via resource partitioning may enhance their total productivity.

研究分野：河川生態学

キーワード：移入種 アマゴ イワナ 資源分割 捕食

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

移入種が在来生物群集に与える深刻な影響は数多く報告されている。よって、「移入種」には、必然的に在来種を絶滅に追い込む生物であるかのようなイメージがある。しかし必ずしもそうとは限らない。実際には、移入種が在来種を絶滅させてしまう例よりも、在来種を排除せずに共存する例の方が圧倒的に多いと考えられる。よって、移入種の影響の現実を理解するためには、在来種から移入種への置き換わり（在来種の絶滅）といった際立ったインパクトに注目するだけでなく、より普遍的に見られる移入種と在来種の共存が生物群集および生態系全体にどのような変化をもたらすかといった側面にも目を向けることが重要である。

イワナやヤマメ、アマゴといった溪流性サケ科魚類は、流水中で特定の位置を保持し、流下してくるエサ（無脊椎動物）を食べる流下採餌を行う。同種集団中の個体間には順位関係があり、強い優位個体から順に、流下餌がより多い場所をナワバリとして確保する。ナワバリを確保できない劣位個体は流下採餌をあきらめ、川底の無脊椎動物を食べる（底生採餌）。それぞれの種はこのような社会構造を持つが、2種のサケ科魚類が生息する場合、順位関係は種間に拡張され、どちらかの種が主に流下採餌を、もう一方が底生採餌を行う（Nakano *et al.* 1999）。こうしたサケ科魚類の社会構造は、競争や資源分割の典型例として広く教科書的に紹介されている。

一方で、サケ科魚類は水産有用種であり遊魚対象種としても人気がある。そのため、古くから移植放流がさかんに行われており、世界各地で移入種問題を引き起こしている。日本では、例えば、ニジマスやブラウントラウトといった移入種によって在来イワナが排除される例（置き換わり）が報告されているが（Morita 2018）、在来種と共存する場合も多く、北海道での調査では、在来ヤマメが流下物採餌、移入ニジマスが底生採餌を行うような資源分割が明らかとなっている（Inoue *et al.* 2009）。

イワナは日本在来種であるが四国と九州には自然分布しない。本研究の調査地である四国の仁淀川水系黒川では1990年代以降、移入イワナの生息域が拡大しており、それに伴う在来アマゴ生息密度の低下が示唆されている。また、アマゴが流下採餌、イワナが底生採餌という資源分割が明らかになっている。アマゴ1種のみの場合には、アマゴ集団中には流下採餌個体（優位個体）と底生採餌個体（劣位個体）の両方が含まれるが、そこにイワナが加わるとアマゴ集団中の劣位個体がイワナに置き換わるかたちで共存すると推測される。つまり、流下採餌ではアマゴが有利だが底生採餌においてはイワナの方が有利であり、それぞれが相対的に得意とするニッチを占めると考えられる。このように、資源分割による共存とは、それぞれの種が得意とするニッチ（相手に比べて資源利用効率の高いニッチ）に種レベルで特化する現象であり、全体での資源利用効率は高まることになる。イワナとアマゴの例では、アマゴ単独の場合よりも、アマゴとイワナが共存する場合（アマゴの劣位個体がイワナに入れ替わった場合）の方が魚類全体としての資源利用効率は高まることになり、魚類の総生産は増大すると予想される。その一方で、これら2種の餌資源である無脊椎動物にとっては捕食圧が高まることを意味する。

2. 研究の目的

理屈の上では上記のような移入種定着による魚類総生産の増加や無脊椎動物の減少といった生産構造の改変が予想される。しかし、野外で実際にそのようなことが起こっているのか？ 言い換えれば、その影響は野外で検出可能なほどに大きいのか？ それを明らかにすることが本研究の目的である。具体的には、移入イワナが定着し在来アマゴと共存している河川（共存区間）と、イワナの侵入が阻まれアマゴのみが生息する河川（単独区間）を比較し、(1)共存区間の方が魚類生産は高いのか？ (2)共存区間の方が底生無脊椎動物に対する捕食圧は高いのか？ という2点について検討する。

3. 研究の方法

四国の仁淀川水系黒川源流域において、アマゴのみが生息する「アマゴ区間」、厳密にはイワナ単独ではないがイワナの数の方が圧倒的に多い「イワナ区間」、および両種が同程度の数で共

存する「共存区間」の3つのタイプを設定し、各タイプあたり4区間、合計12区間の調査区間を設定した。各調査区間において、6月、8月、11月、および翌4月に魚類を採捕し、個体識別マークを施すと同時に体長（尾叉長）と体重（湿重量）を測定した。これらを基に、体サイズ、成長、現存量、生産量を算出し、その年に生まれた当歳魚と1歳以上（以降、便宜的に成魚と呼ぶ）に分けてタイプ間で比較することで共存により魚類総生産が高くなるかどうかについて検討した。また、共存区間の方が無脊椎動物に対する捕食圧が高まるかどうかを検討するために、夏季（8月）と冬季（11月）に石礫表面上から底生無脊椎動物を採取し、その現存量をタイプ間で比較した。

4. 研究成果

(1) 魚類の成長と生産量、および底生無脊椎動物

春に生まれた当歳魚の成長が、アマゴ区間、イワナ区間、共存区間の3タイプ間で異なるかを検討するために、6月から翌4月にかけてのそれぞれの調査時期に体サイズをタイプ間で比較した（図1、2）。その結果、アマゴ当歳魚では、6月にはアマゴ区間と共存区間との間に有意な差は無かったが、8月と11月では有意な差が認められ、共存区間の方が大きかった（図1）。翌4月では有意な差はなかったものの、共存区の方でより大きいという傾向は維持された。これらの比較より、アマゴ当歳魚では、生まれた年の夏以降、アマゴ単独集団よりもイワナと共存している集団の方がより高い成長を示すことが示唆された。これは、共存集団ではアマゴの底生採餌個体（劣位個体）がイワナに置き換えられることで共存するという推測に合致する。アマゴ単独集団では、成長の劣る底生採餌個体が含まれることによって、流下採餌個体が多くを占める共存集団のアマゴよりも成長量の平均値が引き下げられたものと解釈される。一方、イワナ当歳魚ではどの時期においてもイワナ区間と共存区間との間で有意な差は認められなかったが、どちらの区間においても11月から4月にかけての冬期間中に大きく成長することが示された（図2）。

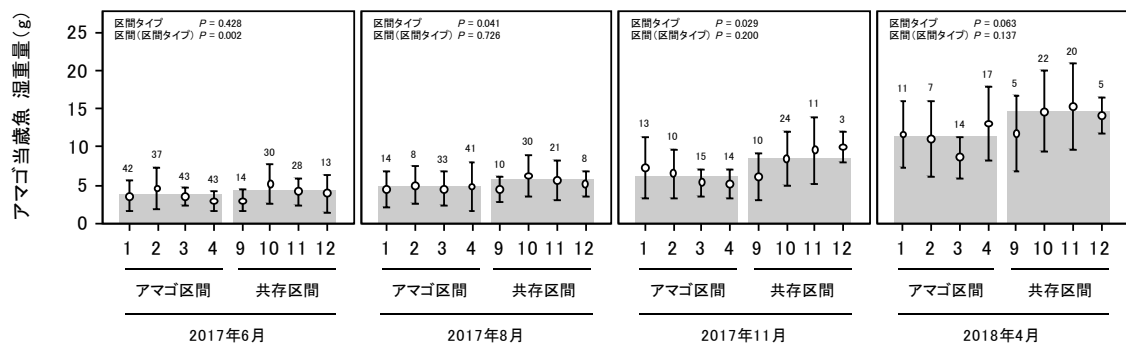


図1. アマゴ当歳魚の成長

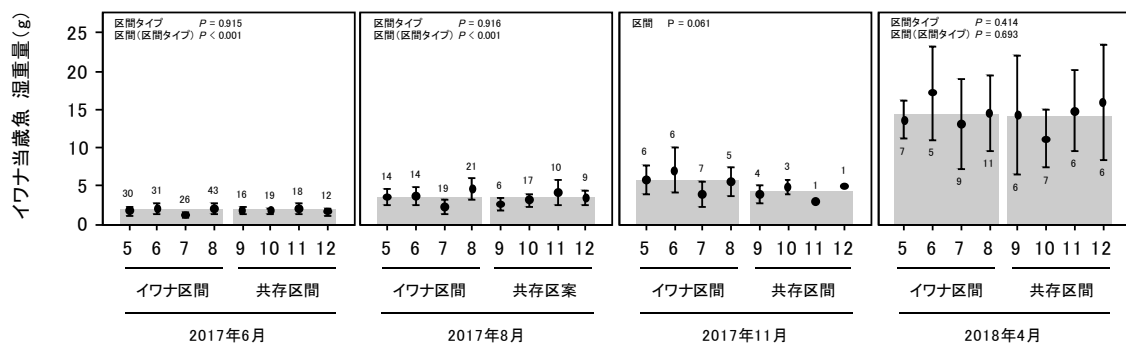


図2. イワナ当歳魚の成長

6月、8月、11月、4月のデータを基に年間での魚類生産量（アマゴとイワナの総生産量）を算出し、タイプ間で比較した。その結果、統計的に有意な差は得られなかったものの、当歳魚、成魚ともにアマゴ区間では他に比べて低い傾向が見られた（図3）。この差を認めるとすれば、イワナが加わる共存区間での総生産量がアマゴ区間のそれを上回る傾向を示したのは、共存区間でのアマゴの成長量がアマゴ区間のそれよりも高いことと、冬季ではイワナの成長量がアマゴを上回ることの2点によるものと解釈される。

石礫表面上の底生無脊椎動物現存量をタイプ間で比較した結果、3つのタイプ間で有意な差は認められなかったが、傾向としては予想とは逆に、共存区間で高くなる傾向となった（図4）。

(2) 今後の展開

今回、当初予測した①アマゴ単独河川よりもアマゴ・イワナ共存河川の方が生産量は高くなる、②共存河川の方が底生無脊椎動物量は低くなる、という2つの予測を明瞭に支持する結果とはならなかった。総生産量にタイプ間での有意な差が認められなかった要因の一つには、サンプル数の少なさ（タイプあたりN=4）があると思われる。しかし、アマゴの成長量については、単独集団よりも共存集団で高くなる傾向が認められ、予測に合致する結果となった。今後は、それぞれの種における採餌様式（流下/底生採餌）の違いと成長量との関係を明らかにするような個体レベルでのより詳細なアプローチと、生産量の計測手法をより簡易的にしてより多くの区間で生産量を比較するという、粗く広いアプローチを組み合わせることで、今回の予測の妥当性を検証していくことができると考えられる。

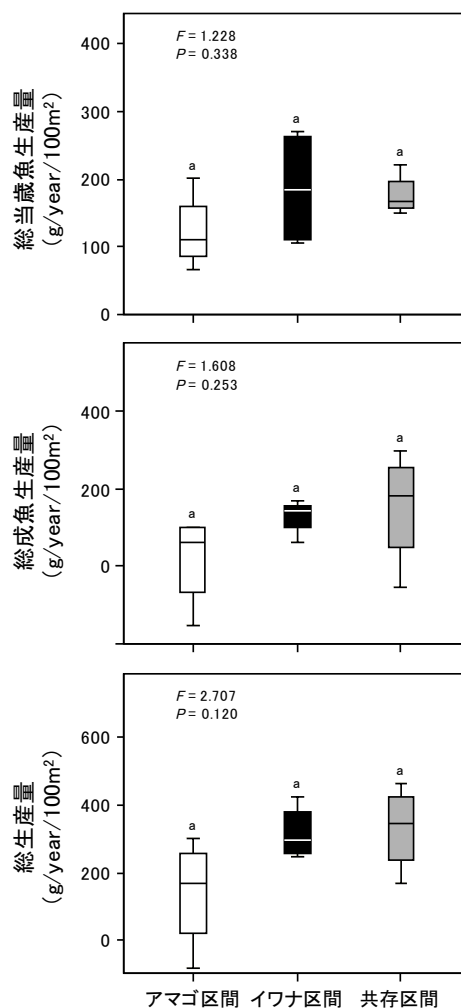


図3. アマゴ・イワナの総生産量

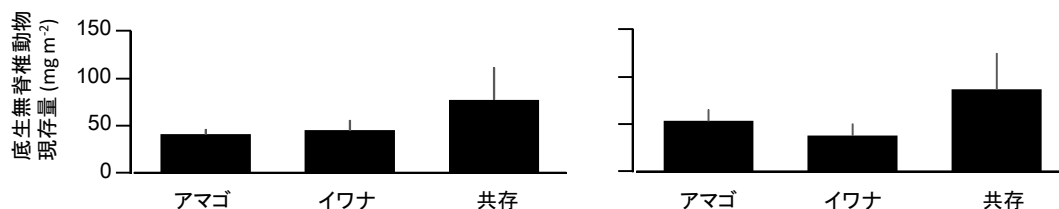


図4. 石礫表面の底生無脊椎動物現存量

(3) その他：イワナによるアマゴ当歳魚の捕食

この研究期間中に、イワナによるヤマメ（アマゴの亜種）の捕食を報告する水槽実験を用いた論文を知った（Miyamoto & Araki 2017）。野外条件下においても、イワナが捕食によってアマゴ当歳魚の個体数を著しく減少させ得るとするならば、今回の調査結果の解釈の際にも捕食効果を考慮する必要がある。そのため、本調査地におけるイワナの捕食による影響を明らかにするために、イワナの胃内容物調査とアマゴ当歳魚個体数に対する捕食効果調査の2つを行っ

た。胃内容物調査は、黒川源流域の広範囲にわたって、4月、6月、7月、10月の4時期にイワナを採捕し、胃内容物を採取してアマゴの有無を確認した。捕食効果調査では、大型のイワナ成魚が生息するイワナ区間5区間と、イワナが生息しないアマゴ区間のそれぞれに、アマゴ当歳魚を放流し、その後の残存率を調べて比較した。放流するアマゴ当歳魚には個体識別マークを施し、自然条件下でのアマゴ当歳魚密度を少し上回る程度の密度になるように放流した。放流は5～6月に行い、その後、7月、11月、翌5月に採捕調査を行い、当歳魚密度およびマーク個体残存率をイワナ区間とアマゴ区間とで比較した。その結果、どの時期においても、イワナ区間とアマゴ区間との間で当歳魚密度およびマーク個体残存率に有意な差は認められず、イワナの有無によるアマゴ当歳魚の減耗には差が無いことが示された。

一方、胃内容物調査では、イワナの胃内容物から魚（アマゴまたはイワナの当歳魚）が認められたものの、4月、7月、10月では、そのような魚類捕食個体は調査個体数（N=72-349）の2%以下と少なかった。しかしながら、6月の調査においては、調査個体（N=79）の約15%で捕食が確認され、他の時期に比べて突出した値となった。6月で捕食個体が確認された事例は、漁業協同組合によりアマゴ当歳魚が放流された場所と時期が合致していたことから、放流直後の高密度条件下ではイワナによる捕食が起りやすくなるものと思われた。以上のことから、イワナによるアマゴ当歳魚の捕食はあるものの、通常はその頻度は低く、自然条件下ではアマゴ密度を大きく減少させるような効果はさほど大きくないものと考えられた。

<引用文献>

Inoue, M. *et al.* (2009) Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) invasion in Hokkaido streams, northern Japan, in relation to flow variability and biotic interactions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66: 1423-1434.

Miyamoto, K. & Araki, H. (2017) Differentiated predation risk on hatchery-reared juvenile masu salmon by white-spotted charr with different body sizes. *Fish. Sci.* 83: 245-250.

Morita, K. (2018) Assessing the long-term causal effect of trout invasion on a native charr. *Ecol. Indic.* 87: 189-192.

Nakano, S. *et al.* (1999) Flexible niche partitioning via a foraging mode shift: a proposed mechanism for coexistence in stream-dwelling charrs. *J. Anim. Ecol.* 68:1079-1092.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 篠原拓馬, 奥谷孝弘, 市守大介, 井上幹生
2. 発表標題 仁淀川水系黒川源流域におけるアマゴとイワナの移動と成長
3. 学会等名 日本魚類学会2017年度年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永吉雅希, 市守大介, 奥谷孝弘, 末國仙理, 竹林佑記, 井上幹生
2. 発表標題 仁淀川水系黒川源流域における移入イワナの侵入状況
3. 学会等名 日本魚類学会2017年度年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大久保証, 篠原拓馬, 井上幹生
2. 発表標題 自然条件下におけるイワナによるアマゴ当歳魚の補食
3. 学会等名 日本魚類学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	篠原 拓馬 (SHINOHARA Takuma)	愛媛大学・大学院理工学研究科 (16301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	永吉 雅希 (NAGAYOSHI Masaki)	愛媛大学・大学院理工学研究科 (16301)	
研究協力者	大久保 征 (OHKUBO Sei)	愛媛大学・理学部 (16301)	