

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580164

 研究課題名（和文） 人工林が溪流魚に及ぼす影響：バイオエナジェティックモデルによる  
定量的評価

 研究課題名（英文） Effects of conifer plantation on stream fishes: an quantitative  
evaluation using a bioenergetics model.

研究代表者

井上 幹生（INOUE MIKIO）

愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：10294787

研究成果の概要（和文）：本研究は、魚類が採餌によって獲得できるエネルギー純益を算出するバイオエナジェティックモデルを用いて、溪流性サケ科魚類アマゴの生息環境評価を行った。このモデルを用いることにより、人工林がアマゴの生息環境の質に及ぼす影響を定量的に評価できることを示すとともに、森林植生の評価にあたっては対象区間直近の溪岸部を評価すればよいことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this study, habitat quality for stream-resident red-spotted masu salmon was evaluated using a bioenergetics model that estimates energetic profitability for fish. We demonstrated that effects of conifer plantation on habitat quality for red-spotted masu salmon can be quantitatively evaluated using the model. In addition, our analysis revealed that streamside vegetation adjacent to target reaches (rather than vegetation condition at catchment scale) should be focused when effects of forest vegetation on prey abundance for the salmon are assessed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：農学

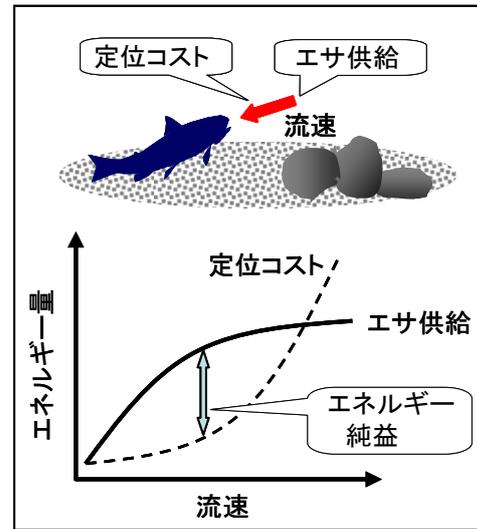
科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：人工林，溪流魚，スギ，アマゴ，流下物採餌，溪畔林

## 1. 研究開始当初の背景

人工林は、日本の森林の4割、国土総面積の1/4以上を占める主要な自然景観要素であり、これらが生態系に及ぼす影響を多面的に評価することは、今後の森林政策・管理において極めて重要である。このような背景の下、私たちは河川生物群集に対する餌資源の供給という点から人工林の機能を明らかにするための研究を行っている。これまでの調査から、人工林河川と天然林河川とではアマゴ（溪流性サケ科魚類）の餌である流下無脊椎動物の量に顕著な差が見られること、また同様に、アマゴの生息量にも差が見られることが明らかになってきた。これらのことより、溪流性サケ科魚類に対する人工林化の影響は、バイオエナジティックモデルによって定量的に評価することが可能なのではないかという着想に到った。

溪流性サケ科魚類は、流水中で特定の位置（定位点）を確保し、流下してくる餌（無脊椎動物）を待ち伏せて食べる。このような流下物採餌魚類の定位点は、「獲得できる餌のエネルギー量」から「定位するために消費するエネルギーコスト」を差し引いたエネルギー純益によって予測され得る（流下物採餌魚類はエネルギー純益が最大となるような位置を選択する）ことがしばしば示されてきた（例えば、Hughes & Dill 1990 : Bioenergetic model）。つまり、このモデルが適用できる魚種については、河川流水中の任意の点において、そのエネルギー的価値を算出することが可能であり、生息環境の質を定量的に評価することができることになる。近年、Urabe et al. (2010)は、Hughes & Dill (1990)がアラスカのサケ科魚類グレイリングに対して用いたモデル（以下、HDモデル）が北海道のヤマメ（アマゴの亜種）の環境収容力推定に有効であることを示した。ここでは詳細については省略するが、HDモデルを用いれば、対象魚のサイズ（体長・体重）、流下する餌量、および餌サイズを設定し、河川内の任意の地点で水深と流速を測定すれば、その地点で魚が獲得できるエネルギー純益（J/h）を算出することができる。前述のように、私たちの調査地では、人工林河川と天然林河川とでは流下餌量に顕著な差があることが明らかとなっている。このことから、HDモデルがアマゴに適用可能であれば、人工林河川と天然林河川とでアマゴ生息環境の質にどの程度の差があるのかを



エネルギー的観点から定量的に表すことが可能である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、人工林が溪流性サケ科魚類に及ぼす影響に関する定量的な評価法を構築することである。具体的には、以下3点を遂行する。まず、(1) HDモデルがアマゴに適用可能であることを示す。そして、(2) HDモデルを用いて、天然林河川と人工林河川とでのアマゴ生息環境の質の違いを試算する。また、(3) 空中写真から判読される森林植生（人工林／天然林）と河川の流下無脊椎動物量との関係を多重スケールで検討することにより、どの程度の範囲での森林植生が流下無脊椎動物密度に影響しているかについて特定する。これらから、空中写真によるアマゴ生息環境の定量的評価の可能性を提示する。

## 3. 研究の方法

本研究は、これまでの調査により基礎データが蓄積されている愛媛県松山市近郊の石手川源流域（愛媛大学農学部附属演習林の所在地）で行った。上記のように研究の具体的な内容は、(1)アマゴに対するHDモデルの適用可能性の検証、(2)天然林河川と人工林河川とでのアマゴ生息環境の質の違いの試算、および(3)流下無脊椎動物量に影響を及ぼす森林植

生の範囲、の3つに大別される。

#### (1) アマゴに対するHDモデルの適用可能性

HDモデルがアマゴにも当てはまるのであれば、HDモデルにより算出される、アマゴ個体の定位点におけるエネルギー純益 (Net energy intake: NEI) は、その周囲の地点よりも高い値になるはずである。調査流域の2河川に16の調査区間を設定し、実際にそのような傾向が観察されるかどうか検討した。各調査区間において潜水目視によりアマゴの定位点を特定するとともに、定位点と比較するための計測点を区間の全面にわたって設定した。これらの点において水深と流速を計測し、NEI値を算出した。そして、アマゴ定位点におけるNEI値を定位点以外の点と比較した。また、複数個体が生息していた区間においては、アマゴの体長と定位点におけるNEI値との相関についても検討した。アマゴは集団内で順位制を形成し、より大きな個体ほど競争的に優位で質の高い場所を確保することが知られている。よって、HDモデルによって算出されたNEI値がアマゴにとってのエネルギー純益を正しく表しているとすれば、アマゴの体長と定位点のNEI値との間には正の相関が期待される。

#### (2) HDモデルによる試算

天然林河川と人工林河川とでのアマゴ生息環境の質の違いをHDモデルを用いて試算するために、2つの支流に合計19の調査区間を設定した。各区間の流路全面にわたって0.3~1.0 m 間隔で水深と流速を計測し、各地点でのNEI値を算出した。算出にあたって、アマゴの体長については今回の調査区間で得られている平均体長 (9.2 cm) とほぼ同じ9 cmに設定した。餌サイズについては、アマゴの胃内容および流下無脊椎動物サンプルにおける体長分布を基に体長2.5 mmとした。餌の流下密度については、本調査地域で得られている天然林区間と人工林区間それぞれでの平均値 (天然林: 0.381 mg/m<sup>3</sup>; 人工林: 0.122 mg/m<sup>3</sup>) を用い、全19区間を天然林区間とした場合、および人工林区間とした場合の2とおりでNEI値を算出し、比較した。比較にあたっては、NEI値をアマゴ密度に変換して表した。北海道で行われたUrabe et al. (2010)により区間内における平均NEI値とヤマメ現存量との関係式が得られている ( $R^2=0.77$ ,  $P<0.0001$ ,  $n=20$ )。その回帰式を用いて、今回得られた平均NEI

値を、まず、現存量 (湿重量g/m<sup>2</sup>) に換算した。そして、現存量を体長9 cmのアマゴ個体重量で除すことによって密度 (個体数/m<sup>2</sup>) に換算した (つまり、生息個体が体長9cmのアマゴを想定した時の密度が算出される)。この密度への換算には、地域の違いや魚種の違い (北海道のヤマメと四国のアマゴ) などに起因する問題点がありうるが、一つの目安としては有効であると考えた。

#### (3) 流下無脊椎動物量に影響を及ぼす森林植生の範囲

上記(2)の試算における餌密度の設定は、調査区間における溪畔植生が天然林か人工林かに基づくデータ (天然林: 0.381 mg/m<sup>3</sup>; 人工林: 0.122 mg/m<sup>3</sup>) によって行っている。しかしながら、流下無脊椎動物量は調査区間における溪畔植生のみならずその上流側における植生状態によって影響される可能性がある。よって、HDモデルを用いてアマゴ生息環境の質を評価する際には、餌密度に及ぼす溪畔植生の範囲がどの程度の広がりを持つものかについて検討しておく必要がある。これを検討するために、調査流域に32の調査区間を設定し、流下無脊椎動物密度を計測した。そして、各調査区間に影響を及ぼす森林植生 (天然林、人工林、伐採地の3タイプ) を、集水域スケールと溪岸域スケールの2つに分けて、さらに、いくつかの範囲で評価した。集水域スケールは、区間上流側の集水域を面的に評価するものであり、調査区間から半径300, 600, 900, 1200 m, および集水域全体の5つの範囲で評価した。溪岸域スケールは溪岸部の植生を上流側に向かって線的に評価するもので、50, 100, 200 mと、以降100 mごとに1000 mまでの10範囲に分けて評価した。流下無脊椎動物密度と各スケールの各範囲における植生タイプ割合との相関係数を算出することにより、流下無脊椎動物密度がどの範囲における植生タイプによって最も影響されるかを検討した。

## 4. 研究成果

#### (1) アマゴに対するHDモデルの適用可能性

16調査区間においてアマゴ定位点におけるNEI値をそれ以外の点と比較した結果、5区間においてアマゴ定位点におけるNEI値は、最も高い値であった (図1)。また別の4区間では上位5位以内、別の5区間では上位10以内に位置

しており、アマゴ定位点におけるNEI値は、区間内の他の点に比べてかなり高い傾向があることが明らかとなった。また、複数個体が生息していた2区間で体長とNEI値との相関を検討したところ、強い正の相関が認められ(図2)、より大きい個体ほどより高いエネルギー純益を得られる位置に定位していることが示唆された。これらのことより、HDモデルがアマゴにも適用可能であることが示された。

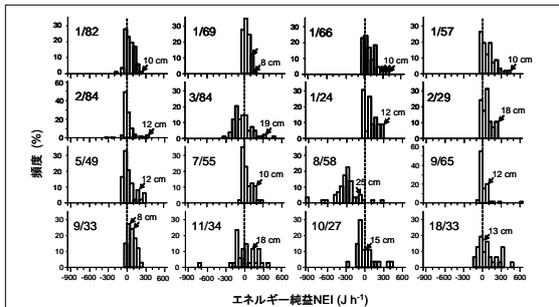


図1. 16区間におけるNEI値の頻度分布。矢印は、アマゴの定位点における値を示す。矢印の横にはアマゴ個体の体長が示されている。各パネルの左上にアマゴ定位点におけるNEI値の順位が示されている。例えば、左上のパネル上の1/82は、区間内の計測点が82点あり、その中でアマゴ定位点での値が最大であることを示している。

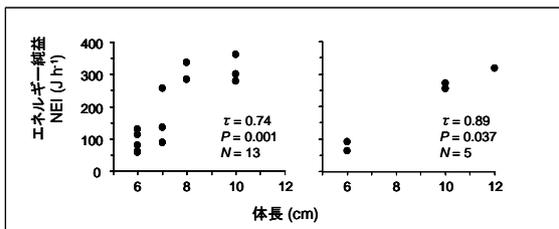


図2. アマゴの体長と定位点におけるNEI値との関係

## (2)HDモデルによる試算

HDモデルによって、溪畔林が天然林である場合と人工林である場合とで試算した結果、人工林よりも天然林のほうが生息密度は高く、かつ、ともに上流ほど高くなるという試算結果となった(図3)。これは、これまでに本地域で得られている実際の生息密度のパターンと類似しており(図4)、このことは、HDモデルによる試算の妥当性を支持するものである。これまでの著者らの経験によれば、サケ科魚類生息密度は高く0.4-1.0尾/m<sup>2</sup>程度であり、今回、試算結果によって得られた生息密度の数値(0.4-1.3尾/m<sup>2</sup>)は、高密度に該当する。これら試算された値は、潜在的に生息する密度(最大値)として捉えるべきであろう。また、前述のように、密度への換算には問題点がありうるが、今回の試算は、天然林区間では人工林区間の1.5-2倍程度までアマゴの環境収容力が高くなることが示された。

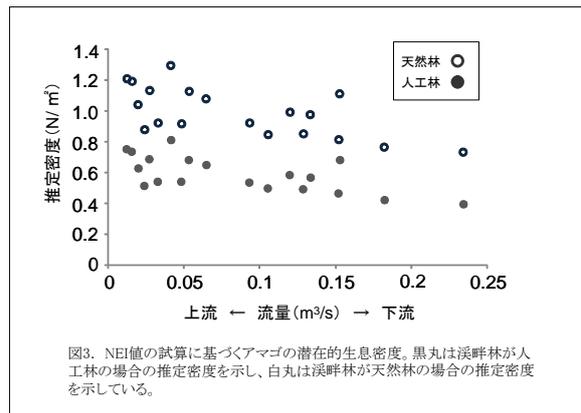


図3. NEI値の試算に基づくアマゴの潜在的な生息密度。黒丸は溪畔林が人工林の場合の推定密度を示し、白丸は溪畔林が天然林の場合の推定密度を示している。

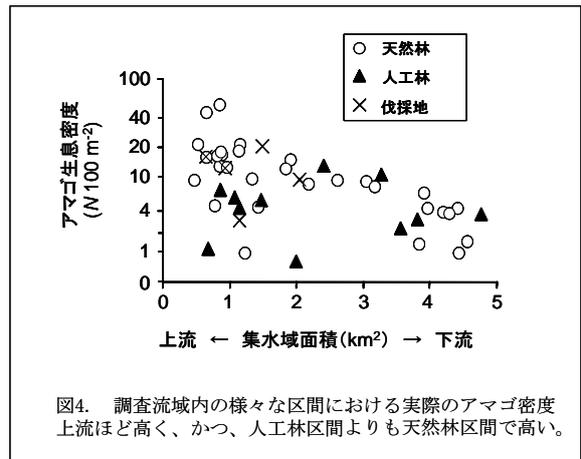


図4. 調査流域内の様々な区間における実際のアマゴ密度。上流ほど高く、かつ、人工林区間よりも天然林区間で高い。

## (3)流下無脊椎動物量に影響を及ぼす森林植生の範囲

流下無脊椎動物密度と各植生タイプ割合との相関を、集水域、溪岸の両スケールにおける各範囲ごとに検討した結果、流下無脊椎動物密度は、基本的には、天然林割合と正の相関を持ち、その相関係数は、溪岸域50mで最大となることが明らかとなった(図5)。つまり、流下無脊椎動物密度に対する森林植生の影響を空中写真などを用いて評価する際には評価対象となる区間のすぐ横の溪畔域における植生を評価すべきであることが示された。

## (4)まとめ

今回の一連の調査により、Hughes & Dill (1990)によるバイオエナジティックモデルがアマゴの生息環境評価に有効であることを検証することができた。また、このHDモデルによって人工林と天然林による生息環境の質の違いを定量的に表すことが可能であることが示されるとともに、餌供給機能に対する森

林植生の影響を評価する際には評価対象区間直近の溪岸部で評価すればよいことが明らかとなった。これら今回の成果を踏まえれば、天然林区間と人工林区間とで流下無脊椎動物量を採取して、これら2つのパラメーターの妥当な値を定めれば、どの地域においても、本研究のようにアマゴの生息環境の評価が可能ということになる。今回はHDモデルを人工林と天然林との比較に用いたが、別の人為的インパクト、例えば、河川改修や取水（流量低下）に伴う水深・流速分布の変化がアマゴの生息環境の質をどの程度変化させるかといったことを予測する際にも有効に利用できると考えられる。本研究は、バイオエナジェティックモデルがアマゴのような定位採餌を行う魚類の環境評価に広く応用可能なことを示唆するものである。

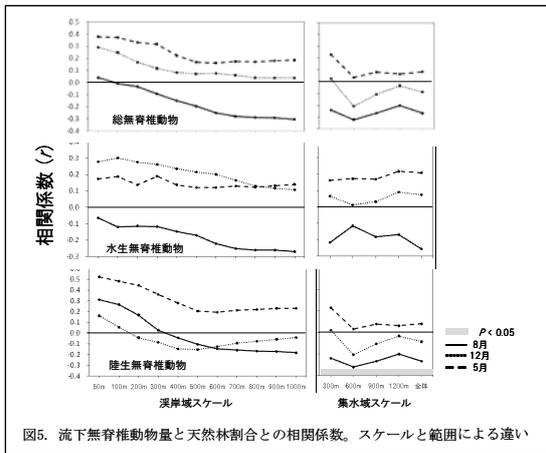


図5. 流下無脊椎動物量と天然林割合との相関係数。スケールと範囲による違い

## (5) 引用文献

Hughes NF, Dill LM (1990) Position choice by drift-feeding salmonids: model and test for Arctic grayling (*Tymallus arcticus*) in subarctic mountain streams, interior Alaska. Can J Fish Aquat Sci 47:2039-2048

Urabe H, Nakajima M, Torao M, Aoyama T (2010) Evaluation of habitat quality for stream salmonids based on a bioenergetics model. Trans Am Fish Soc 139:1665-1676

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Inoue M, Sakamoto S, Kikuchi S (2013) Terrestrial prey inputs to streams bordered by deciduous broadleaved

forests, conifer plantations and clear-cut sites in southwestern Japan: effects on the abundance of red-spotted masu salmon. Ecol Freshw Fish 22: 335-347

査読あり

- ② Inoue M, Shinotou S, Maruo Y, Miyake Y (2012) Input, retention, and invertebrate colonization of allochthonous litter in streams bordered by deciduous broadleaved forest, a conifer plantation, and a clear-cut site in southwestern Japan. Limnology 13:207-219 査読有り

[学会発表] (計7件)

- ①末國仙理, 井上幹生. 倒流木が溪流性サケ科魚類アマゴの生息環境に及ぼす影響 - 一定性を用いた評価 -. 2012年9月10日 ELR2012 (応用生態工学会・日本景観生態学会・日本緑化工学会合同大会), 東京
- ②竹林佑記, 井上幹生, 三宅洋. 河川生物に対する溪畔林の餌供給機能 - 天然林と人工林とでの比較 -. 2012年9月9日 ELR2012 (応用生態工学会・日本景観生態学会・日本緑化工学会合同大会), 東京
- ③末國仙理, 菊地修吾, 井上幹生. 冠雪害によって河川に供給された倒流木の特徴およびアマゴ生息環境に対するその効果. 2011年9月15日 応用生態工学会, 金沢

- ④竹林佑記, 菊地修吾, 井上幹生. 山地流域における森林植生の生態学的機能 - 上流からの波及効果の検討 -. 2011年9月15日 応用生態工学会, 金沢

- ⑤小寺信義, 菊地修吾, 井上幹生. 河川性サケ科魚類の生息密度が上流ほど高くなる理由 - バイオエナジェティックモデルによる検討 -. 2010年9月23日 応用生態工学会, 札幌

[図書] (計1件)

- ①井上幹生 (2013) 魚類, 「河川生態学」中村太士編pp 123-144. 講談社

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者

井上 幹生 (INOUE MIKIO)  
愛媛大学大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：10294787

(2) 研究分担者

なし ( )  
研究者番号：

(3) 連携研究者

三宅 洋 (MIYAKE YO)  
愛媛大学大学院理工学研究科・講師  
研究者番号：90345801

(4) 研究協力者

愛媛大学大学院理工学研究科  
博士前期課程大学院生  
坂本正吾 (SAKAMOTO SHOGO)  
篠藤誠一 (SHINOTOU SEI-ICHI)  
小寺信義 (KOTERA NOBUYOSHI)  
菊地修吾 (KIKUCHI SHUGO)  
末國仙理 (SUEKUNI SENRI)  
竹林佑記 (TAKEBAYASHI YUHKI)