

鵒川・沙流川におけるシシャモ *Spirinchus lanceolatus* の統計的分析による 漁獲量と物理要因の関係

Research on Relationship between Physical Factors and Catch Amount for *Spirinchus lanceolatus* in Mu River and Saru River

室蘭工業大学 ○学生員 川村浩駿 (Koshun Kawamura)
室蘭工業大学 学生員 佐久間寛樹 (Kanju Sakuma)
室蘭工業大学 正員 中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)
室蘭工業大学 非会員 小林洋介 (Yosuke Kobayashi)

1. はじめに

北海道の太平洋沿岸には日本固有種の遡河回遊魚であるシシャモ(*Spirinchus lanceolatus*)が生息する。シシャモの成魚は10月中旬から11月下旬ごろに産卵のため河川へ遡上する¹⁾。シシャモ漁では、遡上のため河口付近に集まり形成する魚群を「ししゃもこぎ網漁業」によって漁獲する²⁾。シシャモ漁獲量は乱獲などによって減少し、1990年には過去最低の15トンを記録した。そこでシシャモ資源枯渇を避けるべく1991年から1994年までの自主禁漁期間を設けた³⁾。しかし、自主禁漁期間以降も漁獲量の低迷は十分には回復していない。これは水産資源においてシシャモへの依存度が高い襟裳岬以西の沿岸漁業協同組合に大きな影響を与えている。また、胆振日高海域に生息する襟裳岬以西のシシャモは環境省レッドリスト2018の「絶滅のおそれのある地域個体群」⁴⁾に指定されている。したがって、シシャモ資源維持増大のため漁獲者自ら適切な資源管理を行う必要がある。よって、シシャモ資源の減少の要因を把握し、早期の漁獲資源の予測が望まれる。

一般に、魚類の減耗は初期生活期の飢餓と被食、またはその相互作用とされている。飢餓に陥った仔魚は捕食回避能力が低下し捕食されやすくなることや、飢餓が成長を遅らせ、捕食されやすい体サイズの期間が長くなることによる減耗の増大が指摘されている⁵⁾。シシャモ資源減少の要因について、石田ら²⁾は飼育実験によりシシャモの体サイズ別の成熟割合を明らかにした。また、新居ら⁶⁾はシシャモ遡上河川における産卵場所と物理条件の関係を調べ、鵒川・沙流川その他合計8河川においての産着卵密度と底層流速・底層流速・底質の関係性を明ら

かにした。以上の経緯を踏まえ、本研究では河川や沿岸域の物理要因とシシャモ漁獲量との関係を見出すために問題に機械学習法の1つであるRandom Forest法(以下、RF法)による回帰分析を行った。RF法を回帰問題の予測に適用した事例には岡崎ら⁷⁾の河川の水位予測の例がある。この中では、RF法により算出される各説明変数の寄与度に基づく回帰式によって、水位予測を行う関連要因相関法が提案されている。本研究ではその手法を参考にシシャモ漁獲量の予測を試みた。

2. 研究方法

2.1 対象箇所および対象魚の生態

シシャモは遺伝的な解析から、襟裳岬以東と襟裳岬以西の魚群は異なる系群であることが確認されている。そのうち、本研究では減少の著しい襟裳岬以西のシシャモに着目した。シシャモは11月に河川へ遡上し、卵を河床の粗砂・細礫(0.425から4.75mm)に産み付ける^{6), 7)}。卵は翌年の4月から5月に孵化し、仔魚は1日で降海する。その後、約1年半の歳月(5月から翌年11月)をかけて成魚へと成長し河川へ遡上する。産卵後は降海し、1部のメスを除き大半が斃死する。1歳魚は孵化後1年半で成熟し、産卵に参加する個体群を示し、2歳魚は孵化後2年半後に産卵に参加する個体群を示す。この定義を本論文でも利用する。図-1に漁獲された年を基準t年とした場合の1歳魚のシシャモの生活史^{8), 9)}を示す。石田ら²⁾による研究によって、飼育実験においてシシャモは孵化後約1年半で雌は65.3%、雄は87.3%が成熟できることが示されている。そこで本研究では、目的変数である漁獲量¹⁰⁾を全て1歳魚と仮定し、説明変数を1歳

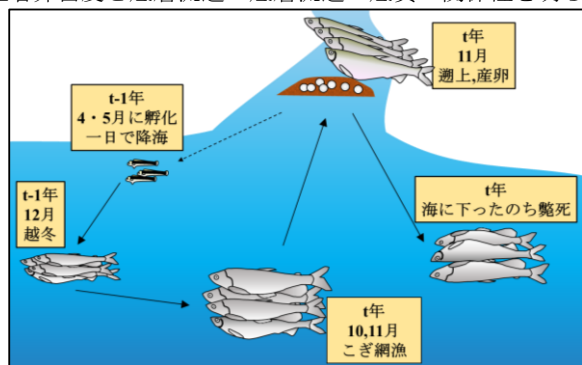


図-1 1歳魚のシシャモ生活史

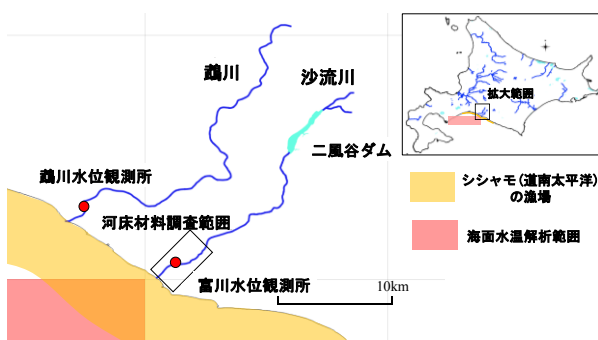


図-2 対象河川及び観測位置図

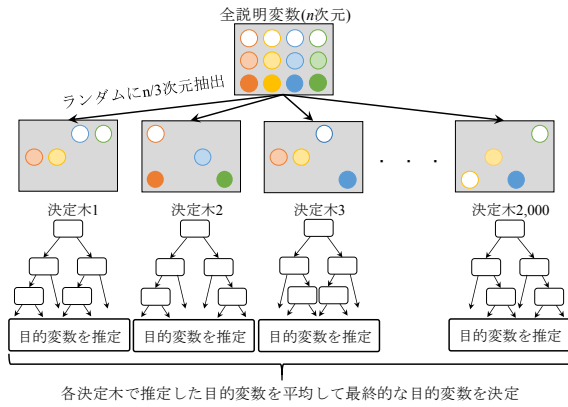


図-3 RF法の概略

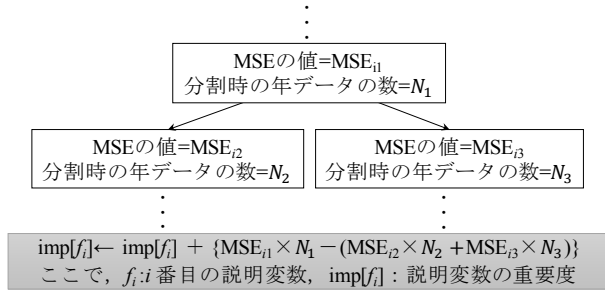


図-4 変数重要度算出方法の概略図

表-1 漁獲量予測に使用したデータ

観測項目	観測地点	次元数	データ概要
目的変数 (1995~2016年)	漁獲量(t)	年間	鵒川・沙流川河口
説明変数 (1993~2016年)	海面水温 (°C)	月平均	胆振中東部沿岸
	河川水位 (m)	月最大	鵒川観測所 富川観測所
	河床材料 (沙流川のみ)	粒度組成 強熱減量	KP0.5~ KP5.8

魚の期間で考える。特に襟裳岬以西海域のシシャモ資源を支える主要な産卵河川である鵒川と沙流川⁹⁾の河川データと胆振中東部沿岸の沿岸データを説明変数とした。

図-2に対象箇所と対象海域を示す。

2.2 RF法による回帰モデル

RF法とは、多数の決定木を組み合わせることで予測モデルの汎化能力を高めるアルゴリズムである。図-3にRF法の概略図を示し、具体的な手順を以下に示す。

- 1) 全説明変数 n 個から重複を許さずランダムに $n/3$ 個の説明変数を抽出する。
- 2) 抽出された説明変数を用いて1本の決定木を作成する。決定木の構造は以下に示す平均二乗誤差（以下、MSE）を用いて作成する。

$$MSE = \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (1)$$

ここで、 N は分割時の年データ数、 x_i は目的変数の値、 $\bar{x}$ は分割時の目的変数の平均値である。これを全てのパターンで計算を行い、MSEの値が最も小さくなる条件でデータを分割して決定木を作成し、目的変数を推定する。

- 3) 1), 2)の作業を L 回行い L 本の決定木を作成する。本研究では、決定木の本数 L は統一して $L=2,000$ とした。各決定木で推定した目的変数を平均し、最終的な予測値とする。

また、図-4に示す変数重要度（以下、imp[f_i]）を決定木の分割ごとに計算を行い、全てのimp[f_i]の総和で各説明変数のimp[f_i]を除して0~1の範囲に正規化したも

のが寄与度となる。この寄与度は、個々の説明変数と目的変数の相関係数を求めた値と異なり、変数間の従属性（多重共線性）の影響を排除したよりロバストな判断の指標となる。

2.3 予測に用いる説明変数

シシャモの漁獲量予測に用いた説明変数の項目は岡田ら³⁾と国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部⁷⁾の先行研究を活かし、表-1に示す3つの要素における全43次元の説明変数を採用した。

2.4 関連要因相関法による予測

前節のRF法による統計モデルを用い、表-1に示す説明変数を全て使用し、漁獲量予測を行った。RF法において自主禁漁期間（1991~1994年）後の1995年から2013年までの漁獲量を学習させることにより算定した説明変数の寄与度上位5個で重回帰式を作成し、2014年から2016年における胆振海域での漁獲量予測を行った。

3. 結果と考察

3.1 RF法による漁獲量予測結果

RF法において、1995年から2013年の物理条件と胆振中東海域での漁獲量を学習させた期間の予測を青線、2014年から2016年の漁獲量を予測した結果を図-5に赤線で示す。図-6にRF法により算出された寄与度を示す。また、本研究では精度指数は以下に示す平均二乗誤差平方根（以下、RMSE）を用いた。図-5に示す精度指数から、RF法による学習期間の漁獲量の予測ではRMSEで26トンほどの誤差があるが、変動傾向は再現

できている。しかしながら、予測期間である 2014～2016 年を見ると、2015 年までの減少と 2016 年の回復といった傾向を捉えることができていない。その原因として、本研究のように学習するデータ数が少なく、それに対し説明変数の数が多い場合、過学習となっている可能性が考えられる¹³⁾。過学習とは、学習データのノイズまたは説明変数の偏りを学習した結果、学習データにのみ最適化されたモデルが構築され、学習されていないデータに対し、低い精度の結果が算出されることである。このように過学習を起こしたモデルでは汎化性の低い結果が算出される。改善策として学習データを増やすことで汎化性能を高められる。しかし、1991 年から 1994 年までシシャモ漁は自主禁漁期間であり、1990 年以前は河川での乱獲が行われていた期間が存在するため、1995 年以前のデータは今後のシシャモ漁獲量を予測するのに適したデータと言えない。よって、学習データとして利用できるシシャモ漁獲量の年次データを増やすことはできないため、データ数に対して説明変数の次元数が大きくなった。したがって、関連要因相関法により、シシャモ漁獲量と関連の高い説明変数を抽出し、予測を行う。

3.2 関連要因相関法による漁獲量予測結果

図-6 から寄与度の高い順に 5 個抽出し、目的変数と説明変数の重回帰式を得る関連要因相関法により、1995 年から 2013 年を学習期間とした以下に示す重回帰式を用いて 2014 年から 2016 年の漁獲量予測を行う。

$$y(t) = -4.0T_9(t-1) - 9.8T_8(t) - 4T_7(t) + 69IL(t-2) + 2.8T_6(t) + 284 \quad (2)$$

ここで、 $y(t)$ は漁獲当該年(t 年)の胆振海域における予測漁獲量(トン)、 $T_9(t-1)$ は漁獲 1 年前 9 月海面水温(°C)、 $T_8(t)$ は漁獲年 8 月海面水温(°C)、 $T_7(t)$ は漁獲年 7 月海面

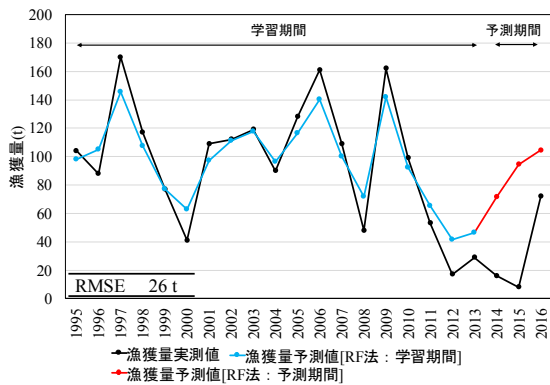


図-5 RF 法による漁獲量予測

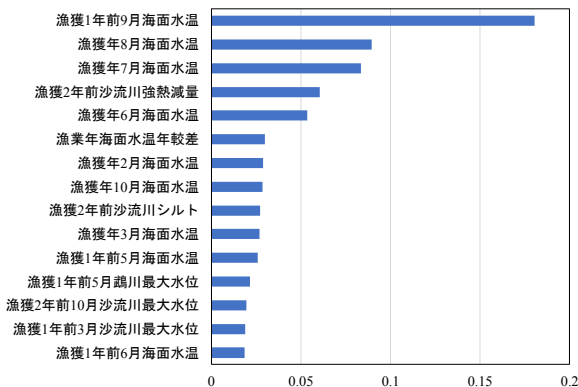


図-6 RF 法によって算出された寄与度上位 15 個の説明変数

水温(°C)、 $IL(t-2)$ は漁獲 2 年前沙流川強熱減量(%), $T_6(t)$ は漁獲年 6 月海面水温(°C)である。上式を用いて 2014 年から 2016 年の漁獲量予測を試みた結果を図-7 に示す。

図-5 と図-7 を比較すると学習させた期間の RMSE において RF 法より大きい、重回帰式は未学習期間の 2014～2016 年の 2015 年に漁獲量が減少した後 2016 年に漁獲量が回復する傾向を捉えることが出来ている。また、2011 年以降の漁獲量減少傾向も再現されている。この理由として、重回帰式において説明変数を限定した結果、精度は悪化した。過学習を避けることが出来たためであると考えられる。また、RF 法の学習モデル及び重回帰式を作成する際に使用した強熱減量のデータは鵺川では欠測がみられたため、沙流川のデータのみを使用した。

3.3 漁獲量に関連する物理要因についての考察

襟裳岬以西におけるシシャモについての以下のような知見が得られている。

- 1) 岡田ら³⁾により、漁獲 1 年前 7 月海面水温と 1 歳のシシャモのこぎ網における CPUE(単位努力量当たり漁獲量)の関係について、漁獲 1 年前 7 月海面水温が高いほど翌年の資源量が少なくなる傾向が示されている。
- 2) 岡田ら³⁾により、成熟が進み始めるころの平均海面水温(8 月中旬から 9 月上旬)と生殖腺重量指数(GSI)の関係について、海面水温が高いほど成熟が遅い傾向にあることが示されている。
- 3) 新居ら⁹⁾により、鵺川・沙流川において底層流速が 0.6 m/sec 未満の範囲で産着卵密度の累積頻度が高いことが示されている。

以上の知見と、図-8 に示す重回帰式を作成する際に使用した説明変数である漁獲 1 年前 9 月海面水温、漁獲年 8 月海面水温、漁獲年 7 月海面水温、漁獲 2 年前強熱減量と漁獲量の相関を表した散布図より、以下が推察される。

- 1) 漁獲 1 年前 9 月の海面水温と漁獲量は負の相関を示しており、これは漁獲 1 年前の 7 月海面水温が高いほどシシャモの資源量が減少するという岡田ら³⁾の結果と類似した傾向を示す。
- 2) 漁獲年、7 月、8 月の胆振中東部沿岸の海面水温と漁獲量は負の相関を示している。この結果は、8 月中旬から 9 月上旬の海面水温が高いほどシシャモの成熟が遅くなるという岡田ら³⁾の結果と関連が

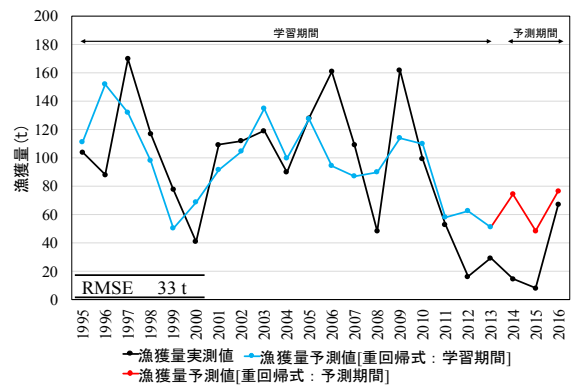


図-7 重回帰式による漁獲量予測

あることが示唆される。

- 3) 漁獲 2 年前強熱減量と漁獲量には正の相関が見られた。強熱減量とは河床材料中に含まれる有機物の量であり、親世代のシシヤモの遡上・産卵による有機物の増加が考えられる。

しかし、これらの仮説を検証するには生物学的見地に基づいた多くの情報収集と分析が必要である。また、図-9 に 7 月から 9 月の平均の海面水温と漁獲量の変動のグラフを示す。図-9 より、2010 年以降の漁獲量は低迷しているのに対し、夏季の海面水温は高い傾向にある。また、夏季の海面水温は 1980 年代に比べ、2010 年以降高い傾向にある。このことから、今後の地球温暖化の影響により、夏季の海面水温が上昇し続けるような場合には、シシヤモ資源の減少が危惧されることも考えられる。

4. 結論

本研究で得られた結果を下記に記す、

- 1) 統計的手法である RF 法によりシシヤモ漁獲量の予測方法を提案した。
- 2) RF 法によって抽出された変数と漁獲量の相関分析により夏季の胆振中東部沿岸の海域における海面水温が高いほどシシヤモ漁獲量が減少する傾向が見られた。
- 3) RF 法によって抽出された変数と漁獲量の相関分析により漁獲 2 年前の沙流川の強熱減量が高いほどシシヤモ漁獲量が増加する傾向が見られた。
- 4) RF 法に基づいた関連要因相関法によるシシヤモ漁獲量の予測により、2014 年から 2016 年の漁獲量の傾向を捉えることが出来た。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、北海道立総合研究機構栽培水産試験場にはシシヤモの生態に関して多くの助言をいただいた。また、国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部にはシシヤモ関連のデータを提供して頂いた。また、室蘭工業大学情報電子工学系学科データサイエンス研究室の山田恒輝氏には RF 法における助言を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 北海道水産林務部水産経営課シシヤモ[柳葉魚],
HP: <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/ske/osazu/oz01fis>

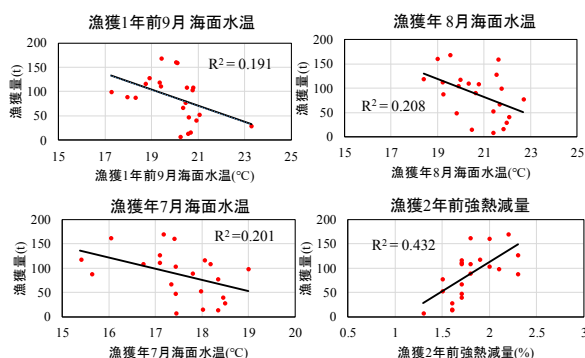


図-8 重回帰式に使用した説明変数と漁獲量の単相関

/fis010.htm. (2018/11/22 閲覧)

- 2) 石田良太郎, 地方独立行政法人北海道立総合研究機構栽培水産試験場, 飼育実験によるシシヤモの生態研究, 北水試だより, 第 93 号, pp.10-14, 2016.
- 3) 岡田のぞみ, 北海道立総合研究機構栽培水産試験場調査研究部, 試験研究は今, 第 754 号, 沿岸水温がシシヤモ漁業にあたる影響について, 2014 年 2 月 7 日.
- 4) 環境省_環境省レッドリスト 2018 の公表について, HP: <https://www.env.go.jp/press/files/jp/109278.pdf> (2018/11/22 閲覧)
- 5) 虎尾充, 工藤智, 鶴川沿岸におけるシシヤモ仔稚魚の分布と魚体の生化学的性質, 北水試研報, 84, pp.31-38, 2013.
- 6) 新居久也, 村上一夫, 米田隆夫, 上田宏, シシヤモ *Spirinchus lanceolatus* の遡上河川における産卵場所と物理環境条件の関係, 北海道大学大学院水産科学研究科, 日本水産学会誌, 72, pp.390-400, 2006.
- 7) 岡崎亮太, 中津川誠, 小林洋介, 谷口陽子, 機械学習法に基づく 2016 年 8 月の常呂川連続洪水を対象とした水位予測の研究, 土木学会北海道支部, 第 73 号, B-19, 2016.
- 8) 国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部, 第一回沙流川下流環境再生技術検討部会_資料-2, (3)沙流川におけるシシヤモの生態・生育環境について, 3-1-3-14, 2006.
- 9) 釧路市漁業協同組合, シシヤモの一生 HP, www.gyokyou.or.jp/03/76.html (2018/11/23 閲覧)
- 10) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部, マリンネット北海道, 魚種指定年別漁獲 HP: www.fishexp.hro.or.jp/marinedb/internetdb/fishdb/fish_year.asp (2018/12/3 閲覧)
- 11) 気象庁, 札幌管区气象台, 沿岸水温情報 (北海道), HP: <https://www.jma-net.go.jp/sapporo/kaiyou/engan/engan.html> (2018/11/23 閲覧)
- 12) 国土交通省水文水質データベース HP, <http://www1.river.go.jp/> (2018/11/22 閲覧)
- 13) C.M.ビショップ, パターン認識と機械学習 上 ベイズ理論による統計的予測, 丸善出版, 第 3 章, pp.146-150, 2014

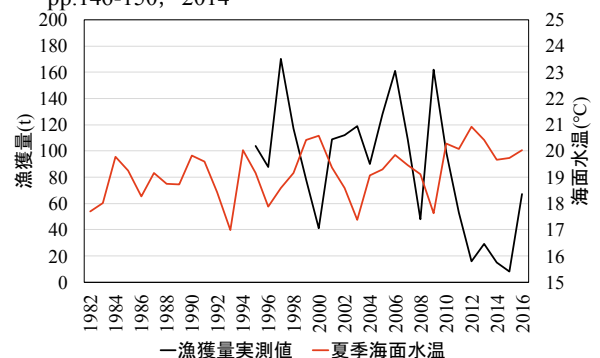


図-9 胆振海域における漁獲量と夏季海面水温の長期変動