

北海道日本海南部地方における標準化CPUEを用いたサクラマス¹の来遊資源変動の推定

飯嶋亜内*

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Stock assessment of masu salmon in the coastal area of southwestern Hokkaido in the Sea of Japan by standardized CPUE

ANAI IJIMA*

Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Kitakashiwagi 3-373, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan

In this study, I used yearly catch and effort data to standardize catch per unit effort (CPUE) of masu salmon by coastal fishery in southwestern Hokkaido in the Sea of Japan, from 2003-2014, using the generalized linear models (GLM) approach. By examining the validity of the best model selected by Akaike information criterion (AIC), good fit was observed and the error structure assumed in the GLM procedure appeared appropriate. Because the standardized model accurately predicts the catch, the method used in the present study appeared effective for the stock assessment of masu salmon, which have been caught with various fishing gears widely over a long period. When annual trend of the standardized CPUE was calculated by the least squares mean, the standardized CPUE did not show a decreasing trend, suggesting that catch of masu salmon would have decreased because of decrease in the number of fishermen engaged in line fishing in this area.

キーワード：サクラマス，資源変動，標準化CPUE

サクラマス *Oncorhynchus masou* は、韓国東岸及び日本に生息し、日本の太平洋側では千葉県、日本海側では島根県以北の河川に遡上し、分布の中心は北海道である(待鳥・加藤, 1985)。本種は孵化後1-3年間の河川生活の後、外観が銀白化し海水適応能を備えたスマルトに変態した幼魚が春に降海する(久保, 1980)。幼魚は降海後約1年の海洋生活を送り、オホーツク海で越夏後(待鳥・加藤, 1985; Naito and Ueno, 1995)、北海道沿岸では冬から春に漁獲される(待鳥・加藤, 1985)。北海道南西部からサクラマスの幼魚に標識を施して放流し、翌年沿岸での漁獲状況を調査したところ、母川を中心として北海道の広い範囲で漁獲されることが明らかとなっている(Ando *et al.*, 2005; 宮腰, 2006)。

北海道においてサクラマスの漁獲量は1950-60年代に1,500~4,000トン推移していたと推定されている(玉手, 2008)。しかし、近年は500~1,000トンを前後し、

特に1980年代に漁獲量の多かった日本海側において漁獲量の減少傾向が止まらない状況にある(Fig.1)。そのため資源の減少が懸念され、北海道では日本海側を中心として人口種苗の放流が行われてきたものの漁獲量にその効果はみられていない(宮腰, 2008)。

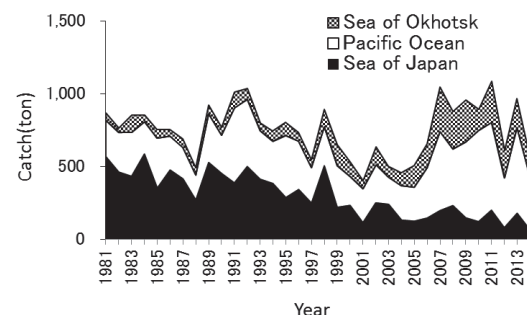


Fig.1 Annual commercial landings of masu salmon in Hokkaido from 1981-2014

サクラマスと同じサケ属のサケ *O. keta* やカラフトマス *O. gorbuscha* の主要な漁法は、漁獲努力量の年変化が比較的少ない定置網漁業であるため、資源評価は主に漁獲量によりなされている（水産庁ら，2017）。一方、サクラマスは越冬から母川回帰する長期間に渡り沿岸域で様々な漁法により漁獲されるため、漁獲努力量の定量が困難であった（Morita *et al.*, 2006）。また、北海道においてサクラマスは、カラフトマスと合算された「ます」として漁獲統計上は集計され、サクラマス単独での漁獲量は、北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場が漁獲量の集計を開始した1981年以降しか存在しない（渡辺，2017）。このような理由から、サクラマスの漁業資源動態に関する知見は非常に乏しく、北海道では漁獲量によって中長期的な資源状況が推察されるに留まり（玉手，2008；宮腰，2008）、定量的な資源評価は行われなかった。

水産資源の資源評価には、漁獲重量や漁獲尾数を漁具数や操業日数等、漁業に費やした漁獲努力量で除したCPUE（Catch Per Unit Effort: 単位努力量当たり漁獲量）が広く用いられている（田中，2012）。しかし高度回遊性魚類等、漁獲が時空間的に広範囲に渡る魚種の漁獲データには、資源密度以外の様々な要因（季節、操業場所、漁法の効果等）が含まれているため、そこから資源密度の年変動に対応する成分を統計モデルにより取り出す過程をCPUEの標準化と呼び、単純に水揚げ尾数を漁獲努

力量で除すことにより算出したノミナルCPUEよりも資源密度の年変動を的確に表すと考えられている（庄野，2004）。CPUEの標準化には、これまでGLM（Generalized Linear Models: 一般化線形モデル）を中心としてGAM（Generalized Additive Models: 一般化加法モデル）、GLMM（Generalized Linear Mixed Models: 一般化線形混合モデル）等の統計モデルが利用され（Maunder and Punt, 2004）、国内の資源評価ではマグロ類等の広域で漁獲される国際漁業資源を中心に適用され（岡村・市野川，2016）、近年の国際資源の資源評価において、標準化されていない資源量指標値が用いられることはほとんどない（水産庁ら，2017）。

本研究は、サクラマスの漁獲量が減少している北海道南西部日本海側の檜山地方において、近年の詳細な漁獲データを収集し、漁獲努力量の定量及び統計モデルによるCPUEの標準化について手法の検討を行い、標準化CPUEにより来遊資源変動の推定を行ったので、その結果を報告する。

試料および方法

解析に用いた檜山地方におけるサクラマスの漁獲統計データは、ひやま漁業協同組合から提供された。データは檜山地方に7ヶ所所在する水揚げ場所における（Fig.2）、漁業経営体・漁法・年別（2003-2014）の漁獲

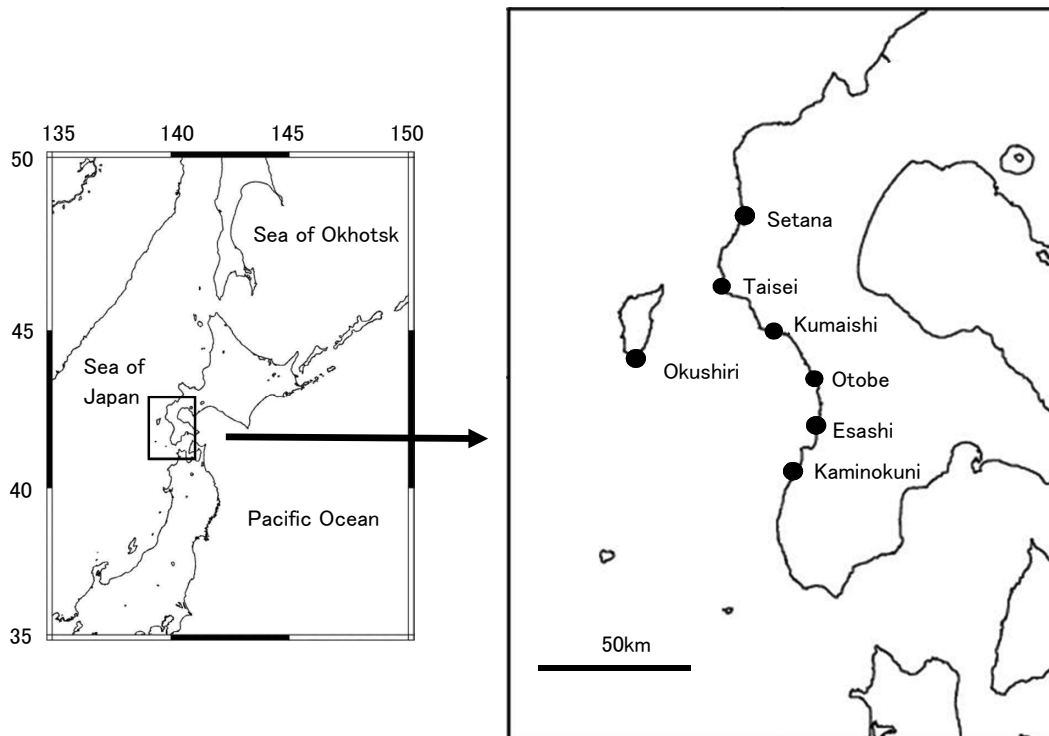


Fig.2 Locations of the fish markets (●) of Hiyama fishery cooperative in southwestern Hokkaido, northern Japan

尾数データである。

CPUEの標準化モデルの作成にあたって、モデルに用いる説明変数について検討を行った。サクラマス漁は各水揚げ場所の地先の沿岸域で行われるため、水揚げ場所で操業海域をカテゴリー化した。檜山地方においてサクラマスの大部分は、定置網漁業と釣り漁業によって漁獲されるため (Fig. 3), 定置網と釣り漁業により漁法をカテゴリー化した。そして、漁獲年の効果を抽出するために漁獲年をカテゴリーとして用いた。また、漁獲努力量指標値として漁業経営体数 (各カテゴリーにおいて1尾以上サクラマスを漁獲した経営体の数) を用いた (Fig. 4)。従って、ある年にサクラマス漁を行ったが漁獲尾数が0だった漁業経営体は漁獲努力量指標値には反映されない。

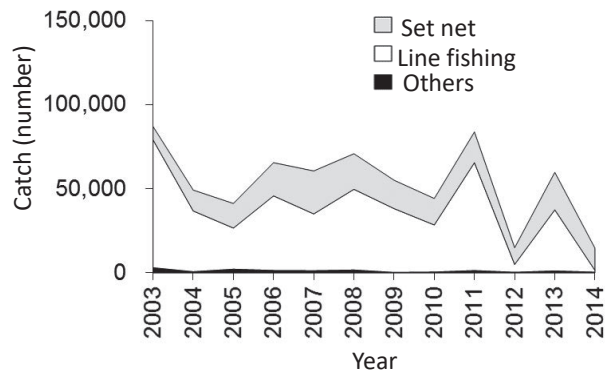


Fig. 3 Annual catch of masu salmon in the Hiyama area from 2003-2014

本研究ではGLMを用いてCPUEの標準化モデルを作成した。説明変数として、水揚げ場所、漁法、漁獲年とそれら交互作用をカテゴリカル変数として用いたほか、漁獲努力量指標値の対数値をオフセット項として用いた。応答変数には説明変数のカテゴリー別の漁獲尾数を用いた。モデルの誤差は負の2項分布に従うと仮定し、リンク関数に對数を用い、最も複雑なモデル (1) を作成した。

$$\begin{aligned} \text{Log}(\text{Catch}_{ijk}) = & \text{Log}(\text{Effort}_{ijk}) + \text{Area}_i + \text{Gear}_j + \text{Year}_k \\ & + (\text{Area} * \text{Gear})_{ij} + (\text{Area} * \text{Year})_{ik} + (\text{Gear} * \text{Year})_{jk} \\ & + \text{Intercept} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで記号を次のように定めた。

Catch : 漁獲尾数

Effort : 漁獲努力量指標値

Area : 水揚げ場所の効果 $i: 1-7$

Gear : 漁法 (釣り・小型定置網) の効果 $j: 1-2$

Year : 漁獲年の効果 $k: 2003-2014$

Area*Gear : 水揚げ場所と漁法の交互作用

Area*Year : 水揚げ場所と漁獲年の交互作用

Gear*Year : 漁法と漁獲年の交互作用

Intercept : 切片項

(1) 式の説明変数を組み合わせて複数のモデルを作成し、情報量基準によりモデルの評価を行った。情報量基準には赤池情報量基準 (Akaike information criterion: AIC) (Akaike, 1973) を用い、AICが最小となるモデルを標準化モデルとして選択した。

選択したモデルの妥当性を確認するために、モデルの残差を標準化した標準化残差を用いて、選択モデルの標準化残差の分布が正規分布から大きく逸脱していないか、予測値に対して偏っていないかを定性的に解析した。モデルの妥当性を確認した後、選択モデルの漁獲年の効果を含む説明変数の推定パラメータを用いてLSMEAN (least squares mean) を算出することによりCPUEの年トレンドを抽出し、その値を標準化CPUEとした。なおLSMEANは漁獲年と他の説明変数との交互作用を含むモデルにおけるCPUEの標準化に多く用いられておられ、(2) 式で定義される (庄野, 2004)。

$$\begin{aligned} \text{CPUE}_k = & \exp \{ \text{Intercept} + \text{Year}_k + \overline{(\text{Area} * \text{Year})}_k \\ & + \overline{(\text{Gear} * \text{Year})}_k + \dots \} \end{aligned} \quad (2)$$

但し

$$\overline{(\text{Area} * \text{Year})}_k = \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} (\text{Area} * \text{Year})_{jk}$$

$$\overline{(\text{Gear} * \text{Year})}_k = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} (\text{Gear} * \text{Year})_{ik} \quad \text{などとする。}$$

結果

漁獲努力量指標値の年変化は、定置網漁業においては小さかったが、釣り漁業では年によって大きく変化した (Fig. 4)。漁獲努力量指標値と漁獲尾数の関係をみると (Fig. 5), 定置網漁業では決定係数は低かったが ($R^2=0.05, p>0.05$), 釣り漁業では高かった ($R^2=0.79, p<0.001$)。漁獲努力量指標値は檜山地方全体では定置網、釣り漁業とも減少傾向を示したが、その傾向は釣り漁業で顕著であった (Fig. 6)。

作成した複数のモデルをAICにより選択した結果、AICが最小のモデルは、説明変数として水揚げ場所、漁法、漁獲年、水揚げ場所と漁法の交互作用項を含むモデルであり、そのモデルを標準化モデルとして採用した (Table 1)。各カテゴリーにおいて応答変数に用いた漁獲尾数とモデルにより求めた漁獲尾数との決定係数は $R^2=0.75$ ($p<0.001$) であり、あてはまりが良いモデルで

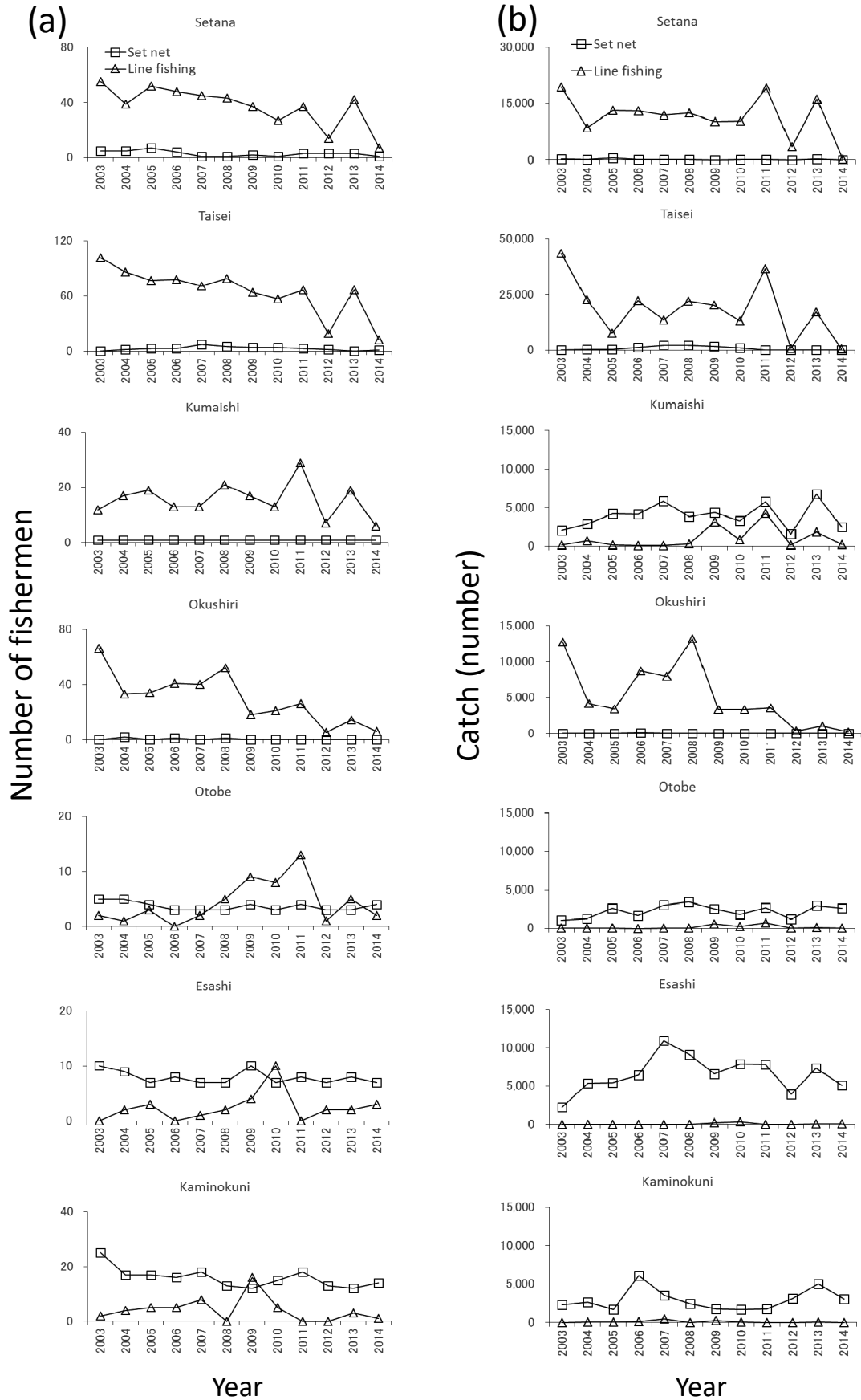


Fig. 4 Annual variations in (a) the number of fishermen, and (b) catch by set net and line fishing, between the fish markets in the Hiyama area from 2003-2014

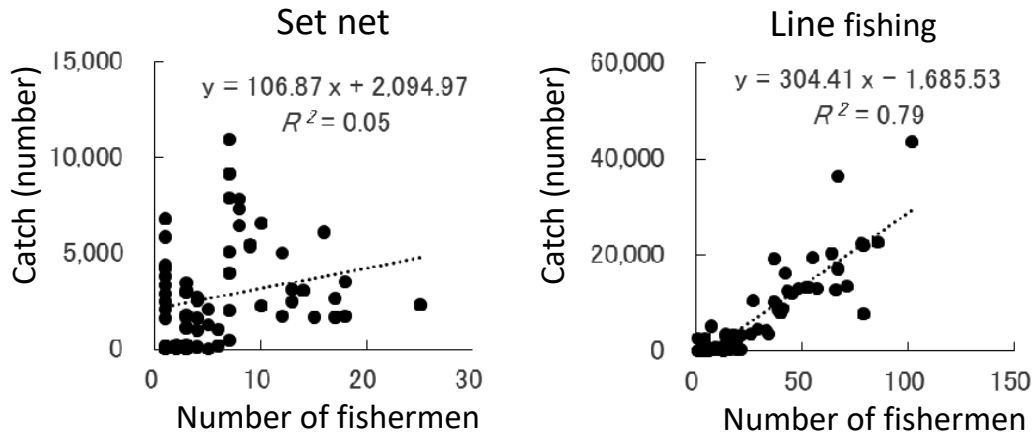


Fig.5 Relationship between effort (number of fishermen), and catch (number) by set net and line fishing, in the Hiyama area from 2003-2014

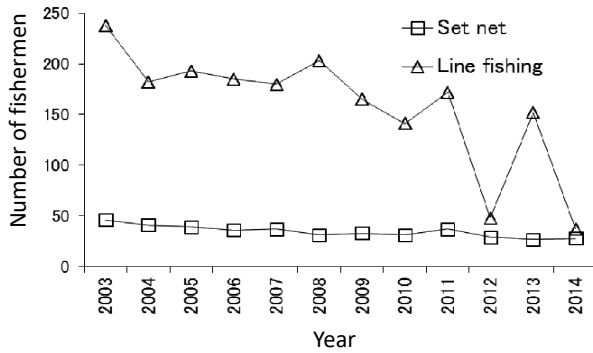


Fig.6 Annual change in effort (number of fishermen) for catching masu salmon by set net and line fishing in the Hiyama area during 2003-2014

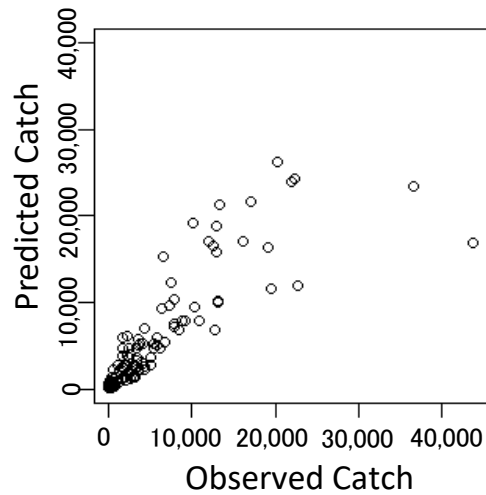


Fig.7 Plots of the observed catch (number) of masu salmon and the predicted catch of masu salmon based on the best model

Table 1 Comparison of AIC for models

Model	Source of variation						DF	AIC
	Area	Gear	Year	Area*Year	Gear*Year	Area*Gear		
1	+	+	+			+	25	2424
2	+	+				+	14	2429
3	+	+	+		+	+	36	2435
4	+	+	+	+		+	91	2516
5	+	+	+	+	+	+	102	2523
Null							1	2769

DF: Degrees of freedom.

+: The explanatory variable was included in the model.

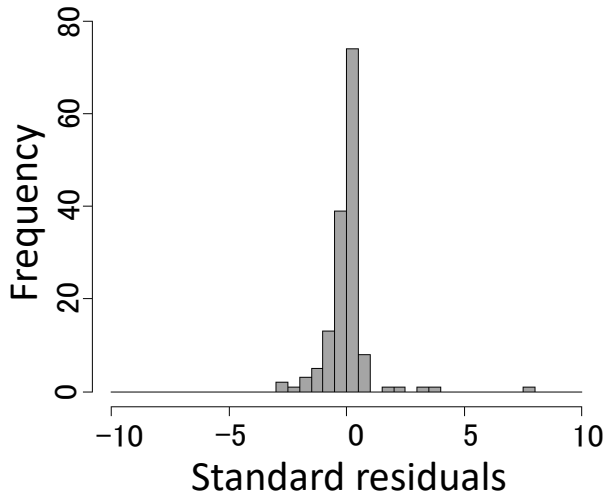


Fig.8 Distribution of the standard residuals for catch (number) of masu salmon in the best model

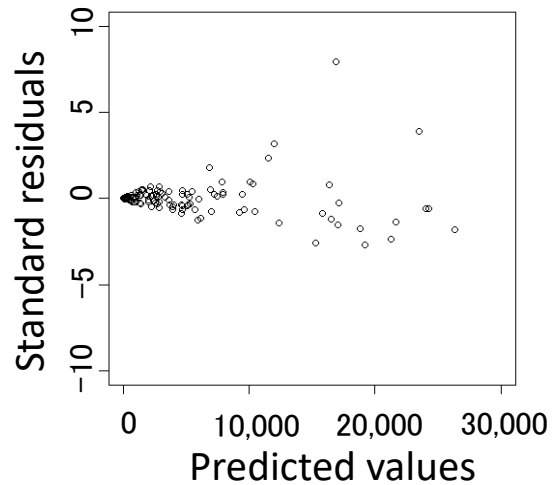


Fig.9 Scatterplots of the predicted values (catch in number of masu salmon) versus standard residuals in the best model

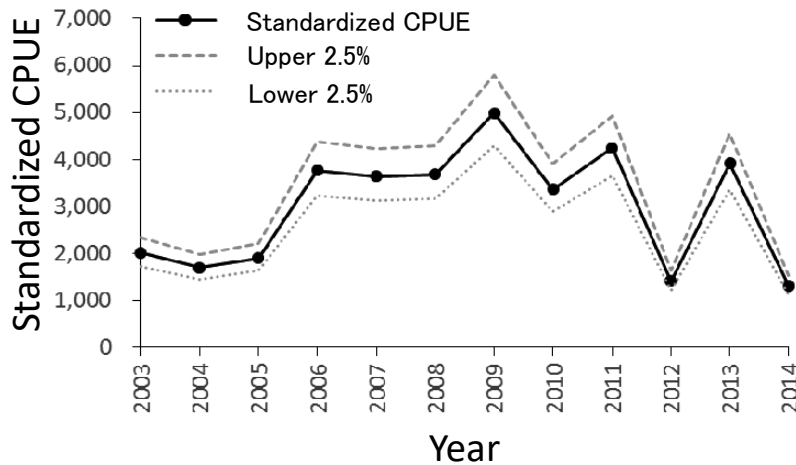


Fig.10 Annual variation in standardized CPUE with 95% confidence intervals

あると判断された (Fig.7)。その標準化残差の頻度分布に正規分布からの大きな逸脱はみられず (Fig.8)、予測値の変化に伴った標準化残差の著しい増減傾向や偏りは認められなかった (Fig.9)。以上より選択したモデルは妥当であると判断し、そのモデルを用いて標準化CPUEを求めた。

檜山地方の漁獲量と標準化CPUEの変動を比較すると、檜山地方のサクラマス漁獲量には減少傾向がみられたが (Fig.3)、標準化CPUEにはその傾向は認められなかった (Fig.10)。

考 察

本来、漁獲努力量は網の掃過面積等から算出した幾何

学的漁獲強度を努力量の単位として用いるのが理想であるが、一般的にはこれを求めることは困難であり、漁獲努力量の単位として漁船隻数、操業日数、漁具数、曳網回数、曳網時間数等が用いられている (田中, 2012)。収集したサクラマスの漁獲データからは、このようなデータを得ることはできないため、本研究では漁獲努力量指標値として漁業経営体数を利用した。北海道において漁業経営体数は減少傾向にあり、1988-2013年の間に漁業経営体数は定置網漁業では85.9%、漁船漁業では50.7%減少し、経営規模の小さい個人経営体でその傾向が顕著である (北海道, 2016)。檜山地方においても、漁業経営体数の減少傾向は顕著であり、漁業協同組合員数は1980年に2,744人であったが2014年には725人へと大幅に減少している (北海道檜山振興局産業振興部水産課,

2016)。本研究の漁獲努力量指標値においても減少傾向がみられ、釣り漁業でその傾向が顕著であった。定置網漁業は漁業権漁業であり、他の漁法とくらべ漁獲努力量の年変化が比較的小さい（高村ら、2014）。本研究においても定置網漁業の漁獲努力量指標値の年変化は小さく、定置網漁業の漁獲尾数と漁獲努力量指標値の決定係数は低かったのに対して、自由漁業である釣り漁業の漁獲努力量指標値の年変化は大きく、釣り漁業の漁獲尾数と漁獲努力量指標値の決定係数は高かった。以上より本研究で用いた漁獲努力量指標値は、漁法の漁獲努力量の変化の特徴を的確に反映していると考えられた。

CPUEの標準化は漁獲年以外にCPUEに影響を与える要因を説明変数として用い、その影響を取り除くことで年効果の抽出を行う。海洋環境と漁獲量の関係が明瞭な魚種については表面水温や気候インデックスが説明変数として用いられ、環境要因の効果が取り除かれている（庄野、2004）。また、漁獲の時期的な偏りを取り除くために季節や漁獲月が説明変数として用いられる（Brodziak and Walsh, 2013；岡本ら、2016）。檜山地方においてサクラマスは漁法により漁獲時期が異なり、釣り漁業は1-3月に、定置網漁は4-5月に行われるため、本研究では時期による効果は漁法による効果に含まれると考え、漁獲年と漁獲努力量指標値以外の説明変数として漁獲場所と漁法を使用し標準化モデルを作成した。残差解析によってモデルが妥当であると判断されたため、その他の情報は説明変数に加えなかった。

本研究では以上のように漁獲データから抽出した説明変数と漁獲努力量指標値を用い、GLMによりCPUEの標準化モデルを作成し、来遊資源の変動を推定した。標準化モデルは漁獲尾数を精度よく再現し、本種のような漁獲特性を持つ魚種の資源評価に、本研究の手法が有効であると考えられた。また、サクラマスの漁獲量は2003-2014年の檜山地方においても減少傾向を示したが、標準化CPUEに減少傾向は認められず、主要な漁法である釣り漁業の漁業経営体数の減少によって漁獲量が減少傾向にあると考えられた。

北海道日本海側北部の初山別村と檜山地方のサクラマス増殖施設において、生産した幼魚を鰭切除により標識を施して増殖施設付近から放流し、放流翌年に北海道西岸（オホーツク海側の枝幸町-日本海-太平洋-広尾町まで）のサクラマスの主要な水揚げ場所で標識調査が行われた（宮腰、2006）。標識サクラマスの推定水揚げ尾数は、放流場所に近い地域で最も多かったが、時期によって水揚げ場所が顕著に異なり、1-2月には越冬場所と考えられる津軽海峡東部-北海道太平洋側で水揚げされ、5-6月には放流場所近くでの水揚げが顕著に多くなった。本研

究ではサクラマスが沿岸漁獲される比較的狭い範囲で標準化を行ったが、今後より正確に檜山地方のサクラマス漁業資源の変動傾向を評価するためには、少なくとも越冬場所を含めたより広域なスケールで、水揚げ場所の効果の検討を行う必要があると考えられる。

北太平洋のサケ類のバイオマスは長期的にはアリューシャン低気圧の変動と連動することが指摘されており、1970年代後半から1990年代後半までのサケ類の漁獲量の増加は、アリューシャン低気圧の強化がサケ類の環境収容力を増加させたためと解釈されている（Beamish and Bouillion, 1993; Kaeriyama *et al.*, 2012）。サケ類の死亡率が高い時期は降海直後と最初の海洋越冬時期であると考えられ（Healey, 1982; Beamish *et al.*, 2004）、石狩川系シロザケの海洋生活一年目の成長量と生残率の正の相関関係に、アリューシャン低気圧の強勢によって変動する夏-秋のオホーツク海の海水温が関与した可能性が示唆されている（Seo *et al.*, 2011）。春に幼魚の状態以降海し、極東域で1年間の海洋生活を過ごした後、母川に回帰するサクラマスの資源変動にもこのような環境変化が影響を及ぼしていることが予想される。本研究では近年の漁獲データを用いてCPUEの標準化を行ったが、今後、より長期的なスケールで資源評価を行うことにより、気候変動のサクラマス来遊資源への影響評価が期待される。また、河川環境の人為的改変に伴いサクラマスの再生産環境が消失し、沿岸漁業資源が大きく減少した可能性について以前から指摘されてきたが（玉手・早尻、2008）、それらに関する定量的な影響評価にも長期的な資源評価の情報は不可欠であろう。

謝 辞

本報告のデータ収集にあたりまして、ひやま漁業協同組合の職員および漁業者の皆様にはご理解とご協力を賜りました。本報告の分析について、国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所の市野川桃子博士から大変有意義なご助言、ご指導を賜りました。厚く感謝の意を表します。

引用文献

- Akaike H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Petrov BN, Csaki F, (eds.), *Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory*, Akademiai Kiado, Budapest, 1973: 267-281.
- Ando D, Miyamoto M, Kasugai K, Miyakoshi Y, Nagata M.

- Seasonal distribution of yearling masu salmon released from the Sea of Japan side of southwestern Hokkaido, Japan. *N. Am. J. Fish. Manage.* 2005; 25: 22-37.
- Beamish RJ, Bouillon DR. Pacific salmon production trends in relation to climate. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1993; 50: 1002-1016.
- Beamish RJ, Mahnken C, Neville CM. Evidence that reduced early marine growth is associated with lower marine survival of coho salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2004; 133: 26-33.
- Brodziak J, Walsh WA. Model selection and multimodel inference for standardizing catch rates of bycatch species: a case study of oceanic whitetip shark in the Hawaii-based longline fishery. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2013; 70: 1723-1740.
- Healey MC. Timing and relative intensity of size-selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1982; 39: 952-957.
- 北海道. 「北海道水産業・漁村のすがた2016～北海道水産白書～」, 札幌. 2016.
- 北海道檜山振興局産業振興部水産課. 「平成26年度版檜山の水産」, 江差. 2016.
- Kaeriyama M, Seo H, Kudo H, Nagata M. Perspectives on wild and hatchery salmon interactions at sea, potential climate effects on Japanese chum salmon, and the need for sustainable salmon fishery management reform in Japan. *Environ. Biol. Fish.* 2012; 94: 165-177.
- 久保達郎. 北海道のサクラマス生活史に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1980; 34: 1-95.
- 待鳥精治, 加藤史彦. サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の産卵群と海洋生活. 北太平洋漁業国際委員会研究報告 1985; 43: 1-118.
- Maunder MN, Punt AE. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fish. Res.* 2004; 70: 141-159.
- 宮腰靖之. 北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究. 北海道立水産孵化場研究報告 2006; 60: 1-64.
- 宮腰靖之. 種苗放流効果と資源増殖-北海道のサクラマスを事例として-. 「水産資源の増殖と保全 (北田修一, 埴山雅秀, 浜崎活幸, 谷口順彦編)」成山堂書店, 東京. 2008; 48-65.
- Morita K, Saito T, Miyakoshi Y, Fukuwaka M, Nagasawa T, Kaeriyama M. A review of Pacific salmon hatchery programmes on Hokkaido Island, Japan. *ICES J. Mar. Sci.* 2006; 63: 1353-1363.
- Naito K, Ueno Y. The first recovery of tagged masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in waters offshore of the Sea of Okhotsk. *Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatchery* 1995; 49: 59-62.
- 岡本 俊, 山下紀生, 加賀敏樹. 小型いか釣り漁業データをういたスルメイカ冬季発生群のCPUEの標準化. 日本水産学会誌 2016; 82: 686-698.
- 岡村 寛, 市野川桃子. 水産資源学における統計モデリング. 統計数理 2016; 64: 39-57.
- Seo H, Kudo H, Kaeriyama M. Long-term climate-related changes in somatic growth and population dynamics of Hokkaido chum salmon. *Environ. Biol. Fish.* 2012; 94: 165-177.
- 庄野 宏. CPUE標準化に用いられる統計学的アプローチに関する総説. 水産海洋研究 2004; 68: 106-120.
- 水産庁, 国立研究開発法人水産研究・教育機構. 平成28年度国際漁業資源の現況. 東京. 2017.
- 高村正造, 片山俊之, 木下淳司. 相模湾沿岸域定置網漁業における漁獲魚種の変遷と主要魚種の資源動向. 神奈川県水産技術センター研究報告 2014; 7: 65-72.
- 玉手 剛. 1980年以前の北海道沿岸におけるサクラマス漁獲量の推定. 水産増殖 2008; 56: 137-138.
- 玉手 剛, 早尻正宏. 北海道における河川横断工作物基数とサクラマス沿岸漁獲量の関係-河川横断工作物とサクラマスの関係から河川生態系保全を考える-. 水利科学2008; 52: 72-84.
- 田中栄次. 「新訂水産資源解析学」成山堂書店, 東京. 2012.
- 渡辺智治. マス資源動態・生物統計調査. 「平成27年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書」, 恵庭. 2017; 14-17.