

## 北海道オホーツク海沿岸におけるスルメイカの漁獲量の予測方法

坂口健司<sup>1†</sup>, 山下紀生<sup>2</sup>Method to forecast the catches of Japanese common squid *Todarodes pacificus* in the Sea of Okhotsk off HokkaidoKenji SAKAGUCHI<sup>1†</sup> and Norio YAMASHITA<sup>2</sup>

北海道オホーツク海沿岸におけるスルメイカの漁獲量を漁期前に予測するためのモデルを、本種の北海道東部太平洋における分布量の情報と、北海道北東の国後島沖における表面水温を用いて検討した。モデルの応答変数とした1996年を除く1993-2011年の10-12月のオホーツク海における定置網類による本種の漁獲量は、調査船による8月下旬の釧路以東の北海道東部太平洋における本種のCPUE、小型いか釣り漁船による7-8月の釧路港における本種のCPUE、国後島の南側の7月の表面水温の3つの説明変数を用いた一般化線形モデルにより精度高く予測することができた。このモデルによる予測値と観測値の相関係数は0.853であった。北海道オホーツク海沿岸で漁獲されるスルメイカの主群が日本海ではなく太平洋からの来遊群であることが支持された。

A model to forecast the catches of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, before the fishing season in the Sea of Okhotsk off Hokkaido was examined using information about the abundance of the squid in the Pacific off eastern Hokkaido and the sea surface temperature (SST) off Kunashiri Island, northeast of Hokkaido. Catches of the squid in the Sea of Okhotsk off Hokkaido by set nets during October to December, 1993 to 2011, with the exception of the outlier 1996 which was regarded as the response variable of the model were accurately predicted using a generalized linear model (GLM). Three explanatory variables used in the GLM were 1) catch per unit effort (CPUE) in the Pacific east off Kushiro in late August by research vessels, 2) CPUE of commercial jigging vessels at Kushiro Port during July to August and 3) SST in the southern area off Kunashiri Island in July. The correlation coefficient between the predicted catches by the model and the observed catches was 0.853. It is suggested that most of the squid caught in the Sea of Okhotsk off Hokkaido migrated from the Pacific Ocean rather than the Sea of Japan.

**Key words:** Hokkaido, Okhotsk Sea, Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, prediction, generalized linear model

## はじめに

晩秋の北海道オホーツク海沿岸（稚内市宗谷地区から羅臼町の沿岸）において、スルメイカ *Todarodes pacificus* は多い年で5万トン近く漁獲される重要な水産資源である (Fig. 1)。この海域における本種の漁期は、豊漁年で10-12月、不漁年で11-12月の2、3ヶ月に集中する (坂口・澤村, 2009)。その漁獲量は1990年以降で見ると約4千から5万トンと10倍以上の年変動がある。漁法別では底建網を含

む定置網類が最も多く、平均で約7割、少なくとも約半分を占める。一方、いか釣り漁業者は、漁期の前にこの海域へのスルメイカの来遊状況を予想し、この海域に移動して操業するかどうかを判断する。また、定置網漁業者、漁業協同組合、加工業者、魚箱業者もおおのこの予想に応じて経営方針を検討し水揚げに向けた準備をする。したがって、この海域に来遊するスルメイカの漁獲量を高精度で予測することができれば、これら漁業関係者の効率的な経営に大きく貢献することができる。

スルメイカは、寿命がほぼ1年であり (新谷, 1967; 伊東, 1972; 木所ほか, 1999; 菅原ほか, 2013)、主産卵場である日本海南西部から東シナ海で (新谷, 1967; 伊東, 1972)、秋から冬を中心にほぼ周年、産卵発生していると考えられている (新谷, 1967; 伊東, 1972; 坂口ほか, 2009)。北海道周辺海域におけるスルメイカの回遊パターンを Fig. 2に

2014年10月10日受付, 2015年3月5日受理

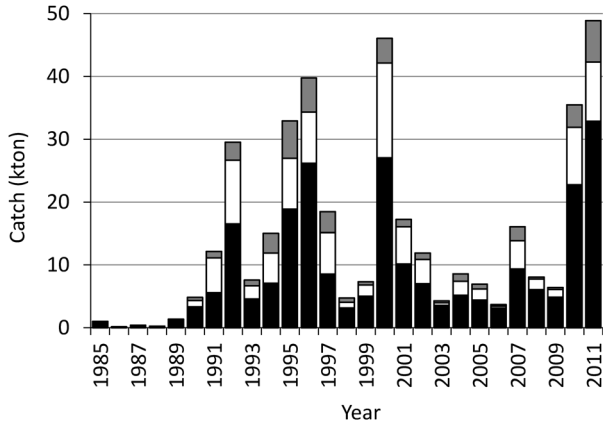
<sup>1</sup> 北海道立総合研究機構 中央水産試験場

Hokkaido Research Organization, Central Fisheries Research Institute, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

<sup>2</sup> 水産総合研究センター 北海道区水産研究所

Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido 085-0802, Japan

† sakaguchi-kenji@hro.or.jp

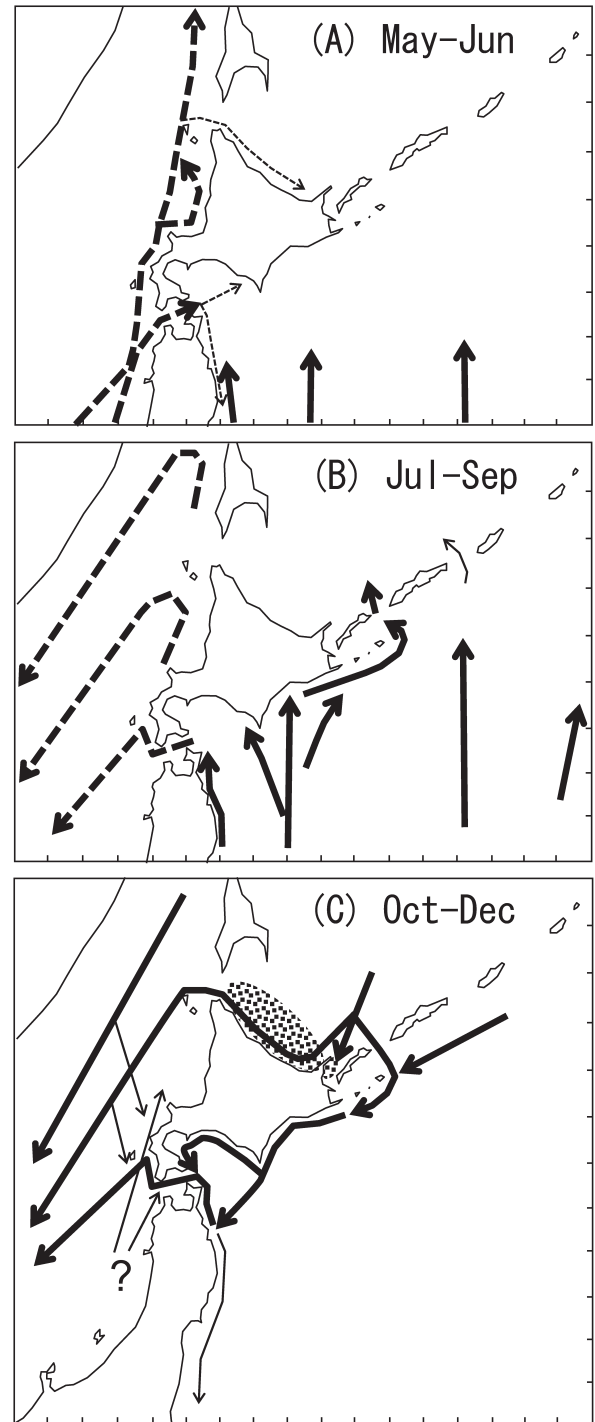


**Figure 1.** Catches of *Todarodes pacificus* during October to December in the Sea of Okhotsk off Hokkaido. Black, white, and gray bars indicate the catches by set nets, jig, and others, respectively.

示す。秋に発生した群は日本海を、冬に発生した群は日本海と太平洋の両方を成長しながら北上回遊し、水温の上昇する初夏以降に北海道周辺海域へ来遊する。日本海を北上した群の一部は宗谷海峡を通り、一方、太平洋を北上した群の一部は北方四島周辺の海峡を通り、オホーツク海に移動すると考えられている。秋から初冬になると、東樺太海流と親潮の影響によって、オホーツク海の表層の低温水が大きな袋状の等温線の形状を維持したまま沖合から北海道に接近し通過する（坂口，2014）。オホーツク海沖合に分布する群は、これを避けることによって、寄せ集められながら北部根室海峡などの北海道沿岸へ移動させられる（坂口，2014）。沿岸に来遊した群は、北部根室海峡では主に定置網とかかり、知床半島以西のオホーツク海では主に底建網と沖合底びき網で漁獲される（佐藤・三橋，2013）。漁獲されなかった群は、日本海や太平洋を経由して産卵場に戻ると考えられている（新谷・川崎，1962；新谷・村田，1972；村田・新谷，1970）。

スルメイカ資源は、発生時期によって秋季発生系群と冬季発生系群に分けて評価されており、その資源量はともに1980年代が少なく、1990年代以降が多く推移している（木所ほか，2014；山下ほか，2014）。このような中長期的な資源量変動には、気候レジームシフトと呼ばれるやはり中長期的な海洋の水温環境の変化が影響している（Sakurai et al., 2000；木所，2009；Rosa et al., 2011）。本種の分布域の北東末端周辺である北海道オホーツク海沿岸においても、これとほぼ一致する漁獲量の中長期的な変動が見られてきた（佐藤・三橋，2013）。しかし、資源量が多くなった1990年代以降の漁獲量に見られる短期的でかつ大きな年変動（Fig. 1）の原因は、レジームシフトでは説明できない。

10–12月の北海道オホーツク海沿岸へのスルメイカの来遊状況について、毎年9月に漁況予報が発表されてきた。



**Figure 2.** Migratory pattern of the autumn population (dotted line and arrows), and winter population (solid line and arrows) of *Todarodes pacificus* in the waters around Hokkaido. (A) May to June, (B) July to September, (C) October to December. Narrow lines indicate migration of the small group. Dots in (C) indicate fishing ground of the squid in the Sea of Okhotsk off Hokkaido. Figure modified from Sakaguchi (2010).

この予測のためには、本海域に來遊する前に分布するオホーツク海沖合や北方四島周辺海域における分布量情報が重要である。しかし、これらの情報はほとんど得られないため、さらにその前に分布する日本海または太平洋における分布量情報を利用せざるを得ず、その予測は困難である。

近年、北海道周辺のオホーツク海、日本海、太平洋で採集されたスルメイカの発生時期が推定された結果、日本海からオホーツク海へのスルメイカの大規模な移動は想定し難いと考えられている(坂口ほか, 2009)。また、太平洋の東方沖合を北上中のスルメイカの分布密度とオホーツク海における漁獲量の間に正の相関があることも報告されている(加賀ほか, 2013)。したがって、主な経路として、太平洋から北方四島周辺の海峡を通過してオホーツク海に移動する経路が有力と考えられている(坂口, 2010)。そして、本種が水温の上昇する初夏に太平洋を北上することから、太平洋からオホーツク海への移動には特定の時期の北方四島周辺海域における水温の上昇が影響していることが想定される。

したがって本研究では、漁期前に得ることのできる太平洋におけるスルメイカの分布量情報と、北方四島周辺海域における水温情報を用いて、北海道オホーツク海沿岸における本種の漁獲量を予測する手法を検討する。さらに、この検討を通じて本種のこの海域への移動経路や要因を検証する。

### 材料および方法

北海道オホーツク海沿岸へのスルメイカの漁獲量を予測する数理モデル(以下、予測モデルとする)を一般化線形モデル(Generalized Linear Model)で作成した。

### 応答変数

予測モデルの応答変数を1993–2011年の10–12月の北海道オホーツク海沿岸における定置網類によるスルメイカの漁獲量とした。この19年間は、スルメイカの資源量が多くなった後であり(木所ほか, 2014; 山下ほか, 2014)、後述する説明変数のデータセットがそろっている期間である。ただし、後述する理由により、1996年のデータを除いた場合についても検討した。

なお、本研究で用いた漁獲統計値は、釧路水産試験場が羅臼漁業協同組合から調べたデータおよび北海道水産現勢(<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/indexfiles/sui-toukei/suitoukei.htm>, 最終アクセス日: 2014年8月22日)などから集計した。

### 分布量情報の説明変数

オホーツク海沖合や北方四島周辺海域におけるスルメイカの分布量情報は得られない。このため、オホーツク海に分布するスルメイカの多くが太平洋から北方四島周辺の海峡を通過して來遊するものと考え、太平洋における以下4種類

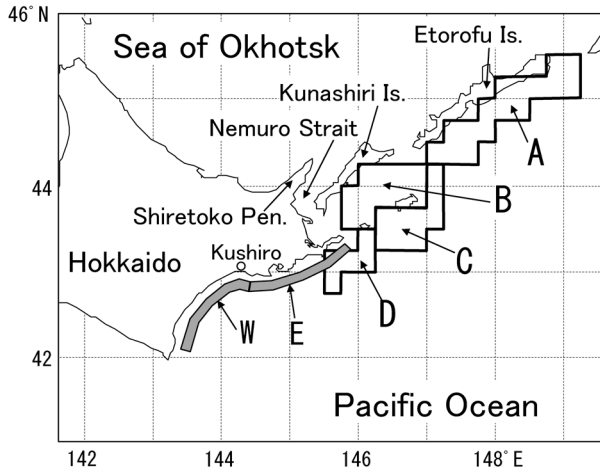
**Table 1.** Explanatory variables used for GLM. See Fig. 3 for the locations of the areas.

Variable	Description
CPUE.WE	Mean Catch (individuals) per hour by one jigging-machine on the research vessels in the area W and E in late August
CPUE.E	Mean Catch (individuals) per hour by one jigging-machine on research vessels in the area E in late August
Catch.K	Catch (t) by commercial fishery at Kushiro during July to August
CPUE.K	Mean catch (t) per day by one commercial jigging vessels at Kushiro during July to August
A.Jun	Average SST (°C) in the area A in June
A.Jul	Average SST (°C) in the area A in July
A.Aug	Average SST (°C) in the area A in August
B.Jun	Average SST (°C) in the area B in June
B.Jul	Average SST (°C) in the area B in July
B.Aug	Average SST (°C) in the area B in August
C.Jun	Average SST (°C) in the area C in June
C.Jul	Average SST (°C) in the area C in July
C.Aug	Average SST (°C) in the area C in August
D.Jun	Average SST (°C) in the area D in June
D.Jul	Average SST (°C) in the area D in July
D.Aug	Average SST (°C) in the area D in August

のデータを分布量情報の説明変数とした(Table 1)。データの取得方法の特性から、調査船による分布量情報2種類と、漁船による分布量情報2種類に区分した。

1993–2011年の8月下旬に襟裳岬から根室半島までの太平洋沿岸(以下、道東太平洋とする)に設定した調査点において、釧路水産試験場所属の試験調査船北辰丸(216トン、2連式自動イカ釣機を6台搭載)および水産総合研究センター北海道区水産研究所所属の試験調査船探海丸(168トン、2連式自動イカ釣機を5台搭載、2008年3月除籍)を用いて、夜間のいか釣り調査を行った。分布量の指標として、調査点別にCPUE(自動イカ釣機1台1時間当たりの平均漁獲個体数)を計算した。道東太平洋の全調査海域(Fig. 3のWとE両海域)の平均CPUEと、北方四島により近い釧路以東の調査海域(E海域のみ)の平均CPUEの2種類のデータを調査船による分布量情報とした。各年の調査点数は、WとE両海域で8–20点、E海域のみで4–10点であった。これら調査船による分布量情報は、次に記す漁船による分布量情報よりも道東太平洋の沿岸を広くほぼ均一に網羅しているが、調査期間は2、3日程度と短い。

1993–2011年の7–8月に釧路港に水揚げされたスルメイカの漁獲量を集計した。さらに、同じ期間に釧路港に水揚げした小型イカ釣漁船のCPUE(1隻1日当たりの平均漁



**Figure 3.** A schematic map of the area around Hokkaido. W and E indicate the areas for the jigging survey, and A, B, C, and D indicate the areas for SST.

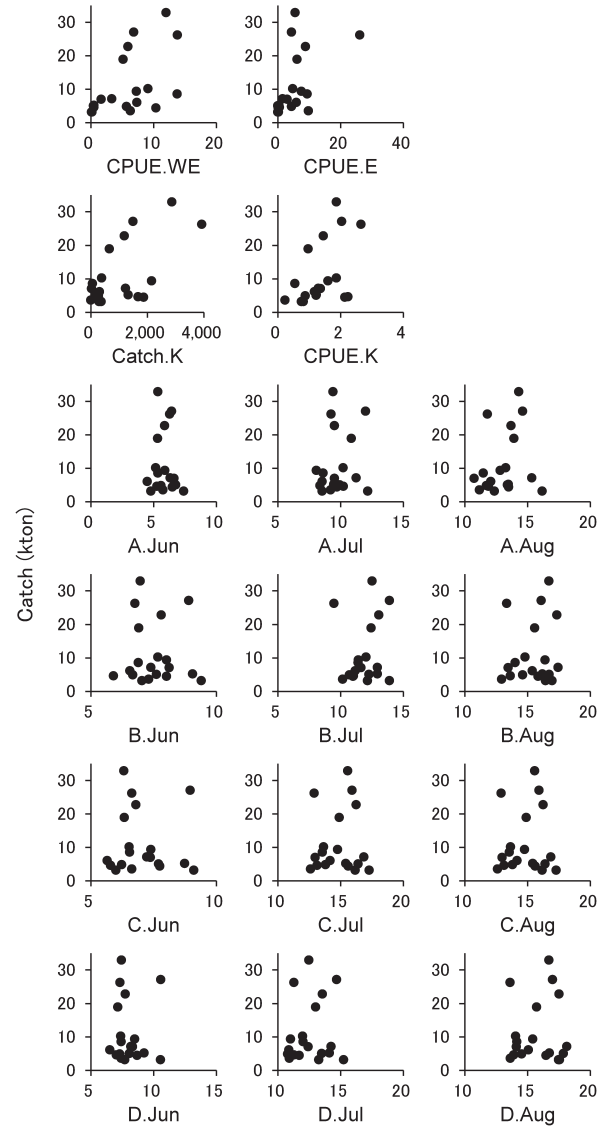
獲重量)を計算した。各年のこれらの漁獲量とCPUEの2種類のデータを漁船による分布量情報とした。漁船による分布量情報は、漁場が釧路港の前沖にほぼ限定されるが、対象期間が1ヶ月前後と長い。分布量情報の説明変数と応答変数の関係をFig. 4に示した。分布量情報の説明変数が大きいほど応答変数が大きいように見える。

#### 水温情報の説明変数

表面水温はNEAR-GOOSのホームページ (<http://goos.kishou.go.jp/rrtdb/database.html>, 最終アクセス日: 2013年10月9日) からダウンロードした1993–2011年の日別緯経度15分格子別のデータを用いた。ここでもスルメイカが北方四島周辺の海峡を通過して太平洋からオホーツク海へ移動すると考え、オホーツク海への入り口周辺に当たる択捉島、国後島、色丹島、歯舞群島から根室半島それぞれの南側の4海域 (Fig. 3のA, B, C, D海域) を候補にした。さらに、例年7月頃に道東太平洋においてスルメイカが水揚げされ始めることから (坂口・澤村, 2009; 佐藤・三橋, 2013), 上記海域の水温が本種のオホーツク海への移動に影響する時期として6–8月の3ヶ月を候補にした。3ヶ月と4海域を組み合わせて12種類の平均表面水温を計算し、水温情報の説明変数とした (Table 1)。水温情報の説明変数と応答変数の関係も Fig. 4に示したが、明瞭な相関関係は見取れない。

#### 統計解析

一般化線形モデルを検討するための統計解析にはフリーソフトウェアR Ver. 3.0.0 (R Development Core Team, 2005)を用いた。応答変数の漁獲量は負の値を取らないことと、値が大きくなるほど誤差が大きくなることが想定されるため、対数正規分布に従うと仮定した。統計ソフトウェア上では、対数をとった漁獲量の分布に正規分布、リンク関数にidentityを指定した。



**Figure 4.** Relationship between the catches of *Todarodes pacificus* by set nets during October to December in the Sea of Okhotsk off Hokkaido and each explanatory variable (see Table 1).

調査船による2種類の分布量情報は、E海域が重複しているため、予測モデルで同時に用いないこととした。漁船による2種類の分布量情報も、ともに漁獲量のデータを含むことから同時に用いないこととした。多重共線性の問題を避けるため、すべての説明変数の相関行列を作成し、相関の高い説明変数の組み合わせを調べた。その結果、同じ月の異なる海域間の水温に高い相関 ( $0.68 < r < 0.98$ ) が見られ、異なる月間でも比較的高い相関 ( $r > 0.7$ ) が見られる場合があった。これらの高い相関関係に加えて、スルメイカの太平洋からオホーツク海への移動には、特定の時期と海域の水温が影響していることを想定しているため、モデルに用いる水温情報の説明変数は最大で2種類までとし、

VIFを基準に多重共線性の問題の有無を判断した。

説明変数の選択においては、分布量情報と水温情報の説明変数を最低でも1個ずつ組み合わせることと、必要以上に説明変数を増やさないと考慮した。そのため、予測モデルに用いる説明変数は、分布量情報1個と水温情報1個(合計2個)の場合と、調査船による分布量情報1個、漁船による分布量情報1個、水温情報1個(合計3個)の場合、調査船による分布量情報1個、漁船による分布量情報1個、水温情報2個(合計4個)の場合に限った。説明変数が2個の予測モデルは4種類の分布量情報と12種類の水温情報の総当たりで48通り、説明変数が3個の予測モデルは2種類の調査船による分布量情報、2種類の漁船による分布量情報、12種類の水温情報のすべての組み合わせで同じく48通り、同様に説明変数が4個のモデルは528通り作成された。合計624通りのモデルから、AIC(Akaike Information Criteria)が最小のモデルを最適な予測モデルとして選択した。ただし、分布量情報の説明変数および水温情報の説明変数ともに、その値が大きいほど太平洋からオホーツク海に多く来遊すると考えているため、いずれかの説明変数の係数が負の値となるモデルは却下した。また、VIFが5以上になる説明変数が含まれるモデルも多重共線性の問題があると判断し却下した。

説明変数が4個の予測モデルは次の式で表される。

$$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 G + \beta_3 T_1 + \beta_4 T_2) + E \quad (1)$$

ここで、Yは定置網類の漁獲量、Sは調査船による分布量情報、Gは漁船による分布量情報、T<sub>1</sub>は水温情報、Eは対数正規分布に従う誤差、β<sub>i</sub>(i=0, 1, 2, 3, 4)は係数である。(1)式の右辺の説明変数は積の形に分解できることから、各説明変数の値が1増加すると、応答変数の漁獲量はexp(β<sub>i</sub>)倍されることになる。

なお、スルメイカは寿命が約1年で毎年新しい年級が来遊すること、産卵場から遠く離れた対象海域の漁獲量は産卵親魚量を反映しておらず親子関係は考えにくいこと、漁獲量の経年変化(Fig. 1)に前年の漁獲量の影響が明確に見て取れなかったことから、応答変数の自己相関については考慮しなかった。また、本研究では漁獲量が分布量と水温による単純な予測モデルで説明できることを仮定しているため、説明変数の交互作用も考慮しなかった。

#### レトロスペクティブ解析による予測精度の検証

実際に新しい年の漁獲量を予測することを想定して予測モデルの精度を検証するため、1993-2011年の19年間のうち、ある1年のデータを除いて検証モデルを作成し、そのモデルから予測されるその年の漁獲量と実際の漁獲量を比較するレトロスペクティブ解析を行った。例えば、1993年の漁獲量を予測するときは、まず、1993年以外の18年間のデータを使ってモデルの係数を推定し直して検証モデルを作成した。ただし、説明変数の種類はすでに予測モデル

で選ばれたものから変更しなかった。次に、この検証モデルに1993年の説明変数の値を代入し、1993年の漁獲量の予測値を算出し、実際の漁獲量と比較した。この作業を1993年から2011年まで19回行った。

## 結果

### 説明変数の選択

作成した624通りの予測モデルの中で最もAICの小さかった説明変数の組み合わせをTable 2に示した。このモデルの説明変数は、分布量情報として調査船によるE海域のCPUEおよび漁船による釧路港のCPUE、そして、水温情報としてB海域における7月の表面水温の3つであった。しかし、このモデルでは、1996年のデータが仮定した分布から比較的大きく外れるうえ、cookの距離が約6と大きいいため、モデルへの影響が非常に大きいと判断された。このことから、1996年のデータを異常値と見なして解析の元データから除いて説明変数を再検討した。

1996年のデータを除いて作成した624通りの予測モデルのうちAICを指標とした上位10組の説明変数をTable 3に

**Table 2.** Explanatory variables and AIC of the lowest AIC model estimated from the data during 1993 to 2011 to predict catches of the squid by set nets in the Sea of Okhotsk off Hokkaido.

Explanatory variables	Residual deviance	df	AIC
Null model	10.63	18	
CPUE.E+CPUE.K+B.Jul	3.03	15	29.01*

\* Data for 1996 was regarded as an outlier.

**Table 3.** Explanatory variables and AIC of the models estimated from the data during 1993 to 2011 with the exception of the outlier 1996 to predict catches of the squid by sets net in the Sea of Okhotsk off Hokkaido. Only 10 models from the lowest AIC one are presented.

Explanatory variables	Residual deviance	df	AIC	ΔAIC
Null model	9.20	17		
CPUE.E+CPUE.K+B.Jul	1.73	14	18.90	0.00
CPUE.E+CPUE.K+B.Jul+D.Aug	1.69	13	20.50	1.60
CPUE.E+CPUE.K+B.Jul+B.Aug	1.72	13	20.84	1.94
CPUE.E+CPUE.K+D.Jul	1.94	14	20.99	2.09
CPUE.E+CPUE.K+D.Jul+D.Aug	1.87	13	22.32	3.42
CPUE.E+CPUE.K+D.Jul+B.Aug	1.88	13	22.37	3.47
CPUE.E+CPUE.K+D.Jul+C.Aug	1.92	13	22.84	3.94
CPUE.E+CPUE.K+D.Jul+A.Aug	1.94	13	22.98	4.08
CPUE.E+CPUE.K+C.Jul	2.24	14	23.56	4.66
CPUE.E+CPUE.K+C.Jul+D.Aug	2.01	13	23.62	4.72

示した。最も小さいAIC (18.90) が得られたモデルの説明変数は、1996年のデータを含む場合と同じで、調査船によるE海域のCPUE、漁船による釧路港のCPUE、B海域における7月の表面水温であった。このモデルを最適な予測モデルと判断した。この予測モデルは、3つの説明変数のいずれかを削除した2変数のモデルとも有意な差が認められた ( $F$ 検定,  $p < 0.05$ )。上位10組の説明変数は、調査船による分布量情報はすべてE海域で、漁船による分布量情報はすべてCPUEが選ばれた。水温情報の海域はB海域以外もすべて上位10組に選ばれたが、月は7月と8月のみで6月は選ばれなかった。2変数のモデルは上位10組に選ばれなかった。

選択された最適な予測モデルの係数を Table 4 に示した。各係数から計算される  $\exp(c)$  の値から、このモデルで予測される漁獲量は、調査船によるE海域のCPUEが1個体多くなると1.18倍に、B海域における7月の表面水温が1°C高くなると1.45倍、漁船による釧路港のCPUEが1t増えると2.02倍に増えることになる。また、各説明変数をモデルから除いたときのAICの変化量 ( $\Delta AIC$ ) を各説明変数の説明力の指標とすると、調査船によるE海域のCPUE ( $\Delta AIC=22.20$ ) の説明力が最も大きく、漁船による釧路港のCPUE ( $\Delta AIC=13.89$ ) とB海域における7月の表面水温 ( $\Delta AIC=13.68$ ) は同程度であった。

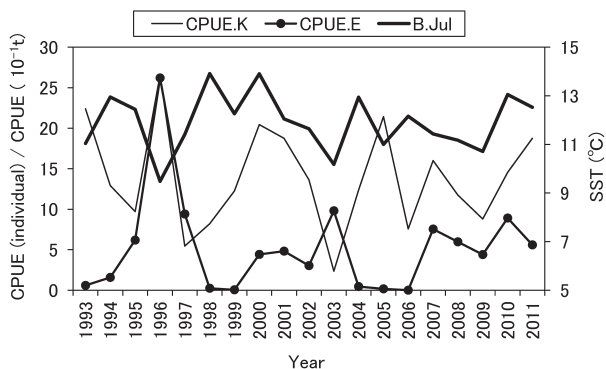
#### 説明変数の変化

選択された3つの説明変数の変化を Fig. 5 に示した。期間

**Table 4.** Coefficient (c), standard errors (s.e.), t value, p value, and  $\exp(c)$  for the lowest AIC model in Table 3.

Variable	c	s.e.	t value	p value	$\exp(c)$
Intercept	2.866	1.054	2.72	0.02*	—
CPUE.E	0.168	$2.660 \times 10^{-2}$	6.30	<0.001*	1.18
CPUE.K	0.705	0.1582	4.46	<0.001*	1.45
B.Jul	0.371	0.0841	4.41	<0.001*	2.02

\*: Statistically significant ( $p < 0.05$ )



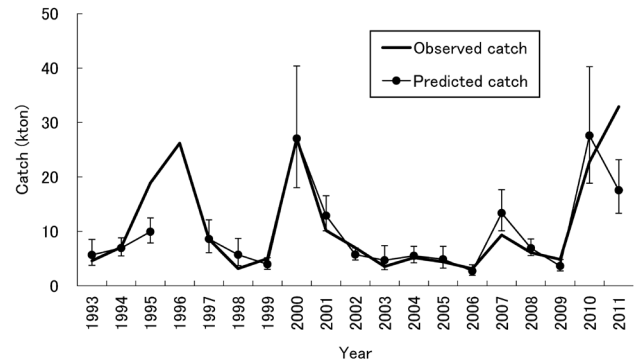
**Figure 5.** Changes of the three explanatory variables selected for the lowest AIC model in Table 3.

中に2万トン以上の漁獲量があった豊漁年 (Fig. 1) を見ると、1995年は2つのCPUEおよび表面水温ともに目立った特徴は見られず、1996年はCPUEが調査船と漁船ともに最高値、逆に表面水温は最低値であった。2000年は漁船のCPUEと表面水温が高く、2010年と2011年は3変数ともに比較的高かった。

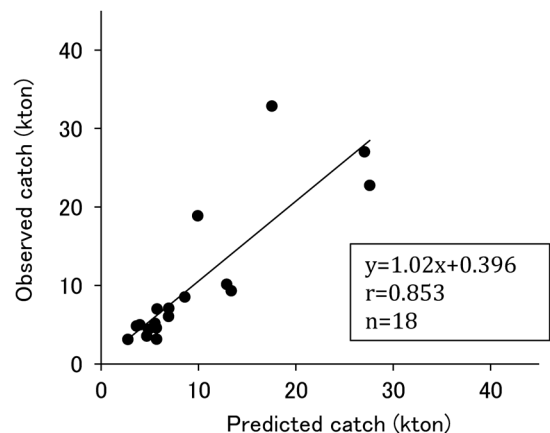
一方、漁獲量が5千トン以下であった不漁年 (Fig. 1) を見ると、1998年は調査船のCPUEは低かったが、表面水温が高かった。2003年は漁船のCPUEが最低値であり、表面水温も低かった。2006年は調査船のCPUEが低かった。

#### データへのモデルの当てはまり

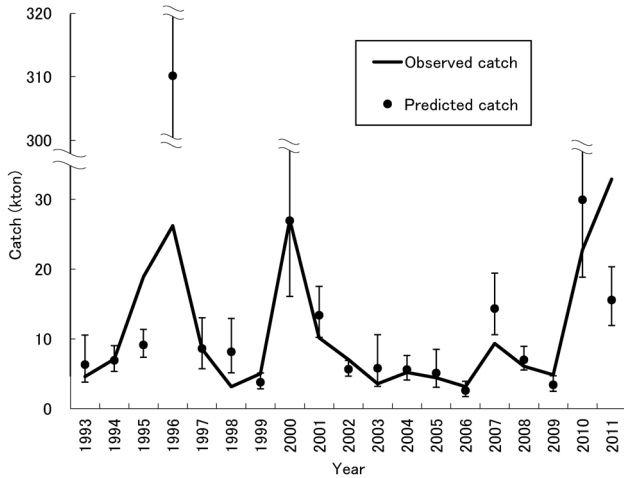
最適な予測モデルによる漁獲量の予測値と実際の漁獲量を Fig. 6 に示した。予測値は実際の漁獲量の大きな変動におおむね当てはまっているように見えた。実際の漁獲量が予測値の95%信頼区間から外れた年は、1995, 1998, 2002, 2007, 2011年の5年であり、それ以外の13年は信頼区間内であった。実際の漁獲量と予測値の相関係数は0.853で、実際の漁獲量がおおよそ2万トンを超えると予測値のばらつ



**Figure 6.** Observed catches of the squid by set nets and predicted catches by the lowest AIC model in Table 3. Vertical bars indicate 95% confidence intervals.



**Figure 7.** Relationship between observed catches of the squid by set nets and predicted catches by the lowest AIC model in Table 3.



**Figure 8.** Observed catches of the squid by set nets and predicted catches from the retrospective analyses. Vertical bars indicate 95% confidence intervals.

きが大きくなった (Fig. 7). また回帰式の傾きは1.02と1に近く、切片は0.396と0に近かったことから、予測値と実際の漁獲量が正比例の関係に近いモデルを作成することができた。

**レトロスペクティブ解析による予測精度の検証について**  
 検証モデルによる漁獲量の予測値と実際の漁獲量を Fig. 8 に示した。1996年のデータはもともと予測モデルに使われていないため、そのまま予測モデルに1996年の説明変数の値を代入して予測値を得た。1996年の予測値は実際の漁獲量の約12倍の約31万トンと大きく外れた。しかし、その他の年では、予測モデル (Fig. 6) と検証モデルに目立った違いは見られなかった。検証モデルの予測値と実際の漁獲量の相関係数はすべての年のデータを使うと0.435、1996年のデータを除くと0.762であった。

## 考察

本研究では、1996年を除く1993–2011年の10–12月の北海道オホーツク海沿岸における定置網類によるスルメイカの漁獲量を、一般化線形モデルで予測する方法を検討した。選ばれた3つの説明変数は、調査船による8月下旬の釧路以東の道東太平洋 (E海域) におけるCPUE、小型イカ釣漁船による7–8月の釧路港におけるCPUE、そして、国後島の南側 (B海域) における7月の表面水温であった。応答変数とした漁獲量が負の値にならないことと、値が大きいほどばらつきが大きくなるであろうとした特性をモデル化し、おおむね上手く実際の漁獲量を予測することができた。

最も説明力の高かった説明変数は、調査船による8月下旬の釧路以東の道東太平洋におけるCPUEであった。この海域で標識を付けて放流されたスルメイカが北部根室海峡

で再捕されたことが報告されている (森・中村, 2001)。したがって、この海域のスルメイカの分布密度は、オホーツク海へ移動する本種の一部の分布量を直接的に反映していると考えられる。また、釧路以東の道東太平洋から北方四島の太平洋側には本種が連続的に分布している (中村・森, 1998)。したがって、この説明変数は、よりオホーツク海に近い北方四島の太平洋側における本種の分布密度を間接的に反映していることも重要と考えられる。

一方、道東太平洋全体 (WとE両海域) の調査船のCPUEは、説明変数の選択における上位のモデルに含まれなかった。釧路以西からオホーツク海へのスルメイカの移動例は報告されていない。釧路港では漁期中に水揚げが継続することから (坂口・澤村, 2009; 佐藤・三橋, 2013)、釧路港の前沖にはほぼ定常的にスルメイカ漁場が形成されることが考えられる。これらのことから、釧路以西に來遊したスルメイカは釧路港の前沖に滞留しやすく、オホーツク海まで北上する群は比較的少ないことが想定される。したがって、オホーツク海へ移動する本種の分布量を直接的に反映する点においても、また、北方四島の太平洋側における本種の分布密度を間接的に反映する点においても、道東太平洋全体よりも釧路以東 (E海域) の調査船のCPUEが優先的に選ばれたと考えられる。

仮に、調査船による分布量情報が得られないとした場合、最適モデルの説明変数は小型イカ釣漁船による7–8月の釧路港における漁獲量と国後島の南側 (B海域) における7月の表面水温になる。しかし、このモデルのAICは39.63で、 $\Delta AIC$ は20.73まで大きくなった。したがって、精度の高い予測モデルを作成するためには、調査船調査の継続が重要である。

もう1つの分布量情報として、7–8月に主に釧路港の前沖で操業する小型イカ釣漁船による釧路港のCPUEが選ばれた。前述のとおり、釧路港の前沖からオホーツク海や北方四島の太平洋側への本種の移動を示唆する情報は乏しいため、オホーツク海への直接的な補給源とは別の解釈が必要となる。この説明変数は、同じ分布量情報にもかかわらず調査船のCPUEとの相関が低かったことから、調査船のCPUEでは上手く予測できない年に予測値を補正する働きをしている可能性がある。調査船のCPUEは、1、2隻でわずか2、3日間操業したスナップショット的な分布量情報であるため、スルメイカの來遊するタイミングや期間を網羅できていないと考えられる。一方で、漁船のCPUEは対象期間が長いために、本種の來遊するタイミングに左右されにくい。つまり、漁船のCPUEはオホーツク海からの地理的な距離が遠いという短所だけでなく、本種の來遊期間を網羅しやすいという長所も持っている。漁船のCPUEはこの長所によって、調査船のCPUEが分布量を過小評価した時 (例えば、2000年) の予測値を上方修正し、過大評価した時 (例えば、2003年) の予測値を下方修正するよ

うな働きを持っている可能性が考えられる。この考察が妥当であれば、釧路以東海域において現状よりも長い期間の分布量の指標値を得て、モデルに組み込むことができれば、予測精度の向上が期待できる。もちろん、次に記す水温情報の説明変数として選ばれた国後島の南側（B海域）におけるスルメイカの長い期間の分布量情報を得ることができれば、非常に有力な説明変数として期待できる。

水温情報の説明変数として、7月の国後島の南側（B海域）における表面水温が選ばれた。この海域の地理的な位置から、太平洋のスルメイカは主に国後島と択捉島の間にある国後水道を通してオホーツク海に移動することが示唆される。この経路はこれまでの想定（新谷, 1967; Araya, 1976）と一致する。7月の水温が選ばれたことと、説明変数の選択において8月の水温も上位モデルに含まれたことから、太平洋からオホーツク海へ移動するスルメイカがこの期間の北方四島の太平洋側の水温環境にさらされていた可能性が高い。したがって、本種は7-8月に北方四島の太平洋側に分布し、同じ時期またはその後にはオホーツク海へ移動したと推察される。

本研究の予測モデルの応答変数には定置網類の漁獲量を用いた。定置網類の漁獲量は、全体の約7割を占め、代表性が高い。また、一般に定置網類は他の漁法に比べて漁獲努力量が安定していると考えられる。北部根室海峡における定置網の統数は、1995年にそれまでの36ヶ統から34ヶ統に、1994年に33ヶ統に減少したが（羅臼漁業協同組合, 1999）、2011年でも33ヶ統のままである（坂口, 2014）。知床半島以西における底建網の詳細な統数データは得られていないが、オホーツク海の水温環境の季節変化によって北海道沿岸に寄せ集められたスルメイカがこの海域で漁獲される（坂口, 2014）ことから、この海域の定置網類の漁獲量はこの海域への来遊量を強く反映している可能性が高い。したがって、本研究の予測モデルは、いか釣りなど定置網類以外の漁業を対象にした来遊量予測としても活用が期待できる。

作成した予測モデルがおおむね上手く実際の漁獲量を予測できたことから、北海道オホーツク海沿岸に来遊するスルメイカの主群は太平洋を北上した群であり、それらの群は夏の北方四島周辺の太平洋側の表面水温が高いほど、国後水道などの海峡を通過してオホーツク海に入りやすいと考えられる。

予測モデルを作成する過程で、1996年のデータを異常値として排除した。参考のため、Fig. 9に1996年のデータを含めた予測モデルの予測値と実際の漁獲量のプロットおよび回帰式を示した。1996年は、予測値が4万トンを超えるのに対し、実際の漁獲量は3万トンを下回った。この回帰式は、1996年を除いたモデルの回帰式よりも、傾きが0.72と緩やかに、切片が3.50と大きくなった。したがって、このモデルで予測した漁獲量は、実際の漁獲量の多い年で

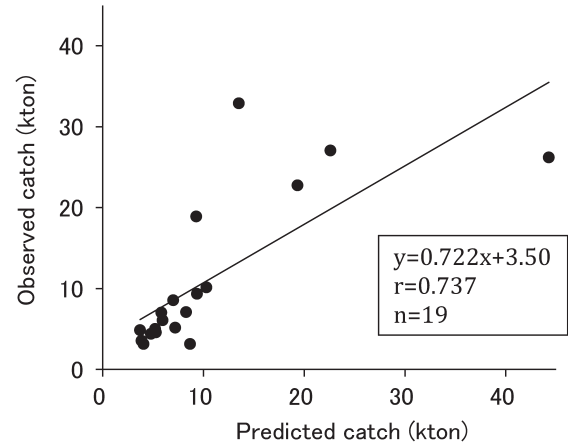


Figure 9. Relationship between observed catches of the squid by set nets and predicted catches by the model in Table 2.

実際の漁獲量より過小に、実際の漁獲量が少ない年で過大に予測されやすいと考えられる。

1996年の説明変数は、分布量情報のCPUEが2つとも1993-2011年間で最高値、水温情報が最低値という極端な年であった（Fig. 5）。これらの説明変数を見る限り、1996年のスルメイカは、道東太平洋までの来遊量は多かったが、太平洋からオホーツク海への移動量は少なかったと推察される。1996年のスルメイカは、6月の道東太平洋南方において表面水温が例年よりも低い8-10°C台で多く分布していたため（水産庁北海道区水産研究所, 2000）、何らかの理由により低水温にもかかわらず道東太平洋まで多く北上してきたものの、さらにオホーツク海には多く移動できなかったのかもしれない。また、本研究の予測モデルは応答変数が大きくなるほどばらつきが大きくなる構造であるうえ、応答変数の漁獲量がおよそ2万トンを超える豊漁年のデータは5個のみと少ない。このため、1996年のデータは当てはまりが悪い上にモデルへの影響が大きくなったと考えられる。

本研究のデータ数では1996年のデータを除いた方が、新しい年を予測する上で適切と考えられるが、将来的に豊漁年のデータが増えれば、1996年のデータのモデルへの影響も相対的に小さくなり、この年のデータを加えることで豊漁年の予測精度が向上する可能性がある。

1995, 1998, 2002, 2007, 2011年の5年の実際の漁獲量も、予測モデルの95%信頼区間から外れた（Fig. 6）。外れた個別の理由は不明であり、今後の課題として残された。この予測モデルの実用上、その精度の限界を理解しておくことは重要である。

レトロスペクティブ解析の結果、極端に過大推定された1996年の予測値を除けば、検証モデルは予測モデルと同程度の精度での予測が可能であった（Fig. 8）。この予測精度が漁業者をはじめとする漁業関係者の効率的な経営に貢



献できるレベルに達したかどうかを、今後、現場で検証していく必要がある。また、モデル形式の改良や新しい説明変数の導入によってさらに精度が向上する可能性があるため、検討の継続が重要である。

## 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、貴重なご意見をいただいた釧路水産試験場の佐藤充氏および中央水産試験場の志田博士をはじめとする方々にお礼申し上げる。データの収集に協力いただいた釧路水産試験場の所属試験調査船北辰丸および水産総合研究センター北海道区水産研究所の所属試験調査船探海丸の船長はじめ船員に感謝する。本研究の一部は水産庁委託「我が国周辺水域資源評価等推進事業」の一環として行われた。

## 引用文献

- 新谷久男 (1967) 「水産研究叢書 16 スルメイカの資源」, 日本水産資源保護協会, 東京, 60 pp.
- Araya, H. (1976) Migration and fishing ground of winter subpopulation of the squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, in the northern waters of Japan. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., **41**, 119–129.
- 新谷久男・川崎正和 (1962) 秋における北海道オホーツク海沿岸のスルメイカの移動について. 北水研報, **25**, 11–19.
- 新谷久男・村田 守 (1972) オホーツク海域におけるスルメイカの分布と回遊. スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究, 農林水産技術会議事務局, 107–114.
- 伊東祐方 (1972) 総括 スルメイカの漁業, 生活史および資源の現状の概要. スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究, 農林水産技術会議事務局, 4–9.
- 加賀俊樹・山下紀生・中東明佳・中神正康・巢山 哲 (2013) 北西太平洋における2001~20012年6~7月のサンマ漁期前調査で採集されたスルメイカの水平分布. スルメイカ資源評価協議会報告 (平成24年度), 日本海区水産研究所, 15–17.
- 木所英昭 (2009) 気候変化に対するスルメイカの日本海での分布回遊と資源量変動に関する研究. 水研センター研報, **27**, 95–189.
- 木所英明・後藤常夫・高原英生 (2014) 平成25年度スルメイカ秋季発生系群の資源評価. 平成25年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊, 水産庁・水産総合研究センター, 613–647.
- 木所英昭・和田洋蔵・四方崇文・佐野勝雄・氏 良介 (1999) 平

- 衡石の日周輪解析をもとにした1996年の日本海におけるスルメイカの成長. 日水研報, **49**, 129–135.
- 森 賢・中村好和 (2001) 標識放流から推定したスルメイカ太平洋系群の回遊経路. 北水研報告, **65**, 21–43.
- 村田 守・新谷久男 (1970) 北海道北東海域におけるスルメイカの生態学的研究 (1968). 北水研報告, **36**, 1–17.
- 中村好和・森 賢 (1998) 1996年の道東・南部千島太平洋並びにオホーツク海でのスルメイカとアカイカの分布と回遊. 北水研報告, **62**, 63–82.
- 羅臼漁業協同組合 (1999) 「羅臼漁業協同組合五十年史」. (株) 水産北海道協会, 札幌, 1109 pp.
- R Development Core Team (2005) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Rosa, A. L., J. Yamamoto and Y. Sakurai (2011) Effects of environmental variability on the spawning areas, catch, and recruitment of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae), from the 1970s to the 2000s. ICES J. Mar. Sci., **68**, 1114–1121.
- 坂口健司 (2010) 北海道周辺海域で標識放流されたスルメイカの移動. 北水試研報, **77**, 45–72.
- 坂口健司 (2014) 北部根室海峡におけるスルメイカの漁獲と水温環境. 水産海洋研究, **78**, 28–35.
- 坂口健司・佐藤 充・三橋正基・木所英昭 (2009) 北海道周辺海域におけるスルメイカの日齢と発生時期. 日水誌, **75**, 204–212.
- 坂口健司・澤村正幸 (2009) 1981–2007年の北海道南部から東部海域におけるスルメイカの漁獲について. スルメイカ資源評価協議会報告 (平成20年度), 日本海区水産研究所, 22–31.
- Sakurai, Y., H. Kiyofuji, S. Saitoh, T. Goto and Y. Hiyama (2000) Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. ICES J. Mar. Sci., **57**, 24–30.
- 佐藤 充・三橋正基 (2013) イカ類. 平成24年度道総研釧路水産試験場事業報告書, 釧路水産試験場, 59–67.
- 菅原美和子・山下紀生・坂口健司・佐藤 充・澤村正幸・安江尚孝・森 賢・福若雅章 (2013) 太平洋を回遊するスルメイカ冬季発生系群の成長に及ぼす孵化時期と性差の影響. 日水誌, **79**, 823–831.
- 水産庁北海道区水産研究所 (2000) 「1995~2000年太平洋イカ漁場一斉調査資料」. 229 pp.
- 山下紀生・加賀敏樹・佐々木 系 (2014) 平成25年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価. 平成25年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊, 水産庁・水産総合研究センター, 579–612.