

計量魚群探知機による浮魚類の種判別

小澤 竜太・海老沢 良忠

Identification of pelagic fish species with acoustic data collected by quantitative echosounder

Ryuta OZAWA・Yositada EBISAWA

キーワード：計量魚探，イワシ，サバ

目 的

マイワシ，カタクチイワシ，サバ類等の浮魚類は茨城県の基幹漁業である大中型まき網漁業の主要な漁獲対象種であり，これらの資源量推定や漁況予測は茨城県水産試験場の重要な研究課題の一つである。現在これらの研究には漁業情報が主体的に用いられているが，より高精度な推定や予測を行うためには，漁業から独立した情報が必要となる。このことから，茨城県水産試験場では漁業調査指導船「いばらき丸」に搭載した計量魚群探知機（以下，計量魚探）を用いて浮魚類の来遊動向を直接的に評価するための技術開発に取り組んでいる。

著者は，2005～2007年に計量魚探により収集したエコーデータをもとに，常磐南部～房総海域における浮魚類の分布推定を試み，計量魚探の有用性を確認する一方で，より効率的で的確な魚種判別方法を検討する必要性を述べた（小澤2010）。

計量魚探は，広範囲な魚群の分布状態を定量的に把握するのに適した測器であるが，複数魚種が混在する海域で用いる際には魚群の構成魚種を効率的かつ正確に判別することが課題となる。永島ら（2008）は，春季の仙台湾周辺海域に分布するイカナゴとツノナシオキアミについて計量魚探のデータを用いた統計的な種判別が可能であることを確認し，さらに，永島（2008）は，その手法が浮魚類についても適用できることを報告している。

本研究は，主に常磐～房総海域において収集したエコーデータに基づき，浮魚類の魚種別特性を観察するとともに，この特性を用いて統計的に魚種を判別する手法を検討することを目的として実施した。

資料と方法

エコーデータは「いばらき丸（179ト）」に搭載したEK60（Simrad社製，周波数38kHz・120kHz）により収集した。

魚種確認は船上からのサビキ釣りにより行った。2005年4月から2010年9月までに三陸～房総海域において確認した魚群のうち，日中にカタクチイワシとサバ類がそれぞれ単独で釣獲された109の魚群を解析対象とした（表1）。計量魚探以外の音響機器の雑音が含まれるエコーデータも一部解析に用いた。解析ソフト（Myriax社製，Echoview4.7）を用いて，魚群の平均ターゲットストレングス（以下，平均TS），平均体積後方散乱強度（以下，平均Sv），上端水深，下端水深，水平長，最大垂直長（下端水深－上端水深），平均垂直長を抽出し，これに魚群確認地点の表面水温を加えた8要素について魚種毎の特性を観察するとともに，これらを説明変数に用いた判別分析を行い，種判別の有効性を検証した。全ての要素の抽出はSvのスレッシュホールドを-70dBに設定して行った。体長からTSへの換算は次式（古澤1990）により行った。

$$TS = TS_{cm} + 20 \log L$$

ここで，TS_{cm}：体長（cm）の2乗で規準化したTS

L：体長（cm）

表1 2005年4月から2010年9月までに確認した魚群

魚種数	釣獲魚種 魚種名	釣獲地点数	
		日中	夜間
1	カタクチイワシ	57 [※]	9
	サバ類	52 [※]	5
	マアジ	2	
	イナダ（ブリ）	1	
	サンマ	1	
	ハダカイワシ類		1
2	カタクチイワシ・サバ類	7	1
	カタクチイワシ・マイワシ	1	
	カタクチイワシ・ウルメイワシ	1	
	カタクチイワシ・ハダカイワシ類	1	
3	サバ類・マアジ	1	
	カタクチイワシ・サバ類・マイワシ	2	
	サバ類・マアジ・マイワシ	1	
	計	127	16

※ 解析対象

TS_{cm}は、サバ類については安部ら（2010）の-69.3dB（38kHz）、-70.7dB（120kHz）を用い、カタクチイワシについては甘糟ら（2010）の-64.0dB（38kHz）、-63.9dB（120kHz）を用いた。カタクチイワシについては分布水深による補正は行わなかった。

結 果

（1）魚群の分布特性

カタクチイワシおよびサバ類の魚群が分布していた上端水深、下端水深、水平長、最大垂直長、平均垂直長、表面水温を図1に示す。各要素についてマン-ホイットニー検定により魚種間での分布の差を検証した結果、上端水深、下端水深、平均垂直長の分布では1%水準、水平長、最大垂直長の分布では5%水準で有意な差が認められたが、表面水温の分布からは有意な差は検出されなかった。

（2）魚群の音響特性

平均TSの魚種別分布を図2に、平均S_vの魚種別分布を図3に示す。マン-ホイットニー検定により周波数・パルス長毎に魚種間での分布の差を検証した結果、平均TSについては、周波数38kHz・パルス長1.024ms、周波数120kHz・パルス長0.256msでは1%水準、周波数120kHz・パルス長0.512msでは5%水準で有意な差が認められたが、周波数38kHz・パルス長0.512msでは有意な差は認められなかった。一方、平均S_vについては、全ての周波数・パルス長において有意な差は認められなかった。

魚群から検出された平均TSと釣獲物の平均体長から推定したTSとの関係を図4、5に示す。これらの間に

は有意な相関は認められなかった。

次に、38kHzと120kHzの周波数で計測した平均TSの関係を図6に示す。平均TSは同じパルス長を用いた場合には両周波数の間で近い値を示すが、異なるパルス長を用いた場合には長いパルス長を用いた周波数の方が大きめとなる傾向が見られた。

38kHzと120kHzの周波数で計測した平均S_vの関係を図7に示す。平均TSとは異なり、平均S_vはパルス長とは関係なく両周波数の間で近い値を示した。

（3）判別分析

魚群の上端水深、下端水深、水平長、最大垂直長（下端水深-上端水深）、平均垂直長、平均TS（38kHz、1.024ms）、平均S_v（38kHz、1.024ms）ならびに分布地点の表面水温の8要素を説明変数に用いたマハラノビスの汎距離（以下、汎距離）による判別分析を行った。

汎距離は、判別対象となる群（以下、グループ）が正規母集団と仮定した上で、グループ間の分散の差や相関を加味したグループの重心と標本値との修正距離で、次式により求められる。

$$D_k^2 = (X - \mu_k) \Sigma_k^{-1} (X - \mu_k)$$

ここで、 D_k^2 : kグループとXとの汎距離

X : 標本値ベクトル

μ_k : kグループの母平均ベクトル

Σ_k^{-1} : kグループの分散共分散行列の逆行列

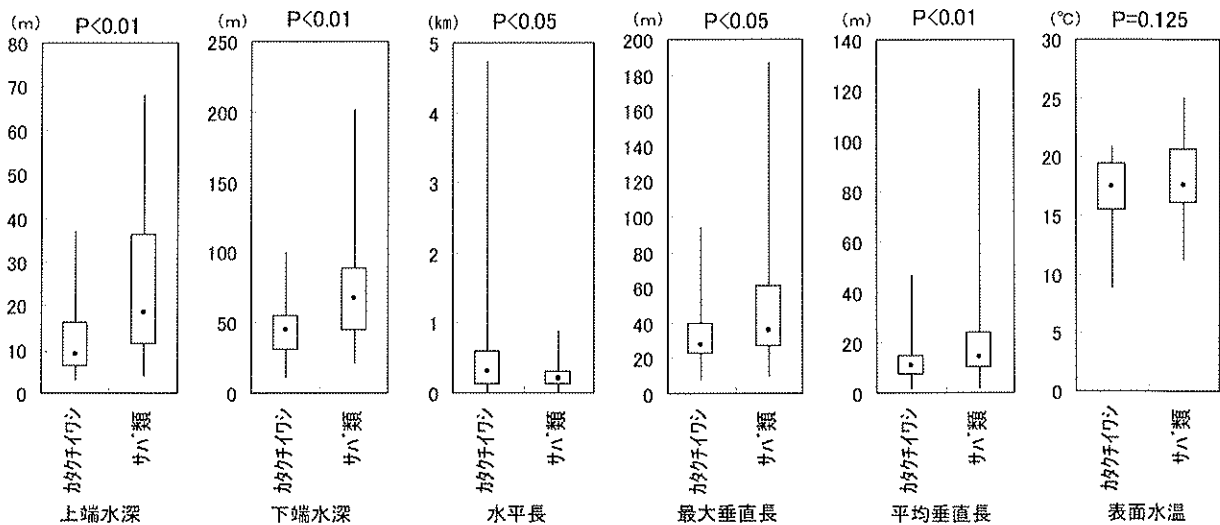


図1 魚群の分布水深・水平長・垂直長と分布地点の表面水温の分布

[点:中央値 箱:第1、第3四分位値 線:最小値、最大値]

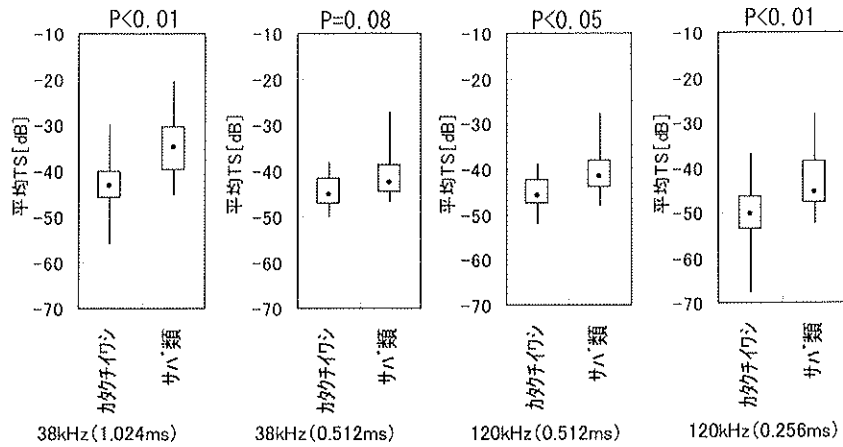


図2 平均TSの周波数・パルス長・魚種別分布
 [点:中央値 箱:第1、第3四分位値 線:最小値、最大値]

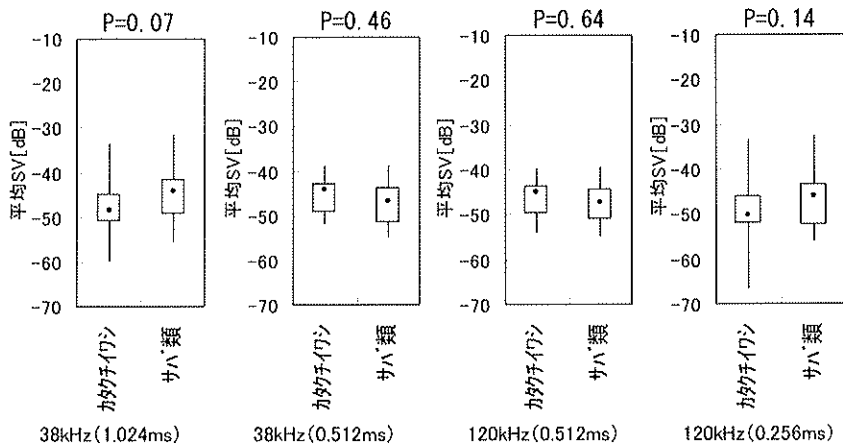


図3 平均SVの周波数・パルス長・魚種別分布
 [点:中央値 箱:第1、第3四分位値 線:最小値、最大値]

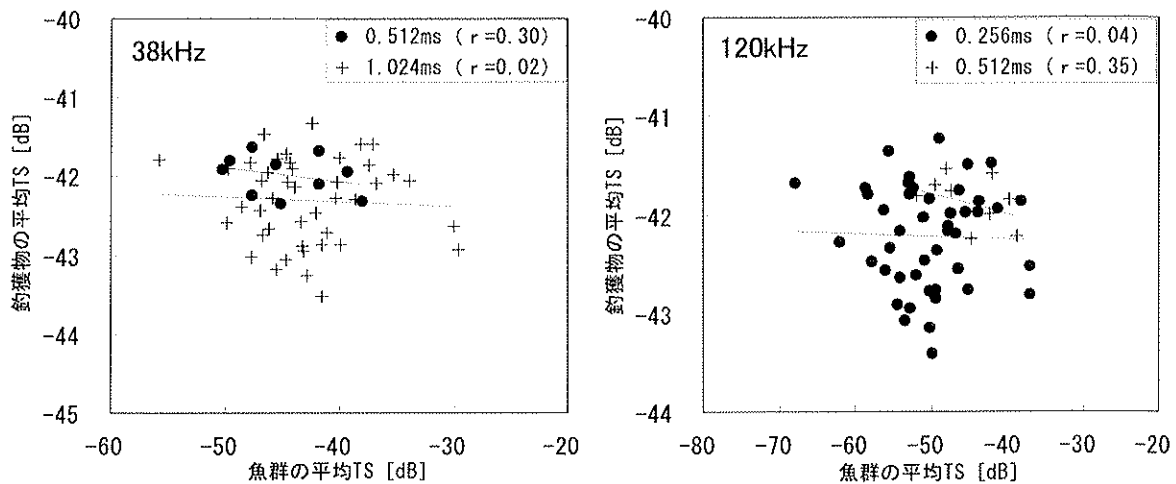


図4 魚群から計測された平均TSと釣獲物の平均体長から推定したTSとの関係 [カタクチイワシ]

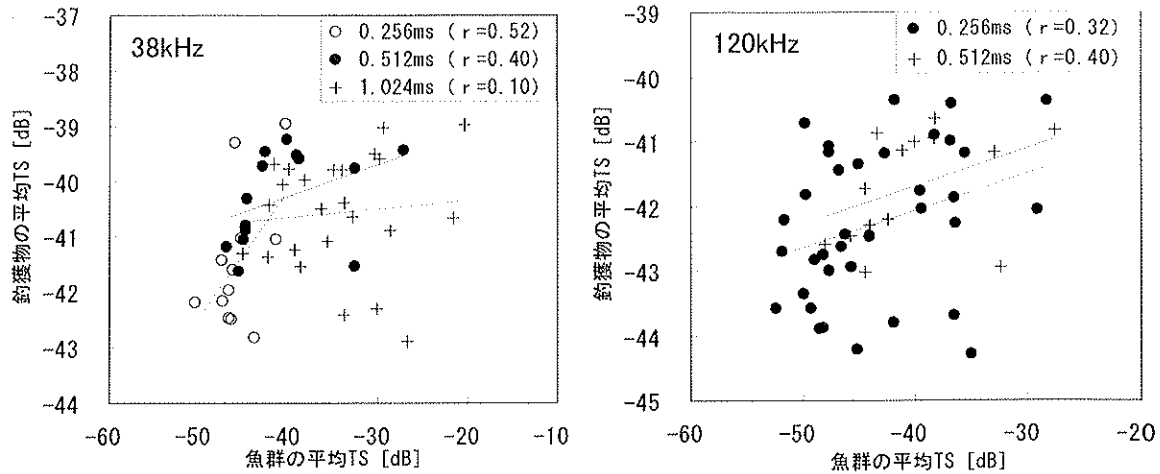


図5 魚群から計測された平均TSと釣獲物の平均体長から推定したTSとの関係 [サバ類]

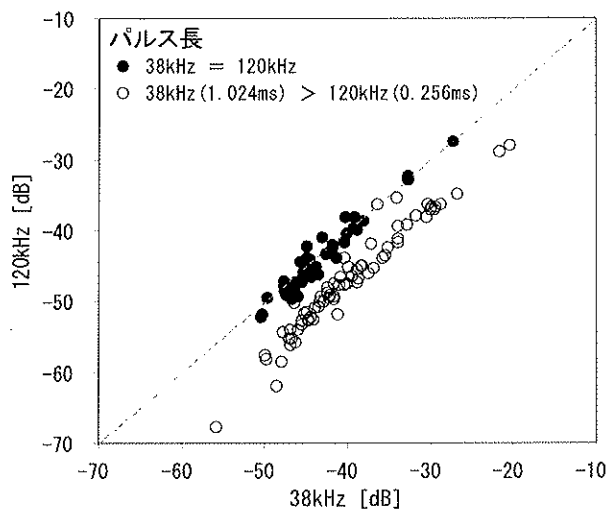


図6 異なる周波数により計測した平均TSの関係

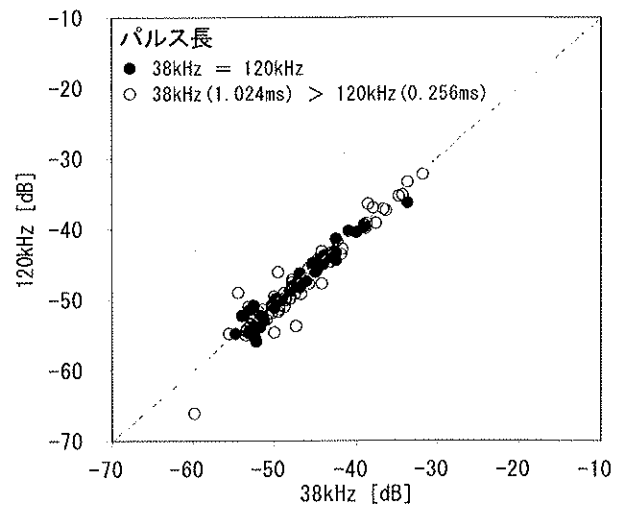


図7 異なる周波数により計測した平均Svの関係

汎距離が相対的に小さいグループほどそのデータが属する確率が高いことを意味する。よって、新たな標本値を判別する際には、汎距離が小さい方のグループに割り付けるという判別規則となる。さらに、汎距離は近似的に自由度 p (変数の数) の χ^2 分布に従うとされており、この確率に基づいて判別を保留することもできる。

なお、本分析に用いた8変数のうち、平均TSと平均Sv以外の6変数についてはデータの分布が正規分布に従うとみなせなかった ($\alpha=0.05$) ことから、常用対数をとって正規分布に近似させた上で分析に用いた。

表2に8要素を全ての組み合わせで説明変数に用いた判別分析結果のうち、正判別率(正しく判別されたデータ数/全データ数)の1~40位と最下位を示す。正判別率の範囲は90.1~53.5%で、危険率5%で判別保留域を

設けた場合は87.3~53.5%であった。正判別率は、説明変数として魚群の上端水深以外の7要素を用いた場合に最も高く、最大垂直長と表面水温の2要素を用いた場合に最も低かった。正判別率が最も高かった判別結果は表3のとおりで、判別保留の2データについては、相対的にはカタクチワシと判別されるものの、カタクチワシグループからの汎距離が危険率5%、自由度7の χ^2 値を超えたものである。

次に、表3の判別の様子を視覚化した判別得点((サバ類グループとの汎距離-カタクチワシグループとの汎距離)/2)の分布を図8に示す。この図から、両グループの分布が比較的明瞭に分かれていることや、相対的にサバ類グループがカタクチワシグループ寄りに分布していることが確認できる。

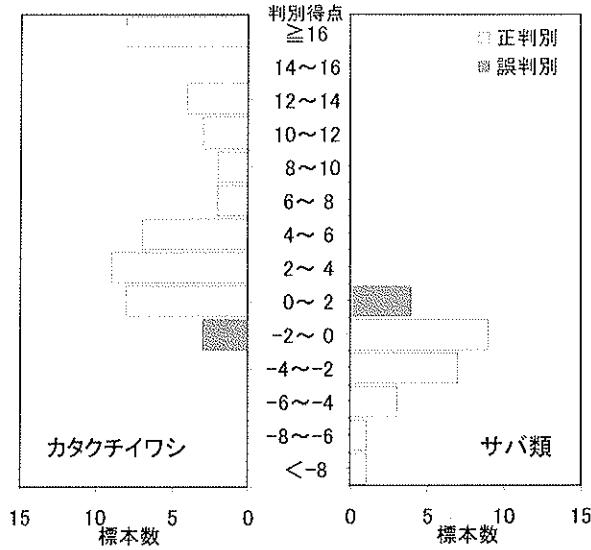


図8 マハラノビスの汎距離による判別得点の分布
[説明変数は上端水深以外の7要素]

判別得点を求めるための式は、グループ間で分散が異なる場合には2次式となるが、グループ間で分散が等しい場合には1次式で表すことができ、次式により求められる統計量Fの大きさにより各係数の有用性、すなわち各要素の判別への寄与度を推し量ることができる。

$$F = \frac{(n_A + n_B - p - 1) n_A n_B (D_p^2 - D_{p-1}^2)}{(n_A + n_B) (n_A + n_B - 2) + n_A n_B D_{p-1}^2}$$

ここで、 $n_{A(B)}$: A (B) グループの標本数
 D_p^2 : p 個の変数を用いた2グループ間の汎距離
 D_{p-1}^2 : p 個の変数から特定の1変数を除いた場合の2グループ間の汎距離

説明変数に用いた各要素が判別にどの程度寄与しているかを確かめるため、1次式で表せる判別式について上式により求めたF値を表4に示す。平均TSを変数に用いた式においてはこれを除いた場合のF値が最も大きく、平均TSを変数に用いていない式においては平均S_vもしくは分布水深や垂直長を除いた場合のF値が相対的に大きい傾向が認められた。

考 察

(1) 魚群の分布特性

魚群の分布水深、水平長、垂直長に認められた差から

表4 1次判別関数の1変数を除いた場合のF値

説明変数									正判別率 (%)
水深 (上端)	水深 (下端)	水平長	垂直長 (最大)	垂直長 (平均)	平均 TS	平均 S _v	表面水温		
1.4	0.0	1.7	0.3	0.4	—	4.7	1.9	84.5	
1.8	1.0	1.6	—	0.6	—	4.7	1.8	81.7	
8.4	—	1.1	—	12.2	—	3.7	2.1	81.7	
1.8	—	1.2	—	4.1	6.5	—	2.3	81.7	
—	—	1.2	—	3.7	12.6	—	1.6	81.7	
7.9	—	5.7	9.3	—	—	—	2.0	81.7	
9.1	—	2.3	13.3	—	—	6.5	1.9	80.3	
—	0.9	1.7	0.0	0.1	8.3	—	1.8	80.3	
—	1.7	1.9	—	0.1	10.3	—	1.9	80.3	
1.2	12.7	1.9	—	—	—	6.7	1.7	80.3	
—	7.6	2.1	0.4	—	—	7.0	1.4	80.3	
1.3	0.0	2.2	0.5	—	—	6.2	1.8	80.3	
—	—	2.0	4.5	—	16.1	—	1.5	80.3	
—	0.9	1.9	0.0	—	10.3	—	1.8	80.3	
1.0	0.0	2.0	0.2	0.3	—	5.0	—	80.3	

※・周波数38kHz, パルス長1.024msで収集したデータを用いた。
 ・正判別率の1~15位を示した。

は、カタクチイワシはサバ類に比べて、浅い水深帯に水平方向に広く垂直方向に薄く分布する傾向があるといえる。なお、この特徴は藤野 (2010) や小澤 (2010) とほぼ一致する。

表面水温については魚種間での差は認められなかった。しかし、大中型まき網漁業の魚種別漁場水温が季節毎で変動している (海老沢2010) ことから、浮魚類の分布と水温環境との関係については、十分なデータ数が確保できれば季節毎に検討をすることが望ましい。

(2) 魚群の音響特性

平均TSの分布については、魚種間での差が概ね認められ、カタクチイワシがサバ類に比べて小さめの値を示す傾向がみられた。これは魚群から検出された平均TSが魚群を構成している魚体の相対的な大きさを判断するための指標となることを示唆している。

また、平均S_vの分布に魚種間での差が認められなかったこととを併せると、カタクチイワシがサバ類に比べて高い密度で分布していることが推察される。

一方、魚群から検出された平均TSは釣獲物の平均体長から推定したTSと相関関係が認められなかったことから、本研究で用いた平均TSが魚体の相対的な大きさを推定する指標にはなっても、絶対的な体長を推定する指標にはなり得ないことが示唆された。この原因としては、まず本研究で用いたTSの単体検出が不十分であったことが大きく影響していると考えられる。つまり、図6でみられた現象は、パルス長が長いほど距離分解能が低下し、群体エコーが単体エコーとして誤って検出され

た可能性(澤田2002)を示すもので、これは本研究に用いたTSの単体検出が不十分であることを示唆している。その他、釣獲物の体長が魚群内の魚の体長を代表できていないこと、魚群内の魚体の姿勢にばらつきがあること、他音響機器の雑音等が原因となっている可能性も考えられる。

(3) 判別分析

本研究では109のエコーデータのうち、平均TS、平均S_vを周波数38kHz、パルス長1.024msで収集した71のエコーデータを用いて判別分析を行った。この結果、判別に用いる要素によっては90%前後と比較的高い正判別率が得られた。さらに、判別得点の分布をもとにカタクチイワシおよびサバ類の分布特性や音響特性が集約された差異を視覚的に確かめることもできた。以上のことから、これら2魚種については計量魚探により観測されたエコーデータによる統計的な種判別が有効であると評価することができる。

各要素の判別への寄与度については、1次判別関数における変数の有用性の検定結果から、平均TSが最も大きく、次いで平均S_v、下端水深、垂直長の寄与が大きいと判断できる。この結果は、イカナゴとツノナシオキアミの判別にあたり、魚群の分布環境、分布水深、形状に関する変数の役割が大きき、音響エネルギーに関する変数の役割が最も小さいとする永島ら(2008)の結果とは異なる。なお、正判別率の高い2次判別関数には、変数に水平長や表面水温が用いられているものが多いことから、これらは他の要素より判別への寄与は相対的に低いものの、正判別率の向上には必要な要素であると評価することもできる。

本研究で判別の対象としたのはカタクチイワシとサバ類の2種のみであるが、実際の対象海域においては多種の魚類が混在する。汎距離による判別は3グループ以上でも可能であることから、近年資源動向が上向きつつあるマイワシ等、他の魚種についてもエコーデータが蓄積され次第判別関数に追加をすることにより適用性の拡張と精度の向上を図ることが必要である。

要 約

(1) 2005年4月から2010年9月までに三陸～房総海域において収集したカタクチイワシとサバ類のエコーデータから魚群の上端水深、下端水深、水平長、最大垂直長、平均垂直長、平均TS、平均S_vならびに分布地点の表面水温の8要素を抽出し、魚種毎の特性を観察するとともに、これらの要素を用いた統計的な種判別手法を検討した。

(2) 魚群の分布特性については、水深、水平長、垂直長に魚種間の差が認められ、カタクチイワシはサバ類と比べて浅い水深帯に、水平方向に広く、垂直方向に薄く分布する傾向が確認されたが、表面水温には魚種間の差は認められなかった。

(3) 魚群の音響特性については、平均TSに魚種間の有意な差が認められ、カタクチイワシがサバ類に比べて値が小さい傾向が確認されたが、魚群から検出された平均TSと釣獲物の平均体長から推定したTSとの間には有意な相関関係は認められなかった。

(4) 8要素を全ての組み合わせで説明変数に用いたマハラノビスの汎距離による判別分析を行った結果、正判別率は90.1～53.5%で、危険率5%で判別保留域を設けた場合でも87.3～53.5%であり、比較的高い精度で種判別できることが確認された。

(5) 要素の判別への寄与度については、平均TSが最も大きく、次いで平均S_v、下端水深、垂直長が大きいと推定された。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、いばらき丸の永井芳典船長をはじめ乗組員の方々には、データの収集に際し、多大なるご協力をいただいた。また、水産工学研究所安部幸樹博士、宮城県水産研究開発センター(当時)永島宏氏には貴重なご助言をいただいた。これらの方々に対して深く感謝申し上げる。

なお、本研究は主に国庫補助事業「特別電源所在県科学技術振興事業」により収集したデータを用いて実施した。

文 献

- 安部幸樹, 小澤竜太, 石井憲 (2010) サバ類のターゲットストレングス測定, 平成22年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 191.
- 甘糟和男, 貞安一廣, 安部幸樹, 高尾芳三, 澤田浩一, 石井憲 (2010) カタクチイワシ (*Engraulis japonicus*) の鰭形状およびターゲットストレングスと体長の関係, 海洋音響学会誌, 37(1), 46-59.
- 海老沢良忠 (2010) 房総～東北海域における大中型まき網漁場表面水温と漁場形成との関係について, 平成21年度東北ブロック水産海洋連絡会報, 40, 14-20.
- 藤野忠敬, 川端淳, 木所英昭 (2010) エコーグラム図鑑—日本周辺で計量魚群探知機により観察される生物種別エコーグラム—, 日本海区水産研究所, 新潟, 1-

216.

古澤昌彦（1990）水産資源推定のための超音波による魚群探知に関する研究，水工研報，11，173-249.

永島宏，村瀬弘人，米崎史郎，松倉隆一，南憲吏，永木利幸，川原重幸，宮下和士（2008）仙台湾周辺における計量魚探を用いた鯨類餌生物の種判別，宮城水産研報，8，15-25.

永島宏（2008）宮城県における漁況情報提供業務，平成19年度北海道音響資源調査研究情報交換および日本海スケトウダラ調査報告会要旨集，7-8.

小澤竜太（2010）計量魚群探知機を用いた常磐～房総海域における浮魚類の分布推定，茨城水試研報，41，35-49.

澤田浩一（2002）魚のターゲットストレングスの高精度推定に関する研究，水研センター研報，2，47-122.