



Title	まき網漁業漁獲統計資料による資源量推定法
Author(s)	松石, 隆
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 44(3), 116-126
Issue Date	1993-08
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/24117">http://hdl.handle.net/2115/24117</a>
Type	bulletin (article)
File Information	44(3)_P116-126.pdf



[Instructions for use](#)

まき網漁業漁獲統計資料による資源量推定法

松石 隆\*

An Estimation Method of Population Abundance using  
Purse Seine Fishery Catch-Effort Data

Takashi MATSUSHI\*

Abstract

The catch per shot (CPUE) is often used as a population index, not only for demersal fish but also pelagic fish. However, this only represents the weight of the school in purse seine fishery, because one school is caught in one shot. Because there is no direct relationship between the weight of a school and its population abundance, CPUE can not be used as an index of the population abundance in purse seine fishery. When searching time data for schools is available, the number of schools can be estimated from this data. From the estimate of school number and weight of school (CPUE), the population abundance can be estimated as the product of both estimates. A method to estimate the population abundance from these data was proposed, and was applied to the purse seine fishery data in the Southeastern Hokkaido region. From the results of such an estimation, a strong correlation was found between the weight of a school and the number of schools. The possibility of school selection in relation to the population density is suggested.

緒 言

マイワシ・マサバ・サンマ等の多獲性浮魚類の漁獲量は大規模で長期的に変動する。たとえば、マイワシでは1965年から1970年の漁獲量に比べて、1985年から1990年の漁獲量は約100倍にも達する。漁獲量の変化が資源量の変化を忠実に反映しているとは言えないが、資源量もこれに匹敵する大きな変動をしていると思われる。変動の原因について、さまざまな議論がなされてきたが(Csirke, 1988; Kondo, 1986; Matsuda et al., 1991), どの説も資源量変動を完全に説明するには至っていない。おそらく多くの要因が複合的に影響しあって資源量の変動を起こしているのであろう。漁業者も消費者も、浮魚資源の安定供給を切望しており、浮魚類の変動機構の解明と的確な漁況予測が期待されている。特に、その基礎資料を得るために、広範囲にわたって資源量をモニターすることが重要である。

浮魚類の資源量のモニターの方法としては、主に卵稚仔量の調査と成魚の漁獲状況による資源量推定が行われている。卵稚仔量の調査は水産研究所・水産試験場等によって比較的広範囲で調査されている。しかし、成魚になるまでの間の生残や回遊経路等によっても漁況が影響されるので、漁況の概況は予測できても、漁期における漁場形成などの綿密な予測はできない。その点、漁獲状況の解析はきめ細かな情報を提供でき、また近年では漁業情報サービスセンター等により全

---

\* 北海道大学水産学部資源生物学講座  
(Laboratory of Biology of Fish Population, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

国のデータを集計して資源分布状況を速報する体制も整ってきており、今後、漁獲状況のデータからの資源量推定の重要性がさらに増してくると考える。

このように、浮魚の漁獲量や努力量は子細に報告されてきているにもかかわらず、浮魚の資源量推定法については詳しい検討が行われず、底魚類と同様に CPUE (1 投網あたり漁獲量) が資源量指数として用いられることが多い。しかし、CPUE が資源量に比例するためには、資源が漁場内にランダムに分布し、漁業もその漁場内でランダムに行われていることが必要である。しかし、浮魚は魚群をつくり、また漁船は魚群を探索してから漁獲するため、CPUE が資源量の指数になる条件は満たされていない。特に、集群性魚類を対象としたまき網漁業では、1 投網で 1 魚群を漁獲することが多い (和田, 1988; Duffy and Wissel, 1988) ため、CPUE は漁獲対象となる魚群の重量を示す指数でしかない。集群性魚類の魚群重量を決める要因については、例えば、捕食者から身を守ること (Brock and Riffenburgh, 1960; Treisman, 1975) や採餌の効率化 (Clark and Mangel, 1984; Duffy and Wissel, 1988) をはじめ、その種の特性や生息場所の環境を含むいろいろな要因が挙げられており、資源量と魚群重量すなわち CPUE との関係は明確ではない。

一部のまき網漁業では定時船間連絡の記録が残っており、これによって、魚群の探索にかかった時間を調べることができる。もし、探索した面積が探索時間に比例し、その中の魚群の一定の割合に対して投網が行われるならば、単位探索時間あたり投網回数が探索した面積内の魚群数に比例すると考えられる。また、漁船が漁場を広範囲にわたって探索しているならば、探索した面積内の魚群密度を漁場全体に引き延ばすことが可能である。これを用いれば、魚群重量と魚群密度の積として、より妥当な資源量が推定できると考えられる。

和田 (1988) および Wada and Matsumiya (1990) は、以上に述べたような考え方にに基づき、魚群重量の推定値  $u$  を

$$u = \frac{C}{s'} \quad (1)$$

とし、魚群数の指数を

$$\frac{s}{T_s}$$

とした。ここで  $C$  は漁獲量、 $s'$  は有漁投網回数、 $s$  は投網回数、 $T_s$  は探索時間である。

資源量指数は魚群数と魚群重量の積として計算され

$$u \frac{s}{T_s}$$

とした。この方法を以降「和田の方法」とよぶ。和田 (1988) では、資源量指数と資源量の比率を表す係数 (漁具能率)  $q$  を Matsumiya and Tanaka (1976) の方法を参考にして推定し、資源量  $P$  を

$$P = \frac{1}{q} u \frac{s}{T_s} \quad (2)$$

と推定した。

和田の方法は、漁獲や移入・移出による魚群数の変動を考慮しておらず、ある時点で漁場内にいる魚群数を推定している。従って、魚群数の変動が無視できる短い期間での探索時間と投網回数を用いて計算されるべきである。しかし、期間を短くするほどデータは少なくなるので推定値の精度も低下する。和田は旬 (10 日間か 11 日間) 単位で道東海域でのマイワシまき網漁業の投網回数と探索時間を集計し、資源量を推定している。その結果、漁獲率が 0.3 を越えることがあり、

漁獲による資源の減少を無視できない。この点で、さらに精度を向上させる余地が残されている。

そこで、本論文では和田の方法を改良して、まき網漁業で漁獲されるマイワシを想定し、漁獲統計として得られる漁獲量・投網回数に加え、魚群を探索した時間を用いて、まき網漁業対象魚種の漁獲統計資料に基づく資源量推定法を開発した。また、北海道区水産研究所の努力によって資料が整備されているマイワシまき網漁業の定時船間連絡のデータを用いて、北海道南東海域の資源量の推定を試みた。

## 方 法

まず、漁獲による魚群の減少を考える。集計する期間（例えば旬）の間、魚群数は漁獲だけによって減少し、移入・移出は無視できると仮定すると、漁場内の魚群数、有漁投網回数をそれぞれ探索時間  $T_s$  の関数  $N(T_s)$ 、 $s'(T_s)$  として、

$$\frac{dN(T_s)}{dT_s} = - \frac{ds'(T_s)}{dT_s} \quad (3)$$

と表すことができる。

探索時間あたり投網回数はその時点にいる魚群数と比例すると考えられ、

$$\frac{ds(T_s)}{dT_s} = aN(T_s) \quad (4)$$

となる。ここで  $a$  を探索効率とよび、一定と仮定する。

探索効率は、単位探索時間に発見・投網する魚群数の漁場全体の魚群数に占める割合を意味する。漁船が単位探索時間に探索した探索面積は漁船の速度と探索幅の積として計算されるので、探索効率は、

$$a = \frac{Wv}{A} \quad (5)$$

と表される (Mangel & Beder, 1985)。ここで  $W$  はソナーの探索幅、 $v$  は漁船の速さ、 $A$  は漁場の面積である。

投網した魚群の漁獲が成功する確率を  $b$  とおき、一定と仮定すると、投網回数  $s$  と有漁投網回数  $s'$  の関係は、

$$s' = bs \quad (6)$$

と表される。

式 (3)・(4)・(6) より

$$\frac{dN(T_s)}{dT_s} = - abN(T_s)$$

これを  $N$  について解き、

$$N(T_s) = N(0) e^{-abT_s}$$

となる。魚群数の減少は漁獲だけによって起こっていると仮定しているので、

$$\begin{aligned} s'(T_s) &= N(0) - N(T_s) \\ &= N(0) (1 - e^{-abT_s}) \end{aligned} \quad (7)$$

以上より、時刻 0 における魚群数は

$$N(0) = \frac{bs(T_s)}{(1 - e^{-abT_s})} \quad (8)$$

として表される。また、単位面積あたり魚群数（魚群密度） $\nu$ は

$$\nu = \frac{bs(T_s)}{A(1 - e^{-abT_s})} \quad (9)$$

と推定される。

資源量は、式 (1)・(8) の積として

$$P = uN(0) = \frac{C}{s'} \frac{bs}{(1 - e^{-abT_s})} \\ = \frac{C}{1 - e^{-abT_s}}$$

と推定される。また、単位面積あたり資源量（資源密度  $\rho$ ）は、

$$\rho = \frac{C}{A(1 - e^{-abT_s})} \quad (10)$$

と推定される。

## 適 用

**道東海域のマイワシまき網漁業** 上述の資源量推定法を、襟裳岬から根室半島にかけての北海道南東部海域（以下道東海域という）のマイワシまき網漁業のデータに適用する。ここでは、1974年頃から、当時最盛期であったマサバのまき網漁業にマイワシが混獲されるようになり、1976年には大半を占めるようになった。それ以降、急激に漁獲量が増加し、銚子以北のマイワシの年間漁獲量の1/2~1/3を占める重要な漁場となった。

道東海域では、操業は「統」単位に行われる。現在は24ヶ統が操業している。1ヶ統は、網船1隻、探索船1隻、運搬船2隻に制限されている。1ヶ統1日あたり600tの漁獲量制限が行われている。操業は毎年7月1日から10月31日までの4カ月の間で、釧路港を基地にして行われる。魚群の探索には探索船と網船に装備されているスキャニング・ソナーを用いる。投網は原則として昼間に限られる。

まき網漁業の操業手順は以下のとおりである。

i) 漁獲対象となる魚群を、探索船と網船に積んであるスキャニング・ソナーを用いて、船を走らせながら探索する。

ii) 魚群を発見したら、形状や動向を観察する。

iii) 漁獲できそうな魚群であれば網船より投網を開始する。網は長さ約1,200~1,300m、深さ約80mである。網の一方にはレッコボートとよばれる小型の船がついている。この船が魚群を一周して、魚群のまわりに網をめぐる。この作業中に、魚群が移動し漁獲に失敗することがある。成功すれば1魚群のほとんど全てを漁獲できるが、失敗するとほとんど何も漁獲できない。

iv) 漁獲に成功したら、網の底に通してあるワイヤーロープを引いて網の底を閉じ、網を巾着状にする。これによって網から外へマイワシは逃げられなくなる。最後に網を引き上げてマイワシを集め、運搬船に積載する。盛漁時には運搬船や漁獲物の受入れ側の都合により、漁獲してから運搬船に積載するまでに数時間待つことがあるが、この待ち時間を除けば、漁獲にかかる処理時間は漁獲量に関わらず2時間程度である。

データ 資料には、1976年から1984年までの漁期(7月1日~10月31日)のQRY(まき網船団定時船間連絡記録)をもとに投網時の操業位置・漁獲量等を記録した水産庁北海道区水産研究所の磁気媒体記録、および、QRYから探索時間だけを計数した和田(1988)のデータを用いた。

QRYは原則として操業した日の5時から21時まで1時間ごとに、船団の動向(魚群探索・投網・揚網・漁獲物の運搬船への積み込みなど)や投網位置・漁獲量などを漁船間で相互に連絡したものの記録である。

磁気媒体記録には、投網時の時刻・船・操業位置・漁獲量・表面水温・投網方向が入力されている。これをもとに、漁獲があった操業位置・投網回数・1投網あたり漁獲量を集計した。操業位置は緯度・経度10分単位に集計した。

和田(1988)では、QRYより探索時間を以下の基準で集計している。

- (a) 投網が05時から始まっている場合は、その前の1時間を探索時間とする。
- (b) 早朝、水揚げした港を出港して漁場に向かう場合は、出港後1時間(出港時間が05時30分等の場合は1.5時間)は漁場へ向かう航行時間として探索時間から除く。
- (c) (b)の場合、出港後1時間または1.5時間後に投網が行われた場合には、投網前1時間を探索時間とする。
- (d) 2回目以降の投網で、漁獲物の積み込みから直ちに次の投網に移っている場合には、投網前1時間を探索時間とする。
- (e) 探索中に停船している場合、停船時間が1時間以内の時には探索時間として扱う。探索時間は、この集計を用いた。

**探索効率** 道東海域では、魚群を探索するためにスキミング・ソナーが用いられている。ここで使用されている標準的なソナーの探索幅は、左右それぞれ0.4 km程度ずつである。通常、探索船と網船にソナーを持っているので、1ヶ統あたりの探索幅  $W$  は1.6 kmとした。

漁船の速さ  $v$  は、実際には変化が大きいと考えられるが、1990年の試験操業船の航跡図より10ノット(18.5 km/h)とした。

漁場の面積  $A$  は、漁獲があった地点を含む10分×10分の升目の面積(258 km<sup>2</sup>)の合計とした。実際には漁獲がなかった場合にも魚群がいる可能性があり、その場合は漁場の面積は過小に評価していることになる。また、10分×10分の升目の中でも魚群が集中している場所だけで漁獲している可能性があり、その場合は漁場の面積を過大に評価していることになる。

以上の値を式(5)に代入して探索効率を求めた。これらのパラメータは結果に大きな影響を及ぼすため、資源量の絶対値を推定する際にはより緻密な検討が必要であるが、ここでは手法の有効性を試すことを目的とし、また現時点では詳しい検討をするためのデータに乏しいため、とりあえず上記の値を使って概算値を得ることとした。また、漁獲がなかった場所での魚群の有無は、漁獲資料からは議論できない。そのため、漁場面積は漁獲があった場所の近辺に限り、漁場面積の誤評価の影響を避けるために、単位面積あたり資源量(資源密度)を推定することとした。

**魚群重量推定** 魚群重量は式(1)によって推定した。データは磁気媒体記録を用いた。推定は旬別に行った。この推定値が、その時期の一時点での漁場での魚群重量平均の推定値になる。また、旬別の推定値から、その月別・年別の推定値を求めた。

旬別魚群重量推定値  $\hat{u}_{ymj}$  は、

$$\hat{u}_{ymj} = \frac{C_{ymj}}{s'_{ymj}}$$

で与えた。ここで、 $y(y=1976, 1977, \dots, 1984)$  は年を、 $m(m=7, 8, 9, 10)$  は月を表す。 $j(j=1, 2, 3)$  は旬を表し、1は上旬(1日から10日)、2は中旬(11日から20日)、3は下旬(21日から末日)

とする。 $C_{ymj}$ はその旬の漁獲量、 $s'_{ymj}$ はその旬の有漁投網回数を表す。  
月別推定値は、

$$\hat{u}_{ym} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \hat{u}_{ymj}$$

で与えた。その分散は、

$$V(\hat{u}_{ym}) = \frac{\sum_{j=1}^3 [\hat{u}_{ymj} - \hat{u}_{ym}]^2}{3 \times 2}$$

とした。

年別推定値は、

$$\hat{u}_y = \frac{1}{4} \sum_{m=7}^{10} \hat{u}_{ym}$$

で与えた。その分散は、

$$V(\hat{u}_y) = \frac{1}{4 \times 4} \sum_{m=7}^{10} V(\hat{u}_{ym})$$

とした。

月別の集計結果を表1に、年別の集計結果を表2に示した。

推定の結果、魚群重量推定値は年平均で83~300tであった。年別推定値は1976年から1984年まで増加傾向にあり、最大値(300.9t, 1984年)と、最小値(83.3t, 1976年)の比は3.6倍と大きい。

**魚群密度推定** 魚群密度 $\nu$ は式(9)により求めた。投網回数 $s$ および漁獲成功率 $b$ は磁気媒体データにより旬ごとに求めた。漁場面積 $A$ は漁獲のあった10'×10'ます目の面積の合計とした。旬別の探索時間は和田(1988)を用いた。集計は魚群重量推定と同様に旬別・月別・年別に行い、月別・年別について分散を求めた。

旬別の推定値は、式(9)より

$$\hat{\nu}_{ymj} = \frac{b_{ymj} s_{ymj}}{A_{ymj} (1 - e^{-a_{ymj} b_{ymj} T_{s\ ymj}})}$$

とした。

月別の推定値は、

$$\hat{\nu}_{ym} = \sum_{j=1}^3 l_{ymj} \hat{\nu}_{ymj}$$

で与えた。ここで、 $l_{ymj}$ は、

$$l_{ymj} = \frac{T_{s\ ymj}}{\sum_{j=1}^3 T_{s\ ymj}}$$

である。この分散は、

$$V(\hat{\nu}_{ym}) = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \frac{l_{ymj}}{1 - l_{ymj}} [\hat{\nu}_{ymj} - \hat{\nu}_{ym}]^2$$

とした。

年別の推定値は、

Table 1. Estimated school weight  $u$ , school density  $\rho$ , and population density  $\nu$  by the month.

	Year	July	Aug.	Sep.	Oct.	Year	July	Aug.	Sep.	Oct.
$u$ [t]	<b>1976</b>	47.1	71.5	115.5	99.2	<b>1981</b>	118.6	170.4	192.6	237.7
(S.D.)		5.6	1.0	3.8	27.4		17.5	9.1	20.9	3.4
$\nu$ [/km <sup>2</sup> ]		0.0167	0.0243	0.0331	0.0224		0.0314	0.0351	0.0390	0.0308
(S.D.)		0.0044	0.0021	0.0033	0.0055		0.0029	0.0014	0.0043	0.0017
$\rho$ [t/km <sup>2</sup> ]		0.79	1.74	3.83	2.22		3.73	5.98	7.51	7.33
(S.D.)		0.23	0.15	0.41	0.83		0.65	0.40	1.16	0.41
$u$ [t]	<b>1977</b>	90.8	155.6	144.1	181.6	<b>1982</b>	215.5	197.8	187.9	206.5
(S.D.)		8.6	10.7	9.9	15.8		24.7	17.1	12.9	24.3
$\nu$ [/km <sup>2</sup> ]		0.0248	0.0268	0.0269	0.0244		0.0308	0.0335	0.0310	0.0338
(S.D.)		0.0019	0.0022	0.0011	0.0033		0.0021	0.0045	0.0025	0.0010
$\rho$ [t/km <sup>2</sup> ]		2.25	4.17	3.87	4.43		6.64	6.62	5.83	6.98
(S.D.)		0.28	0.45	0.31	0.72		0.89	1.05	0.62	0.85
$u$ [t]	<b>1978</b>	95.7	96.2	175.1	171.0	<b>1983</b>	222.0	300.9	248.2	267.1
(S.D.)		1.3	11.6	16.8	25.5		36.3	15.2	13.3	6.9
$\nu$ [/km <sup>2</sup> ]		0.0220	0.0309	0.0286	0.0270		0.0298	0.0406	0.0435	0.0446
(S.D.)		0.0015	0.0055	0.0030	0.0045		0.0038	0.0088	0.0035	0.0027
$\rho$ [t/km <sup>2</sup> ]		2.11	2.97	5.00	4.62		6.61	12.21	10.80	11.90
(S.D.)		0.15	0.65	0.71	1.04		1.37	2.73	1.04	0.78
$u$ [t]	<b>1979</b>	124.3	168.1	233.6	297.8	<b>1984</b>	285.4	229.6	355.7	333.0
(S.D.)		11.6	4.1	16.4	9.2		42.0	15.4	19.4	19.2
$\nu$ [/km <sup>2</sup> ]		0.0259	0.0299	0.0366	0.0386		0.0310	0.0340	0.0488	0.0417
(S.D.)		0.0006	0.0019	0.0036	0.0031		0.0036	0.0028	0.0093	0.0043
$\rho$ [t/km <sup>2</sup> ]		3.22	5.03	8.54	11.49		8.84	7.81	17.37	13.89
(S.D.)		0.31	0.35	1.03	0.99		1.66	0.83	3.45	1.64
$u$ [t]	<b>1980</b>	129.4	214.4	229.6	157.2					
(S.D.)		41.0	19.8	7.9	27.5					
$\nu$ [/km <sup>2</sup> ]		0.0288	0.0415	0.0271	0.0190					
(S.D.)		0.0022	0.0055	0.0047	0.0033					
$\rho$ [t/km <sup>2</sup> ]		3.73	8.89	6.22	2.99					
(S.D.)		1.22	1.44	1.10	0.75					

Table 2. Estimated school weight  $u$ , school density  $\rho$ , and population density  $\nu$  by the year.

Year	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
$u$ [t]	83.3	143.0	134.5	205.9	182.7	179.8	201.9	259.6	300.9
(S.D.)	7.1	5.8	8.2	5.6	13.4	7.2	10.2	10.5	13.1
$\nu$ [/km <sup>2</sup> ]	0.0241	0.0257	0.0271	0.0327	0.0291	0.0341	0.0323	0.0396	0.0389
(S.D.)	0.0020	0.0011	0.0020	0.0013	0.0021	0.0014	0.0014	0.0026	0.0028
$\rho$ [t/km <sup>2</sup> ]	2.01	3.68	3.65	6.74	5.31	6.13	6.52	10.28	11.70
(S.D.)	0.24	0.22	0.35	0.32	0.54	0.35	0.44	0.80	0.99



$$\hat{v}_y = \frac{1}{4} \sum_{m=7}^{10} \hat{v}_{ym}$$

とし、分散は、

$$V(\hat{v}_y) = \frac{1}{4 \times 4} \sum_{m=7}^{10} V(\hat{v}_{ym})$$

とした。

月別集計結果を表1に、また、年別集計結果を表2に示した。

魚群密度の推定値は0.024~0.040/km<sup>2</sup>(年平均)と推定された。年によって傾向は異なるが、月別の平均値が9月・10月に最大になることが多く(9ヶ年のうち7ヶ年)、7月に最大になった年はない。また、1982年以前は月内の変動は少ない(標準偏差年平均が0.0021以下)が、1983・84年には月内で大きな変動があった(0.0026および0.0028)。

魚群密度の年別推定値は1976年より1984年まで増加傾向が見られた。集計した年の中での最大値(0.0396, 1983年)と、最小値(0.0241, 1976年)の此は1.6倍程度で、魚群重量の最大・最小比(3.6倍)に比べて小さい。

**資源密度推定** 推定された魚群密度と魚群重量から資源密度を推定した。集計は旬別・月別・年別に行い、月別・年別推定値については分散を求めた。なお、月別・年別の推定値は、その期間の一時点での資源密度の平均値であり、その期間に単位面積に來遊した資源の資源量ではない。

旬別推定値  $\hat{\rho}_{ymj}$  は、

$$\hat{\rho}_{ymj} = \hat{u}_{ymj} \times \hat{v}_{ymj}$$

とした。これは式(10)に等しい。

月別推定値と分散は、

$$\begin{aligned} \hat{\rho}_{ym} &= \hat{u}_{ym} \times \hat{v}_{ym} \\ V(\hat{\rho}_{ym}) &= V(\hat{u}_{ym}) V(\hat{v}_{ym}) + \hat{u}_{ym}^2 V(\hat{v}_{ym}) + \hat{v}_{ym}^2 V(\hat{u}_{ym}) \end{aligned}$$

として求めた。

同様に、年別推定値と分散は、

$$\begin{aligned} \hat{\rho}_y &= \hat{u}_y \times \hat{v}_y \\ V(\hat{\rho}_y) &= V(\hat{u}_y) V(\hat{v}_y) + \hat{u}_y^2 V(\hat{v}_y) + \hat{v}_y^2 V(\hat{u}_y) \end{aligned}$$

として求めた。

月別の集計結果を表1に、年別の集計結果を表2に示した。

資源密度は魚群密度と魚群数の積として求めたので、魚群密度と魚群数に共通する傾向が表れる。月別推定値は、7月に最小になることが多く(9年中7年)、9月(9年中4年)・10月(9年中4年)に最大になることが多い。また、9月・10月は資源密度の分散が大きいことが多い。道東海域に回遊してくるマイワシは8月中の北上の際にいったん漁場を通過し、9月の中下旬から10月の中旬にかけての南下の際に再び漁場を通過すると言われている。魚群の通過し終わった9月初旬・10月下旬と、魚群が通過している9月中旬から10月中旬との間に大きな資源密度の差が生じ、9月・10月の分散が大きくなると考えられる。しかし、魚群の通過時期は年によって異なり、それに応じて9月・10月の魚群密度やその分散も異なる。

この資源密度推定値は、探索効率の推定などにおいて改善の余地はあるものの、おおむね資源の動向を反映していると考えられる。

考 察

**和田の方法と本法との比較** 本法は和田の方法の改良法である。和田の方法では、漁獲による魚群数の減少が無視できると仮定している。一方、本法では漁獲による魚群数の減少を考慮している。この両者間で推定値にどの程度の差が生じるかを検討してみる。

和田 (1988) では漁具能率を別途推定しているが、ここでは

$$q = ab$$

として、和田の方法・本法とも同じ値を用いる。どちらの方法とも同じ魚群重量推定値  $u$  を用いるので、魚群重量による推定値の差は生じない。そこで、同じ魚群数が漁場内に存在したときに、魚群の減少を無視する場合としない場合で投網回数にどの程度の差が生じるかを考えることにする。

和田の方法での投網回数を  $s_1$ 、本法での投網回数を  $s_2$  とする。式 (2) より

$$s_1 = qT_s N$$

式 (7) より

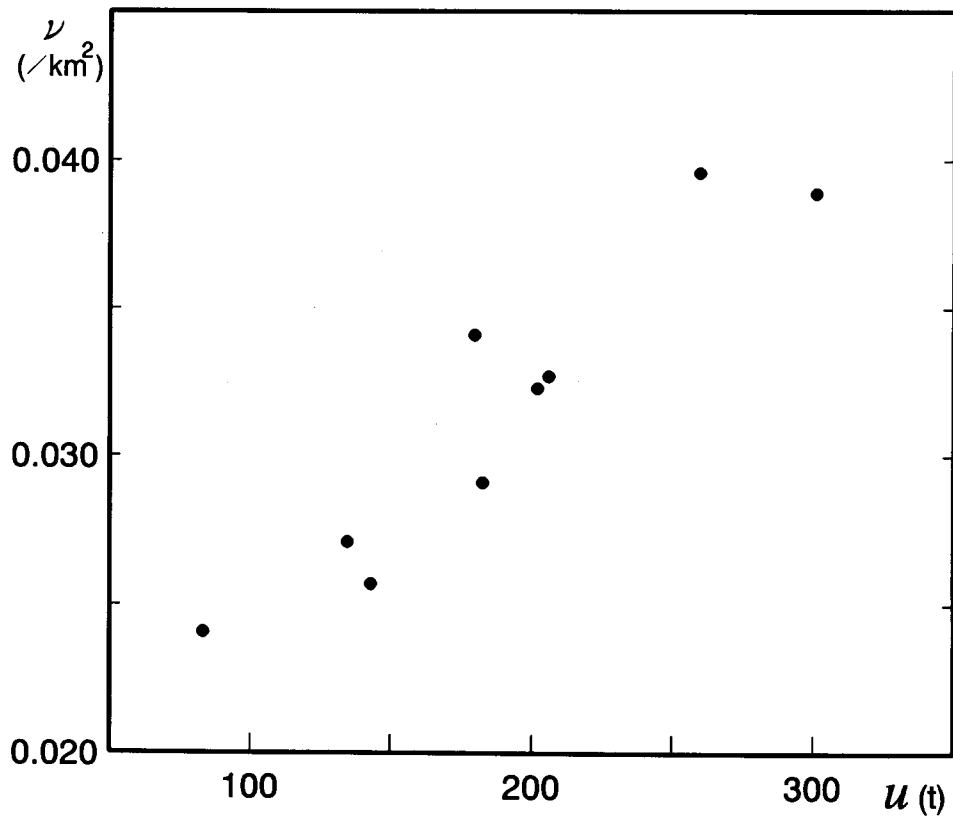


Fig. 1. Estimated school density  $\nu$  relative to estimated school weight  $u$ .

$$s_2 = (1 - e^{-qT_s})N$$

である。テーラー展開

$$1 - e^{-qT_s} = qT_s - \frac{(qT_s)^2}{2!} + \frac{(qT_s)^3}{3!} - \frac{(qT_s)^4}{4!} + \dots$$

を用いて、投網回数の差  $E$  は、

$$E = s_1 - s_2 = \frac{(qT_s)^2}{2}N + O((qT_s)^3N)$$

と表される。ここで  $O(\cdot)$  は「次以下の項」の意味である。 $(qT_s)^3N$  以下の項を無視すると、 $E$  は  $qT_s$  の 2 乗および  $N$  に比例する。従って、探索効率が大きい場合、あるいは探索時間が長い場合に、また資源魚群数が極端に多い場合に、両者の差が大きくなることが予想される。

和田の方法は推定する時点での資源量を求めているのに対し、本法では魚群が漁場内に滞在している間に漁獲によって減少することを考慮している。したがって、滞在期間が短いときは和田の方法が、長いときは本法がより正確な値を出すと考えられる。道東のマイワシまき網漁業では、漁船が探索する面積が広いため、魚群がその中を通過するのに数週間はかかり、その間に 2 割～5 割が漁獲されると考えられている (和田, 1988)。したがって、道東海域でマイワシの資源量推定をする際には、本法の方がより正確な値を出すと考えられる。

**魚群密度と魚群重量の相関** 図 1 に推定された魚群密度と魚群重量の関係を示した。これらは強い正の相関を示した ( $r=0.94$ )。緒言にも述べたとおり、魚群の重量は様々な生物的要因によって決定されることが考えられるが、この結果からは魚群重量が魚群密度によって変化することを示していると考えられる。

しかし、ここで推定されているものは、厳密には来遊資源の魚群重量や魚群密度ではなく、漁獲対象となっている魚群の魚群重量と魚群密度である。もし来遊資源の魚群密度と魚群重量が無相関ないしは負の相関でも、魚群密度に応じて漁業者が魚群重量の大きな魚群だけを選択的に漁獲していれば推定値は正の相関を示すことになる。もしそうであれば、結果としてまき網漁業対象魚種についても CPUE が資源量の指数として用いることが可能になる。しかしこの場合、従来考えられているような、底曳網漁業等での CPUE と資源量との関係とは全く異なったメカニズムで、CPUE が資源量指数として機能していることになり、そのメカニズムを充分理解した上で、まき網漁業の CPUE を資源量指数として使わなければならない。Matsuishi et al. (1993) は、漁船の単位時間あたり漁獲量が最大になるように漁獲対象となる魚群を選択した場合の CPUE と資源量の関係を数理モデルによって表し、正の相関を生じることを示している。

実際には、魚群の密度によって魚群重量が増加していると同時に、魚群選択も行われていて、両方の要因によって強い正の相関が生じたのだと考えられる。

## 謝 辞

本研究は、元東京大学海洋研究所の沼知健一教授 (現在、東海大学海洋学部教授)、松宮義晴助教授 (現在、三重大学資源生物学部教授)、岸野洋久助教授 (現在、東京大学教養学部助教授) の指導により修士論文としてまとめた内容の一部である。データの利用に関して北海道区水産研究所の和田時夫博士に多大なご協力を賜った。また、本論文は、北海道大学水産学部の菅野泰次助教授に校閲を賜った。ここに感謝の意を表します。

文 献

- Brock, V.E. and Riffenburgh, R.H. (1960). Fish schooling: A possible factor in reducing predation. *J. Cons. int. Explor. Mer* **25**, 307-317.
- Clark, C.W. and Mangel, M. (1984). Foraging and flocking strategies: information in an uncertain environment. *Amer. Nat.* **123**, 626-641.
- Csirke, J. (1988). Small shoaling pelagic fish stocks. p. 271-302. In J.A. Gulland (ed.) *Fish Population Dynamics* 2nd ed. 422 p. John Wiley & Sons, Chichester.
- Duffy, D.C. and Wissel, C. (1988). Models of fish school size in relation to environmental productivity. *Ecol. Modelling* **40**, 201-211.
- Kondo, K. (1986). Relationships between long term fluctuations in the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* (TEMMNICK AND SCHLEGEL) and oceanographic conditions. *Int. Symp. Long Term Changes Mar. Fish Pop., Vigo*.
- Mangel, M. and Beder, J.H. (1985). Search and stock depletion: theory and applications. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **42**, 150-163.
- Matsuishi, T., Wada, T., Matsumiya, Y. and Kishino, H. (1993). Optimal school selection and abundance index in purse seine fishery. *Nippon Suisan Gakkaishi* **59**, 273-278.
- Matsuda, H., Wada, T., Takeuchi, Y. and Matsumiya, Y. (1991). Alternative models for species replacement of pelagic fishes. *Res. Popul. Ecol.* **33**, 41-56.
- Matsumiya, Y. and Tanka, S. (1976). Dynamics of the saury population in the Pacific ocean off northern Japan-II Estimation of the catchability coefficient  $q$  with the shift of fishing ground. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **42**, 943-952.
- Treisman, M. (1975). Predation and the evolution of gregariousness. I. Models for concealment and evasion. *Anim. Behav.* **23**, 779-800.
- 和田時夫 (1988). 道東海域におけるまき網対象マイワシ資源の来遊動態に関する研究. 北水研報告. (52), 1-138.
- Wada, T. and Matsumiya, Y. (1990). Abundance index in purse seine fishery with searching time. *Nippon Suisan Gakkaishi* **56**, 725-728.