



Title	科学魚探によるサンマ資源現存量の推定について
Author(s)	佐野, 典達; 谷野, 保夫
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 34(3), 220-230
Issue Date	1983-08
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23828
Type	bulletin (article)
File Information	34(3)_P220-230.pdf



[Instructions for use](#)

科学魚探によるサンマ資源現存量の推定について

佐野典達*・谷野保夫**

Study for Estimating the Existent Amount of Saury
Resources by Means of Scientific Echo
Sounder Techniques

Noritatsu SANO* and Yasuo TANINO**

Abstract

This paper describes a method of estimating the amount of saury resources by roughly calculating the volume backscattering strength of echo patterns on a recording paper. The scientific echo sounder used was the 88 KHz ultrasound, a transducer having 14 degrees of effective beam angle. It was attached to the bottom of the ship. The recording range of the scientific echo sounder was 200 m, the number of transmissions of ultrasound waves per minute was 110, the pulse width was 0.6 miliseconds and the T.V.G. was 20 dB. The ship's speed was about 10 Knots. These echo patterns were observed on the voyage of the research ship No. 53 KAIYO MARU (349 tons) for fishery investigations in September 1982. The scientific echo sounder provided a recording of the saury on echo sounder paper, and a value proportional to the average saury for 0.2 nautical miles of survey track. This value was later transformed into fish biomass using information on school size in terms of weight. During the survey, marked differences in the behaviour of the deep scattering layer between day and night were observed. In order to determine if these differences were affecting the estimates of the size of the school, a series of day/night comparisons and observations were carried out. The scientific echo sounder estimates of fish biomass had to be based on certain assumptions regarding the performance of the sonar equation. We wish to report on the results of the estimation of the standing crops of saury with a microcomputer. The surveyed area occupied about 15,400 n. mi² and the estimated total biomass was calculated to be 3,350.5 tons.

緒 言

魚探技術が発展し、資源量の推定に魚探から得られる情報が利用されるようになってきた。著者は、1975年以来、魚探機によるサケ・マスの資源量の推定に関する研究を行い報告した¹⁻³⁾。また、1981年に初めてサンマ資源調査に科学魚探を試用し、その結果について報告した⁴⁾。今回著者らは、水産庁のクイック・アセスメント調査の一環として、古野電氣 KK 製の科学魚探 (scientific echo sounder)

* 北海道大学水産学部漁業測器学講座
(Laboratory of Instrument Engineering for Fishing, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

** 東北区水産研究所資源部
(Marine Resources Section, Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory)

を使用し、我が国太平洋岸沖 200 カイリに分布するサンマ魚群を対象にして、可及的速やかに指定した調査海域中を遊泳する対象魚群の資源現存量の推定を行った。また、流刺網を使用した試験操業を行い、それから得られた漁獲情報や海洋観測から得られた水温情報などを総合的に検討し、科学魚探技術による資源現存量の直接測定法を確立するための研究を行ったので報告する。

本研究を進めるにあたって、御指導と御助言をいただいた本学部鈴木恒由教授、並びに東北区水産研究所資源部長安井達夫氏に深甚の謝意を表する。また、本論文作成にあたり御協力いただいた本学部飯田浩二助手、本調査航海にあたり積極的に御協力いただいた第 53 開洋丸漁撈長佐藤添悦氏をはじめ乗組員諸氏に深謝する。

科学魚探装置と音響調査

本調査に使用した調査船は、船尾トロール型第 53 開洋丸 (349 吨) で、科学魚探は古野電気 KK 製 FQ-50 型で、船底に送受波器を装備し専ら周波数 88 KHz、発振出力 2 KW、測深範囲 2,000 m のものを使用した。この科学魚探を測深範囲 10 から 200 m、パルス幅 0.6 m sec、T. V. G (time varied gain) を $20\log R$ 、スレッシュホールド・レベル 20 dB、さらに抵抗減衰器に 20 dB を常時印加し、船速 10 ± 0.5 ノットに保持しながら記録紙紙送り速度毎分 20 mm、走査距離 (E. S. D. U) 0.2 カイリに設定し、連続作動しながら記録を取得した。あらかじめ指定した調査海域は、北緯 $38^{\circ}30'$ から北緯 $41^{\circ}30'$ 、東経 $147^{\circ}30'$ から東経 $150^{\circ}30'$ に囲まれたソ連邦の 200 カイリ経済水域を除く約 15,400 平方カイリである。この海域を 9 月 24 日から 10 月 1 日にかけて (航程 660.2 カイリ) 科学魚探を作動しながら格子状に音響調査をした。図 1 は、調査海域および海洋観測点と試験操業点を示す航跡図である。

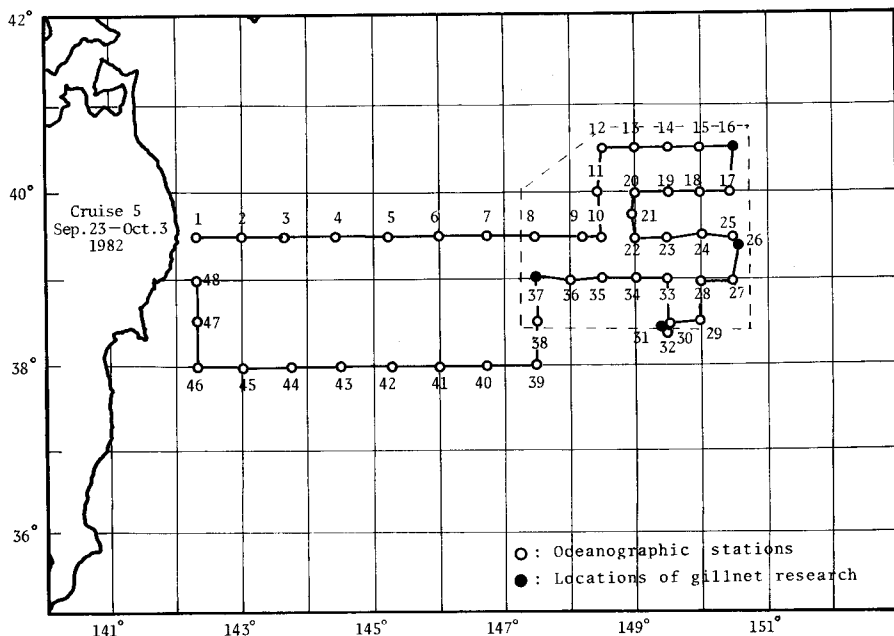


Fig. 1. Locations of experimental observation and survey track by the No. 53 KAIYO MARU in September 23 to October 3, 1982.

科学魚探による解析方法

科学魚探は、標的から反射してきた超音波を厳密に数値演算を行うもので、条件として設定した積分深度層と走査距離当りの体積後方散乱強度 (SV) を求める装置である。図 2 a), b) は、科学魚探 FQ-50 の作動条件および SV のプリンタ印字例を示す。魚探の原理は、ソナー方程式で表わされる⁴⁾⁵⁾。

```

PAGE-000
*****
* SCIENTIFIC ECHO SOUNDER *
* << FQ-50 >> *
*****

* RANGE                0010M-0210M
* FREQUENCY            HIGH
* PULSE WIDTH          1.2 MSEC
* ABSORPTION LOSS      25 DB/KM
* TVG                  20 LOG(R)
* GAIN CONSTANT        87.4
* DIRECTIVITY          0.019
* DENSITY              AVERAGE
* PRINT INTERVAL       0.2 MILE

-----
INPUT NEXT ITEM

(1) VESSEL              (53 KAIYOU MARU)
(2) DATE/TIME          (82.09.29/07:11)
(3) PLACE              ( )
(4) LAYER
    NO.01 (10, 20)
    NO.02 (20, 30)
    NO.03 (30, 40)
    NO.04 (40, 50)
    NO.05 (50, 60)
    NO.06 (60, 70)
    NO.07 (70, 80)
    NO.08 (80, 100)
    NO.09 (100, 200)
    NO.10 (10, 100)
(5) COMMENT           ( )
    
```

Fig. 2. a). Working conditions of scientific echo sounnder.

PAGE-005		[SV/N] TS=-38.9 DB ATT=20									
LOG		NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10
DATE		(010)	(020)	(030)	(040)	(050)	(060)	(070)	(080)	(100)	(100)
TIME		(LATITUDE)	(LONGITUDE)	(AID)	(TMP)	(SPD)	(CRS)	(DPT)	(TH/SAT)		
63	010.8 09/29 08:19	-99.9 000.0 39 06.23N	-76.7 000.0 150 32.17E	-62.8 000.0	-60.3 000.0	-72.5 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-67.7 000.0 20/00
64	011.0 09/29 08:20	-86.8 000.0 39 06.01N	-99.9 000.0 150 32.13E	-65.6 000.0	-59.5 000.0	-69.8 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-67.8 000.0 20/00
65	011.2 09/29 08:21	-89.5 000.0 39 05.81N	-95.3 000.0 150 32.09E	-91.1 000.0	-72.6 000.0	-89.7 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-81.8 000.0 20/00
66	011.4 09/29 08:23	-99.9 000.0 39 05.63N	-99.9 000.0 150 32.05E	-69.6 000.0	-61.3 000.0	-79.4 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-70.0 000.0 20/00
67	011.6 09/29 08:24	-89.0 000.0 39 05.42N	-99.9 000.0 150 32.01E	-67.5 000.0	-60.8 000.0	-80.3 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-69.4 000.0 20/00
68	011.8 09/29 08:25	-85.7 000.0 39 05.23N	-99.9 000.0 150 31.97E	-74.0 000.0	-65.1 000.0	-94.0 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-93.2 000.0	-99.9 000.0	-74.1 000.0 20/00
69	012.0 09/29 08:26	-85.5 000.0 39 05.01N	-99.9 000.0 150 31.93E	-57.9 000.0	-64.1 000.0	-87.1 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-99.9 000.0	-66.4 000.0 20/00

Fig. 2. b). Results as recorded by the integrator of scientific echo sounnder.

佐野ら： 科学魚探によるサンマ資源現存量の推定

いま、 V_{rms} を受信器出力の平均電圧とすると

$$V_{rms}^2 = G^2 I_0 \frac{1}{R^2} e^{-2\beta R} S_v \frac{c\tau}{2} \Psi \quad (1)$$

ここで S_v : 体積後方散乱強度
 I_0 : 送波器出力 (送波軸上の単位距離における)
 G : 受波感度
 R : 送受波器から魚群までの距離
 β : 吸収減衰率
 c : 音速
 τ : パルス幅
 Ψ : ビーム角 (指向特性 (θ, ϕ) より求める)

(1) 式を対数変換し dB で表せば

$$VRMS = EG + SL - (20 \log R + 2\alpha R) + SV + 10 \log \frac{c\tau}{2} + 10 \log \Psi \quad (dB) \quad (2)$$

ここで $VRMS = 20 \log V_{rms}$: 受信出力レベル
 $SL = 10 \log I_0$: 出力レベル
 $EG = 20 \log G$: 感度レベル
 $T.V.G = 20 \log R + 2\alpha R$: 距離拡散と吸収減衰
 $SV = 10 \log S_v$: 体積後方散乱強度レベル
 $\alpha = \beta \log_{10} e$: 吸収減衰係数

(2) 式を変形して

$$SV = VRMS - EG - SL + (20 \log R + 2\alpha R) - 10 \log \frac{c\tau}{2} - 10 \log \Psi \quad (dB) \quad (3)$$

SV は (3) 式から求められる。このソナー方程式に超音波の距離拡散および吸収減衰係数、送受波器の指向特性などの係数を代入し、走査距離と積分深度層を条件として与えると、 SV が求められる。積分深度層は、図 2 に示されるように、10 層に分割して積分し、さらに 10 から 100 m の SV も演算し求めた。サンマの標的強度 (TS) は、尾叉長 23.3 から 31.2 cm のサンマ 6 種類を試料として大型円型水槽 (直径 4 m × 深さ 3 m) で 50 KHz の超音波を使用して、精密測定を行った。サンマの平均尾叉長は 27.4 cm で、背面方向の平均標的強度 -38.9 dB が得られた。科学魚探の周波数 88 KHz と精密測定に使用した周波数が多少異なるが、本研究では、 \overline{TS} を -38.9 dB とし科学魚探に設定し、 1 m^3 当りの SV とサンマの分布密度 (尾/ m^3) をプリンタに印字させた。

科学魚探用送受波器は、調査船の船底に装備しているから、吃水 3.5 m までと発振線および航走ノイズの影響などを考慮して、0 から 10 m は測深および積分深度層から除外した。

図 2 b) の印字例からもわかるように、 1 m^3 当りのサンマの平均分布密度は小さく、すべて 000.0 と印字されたので、1982 年度は、科学魚探の記録像 (echogram) と、その echogram 上に記録された SV のアナログ量を用いて、サンマ資源現存量の推定を試みた。図 3 は、科学魚探記録機に記録された echogram の例である。この echogram に記録された SV のアナログ量を 10 倍に拡大し、これから水深 1 m 当りの SV を求め、これにサンマの \overline{TS} を用いて尾数に換算し、さらにそのサンマ魚群全体の尾数を求める方法である。従って、調査海域全域を科学魚探で走査し、echogram に記録された echo 約 5,000 について、これをサンマ魚群と見做し、前述の方法を用いてサンマ尾数に換算した。また、サンマ魚群は、 SV の最大水深 (m) を遊泳していると仮定し、パソコンを用いて、走査距離を基準として航走距離 5 カイリごとに積算し、水深 5 m 間隔でサンマ魚群の分布尾数を求め、さらにサンマ 1

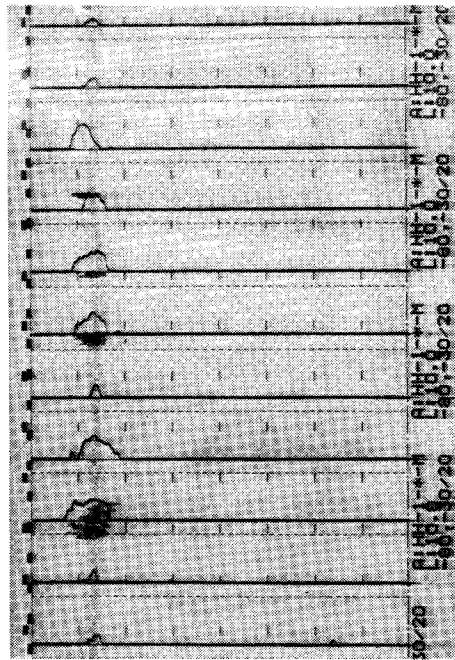


Fig. 3. Diagrams showing the echo patterns drawn by scientific echo sounder.

尾の体重を 100 g と仮定して尾数を重量に換算した。図 4 a), b), c), d) は, st. 26 から st. 27 までの演算結果を示す。同図のヒストグラムで, 推定現存量を表わす横軸は, 4 乗根に縮小して図示した。

St. 26	Location 0 — 25				Estimates of weight
Depth(m)	SV(dB)	Fish	Echo	Weight(Kg)	
10-15	- 78.3	1.9	1	0.2	■
15-20	- 73.0	6.3	1	0.6	■
20-25	-100.0	0.0	0	0.0	
25-30	- 70.4	11.5	1	1.2	■
30-35	-100.0	0.0	0	0.0	
35-40	- 67.3	23.2	5	2.3	■
40-45	- 78.3	1.9	1	0.2	■
45-50	- 78.3	1.9	1	0.2	■
50-55	-100.0	0.0	0	0.0	
55-60	-100.0	0.0	0	0.0	
60-65	-100.0	0.0	0	0.0	
65-70	-100.0	0.0	0	0.0	
70-75	-100.0	0.0	0	0.0	
75-80	-100.0	0.0	0	0.0	
80-85	-100.0	0.0	0	0.0	
85-90	-100.0	0.0	0	0.0	
90-95	-100.0	0.0	0	0.0	
95-100	-100.0	0.0	0	0.0	
Total		46.7	10	4.7	

(a)

佐野ら：科学魚探によるサンマ資源現存量の推定

St. 26		Location 25 — 50			Estimates of weight
Depth(m)	SV(dB)	Fish	Echo	Weight(Kg)	
10-15	- 72.8	6.7	3	0.7	
15-20	-100.0	0.0	0	0.0	
20-25	-100.0	0.0	0	0.0	
25-30	-100.0	0.0	0	0.0	
30-35	-100.0	0.0	0	0.0	
35-40	- 69.1	15.7	3	1.6	
40-45	- 65.6	34.8	6	3.5	
45-50	- 65.3	37.1	6	3.7	
50-55	- 73.5	5.6	2	0.6	
55-60	- 75.3	3.7	1	0.4	
60-65	-100.0	0.0	0	0.0	
65-70	- 77.5	2.2	1	0.2	
70-75	-100.0	0.0	0	0.0	
75-80	-100.0	0.0	0	0.0	
80-85	-100.0	0.0	0	0.0	
85-90	- 77.5	2.2	1	0.2	
90-95	-100.0	0.0	0	0.0	
95-100	-100.0	0.0	0	0.0	
Total		108.1	23	10.8	

(b)

St. 26		Location 50 — 75			Estimates of weight
Depth(m)	SV(dB)	Fish	Echo	Weight(Kg)	
10-15	- 67.8	20.8	8	2.1	
15-20	-100.0	0.0	0	0.0	
20-25	-100.0	0.0	0	0.0	
25-30	-100.0	0.0	0	0.0	
30-35	- 73.5	5.6	1	0.6	
35-40	- 55.4	364.5	3	36.5	
40-45	- 50.0	1250.8	8	125.1	
45-50	- 51.5	894.3	10	89.4	
50-55	- 73.5	5.6	2	0.6	
55-60	- 73.7	5.3	1	0.5	
60-65	-100.0	0.0	0	0.0	
65-70	-100.0	0.0	0	0.0	
70-75	-100.0	0.0	0	0.0	
75-80	-100.0	0.0	0	0.0	
80-85	- 77.5	2.2	1	0.2	
85-90	-100.0	0.0	0	0.0	
90-95	-100.0	0.0	0	0.0	
95-100	-100.0	0.0	0	0.0	
Total		2549.2	34	254.9	

(c)

St. 26	Location 75—100				
Depth(m)	SV(dB)	Fish	Echo	Weight(Kg)	Estimates of weight
10-15	- 66.5	28.5	13	2.9	[Bar]
15-20	- 77.5	2.2	1	0.2	[Bar]
20-25	-100.0	0.0	0	0.0	[Bar]
25-30	- 71.7	8.4	2	0.8	[Bar]
30-35	-100.0	0.0	0	0.0	[Bar]
35-40	- 58.8	166.9	4	16.7	[Bar]
40-45	- 61.7	86.0	5	8.6	[Bar]
45-50	- 58.8	166.1	10	16.6	[Bar]
50-55	- 73.0	6.3	1	0.6	[Bar]
55-60	- 72.3	7.5	2	0.7	[Bar]
60-65	-100.0	0.0	0	0.0	[Bar]
65-70	- 75.0	4.0	1	0.4	[Bar]
70-75	-100.0	0.0	0	0.0	[Bar]
75-80	-100.0	0.0	0	0.0	[Bar]
80-85	- 73.5	5.6	1	0.6	[Bar]
85-90	-100.0	0.0	0	0.0	[Bar]
90-95	- 75.3	3.7	1	0.4	[Bar]
95-100	-100.0	0.0	0	0.0	[Bar]
Total		485.2	41	48.5	

(d)

Fig. 4. Distribution and biomass estimate of saury resources per 5 nautical mile scanned.

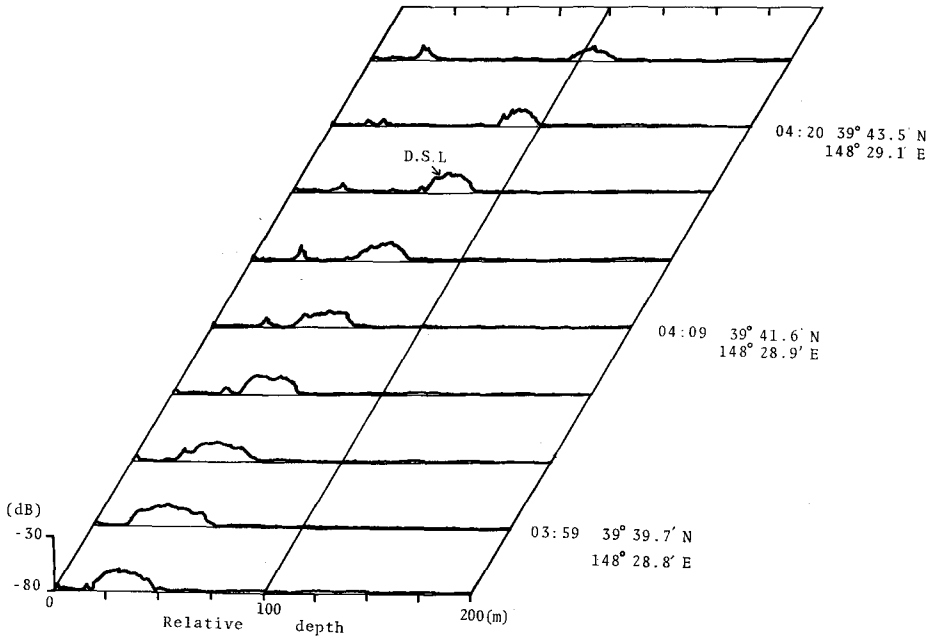


Fig. 5. Diagram showing the variation of the depth of the deep scattering layer.

Table 1. Examples of abundance estimates for saury resources in station 26, based on scientific echo sounder in September 28, 1982.

Location	No. of miles sampled	No. of echo measured	Estimated no. of fish	Estimates of weight of fish (Kg)	Calibration constant	Total estimated fish biomass (ton)
0- 25	5	10	46.7	4.7		
25- 50	5	23	108.1	10.8		
50- 75	5	34	2549.2	254.9		
75-100	3	41	485.2	48.5		
Total	18	108	3189.2	318.9	271.3	86.5

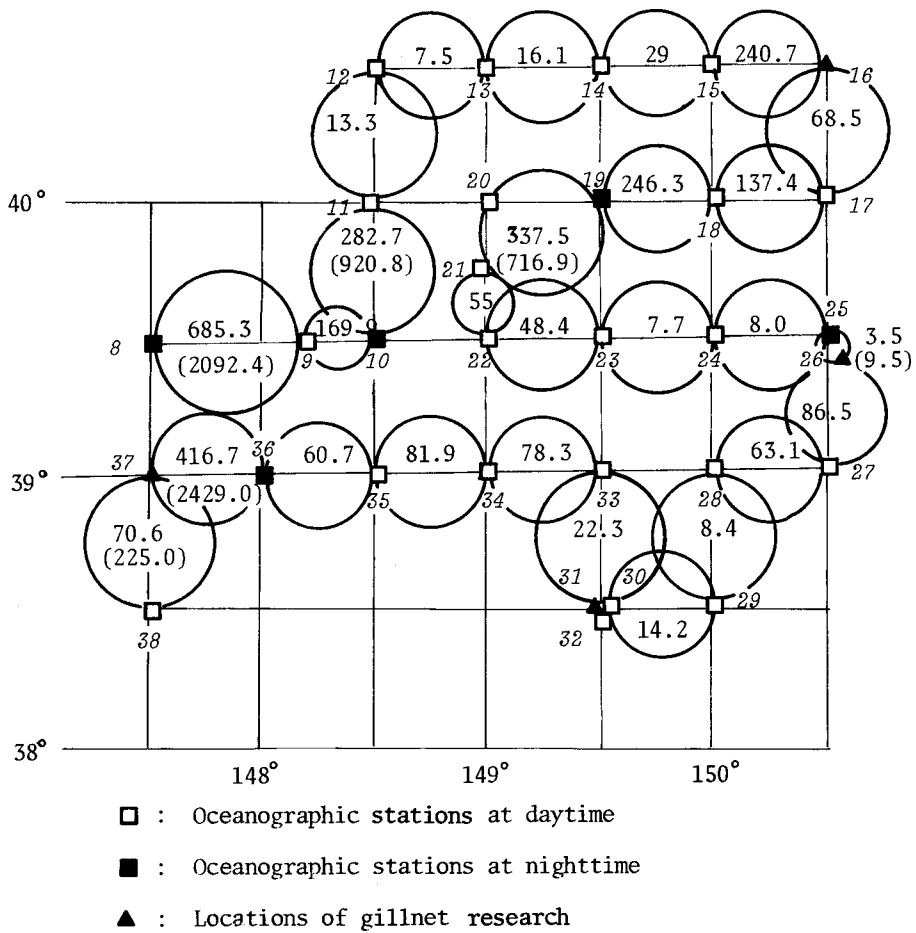


Fig. 6. Distribution of saury resources in the surveyed area, based on scientific echo sounder readings during cruise 5 in 1982.

SV に影響する D.S.L の修正

調査期間中、夜間は D.S.L が浮上して SV を増加させる。図 5 は、D.S.L の移動状況を SV のアナログ量を用いて模式的に示した。この図から、水深 100m 付近では、D.S.L の SV は明瞭に他の echo と識別できる。この D.S.L の SV を夜間浅海層付近で測得された SV から控除し、その影響を修正した。この場合、D.S.L を構成するプランクトンや稚魚の種類や量については不明であり、かつ時空間的に D.S.L は異なった SV をとるので、その修正は、その都度考慮する必要がある。この結果、昼間と夜間の SV を同一スケールで比較検討できる。

サンマ資源現存量の推定

図 4 で例示した方法に従い、走査距離 0.2 カイリを基準として、5 カイリ航走ごとにサンマ尾数を積算し、重量に換算した結果を表 1 に示した。この表では、観測点間の走査距離、echo の数、その echo からサンマ尾数およびサンマ 1 尾の体重を 100 g として重量に換算した推定現存量と、その集計を示した。

また、比例定数 (calibration constant) として、超音波指向角中のサンプリング容積を円錐台形と仮定すれば、約 9,650 m³ となる。このサンプリング容積で観測点間を走査すると、走査容積 [A] m³ が

Table 2 a). Examples of abundance estimates for saury resources in station 8, based on volume backscattering strength of scientific echo sounder during the night.

Location	No. of miles sampled	No. of echo measured	Estimated no. of fish	Estimates of weight of fish (Kg)	Calibration constant	Total estimated fish biomass (ton)
0-25	5	51	5661.6	566.2		
25-50	5	46	7872.3	787.2		
50-75	5	38	7902.5	790.2		
75-100	5	51	14733.4	1473.3		
100-125	5	52	8661.3	866.1		
125-150	3.4	28	4056.7	405.6		
Total	28.4	266	48887.8	4888.7	428.0	2092.4

Table 2 b). Examples of abundance estimates for saury resources in station 8, based on volume backscattering strength of scientific echo sounder during the night and adjusted because of the results of the effect of the deep scattering layer.

Location	No. of miles sampled	No. of echo measured	Estimated no. of fish	Estimates of weight of fish (Kg)	Calibration constant	Total estimated fish biomass (ton)
0-25	5	50	1872.0	187.2		
25-50	5	46	3037.7	303.8		
50-75	5	38	2733.5	273.4		
75-100	5	51	4668.6	466.9		
100-125	5	53	2820.9	282.1		
125-150	3.4	28	878.2	87.8		
Total	28.4	266	16010.9	1601.2	428.0	685.3

求まり、その容積中を遊泳するサンマ資源現存量が推定できる。この走査容積 [A] 中を遊泳するサンマと同一分布密度で、しかも観測点間の距離を直径とし、水深 100 m とする円柱容積 [B] m³ 中に分布すると仮定すれば、この比率 [B/A] が比例定数である。この定数を走査容積 [A] 中のサンマ資源現存量に乘じ、さらに調査海域について積算すると、これが推定したサンマ資源現存量であり、その結果を図 6 に示す。図中 () 内の数値は、夜間の D.S.L もサンマ魚群と仮定し換算した量である。また、表 2 a) は、観測点 8 で SV から推定したサンマ資源現存量であり、表 2 b) は、同観測点で SV に D.S.L の影響を修正したサンマ資源現存量の推定結果である。従って、全観測点 28 点、観測点間の航走距離 660.2 カイリ、最大 40.4 カイリ、最小 2.0 カイリ、平均 22.3 カイリで推定したサンマ資源現存量は、総計 3,350.5 屯となった。

考 察

あらかじめ指定した調査海域中を遊泳するサンマ資源現存量を可及的速やかに推定することが、クイック・アセスメント調査の目的であるから、未知の諸要因を仮定して、演算処理しなければならない。今回の調査の成果として

- 1) 科学魚探記録紙に記録された echo を、すべてサンマ魚群と見做し現存量を推定した。
この演算過程は、パソコンで処理し、水深 5 m 間隔で航走距離 5 カイリ当りのサンマ魚群分布のヒストグラムを描いた。このヒストグラムから、サンマ漁況に関する情報量が増大するので、他のサンマ魚群に関する生態や環境条件および操業に関する諸情報など総合的に判断することによって、サンマ漁業を科学的に管理する上で有効な情報であると考ええる。
- 2) 指定した調査海域の調査終了後、帰港までの間に、サンマ資源現存量の推定が可能であるとの見通しができた。しかし、それには科学魚探の積分部およびプリント部を多少改良する必要がある。
- 3) 朝まづめおよび夕まづめ時、下降または上昇する D.S.L の SV を用い、夜間浅海層附近の echo の SV を修正すれば、現存量推定に充分利用できる情報となるし、また、資源現存量の精度向上に役立て得ると考える。

一方、今後研究し改良すべき諸問題点として

- 4) 海表面から 10 m 層の資料は、船底装備の科学魚探では SV が得られず、また試験操業で混獲される魚の種類、大きさおよび漁獲量などが SV に及ぼす影響も無視できず、この対策を研究する必要がある。
- 5) サンマの背面方向の \overline{TS} を -38.9 dB と仮定し尾数に換算したが、echo として記録されたサンマ魚群の体長組成が未知であるため、どうしてもサンマの \overline{TS} を仮定しなければならず、また、サンマ 1 尾当りの体重も平均体重を仮定して換算したので、これらが資源現存量を推定する上で誤差が生ずる。
- 6) 科学魚探で走査し、走査容積 [A] 中を遊泳する魚群について、種々の仮定の下に現存量を算出した。この推定した現存量を基準として、調査海域 [B] にも同一密度でサンマ魚群が分布すると仮定し、比例定数 [B/A] を求め、これを走査容積中のサンマ現存量に乘じてサンマ資源現存量を推定したが、この定数の決定が重要な要因となる。この定数については、指定した調査海域中の観測点などの配置にも関係し、今後の研究が期待される。
- 7) 科学魚探で得た情報から、サンマ資源現存量の推定を試みたが、この現存量が如何ほどに、その漁場の実際の現存量と一致しているかを検証する科学的手段・方法の確立が必要である。

最後に、現時点では、科学魚探で得た情報を検証する方法は、未だ確立されていない。

しかし、サンマの資源量評価の方法として、従来から行われてきた方法に、科学魚探情報、関連する漁業の諸情報などから総合的に判断するしかないだろう。科学魚探技術は、資源評価の有効な一方

法であり、今後より精度の高い情報を早く多く提供することが急務であり、さらに研究を発展させることによって、サンマ資源の科学的評価と管理に明るい展望が期待できる。

文 献

- 1) 安間 元・佐野典達 (1975). 魚探機によるサケ・マス資源現存量の推定について. I. ペーリング海アンドレアノフ諸島沖における予備実験. 北大水産彙報 26, 137-153.
- 2) 佐野典達・安間 元 (1976), 同上. II. 資源現存量推定におけるシステム・モデル. 同誌, 27, 78-90.
- 3) 安間 元・佐野典達 (1977). 同上. III. 中層曳航式魚探機の試作・試用. 同誌, 28, 74-82.
- 4) 佐野典達・谷野保夫 (1982). 科学魚探 (scientific echo sounder) の試用結果について. 東北区水研サンマ研究討論会議事録 30, 201-217.
- 5) Robert J. Urick (1967). Principles of Underwater Sound for Engineers: The Sonar Equations. p. 16-27. McGraw-Hill, Inc., New York.