

スルメイカ好漁時の水温鉛直分布画像

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	深田, 耕一 前田, 弘 白田, 光司
巻/号	57巻8号
掲載ページ	p. 1487-1493
発行年月	1991年8月

スルメイカ好漁時の水温鉛直分布画像*1

深田 耕一, 前田 弘, 白田 光司

(1991年2月20日受付)

Image Processed Vertical Distribution of Water Temperature at the Squid Jigging Stations with a Good Catch in the Japan Sea

Koichi Fukada,*2 Hiroshi Maéda,*2 and Koji Shirata*3

A fishing information system to estimate the level of catch prior to starting the actual operation is the key to realizing efficient operation planning. The vertical distribution of water temperature is one of the most probable factors having a close relationship to the level of catch. In the present report, the condition for a good catch was established as a yield of 3,000 squids per operation. 50 stations were selected from 416 jigging station records during the period from 1982 to 1988 in the Japan Sea. The vertical distributions of water temperature were computer-processed into digital images, and their similarities to each other were calculated. The characteristics among the digital images of good catches were examined by the group average method of cluster analysis.

As a result, 41 digital images out of 50 of good catches were grouped into 16 small clusters of mutually high intra-cluster similarity, and then into 3 large ones which had a relation to the area division in the Japan Sea. 6 clusters consisted of the stations in the same area within 30 calendar days. 5 were of the same area in different years but within 30 calendar days. 3 were of the same area but different years and extending over more than 30 calendar days. Only 2 were of different years in the different areas.

日本海におけるスルメイカ釣漁業では、多数の漁船が同じ漁場に集合して操業しても、漁場内の操業位置によって漁獲量が大きく異なる場合が多い。このため、漁場における操業位置選定は極めて重要である。スルメイカ釣漁船は操業位置選定にあたって、船間連絡(QRY)により僚船から漁獲状況・操業位置・魚探反応・表面水温等の情報を収集し、日本海漁況速報等から漁場形成位置・他船の操業位置と漁獲状況・表面水温分布図・50m層水温分布図等を入手する。これらの情報に、自船で観測した表面水温・魚探反応の情報および漁撈長の経験を加えて操業位置を選定している。この過程で利用される水温に関する情報は、表面水温あるいは表面および50m層水温等の水平分布に限られ、水温鉛直分布は全く利用されていない。この理由は、表面水温と漁獲量の関係あるいは表面および50m層水温の水平分布と漁場形成

位置の関係について多くの研究がなされ、その成果に基づき漁況予報や漁海況速報として情報化するシステムが構築されているためである。一方、スルメイカ釣漁業において漁獲量と水温鉛直分布の関係は明らかにされていないが極めて密接であると考えられる。水温鉛直分布と漁獲量の関係については宮川・佐藤*4が着目しているが、肉眼による類似性の判定と漁獲量を図示するに止まっている。今日では、水温鉛直分布はDBTやXBTを用いて容易に測定することが可能であるから、水温鉛直分布を操業位置選定の一情報として活用するエキスパートシステムが得られれば、情報量が増加することにより総合的な操業位置選定情報の精度が向上し、一段と効率的な操業が行えると考えられる。

本研究は、マイクロコンピュータを用いて水温鉛直分布をデジタル画像(以下、画像という)として把握し、

*1 日本海のスルメイカ釣漁業における水温鉛直分布画像の操業位置選定への利用に関する研究-I (Studies on Fishing Information to Decide the Squid Jigging Position Using Image Processed Vertical Distribution of Water Temperature in the Japan Sea-I).

*2 水産大学校 (Shimonoseki University of Fisheries, Nagatahonmachi, Shimonoseki, Yamaguchi 759-65, Japan).

*3 石川県水産試験場 (Ishikawa Prefectural Fisheries Experimental Station, Ushitsu, Noto, Ishikawa 927-04, Japan).

*4 宮川震一, 佐藤祥之介: 昭和63年度いか釣新漁場開発調査報告書(熱帯太平洋東部海域・南西大西洋西部海域), 33-40. (1990).

過去に好漁および不漁であった操業地点において得られた画像と、これから操業を実施しようとする地点の画像をマッチングして画像間の類似度を求め、ほぼリアルタイムで操業を実施するか否かの判断（以下、操業位置選定情報という）を出力するシステムを構築する。さらに、得られた操業位置選定情報に従って操業した場合、一定期間内における操業の効率化を定量的に示すことを目的とする。

このためには、好漁時あるいは不漁時における画像からいくつかの代表的な画像（以下、テンプレートという）を選定してデータベースを構築する必要がある。本報では好漁時の画像のデータベース化について検討した。

材料および方法

用いた資料は、石川県水産試験場調査船白山丸（総トン数 189.52 トン）の 1982 年から 1988 年までの 7 年間の航海のうち、日本海スルメイカ調査が実施された計 35 回の航海における計 416 操業についての、操業毎の DBT による水温鉛直分布と漁獲尾数である。一晩のうちに操業位置を変更した場合は異なる操業として扱った。

操業位置の分布を Fig. 1 に示す。操業は日本海のスルメイカ釣漁業が行われている主な海域全域に及んで実施されているが、白山丸は調査船であるため北朝鮮 200 海里水域内での操業は実施されていない。また、ソ連邦

200 海里水域内での操業は 1984 年まで実施されたが、それ以降実施されていない。

水温鉛直分布の画像処理 DBT の観測結果をもとに、通常 300 m まで測定された水温鉛直分布における 100 m 層水温の頻度分布を Fig. 2 に示す。日本海沖合海域では固有冷水が浅層にまで上昇している¹⁾ため、100 m 層水温は 416 操業中 270 操業 (65%) が 3°C 以下、336 操業 (81%) が 5°C 以下である。スルメイカの生息下限水温は 5°C²⁻⁵⁾あるいは 3-3.5°C¹⁾と報告されているので、100 m 以深にスルメイカが分布していた場合は少ないといえる。また、操業における擬餌の到達深度は 100 m 以浅である。これらのことより、操業時の水温鉛直分布を Fig. 3 に示す画像として表現した。この画像は縦の 101 個の画素が 0 m から 100 m までの水深を表し、横の 300 個の画素が -0.9°C から 29.0°C までの水温を表す計 30,300 個の 0 または 1 の値をとる画素で構成される 2 値画像^{6,7)}である。この画像において、水温鉛直分布は 1 の値をとる画素の分布で表され、背景は 0 の値をとる画素で埋められる。これらの画像の 2 枚をマッチングして類似度を求めるとき、画像としての僅かのズレを許容するため、1 である画素に着目してまわりの 8 つの画素を 1 に変更する 8 近傍太め処理⁸⁾ 1 回を施した。Fig. 3 は 8 近傍太め処理後の画像の一例である。

重なり率 2 枚の画像 a, b の隔たりの度合を表すハミング距離 h は次の式で示される。^{8,9)}

$$h = \sum_{i=1}^{101} \sum_{j=1}^{300} |a(i, j) - b(i, j)| \quad (1)$$

ただし、 $a(i, j), b(i, j)$ は画像 a, b の各画素の値
このハミング距離 h を用いて、2 枚の画像 a, b の類似度を次式に示す「重なり率」 RO で新たに規定した。

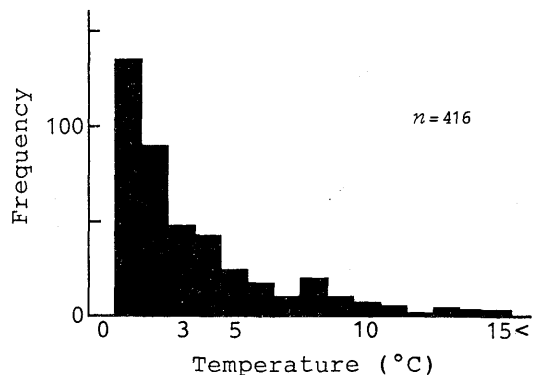


Fig. 2. Frequency distribution of 100 m depth water temperature at the jiggling stations of Haku-san-maru (June to Nov. of 1982 to 1988).

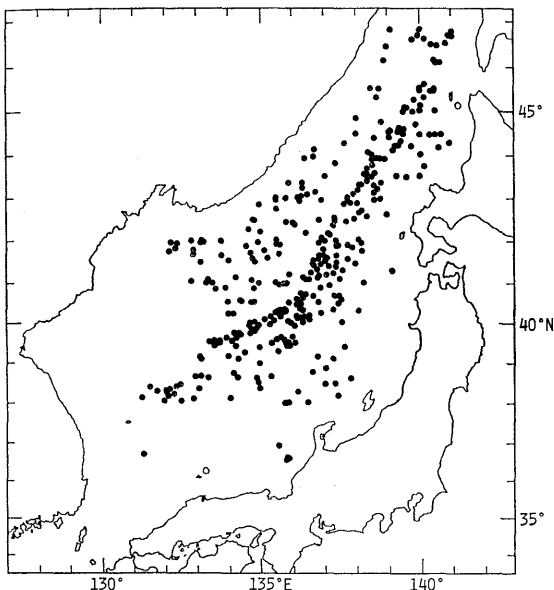


Fig. 1. Area distribution of the squid jigging records used in the present report (by Haku-san-maru, 1982-1988).

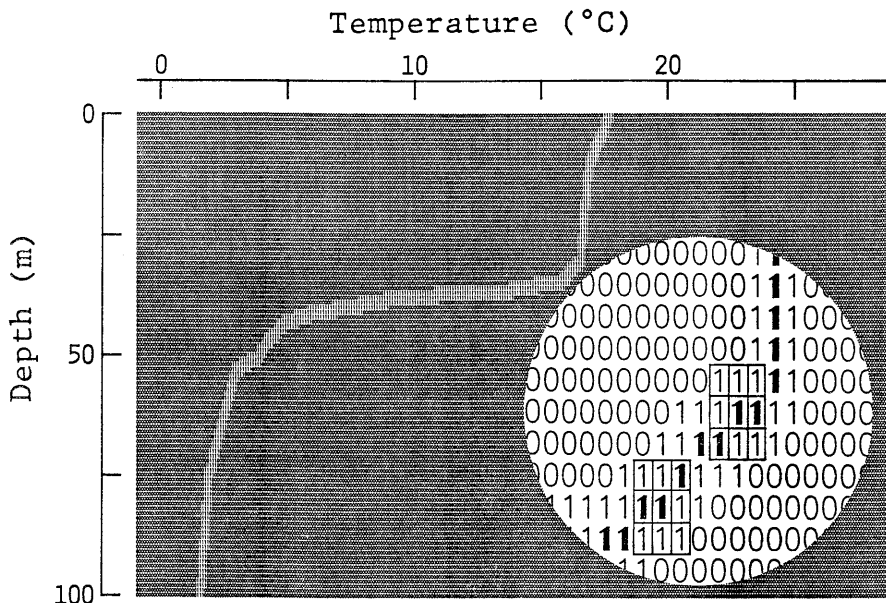


Fig. 3. An image processed model of vertical distribution of water temperature, after transforming 8-neighbors into 1 (abbreviated into IPVT-T). The enlarged pixels are shown in the circle. The bold-faced number "1" shows the original vertical distribution of water temperature. The 8 squares around the bold-faced "1" are 8-neighbors.

$$RO = \frac{(n_1 + n_2 - h)/2}{n_1} \quad (2)$$

ただし、 n_1 : $a(i, j)=1$ である画素の数

n_2 : $b(i, j)=1$ である画素の数

RO は画像 a からみた画像 b との 1 である画素の重なり度合を表す。画像 a と画像 b が完全に同じ画像であるとき $h=0$, $n_1=n_2$ であるから $RO=1$ となる。画像 a と画像 b の 1 である画素が全く重ならないとき、 $h=n_1+n_2$ であるから $RO=0$ となる。したがって、 RO は画像 a と画像 b の類似度を表す間隔尺度であり、 RO が 1 に近いほど画像 a は画像 b に似ていることを示す。

好漁時の画像 416 操業中 3,000 尾以上の漁獲が得られたのは 50 操業であった。漁獲が好漁であったかどうかは魚価と経費のバランスによって決まるので、漁獲尾数で表示することは難しい。しかし、現在では、白山丸の装備する 14 台の自動いか釣機 (複式) による 1 操業当り 3,000 尾の漁獲は好漁とみなせる。本報ではこれらの操業時に得られた画像を好漁時の画像として取りあげた。

解析方法 50 枚の画像から、同じ画像をとることを許して 2 枚をとる総ての組み合わせ 2,500 通りのマッチングによって得られる RO のマトリックス (Table 1) を作成した。ある 1 枚の画像についての RO の数値は他の各画像に対する類似度であるから、多数の好漁時の画像

の中にこの画像とよく似た画像が存在するかどうかの指標である。好漁時の画像に基づいて操業位置選定情報を抽出する際、すべての画像を参照することも一つの方法であるが、処理時間が長くなる。処理時間を可能な限り短縮し、ほぼリアルタイムで操業位置選定情報を抽出するためには、まず、多数の好漁時の画像を集約する必要がある。このために、各画像における RO の数値を連関測度とし、群平均法によるクラスター分析¹⁰⁾を行った。クラスター分析によって小分類されるクラスター内の画像は互いによく似た画像であるから、そのうちの 1 枚をテンプレートすればよい。小分類においてクラスターを構成しない画像は、他によく似た画像が存在しないので各々をテンプレートにする必要がある。また、小分類および大分類されるクラスター内の画像の各々が得られた操業位置を海域の区分として表現できるならば、日本海を複数の海域に分けて扱うことができるので、操業位置選定情報の抽出に要する時間を大幅に短縮することができる。

すなわち、好漁時の画像からテンプレートを選定し、データベース化するため、

- 1). よく似た画像はクラスターとして集約できるか
- 2). いくつかの大きなクラスターとして集約できるか
- 3). 集約できるとすればその内容を検討した。

Table 1. Matrix of similarity (RO) in the 50 IPVT-Ts at the stations yielded more than 3,000 squids by consecutive swing (selected Stations)

No. of IPVT-Ts	No. of IPVT-Ts														
	1	2	3	4	5	24	25	26	46	47	48	49	50		
1	1.000	0.253	0.074	0.000	0.117	—	0.128	0.103	0.026	—	0.052	0.094	0.073	0.063	0.147
2	0.262	1.000	0.030	0.000	0.014	—	0.055	0.116	0.019	—	0.053	0.051	0.137	0.118	0.056
3	0.070	0.027	1.000	0.064	0.152	—	0.075	0.047	0.032	—	0.055	0.051	0.039	0.559	0.060
4	0.000	0.000	0.071	1.000	0.109	—	0.095	0.014	0.015	—	0.075	0.078	0.000	0.205	0.012
5	0.137	0.046	0.188	0.121	1.000	—	0.419	0.051	0.015	—	0.044	0.052	0.195	0.138	0.160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	0.153	0.064	0.095	0.108	0.425	—	1.000	0.259	0.015	—	0.200	0.236	0.218	0.112	0.316
25	0.126	0.137	0.061	0.016	0.053	—	0.266	1.000	0.015	—	0.223	0.198	0.188	0.059	0.230
26	0.021	0.015	0.028	0.012	0.011	—	0.011	0.010	1.000	—	0.000	0.000	0.013	0.022	0.011
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
46	0.046	0.046	0.052	0.064	0.033	—	0.150	0.163	0.000	—	1.000	0.539	0.083	0.066	0.017
47	0.043	0.043	0.047	0.065	0.039	—	0.176	0.144	0.000	—	0.535	1.000	0.134	0.066	0.011
48	0.079	0.144	0.044	0.000	0.179	—	0.198	0.166	0.017	—	0.101	0.163	1.000	0.052	0.093
49	0.063	0.114	0.590	0.195	0.117	—	0.094	0.048	0.027	—	0.074	0.074	0.048	1.000	0.077
50	0.202	0.075	0.087	0.016	0.188	—	0.364	0.258	0.019	—	0.027	0.017	0.118	0.105	1.000

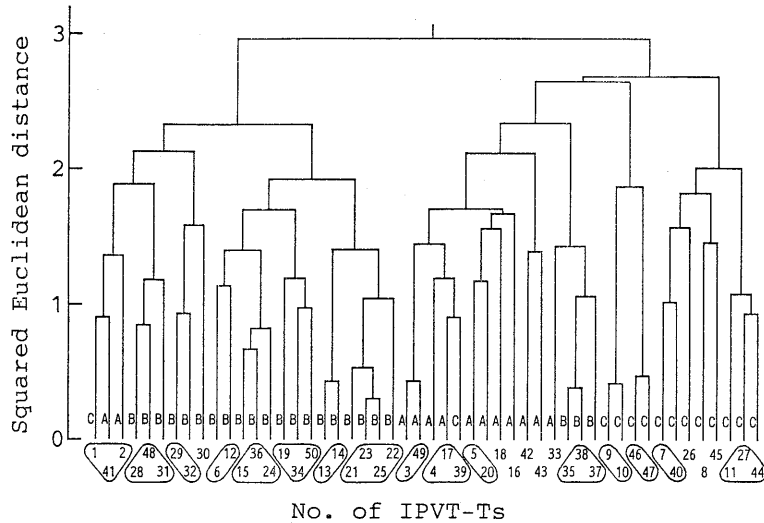


Fig. 4. Dendrogram showing unsimilarity matrices of image processed vertical distribution of water temperature at the 50 jugged stations with a good catch.

- Area code A: Western area of the Japan Sea off Hokkaido.
- Area code B: Mainly of U.S.S.R. fishery zone in the Japan Sea..
- Area code C: Western area of the Japan Sea off Honshu.
- : Clusters regarded as having high simiprity.

結 果

クラスター分析により得られたデンドログラムを Fig. 4 に示す。ユークリッド平方距離（以下、距離という）が小さいところで構成されたクラスター内の画像ほどよく似ており、距離が大きくなるに従い似ていないことを表す。

どこまでをよく似た画像であるとみなすかについては、クラスターを構成する画像から2枚の画像をとるすべての組み合わせにおいて、画像間の類似度が一定の値以上であるとき、そのクラスター内の画像はよく似た画像であるとみなすことにした。ここで用いる類似度を RO とした場合、式 (2) に示したように、どちらの画像からみるか（どちらの画像の1である画素の数を分母にするか）によって RO の値が多少異なるため境界値として用いにくい。そこで、RO の数列の相関係数も画像間の類似度を表すことから、データ数が多い場合の相関があると認められる基準である相関係数 0.4 を境界値として用いた。すなわち、クラスターを構成する画像から2枚の画像をとるすべての組み合わせにおける RO の数列の相関係数が 0.4 以上であるとき、そのクラスター内の画像はよく似た画像であるとみなした。ただし、デンドログラムにおいて、この条件を最初に満足することができなくなるクラスターより距離が小さいところで構成されるクラスターまでとした。この方法によって、画像 No. 1, 2, 41 で構成されるクラスターまで（ユークリッ

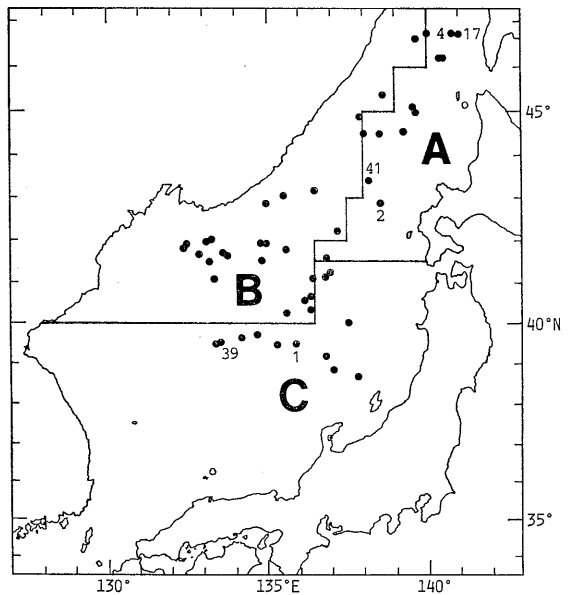


Fig. 5. Distribution of the 50 jugged stations with a good catch with area code A-C.

Note: The stations (1, 2, 41 and 4, 17, 39) are grouped into two clusters while being located in different areas. (See Fig. 4)

ド平方距離 1.36 まで) がクラスター毎によく似た画像として集約され、16 個のクラスターが得られる。これらをクラスター毎に Fig. 4 中に ○ で囲んで示した。

Table 2. Calendar day—distance relations of the stations in the clusters regarded as high similarity in Fig. 4

	Same area		Different area	
	Short distance (Under 100 miles)	Long distance (More than 100 miles)	Short distance (Under 100 miles)	Long distance (More than 100 miles)
Same trip	<input type="checkbox"/> 13—14 <input type="checkbox"/> 9—10 <input type="checkbox"/> 46—47	<input type="checkbox"/> 29—32 <input type="checkbox"/> 35—37—38		
Different trip in a year	<input type="checkbox"/> 21—22—23—25			
Different years	<input type="checkbox"/> 28—31—48 <input type="checkbox"/> 3—49	6—12 15—24—36 <input type="checkbox"/> 19—34—50 <input type="checkbox"/> 5—20 7—40 <input type="checkbox"/> 11—27—44	1—2—41 4—17—39	

No.: The selected station No.

: Within 30 calendar days, including those over the different years.

クラスター内の画像の各々について、それらの画像が得られた操業位置をみると、いずれも北海道西方海域、いずれもソ連邦 200 海里海域内、あるいは、いずれも本州西方海域である場合が多い。この傾向を利用すれば日本海を 3つの海域に区分する境界を設定できる可能性がうかがわれる。

そこで、よく似た画像として集約されたクラスター内の各画像の記号ができるだけ揃うように考慮しながら、操業位置が北海道に近い画像から順に記号 A、ソ連邦に近い画像から順に記号 B、本州に近い画像から順に記号 C を付し、海域の境界を求めた。ただし、海域の境界は緯度経度 0.5 度単位となるようにした。Fig. 4 に示すように記号を付すとき、よく似た画像として集約されたクラスター内の記号は最もよく揃い、画像が得られた操業位置を 3つの海域に区分することができる。このとき、クラスター内の記号が異なるのは 16 クラスターのうち僅かに 2 クラスターのみである。好漁時の画像が得られた操業位置の分布を Fig. 5 に示す。50 枚の画像は北海道西方海域 (A 海域) 13 枚、ソ連邦 200 海里海域を主とする海域 (B 海域) 23 枚および本州西方海域 (C 海域) 14 枚に区分される。

よく似た画像として集約された 16 クラスターの内容を知るため、クラスター内の各画像が得られた日付と位置によって分類した結果を Table 2 に示す。さらに、クラスター内の各画像を得た操業月日が暦のうえで 1 か月以内であるとき、そのクラスターを Table 2 中に で囲んで示した。

考 察

クラスター分析の結果を示した Fig. 4 によれば、50 枚の画像のうち 41 枚は他に 1 枚以上のよく似た画像が存在し、16 個のクラスターとして集約されており、残りの 9 枚は他によく似た画像が存在しない。よく似た画像については、クラスター内の画像の 1 枚をテンプレートにすれば好漁時の画像は計 25 枚のテンプレートに集約することが可能である。

画像に付された海域別記号は、16 クラスターのうち 14 クラスターにおいて同一記号が揃う。また、ユークリッド平方距離 2.2 付近では、6 つの大きなクラスターに集約されている。これらの大きなクラスター内の各画像に付された海域別記号についても、一部に異なる記号が含まれるが、3 つの海域に大分類されていると見ることができる。これらのことから、好漁時の画像に基づいて操業位置選定情報を抽出する際には、日本海を Fig. 5 に示した 3 つの海域に分けて扱うことが適当であると考えられる。

よく似た画像として集約した 16 クラスターのうち 2 クラスター (画像 No. 1, 2, 41 および画像 No. 4, 17, 39) において異なる記号が含まれる。この 2 クラスター内の画像 No. 1 および No. 39 は Fig. 5 に示したように、いずれも他の画像に付した記号の海域から遠く離れているので、海域の区分が不適当なため異なる記号となったものではない。このことは、遠く離れた海域においてよく似た画像が出現することもあり得ることを示す。このようなクラスターを構成する画像は両海域のテンプレートとして選定する必要がある。

Table 2 によれば、同一航海中に同じ海域の近距離において3クラスター、遠距離において2クラスターの計5クラスター、および、同一年の異なる航海に同じ海域の近距離において1クラスターが見られるが、海域が異なる場合には集約されたクラスターは見られない。ここで用いた資料は1隻の調査船から得られたものであるため、各航海あるいは連続する航海の操業海域が1つの海域に限られることが多い場合この結果は当然である。しかし、35回の航海のうち13回は3つの海域、11回は2つの海域にわたって操業を実施している。それにもかかわらず、海域が異なる場合に集約されたクラスターが見られないことから、1か月以内の期間によく似た画像の下で好漁が得られる地点は複数の海域にまたがるほど広範囲に存在しないと考えられる。

また、よく似た画像として集約された16クラスターのうち10クラスターが年を異にして集約されており、そのうち8クラスターは同じ海域に分類された。さらに、8クラスター中5クラスターは暦のうえで1か月以内である。このことから、年が異なっても同一海域内ではよく似た画像の下で好漁が得られ、それらの画像はほぼ同じ時期に出現する傾向を示している。これらのことから、選定したテンプレートは、将来、好漁となる位置においても出現する可能性があり、好漁時のテンプレートは操業位置選定情報を出力するエキスパートシステムのデータベースの一部として有効であると考えられる。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、懇篤な指導と有益な助言を賜った東京水産大学教授竹内正一博士、ならびに、論文のご校閲をいただき、ご鞭撻を賜った同大学教授有元貴文博士に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 鈴木恒由, 田代征秋, 山岸吉弘: 北大水産彙報, **25**, 238-246 (1974).
- 2) 名角辰郎: 水産海洋研究会報, **21**, 84-89 (1972).
- 3) 新谷久男, 村田 守: 農林水産技術会議研究成果, **57**, 95-106 (1972).
- 4) 笠原昭吾, 伊東祐方: 農林水産技術会議研究成果, **57**, 115-143 (1972).
- 5) 新谷久男, 加賀吉栄: 農林水産技術会議研究成果, **57**, 144-153 (1972).
- 6) A. Rosenfeld and A. C. Kak: デジタル画像処理 (長尾 真, 金出武雄, 木戸出正継, 田村英行, 松山隆司訳), 近代科学社, 東京, 1988, p. 2.
- 7) 長尾 真: 情報科学辞典 (石田晴久, 稲垣康善, 田中英彦, 辻井潤一, 所 真理雄, 中田育男, 米澤明憲編), 岩波書店, 東京, 1990, p. 114.
- 8) 塩野 充: BASIC 画像処理プログラム 150 選, オーム社, 東京, 1988, pp. 91-92, pp. 120-121.
- 9) 上坂吉則, 太原育夫: パソコンで学ぶパターン認識と図形処理, 文一総合出版, 東京, 1985, pp. 10-11.
- 10) 田中 豊, 垂水共之, 脇本和昌: パソコン統計解析ハンドブック II 多変量解析編, 共立出版, 東京, 1987, pp. 226-251.