

# NOAA-SST でみるイカナゴ稚仔魚期の仙台湾の海況

永島 宏\*

State Estimation of the Sea in Sendai Bay using SST Spatial Continuity  
Derived from NOAA Satellite during the Period of Sand Lance Larval and Juvenile Stage

Hiroshi NAGASHIMA\*

キーワード：イカナゴ，空間統計，NOAA，SST，仙台湾，海況

## 目 的

イカナゴの稚仔魚は，宮城県の春季沿岸漁船漁業の重要な漁獲対象であり，4月・5月の2ヶ月間にわたり火光利用敷網漁業によって水揚げされる。漁獲加入までの浮遊期仔魚は，海況による輸送の影響を受けることが知られており，この輸送による拡散が1月のふ化直後における仙台湾海域の分布調査で推定される発生量と，4月からの漁期間漁獲量に明瞭な相関が見られない原因の一つと考えられる。仔魚の分布動態と気象・海況条件の関連については，全国的に瀬戸内海等において研究が進んでいるが，外洋性の開放型湾と言える仙台湾漁場では今のところ例を見ない。そこで，最初の取りかかりとして，社団法人漁業情報サービスセンターから提供された三陸沿岸海域の観測衛星 NOAA の海面水温（SST）情報を基に，それにみられる水温分布の空間的特徴を空間統計学の手法により解析し，仙台湾における海況類型化の可能性を検討すると共に，産卵期である1月から漁期終了の5月までの仙台湾海域の海況について，その特徴を整理した。

## 方 法

### 1 使用したデータ

1996年から2000年の1月から5月までを解析対象期間とし，その間に(社)漁業情報サービスセンターから提供された三陸沿岸海域 NOAA-SST 衛星画像データのうち，月ごとに雲の影響が少ない画像を1つ選んで解析に使

表1 選択画像とその画質及び空間特性

年	月	日	画質		空間特性	
			有効画素数	有効率%	主軸*	A値
1996	1	7	3,374	98.3	171	34.23
1996	2	8	3,378	98.4	14	10.07
1996	2	14	3,395	98.9	171	9.50
1996	2	23	2,989	87.1	171	74.29
1996	3	4	3,303	96.2	171	37.44
1996	3	14	3,396	99.0	14	19.03
1996	3	27	3,321	96.8	32	9.77
1996	4	4	3,290	95.9	172	25.53
1996	4	15	3,190	92.9	90	67.78
1996	4	24	3,431	100.0	171	2.48
1996	5	7	3,363	98.0	115	11.12
1996	5	15	3,351	97.6	90	18.85
1996	5	26	3,380	98.5	90	116.75
1997	1	4	3,191	93.0	112	52.90
1997	1	17	3,408	99.3	90	18.62
1997	1	28	3,389	98.7	171	48.20
1997	2	5	3,198	93.2	31	11.46
1997	2	14	3,396	99.0	171	24.29
1997	2	24	3,379	98.5	16	7.12
1997	3	6	3,413	99.4	93	11.31
1997	3	13	2,749	80.1	172	4.19
1997	3	25	3,386	98.7	73	10.31
1997	4	1	2,596	75.6	112	122.17
1997	4	14	3,432	100.0	170	15.01
1997	4	25	3,432	100.0	90	12.91
1997	5	6	3,432	100.0	90	24.19
1997	5	13	3,432	100.0	112	168.62
1997	5	26	2,419	70.5	172	60.69
1998	1	8	3,298	96.1	173	71.10
1998	1	17	3,273	95.4	31	78.88
1998	1	28	3,257	94.9	175	63.93
1998	2	1	3,381	98.5	171	62.52
1998	2	14	3,160	92.1	90	27.62
1998	2	24	3,276	95.5	75	54.05
1998	3	4	3,379	98.5	112	27.08
1998	3	14	3,309	96.4	90	21.63
1998	3	26	3,385	98.6	95	3.96
1998	4	5	3,184	92.8	11	8.82
1998	4	12	3,392	98.8	95	39.99
1998	4	21	3,277	95.5	32	59.71
1998	5	7	3,267	95.2	55	83.29
1998	5	21	3,389	98.7	54	58.96
1998	5	28	3,392	98.8	171	32.96
1999	1	6	3,297	96.1	32	39.36
1999	1	19	3,293	95.9	32	40.36
1999	1	27	3,109	90.6	71	19.49
1999	2	5	3,263	95.1	72	16.28
1999	2	18	3,065	89.3	113	21.80
1999	2	24	1,899	55.3	112	63.23
1999	3	4	3,366	98.1	112	5.59
1999	3	14	3,367	98.1	94	13.45
1999	3	25	3,084	89.9	94	11.53
1999	4	5	3,281	95.6	74	32.68
1999	4	17	3,314	96.6	171	96.42
1999	4	23	3,328	97.0	171	124.82
1999	5	7	3,282	95.6	172	35.87
1999	5	13	3,424	99.8	90	33.74
1999	5	31	3,385	98.6	94	19.11
2000	1	5	3,245	94.6	32	66.11
2000	1	19	3,258	94.9	65	30.85
2000	1	28	3,325	96.9	171	21.14
2000	2	4	2,975	86.7	71	8.65
2000	2	15	3,404	99.2	15	5.81
2000	2	25	3,273	95.4	14	12.95
2000	3	6	3,310	96.4	115	15.96
2000	3	14	3,359	97.9	65	2.71
2000	3	22	3,123	91.0	68	1.87
2000	4	5	3,298	96.1	95	3.44
2000	4	14	3,427	99.9	74	5.21
2000	4	26	3,381	98.5	31	8.77
2000	5	6	3,419	99.6	173	17.07
2000	5	16	3,418	99.6	172	32.09
2000	5	27	3,419	99.6	74	74.01

\*水産研究開発センター

用した表1 (総数73事例, 1996年1月中・下旬の2旬は良好な画像がなかったため欠損)。1999年2月は, 第二管区海上保安本部水路部による流れの実測値と衛星画像との関係を調べるため, 流況観測期間中の3日間を選んだ表2。

表2 流況観測期間の選択画像

年	月	日	画質		空間特性	
			有効画素数	有効率%	主軸°	A値
1999	2	18	100	100.0	14	5.26
1999	2	21	100	100.0	94	0.89
1999	2	24	68	68.0	12	8.91

画像データは, 1997年7月までは最も質が良い1パスの画像が, それ以降は1日8パスの最高値コンポジット画像が提供された。この画像には, スキャンラインノイズ除去等を目的としたデジタルフィルタはかけられていない。選択した画像データの512ライン×512ピクセルの8ビット輝度レベル値群から仙台湾海域をカバーする80ライン×50ピクセル (38°25' N, 140°55' E・37°38' N, 141°32' Eを端とする長方形区画, 1画素の大きさは1.38 km四方) を切り出し, 陸域の0値及び雲域の255値を除去した後, 各画素レベル値に方形区の南西端を原点とするXY座標値を付加したデータセットを作成した図1。

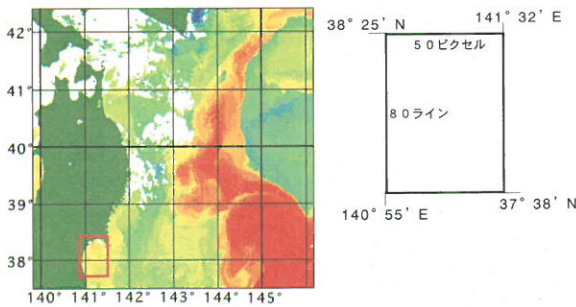


図1 輝度レベル値切り出し海域 (社)漁業情報サービスセンター

2 空間統計学について

今回解析に利用した空間統計学の基本概念について簡単に述べる。仙台湾海域の80ライン×50ピクセルに含まれる4,000画素値の内, 海域にあたる3,432画素値について, ある距離hだけ離れた総ての画素値の組をもとめ, この両者の画素レベル値の相関関係を見る。画素値群に空間的な連続性がある場合, 一般的に距離hが近ければレベル値の相関関係は強く見られ, 距離hが離れるに従って相関関係が見られなくなることが推察される図2。

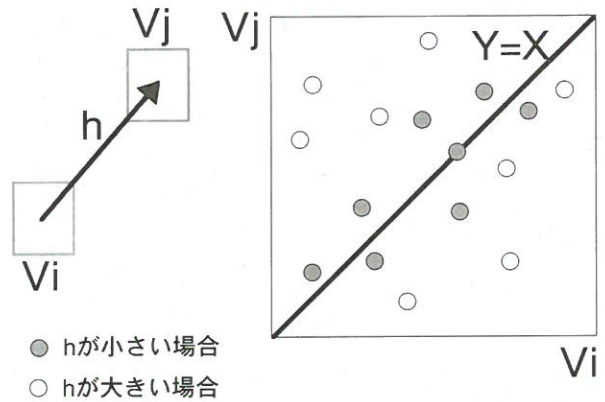


図2 画素輝度レベル値の空間的相関関係

距離hによる両者の相関の強さを表す指標としては, 相関係数や共分散の値などが考えられるが, 空間統計学では以下の式で表されるセミバリエンス (セミバリオグラムもしくはバリオグラム) が良く使われる。

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(i,j) | h_{ij} = h} (v_i - v_j)^2$$

$r(h)$  : 距離hのセミバリエンス (セミバリオグラム, バリオグラム)

$N(h)$  : データセットから得られる距離hだけ離れた組の総数

$v_i$  : データセットの中のある画素値

$v_j$  :  $v_i$  から距離hはなれた画素値

距離h離れた2つの画素値の間の相関図において, 45°線 ( $y = x$ ) は両者の値がまったく同じである空間的な慣性を示し, 両者の値の差 ( $v_i - v_j$ ) は空間的な慣性軸 (45°線) からの距離を表している。よってセミバリエンス $r$ は, 距離h離れた画素値間の空間的な慣性軸からの距離の自乗和を2で割り (自乗和計算時に  $v_i$  を基準にあるhの  $V_i, V_j$  の関係

moment of inertia =

$$\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (V_i - V_j)^2$$

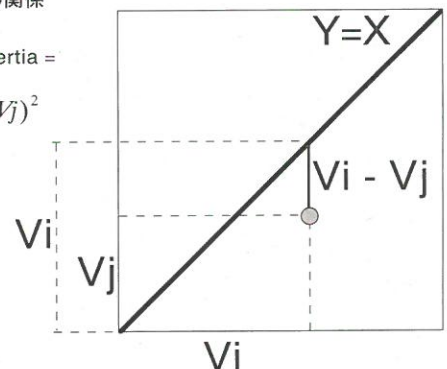


図3 画素輝度レベル値の空間的慣性モーメントとセミバリエンス

した場合と  $v_j$  を基準にした場合で同じ値が2回加えられる), 更にその時の組の数で割って標準化した値であり (慣性モーメントを表す), 対象とする画素値群 (画像) が持つ距離  $h$  における空間的慣性の強さを示す指標値 (値が小さいほど慣性が強い) であると言える図3。

さらに,  $h$  をベクトルとして考えると, 方向性も加味した空間的關係が計算できる。図4は, 南北方向と東西方向軸を基に距離と方向により計算されたセミバリエンス値の分布を表した等値線図 (セミバリエンスマップ) の例である。セミバリエンスの定義から, セミバリエンスマップは座標軸原点を中心とした点対称の図になる。

対象とする画素値群が方向性を持たない場合, セミバリエンスマップは同心円状になるが, 方向性を持つ場合は, ある方向軸上のセミバリエンス値の平均値 (以下, A 値と呼ぶ) を計算することで, 図4の様に画素値群の空間的な連続性が最も大きい方向軸 (A 値が最も小さい方向軸で, 真方位に基づく角度で表わし, 以下「主軸 (major axis)」と呼ぶ) が決まる。実際の計算では, 厳密にベクトル  $h$  に対応する組の数が十分得られない場合が多いことから, 一般には距離および方向において幅 (interval, tolerance) をもたせて, その領域内 (class) にあるデータを計算に使用する図5<sup>1)</sup>。本報では, 対象の NOAA-SST 輝度レベル値データセットからセミバリエ

スマップを作成し, それぞれの画像における主軸を決定した。計算・作図処理には, 空間統計専用解析ソフトウェアである GS + (米国 Gamma Design Software 社) を使用した。

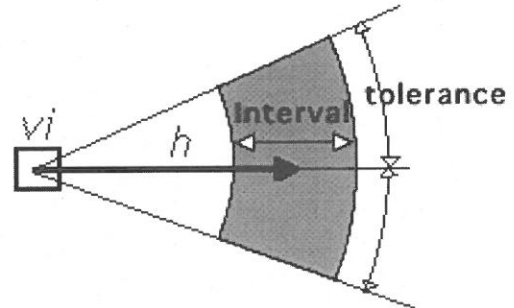


図5 ベクトル  $h$  に対応するデータを求める距離の間隔幅と方向の幅  
灰色域が領域 (class)

### 3 SST 空間特性による海況類型化の可能性

使用したソフトウェアの特性と, 領域 (class) 分けを行う際の距離および方向の幅の差が計算結果に及ぼす程度を見ると共に, 主軸が表す意味を感覚的に把握するために, 東西方向軸に沿って値が減少する図6のようなテストパターンを用いて, 異なる距離幅, 方向幅でセミバリエンスマップを作成し, それぞれの主軸をもとめた。

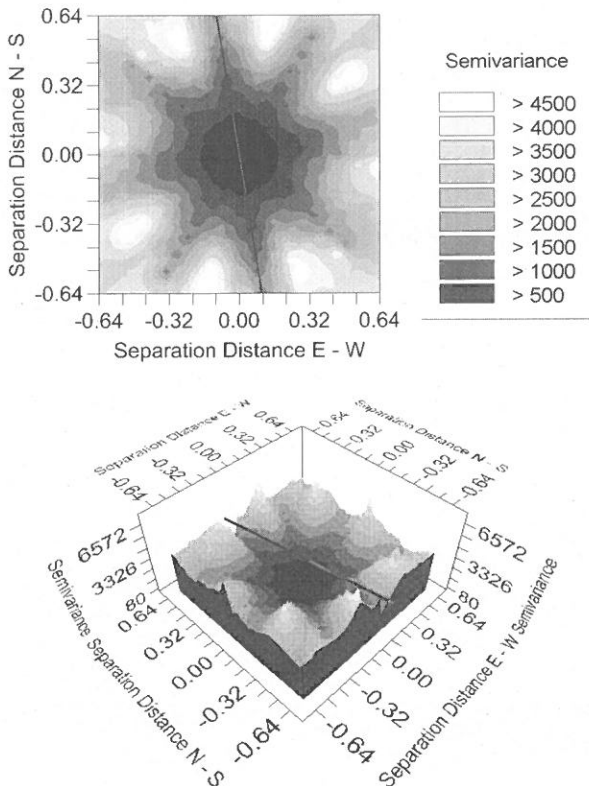


図4 セミバリエンスマップと空間的連続性の最大軸 (主軸)  
上図: 二次元表示 下図: 三次元表示

N	50	50	49	48	47	~	4	3	2	1
	49	50	49	48	47	~	4	3	2	1
	48	50	49	48	47	~	4	3	2	1
	47	50	49	48	47	~	4	3	2	1
S						~				
	4	50	49	48	47	~	4	3	2	1
	3	50	49	48	47	~	4	3	2	1
	2	50	49	48	47	~	4	3	2	1
座標値	1	50	49	48	47	~	4	3	2	1
		1	2	3	4	~	47	48	49	50
		E - W 座標値								

図6 テストパターン

次に, 流れの実測値と主軸の関係を見るために, 第二管区海上保安本部水路部が1999年2月17日から2月24日にわたり仙台湾中央部 (38°10'00" N, 141°20'00" E, 水深45m) 図7の観測層10mで行った流速観測結果<sup>2)</sup>と, その時の NOAA-SST 輝度レベル値主軸との関係を調べた。この時の NOAA-SST 値は流況観測位置を中心とした10ライン×10ピクセルの画素群を使用した表2。また, 観

察された輝度レベル値の空間分布に対する風の影響を検討するため、仙台管区気象台発行の宮城県気象月報から画像撮影年月日と前後1日の3日間にわたる仙台湾海岸線に最も近い測候所である気象庁石巻測候所および仙台空港測候所における観測風向平均値と主軸との関係を調べた図7。更に、湾内浅海域の流れは海底地形の影響を

受けると考えられることから、仙台湾海底地形の空間特性について海洋情報研究センター（財団法人日本水路協会）発行の1kmメッシュ海底地形デジタルデータ（水深値）を用いて、前述の仙台湾海域と同じ長方形画内において輝度レベル値と同様の解析を行った。最後に、1971年2月から2000年6月にわたり、宮城県漁業調査指導船による定線海洋観測で得られた仙台湾内調査点図7の所定層総ての水温・塩分値を用いて水温1°、塩分0.1間隔で出現頻度を計数し、T-S図上の月別最頻値の分布をみると共に、観測期間中の欠測がなかった湾内2調査点（38°00' N, 141°15' E・38°14', 141°20'E）の $\sigma_t$ 鉛直分布から解析対象期間の海洋特性をみた。以上の結果を踏まえ、解析対象期間の73事例に見られた主軸の分布と工藤<sup>31)</sup>が示した仙台湾への沖合水の流入型との対応を検討した。

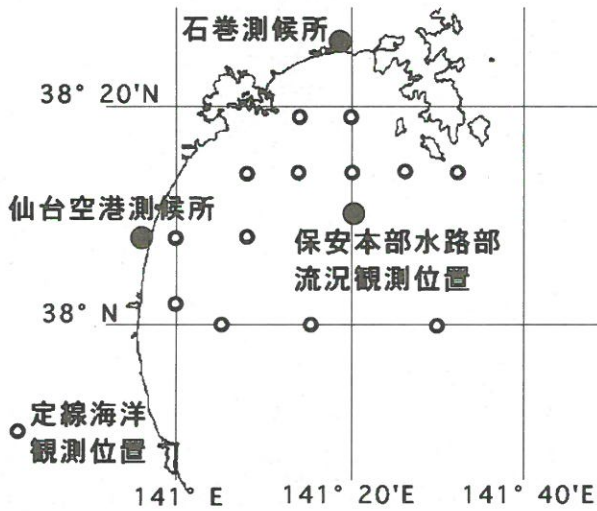


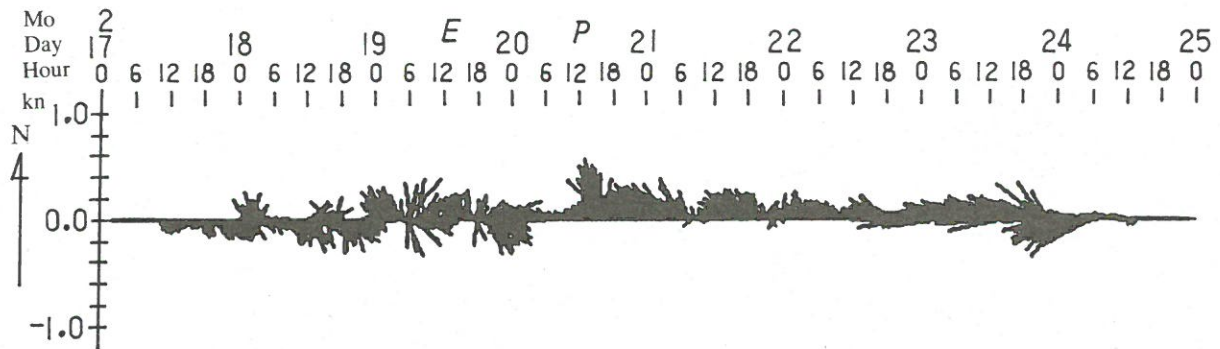
図7 流況観測，風向観測，定線海洋観測位置図

結果および考察

1 テストパターンの解析結果

感覚的に、テストパターンの主軸は、南北方向軸0°（180°）と東西方向軸90°であることが推察される。実際に解析に使用される可能性がある間隔幅、方向幅の範

Stick Diagram Data No. :210322 Layer: 10m



Stick Diagram of Wind(Isinomaki)  
(Observation, Dir. :+180)

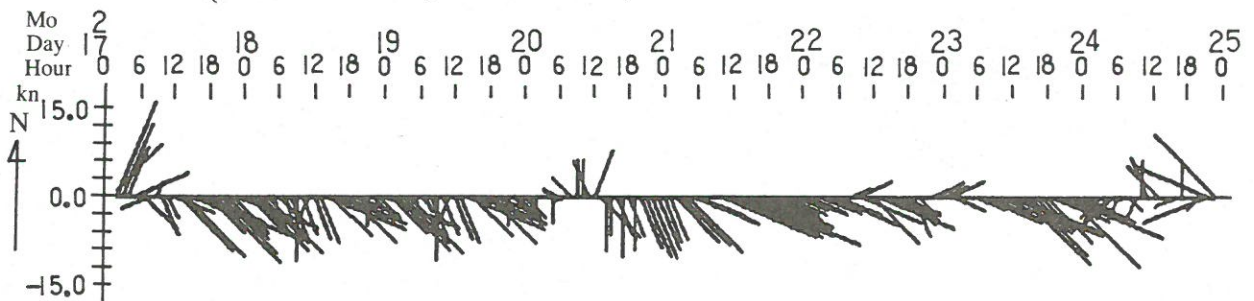


図8 解析対象期間における流れと風の観測事例  
上図：流れの時系列 下図：風の時系列  
第二管区海上保安本部水路部より転記

囲で主軸をもとめた結果を表3に示した。主軸として決定されたのは東西方向軸が最も多く、間隔幅・方向幅の大きさにかかわらず、常に主軸は90°になった。一方、南北方向軸は方向幅にかかわらず、間隔幅が小さい場合は0°(180°)になったが、間隔幅が大きくなるにつれ西偏した(～176°)。また、間隔幅が大きくなると、南北方向軸が主軸になる傾向が見られた。以上から、間隔幅を適当に取れば主軸として多く決定されるのは等値線方向よりは、尾根線方向(もしくは谷線)であり、尾根(谷)線方向の主軸は間隔幅・方向幅の差に対してロバストであることが分かる。そこで、今回の解析では「SST値の連続的な増加もしくは減少方向」を主軸により検出することを目的とした。また、領域(class)を決定する間隔幅・方向幅は、テストパターンの解析結果からセミバリエーションの最大計算距離hをデータから取り得る最大距離の80%とし、その10分の1を間隔幅に取り、方向幅は22.5°とした。

表3 テストパターンの解析結果 □内は主軸

距離の間隔幅	方向幅	空間的に連続的な方向幅(A値)		距離の間隔幅	方向幅	空間的に連続的な方向幅(A値)	
2	1°	0° (51.00)	90° (50.05)	2	15°	0° (65.63)	90° (58.84)
4	1°	177° (57.59)	90° (56.20)	4	15°	177° (65.78)	90° (49.81)
6	1°	176° (72.08)	90° (61.61)	6	15°	176° (83.80)	90° (73.64)
8	1°	176° (77.52)	90° (74.48)	8	15°	176° (80.66)	90° (81.44)
2	5°	0° (53.59)	90° (57.17)	2	20°	0° (74.66)	90° (65.61)
4	5°	177° (58.03)	90° (56.61)	4	20°	177° (72.06)	90° (54.38)
6	5°	176° (74.50)	90° (68.46)	6	20°	176° (90.75)	90° (82.47)
8	5°	176° (77.28)	90° (79.40)	8	20°	176° (83.32)	90° (83.87)
2	10°	0° (57.88)	90° (55.91)	2	25°	0° (85.12)	90° (70.78)
4	10°	177° (60.97)	90° (53.66)	4	25°	177° (79.67)	90° (64.26)
6	10°	176° (78.06)	90° (67.34)	6	25°	176° (98.70)	90° (95.06)
8	10°	176° (78.58)	90° (80.12)	8	25°	176° (86.56)	90° (86.54)

2 流況観測値と主軸の関係

第二管区海上保安本部水路部による流況観測結果を図8に示した。1999年2月17日の観測開始から20日0時頃までの流れは、1日1回潮の潮流的変動であり、以降は北西～西の流れが23日20時頃まで卓越し、観測終了日頃の24日は西南西の流れであったことが報告されている。更に、その流れの変化は沖合暖水の流入によること、観測期間の石巻の風向は北西風が卓越しており、流向と風向には相関がなかったことが報告されている<sup>2)</sup>。

この観測期間における2月18日(1日1回潮流的変動の期間)、2月21日(北西～西の流れが卓越した期間)、2月24日(西南西の流れ)のNOAA-SST輝度レベル値によるセミバリエアンスマップと主軸を図9に示した。2月18日の主軸は14°(A値5.26)になったが、他の方向軸(56° A値5.53, 153° A値5.55, 111° A値5.82)に比べて明瞭な空間的方向性は見られなかった。この時、水路部が解析した潮流調和分解結果では、主方向は77°(主軸と同じ真方位では13°)で<sup>2)</sup>、決定された主軸とほぼ一致した。

2月21日の主軸は94°となり、セミバリエアンスマップから西北西～東南東方向に明瞭な方向性が見られた。2月24日の主軸は12°となり、南南西～北北東方向に強い方向性が見られた。以上の結果から、SSTの主軸と実測による流れの卓越方向は一致した。

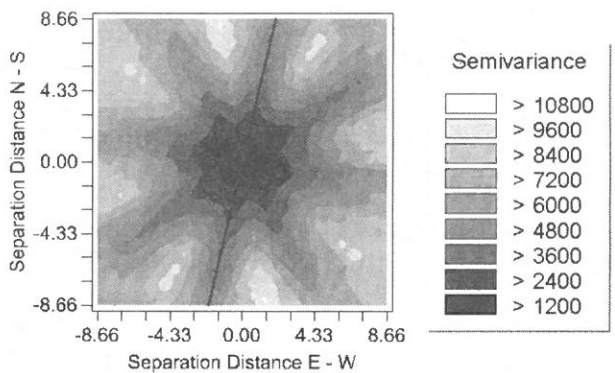
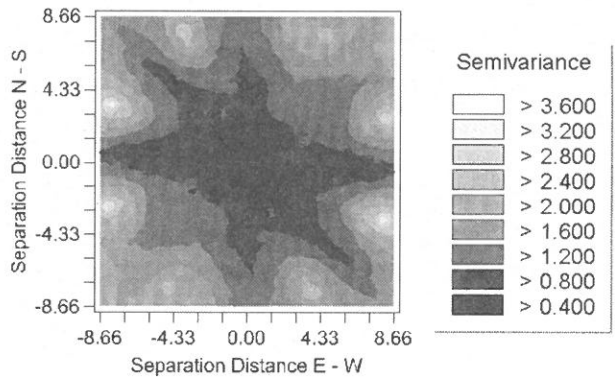
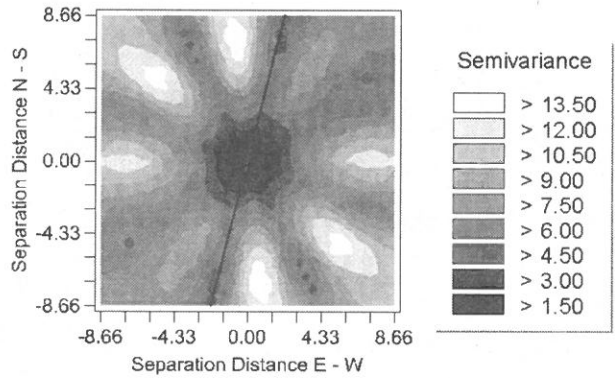


図9 流況観測時のNOAA-SSTセミバリエアンスマップ  
 上図：1999年2月18日 主軸14°  
 中図：1999年2月21日 主軸94°  
 下図：1999年2月24日 主軸13°

3 主軸の分布特性

解析対象期間における73事例の輝度レベル値主軸の分布を、0°から179°までの1°毎の事例数で示した図10。計算によって得られた主軸には事例数が多い特異値が見

られた。最も多かったのは171°で、全事例の16%を占めた。次に多い順に、90°が12%、112°が8%、32°が7%になった。また、主軸の分布は一樣ではなく、特異値の前後に分布が偏っていた。

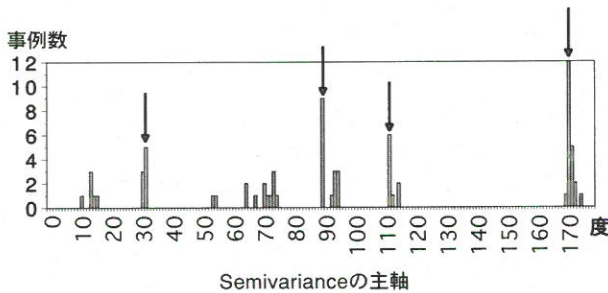


図10 解析対象73事例の主軸の分布  
矢印は主軸特異値

4 観測風向と主軸の関係

画像撮影年月日と前後1日の3日間にわたる気象庁石巻測候所および仙台空港測候所における観測風向平均値と主軸との関係を図11に示した。風向平均値に対する主

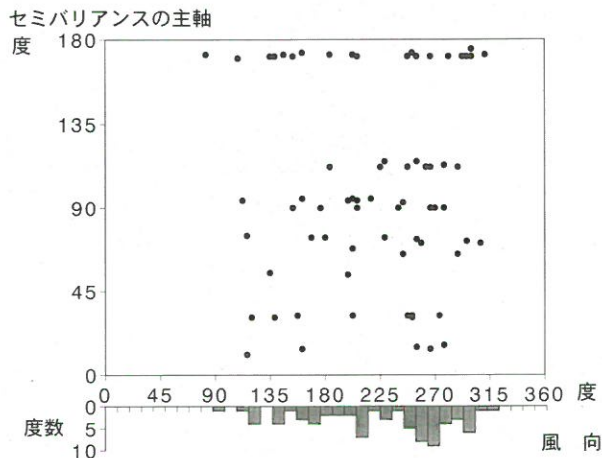


図11 風向平均値と SST 主軸の関係  
下図は平均風向の度数分布

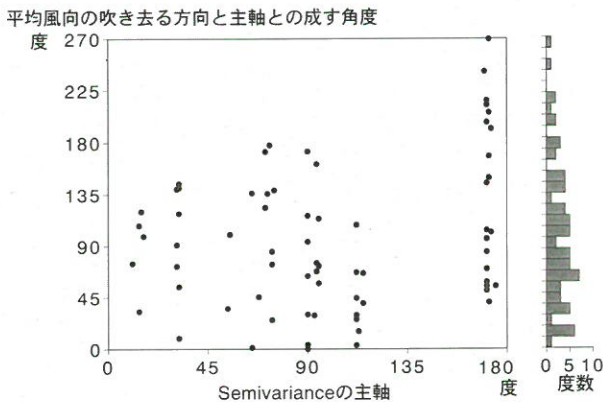


図12 SST 主軸と平均風向の吹き去る方向と主軸のなす角度との関係  
角度は時計まわり、右図は角度の度数分布

軸の分布はばらつき、明瞭な関係は見られなかった。SST 主軸と平均風向の吹き去る方向と主軸のなす角度との関係も明瞭な関係は見られなかった図12。さらに、風向の吹き去る方向から見た時計まわりの主軸の角度にも特異値が見られず、0°から270°まで一様に分布した。特に、主軸の分布で見られた最頻値である特異値171°付近では、対応する角度は幅広くなった。

5 仙台湾海底地形の空間特性

仙台湾海底地形の俯瞰図と、その水深値によるセミバリエンスマップを図13に示した。セミバリエンスマップから空間特性としてはかなり強い方向性が見られ、主軸は171°になった。これは、仙台湾の谷線の方向を示すと考えられ、SSTの主軸分布でみられた最頻値である171°と一致した。

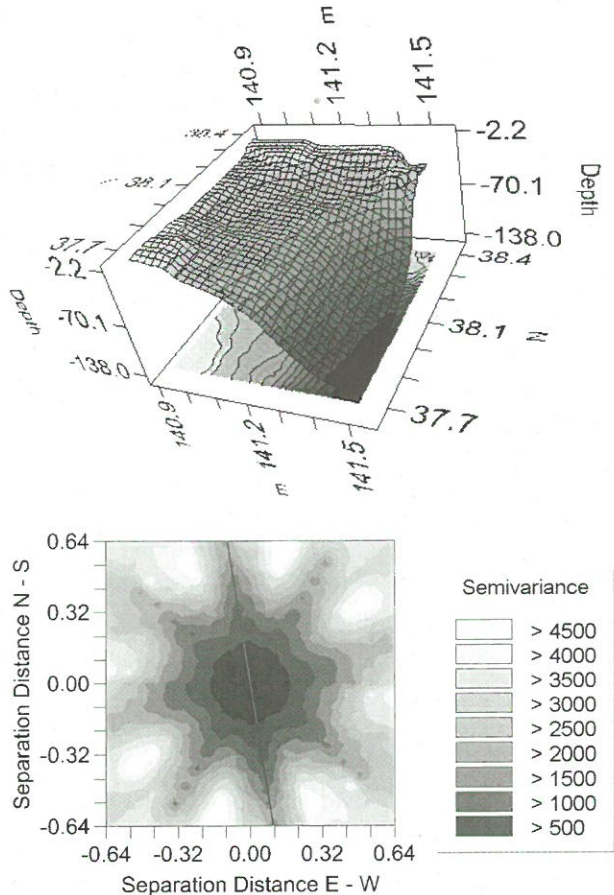


図13 仙台湾海底地形の俯瞰図(上)と水深値のセミバリエンスマップ(下)

6 海洋観測による仙台湾の特徴

図14に海洋観測によって得られたTS月別最頻値の分布と時系列を示した。仙台湾のTS最頻値は、水温5°から20°、塩分33から34、 $\sigma_t$ 23から26台の間に分布し、時系列は8の字状になった。解析対象期間のTS最頻値は1

月が最も水温・塩分が高く、4月までは $\sigma_t$ 26.2前後の等密度線上に沿って水温・塩分が低下した。

仙台湾2箇所の調査点における $\sigma_t$ 鉛直分布は図15、1月から5月にかけては25から26( $\text{kg}/\text{m}^3-1000$ )台で等密度になり、鉛直混合が発達していた。

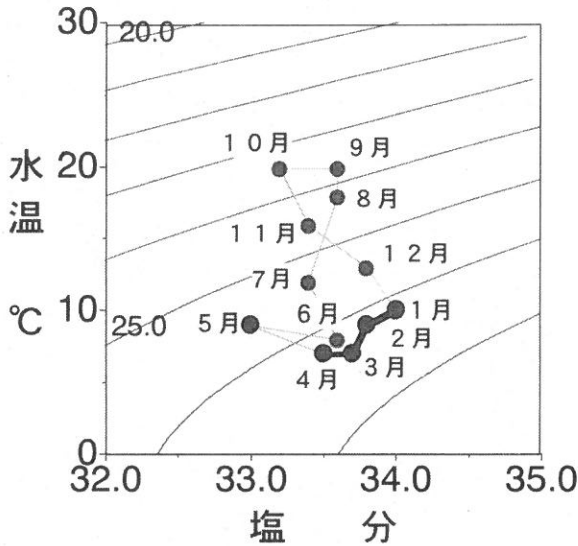


図14 仙台湾のTS月別最頻値  
1971年2月から2000年6月まで

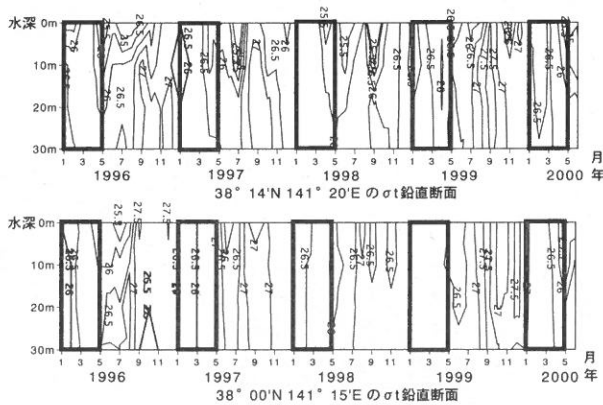


図15 仙台湾2調査点の $\sigma_t$ 鉛直分布  
□は解析対象期間(1月から5月)

## 7 SSTが示す主軸の意味

SST情報によって水塊の移動を把握する事例としては、Sakaiら<sup>5)</sup>が、表層水のSSTパターンは変化することなく移動することを仮定して、NOAAのバンド4から得られたある時間間隔をおいた2つの同海域のSST画像を基に、適当な方形区(テンプレート)のSSTパターンで両者の画像の相互相関係数を計算することで、表層水塊の移動距離と方向をもとめる方法を考案し、福島県沖合海域・日本海対馬暖流域・熊野灘において実測値との比較検討を行い成果をあげている。ただし、この方法は時

間を経てもターゲットとする方形区のSSTパターンは変化しないことが条件であることから、表層水塊の形状が変動しやすい湾や内海では適用できないとしている。今回検討した方法は、ある時間断面におけるSSTの空間特性もしくは、1日8パスのコンポジット画像(物体の運動を調べる多重露光写真と同じ)のSSTの空間特性を見るものであるが、今まで述べたとおり、解析対象期間における流況観測による卓越流向とSST主軸が一致したこと、同流況観測では、流向と風向の間には明瞭な関係は見られなかったこと、平均風向と主軸との関係を直接見た場合、両者の間には明瞭な関係が見られなかったこと、浅海域での水塊の移動に大きな影響を与えられられる海底地形の空間特性と主軸の最頻値が一致したこと、解析対象期間における仙台湾のNOAA-SST輝度レベル値の空間分布は、湾内沿岸水と異なる水温を持つ沖合水が流入した場合はその時の水塊分布を反映し、水温の連続的変化の尾根線を示す主軸は、流入する沖合水塊の流軸方向を示していると推察される。さらに、本県の定線海洋観測の結果から、仙台湾における鉛直方向の $\sigma_t$ 分布は、鉛直混合が発達する1月から5月にかけては25から26( $\text{kg}/\text{m}^3-1000$ )台で等密度になることから、解析対象期間において仙台湾の流動は順圧モードにあり、上層と下層で同じような流動特性を示すことを意味し<sup>7)</sup>、SSTの空間特性が仙台湾の水塊変動を表すことをより強く示唆するものである。

## 8 沖合水流入パターンと主軸の関係

工藤<sup>3)4)</sup>は、仙台湾における1967年から1969年までの海洋観測結果から、塩分を基に水塊を区分し、仙台湾への沖合水の流入現象を4つの類型に分けている図16。今回の73事例の輝度レベル値主軸の分布は一様ではなく特異値の前後に分布が偏っていたこと、特異値の主軸と工藤が模式で示した沖合水の流入方向との相同から、最尤的に出現頻度が多い順に4つまでの主軸特異値とその前後の値が工藤の分類に当たると考えると、主軸170°から175°(全事例の29%)は工藤が示した沖合水が南方から影響する型図17、主軸90°から95°(全事例の22%)は東方から影響する型図18、主軸112°から115°(全事例の12%)は南東方から影響する型図19、主軸31°から32°(全事例の11%)は二方向から影響する型図20に相当する表4。

残りの19事例(26%)である主軸11°から16°・54°から75°は、新しい型か4つの型から派生した型であると考えられるが、11°から16°(全事例の8%)は、第二管

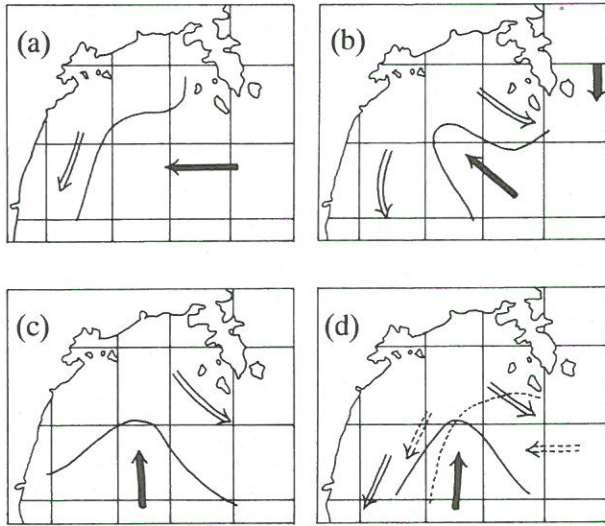


図16 仙台湾における沖合水と沿岸水流出の模式図  
工藤<sup>31)</sup>より

表4 沖合水流入型の出現頻度

沖合水流入型	主軸の範囲	事例数	割合%
南方影響型	170~175°	21	29
東方影響型	90~95°	16	22
南東方影響型	112~115°	9	12
二方向影響型	31~32°	8	11

区海上保安本部水路部により1999年2月17日から2月20日に観測された流況実測値との関係で見られたように、沖合水の影響を受けていない潮汐変動を示している可能性が強い図21。残りの54°から75°の範囲に含まれる群も、その中に際立って出現頻度が多い特異値がなく、衛星画像からも明瞭な水塊の分布パターンが見られないことから、沖合水の湾内流入後の遷移期もしくは沖合水の影響以外の要因による事例であると推察できる図22。イカナゴの産卵期である1月から火光利用敷網漁期終了の5月までの解析対象期間における仙台湾海域の海況は、「金型」である仙台湾の海底地形の空間特性から、沖合水が仙台湾の谷筋に沿って南方から影響する型（主軸171°）が卓越する。工藤<sup>34)</sup>の指摘から、この時の沖合水は北上暖水である。

9 沖合水流入とイカナゴ仔魚の輸送

1月から3月までの仙台湾の海況は、4月から始まる本県コウナゴ春漁にとって重要な意味を持つ。主産卵場の位置と、仙台湾内の沿岸水流出パターンによっては、本県にとって資源の無効拡散につながる可能性があるからである。仙台湾の流海況・海水交換に影響を与える要因としては、外洋の海況変動による沖合水の湾内流入、吹

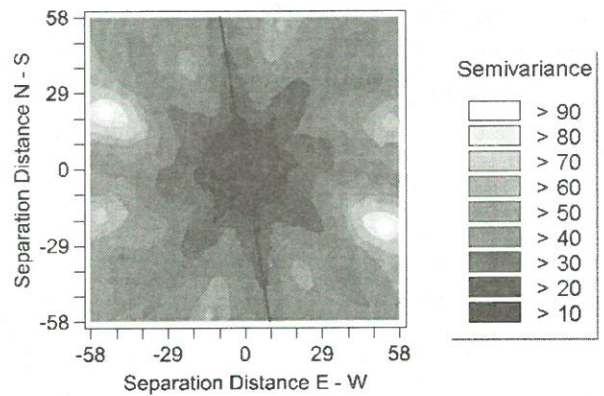
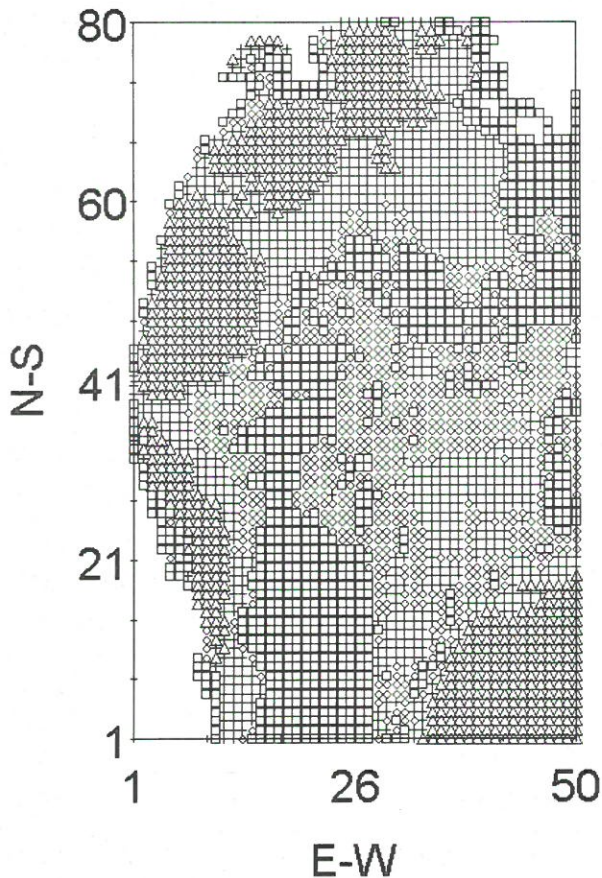


図17 南方影響型（主軸171°から175°）のSST分布（左図）とセミバリエンスマップ（右図）  
1998年5月28日  
SST分布は四分位値による区分け  
□<125 ◇<127 +<133 △<147(最大値)



送流，陸棚波による振動流，海面の加熱冷却に伴う熱塩循環などの非定常的な作用と，潮汐流（往復流），潮汐残差流などの一定方向の流れの作用などが考えられているが<sup>8)</sup>，今回の解析結果や主要な産卵場がない岩手県，茨城県沿岸でのイカナゴ稚仔魚の漁獲動向と沖合海況との関係が指摘されているように<sup>9-13)</sup>，仙台湾のような外洋性の開放型湾の場合，イカナゴ稚仔魚の大規模な輸送を引き起こすのは，浮遊期に起こる親潮や北上暖水等の沖合水の湾内流入による仔魚分布水塊の湾外流出が最も大きい要因であると考えられる。また，主軸をもとに分類した解析対象期間の旬別沖合水流入パターンを見ると，湾内の水塊変動は1ヶ月より短い時間間隔で起っていることが推察され表5，このことを裏付ける事例として，湾内の海流変動周期は2～3日程度であるとする報告もある<sup>2)</sup>。このような短期間におこる仙台湾全体の水塊変動をリアルタイムで把握する手段は，今のところ NOAA-SST 情報以外にはない。今回の結果は，1月から5月までのイカナゴ稚仔魚期において，NOAA-SST 情報を基に空間統計学的手法により仙台湾の水塊動態をリアルタイムでみる（モニタリング）ことができる可能性を示唆している。

表5 沖合水流入型の時系列

		1996年	1997年	1998年	1999年	2000年
1月	上	S	S E	S	D	D
	中	—	E	D	D	N
	下	—	S	S	N	S
2月	上	N	D	S	N	N
	中	S	S	E	S E	N
	下	S	N	N	S E	N
3月	上	S	E	S E	S E	S E
	中	N	S	E	E	N
	下	D	N	E	E	N
4月	上	S	S E	N	N	E
	中	E	S	E	S	N
	下	S	E	D	S	D
5月	上	S E	E	N	S	S
	中	E	S E	N	E	S
	下	E	S	S	E	N

S：南方影響型 E：東方影響型 SE：南東方影響型 D：二方影響型 N：流入なし

今後の課題

今回の結果を踏まえ，今後は NOAA-SST 画像データのモニタリングによる仙台湾水塊パターンの出現状況，調査船による直接観測で得られたふ化仔魚発生量水準・ふ化から火光利用敷網漁期前の期間の仔稚魚の時空間的な分布，火光利用敷網漁期の漁況及びコウナゴ漁獲量との関連について検討し，漁期前漁況予測の精度を向上させる技術開発を行いたい。

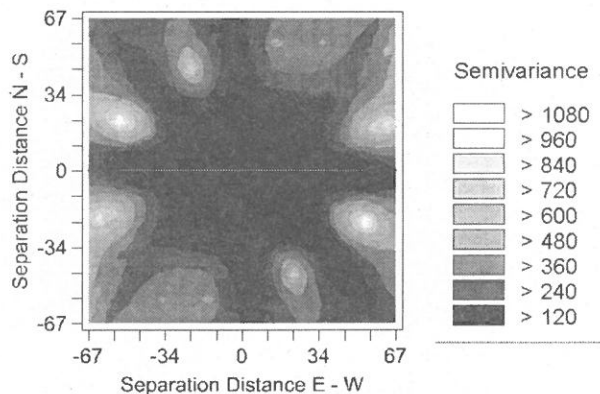
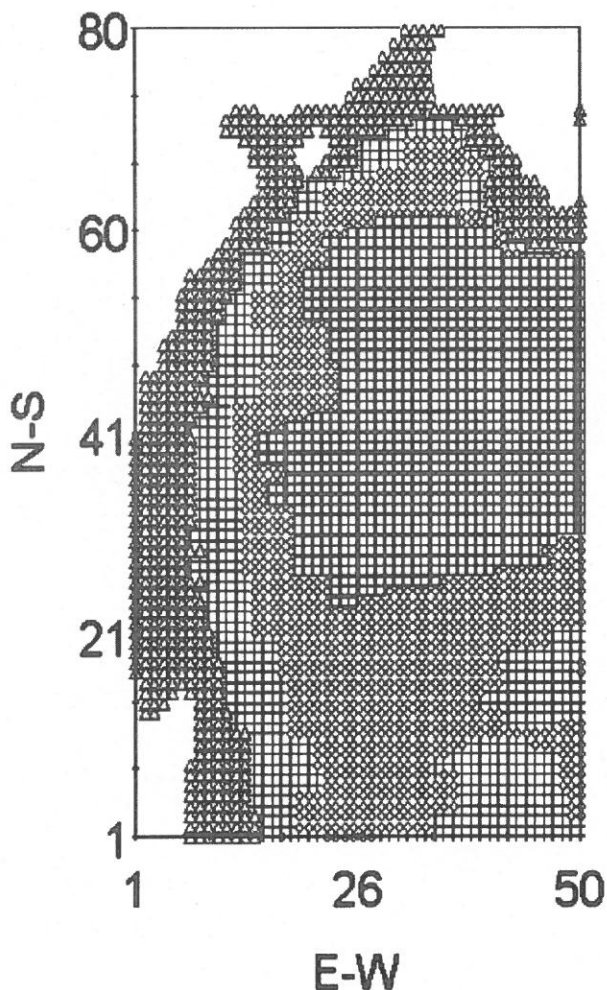


図18 東方影響型（主軸90°から95°）のSST分布（左図）とセミバリエンスマップ（右図）  
 1996年4月15日  
 SST分布は四分位値による区分け  
 □<75 ◇<77 +<80 △<156(最大値)

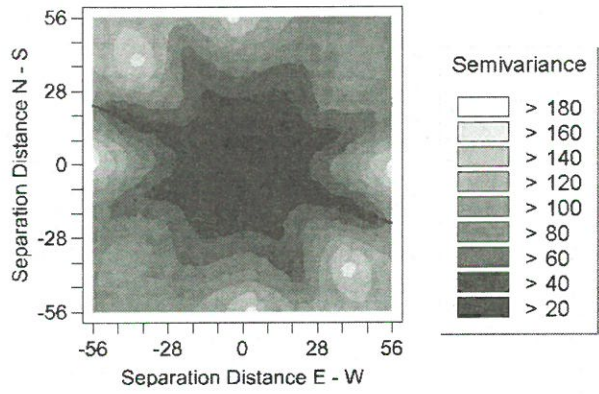
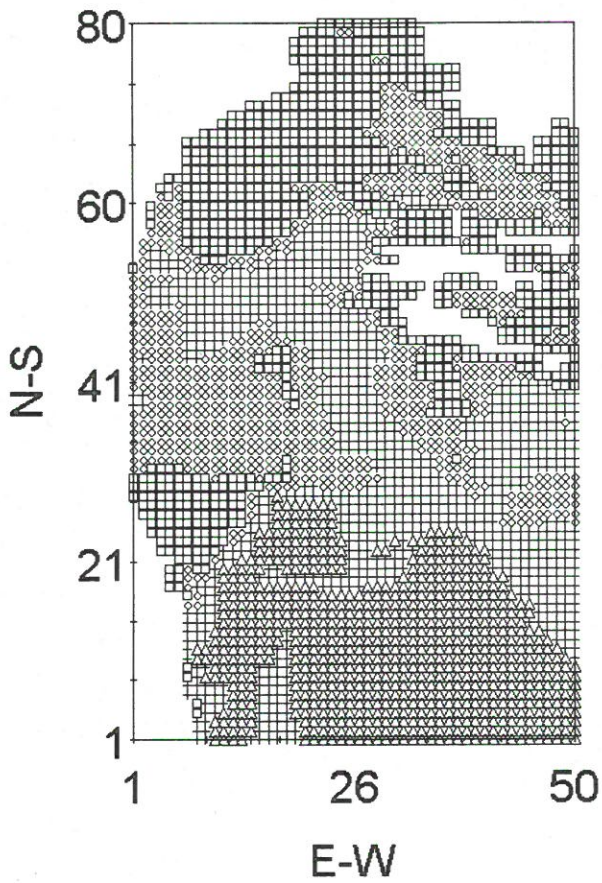


図19 南東方影響型 (主軸112° から115°) の SST 分布 (左図) とセミバリエンスマップ (右図)  
 1997年1月4日  
 SST 分布は四分位値による区分け  
 □<111 ◇<117 +<125 △<134(最大値)

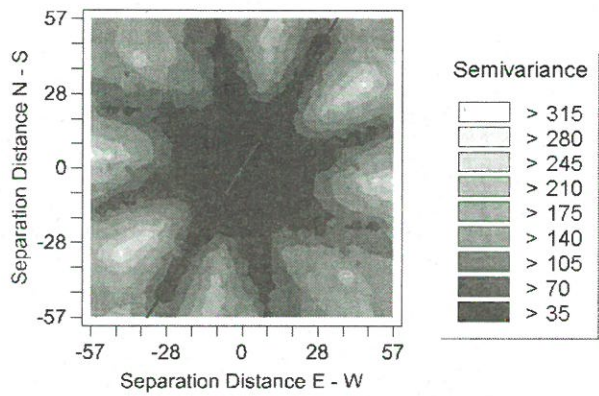
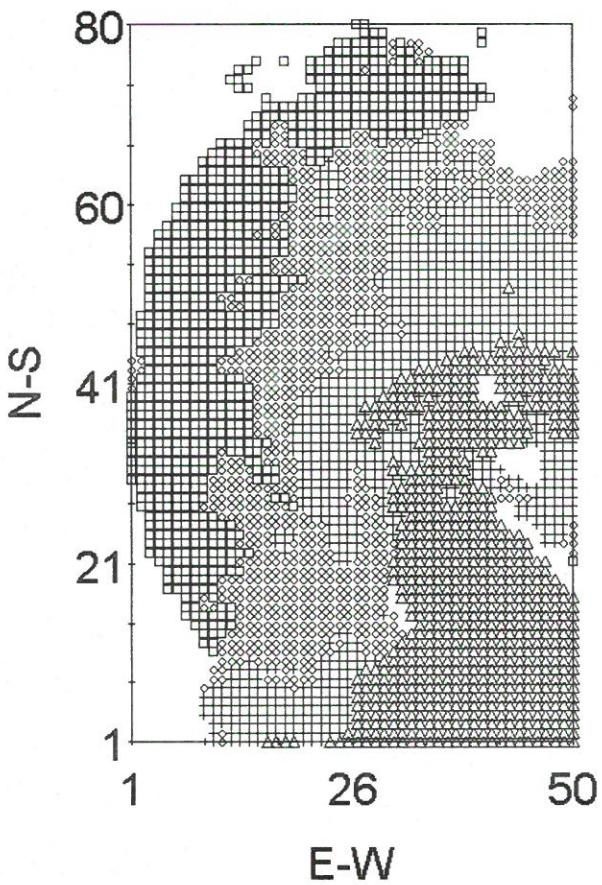


図20 二方影響型 (主軸31° から32°) の SST 分布 (左図) とセミバリエンスマップ (右図)  
 2000年1月5日  
 SST 分布は四分位値による区分け  
 □<111 ◇<119 +<126 △<145(最大値)

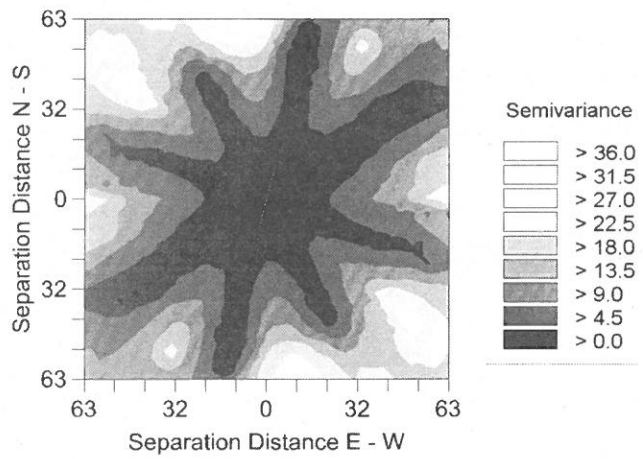
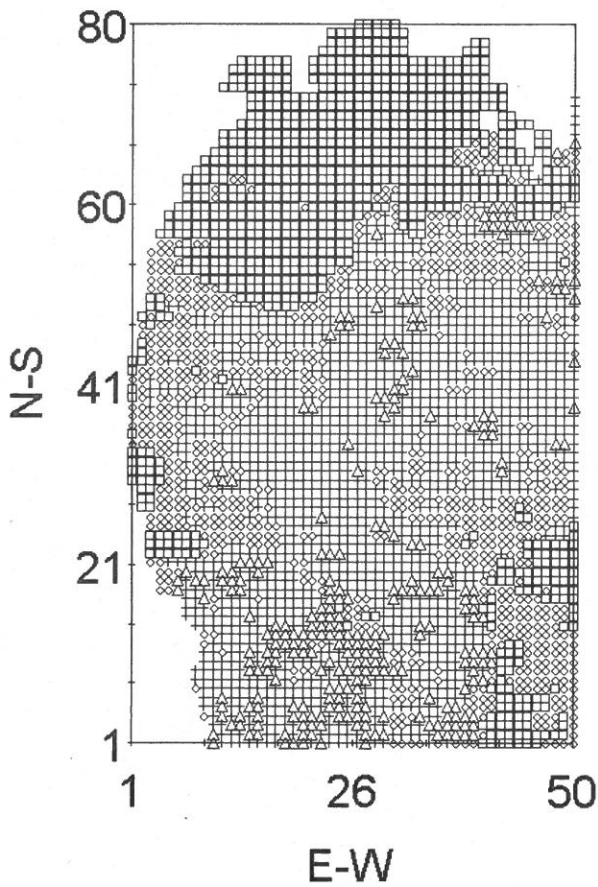


図21 主軸11°から16°の SST 分布事例 (左図) とセミバリエンスマップ (右図)  
2000年2月15日  
SST 分布は四分位値による区分け  
□<96 ◇<98 +<100 △<104(最大値)

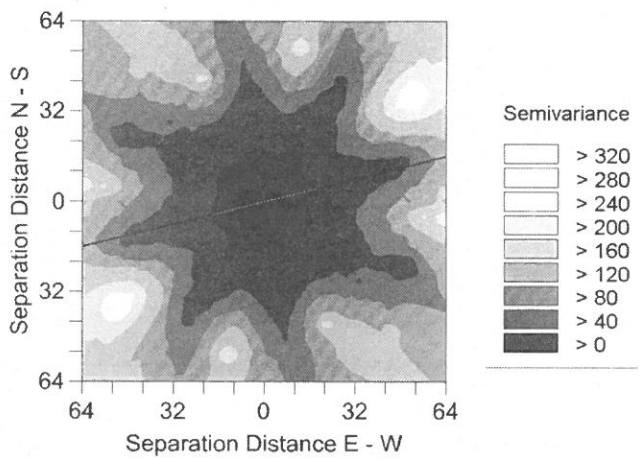
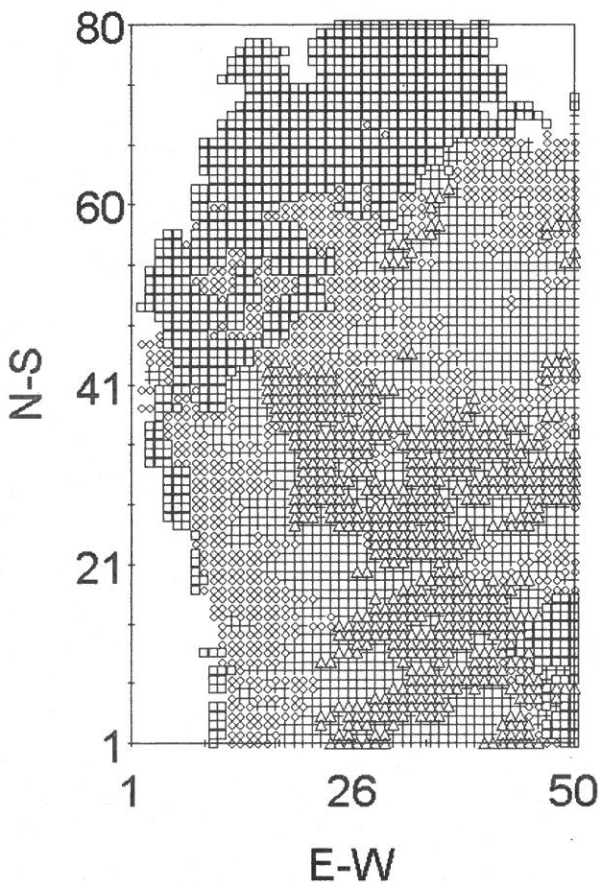


図22 主軸54°から75°の SST 分布事例 (左図) とセミバリエンスマップ (右図)  
1998年2月24日  
SST 分布は四分位値による区分け  
□<87 ◇<91 +<95 △<103(最大値)

## 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、仙台湾の流況観測に関する多くの資料を提供して下さった、第二管区海上保安本部水路部、NOAA-SST 情報の提供を受けた社団法人漁業情報サービスセンター、内容全般にわたりご意見を下さった独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所黒潮研究部海洋動態研究室長秋山秀樹博士に心から感謝申し上げます。

なお、本報告は財団法人リモート・センシング技術センターの主催により、2000年10月12日に愛知県水産試験場漁業生産研究所において開催された、衛星リモートセンシング推進委員会・水産ワーキンググループの特別テーマ報告会「沿岸資源への衛星データ活用」で発表した内容を基に加筆したものである。

## 参考文献

- 1) Edward H. Isaaks・R. Mohan Srivastava(1989) Spatial Description: Spatial Continuity. Applied Geostatistics, 42-183. New York, Oxford University Press, 561pp.
- 2) 第二管区海上保安本部水路部 (2000) 石巻湾付近の観測について. 沿岸流観測報告 石巻湾付近及び山田湾付近, 3-9, 17. 塩釜, 第二管区海上保安本部水路部, 18pp.
- 3) 工藤 英郎 (1971) 仙台湾に流入する沖合水について I. 昭和45年度, IBP. PM 北方冷水海域における生物群集の生産に関する総合研究, 仙台湾研究班, 9-26
- 4) 工藤 英郎 (1972) 仙台湾に流入する沖合水について II. 昭和46年度, IBP. PM 北方冷水海域における生物群集の生産に関する総合研究, 仙台湾研究班, 11-23
- 5) Shinichi Sakai・Masafumi Mizutori・Norikazu Nakashiki(1993) Satellite infrared monitoring of coastal environment. Satellite Remote Sensing of the Oceanic Environment, 457-465. Seibutsu Kenkyusha, Tokyo, 528pp.
- 6) 宮城県水産研究開発センター (1970-2000) 漁海況調査報告書
- 7) 柳 哲雄 (1994) 移送の基本方程式. 沿岸海洋学-海の中でものはどう動くか-, 改訂版, 18, 東京, 恒星社厚生閣, 154pp.
- 8) 渡辺 競・小林 一郎 (1985) 第7章仙台湾II物理. 日本海洋学会沿岸海洋研究部編, 日本全国沿岸海洋誌, 初版, 263-271, 東京, 東海大学出版会, 1106pp.
- 9) 野澤 清志・北川 大二 (1999) 岩手県南部における1996-1997年のイカナゴ稚幼魚の漁獲量増加要因. 東北水研研報, 61, 7-14
- 10) 山崎 幸夫 (1995) 輸送移入されるものとしてのイカナゴ資源. 水産海洋研究, 59 (3), 310-312
- 11) 江部 健一 (1992) 福島県沿岸におけるイカナゴの稚仔魚の分布. 水産海洋研究, 56 (2), 194-198
- 12) 富永 裕 (1989) 茨城県沿岸海域におけるイカナゴについて-III, 隣県海域からのコウナゴ来遊量の推定. 茨城水試研報, 27, 103-112
- 13) 掘 直 (1992) 鹿島灘における近年のイカナゴ資源動向と水温環境. 水産海洋研究, 56 (2), 142-145