

対馬暖流域における春季の海面水温に与える 冬季の海面冷却の影響*

平井 光行¹⁾

Evaluation of the Effects of Winter Cooling on Sea Surface Temperature in the Spring around Tsushima Current Regions

Mitsuyuki HIRAI¹⁾

Abstract

The present paper studies the relationship between sea surface temperature in the spring (S-SST) and air temperature in the winter (W-AT). The data used are monthly mean coastal S-SST at 10 stations in March and April along the Japanese coast and W-AT at 33 stations from December-February around the Japan Sea from 1951 through 1992. The first mode of an empirical orthogonal function (EOF) of S-SST, which explains about 50% of the total variance, reveals a simultaneous fluctuation pattern in the whole region. The second mode of an EOF, which explains about 20%, shows a seesaw fluctuation pattern between northeastern and southwestern regions bounded by the central part of the Japan Sea. These patterns of S-SST coincide with those of W-AT and time coefficients of each S-SST mode are highly correlated with those of W-AT. These results indicate sea surface temperature fields in the spring around the Tsushima Current regions mainly depend on winter cooling. The effect continues until at least April.

Key words: air temperature, fluctuation, Japan Sea, sea surface temperature, winter cooling

緒 言

日本海で漁獲される主要な浮魚類には、東シナ海～日本海西部海域で再生産を終えた後、春季に日本海を北上する種が多い(たとえば、伊東 1961; 三谷 1960; KASAHARA 1978)が、これらの浮魚類の漁場の移動や漁期の長短には水温の昇降が密接に関わっていることが指摘されている(長沼 1985)。実際、異常冷年といわれた1963年や1984年には、回遊性浮魚類のみならず、定着性魚類や貝類の漁況にも特異的な現象が現れている(日本海区水産研究所 1964; 笠原 1985)。他方、日本海の海況は冬季の海面冷却や季節風の連吹の影響を受けやすいことが指摘されている(梶浦ら 1958; 周東 1982)。それゆえ、日本海における海水循環、水塊配置および

1993年12月13日受理 日本海区水産研究所業績A489号

¹⁾ 〒951 新潟市水道町1丁目5939-22 日本海区水産研究所

(Japan Sea National Fisheries Research Institute, Suido-cho, Niigata 951, Japan)

* 本研究の一部は農林水産技術会議一般別枠研究「農林水産生態系を利用した地球環境変動要因の制御技術の開発」によるものである。

水温などの海況変動，とりわけその経年変動を明らかにするためには，気象変動が海況変動に与える影響を的確に評価することが不可欠である．現行の漁海況予報でも，海面や50m深水温分布の予測を行う際に気象の長期予報を参考に行っているが(日本海区水産研究所海洋環境部 1989；平井 1993)，必ずしも変動のプロセスを明らかにしたうえで論理的に予測を組み立てるまでには至っていない．また，地球温暖化現象(たとえば，WMO/UNEP IPCC 1990；山元 1990)の海洋環境に及ぼす影響が懸念されていることから，日本海海況変動に気象の変化が与える影響を的確に評価し，それを海況の予測につなげていくことは地球科学的な視点からも重要な課題である．

これまで日本海について行われた海面での熱収支に関する研究例は多くない．宮崎(1952)，舞鶴海洋気象台(1972)および浅井・加藤(1981)によれば，個々の研究で見積られた数値には差違があるものの，冬季に潜熱や顕熱として海面から大気へ多量の熱が奪われるという日本海の熱収支の特徴が共通して指摘されている．しかし，熱収支の見積りには膨大なデータ処理を必要とするため，平年値としての取り扱いあるいは特定の年の解析例がほとんどで，熱収支の経年変化を海域ごとに論じた報告はない．近年，好本(1991)は500mb 高度の場の統計解析から日本海における暖冬と寒冬を支配するのは，中・高緯度の偏西風波動の増幅によるブロッキング活動の活発化とその持続性にあるとし，ブロッキングの発生場所の重要性を指摘している．また，WATANABE *et al.* (1986)は日本海における海面水温の経年変動の統計解析から，対馬暖流流域の水温変化には全域で同位相の昇降変動のほかに，南北間で逆位相の昇降変動があることを示している．これらの結果は，日本海のような半閉鎖的な水域においても海域ごとに大気と海面との熱の交換状態は異なっており，気象と海況との相互作用を検討する場合には海域ごとに論じる必要があることを示唆している．

本研究では，浮魚類の漁況予測に不可欠な春季の対馬暖流流域の海面水温の時空間変化の特徴および冬季の海面冷却の時空間変化が春季の海面水温変化に与える影響について論議する．解析ではこれまでの研究で不足していた海面冷却度の空間変化に力点を置く．

報告に先立ち，本論文のご校閲を賜った日本海区水産研究所小川嘉彦海洋環境部長，討論に加わっていただいた海洋動態研究室の諸兄に厚くお礼申し上げます．また，データ処理と製図に携わっていただいた片桐久子元海洋環境部主任，鈴木智子さん，水温・気温データの入手にご協力いただいた海上保安庁水路部海洋情報課，気象庁長期予報課，および新潟地方気象台上口弘晃調査係長各位に深謝する．

資料と方法

1 海面水温資料とその解析方法

春季の海面水温の経年変化の実態と時空間変化のパターンを検討するために用いた資料は，那覇から稚内の10観測点における1951~1992年の旬平均の沿岸定地水温データである(Fig. 1)．1980年までの水温データは，海上保安庁水路部海洋情報課から提供を受け，1981年以降のデータは気象庁海洋観測資料(No. 69-83)および気象庁海況旬報(No. 1629-1664)から引用した．これらの旬平均データから以下のような手順で月平均水温を求め，3，4月の春季の月平均水温の累年平均偏差の経年変化の実態を明らかにし，さらに春季の海面水温の時空間変化のパターンを月ごとに検討した．

まず，月内の旬別データに欠測がない場合には，3旬のデータを平均しそれを月平均水温とした．旬別データに欠測がある場合には，WATANABE *et al.* (1986)と同様に，旬別平均デー

タの累年平均偏差の時系列データを直線内挿して旬別平均水温を推定し、月内の3旬のデータを平均して月平均水温を求めた。ただし、この推定手法を用いたのは連続して欠測するデータが3旬以下の場合のみである。累年平均偏差の時系列データから月平均水温を推定できない場合には、月平均水温の観測点間の相関関係から推定した。実際に1%の危険率で有意な観測点間の相関から月平均水温を推定したのは、那覇との相関から求めた名瀬の1987年2~4月、厳原との相関から求めた浜田の1992年2月の4データである。

これらの月平均水温データを用いて相関行列からEOF (Empirical Orthogonal Function) 解析を行い、第1~3モードの固有ベクトルのパターンから春季水温の時空間変化の特徴を検討した。また、各モードのパターンの出現の強さを示す時係数の経年変化の特徴を検討した。なお、沿岸定地水温観測点のうち、稚内は1959年12月と1970年7月、酒田は1956年4月と1962年10月にそれぞれ観測点の変更を行っているが、この変更に伴う補正は行なわなかった。

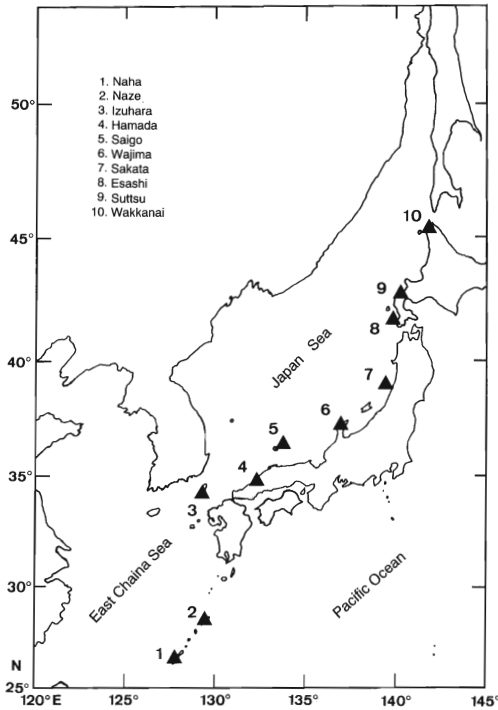


Fig. 1. Locations of the stations where coastal sea surface temperatures were observed by the Japan Meteorological Agency from 1951 through 1992. Numerals show the station numbers.

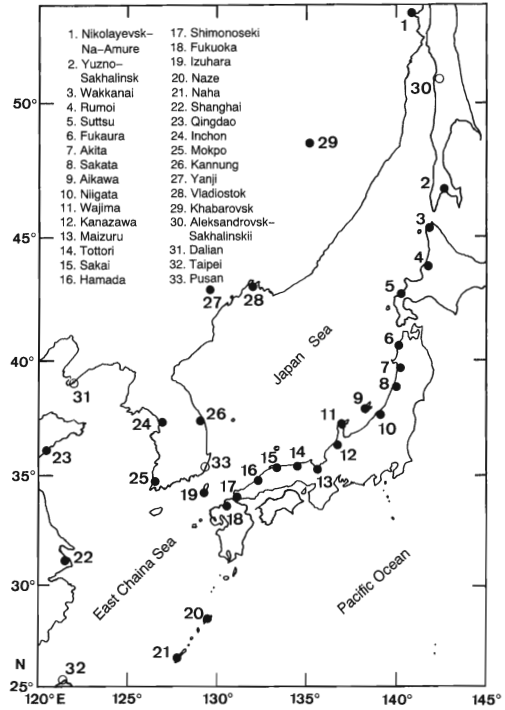


Fig. 2. Locations of the stations where air temperatures were observed by the Japan Meteorological Agency and other countries from 1951 through 1992. Numerals show the station numbers. Closed circles show the stations where collected data was used in both an empirical orthogonal function analysis and monthly temperature anomalies analysis (MTAA). Data from open circles was used only in MTAA.

2 気温資料とその解析方法

冬季の日本海周辺海域における海面冷却度の時空間変化の特徴を検討するために用いた資料は、ロシアの Nikolayevsk-Na-Amure から台湾の Taipei に至る33気象観測点(Fig. 2)における1951~1992年の月平均気温である。日本のデータは財団法人日本気象協会から購入し、外国のデータは気象庁長期予報課から提供を受けた。冬季の海面冷却度の指標として、前年の12月から当該年の2月までの3ヵ月間の平均値(冬季気温)を用いた。冬季の3ヵ月間のうち2ヵ月以下の欠測がある場合には、データの存在する月の累年月平均値からの偏差を欠測月にもあてはめて当該月のデータを推定し、3ヵ月間の平均を求めた。3ヵ月とも欠測の場合には海面水温データと同様に、観測点間の相関関係から月平均気温を推定し冬季気温を求めた。実際に1%の危険率で有意な観測点間の相関関係から月平均気温を推定したのは、稚内との相関から求めた1969, 1970年の Nikolayevsk-Na-Amure, 1992年の Yuzno-Sakhalinsk および Vladivostk との相関から推定した Yanji の4データである。このようにして求めた冬季気温のうち観測期間の長い29観測点のデータ間の相関行列を用いて、EOF解析を行い、第1~3モードの固有ベクトルから海面冷却度の空間的变化パターンを検討した。また、各モードのパターンの出現の強さを示す時係数の変化から海面冷却度の経年変化の特徴を検討した。さらに、冬季気温と春季水温のEOFの各モードの固有ベクトルの空間パターンの類似性や時係数の相互間の相関関係から、冬季の日本海周辺海域における海面冷却度の時空間変化が春季の海面水温変化に与える影響を評価した。

結果と考察

1 春季における海面水温の経年変化の実態

春季における海面水温の時空間変化の解析に用いた、那覇から稚内に至る10観測点での月平均水温の季節変化を Fig. 3 に示す。いずれの観測点においても、海面水温は2月に年間の低極、8月に高極となる明瞭な季節変化を示している。しかし、海面水温の年間較差は観測点ごとに異なり、那覇ではたかだか8℃であるのに対して稚内では約20℃に達しており、対象海域内でも南と北とでは水温の年間較差が大きく異なっている。また月平均水温の変動幅を標準偏差で比較すると、稚内など北側の観測点では夏季に水温の変動幅が大きく、逆に南側の那覇などの観測点では冬季に大きいことも、北と南で異なる特徴といえる。

本研究で対象とする3, 4月の春季の海面水温の変動幅は、最小を示す4月の浜田では0.65℃、最大を示す3月の厳原では1.01℃となっており、観測点間で水温の変動幅が大きく異なっている(Table 1)。また、輪島を除くすべての観測点で4月よりも3月の変動幅が大きい。さらに、1952~1992年の3, 4月の月平均水温の最大と最小との範囲は3.1~4.1℃を示すことから、対馬暖流域における春季の海面水温の高低は、観測点間でも年によっても差が大きいことがわかる。

次に、このような春季の海面水温の年による高低変化の特徴を、3, 4月の累年平均偏差の時系列から観測点ごとに検討した(Fig. 4)。まず、3月と4月との経年変化を比較すると、変化傾向が異なる年があるものの、いずれの観測点でも長期的な変化傾向はおおむね類似している。実際、3月と4月との時系列間の相関は、すべての観測点で1%の危険率で有意となっている。このように3月と4月ではほぼ一致するような長期的な変化傾向を年代別にみると、1950年代には正偏差を示し、1960年代に入って負偏差となり、1970年にすべての観測点で低極となっている。その後、1970年代にはやや上昇傾向を示すものの、1980年代には負偏差となり1984年にはほぼ

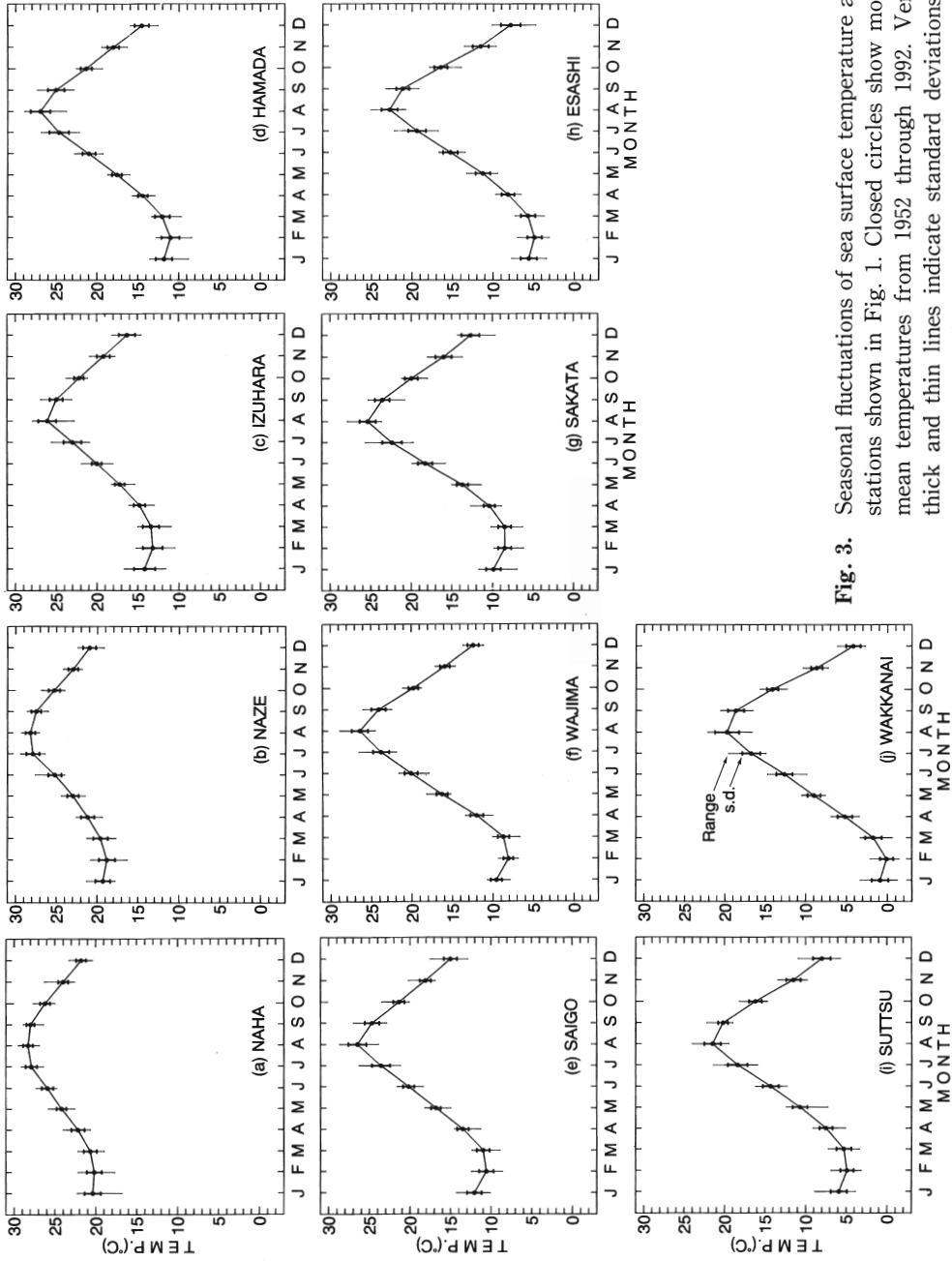


Fig. 3. Seasonal fluctuations of sea surface temperature at the stations shown in Fig. 1. Closed circles show monthly mean temperatures from 1952 through 1992. Vertical thick and thin lines indicate standard deviations and ranges, respectively.

Table 1. Monthly mean temperatures, standard deviations (S. D.) and ranges of coastal sea surface temperatures in March and April at stations shown in Fig. 1. The data used are from 1952 through 1992.

Station	Month	Mean	S. D.	Range
1. NAHA	Mar.	20.7	0.80	3.2
	Apr.	22.5	0.75	3.3
2. NAZE	Mar.	19.6	0.93	3.6
	Apr.	21.2	0.78	3.2
3. IZUHARA	Mar.	13.4	1.01	4.1
	Apr.	14.8	0.73	3.1
4. HAMADA	Mar.	12.0	0.88	3.6
	Apr.	14.4	0.65	2.8
5. SAIGO	Mar.	11.0	0.83	3.5
	Apr.	13.5	0.67	3.2
1. WAJIMA	Mar.	8.7	0.71	3.3
	Apr.	12.0	0.79	3.4
7. SAKATA	Mar.	8.5	0.76	3.9
	Apr.	10.4	0.74	3.8
8. ESASHI	Mar.	5.7	0.89	3.6
	Apr.	8.2	0.80	3.1
9. SUTTSU	Mar.	5.3	0.87	3.8
	Apr.	7.5	0.81	4.0
10. WAKKANAI	Mar.	1.7	0.99	3.9
	Apr.	5.2	0.90	3.5

全ての観測点で低極となっている。さらに、1980年代末から上昇傾向となり1990年代にはほぼすべての観測点で正偏差となっている。

しかし、この変化傾向を年代ごとに詳しくみると、ほとんどの観測点で正偏差を示す1950年代でも、南端的那覇や北端の稚内ではむしろ負偏差を示している。また、おおむね負偏差を示す1960年代には、輪島以南では年代を通して負偏差となっているのに対して、輪島以北では1960年代前半にはむしろ正偏差を示し、後半以降負偏差になっている。1970年代に入ると、おおむね平年並からやや負偏差を示す観測点が多いものの、南端的那覇や北端の稚内ではむしろ正偏差を示している。1980年代半ばの顕著な負偏差およびその後の上昇傾向はすべての観測点で認められるが、1990年代に入ってから正偏差傾向は釧原と稚内ではやや異なる。このように、春季の海面水温は10年単位の長期的な変化傾向では海域間で大きな差が認められないのに対して、個々の年代においては海域ごとにやや異なる傾向を示すことがわかる。

そこで、このような海域ごとの変化傾向の相違を詳しく検討するために、海面水温が特異的に低い年と高い年を Table 2 に整理した。ここでは、累年平均偏差が標準偏差の1.5倍よりも低い年を低温年、高い年を高温年とした。各観測点での低温年が広い範囲に及んでいる年は、1963年、1965年、1968年、1970年および1984年で、逆に高温年が広がっている年は、1954年、1955年、1959年、1960年、1964年、1990年、1991年である。このうち、1970年や1984年にはほぼ全域で低温年となっているのに対して、1963年には日本海西部、1965年には日本海西部を除くほぼ全海域、および1968年には東シナ海のみで低温年となっている。また高温年が広がる年のう

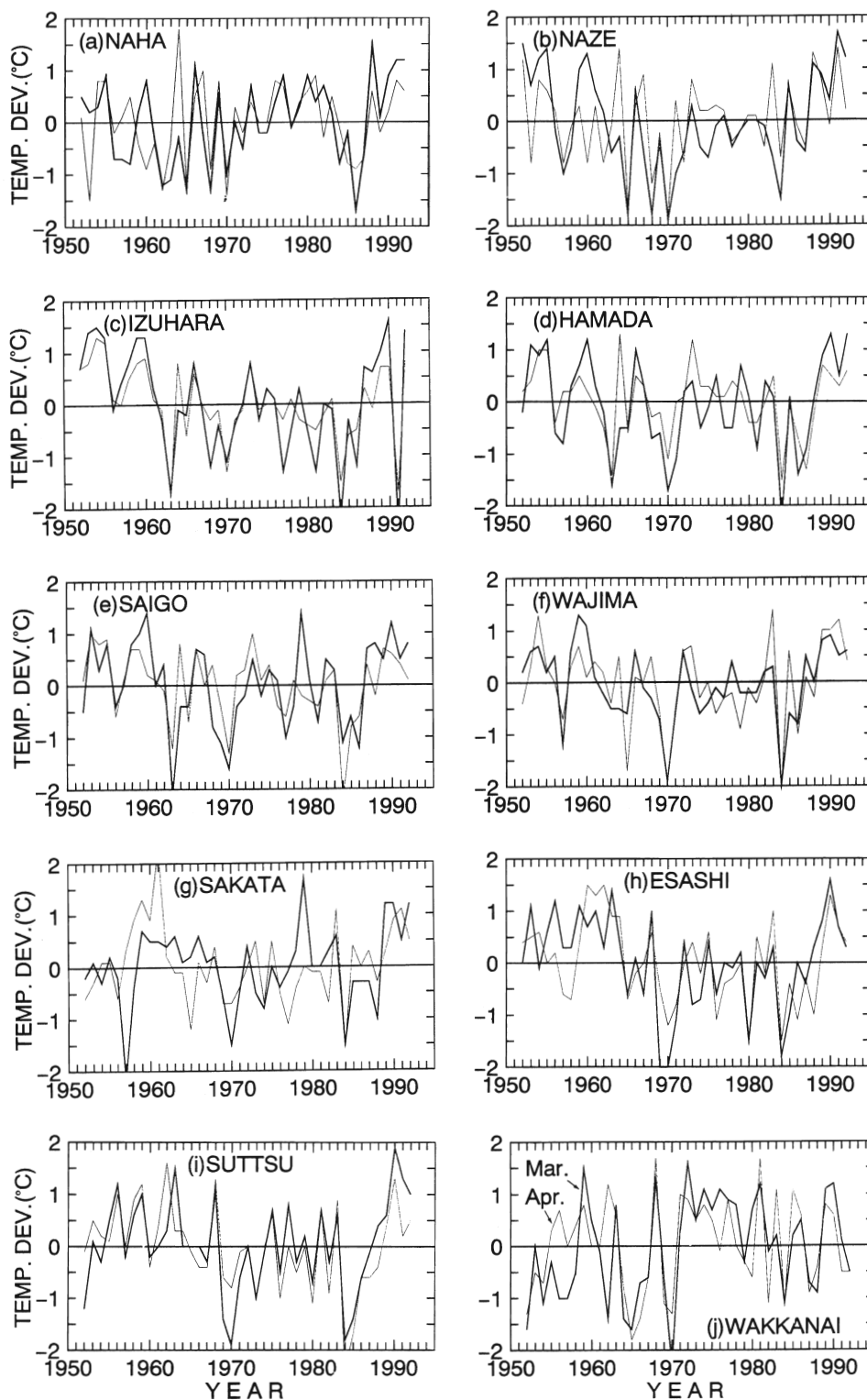


Fig. 4. Interannual fluctuations of monthly mean sea surface temperatures at the stations shown in Fig. 1, from 1952 through 1992. Thick and thin lines represent March and April, respectively.

Table 2. Cold/warm years in March and April at the station shown in Fig. 1. Cold/warm years are defined as years in which the anomalies exceed 1.5 times the large/small of the standard deviations. The data used are from 1952 through 1992.

Station	Month	Cold years			Warm years		
		Year	Year	Year	Year	Year	Year
1. NAHA	Mar.	1962	1965	1968	1986		1988 1991 1992
	Apr.	1953	1962	1970		1964	
2. NAZE	Mar.	1965	1968	1970	1984	1952 1955	1991
	Apr.	1965	1968	1970		1952	1988 1991
3. IZUHARA	Mar.	1963			1984 1991		1990
	Apr.	1963		1970	1984 1991	1954 1955	1990
4. HAMADA	Mar.	1963		1970	1984 1986		
	Apr.	1963		1970	1984 1987	1954 1955	1964 1973
5. SAIGO	Mar.	1963		1970		1960	1979
	Apr.	1963		1970	1984		
6. WAJIMA	Mar.	1957		1970	1984	1959 1960	
	Apr.		1965	1970	1984	1954	1983 1991
7. SAKATA	Mar.	1957		1970	1984		1979 1989 1990 1992
	Apr.		1965		1984	1959 1961	
8. ESASHI	Mar.		1969	1970 1980	1984		1963 1990
	Apr.			1970 1980	1984	1960 1961 1962	1990
9. SUTTSU	Mar.		1969	1970	1984 1985		1963 1990
	Apr.				1984 1985	1962 1968	1990
10. WAKKANAI	Mar.	1952	1965	1970		1959	1972
	Apr.		1965	1966			1968 1981

ちで、1954年には日本海中西部海域、1955年には西部海域から東シナ海、1959年には輪島以東の海域、1960年には日本海中部海域、1990年には日本海ほぼ全域、および1991年には中西部海域でそれぞれ高温年となっている。さらに、日本海西部で低温年となっている1963年には江差以北の海域では逆に高温年となり、また東シナ海で低温年を示す1968年には寿都や稚内ではむしろ高温年となっている。このように、春季の海面水温分布はほぼ全域で同様の高低変化を示す年もあれば、水温の高低の分布が特定の海域に限られる年もあり、さらには南北間で水温偏差の正負が逆になる年もあることがわかる。

2 春季における海面水温の時空間変化のパターン

春季における海面水温の経年変化(Fig. 4)からわかるように、春季の海面水温の時空間変化には、さまざまなパターンが存在する。そこで、このような春季における海面水温の変化のパターンの統計的な類型分けを試みた。

春季の海面水温の時空間変化のパターンを検討するために、月平均海面水温を用いて行ったEOF解析の結果をFig. 5に示す。3月(4月)の第1~第3モードの全体変動に対する寄与率は、それぞれ52%(47%)、18%(19%)、10%(11%)となっており、第1モードの寄与率が3月から4月にはやや下がることを除いてほぼ同様の傾向を示している。第1~第3モードを合わせた累積寄与率は約80%になることから、春季における沿岸定地水温の経年変化はこれら3つのモードでほとんどが説明できるといえる。

寄与率が最も大きい第1モードの固有ベクトルの空間パターンをみると、3月、4月ともすべての観測点で正偏差になっている(Fig. 5a, g)。また、固有ベクトルの係数は北海道や南西諸島よりも日本海中部で大きく、能登半島の輪島で最大となっている。この結果は、EOFの第1モードが全域で同時に高温あるいは低温を示すパターンであり、このパターンの変化が日本海中部で最も顕著に現れることを示している。このパターンの出現の強さを表すと考えられる時係数の経年変化をみると、3、4月とも1950年代には高温傾向で推移し1960年代に入って低温傾向が続いたが、1980年代後半以降、近年まで高温傾向で推移していることがわかる(Fig. 5a, h)。とりわけ、1970年と1984年の顕著な低温年および1989~1992年の顕著な高温年は3月、4月とも一致して現れている。

第2モードの固有ベクトルは、3月、4月とも日本海ほぼ中央部の能登半島を挟む輪島と西郷を境として、それより北東側と南西側で正域と負域が2分されるパターンを示している(Fig. 5c, i)。また、固有ベクトルの係数の絶対値は北海道や南西諸島で大きく、日本海中部で小さい。このように春季の水温変化の第2モードは、能登半島付近を境として高温と低温がシーズン変化するパターンであり、日本海の中央部から離れた海域ほどその変化が顕著に現れるパターンである。時係数の経年変化をみると、第1モードのような長期的な変動傾向は認められず、むしろスパイク状の単年の変化が現れている(Fig. 5d, j)。たとえば、3月にも4月にも現れている1963年の負側の顕著なピークは、日本海中部を境に北東側で高水温、南西側で低水温となり、北海道沿岸や南西諸島でその傾向が顕著に現れていることを示している。1968年についてもこれと同様のことがいえる。逆に、1952年や1988年には北東側の海域で低水温、南西側の海域で高水温となっている。

第3モードの示すパターンは、3月と4月とでは日本海中央部でやや異なるとはいえ、いずれも東シナ海と北海道沿岸で正值、日本海中央部で負値または小さな正值を示している(Fig. 5e, k)。また、固有ベクトルの係数は日本海中部海域と周辺海域とでは大きな差は認められない。このように、第3モードは対馬海峡から津軽海峡付近に至る日本海中央部と北海道沿岸や南西

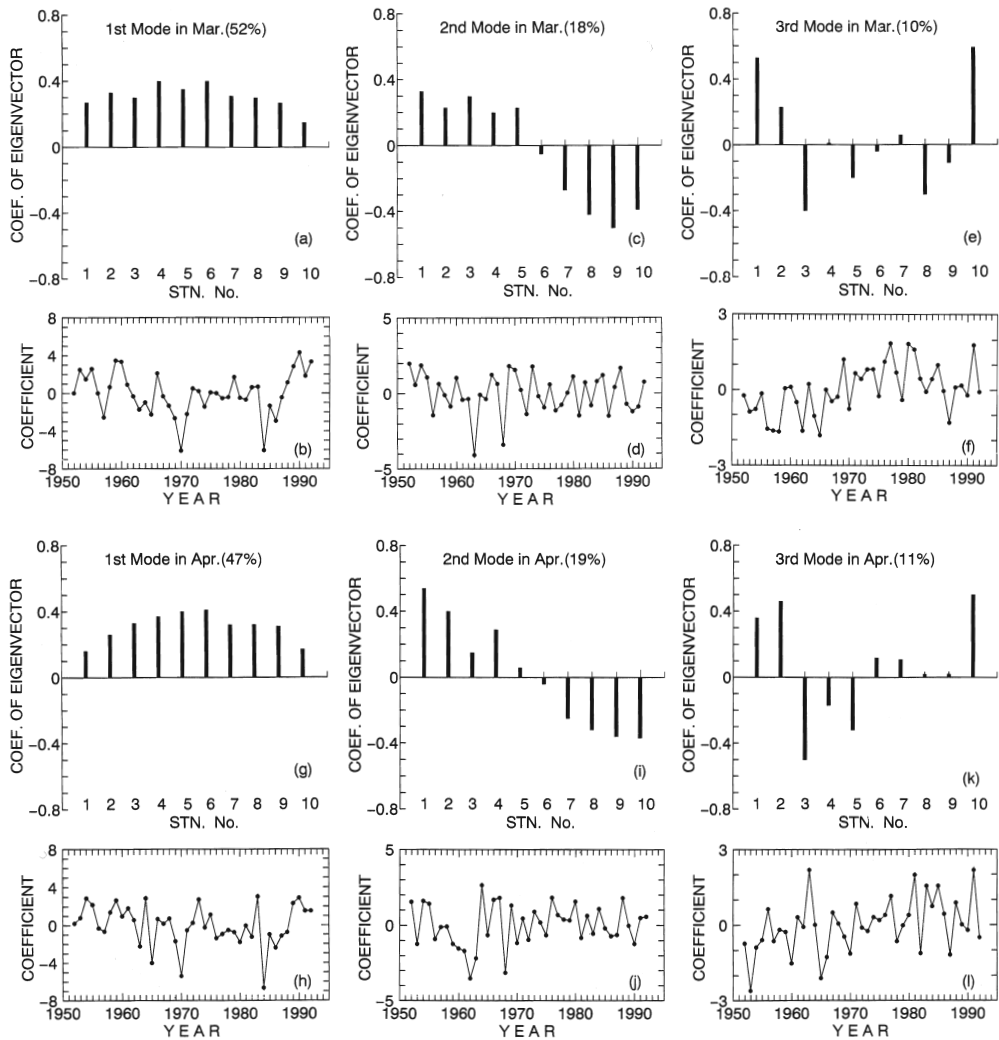


Fig. 5. Results of an empirical orthogonal function analysis for sea surface temperature in March and April. Upper: Eigenvector spatial patterns of the first, second and third mode. Numerals show the station numbers shown in Fig. 2. Bottom: Time coefficients of the first, second and third mode.

諸島海域で高温と低温が逆位相で変化するパターンである。第3モードの時係数の経年変化には、1950年代から1980年代に向かって負値から正値に変化するようなトレンドが認められる (Fig. 5f, l)。3月と4月で主な正値と負値のピークは一致するものの、1953年や1963年のように必ずしも一致しない年が認められる。

これまで、長沼(1978, 1992)や中村(1992)は、日本海内部の表面水温の経年変化を海域ごとに時系列解析し、日本海の表面水温の経年変化には局所的な大きな差異は認められず、全般に同位相で変化していることを報告している。彼らの示した経年変化は、最も寄与率の大きな第1モードの時係数の経年変化 (Fig. 4b, h) に近いといえるが、第2, 第3モードで示した変化傾向とは全く異なる。一方、WATANABE *et al.* (1986)は東シナ海～三陸沿岸における1941～1984

年の沿岸定地水温データを用いて年平均水温の EOF 解析を行い、日本海の海面水温の時空間変化の特徴を論議している。彼らの示した第 1 モードは全域が同位相で昇降するパターン、第 2 モードは日本海中部海域を境として南北で逆位相で昇降するパターンであり、解析期間および観測点が異なるものの、本研究の結果と基本的には一致している。

実際に既述した春季における海面水温の経年変化の実態 (Fig. 4, Table 2) と変化のパターンの統計的な類型分けの結果 (Fig. 5) とを比較すると、ほぼ全域で低温年となっている 1970 年や 1984 年には第 1 モードの時係数が著しく小さな値となっており、逆に日本海のほぼ全域や日本海中西部海域で高温年となっている 1954 年、1990 年および 1991 年には第 1 モードの時係数が著しく大きな値を示している。このことから、第 1 モードのパターンは実態をよく反映したものであると判断できる。第 2 モードをみると、南北間で水温偏差の正負が逆になり北側で高温、南側で低温を示した 1963 年や 1968 年には第 2 モードの時係数が著しく小さな値となり、日本海西部海域から東シナ海で高温年を示す 1955 年には第 2 モードの時係数が大きな値を示している。輪島以東の海域で高温年となった 1959 年には第 2 モードの時係数は必ずしも大きいとはいえないが、寄与率が低くなっていることを考慮すると第 2 モードのパターンもまたおおむね実態を反映したものと考えてよいであろう。第 3 モードは、寄与率も低く多くのノイズ成分を含んでいると考えられるが、時係数が著しく小さな 1965 年や逆に大きな値を示す 1991 年の実態についてはその特徴を反映していると判断できる。このように、EOF 解析から得られた春季における海面水温の変化のパターンは、実態を反映したものであるといえる。

WATANABE *et al.* (1986) によれば、第 1 モードの時係数には 6～7 年、第 2 モードには 10 年の周期が認められるとされている。本研究では周期解析を行っていないため詳細な論議はできない。しかし、少なくとも本論文の時係数の経年変化 (Fig. 5) をみる限り、周期性はあまり明確とはいえない。いずれにせよ、年平均から求めた結果 (WATANABE *et al.* 1986) と春季の水温から求めた結果が一致するという事実は、春季の海面水温場の特徴が年間を通して持続する可能性を示唆するものとして興味深い。

3 冬季における気温の時空間変化パターン

次に、日本海周辺の冬季の海面冷却度の時空間変化のパターンを検討するために、29 観測点の冬季気温資料を用いての EOF 解析した結果を Fig. 6 に示す。冬季気温の全体変動に対する第 1～第 3 の各モードの寄与率はそれぞれ 66%、16%、5% である (Fig. 6a, b, c)。これら 3 つのモードの寄与率を合せると 87% になるため、日本海周辺海域の冬季気温の変化のほとんどはこれら 3 つのモードで説明できることがわかる。ただし、海面水温で行った前述の結果と比べると、冬季気温の方が第 1 モードの寄与率が大きく、第 3 モードでは小さい。

これらのモードのうち最も寄与率の大きい第 1 モードの固有ベクトルは、全域で正值となるパターンを示している (Fig. 6a)。特に、日本列島の本州沿いで固有ベクトルの係数が大きく、第 1 モードの変動の中心は日本の沿岸海域にあると考えられる。このモードの強さを示す時係数の経年変化をみると、1960 年代および 1980 年代前半で負値を示す年が多く、1950 年代と 1970 年代では正值年と負値年が交互に出現し、1980 年代後半以降、正值年が続いている (Fig. 6b)。実際、冬季気温の累年平均偏差分布 (Fig. 7a) をみると、典型的な正值を示す 1992 年には日本海中央部を中心に 1.5℃ 以上の正偏差域が広がり、日本海周辺海域の全域で正偏差となっている。他方、典型的な負値を示す 1977 年には、東シナ海と日本海北部で 2℃ 以下を示す負偏差域が広がり、日本海周辺海域の全域で負偏差となっている (Fig. 7b)。これらのことから、冬季気温の EOF 第 1 モードは日本海周辺海域の全域で同時に温暖化あるいは寒冷化を示すパターンを表

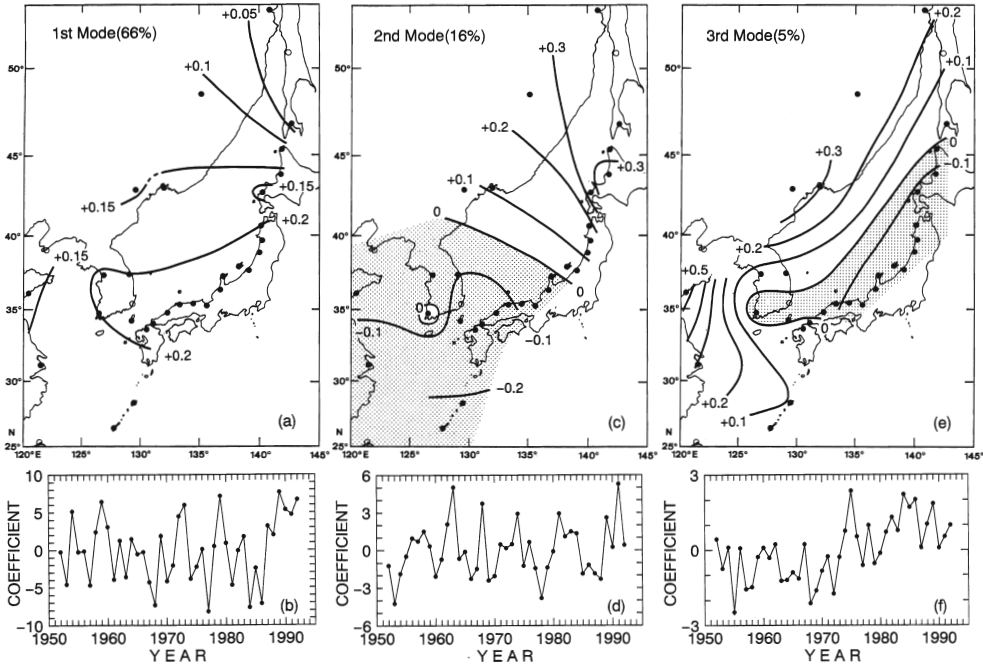


Fig. 6. Results of an empirical orthogonal function analysis for winter (December-February) temperatures. Upper: Eigenvector spatial patterns of the first, second and third mode. Stippled area show negative values of eigenvectors. Bottom: Time coefficients of the first, second and third mode.

していると解釈できる。

第2モードの固有ベクトルは、日本海のはぼ中央部の能登半島と朝鮮半島北部を結ぶ線で正域と負域が2分され、この境界より北東側では正域、南西側では負域が広がるパターンを示している(Fig. 6c)。第2モードの時係数の経年変化をみると、第1モードのような長期的変化傾向は認められず、1~2年のリズムで変化している(Fig. 6d)。時係数が大きな正値を示す1963年の冬季気温の累年平均偏差分布をみると、佐渡島と沿海州を結ぶ線を境に北東側では正偏差域が広がり、南サハリンや北海道南部では 1.5°C 以上となっているのに対して、この境界より南西側では負偏差域が広がり、特に南西諸島海域では -2°C 以下となっている(Fig. 7c)。時係数が大きな負値を示す1978年には、能登半島とピョートル大帝湾を結ぶ線を境に北東側では負域、南西側では正域が広がっている(Fig. 7d)。このように、第2モードの固有ベクトルは日本海をほぼ2分して北東側と南西側で温暖化と寒冷化がシーソーのように逆位相で変化するパターンを示している。

さらに第3モードは、日本海のはぼ中央部を境に日本列島側では負域、ユーラシア大陸側では正域が広がっているパターンである(Fig. 6e)。このモードの時係数の経年変化から特徴的な1984年と1955年の冬季気温の累年平均偏差分布をみると、両年では日本列島側と大陸側で正偏差域と負偏差域の分布が逆になっている(Fig. 7e, f)。このように、第3モードの固有ベクトルは、日本海をほぼ2分して北西側と南東側で温暖化と寒冷化がシーソー変化するパターンを示すと判断される。

これまで、日本海の冬季の天候変化パターンについて、好本(1992)は1946~1989年の月別緯

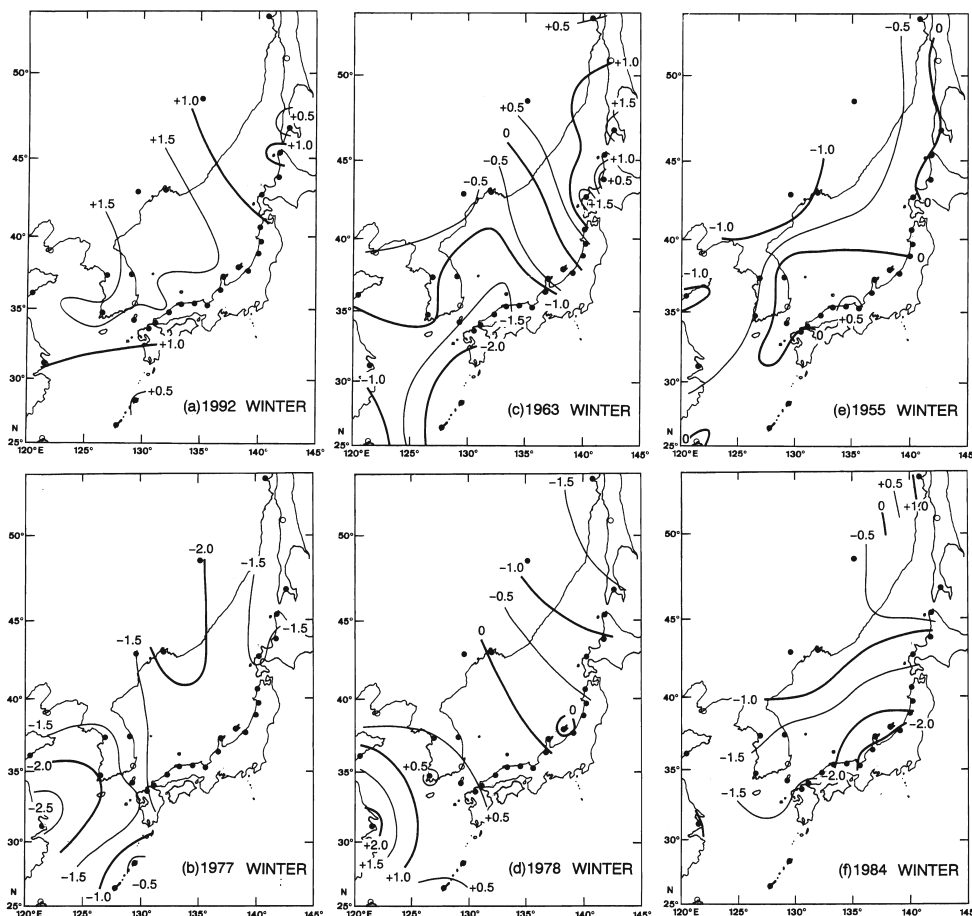


Fig. 7. Horizontal distributions of winter (December-February) temperature anomalies in 1992, 1977, 1963, 1978, 1955 and 1984. Anomalies were computed with respect to the monthly mean temperature from 1952 through 1992.

経度10度格子の500mb高度をEOF解析し、(1)日本海の暖冬／寒冬など大きな天候を支配するのは、中高緯度の偏西風波動の増幅によるブロッキング活動の活発化とその持続性にあり、また(2)それぞれのモードの卓越によるブロッキング発生の場所が重要であると報告している。彼はこの報告のなかで1963年と1984年は、500mb高度のEOF第1、3モードが卓越しブロッキングが顕著な年であったことを指摘している。しかし、Fig. 7に示したように、気温変化からみると1984年は日本海のはほぼ全域にわたって負偏差域が広がると同時に、特に日本列島側が低温傾向を示した年であるといえる。これに対して、1963年は日本海的全域で低温であったとはいえず、日本海の北東側ではむしろ暖冬となった年であるといえる。このような兩年の気温分布の相違は、中・高緯度の大気の循環だけでは必ずしも説明できないようである。今後、気圧高度の場、海上風、海上気温、および海面水温等気象・海洋情報を総合した解析で明らかにする必要があるだろう。

好本(1992)によれば、冬季気温が低い場合には東シベリア付近のブロッキングによって大気の循環が南北流型で安定しており、日本近海に寒気が南下しやすい天候パターンとなっている

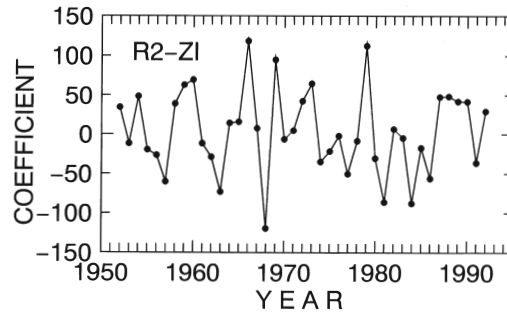


Fig. 8. Time series of the Far East Zonal Index in winter (December-February).

と考えられる。このようなパターンを示す年は、今回の解析結果で示した EOF の第 1 モードの負値が大きくなっている年に当たっていることが予想される。そこで、極東域の偏西風の蛇行の指標となる極東域東西指数 (Fig. 8) と冬季気温の EOF 第 1 モードの時係数との相関を調べた。その結果、両者の間には 1% の危険率で有意な相関関係が認められた ($r=0.73$)。このことから判断すると、第一義的にはブロッキング活動と関連するこの第 1 モードが暖冬/寒冬を決定づける要因であると考えてよいであろう。しかし、1963 年と 1984 年の相違について指摘したように、寄与率 15% で出現する冬季気温の EOF の第 2 モードや第 3 モードもまた、重要な変化のパターンであることは無視できない。

4 冬季の海面冷却と春季の海面水温との相互関係

冬季気温の第 1 モードは日本周辺海域のほぼ全域で同時に温暖化あるいは寒冷化するパターンを示すが (Fig. 6a), 春季の水温もまた日本周辺海域のほぼ全域で同時に高温化あるいは低温化するパターンを示す (Fig. 5a, g)。解析範囲の広さがやや異なるとはいえ、両者は全域が同位相で高低するという特徴および高い寄与率という共通点をもつことから、よく似た変化のパターンを示しているといえる。また、冬季気温の第 2 モードのパターンは、日本海中央部を 2 分して北東側と南西側で温暖化と寒冷化が逆位相で変化し (Fig. 6c), 春季の沿岸水温もまた日本海中央部を境界として高温化と低温化が逆位相で変化するパターンを示している (Fig. 5c, i)。日本海中央部を境として北東側と南西側でシーズン変化するという点で、この両者もまた類似したパターンを示しているといえる。第 3 モードについては、ユーラシア大陸側の沿岸水温の解析を行っておらず、また寄与率がそれぞれ約 10%, 5% と低いので詳しい議論はできないが、少なくとも日本列島沿岸域と北海道および南西諸島近海など周辺域とが逆位相であることから (Fig. 5e, k, 6e), 第 3 モードもまた冬季気温と春季水温とでほぼ一致したパターンであると考えられる。このように、それぞれ異なる要因によって引き起こされる複数の変動パターンが重なった実際の気温変動や水温変動を、いくつかの独立した変動パターンに分解することによって、個々の変動パターン相互間の類似性が明らかになった。換言すれば、平均的によく出現する冬季の気温分布と春季の海面水温分布とはほぼ同一のパターンを示すことがわかる。

しかし、実際にはこのような卓越する分布パターンは年によって出現する強さが異なることもわかっている (Fig. 5, 6)。そこで、EOF の各モードの強さを表すと考えられる時係数の相互の相関関係を検討した。ここでは、冬季の海面冷却の影響を月を追って検討するために 2 月の海面水温資料を用いて行った結果も合わせて Table 3 に示す。まず、寄与率が最も大きい EOF の

Table 3. Correlation coefficients between time coefficients of an empirical orthogonal function air temperature in winter (W-AT) and sea surface temperature (SST) in February, March and April. The data used are from 1952 through 1992.

Month	W-AT/SST	first Mode	second Mode	third Mode
February	first Mode	0.86**	0.06	0.14
	second Mode	-0.16	0.73**	0.10
	third Mode	-0.05	-0.17	0.20
March	first Mode	0.65**	0.23	-0.05
	second Mode	-0.05	-0.57**	0.15
	third Mode	-0.03	0.07	0.25
April	first Mode	0.52**	0.16	-0.18
	second Mode	0.08	-0.31*	0.56**
	third Mode	-0.13	0.09	0.27

* $\alpha=0.05$, ** $\alpha=0.01$

第1モード間の相関関係をみると、2～4月のいずれの月でも1%の危険率で有意な相関が認められる。この結果は、1984年のように冬季気温が全域で低く、海面冷却が全域で強い年(寒冬)に続く春季の水温は、全域で低い傾向にあることを示している。逆に、1990年のように冬季気温が全域で高く海面冷却が全域で弱い年(暖冬)に続く春には、日本海の水温は全域で高いといえる。また、第1モード相互間の相関係数は、2～4月には月ごとに低くなっていることがわかる。この差のうち、3月と4月との差は有意であるといえないが、2月と4月の差は1%の危険率で有意であり、さらに2月と3月の差は5%の危険率で有意である。これらの結果は、2月には気温、海面水温とも低極となり、海面水温に対する海面冷却の影響が最も強く現れるが、冬季の海面冷却の影響は月の進行とともに徐々に弱くなりながらも、少なくとも4月までは明瞭に影響が残っていることを示している。同様のことは、第2モード間の相関関係についてもいえる(Table 3)。つまり、この結果は日本海中央部を境にして北東側で暖かく南西側で寒い1963年のような冬に続く春には、やはり北海道沿岸海域を中心として海面水温も正偏差となり、南西諸島海域を中心として海面水温が負偏差を示す海域が広がることを示している。また、このような傾向は、少なくとも4月までは続くと考えられる。

他方、これらの関係以外では、冬季気温の第2モードと4月の海面水温の第3モードとの間を除いては有意な相関関係は認められない(Table 3)。この有意な相関関係については、2月や3月の同じ組合せでは有意な相関関係がないにもかかわらず、4月においてのみ有意な相関が認められる。それゆえ、この相関関係は単に海面冷却だけではなく複雑な要因が関係していると考えられる。逆に、この第3モードの間で4月を除いて他の場合では相関関係がないという事実は、冬季気温と春季気温の変化が同じパターンの間でのみ相関関係が成り立つことを示している。実際、EOF第2モードの時係数の相互間で有意な相関が認められた事実は、寒気の強弱の地理的偏りが海面水温分布に強く影響していることを示している。

IWASAKA *et al.* (1987)は、北太平洋の表面水温アノマリの変動と北半球の500mb高度の変動とのラグ相関解析から、大気の変動を1ヵ月先行させた場合に海面水温変動との相関が最も高く、この関係は3ヵ月の先行まで認められたと報告している。この結果は、グローバルスケールの海面水温変動は第一義的には大気からの強制力で引き起こされていることを示していると

解釈できる。本研究の解析結果からも、EOFの第1, 第2モードについては同様の結果が得られたことから、日本海のような閉鎖的な海域でも海面水温変動が第一義的には大気からの強制力で引き起こされていると考えることができる。このことは、春季の海面水温を予測する場合には、冬季間の寒気がどのような経路で日本海に侵入するかが最も重要な変動要因となることを意味している。

要 約

対馬暖流域における春季の海面水温に与える海面冷却の影響を評価するために、1952年～1992年の春季(3, 4月)の10観測点における沿岸定地水温データおよび日本海周辺海域の29観測点における冬季(12～2月)気温についてEOF解析を行った。春季の海面水温変化の空間変化第1モードは全域で正あるいは負となるパターンを示し、その寄与率は全変動の約50%である。これに続いて卓越する第2, 第3モードの変化のパターンは、日本海中央部を境界として北東側と南西側、および日本海中部と周辺海域で正域と負域が逆位相となるシーズン変化である。これらのうち、第1, 第2モードのパターンは冬季の気温の空間変化のパターンとよく一致しており、冬季の気温と春季の海面水温変化の第1, 第2モードの時係数の相互間で有意な相関が認められた。これらのことから、少なくとも4月までの春季の海面水温分布は、第一義的には冬季の海面冷却によって規定されていると判断される。

文 献

- 浅井富雄・加藤内蔵進(1981)日本海における大気と海洋の熱収支と対馬暖流の季節変化。月刊海洋科学, **13**, 407-413.
- 平井光行(1993)日本海の長期海況予測解析(数値化)モデル。平成4年度長期予測高度化技術開発試験報告書, 63-82, 漁業情報サービスセンター。
- 伊東祐方(1961)日本近海におけるマイワシの漁業生物学的研究。日水研報告, (9), 1-227.
- IWASAKA, N., HANAWA, K. and TOBA, Y. (1987) Analysis of SST anomalies in the North Pacific and their relation to 500mb height anomalies over the northern hemisphere during 1969-1979. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **65**, 103-114.
- 梶浦欣二郎・土屋瑞樹・日高孝次(1958)日本海の家況分析。対馬暖流開発調査報告書 第1号(漁況・海況篇), 158-170, 水産庁。
- KASAHARA, S. (1978) Description of offshore squid angling in the Sea of Japan, with special reference to the distribution of common squid (*Todarodes pacificus* STEENSTRUP); and on the techniques for forecasting fishing conditions. *Bull. Jap. Sea Reg. Fish. Res. Lab.*, (29), 179-199.
- 笠原昭吾(1985)1984年日本海の異常低水温と魚貝類および漁況の特異現象。水産海洋研究会報, (47・48), 196-201.
- 気象庁(1992)気候変動に関する政府間パネル(IPCC)報告書の概要。pp171-181. 気象庁編 地球温暖化監視レポート1991～地球温暖化にかかわる温室効果気体と気候変動の動向及びオゾン層の状況について～, 大蔵省印刷局, 東京。
- 舞鶴海洋気象台(1972)日本海の上気象。気象庁技報, (80), 116.
- 三谷文夫(1960)ブリの漁業生物学的研究。近大農紀要, (1), 81-300.
- 宮崎道夫(1952)日本海の熱経済[海況予想の研究1]。北水研報告, (4), 1-54.
- 長沼光亮(1978)日本海本土沿岸の主要地点における水温変動の諸特性について。日水研報告, (29), 269-282.
- 長沼光亮(1985)日本海における漁況と海況。海と空, **60**, 89-103.
- 長沼光亮(1992)海況変動を中心にして。水産海洋研究, **56**, 168-172.
- 中村浩二(1992)日本海南部の水温の経年変動。海と空, **67**(特別号), 217-230.

- 日本海区水産研究所（1964）異常冷水現象の究明及び生物生産と異常冷水との関連性の究明 海區別（8）日本海域．pp643-686．日本近海の異常冷水研究に関する特別研究報告書第2分冊，科学技術庁編．
- 日本海区水産研究所海洋環境部（1989）日本海区の海況．昭和63年度年度長期予測高度化技術開発試験報告書，別冊（1）現行漁況・海況予測手法の整理と改善点，230-241，漁業情報サービスセンター．
- 周東健三（1982）日本海の海況（II）．海と空，**57**，171-186．
- WATANABE, T., HANAWA, K. and TOBA, Y. (1986) Analysis of year-to-year variation of water temperature along the coast of the Japan Sea. *Prog. Oceanog.*, **17**, 337-357.
- WMO/UNEP Intergovernmental Panel on Climate Change (1990) *Scientific assessment of climate change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 365. (気象庁1992から引用)
- 山元竜三郎・西 憲敬・角野有香・星合 誠（1990）海上気温の長期変動．号外海洋，**3**，31-34．
- 好本 誠（1992）1983/84年冬の日本海の天候．海と空，**67**(特別号)，193-204．