

---

# [情報・資料] わが国周辺の海面水温の長期的変動と北太平洋における気候・海洋指数との関係

## Long-term changes in sea surface temperature around Japan and its relation with climate and ocean indices in the North Pacific

和田時夫<sup>1)</sup>

Tokio Wada

1)顧問

---

### 要旨：

わが国周辺における近年の海面水温変動の特徴を明らかにするため、1955～2020年の66年間の海面水温の平年差の変動と北太平洋の主要な気候・海洋指数との関係を検討した。わが国周辺を親潮域、混合域、黒潮域、対馬暖流域の4海域に分け、1988/89年のレジームシフトの発生を踏まえて、1955～1987年と1988～2020年の間で冬季および夏季の海面水温の平年差の変動を比較した。気候・海洋指数として南方振動指数(SOI)、北太平洋十年振動指数(PDOI)、北太平洋循環振動指数(NPGOI)、北太平洋指数(NPI)、北極振動指数(AOI)、冬季のモンスーンインデックス(MOI)を選び、海面水温の平年差との関係について統計的に解析した。海面水温の平年差の変動は、1955～1987年で海域による差が大きく、1988～2020年では海域間で連動した動きを示した。気候・海洋指数との関係では、1955～1987年には冬季の混合域や対馬暖流域を中心にPDOI、NPI、AOIとの相関関係が認められたのに対し、1988～2020年には冬季の親潮域や対馬暖流域でAOIやMOIが有意あるいはそれに準じる相関関係を示し、わが国周辺の海面水温変動への大気運動の直接的な影響が強くなっていることが示唆された。

キーワード：情報・資料、わが国周辺、海面水温、気候・海洋指数、十年規模変動

### 1. はじめに

わが国周辺の海面水温は、地球温暖化に対応して最近の100年間では1.24℃上昇している。<sup>1)</sup>一方、1990～2020年の30年間の平均値を平年値とした場合、わが国周辺の海面水温の平年差は十年規模の変動を示し、近年ではわが国周辺全体としては2000年頃に極大、2010年頃に極小となった後、上昇傾向にある。<sup>1)</sup>

この十年規模の変動について、吉田ほか<sup>2)</sup>は1958～2016年のわが国周辺の海面水温について経験的直交関数(EOF)解析を行うとともに、大気場の変動や北太平洋十年振動指数(Pacific Decadal Oscillation Index: PDOI)などの気候・海洋指数との関係を解析した。その結果、①日本海、東シナ海、九州から本州中部以南の広範な海域における冬季の海面水温は冬季の季節風、②北海道周辺の近年の夏季の海面水温の上昇は熱帯域における大気対流活

動の影響を受けた中高緯度の対流圏温度の上昇、③東北太平洋海域(三陸沖)の海面水温変動は太平洋十年規模振動(Pacific Decadal Oscillation: PDO)などの北太平洋内部の水温変動の影響を受けていると考えられることを報告している。

本報告では、改めて、夏季と冬季、1980年代以前と1990年代以降を対比させながらわが国周辺の海域別の海面水温の長期変動の動向を振り返るとともに、PDOIをはじめとする北太平洋の主要な気候・海洋指数との関係を解析し、特に近年の海面水温変動の特徴について検討した。

### 2. 資料と方法

#### 2.1 海面水温の変動

海面水温のデータとしては、気象庁が整理・公表しているわが国周辺の13海域(図1)の海面水温の季節別平年差の時系列<sup>1)</sup>を用いた。

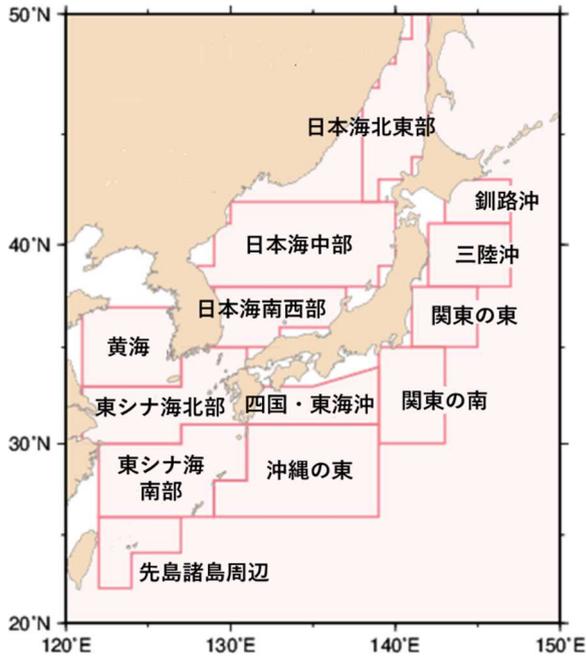


図 1 気象庁<sup>1)</sup>によるわが国周辺の海面水温の平年差の長期変動集計の海域区分

海域を、親潮域（釧路沖）、混合域（三陸沖、関東の東）、黒潮域（関東の南、四国・東海沖、沖縄の東、先島諸島周辺、東シナ海南部）、対馬暖流域（東シナ海北部、黄海、日本海南西部、日本海中部、日本海北西部）の 4 海域に統合し、それぞれ 1953～2022 年について、各年の海面水温の平年差について冬季（1～3 月）および夏季（7～9 月）の平均値を計算した。これをさらに 5 年移動平均した 1955～2020 年の 66 年間の時系列を解析に用いた。平年差の平均値の計算にあたっては、地球温暖化の影響を除去するため、各年の全球平均の海面水温の平年差<sup>3)</sup>を差し引いた。

得られた時系列を海域間で比較した。また、北太平洋においては 1988～1989 年にかけて海洋・大気のリジームシフトが発生し、それを境に海面水温変動における北太平洋循環振動（North Pacific Gyre Oscillation: NPGO）の影響が拡大したことが指摘されている。<sup>4)</sup>そこで、期間を 1987 年以前と 1988 年以後に分け、1955～1987 年と 1988～2020 年の 2 つの期間のそれぞれについて、季節別期間別に海域間の海面水温偏差の相関関係をピアソンの積率相関係

数により検討した。統計的な有意性は t 検定によった。有効標本数は 5 年移動平均値を使用していることから、先行研究<sup>2)</sup>に倣って標本数を 5 で除したものとした。なお、検定における有意水準は、一般的には 5%あるいは 1%が用いられるが、ここでは 10%以下を有意とした。

## 2.2 気候・海洋指数の変動

北太平洋における気候・海洋指数として、南方振動指数（Southern Oscillation Index: SOI）、太平洋十年規模振動指数（Pacific Decadal Oscillation Index: PDOI）、北太平洋循環振動指数（North Pacific Gyre Oscillation Index: NPGOI）、北太平洋指数（North Pacific Index: NPI）、北極振動指数（Arctic Oscillation Index: AOI）、冬季のモンスーンインデックス（Monsoon Index: MOI）の 6 つの指数について検討した。これらは、大気のテレコネクション（遠隔結合）や大気-海洋相互作用を通じて、わが国周辺の海面水温との関係が期待されるものである。表 1 に気象庁の解説など<sup>5)~8)</sup>に基づく各指数の定義と特徴と、ここで使用したデータソースの URL を示した。

NPGOI は、本来は北太平洋東部の海面高度に対する EOF 解析により定義される<sup>9)</sup>が、PDOI と同様に北太平洋の海面水温を EOF 解析した結果の第二モードと同じ変動が表れていると考えられている。<sup>6)</sup>そこで、ここでは、北太平洋の北東部で正偏差、南西部で負偏差となる海面水温の空間パターンに対応する状態を正とした場合の海面水温の EOF 解析結果の第二モードの振幅の時間変化を NPGOI とした(表 1)。

SOI、PDOI、NPGO については、各季節とも類似した変動を示すことから年間の平均値を用いることとし、1953～2022 年を対象に 5 年移動平均値（1955～2020 年）を計算した。AOI は、冬季（1～3 月の平均値）の変動の振幅が他の季節に比べて著しく大きいことから、冬季の値を用いた。また、地球温暖化に対応したトレンドがあるため、データが利用可能な 1950～2022 年を対象に直線回帰をあて

はめ回帰係数によりトレンドを除去した上で、1953～2022年を対象に5年移動平均値(1955～2020年)を計算した。MOIについては、データが利用可能な1971～2022年について、全期間の標準偏差で規格

表1 北太平洋における主要な気候・海洋指数の定義と特徴

気候指数	定義・特徴	URL
南方振動指数 (Southern Oscillation Index: <b>SOI</b> )	タヒチとダーウィンの地上気圧の差を指数化したもの。指数の算出に用いた気圧の平年値は1991～2020年の30年平均値。貿易風(偏東風)の強さの目安の1つであり、正(負)のとき貿易風が強い(弱い)く、La Niña (El Niño)に対応。大気循環のテレコネクション(遠隔相関)と大気-海洋相互作用により北太平洋中緯度の水温分布(PDO, NPGO)にも影響。	<a href="https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/db/elnino/index/soi.html">https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/db/elnino/index/soi.html</a>
太平洋十年規模振動指数 (Pacific Decadal Oscillation Index: <b>PDO</b> )	北太平洋の20°N以北における1901～2000年の平均値からの月別海面水温偏差に対する経験的直交関数(EOF)解析により、検出された第一モードの振幅の時間変化。解析に先立ち各地点の月平均海面水温偏差から全球平均海面水温偏差を差し引き温暖化の影響を除去。 一定の統計期間(例えば1901～2000年)を対象にPDOIを北太平洋の海面水温に回帰させると、PDOIが正のとき、本州当方沖合から北太平洋中央部にかけて負偏差、北米沿岸が正偏差を示す海面水温の空間パターンを示す。	<a href="https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/b_1/pdo/pdo.txt">https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/b_1/pdo/pdo.txt</a>
北太平洋循環振動指数 (North Pacific Gyre Oscillation Index: <b>NPGOI</b> )	本来は北東太平洋の海面高度の解析により定義されるが、PDOと同様に海面水温をEOF解析した結果の第二モードと同じ変動が現れていると考えられており、ここではPDOと同様に海面水温をEOF解析した結果の第二モードの振幅の時間変化として定義された指数を採用。 一定の統計期間(例えば1901～2000年)についてNPGOIを北太平洋の海面水温に回帰させると、NPGOIが正のとき、北太平洋の北東部と南西部で逆符号の偏差となる水温パターンを示す。近年振幅が拡大。	<a href="https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/b_1/pdo/npgoi.txt">https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/b_1/pdo/npgoi.txt</a>
(冬季の)北太平洋指数 (North Pacific Index: <b>NPI</b> )	11月～翌年3月の30°N～65°N、160°E～140°Wの領域において領域平均した海面気圧を平年値(1991-2020年の平均値)に対する標準偏差で規格化したもの。 アリューシャン低気圧の勢力の指標。PDOIと類似した変動(符号は逆)を示し、PDOに対応した大気場の変動と考えられる。	<a href="https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/climate/pdo/npiwin.txt">https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/climate/pdo/npiwin.txt</a>
北極振動指数 (Arctic Oscillation Index: <b>AOI</b> )	北半球の20°N以北における月別平均海面気圧偏差(1000hPaの高度の偏差)のEOF解析により検出された第一モードの振幅の時間変化。 北極域と中緯度の気圧のほぼ環状のシーソニックの変動であり、AOIが正のときはアリューシャン低気圧が弱まり、日本付近の西風が弱まると言われている。	<a href="https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii.table">https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii.table</a>
(冬季の東アジア) モンスーンインデックス (Monsoon Index: <b>MOI</b> )	12月～2月のイルクーツクと根室の地上気圧差。 冬季のわが国周辺の海面冷却の強さの変動要因の1つであり、シベリア高気圧が優勢のときMOIも大きくわが国周辺での冬季の北西季節風が強いことを示す。	<a href="https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/obs/knowledge/stmw/moi.txt">https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/obs/knowledge/stmw/moi.txt</a>

化したのち、5年移動平均値を計算した。

指数間で得られた時系列を比較した。また、海面水温と同様に、1955～1987年（MOIについては1973～1987年）と1988～2020年の2つの期間に分割し、期間別に指数間の相関関係を検討した。さらに、季節別期間別に各海域の海面水温の平年差と気候指数の相関関係を検討した。相関係数の計算と有意性の検定は海域間における海面水温の平年差の比較と同様に行った。

### 3. 資料と方法

#### 3.1 海面水温変動の海域間比較

各海域の海面水温の平年差の変動を、冬季と夏季のそれぞれについて図2に示した。

冬季では、1990年代初めまでは海域間の差が大きかったが、その後は比較的一致した変化を示した。特に混合域の変動が著しく、1970年には $+1^{\circ}\text{C}$ を超える一方、1985年には $-1.5^{\circ}\text{C}$ 近い負の値を示した。その後1990年代は概ね正の値を示したが、2000年代に入り2015年頃まで負の値が続いたのち、急速に正に転じた。親潮域は、1960年代以降2000年頃までは変動しながらも概ね正の値で経過し、その後は負の値を示すことが増え2014年には $-1^{\circ}\text{C}$ 近い負の値を示したのち、混合域と同様に急速に正に転じた。一方、黒潮域と対馬暖流域は比較的類似した変動を示し、1980年代末を境に、前半は負の値を示すことが多い一方、後半はほぼゼロ付近から正の値で経過した。

夏季においては、親潮域の変動が大きく、近年は2003年に $-1.5^{\circ}\text{C}$ の負偏差を示した後に大きく正偏差に転じ2014年に $1.5^{\circ}\text{C}$ 近くに達し、その後も高い正偏差を維持した。遷移域は、1970年代末までは概ね正偏差、その後2000年代後半までは概ね負偏差を示したのち、 $0.5^{\circ}\text{C}$ 前後の正偏差で推移した。黒潮域の変動は小さいが、1960年代後半から1990年代中頃までは負偏差基調で、その後はゼロから正偏差寄りでも推移した。対馬暖流域は、1990年代中頃を境に、それ以前は概ね負偏差、それ以降は概ね正偏差で推移した。

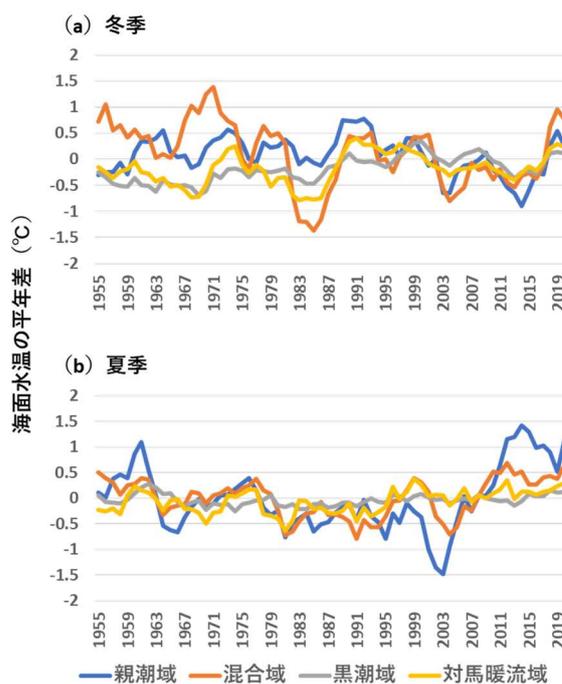


図2 季節別海域別の海面水温の平年差（5年移動平均値）の変動

表2に、季節別期間別に、海域間の海面水温の平年差の相関関係を示した。

冬季では、1955～1987年には、混合域と対馬暖流域、黒潮域と対馬暖流域の間である程度の正の相関関係（相関係数 $0.4\sim 0.5$ ）の存在がうかがわれたことをのぞき、海域間の相関関係は弱かった。これに対し、1988～2020年には全体として相関係数の絶対値が大きくなっており、親潮域と混合域の間で統計的に有意ではないが相関係数 $0.7$ を超える正の相関関係が認められたほか、混合域と黒潮域の間でもある程度の正の相関関係（相関係数 $0.535$ ）が認められた。また、日本列島を挟んで、親潮域、混合域と対馬暖流域の間に5%水準で有意な相関関係が示された。図2(a)に示した冬季の海域別海面水温の平年差の変動パターンにも示されているように、近年は海域間で海面水温が一体的に変化する傾向がうかがわれた。

夏季では、1955～1987年と1988～2020年の間で、海域間の相互関係はほぼ一致しており、両期間ともに親潮域と混合域の間に10%水準で有意な正の相関関係が認められた。また、1988～2020年では、

表 2 季節別期間別の海域相互間の海面水温の平年差の相関関係 各海域の上段は 1955～1987 年、下段は 1988～2020 年の相関係数を示す。相関係数の絶対値が 0.5 (有意確率=0.31) 以上の場合を太字で示す。

(a) 冬季			
	混合域	黒潮域	対馬暖流域
親潮域	0.153	0.282	0.409
	<b>0.723</b>	0.486	<b>0.849**</b>
混合域		-0.073	<b>0.535</b>
		<b>0.558</b>	<b>0.820**</b>
黒潮域			0.477
			0.468
(b) 夏季			
夏季	混合域	黒潮域	対馬暖流域
親潮域	<b>0.770*</b>	0.419	<b>0.591</b>
	<b>0.740*</b>	0.266	0.406
混合域		0.435	<b>0.536</b>
		<b>0.504</b>	<b>0.781*</b>
黒潮域			0.383
			<b>0.662</b>

\*, \*\*: それぞれ、10%および5%水準で有意であることを示す

混合域と対馬暖流域の間に 10%水準で有意な正の相関関係が認められたほか、黒潮域と対馬暖流域の間にも有意ではないが正の相関関係 (相関係数 0.662) が示唆された。図 2(b)からも明らかなように、1988～2020 年においては、これらの海域間での変動が類似していることが示された。

### 3.2 気候・海洋指数間の相互関係

気候・海洋指数を北太平洋の低緯度における大気側の変動の指標である SOI、中緯度の海洋側の変動を示す PDOI および NPGOI と、中・高緯度における大気側の変動を示す NPI、AOI、MOI の 2 つのグループに分け、図 3 に示した。

SOI、PDOI、NPGOI (図 3(a)) には、それぞれ 10～20 年規模の変動が認められ、SOI に対し PDOI と NPGOI はほぼ逆位相の変動を示した。SOI は 1950 年代から 1970 年代後半にかけては概ね正の値

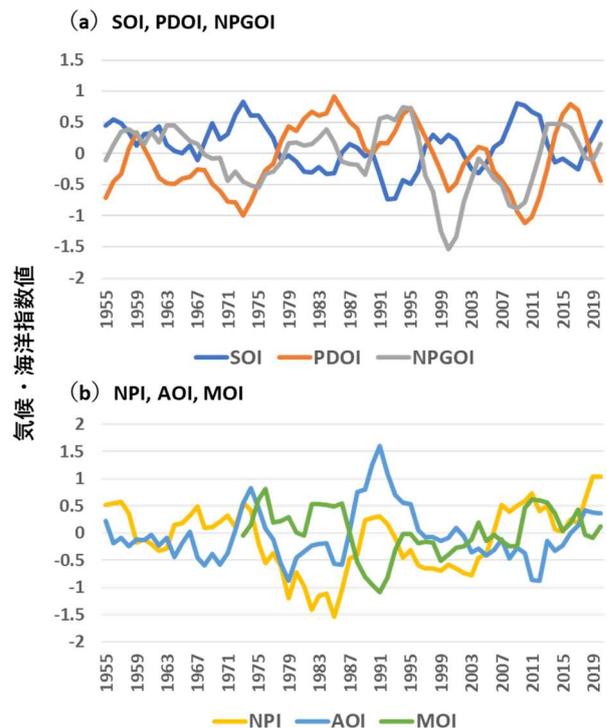


図 3 北太平洋における主要な気候・海洋指数 (5 年移動平均値) の変動

を示したが、1970 年代末から 1990 年代中頃までは負の値を示すことが多かった。その後は 2000 年代前半と 2010 年代中頃に負となるものの、概ね正の値を示した。PDOI と NPGOI は、1960 年代から 1970 年代前半にかけては負の値を示すことが多く、1980 年代から 1990 年代前半にかけては、1980 年代末に一時ゼロから負の値を示すことをのぞき概ね正の値で経過した。その後は変動を繰り返し、2000 年と 2010 年頃に著しい負の値、2015 年前後に高い正の値を示したのち、再び減少する傾向に転じた。PDOI と NPGOI は 1970 年代までは変動の位相にずれがみられたが、1980 年代以降はほぼ同じ位相となり、さらに 1990 年頃からは NPGOI の振幅が拡大し、PDOI と同程度かそれを上回った。

NPI、AOI、MOI (図 3(b)) も、それぞれ 10～20 年規模の変動を示し、1970 年代中頃から 1990 年代中頃にかけて振幅が大きかった。NPI は、1970 年代中頃から 2000 年代中頃にかけて負の値を示すことが多く、その後は正の値に転じた。AOI と MOI は逆位相の変動を示した。AOI は、1970 年代中頃と

1980年代末から1990年代前半にかけて正の値を示したほかは概ね負の値で経過し、2015年以降は正に転じた。これに対しMOIは、1980年代中頃までは正の値をとることが多く、その後は負となることが多かったが、2010年代に入り概ね正の値で経過した。

表3に、期間別に気候・海洋指数相互間の相関関係を示した。

1955～1987年には、SOIとPDOIの間に10%水準で有意な負の相関関係が認められ、SOIとNPIの間にも有意ではないが正の相関関係（相関係数0.725）が示された。また、PDOIとNPIの間には5%水準で有意な負の相関関係が認められた。さらに、データ数が1973～1987年に限られるが、NPIとMOIの間にもある程度の負の相関関係（相関係数-0.506）が示唆された。

1986～2020年には、SOIとPDOIの間に5%水準で有意な負の相関関係が認められたほか、近年のNPGOIの振幅の拡大やPDOIの変動との位相の一致（図3(a))を反映し、SOIやPDOIとNPGOIの関係が強まり、有意ではないが、それぞれ相関係数-0.627および0.678の負および正の相関関係が認められた。一方、相対的にSOIやPDOIとNPIの関係は弱まった。また、NPGOIとNPIおよびAOIとの相関関係も負から正に転じ、関係の変化が示唆された。さらに、NPIとAOIおよびMOIの関係が弱まる一方、AOIとMOIは10%水準で有意な負の相関関係を示し、この期間におけるアリューシャン低気圧の弱体化と冬季の季節風の弱まりが示唆された。

### 3.3 海面水温の平年差と気候・海洋指数の関係

表4に、季節別期間別に、各海域の海面水温の平年差と気候・海洋指数の相関関係を示した。各気候・海洋指数の定義と特徴（表1）に基づけば、わが国周辺の海面水温の平年差との相関関係は、基本的にはPDOIとNPGOIは負、NPIとAOIは正、MOIは負、PDOIおよびNPGOIと負の相関関係を示すSOIについては正となることが期待される。

冬季においては、1955～1987年には、SOIが混合域と対馬暖流域との間である程度の正の相関関係

表3 期間別の気候・海洋指数相互間の相関関係  
各指数の上段は1955～1987年、下段は1988～2020年の相関係数を示す。相関係数の絶対値が0.5（有意確率=0.31）以上の場合をゴシックで示す。MOIの上段は1971～1987年の相関係数であり、他と区別するためイタリックで示す。

	PDO I	NPGOI	NPI	AOI	MOI
SOI	-0.799*	-0.520	0.725	0.623	-0.106
	-0.813**	-0.627	0.401	-0.540	0.332
PDOI		0.397	-0.854**	-0.477	0.189
		0.678	-0.330	0.459	-0.164
NPGOI			-0.173	-0.445	0.073
			0.231	0.416	0.106
NPI				0.364	-0.506
				0.050	0.249
AOI					-0.092
					-0.735*

\*, \*\*: それぞれ、10%および5%水準で有意であることを示す

（相関係数0.572および0.704）を示した。PDOIも、混合域との間で有意ではないが負の相関関係（相関係数-0.720）を示し、対馬暖流域との間である程度の負の相関関係（相関係数-0.591）が認められた。NPIも、混合域との間で有意（10%水準）な正の相関関係を示すとともに、対馬暖流域においてもある程度の正の相関関係（相関係数0.521）を示した。これに対し、NPGOIは黒潮域と対馬暖流域との間である程度の負の相関関係（相関係数-0.556および-0.499）を示し、AOIは対馬暖流域との間で有意ではないが正の相関関係（相関係数0.661）を示した。MOIはデータ数が1973年以降で少ないため統計的な有意性は認められなかったが、親潮域、混合域、黒潮域で-0.5～-0.7の相関関係を示した。

1988～2020年には、各海域ともSOI、PDOI、NPIとの相関係数の絶対値が小さく、海面水温変動への影響は小さいと考えられた。一方、NPGOIは黒潮域との間で有意（10%水準）な負の相関関係を示した。また、AOIは親潮域との間で有意（10%水準）な正の相関関係を示し、対馬暖流域との間でも有意ではないが正の相関関係（相関係数0.727）を示した。MOIは親潮域との間において5%水準で有意な

表 4 季節別期間別の各海域の海面水温の平年差と気候・海洋指数の相関関係 各指数の上段は 1955～1987 年、下段は 1988～2020 年の相関係数を示す。相関係数の絶対値が 0.5 (有意確率=0.31 に対応) 以上の場合をゴチックで示す。MOI の上段は 1971～1987 年の相関係数であり、他と区別するためイタリックで示す。

(a) 冬季				
	親潮域	混合域	黒潮域	対馬暖流域
SOI	0.089	<b>0.572</b>	-0.062	<b>0.704</b>
	-0.179	-0.020	0.319	-0.288
PDOI	-0.288	<b>-0.720</b>	0.096	<b>-0.591</b>
	0.090	-0.009	-0.396	0.266
NPGOI	-0.223	-0.235	<b>-0.556</b>	-0.499
	-0.006	-0.069	<b>-0.734*</b>	0.157
NPI	-0.005	<b>0.750*</b>	-0.177	<b>0.521</b>
	0.066	0.281	-0.144	0.008
AOI	0.204	0.050	0.320	<b>0.661</b>
	<b>0.760*</b>	<b>0.568</b>	0.055	<b>0.727</b>
MOI	<i>-0.564</i>	<i>-0.587</i>	<i>-0.717</i>	<i>-0.451</i>
	<b>-0.782*</b>	-0.462	-0.460	<b>-0.640</b>
(b) 夏季				
	親潮域	混合域	黒潮域	対馬暖流域
SOI	<b>0.632</b>	<b>0.741*</b>	0.148	0.392
	0.300	<b>0.674</b>	0.226	<b>0.554</b>
PDOI	-0.352	<b>-0.545</b>	-0.199	-0.236
	-0.006	-0.388	-0.040	-0.367
NPGOI	-0.080	-0.264	0.375	-0.111
	0.340	-0.236	-0.258	-0.413
NPI	0.359	<b>0.535</b>	0.095	0.152
	<b>0.684</b>	0.445	0.154	0.113
AOI	0.388	0.279	-0.109	<b>0.528</b>
	-0.189	<b>-0.551</b>	-0.253	<b>-0.656</b>
MOI	<i>0.199</i>	<i>0.092</i>	<i>0.084</i>	<i>0.388</i>
	<b>0.507</b>	<b>0.605</b>	0.162	0.491

\*, \*\* : それぞれ、10%および5%水準で有意であることを示す

負の相関関係を示すとともに、他の海域との間でも -0.4～-0.6 の相関係数を示しており、わが国周辺全域にわたって海面水温の平年差に一定の影響を及ぼしていることが示唆された。

夏季においては、1955～1987 年には、SOI が混合域において 10%水準で有意な正の相関関係を示し、親潮域との間でもある程度の相関関係（相関係数

0.632）が認められた。PDOI も混合域との間である程度の負の相関関係（相関係数-0.545）を示した。しかし、これら以外は、NPI が混合域との間で、AOI が対馬暖流域との間で、それぞれある程度の正の相関関係（相関係数 0.535 および 0.528）を示すことをのぞくと、各指数、各海域ともに相関係数の絶対値は小さかった。1986～2020 年においても、SOI が混合域と対馬暖流域との間である程度の正の相関関係（相関係数 0.674 および 0.554）を示すほか、NPI が親潮域との間で有意ではないが正の相関関係（相関係数 0.684）を示した。また、AOI が混合域と対馬暖流域との間である程度の負の相関関係（相関係数-0.511 および-0.656）を、MOI が親潮域と混合域との間である程度の正の相関関係（相関係数 0.507 および 0.605）を示した。これらをのぞくと、わが国周辺の海面水温の平年差に及ぼす気候・海洋指数の影響は明瞭ではなかった。

#### 4. 考察

この解析を通じて、1955～1987 年と 1988～2020 年の間で、海域別海面水温の平年差の変動と気候・海洋指数の関係に変化が認められた。すなわち、海域別海面水温の平年差では、1986～2020 年の冬季において隣接する海域間で同調した変動を示す傾向が強まり、冬季および夏季ともに、親潮域、混合域、黒潮域（太平洋側）と対馬暖流域（東シナ海・日本海側）の関係も強まった。

気候・海洋指数の相互関係では、1955～1987 年には SOI、PDOI、NPI の間に明瞭な相関関係が示されたほか、NPI と MOI の間にもある程度の負の相関関係が示唆された。これに対し、1988～2020 年には、1955～1987 年に比べて SOI、PDOI と NPGOI の関係が強まる一方、NPI との関係が弱まった。また、AOI と他の気候・海洋指数との関係においても相関係数の符号が正から負へ逆転した。

各海域の海面水温の平年差と気候・海洋指数との関係は、SOI と混合域や親潮域の関係をのぞくと夏季に比べて冬季でより顕著であり、1955～1987 年には、混合域において PDOI や NPI の影響が認めら

れたほか、対馬暖流域においても一定の気候・海洋指数の影響が検出された。これに対し1988~2020年には、親潮域を中心に、混合域や対馬暖流域でもAOIやMOIの影響が拡大したほか、黒潮域においてはNPGOIの影響が示された。

全球の海洋貯熱量は1950年代から一貫して増加してきたが、1990年代半ば以降、特に2010年以降で増加速度が大きくなっていることが指摘されている。<sup>10)</sup> わが国周辺海域における地球温暖化にともなう海洋貯熱量の増加とSSTの上昇が、近年わが国周辺全域でSST変動が同調する傾向にある要因の1つであると考えられる。

大気側の変動であるSOIに対応した海洋側の現象であるEl Niñoのうち、東部太平洋で発生するもの(Eastern Pacific (EP) El Niño)は大気のテレコネクションを通じて冬季のアリューシャン低気圧の勢力に影響し、北太平洋におけるPDOに類似した海面水温の分布パターンをもたらす傾向があること、中央太平洋で発生するもの(Central Pacific (CP) El Niño、El Niño Modoki (エルニーニョモドキ))は冬季の北太平洋高気圧の強さに関係し、NPGOIに類似した海面水温の分布パターンをもたらす可能性が高いことが指摘されている。<sup>11~13)</sup> 1980年代以降でCP El Niñoの発生頻度の増加が指摘されており<sup>14)</sup>、このことが、近年わが国周辺の海面水温変動に対するPDOIやNPIの影響が低下する一方、NPGOIの振幅増大や黒潮域の海面水温への影響拡大の一因となっていると考えられる。

この解析では、各海域の海面水温の平年差に対する冬季のMOIの共通した影響や、夏季の親潮域や混合域におけるSOIや冬季の混合域におけるPDOIの比較的高い相関関係、冬季の黒潮域におけるNPGOIの影響など、先行研究<sup>2)、15)</sup>を支持する結果が得られた。一方、1988~2020年においては、冬季の北西季節風の強弱を支配するシベリア高気圧やアリューシャン低気圧の勢力に直接関係するAOIやMOIなど、大気運動に関する気候指数の影響拡大を示唆する結果が得られた。Park et al.<sup>16)</sup>は、1970~2005年の東アジアの冬季モンスーンと北太平洋の

海面水温と北半球の海面更生氣圧の関係を検討し、わが国周辺の海面水温の変動について、1990年代以降は季節風が弱くなったため、北太平洋中央部における風応力の変動によって生じた海洋の循環の変動の寄与が大きくなっていることを指摘している。地球温暖化の進行にともない、北太平洋内部の海洋側の変動であるPDOIやNPGOIをはじめとして大気-海洋の相互作用が変化し、それがわが国周辺の海面水温の変動のあり方に変化をもたらしていることが考えられる。今後の動向に注目するとともに、継続した解析が必要である。

## 謝辞

本稿をとりまとめるにあたり、漁業情報サービスセンター水産情報部の谷津明彦博士とシステム企画部の日原 勉博士には、データや用語に関するご指摘をいただくとともに、内容についてご議論いただいた。記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 気象庁: 海面水温の長期変化傾向(日本近海), 2023/6/10.  
[https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a\\_1/japan\\_warm/japan\\_warm.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html)
- 2) 吉田久美ほか: 日本近海における海面水温の十年規模変動, 海の研究, 29(2), 19-36, 2020. doi: 10.5928/kaiyou.29.2\_19.
- 3) 気象庁: 海面水温の長期変化傾向(全球平均), 2023/6/10.  
[https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a\\_1/glb\\_warm/glb\\_warm.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/glb_warm/glb_warm.html)
- 4) Yeh, S.W. et al.: The North Pacific climate transitions of the winters of 1976/77 and 1988/89, J. Climate, 24, 1170-1183, 2011. Doi: 10.1175/2010JCL13325.1.
- 5) 気象庁: 南方振動指数とは何ですか, よくある質問(エルニーニョ/ラニーニャ現象), 2023/6/10.  
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/el>

- ino/learning/faq/faq3.html#5
- 6) 気象庁: 太平洋の海面水温に見られる十年～数十年規模の変動, 2023/6/10.  
[https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/climate/knowledge/pac/pacific\\_decadal.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/climate/knowledge/pac/pacific_decadal.html)
  - 7) NOAA: Arctic Oscillation (AO), 2023/6/10,  
<https://www.nci.noaa.gov/access/monitoring/ao/>
  - 8) 気象庁: 黒潮続流域での冬季の海面冷却について, 2023/6/10.  
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/obs/knowledge/stmw/moi.html>
  - 9) Di Lorenzo, E., N. et al.: North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L08607, 2008. doi: 10.1029/2007GL032838.
  - 10) 気象庁: 海洋貯熱量の長期変化傾向 (全球) , 2023/6/10.  
[https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/a\\_1/ohc/ohc\\_global2000.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/a_1/ohc/ohc_global2000.html)
  - 11) Di Lorenzo, E. and A. J. Miller: A framework for ENSO predictability of marine ecosystem drivers along the US West Coast, *Ocean Carbon and Biogeochemistry News*, 10(1), 2017. 2023/6/10.  
<https://www.us-ocb.org/a-framework-for-ens0-predictability-of-marine-ecosystem-drivers-along-the-us-west-coast/>
  - 12) Di Lorenzo, E., A. et al.: Forecasting ENSO Impacts on Marine Ecosystems of the US West Coast: A Joint US CLIVAR and OCB Workshop Report, 2019-1, 58pp., 2019. doi:10.5065/15kw-ep41. 2023/6/10.  
<https://indd.adobe.com/view/publication/6f3c6075-24c0-431b-a352-e515c4b5d8e6/x6hh/publication-web-resources/pdf/2016-ENSO-Workshop-Report.pdf>
  - 13) Ashok, K. et al.: El Nino Modoki and its possible teleconnection, *J. Geophys. Res.*, 112, C11007, 2007. doi: 10.1029/2006JC003798.
  - 14) Chen, N. and A.J. Majda: Simple dynamical models capturing the key features of the Central Pacific El Niño, *PNAS*, 113(42), 11732–11737, 2016. doi.org/10.1073/pnas.1614533113.
  - 15) 大野浩史ほか: 本州南方の冬季海面水温と北太平洋の大気・海洋変動との関係, *気象庁研究時報*, 68, 1–18, 2020.
  - 16) Park, Y.-H. et al.: Recent warming in the western North Pacific in relation to rapid changes in the atmospheric circulation of the Siberian high and Aleutian low systems. *J. Climate*, 25, 3476 – 3493, 2012. doi:10.1175/2011JCLI4142.1.

(2023年6月28日受理、Ser. No. 17)