

# 北西太平洋の海面水温変動： ENSOおよび高緯度循環指数との関連

野 口 泰 生

## 要旨

東北地方太平洋岸やその東方沖では、1950年代以降水温低下の傾向にあり、夏の常磐沖水温には低下現象の中に6年の明瞭な周期性が存在する。

東北地方太平洋岸の海面水温変動が低・高緯度側の大気循環の影響を受けている可能性が指摘されているため、その季節的特徴や広がり の把握を目的として、北西太平洋緯度・経度1度グリッドの季節別海面水温とSOIや極東域東西指数との相関解析を実施した。その結果、SOIや極東域東西指数との高相関海域は季節の推移と共に分布域を移動させ、夏には常磐沖を含む中緯度帯にSOIと正の有意相関を持つ海域が集中した。極東域東西指数と海面水温との相関関係でも、冬と夏に高相関域が日本周辺海域に広がり、両者の複雑な関係が推測された。

夏に常磐沖海面水温に出現する6年の周期性に注目して、夏の北西太平洋中緯度のグリッド別海面水温変動と高相関となる有意因子を、季節別SOI、極東域東西指数、東方海上高度から重回帰分析によって求めると、有意相関グリッド中、82%のグリッドがSOIを第一決定因子として持ち、特に夏のSOIが夏の海面水温を決める上で重要であることが分かった。常磐沖の夏平均海面水温も夏のSOIと最も強い相関関係にあることが分かったが、6年周期の十分な説明は今後の課題である。

## 1. はじめに

東北地方太平洋岸やその東方海域では、近年、親潮の異常南下や面積拡大を特徴とする海況変動が報告され、この海況変動と関連して、北日本や東北地方太平洋岸の気温・降水量変動が議論された（岩尾，1994；吉永他，1998；野口，2001）。また、親潮の異常南下にシベリア高気圧やアリューシャン低気圧の強化・位置の移動が関係していることが指摘され、アリューシャン低気圧の振る舞いにはエルニーニョ・南方振動現象（ENSO）の関与も指摘されている（Yamada and Sekine, 1997）。

これまで、ENSO現象が大気を通して中高緯度大気・海洋に影響していることは多くの研究で指摘され（Nitta and Yamada, 1989；Trenberth, 1990；Kawamura, 1994；Trenberth and Hurrell, 1994；Kachi and Nitta, 1997；Lau, 1997）、Deser and

Blackmon (1995) は冬の太平洋 (南緯20度～北緯60度) 海面水温 (SST) 変動の EOF (経験的直交関数) 解析から、変動の41%はENSO起源の主成分であることを示した。

一方、太平洋の海洋・大気相互作用にはENSOに代表される数年スケールの変動のほか、十年以上のスケールを持つ変動が認められ、Deser and Blackmon (1995) は、冬の水温変動の11%はENSOとは無関係の、北太平洋北緯40度に沿う偏西風に関連した変動で、1950年以降偏西風の強化に伴って、中緯度海域の水温が低下していることを示した。

このような長期変動は1970年代以降の冬季偏西風の強化やアリューシャン低気圧の深まりとしても認められており (Trenberth, 1990; Hanawa et al., 1996), 1970年代中期以降の南方振動指数 (SOI) の低下や熱帯東部太平洋海域の水温上昇などと合わせて、ENSO現象との関連が指摘されている (Trenberth, 1990; Trenberth and Hurrell, 1994)。

また、北太平洋の海面水温変動と大気循環パターンとの関係についても、海面水温変動が冬の500hPa面高度場のPNAパターン (Wallace and Gutzler, 1981) と強い同時相関のあることが示され (Weare et al., 1976; Kawamura, 1984; Iwasaka et al., 1987; Nitta and Yamada, 1989), ここでも北太平洋中緯度における近年の水温変動がPNAパターンを介して熱帯東部太平洋のENSO起源の水温変動と関連づけられている。

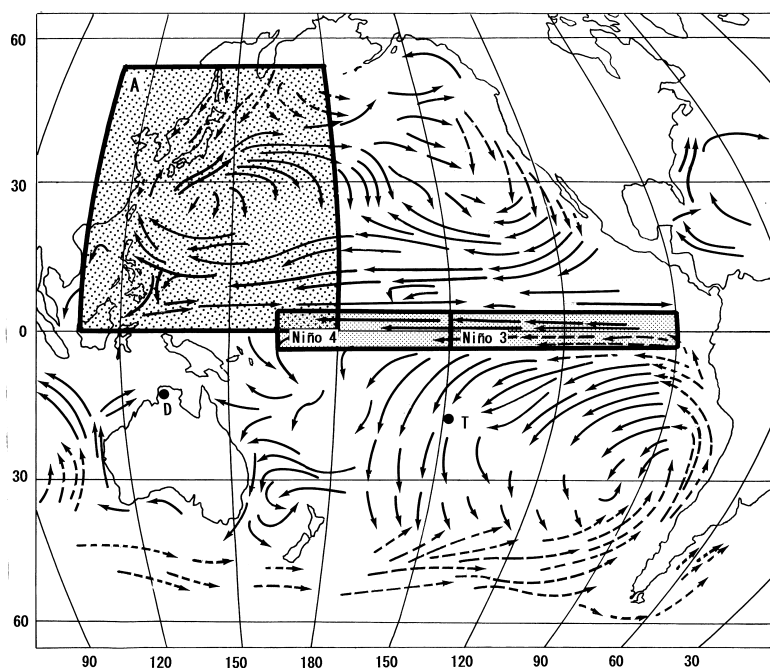
一方、北太平洋西部の海面水温変動については、冬のWP (Western Pacific) パターンの重要性が指摘され (Kawamura, 1984; Wallace et al., 1990), Iwasaka et al. (1988) は、日本周辺海域の水温変動が冬のモンスーン活動を強化するWP型とアリューシャン低気圧を強化するPNA型の2つの大気循環パターンによって特徴づけられることを示した。

このように、日本周辺海域の水温変動には熱帯太平洋のENSOの影響と高緯度大気循環の影響が混在していると考えられるが、これまでの研究では、これらの影響がどの季節を中心に発生し、どの海域の水温に最も影響を与えているのか、また影響がどのように日本近海に及ぶのかと言った点が示されていなかった。

そこで本稿では、緯度・経度1度グリッドの解像度を持つ海面水温資料を用いて、北西太平洋の海面水温変動が熱帯太平洋の大気循環指標であるSOIや高緯度大気循環の指標である東西指数とどのように関わっているのかを相関解析で検証し、東北地方太平洋岸の水温変動が北西太平洋広域の海況変動とどのような関係にあるのかを考察する。

## 2. 海面水温と大気資料

使用した資料は、気象庁および気象業務支援センターから入手した気象庁月別累年値ファイル、北西太平洋旬別海面水温資料、エルニーニョ監視海域水温資料、SOI、極東域東西指数・東方海上高度などの指数である (気象庁, 1991, 1992; 気



第1図 調査地域の概要

A：北西太平洋の調査海域（0～53°N, 110°E～180°）、D：ダーウィン、T：タヒチ、  
Niño 3：エルニーニョ監視海域Niño 3（4°N～4°S, 90°W～150°W）、Niño 4：エルニー  
ニョ監視海域Niño 4（4°N～4°S, 160°E～150°W）、実線の矢印：暖流、点線の矢印：  
寒流

象庁、1991～98）。

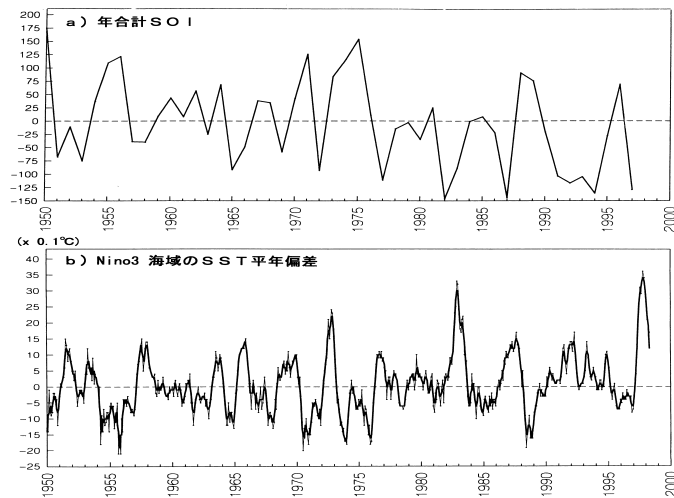
北西太平洋旬別海面水温資料は緯度・経度1度グリッド（赤道～北緯53度、東経110～180度）の平均海面水温で、詳細は気象庁海洋気象部海洋課（1990）に述べられている。各グリッドの位置はグリッド中心の緯度経度で示す。熱帯日付変更線海域では1950年代にデータの無いグリッドが多く、相関解析の際、高緯度と比べ有意水準が多少低下する。

エルニーニョ監視海域の水温資料はNiño 3 指定海域（南緯4度～北緯4度、西経90～150度）のものを使用した。SOIはタヒチとダーウィンにおける気圧の平年偏差を規準化し、両者の差をさらに規格化した月別値である。極東域東西指数は東経90～170度で平均された北緯40度と北緯60度の500hPa高度平年偏差の差、東方海上高度は東経140～170度で平均された北緯40度の500hPa高度平年偏差である。

調査地域と今回使用した資料の地理的位置は第1図に示す。

### 3. ENSOと北西太平洋海面水温変動

月別SOIから年や季節別SOIを求め、その永年変化を見ると（第2図a）、1970年代以降の規則的な5年程度の周期と近年の低下傾向（エルニーニョ現象が強化



第2図 SOIおよびNiño 3エルニーニョ監視海域の海面水温年偏差の永年変化

- a) SOIの年値 (1950～97年) で、月値を年合計したもの。  
b) Niño 3 監視海域における海面水温年偏差と3年移動平均 (1950～98年)

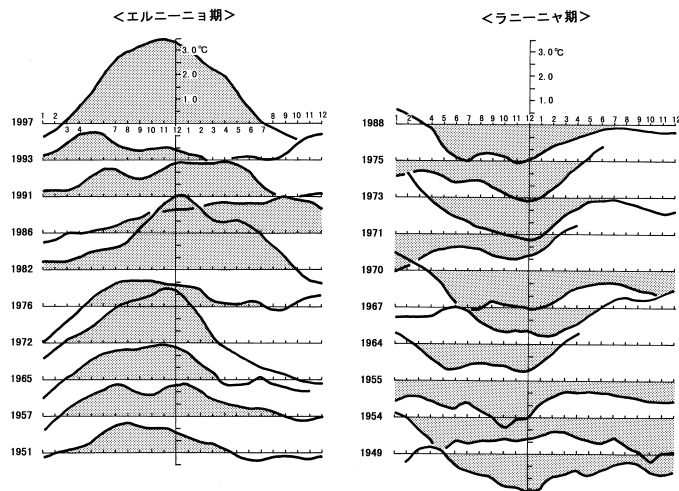
される傾向) が顕著である。また、Niño 3 監視海域の海面水温偏差 (第2図b) の月別値を用いて、これまでの代表的なエルニーニョ/ラニーニャ時の水温変化を図示し (第3図)、水温偏差が0 の時を便宜的にENSOの開始期・終息期と考えると、それぞれのENSO現象が発生から終息まで約1年の概ね季節性のある現象 (北半球の晩冬から春に始まり、翌年の春まで続く現象) としてとらえることができる。ENSOの季節性についてはこれまでに Rasmusson and Carpenter (1982), Philander (1983), Bradley et al. (1987) などがペルー沖の水温やSOIですでに指摘しているが、ここではNiño 3 監視海域の水温を用いて1997, 98年の最大規模エルニーニョ発生期までを含めて示した。

季節別SOI累年値と季節別北西太平洋グリッド海面水温 (1950～93年) との間で同時相関を求めると (第4図a～d)、相関係数の分布に次のような季節ごとの特徴が現れる。すなわち、1) 北西太平洋上に相関係数の符号が正負交互の海域が常態に出現し、2) SOIと高相関の海域が季節の推移と共に移動する。

第3図に示すように、ENSO現象が一定の季節変化をし、それに伴って高相関海域が移動するということは、ENSO現象の発生たびにENSOの季節的な進行に伴って、北西太平洋の海面水温に一定の変化が生じることを示すもので、ENSO現象の一生と北西太平洋海面水温の振舞いとの間に、広範な季節性が認められることを意味している。

### 3.1 エルニーニョ期に水温低下する海域 (第4図a～dで正相関の海域)

顕著な正の高相関海域が中緯度と低緯度の2カ所に出現し、別個の季節サイクルを構成している。



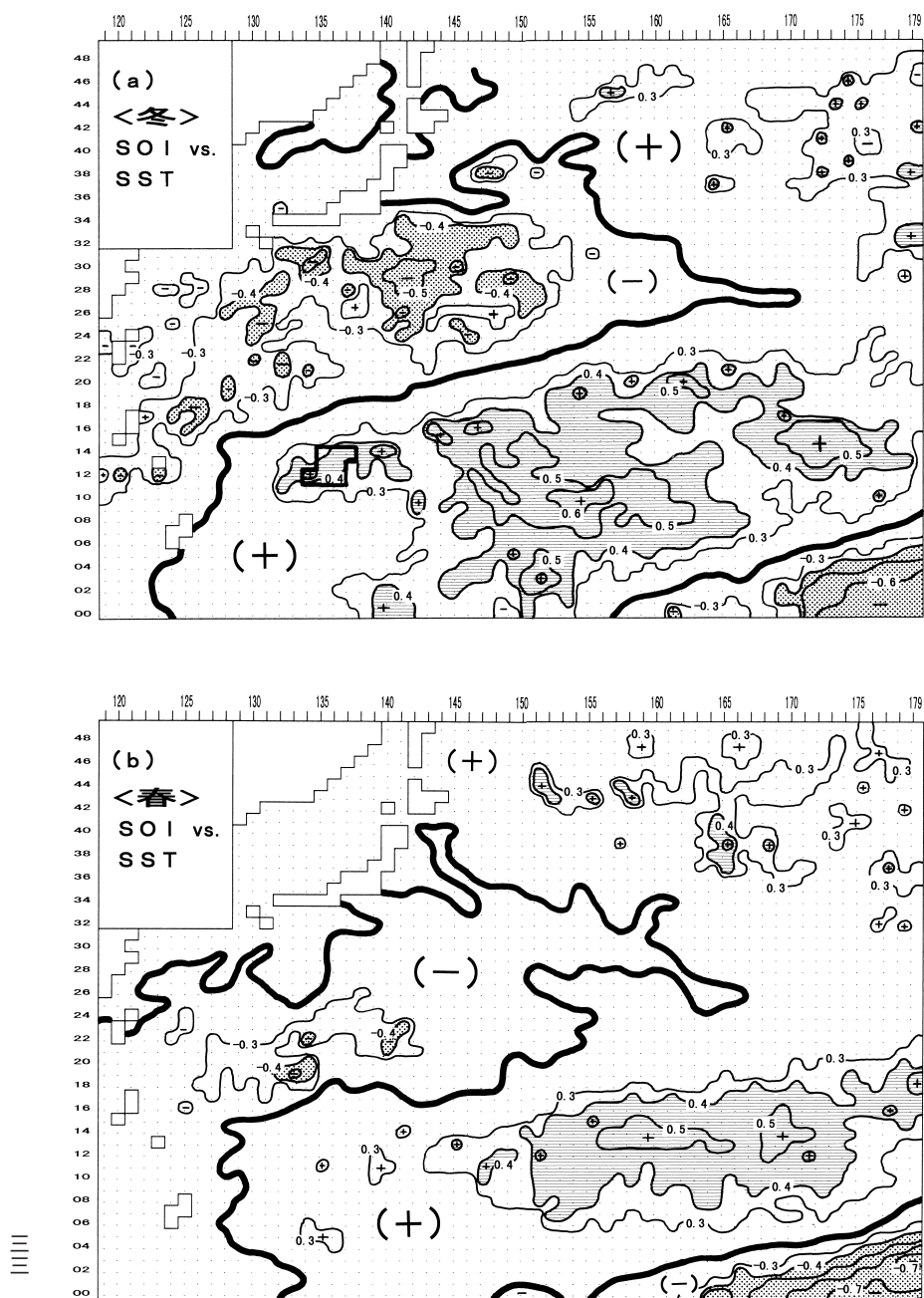
第3図 Niño 3エルニーニョ監視海域におけるエルニーニョ・ラニーニャ期の海面水温変動

注：平年偏差の値を3年移動平均してある。各開始年を左側に示す。横軸に月を示す。

エルニーニョ期に水温低下する一つの海域は、冬から春にかけて、日本のはるか東方沖の中緯度帯（北緯35～45度）に点在し始め、徐々に西へ張り出しながら、夏には本州の緯度帯（北緯32～42度）でほぼ完全な帯状をなして東西に連なる。この夏の帯状分布の中では、高相関海域の一つが茨城・福島県近海にあって、最も相関係数の高いグリッド（ $r=0.58$ ,  $n=44$ ）がここに出現する。この海域は野口（2001）が最近の顕著な低温化と6年周期の見られる海域として指摘した場所と一致する。秋には、高相関海域は東に向かって日本を離れ、日付変更線海域に移動する。

エルニーニョ期に水温低下するもう一つの海域は、夏から秋に向かってインドネシアの赤道海域（モルッカ諸島海域）に出現し、東へ向かって拡大し始める。これは、エルニーニョ開始期の西風偏差によって暖水が東に移動することに対応しているものと思われる。この高相関海域は冬には赤道地域を離れて、フィリピン沖から続く別の高相関海域と共に東方へ広がり、日付変更線付近のNiño 4監視海域の北にまで張り出して、最も拡大する。この冬の水温分布がENSO起源の冬の太平洋水温変動のEOF 1分布（Deser and Blackmon, 1995）とよく似ていることはすでに述べた。水温低下海域は、春にはNiño 4監視海域北側の亜熱帯海域にやってきて、細長い帯状の高相関域を形成し、夏には東経160度、北緯20度付近にわずかな痕跡として残るだけとなる。

栗原（1985）は、西部熱帯太平洋（赤道～北緯10度、東経137度）の海水温と中・西部日本の夏季平均気温とを比較し、両者に高い正の同時相関があり、この熱帯海域が高温の時、日本の気温が高温となり、熱帯日付変更線海域が低温となることを示したが、第4図cの夏はラニーニャの時にほぼこれと同じ関係になること

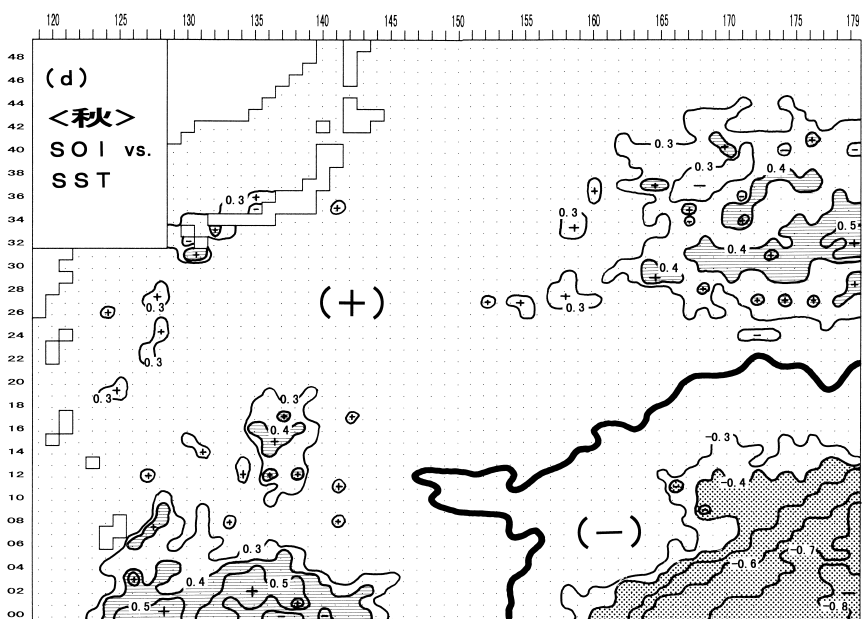
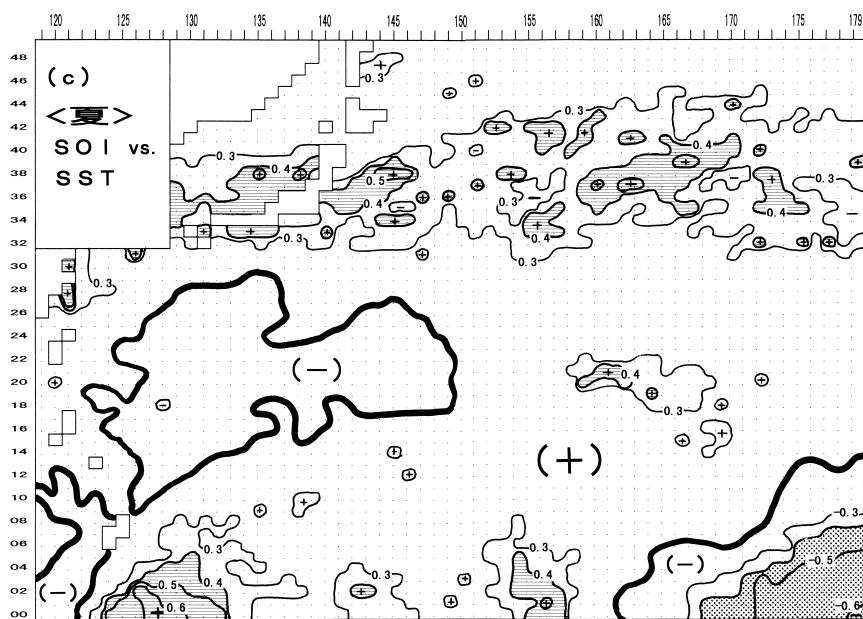


第4図 SOIと北西太平洋海面水温 (SST) との季節別同時相関 (1950~93年)

a) 冬, b) 春

注：相関係数の絶対値0.4以上に影をつけた。相関係数の絶対値は0.36 (n=44) 以上で危険率1%以下。第4図aに示すフィリピン東方海域の枠囲いは第9図の海域 (詳細は本文参照)。





第4図 SOIと北西太平洋海面水温 (SST) との季節別同時相関 (1950~93年)

c) 夏, d) 秋

注：相関係数の絶対値0.4以上に影をつけた。相関係数の絶対値は0.36 (n=44) 以上で危険率1%以下。

を示している。また、この図は、気温と水温という違いはあるものの、エルニーニョ年の夏には日本の気温が平年より低い年が多いという栗原（1985, 1988）の指摘とも一致する。以上に述べた関係はラニーニャ期には逆転し、低温海域は高温海域として入れ替わる。

### 3.2 エルニーニョ期に水温上昇する海域（第4図a～dで負相関の海域）

熱帯日付変更線付近（Niño 4 監視海域）ではどの季節にも負の高相関海域が出現し、エルニーニョ期には一年を通して高水温が持続している。全体として秋に向かって負の相関が次第に高くなり（ $r=-0.8$ ）、高相関海域が高緯度へ拡大する。

日本近海では、一年を通してエルニーニョ期に水温上昇する海域は認められないが、冬のフィリピン海域から小笠原周辺海域にかけて断続的に高相関（ $|r| 0.4$ ）の高水温域が出現する。特に小笠原海域では広範囲に高相関域が見られる。これらの海域は冬のモンスーン活動と水温との関係が指摘された日本南方の黒潮海域で、エルニーニョ年の冬に正の海面水温変動が見られた海域であるが（Hanawa et al., 1988）、ここはRasmusson and Wallace (1983) の言う対流活動活発域であり、Deser and Blackmon (1995) の示すエルニーニョ時の冬の高水温域でもある。

## 4. 高緯度大気循環と北西太平洋海面水温変動

熱帯太平洋のENSO現象が北西太平洋各水域の海面水温変動に季節的に異なった影響を及ぼしていることが、SOIと海面水温との相関解析から理解されるが、高相関域といえども直線回帰によるSOIの説明力（寄与率、 $r^2$ ）は全変動の半分にも達していない。Ting et al. (1996) はENSOとは独立した中緯度対流圏の東西流変動が中高緯度の冬の気候値の変動を決める重要な要素であることを指摘している。

そこで、高緯度側の循環指数として極東域東西指数と東方海上高度を取り上げ、東北地方太平洋岸の海面水温変動との関連を検討する。これら二つの循環指数の間には、冬を中心に強い正相関があり、1950～88年の季節ごとの月別値（ $n=117$ ）で、相関係数は $r=0.78$ （冬）、 $0.75$ （春）、 $0.65$ （夏）、 $0.57$ （秋）、また、1950～95年の各季節平均（ $n=46$ ）で、 $r=0.79$ （冬）、 $0.70$ （春）、 $0.65$ （夏）、 $0.70$ （秋）となる。

両循環指数の永年変化には、1975～85年の冬に負偏差が卓越し、柏原（1987）やTrenberth（1990）の指摘通り、1950～88年の東方海上高度は冬を中心に負の変化率（危険率5%）を示す。このことは、この時期に極東や北太平洋上空の中層大気は、南北流の卓越、上層トラフの発達と偏西風の南下、層厚の低下を特徴としていたことを意味し、都市化の影響を受けない日本の気象官署で冬平均気温が低下したのもこの時期であった（野口, 1994）。

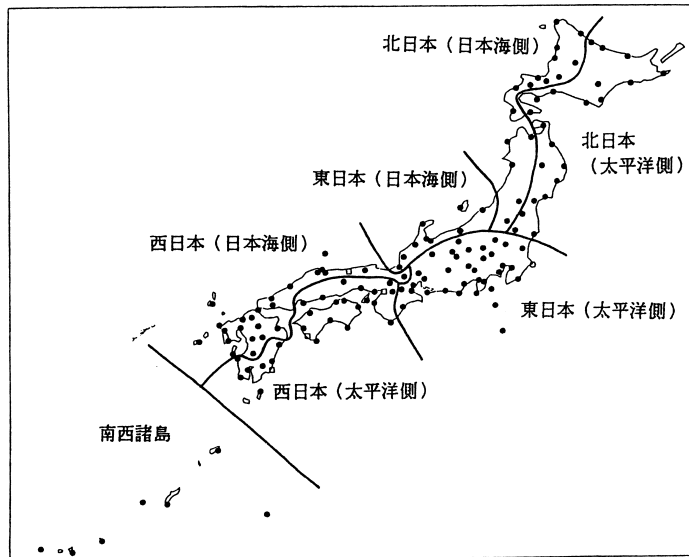
第1表には両循環指数と日本の各地域平均の月平均気温との相関を季節別に示す。日本の地域区分は気象庁（1991）に従う（第5図）。この表から、冬には、こ



第1表 冬・夏における地域別月平均気温と極東域東西指数・  
東方海上高度との相関 (1950～88年)

注：1)各季節ともそれぞれ3ヶ月の月別値 (n=117)  
2)地域区分は第5図 (気象庁 1991) による。

	冬の月平均気温			
	北日本	東日本	西日本	南西諸島
極東域東西指数	0.39	0.72	0.73	0.59
東方海上高度	0.60	0.78	0.73	0.51
	夏の月平均気温			
	北日本	東日本	西日本	南西諸島
極東域東西指数	0.61	0.51	0.40	- 0.21
東方海上高度	0.64	0.56	0.47	- 0.01

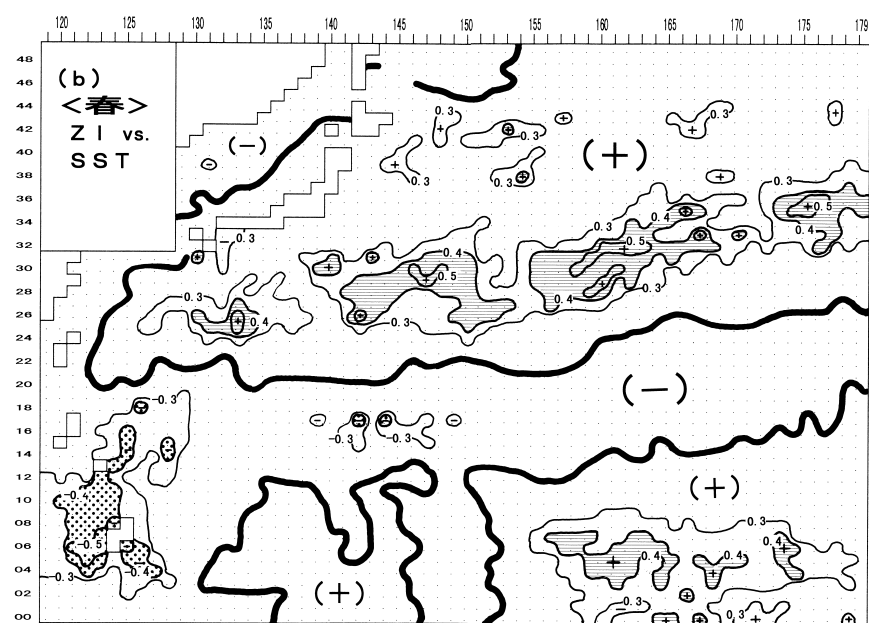
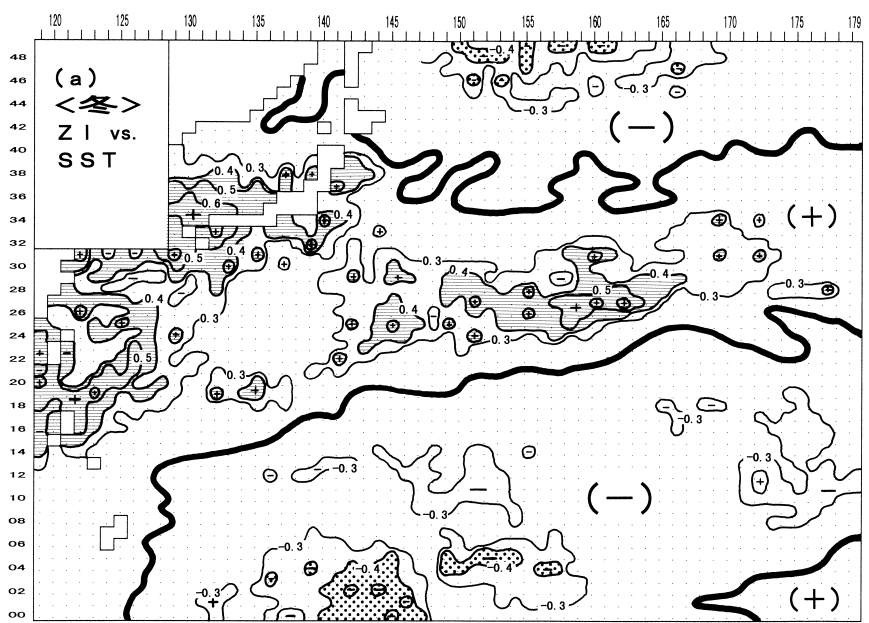


第5図 日本の地域区分 (気象庁 1991)

これらの指数に代表される大気循環の影響を受ける地域が日本全体に拡大するものの、最も強い影響を受けるのは東・西日本で、北日本への影響は弱いことが分かる。すなわち、南北流が卓越することで冬の低温化が顕著となる地域は、北日本よりも東・西日本である。一方、夏にはこれらの循環指数と最も強い相関関係にある地域は北日本に移動し、南西諸島では逆相関となる。このように、各循環指数と日本各地の気温との関係には、高相関の地域に季節変化に伴う南北シフトが見られる。

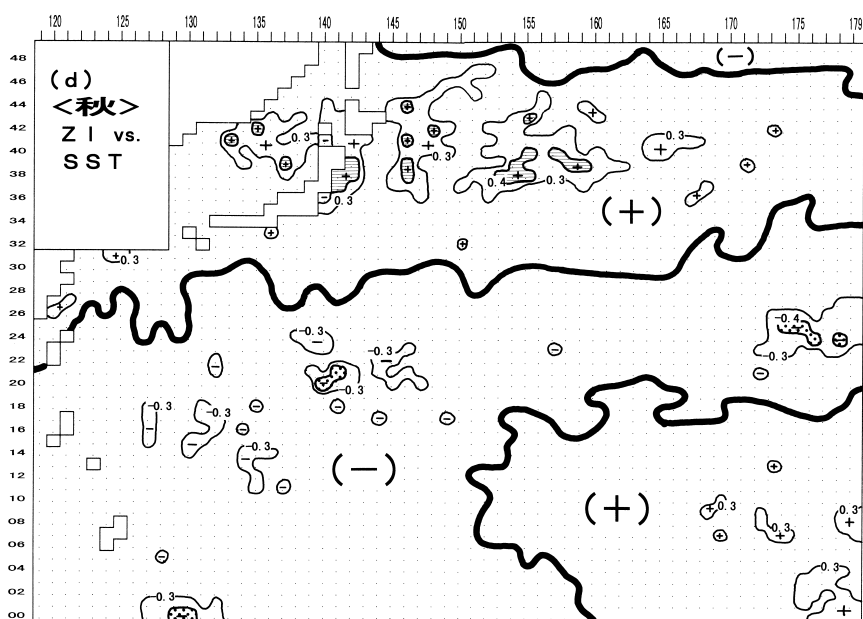
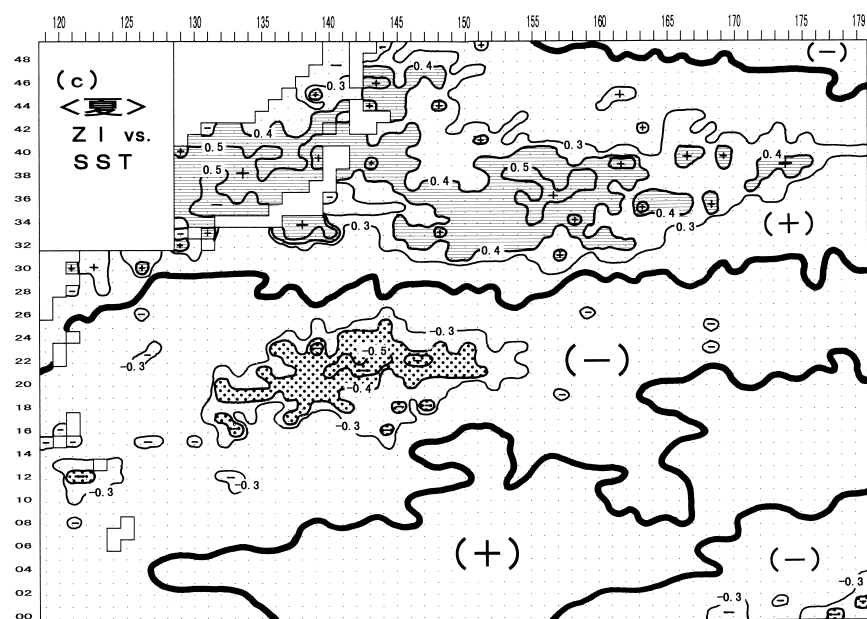
#### 4.1 極東域東西指数と北西太平洋海面水温変動

第6図に極東域東西指数とグリッド海面水温 (1950～93年) との関係性を相関係数の分布で示す。この図によると、どの季節も北西太平洋上で相関係数の符号が



第6図 極東域東西指数 (ZI) と北西太平洋海面水温 (SST) との  
季節別同時相関 (1950 ~ 93年)  
a) 冬, b) 春

注：相関係数の絶対値0.4以上に影をつけた。相関係数の絶対値は0.36 (n=44)  
以上で危険率1%以下。



第6図 極東域東西指数 (ZI) と北西太平洋海面水温 (SST) との  
季節別同時相関 (1950~93年)  
c) 夏, d) 秋

注: 相関係数の絶対値0.4以上に影をつけた。相関係数の絶対値は0.36 (n=44)  
以上で危険率1%以下。

正負交互の帯状分布をし、熱帯日付変更線海域（Niño 4 監視海域）を中心に北へ向かって、夏には5つ、それ以外の季節には4つの帯が確認できる。それぞれの帯は、高相関域を軸として西南西から東北東方向に延びているが、中には正負記号が入れ替わるだけで、統計的に有意な海域を持たない帯もある。

また、これらの分布には、極東域東西指数と気象官署の気温との関係にみられる南北シフト（第1表）と同様に、季節の進行に伴う南北シフトが見られる。夏に日本付近の緯度帯に沿って東西に走る正の高相関海域に注目すると、この海域は上層トラフの深まりによる指数低下（南北流の卓越）に対応して海面水温が低下する海域（すなわち、上層流が東西流か南北流かに対応して海面水温が敏感に昇温か降温する海域）であるが、冬に最も南下し夏に最も北上している。

#### 4.2 日本周辺海域の季節別特徴

友定（1993）は、東北地方太平洋岸の沿岸水温が長いタイムラグを経て極東域東西指数や極東域極渦指数と強い相関関係にあること（50m表層水温よりも東西指数が4ヶ月先行、極渦指数が43ヶ月先行、重相関係数は0.78）を示したが、ここでは日本周辺海域のうち、極東域東西指数と海面水温とが正の有意同時相関を持つ海域についてのみ季節別に特徴を概観する。

冬：まとまった二つの高相関域が存在する。一つは南シナ海北部から日本海の北緯40度付近にかけて広範囲に分布し、日本の大平洋側でも三陸沿岸や西日本沿岸に $r=0.4 \sim 0.5$ 台の高相関海域が存在する。南北流の卓越に伴う季節風の強化によって海面水温が低下する海域と思われる。もう一つの海域は小笠原諸島の南東海域から北緯22～32度の幅で東北東に向かって東経170度付近まで広がる。

北海道には相関係数の正負記号の境界線が横切っていて、東北地方北部や北海道の周辺海域は、指数の変動とほとんど無相関の海域である。このような分布は、気象官署の気温と極東域東西指数との関係（第1表）に見られた冬の東・西日本の高相関、北日本での低相関と符合する。

春：正の高相関海域は一年で最も狭く明瞭な帯となり、沖縄の南から東北東方向にまっすぐに延びる。日本周辺海域はすべて低相関で、東北地方太平洋岸は一年で極東域東西指数との相関が最も低い季節となる。

夏：正の高相関海域は最も北上して日本海のほぼ全域を被い、オホーツク海沿岸から北海道の太平洋岸をまわって三陸沿岸にかけて分布する。この高相関海域は太平洋東方沖を北緯30～40度の緯度幅で日付変更線付近まで続く。夏の東北地方沿岸は極東域東西指数の変動と高相関となるところが多いが、低温化と周期性を特徴とする福島・茨城県沖（SOIとは高相関を示す海域）から千葉県沿岸にかけては相関が低く、東海地方沿岸から紀伊半島沿岸海域で再び高くなる。

秋：夏に東西指数と高相関をなした海域はほとんど消失し、両者の関係は一年で最も不鮮明となる。相関係数 $r=0.4$ 以上の海域が北緯40度を中心に緯度10度くらいの幅で日本を挟んで広がるが、そのうちの一つが福島県から三陸沿岸にかけ

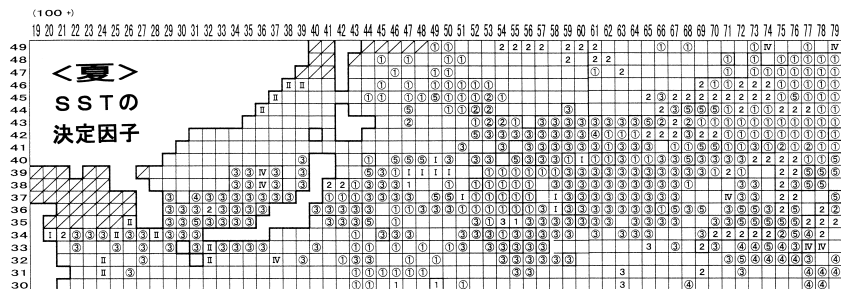
て分布する。

## 5. 夏の北西太平洋海面水温を規定する主因

北西太平洋の海面水温変動には、熱帯と高緯度の双方からそれぞれENSOや大気循環の影響が及び、両者の影響を受ける海域や影響の度合いはそれぞれ季節ごとに大きく異なっている。日本周辺海域では、夏を中心に両者の影響が入り交じる。しかし、SOIと帯状指数との相関関係（冬～秋の季節別相関、 $r=-0.24, 0.04, 0.14, -0.28, n=44$ ）やSOIと東方海上高度との相関関係（同じく、 $r=-0.03, 0.18, 0.34, 0.02, n=44$ ）は、どの季節でも有意ではなく、北と南のシグナルは同期していない。また、北太平洋では海面水温と大気循環との間に数ヶ月のタイムラグが指摘されているが、太平洋中央部の偏西風域と極東の季節風域で同じようなタイムラグがあるのかどうかは判明しない。

そこで、夏の日本周辺海域について、北と南からの影響の度合いを判定するために、各グリッドごとに、夏平均海面水温（1950～97）に対する季節別SOI、年SOI、季節別極東域東西指数、季節別東方海上高度（計13変数）の相関係数を求め、最も相関係数が高くかつ統計的に有意なペアを選び出した。

具体的には、各グリッドで夏平均海面水温を従属変数とし、上記の13変数を独立変数とする重回帰分析を行ない、それぞれのグリッドで夏の海面水温変動に最も強い影響を持ち、かつ統計的に有意な（標準偏回帰係数がt検定により危険率5%以下で有意と判定される）変数をステップワイズ法で選び出し、各グリッド上にその変数を示した（第7図）。



第7図 北西太平洋中緯度の各グリッドにおける夏平均海面水温の主要決定因子

注：独立変数を季節別SOI、年SOI、季節別極東域東西指数、季節別東方海上高度の13変数とし、ステップワイズ法による重回帰解析（1950～97年）を施した。

- ～：冬、春、夏、秋、年の各SOI
- 1～4：冬～秋の各極東域東西指数
- ～：冬～秋の各東方海上高度

ここでは、夏の海面水温に対し、冬・春の指数は先行するタイムラグを表し、夏は同時相関を、そして秋は後行するタイムラグを表す。また今回は、説明変数の相対的重要性（変数間の因果的順序）を判定して、各グリッドの夏平均海面水温変動に対する主要な規定因子を探すことだけを目的としており、全変数による

回帰式の説明力を問題とはしていないので、内部相関（Collinearity）の問題（Flocas et al., 1983; 森, 1987）は考慮していない。

第7図のグリッドの中には、有意な変数がまったく存在しない場合や一つしか存在しない場合、逆に複数の有意変数が存在する場合があるが、ここでは最初に抽出される最も相関の高い変数だけを示した。図中には、夏の水温資料を有する938個のグリッドがあるが、そのうち13変数のいずれかと有意相関を持つ海域は535グリッド（57%）存在する。そのうち、SOIとの相関が最も高い海域は440グリッド（全有意相関海域の82%）で、その中でも夏のSOI（第7図で の海域）との高相関海域が最も広範囲に見られ、全有意相関海域の40%を占める。次いで、冬のSOI（ の海域）との相関海域が30%である。ただし、ここでの面積の比較はすべて緯度・経度1度のグリッド数で行っており、実際には図中の北緯30～49度のグリッド間に最大24%の面積の差がある。

東北地方太平洋岸では、茨城・福島県の沖に向かって夏や冬のSOI、すなわちENSOの影響が大きく、特に夏のSOI（ の海域）によって説明される海域の広がり、第4図cに示す夏の分布パターンとよく似ている。

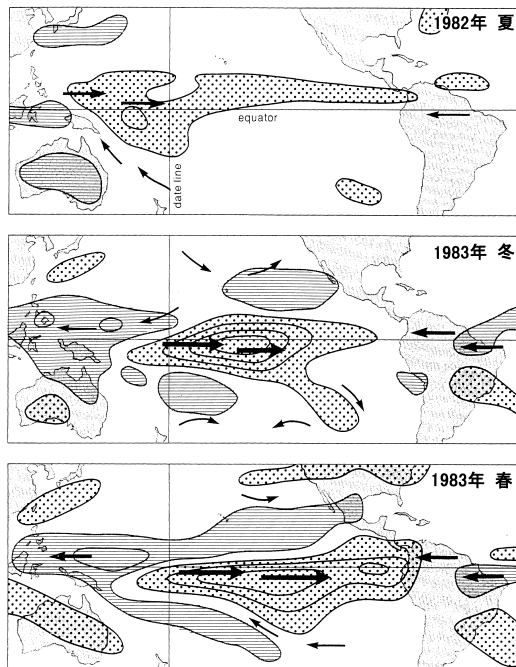
重相関解析で2番目に抽出される有意変数を持つ海域は215グリッド（全有意相関海域の40%）存在する。顕著な特徴は北緯40～48度の緯度帯で1位と2位（または2位と1位）の抽出変数が冬のSOIと春の極東域東西指数である組み合わせが非常に多い点で、この緯度帯の有意相関海域では、夏の海面水温変動に両者の影響が混在している。

## 6. 考察

低温化の激しい茨城・福島県沖の海面水温（野口, 2001）とNiño 3監視海域の海面水温（第2図b）を目視で比べると、概してエルニーニョ年には水温が低下し、エルニーニョ年に挟まれた時期に水温ピークが出現しているように見える。また熱帯日付変更線海域（Niño 4監視海域）の海面水温が、東北地方太平洋岸の気温（宮古、石巻、仙台、小名浜、銚子の5官署平均）と有意な逆相関を示したり（野口, 2001）、低温化している常磐沖水温とは逆に上昇傾向を示している点（図省略）など、東北地方太平洋岸の水温変動とENSOとの関連が注目された。また極東域東西指数などの高緯度大気循環指数も、友定（1993）やYamada and Sekine（1997）の指摘から、東北地方太平洋岸の水温変動との関連が疑われた。

ENSOと海面水温の相関解析の結果では、冬の正負高相関海域の分布（第4図a）が赤道日付変更線海域の高水温域を取り囲んだ馬蹄形の低温域の北半球側部分（正の相関域）や、その外側に位置する日本南方の高水温黒潮海域（負の相関域）を示しており、この水温分布は冬の北太平洋海面水温変動のEOF解析による主成分の分布（Deser and Blackmon, 1995; Zhang et al. 1996）や冬の太平洋海面水温とENSO指数の相関分布（Zhang et al. 1996）、OLR（上向き長波放射）によって示された1982～83年エルニーニョ時の対流活動分布域（第8図）





第8図 1982～83年エルニーニョ期におけるOLR（上向き長波放射）による  
対流活動活発域・非活発域

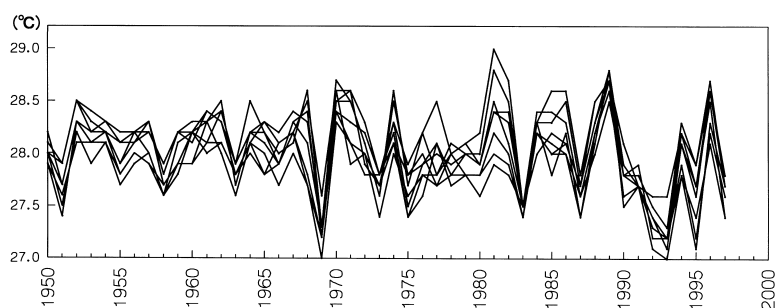
注：原図（Rasmusson and Wallace 1983）を Philander（1989）が簡素化したもの。点影：対流活動活発域、横縞：対流活動非活発域、矢印：主風向

（Rasmusson and Wallace, 1983; Philander, 1989）とよく似ており、第4図の各季節分布がエルニーニョの一生に対応していることを裏付けている。

従って、第4図aに枠囲いで示す冬のフィリピン東方沖は、水野ほか（1998）が1996年12月から翌年3月に及ぶ冬の長期間水温負偏差海域として、台風の通過に伴う湧昇流（大気側の強制）と関連させて議論したところであるが、ここはエルニーニョ監視海域（Niño West）の中でも、冬のSOI値と強い正相関（ $r=0.4 \sim 0.5$ ）を持つスポット的な海域で（年SOIと冬平均SSTとの相関分布では円形をした独立水域となる）、これまでも1958, 63, 69, 73, 83, 87, 92, 95年などのエルニーニョ最盛期の冬やエルニーニョ期に入る年の冬（1951, 93の冬）に低温となっている海域である（第9図）。

夏の東北地方太平洋岸でも常磐沖にSOIと有意相関の海域が出現し、SOIの変動に対応してエルニーニョ時にはこの海域が低温となりやすいことが理解できる。また、東北地方太平洋岸の5官署平均の夏平均日最高気温が熱帯日付変更線海域と有意相関を持つこと（野口, 2001）も、夏の常磐沖水温がENSOと有意相関を持つことによる結果であると推測される。

極東域東西指数と北西太平洋海面水温の相関解析でも、両者は夏や冬に日本周辺海域で有意な相関関係を示すが、常磐沖だけは一年を通して有意相関とならな



第9図 フィリピン東方沖の冬平均海面水温永年変化 (1950～1997年)

注：この海域は第4図aに示すフィリピン東方沖の8グリッドで、12.5°N, 134.5°E～136.5°E; 13.5°N, 135.5°E～136.5°E; 14.5°N, 135.5°E～137.5°Eの海域

い空白域となっている。

夏の北西太平洋中緯度帯のグリッド海面水温に季節別SOIや季節別東西指数がどのように関わっているかを重相関解析で検討した結果、この緯度帯ではSOIの影響が最も優勢で、特に夏のSOIの影響が強いことが分かった。しかし、夏の水温低下と周期的変動を特徴とする三陸沖から常磐沖に至る海域では、海面水温に最も強い影響を与える因子がグリッドによって複雑に異なり、そのうち夏のSOI、冬のSOI、春の東西指数が主要因子として指摘できる。

なお、統計的に有意な変数（または変数群）による重相関係数はほとんどのグリッドで $r=0.6$ 未満で、これらの変数だけでは海面水温変動を十分説明しきれていない。また、日本海沿岸や常磐沖、東方の東経155～175度の中緯度帯に見られる夏の海面水温はSOIと高相関を示しているものの、6年周期の水温変動は最近のSOIの5年周期とは一致しておらず、常磐沖水温変動の周期性の説明にはさらなる検討が必要である。

## 7. まとめ

東北地方太平洋岸やその東方沖では近年親潮の異常南下や面積拡大などの海況変動が頻発し注目されている。三陸沿岸から常磐沖の太平洋岸では、1950年代以降から1980年代後半にかけて、また一部の海域では90年代に入っても、一年を通して水温や気温が低下傾向にあり、夏の常磐沖では6年の顕著な周期性が存在する。

東北地方太平洋岸の海面水温変動が低・高緯度側の大気循環の影響をどの程度受けているのかを調べるため、北西太平洋各グリッドの海面水温変動とSOIや極東域東西指数との相関解析を季節別を実施した。その結果、SOIとの高相関海域は、季節の推移と共に分布域を変え、また極東域带状指数との高相関海域は南北シフトすることが分かった。SOIと海面水温との高相関域の分布はこれまでの研究で指摘されている分布特性とよく似ており、夏には、常磐沖を含む中緯度帯に

正の高相関域が集中した。極東域東西指数と海面水温との相関関係でも、冬と夏に高相関域が日本周辺海域に広がった。

6年の周期性がみられる夏の北西太平洋海面水温変動に注目して、これと高い相関を持つ有意因子を季節別のSOI、極東域東西指数、東方海上高度から重回帰分析を用いて求めると、有意相関グリッド中、82%のグリッドがSOIを第一決定因子として持ち、特に夏のSOIが夏の海面水温を決める上で重要であることが分かった。水温低下に周期性を含んだ常磐沖の夏平均海面水温も、夏のSOIと最も強い相関関係にあることが分かった。しかし、決定係数の値から判断して、これらの因子だけではこの海域で顕著な6年周期などの海面水温変動を十分説明できていないと思われる。

### 参考文献

- Bradley, R.S., Diaz, H.F., Kiladis, G.N. and Eischeid, J.K., 1987: ENSO Signal in Continental Temperature and Precipitation Records. *Nature*, 327, 497-501.
- Deser, C. and Blackmon, M.L., 1995 : On the Relationship between Tropical and North Pacific Sea Surface Temperature Variations. *J. Climate*, 8, 1677-1680.
- Flocas, A.A., Giles, B.D. and Angouridakis, V.E., 1983 : On the Estimation of Annual and Monthly Mean Values of Air Temperature over Greece Using Stepwise Multiple Regression Analysis. *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser.B*, 32, 287-295.
- Hanawa, K., Ishizaki, S. and Tanimoto, Y., 1996 : Examination of the Strengthening of Wintertime Mid-latitude Westerlies over the North Pacific in the 1970s. *J. Met. Soc. Japan*, 74, 715-721.
- Hanawa, K., Watanabe, T., Iwasaka, N., Suga, T. and Toba, Y., 1988 : Surface Thermal Conditions in the Western North Pacific during the ENSO Events. *J. Met. Soc. Japan*, 66, 445-456.
- 岩尾尊徳, 1994 : 北日本の気象と海況との関連について, *海と空*, 70, 65-70.
- 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 North-ern Hemisphere During 1969-1979. *J. Met. Soc. Japan*, 65, 103-114.
- Iwasaka, N., Hanawa, K. and Toba, Y., 1988 : Partition of the North Pacific Ocean Based on Similarity in Temporal Variations of the SST Anomaly. *J. Met. Soc. Japan*, 66, 433-443.
- Kachi, M. and Nitta, T., 1997: Decadal Variations of the Global Atmosphere-Ocean System. *J. Met. Soc. Japan*, 75, 657-675.
- 柏原辰吉, 1987 : 北太平洋を中心とした最近の冬季の冷化について, *天気*, 34, 777-781.
- Kawamura, R., 1984 : Relation between Atmospheric Circulation and Dominant Sea Surface Temperature Anomaly Patterns in the North Pacific during the Northern Winter. *J. Met. Soc. Japan*, 62, 910-916.
- Kawamura, R., 1994 : A Rotated EOF Analysis of Global Sea Surface Temperature Variability

- with Interannual and Interdecadal Scales. *J. Phys. Oceanogr.*, 24, 707-715.
- 気象庁, 1991～98 : 気候系監視報告, No.91～98.
- 気象庁, 1991 : 月平均北半球500mb天気図 (1946～1990), 気象庁技術報告, 111号, 100p.
- 気象庁, 1992 : 長期予報リポート, No.36 (気候系監視報告別冊), 76-87.
- 気象庁海洋気象部海洋課, 1990 : 旬平均海面水温解析, 測候時報, 57, 283-291.
- 栗原弘一, 1985 : 日本の夏季気温と西部熱帯太平洋域の海水温との関係, 天気, 32, 407-417.
- 栗原弘一, 1988 : 長期予報におけるENSOの役割, 月刊海洋科学, 20, 284-289.
- Lau, N.-C., 1997 : Interactions between Global SST Anomalies and the Mid-latitude Atmospheric Circulation. *Bull. Am. Met. Soc.*, 78, 21-33.
- 水野孝則・石川孝一・高槻靖, 1998 : 西部熱帯太平洋で発生した水温負偏差と台風9626号について : 凌風丸海洋観測および気象庁海洋データ同化システムによる解析, 天気, 45, 621-632.
- 森 信成, 1987 : 高い内部相関がある要素を用いて重回帰式を求めることについて : 気温予想を例として, 研究時報, 39, 1-12.
- Nitta, T. and Yamada, S., 1989 : Recent Warming of Tropical sea Surface Temperature and Its Relationship to the Northern Hemisphere Circulation. *J. Met. Soc. Japan*, 67, 375-383.
- 野口泰生, 1994 : 日最高・最低気温の永年変化に与える都市化の影響, 天気, 41, 123-135.
- 野口泰生, 2001 : 東北地方太平洋岸の海面水温と気温の年々変動, 天気, 48, 747-757.
- Philander, S.G.H., 1983 : El Niño Southern Oscillation Phenomena. *Nature*, 302, 295-301.
- Philander, G., 1989 : El Niño and La Nina. *American Scientist*, 77, 451-459.
- Rasmusson, E.M. and Carpenter, T.H., 1982 : Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, 110, 354-384.
- Rasmusson, E.M. and Wallace, J.M., 1983 : Meteorological Aspects of the El Niño/Southern Oscillation. *Science*, 222, 1195-1202.
- Ting, M., Hoerling, M.P., Xu, T., and Kumar, A., 1996 : Northern Hemisphere Teleconnection Patterns during Extreme Phases of the Zonal-Mean Circulation. *J. Climate*, 9, 2614-2633.
- 友定 彰, 1993 : 東北沿岸域の水温変動と大気の循環指数の関係について, 海と空, 69, 81-94.
- Trenberth, K.E., 1990 : Recent Observed Interdecadal Climate Changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Am. Met. Soc.*, 71, 988-993.
- Trenberth, K.E. and Hurrell, J.W., 1994 : Decadal Atmosphere-Ocean Variations in the Pacific. *Climate Dynamics*, 9, 303-319.
- Wallace, J.M. and Gutzler, D.S., 1981 : Teleconnections in the Geopotential Height Field During the Northern Hemisphere Winter. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 784-812.
- Wallace, J.M., Smith, C. and Jiang, Q., 1990 : Spatial Patterns of Atmosphere-Ocean Interaction in the Northern Winter. *J. Climate*, 3, 990-998.
- Weare, B., Navato, A. and Newell, R.E., 1976 : Empirical Orthogonal Analysis of Pacific

- Ocean Sea Surface Temperatures. J. Phys. Oceanogr., 6, 671-678.
- Yamada, F. and Sekine, Y., 1997 : Variations in Sea Surface Temperature and 500hPa Height over the North Pacific with Reference to the Occurrence of Anomalous Southward Oyashio Intrusion East of Japan. J. Met. Soc. Japan, 75, 995-1000.
- 吉永創・山田二久次・関根義彦, 1998 : 親潮異常南下に関連する日本の気温・降水量の変動, 天気, 45, 105-117.
- Zhang, Y., Wallace, J.M. and Iwasaka, N., 1996 : Is Climate Variability over the North Pacific a Linear Response to ENSO? J. Climate, 9, 1468-1478.

(地理・環境専攻：教授)