

## 第3回「大気-海洋相互作用研究会」の報告

第3回の「大気-海洋相互作用研究会」が、気象学会春季大会前日の5月25日(月)の午後に、気象研究所第1会議室において、「中・高緯度における大規模大気-海洋相互作用」というテーマ(コンビーナー: 東北大学花輪)で開催された。当日は他にもいくつかの研究会が並行して開催されたにもかかわらず、40名以上のかたが参加され、非常に盛会であった。

以下に、コンビーナーの趣旨説明と、4件の講演の要旨を報告する。

研究会事務局 藤谷徳之助・中沢 哲夫

## 1. 趣旨説明

花輪公雄(東北大・理)

日本気象学会「大気-海洋相互作用研究会」も発足して1年が過ぎようとしております。また、研究会も今回で3回目を迎えることとなりました。前の2回の研究会では、正にこの秋に本番を迎えようとしています。「TOGA-COARE」を見据えた上で、熱帯域に注目したシンポジウムでしたが、今回は視野を少し広げ、中・高緯度域における「大気-海洋相互作用」に焦点を当てることとしました。そして、副題として、一特に、10年スケールの変動に着目して、とつけさせて頂きました。熱帯域の卓越した現象はいうまでもなく ENSO イベントですが、これは3~4年の時間スケールをもっています。従いまして、この副題を付けることにより、「中・高緯度」をさらに際立たせようという意図と、次のターゲットは「decadal」な時間スケールの変動ではなからうか、という意図をもっていました。とはいいまでも熱帯域がキイとなる現象の存在を否定しようとしているものでは、もちろん毛頭ありません。

さて、これまで「大気という強制場が変わったから、こう海洋の状態が変わらざるを得ないのだ」と、海洋研究者は主張しがちでした。一方、「境界条件としての海面水温が変わったから、それに隷属的に応答して大気の状態がこう変わったのだ」と、気象研究者は、主張しがちでした。実際、これらの主張は一面では正しいのです

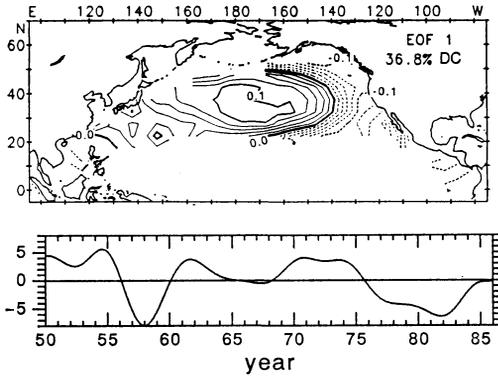
が、気候変動のメカニズムの研究としては今やこの解答では満足できない、いやもっと強く、満足すべきでない時代に入りつつあるのではないのでしょうか。私達に今求められているのは、相互作用をしながら、正にダイナミックに変わる、そのダイナミクスの研究なのです。これはなかなか難しい問題ではありますが、チャレンジすべき魅力ある問題といえます。本研究会が、これに向けた第一歩となれば幸いです。そして大気と海洋の結合系のみにとどまらず、雪氷圏、地圏、生物圏も含めた系のダイナミクスが、この観点で明らかにされていくものと期待しております。

## 2. 北太平洋・北大西洋における海面水温アノマリの多重時間スケール構造

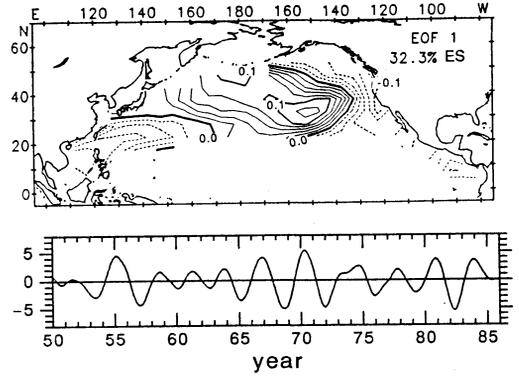
谷本陽一(東北大・理)

海面水温アノマリ(SSTA)の経年・年々変動における特徴的な時間スケールには準2年、ENSO サイクル(3年から4年)、Decadal スケールが挙げられる。これらは特定の時間スケールに注目した SSTA 変動に関する研究(Hanawa *et al.*, 1988; Nitta and Yamada, 1989; Yasunari, 1991; Barnett, 1991, 他)によって示されている。各時間スケールで卓越する変動パターンを抽出するために、新しく用意した北太平洋・北大西洋の経緯5度格子月平均 SSTA のデータセット(1950年から1986年まで)に対し、数値フィルタと EOF 解析を用いて解析を行った。各格子点でのスペクトル分布もこれまでに示されていた特徴的時間スケールに変動エネルギーが集中している事を示している。

北太平洋における Non-filtered アノマリ、準2年、Decadal(第1図)スケールでの第1主成分はこれまでの EOF 解析による研究(Weare *et al.*, 1976; Kawamura, 1984, Iwasaka *et al.*, 1987, 他)で抽出されてきた中緯度で東西方向に広がる同心楕円状の空間パターンを示す。しかし、ENSO スケールでは全く別の第2図に表されるパターンを示す。このパターンは第1図に比べ、中部太平洋の活動中心域が南東へシフトし、符号逆転域が



第1図 海面水温アノマリの Decadal スケール 第1主成分。寄与率は36.8%。等値線は0.02毎。実線は正、破線は負の値を示している。



第2図 第1図と同じ。ただし、ENSO スケール。寄与率は32.3%。

西岸付近に出現するのが特徴である。各主成分の時係数では、ENSO スケール第1主成分が ENSO の Warm/Cold Event と同期している事、Decadal スケールの変動がいくつかの数年間持続する状態(レジーム)とそれらの1年以内の急激な遷移から構成されている事といった特徴が示されている。

EOF 解析から除かれた熱帯域の変動も調べるために、北太平洋全域における SSTA の合成図を Decadal スケール変動第1主成分のレジームに基づいて作成した。各レジームは時係数の値に基づき次のように定義した。

高温期 1950-1956, 1961-1964, 1970-1976 : 18年間

低温期 1957-1960, 1977-1985 : 13年間

平温期 1965-1969, 1986 : 6年間

全期間(37年間)の1/2から1/3の期間にわたり合成しているにもかかわらず、きわめて組織だった空間パターンが得られる。t 検定の結果ではほぼ全域において有為な差を示している。当然、中緯度においてこのパターンは Decadal スケールの第1主成分の空間パターンと一致する。また、熱帯と北米大陸西岸域は中緯度中部太平洋とほぼ逆位相で変動している事が示されている。

大気が Decadal スケールでの SSTA の変化に対してどのように対応しているかを調べるために、冬季の wind stress と 500 hPa 高度場のアノマリ合成図を SSTA のレジームに基づいて作成した。低(高)温期において、北太平洋上の偏西風は平年より強(弱)まっている。この事は、高度場が PNA (Anti-PNA) パターンを示している事からも支持される。平温期には、偏西風の蛇行が顕著である結果を示している。また北大西洋において

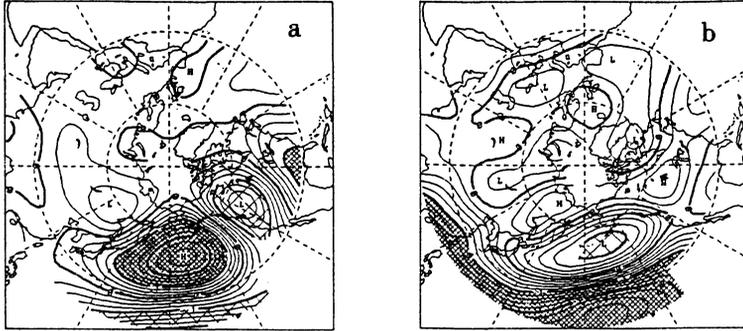
も、このような長期にわたって海洋と大気が同期した変動が見られる。

Decadal 年スケールでの海洋と大気の整合した状態は、それより短い時間スケールの変動に対して基本場と捉える事ができる。各レジームにおける短い時間スケールの SSTA 変動を EOF 解析によって調べた。高温期における変動では中緯度の変動に良くみられる東西方向に広がる楕円状のパターンが卓越する。しかし、低温期には全く別の第2図と同様な活動中心域が南東にシフトし、符号逆転域が日本近海に現れるパターンを示す。各レジームにおける 500 hPa の変動パターンは SSTA 程パターンの顕著な違いは示されないが、変動の大きさに違いが示されている。以上の結果は、大気海洋系における経年変動の多重時間スケール構造に Decadal スケールとより短い時間スケールとの間の従属関係がある事を示唆している。

### 3. 北半球 500 hPa 高度場における intramonthly-interdecadal scale のテレコネクションの実態及び全球海面水温変動との関連

川村隆一(防災科学技術研究所)

北半球対流圏で出現するいわゆる(地理的に固定された)テレコネクションパターンを、北半球寒候季(10~3月)と暖候季(4~9月)に分けて、各々5日平均500 hPa 高度場(1946-1989年)に回転 EOF 解析を適用することによって抽出した(テレコネクションパタンの略



第3図 回転 EOF 解析によって抽出された 500 hPa 高度場の変動パターン  
(a) PNA, (b) SZ

称は Barnston and Livezey, 1987に準じた)。

特に、寒候季に卓越するモードに焦点を当て、季節依存性、持続性ならびに長期変動特性がモードによって大きく異なることが明らかになった。新しく得られた知見の一部を紹介すると、① 振幅変調という点で最も顕著なのは NA (Northern Asian) モードであり、10月から12月にかけて、15~25日周期程度 (intramonthly time scale) の振幅変調がみられる。EU 1 (Eurasian Type 1) モードにもその傾向がみられる。これは振幅の極大・極小期が季節変化に対して位相が固定されていることを示唆している。② 年々変動特性については、PNA (Pacific/North American) モードが典型的な interdecadal scale の変動特性を持っていることが知られているが、EA (Eastern Atlantic) モードも顕著であり、この時間スケールにおいて二つのモードは同位相で変動していることが示された (ただし、数年スケールの変動においては両者は互いに独立して変動している)。③ 1970年代後半から1980年代にかけて、顕著なアノマリーが持続するモードが多々みられる (e.g. PNA, NA, TNH, NA モード)。interdecadal scale の変動も当然寄与していると考えられるが、最近のアノマリーの持続は特異な現象である。また、WP (Western Pacific) モードが1975年代以降、約10年間ほとんど卓越しなかったことも別の意味で特異である。

全球海面水温変動との関連を調べるために、UKMOの月平均海面水温 (SST) データに同様な回転 EOF 解析を用いて、SST の卓越モードとテレコネクションパターンとの対応を調査した。得られた SST の EOF 1 は2~5年の時間スケールをもっている ENSO イベントのみを説明しており、interdecadal scale の変動も除去

され、まさしく ENSO モードと同定できる。ENSO モードを正確に抽出できたということは、EOF 2 以降のモードでは ENSO のシグナルが除去されていることを意味する。EOF 2 の空間パターンは北大洋の中緯度40~45°N 付近に負のアノマリー、インド洋熱帯域に正のアノマリーが顕著にみられる。太平洋に限れば、東部及び西部太平洋低緯度域には弱いながら正のアノマリーが存在する。年々変動は interdecadal scale が卓越しており、2~3年程度の時間スケールもある程度含まれているが、ENSO イベントとは対応していない。付け加えるならば、EOF 3 および EOF 4 は両方のモードとも大西洋以外に顕著なアノマリーはみられず、両者は基本的に大西洋で閉じた変動モードであると言える。

テレコネクションパターンとの関連において、SST の EOF 2 と PNA モード (第3図 a) の変動を比較すると、2~5年程度の時間スケールでは対応はよくないが、interdecadal scale では同様な傾向を示しており、PNA モードと全球 SST 変動場との関係は、ENSO の時間スケールよりむしろ interdecadal scale において密接な関連があるといえるだろう。一方、北半球暖候季において PNA モードに代わって SST の EOF 2 の変動に対応する循環パターンはあるのだろうか。抽出された暖候季に卓越する大気循環パターンには顕著な interdecadal variability をもっているモードがいくつかみられるが、第3図 b に示された大気循環パターンが EOF 2 の変動に最もよく対応する。このパターンは北太平洋低緯度域を帯状に正のアノマリーが広がっており、対照的にアリューシャン付近に負のアノマリーが存在するという南北の dipole 構造を示す (Subtropical Zonal Pattern)。最近10年間は北太平洋低緯度のほぼ全域で 500 hPa 高度場が上昇

傾向にある。このように、interdecadal scale が卓越した EOF 2 (SST) に対して、北半球の寒候季と暖候季とでは異なった大気循環パターンが対応していることが見出された。

#### 4. 大気・海洋の10年スケールの変動 —観測データから—

新田 勲 (東京大学気候システム  
研究センター)

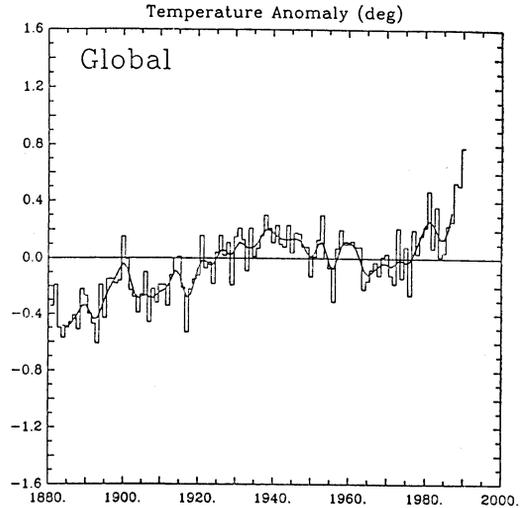
近年、人為的な温室効果気体の増加によって、地球が温暖化することが危惧されている。第4図は、気象庁作成による過去110年の陸上気温を全球平均したものである。過去100年の間に陸上気温は約 $0.5^{\circ}\text{C}$ 上昇しており、これは、温室効果気体の増加による影響ではないかと考えられている。しかし、地上気温は過去一様に上昇してきたのではなく、図に示されているように1940年代を中心とした高温期、1960~1970年代の低温期、1980~現在の高温暖期で表される数十年規模の変動、さらに短い10~20年スケール、数年スケールの変動が混在している。

このうち数年スケールの気温変動は、ENSO (エルニーニョ・南方振動) との相関が高く、エルニーニョ (ラニーニャ) 最盛期から約半年遅れて正 (負) の気温偏差のピークが現れている。

10~20年スケールの気温変動は約 $0.2\sim 0.3^{\circ}\text{C}$ の変動幅を持っており、特に1960年以降約10年周期が卓越している。この変動周期と、太陽活動の11年周期とが類似しているが、両者の変動の位相は、1960年以降はほぼ同位相だが、それ以前は、系統的な位相関係は認められない。また、地域的にも、ユーラシア大陸と、北米大陸の変動は異なった位相となっている。

海上の気温も含めて1970年代から1980~90年代にかけての昇温の全球分布を見てみると、熱帯域及び各大陸上では昇温しているものの、北太平洋及び北大西洋域では逆に顕著な降温を示している。特に太平洋域では、1975, 76年を境に海面水温、大気循環が大きく変化したことが様々な研究によって示されている。海面水温では、熱帯域、とりわけインド洋と東部太平洋で顕著に上昇しており、逆に北及び南太平洋中央部の亜熱帯~中緯度で下降している。

この海面水温変化に対応して、熱帯太平洋域では西風偏差が強まり、SOI (南方振動指数) は負偏差の傾向が



第4図 全球陸上平均気温偏差 ( $^{\circ}\text{C}$ )  
(年平均値と移動平均値; 気象庁作成)

強く現れている。また $500\text{ hPa}$ 高度場偏差では、PNA (太平洋-北米) パターンが強まり、北太平洋中緯度域で顕著な負の高度偏差が現れ、前述のこの領域での気温の降温現象と対応している。

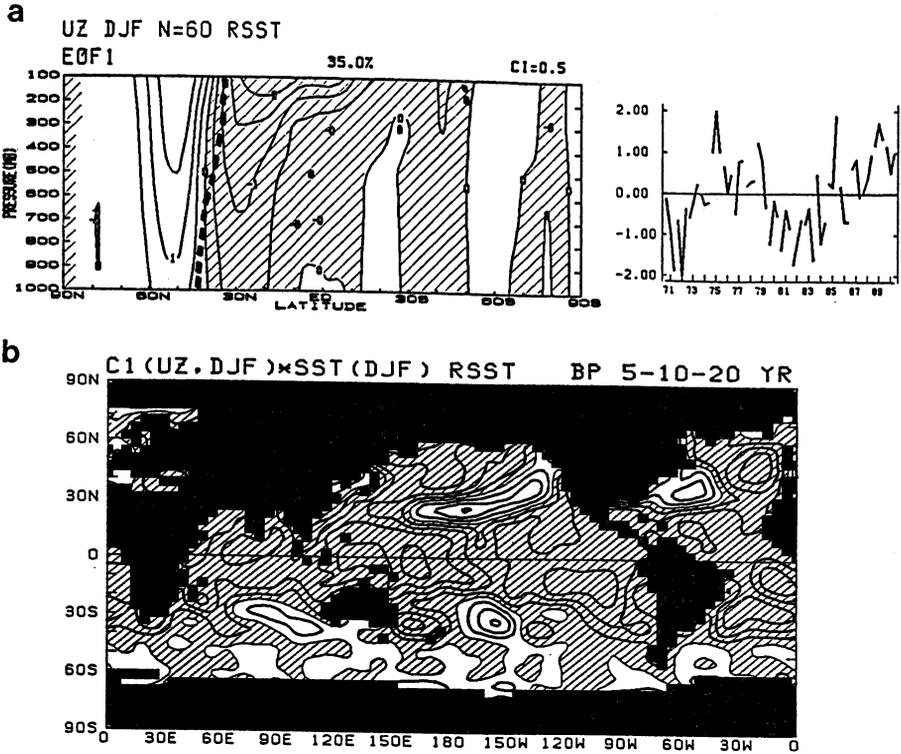
一方、大西洋でも十年規模の大気・海洋の変動の存在が指摘されている。最近では、1960年のはじめを境に、北極海と北大西洋の海洋表層の塩分濃度が薄まり、海水域が拡大するとともに、北大西洋の鉛直循環が弱まっているという事実が指摘されており、大気や海洋の様々な変動量に大きな影響が現れている。

以上のような数年~数十年規模の大気・海洋変動の実態はこれまで部分的にしか解析されておらず、変動の原因やメカニズムについては ENSO の影響以外はほとんど未解明の状況である。今後この方面の研究が大いに進展することを期待したい。

#### 5. 大気・海洋の10年スケールの変動 —GCM の結果—

鬼頭昭雄 (気象研究所気候研究部)

前講演者の報告にあるように、北太平洋の海と空の双方で、1970年代の半ばを境にしてその前後で10年位のスケールで大きな変化が起こった。この変化は風速の増加、海水温低下を通じて、クロロフィル a の増加を引き起こ



第5図 (a) 実測海面水温を与えた大気大循環モデルの帯状平均東西風の EOF 第1主成分。12月, 1月, 2月の計60カ月のデータによる。寄与率35.0%。破線はジェット軸。  
 (b) (a) の係数と海面水温との同時相関。等値線は20%。負に斜線。

しており、生物圏にも影響があらわれている (Venrick *et al.* 1988)。10年スケールの変動は大西洋でも注目されており、たとえば Deser and Blackmon (1991) によれば、北大西洋中部の地表風(東西風)と気圧場は8~14年にスペクトル・ピークを持っている。海面水温はそれに応答しているように見える。

本講演ではモデリングの立場から、1969年9月から1990年2月までの年々変化する観測された海面水温を境界条件として気象研究所大気大循環モデルの積分を行ない、20年間の北半球冬季の長周期変動について調べた結果を中心に述べた (Kitoh 1991)。

第5図はモデルで得られた帯状平均東西風の EOF 第1主成分で、北半球亜熱帯ジェットの南北シフトを示している。上部対流圏で約  $3 \text{ ms}^{-1}$  の振幅に達する。係数時系列には約10年スケールの変動があることが分かる。コンボジット解析によると、この北半球亜熱帯ジェットの南北シフトは、地上付近では日本付近とベーリング海からアラスカにかけての北太平洋との気温コントラス

ト、アリューシャン低気圧の強弱を伴っている。また海面水温データとの相関から、この変動は熱帯西部太平洋ニューギニア北東方の海面水温変動と最も関係していることを示した。

さらに1946~1990年の観測データを用いて、北半球亜熱帯ジェットの南北シフト指数を定義し、それと高度場および海面水温との相関分布を計算した。これからも10年スケールでの熱帯海洋の北半球循環場に対する影響を確認した。すなわち、熱帯太平洋海面水温が負偏差の時に、ジェットは北偏しており、北太平洋域の高度場は正偏差(アリューシャン低気圧の弱まり)となっている。同時に北太平洋中部には海面水温の正相関域が現われている。この中緯度の海面水温偏差については、観測データ及び大気・海洋結合モデルの海面水温と海面気圧のラグ相関から、中緯度においては海が大気に1カ月遅れて相関が最大になる(大気が海を駆動している)ことを示した。このように、熱帯太平洋海面水温の10年スケールの変動→ジェットの南北シフト→北太平洋大気循環場の

応答→北太平洋海面水温変化のシナリオが考えられる。  
またジェットの変動は太平洋と大西洋で同位相であること  
から、大西洋の10年スケールの大気・海洋変動につい  
ても太平洋域の変動の結果と見られることを指摘した。

なお10年の時間スケールについては、外力（太陽活動）  
説の他に、大気・海洋結合モデルにこの程度の変動がみ  
られることから、大気・海洋結合系のもとで現われる時  
間スケールの可能性があることを指摘した。

---

---