

第5回「大気-海洋相互作用研究会」報告

第5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1994年5月23日(月)の午後に、東京管区気象台会議室において、「大気・海洋の interdecadal scale 変動—その解明に向けた戦略—」というテーマ(コンピナー:東北大学・花輪)で開催された。参加者が70名を超え、非常に盛会であった。また、会終了後、同会場で懇親会も開かれ、多数の方々が更なる議論に花を咲かせた。

以下に、コンピナーの趣旨説明、講演の要旨、座長と参加者からのコメントを報告する。

研究会事務局 藤谷 徳之助・中澤 哲夫

1. 趣旨説明

花輪 公雄(東北大学 理学部)

今回の「大気-海洋相互作用研究会」では、近年、加速的にその事実が明らかになってきた interdecadal の時間スケールを持つ、大気と海洋の様々な変動に対し、今後どのように研究を進めて行くべきかを中心に議論をしていきたいと考えております。

平均すれば3年から4年の時間スケールを持つ、ENSO イベントの次に長い時間スケールを持つ卓越した変動は、decadal から interdecadal のところにある、との研究成果が1980年代後半から出てきました。はじめは、北太平洋上の冬季の偏西風の、軸の南北シフトに見出されましたが、その後、大気のような現象に、また、海洋の海面水温や表層水温場、循環系の構造などにも、この時間スケールを持つシグナルが明瞭に存在することが、続々とわかってきました。

これらの成果の一端を話題提供して頂いたのが、2年前の「中・高緯度における大気-海洋相互作用—特に10年スケールの変動に着目して—」と題したこの研究会でありました。それ以後、さらに次々とそのシグナルの存在が観測事実として、公表されてきました。論文の題名に、decadal や interdecadal という言葉を使っているものが、次第に増えてきたとの印象を、皆さんも最近持っていると思います。

今回の研究会のねらいは、このような状況の中で、今後、この時間スケールの変動の解明には、どのようなアプローチをしなければならないのかを議論しようということです。特に、そのためには、特別に組織した観測的研究が必要であるのか、あるいは必要であるならばどのようなものかを考えて見たいと思います。

(以上の趣旨説明の後に、講演では、「観測的事実—レビュー—」として、これまでの観測的事実を簡単に紹介した。また、筆者自身が現在考えているストーリー(作業仮説)の一端、すなわち、熱帯域の海面水温偏差の出現—大気テレコネクションパターンの出現—北太平洋中緯度の強制の変化—ヴェンチレーション(サブダクション)過程の変化—熱帯海洋の成層度の変化—熱帯域の海面水温偏差の変化、を述べた。このレビューの部分は、稿を改めて紹介するつもりである。)

2. TOGA-COARE の次にくるもの—気象学の立場から

住 明正

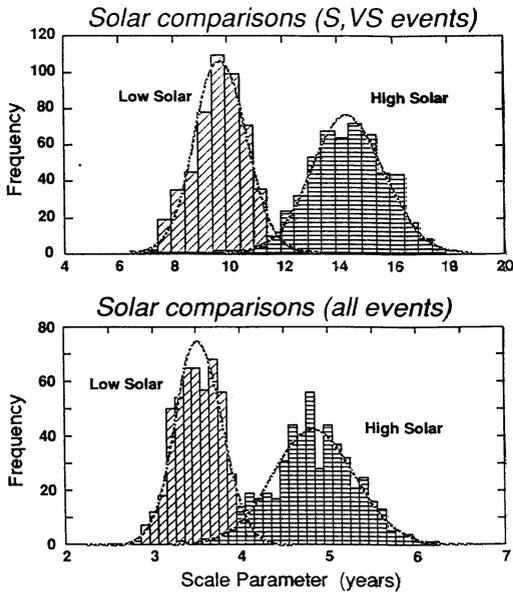
(東京大学 気候システム研究センター)

1. はじめに

熱帯域の大気-海洋結合系の振る舞いの理解に焦点を合わせた TOGA 計画が1994年を最後に終了しようとしている。その成果の中で、海洋における初のリアルタイムモニタリングシステムである TOGA-TAO は、引き続き行われる CLIVAR の中で維持・発展される予定である。また、この間発展した大気海洋結合モデルを用いた ENSO の予測についても、引き続き CLIVAR の中で推進されて行く事と思われる。そこで、ここでは、CLIVAR の中で新たに提案されてきた10年スケールの変動について考えてみる事にしたい。

2. 10年スケールの現象について

10年程度のスケールの変動があることについては、最近の結果から異論がないところであろう(Tanimoto *et al.* (1993), Nitta and Yamada (1989); また、グロースベッター第32巻第2号に関連した記事がある)。このような10年スケールの現象こそ、ENSO の次に顕著な気候変動のシグナルとして、



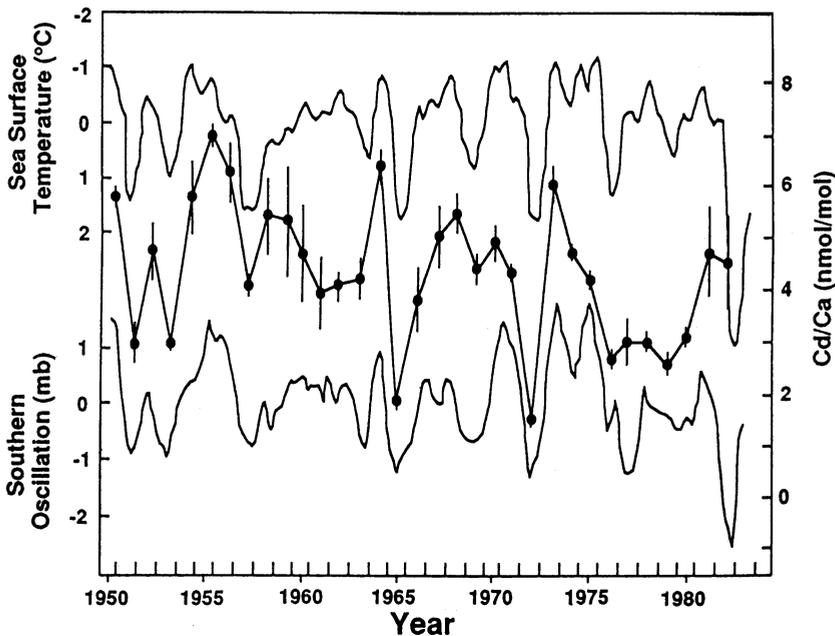
第1図 (上) ENSO-eventの中で強い,あるいは,非常に強い event の再帰期間を太陽黒点の活動度に応じて分けて書いたヒストグラム。(下)同様のヒストグラム,ただし,全ての ENSO-event について行われている. Enfield and Cid (1991) より引用.

CLIVAR が狙っている現象なのである.

ところが,「言うは易く行うは難し」で,10年スケールの現象を研究するのはそれほど簡単ではない. その理由の第1は,勿論,データの問題である. 10年のスケールの現象を研究しようとすれば,少なくとも,100年程度のグローバルなデータセットが必要となる. ところが,現在では,このようなデータセットは,一部の陸上の地点の気候観測のデータと,海洋上では問題があるものの COADS のデータのみである. このような状況で,15年の期間のプロジェクトとして何を考えれば良いのであろうか?

CLIVAR の科学プランでは,10年スケールの変動のメカニズムの可能性として,次の6つを挙げている.

- (1) 純粋にランダムな大気の変動が海洋を通して低周波成分がフィルターされた,
- (2) 火山活動や,太陽黒点などの外力が10年程度で変動しており,それによってもたらされている,
- (3) ENSO の現象が10年程度の時間スケールで変動されている,
- (4) 海洋の内部モードとして10年程度の変動がある,
- (5) 大気海洋結合系の中に10年程度の変動がある,



第2図 ガラパゴス島の珊瑚礁のコアから求めた Cd/Ca の変動(右側)とペルー,チカマの海面水温,及び,南方指数の変動(左). 3者が良く一致している事が分かる. Shen *et al.* (1987) より引用.

(6) 様々な気候レジームがあり10年程度の時間スケールで遷移している。

これらの内のどれが実際に効いているかは、今後の課題であるが、これらの可能性を一つずつ check してゆくことになろう。

3. 古気候の重要性

長い時間スケールの現象の研究には、長い時系列のデータが必要になる。しかしながら、将来を待つには時間がかかるので、どうしても過去に遡らなければならなくなる。この意味では、過去500年程度 of 古気候の復元が最も可能性が高い。第1図は、Enfield と Cid (1991) による太陽の黒点活動と ENSO の周期の変動の関係である。これらの図が正しいとすれば、何らかのゆっくりとした変動が ENSO の周期を変調している事になる。

この結果は、様々な記録から復元された ENSO イベントの時系列に基づいている (Quinn *et al.*, 1983)。この他に、最近のガラパゴス島の珊瑚礁のコアの Cd/Ca を用いた解析から年々の温度が抽出されている (Shen *et al.* (1987) : 第2図参照)。これらの結果を用いれば、少なくとも16世紀から18世紀にかけての小氷河期と呼ばれる時代の太平洋熱帯域の海水温の変動が再現されてこよう。それによって、気候のベースが変化したときに ENSO がどの程度変化するのかは興味ある問題である。地球温暖化はこれと逆の現象と考えられるので、この小氷河期における気候システムの振る舞いの知見は、地球が温暖化したときの気候システムの振る舞いについて何らかの知見を与えることであろう。

参 考 文 献

- Enfield, D. B. and S. L. Cid, 1991 : Low-frequency changes in El Nino-Southern Oscillation, *J. Climate*, **4**, 1137-1146.
- Nitta, T. and S. Yamada, 1989 : Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 375-383.
- Quinn, W. H., V. T. Neal and S. E. Antunez de Mayolo, 1987 : El Nino occurrences over the past four and a half centuries, *J. Geophys. Res.*, **92**, 14449-14461.
- Shen, G. T., E. A. Boyle and D. W. Lea, 1987 : Cadmium in corals as a tracer of historical upwelling and industrial fallrate, *Nature*, **328**, 794-796.

Tanimoto, Y., N. Iwasaka, K. Hanawa and Y. Toba, 1993 : Characteristic variations of sea surface temperature with multiple time scales in the North Pacific, *J. Climate*, **6**, 1153-1160.

3. TOGA-COARE の次にくるもの—海洋学の立場から

竹内 謙介 (北海道大学 低温科学研究所)

TOGA によって海洋学、特に観測は革命的に変化したと言える。その変化は“オブジェクト指向”というキーワードで表される。つまり、手段として何ができるかから考えるのではなく、何をしなければならないかを考えるようになったと言うことだ。これには気象学の影響が大きい。気象学はもともと社会的な要請も強く、サポートもあったが、海洋学にはこれまでそれが無かった。もう少し具体的には、観測が大規模化、国際化した事、外洋を対象としては初めて時間変化を意識した観測をするようになったこと、等が挙げられる。また、PMEL, CSIRO 等の国内、国外の国立研究所が活躍したことも一つの特徴と言える。

TOGA-TAO はこの様な観測の典型である。TOGA 以前にはこの様に広範囲を連続的に、しかもリアルタイムにモニターできる様になることは夢でしかなかった。

TOGA が成功したと言うには早すぎるが、これまで比較的順調にきた原因は主に2つあったと言える。一つは対象とする現象、ENSO が顕著な現象で、ゴールがはっきりしていたことである。もう一つは気象と海洋がほぼ対等に協力できたことである。異分野の協力は、一方が他方に使われているという感覚を持つとかなかなかうまくいかない。

さて、TOGA の反省はどのような方向を示しているだろうか？ 私が感じるのはモニターの重要性が増すという事である。技術的には世界中の海洋をリアルタイムでモニターするのは不可能でなくなりつつあるし、社会的な要請もある。時間変動に関しては海洋はまだ未知の領域である。今日の主題である10年スケールの変動などは、余程キーになる現象が特定されないと、プロセススタディー的なプロジェクトは難しい。ルーチン観測を飛躍的に拡大し、全世界をとにかくモニターする体制を作ることが最も必要ではないか？

日本の体制にはいろいろ問題が多い。研究者の絶対数が足りないし、サポーティングスタッフの体制も弱い。一方、官庁によるルーチン観測の質は高いし、大

学などの研究者との信頼関係も良好であるという強味もある。残念ながらルーチンと大学等の間を埋める、大規模なプロセススタディーや先駆的モニターシステムの開発等を担当できる、国立研究所の様な存在が不足している。この様な機関を育てるとともに、他の分野の研究者、特に技術系の研究者を積極的にこの分野に引き込むこと、観測業務を補助、担当できる民間会社の養成、サポート的な仕事を評価する体制等が必要になる。

4. WOCE の次にくるもの

杉ノ原 伸夫

(東京大学 気候システム研究センター)

World Ocean Circulation Experiment (世界海洋循環実験) は、WCRP の一部であるが、海洋研究者による海洋についての研究計画である。decadal 規模の気候変動予測に耐える海洋モデルを開発し、それを検証するために必要なデータを集めることをその目標としている。1990年から1997年を、WOCE の重点観測期間として、現在モデリングと観測による研究が活発に進行中である。モデリングでは、気候変動予測モデルと共に観測データの解釈を助け海洋大循環の理解を深めるための理論モデルの作成を目的としている。前者は順調に進展しているが、後者については、各国が(勿論我国も)、意識的に活発化させるよう努力する必要がある。観測は現在の技術で考えられるあらゆる方法を駆使して行われている。そのなかには、人工衛星搭載の散乱計や高度計による海上風や海面水位の測定そして中層フロートによる中層の直接測流といった最新技術を駆使した観測もある。中層フロートについては、既に世界の海洋に500個以上が放流され、500~1000 m といった最も未知の中層の流れの実体が明らかにされつつある。

最も時間と労力を費やしているのが、船舶を用いた基準観測計画(WOCE Hydrographic Program)である。ここでは、水温・塩分はもとより溶存酸素・栄養塩についても徹底的な高精度測定が要求され、かつ ^{14}C 、CFC's等の化学トレーサーの測定も課されている。現在、太平洋・南大西洋そしてインド洋の順で計画が順調に実現されている。我国では、海上保安庁水路部、水産庁、東海大学が共同で、太平洋を横断するP2測線(30°N)の観測を既に実施しており、気象庁が今夏2か月を費やしてP8測線(137°E)を観測する。この基準観測の実施により、我国の現業官庁における

観測技術水準が飛躍的に向上し世界的な水準のデータの取得が可能になる。P2は、また、北太平洋唯一の熱輸送測線でもあり、昨秋から九大応力研が中心になって黒潮・黒潮主流の係留系群による直接測流を開始している。これにより、30°Nを通過する海洋の熱輸送量が精度良く求まると共に初めて黒潮・黒潮逆流の絶対流量が測られるものと期待している。

このように、コア計画1(世界海洋の記述)やコア計画2(南大洋)では、順調に世界の海洋において均質かつ高精度のデータが得られつつあると言ってよい。一方、コア計画3(循環実験)では、計画の軌道修正が行われた。すなわち、北大西洋に海域をしぼった、コア計画1・2の数倍の時・空間分解能の観測によるモデリングに資する力学過程の研究から、そこでの循環の季節及びdecadal変動の実体把握の為に観測に変更した。現在、1996~1997年の集中観測を目指し観測の為に戦略が練られている。以上のようにWOCE期間の最終年度まで全力をあげて観測が実施される。

我々は、1997年以降をSynthesis期間として、取得される様々な種類のデータを利用して、いかに海洋大循環の理解を深めるか、いかにモデルを改良するか、いかに効率的に変動をモニターするか等に焦点を絞った研究計画を予定している。策定中のCLIVAR2は時間規模として10年以上を考えている。この計画とWOCEのSynthesisとの連繋が必要であろう。

5. 「何をモデル化するのか—OGCM, AGCM, CGCM」

遠藤 昌宏(気象研究所)

時岡 達志(気象庁)

鬼頭 昭雄(気象研究所)

海面水温(SST)の歴史的データには、10年から15年程度の長周期変動の存在が認められる。この周期帯で時空にコヒーレントな変動の振幅は、とくに太平洋で大きい。即ち、熱帯太平洋日付変更線付近から東の高温域と中緯度西部/高緯度太平洋の低温域(あるいはこのオフセット)とから成る明確な空間パターンが見いだされる。また、これに関する変動が、熱帯に限らず中・高緯度の大気の大循環と主躍層付近までの表層海洋水温まで認められる。このような大規模の変動はどのような機構で生じるのか。その理解を進めるための手段として、現実的な大気大循環モデル(AGCM)と、海洋大循環モデル(OGCM)、大気海洋結合大循環

モデル (CGCM) による研究が今後の研究の焦点を定めるのに役立つ情報を提供する事が期待される。

(1) 問題の設定：太平洋の海面水温，大気循環，海洋表層水温の10年から15年変動は，熱帯の（アジアモンスーンとの連携可能性も含む）ENSO システムの変動特性の波及効果か？あるいは，熱帯・中高緯度双方を巻き込んだ新たな大気海洋相互作用のサイクルがあり得るのか？モデルによる研究を進めるうちに，この点に問題が絞られるように見える。

(2) モデルの示唆：① AGCM：海面水温の歴史的観測データを与えて，大気循環の長期変動を調べた。太平洋熱帯日付変更線付近の海面水温 (SST) の（例えば）上昇による大気循環の応答として，中緯度対流圏西風ジェットが南偏する。その結果，とくに北太平洋北緯30度を中心に西風偏差が，より高緯度では東風偏差が現れる。② CGCM：結合モデルでは10年から20年の周期帯で観測とよく似た SST の空間分布のパターンが再現されている。積分結果の解析から，海上風の変化にともない，北太平洋の北/西部では主に蒸発の増加と高緯度水のエクマン移流により SST が減少，中緯度東部では蒸発の減少による SST の増加という特有のパターンが，赤道を除く北太平洋において創り出されていることが示唆された。今後，モデルデータの解析により，SST とさらに海洋表層の変動の解析を進める。③ OGCM：この中高緯度での SST のパターンにとまなう海洋温度構造の変動の他に，海上風の偏差に対応する亜熱帯風成海洋循環の SPIN-UP が存在することが確かめられる。SPIN-UP の時間はちょうど10年～15年である。

(3) 問題点：10年から15年の時間スケールを持つ中緯度海洋の変動をモデルで再現するためには，さらに10年～15年さかのぼって計算をはじめることが必要で，そのための海上気象データが必要である。しかし，現在のところ，その計算とその検証に耐えうる観測データは，SST 以外にない。とくに大事な海上風は過去30年間程度，海面フラックスデータと海洋塩分データの歴史的データはこの時間スケールではそもそも無い。当面は，実測海上風データの編集作業の進展と，歴史的 SST データにより駆動した AGCM の解析値による長期データセットの出現を待つしかない。

6. CLIVAR について

山形 俊男（東京大学 大学院理学系研究科）
本年（1994年）3月にジュネーブで開催された

WCRP/JSC 会議の報告も兼ねて次期物理気候研究計画 CLIVAR に関連するものを紹介することから始めたい。

CLIVAR 計画は大きく2つに分類され，CLIVAR フォーカス1（季節変動から経年変動までの物理気候変動を扱うもの）と CLIVAR フォーカス2（10年スケールから100年スケールまでの物理気候変動を扱うもの）からなる。それぞれに初期の重点項目としては CLIVAR フォーカス1に関して 1) 季節変動から経年変動までの予報可能性と予報，2) モンスーンの力学があり，CLIVAR フォーカス2に関しては，3) 10年スケールの海洋変動と予報可能性，4) 人類活動の影響に対する物理気候の応答が挙げられている。しかしフォーカス1とフォーカス2の区別が明瞭でないものも多く，特にモデル研究や後述するように太平洋における気候研究においては両者の区別はあまり明確でない。この観点から今後，基本的な戦略において若干の見直しがなされるであろう。

以下で初期重点項目についてさらに詳しく見てみる。1) 季節変動から経年変動までの予報可能性と予報の項目の基本は TOGA の拡張，継続である。すなわち全球大気，地表プロセス，表層海洋間の相互作用を解明し，予報をめざすわけで，初期にもっとも力をいれるのは ア) ENSO の予報精度の向上，イ) 全赤道海域へ観測システムを拡張すること，ウ) 気候の平均状態とその変動をフラックスの修正なしで出せる結合モデルの作成，エ) 季節スケールでの低緯度と中，高緯度のリンクを解明することである。2) モンスーンの力学では特に ENSO の予報に関連してモンスーンと ENSO のリンクを解明することが目標である。3) 10年スケールの海洋変動と予報可能性では SST，塩分等に影響を及ぼす熱塩循環，中層水，深層水等の形成とその水塊の広がり方等の解明がうたわれている。北大西洋では深層水の形成や塩分アノマリー (Great Salinity Anomaly) の10年-数10年スケールの変動があり，一方，太平洋では今回の研究会でしばしば言及されたように ENSO シグナルの10年スケールの変動や北太平洋の大気海洋変動としての10年スケールの現象が著しい。したがってこの 3) では各大洋スケールでの研究が重要になるであろう。研究手法は上記海洋プロセスの観測，モデリング，サンゴや深海の堆積層の Proxy data による古気候の復元が重要となる。時間スケールが長くなるほどモデリングが重要で結合モデルは必要不可欠であるが，大気，海洋

それぞれの単体モデルによる研究も推進する。海洋の単体モデルでは渦を解像するほどの精度が果たして気候研究に必要なかどうかを明らかにする。Proxy dataの解析研究はIGBP Core ProjectであるPast Global Changes (PAGES) とよく関係して行う必要がある。時間スケールが長くなるほどに物理気候研究計画であるWCRPと生物絡みのIGBPの接点が増してくるのは当然である。

重点項目 4) の人類活動の影響に対する物理気候の応答の項目では温暖化ガスの増大への物理気候の応答のより正確な見積もりを行う。研究計画はモデリング、予報、データ取得、解析から構成され、モデリングについては予想されるコンピューター能力の向上に伴って海洋プロセスに力点を置く。またアウトプットに共通のプロトコルや、共通のヴァリデーション方式を導入し、モデル間の相互比較をやり易くすることも考慮していく。

CLIVAR フォーカス1, CLIVAR フォーカス2のどちらもモデリングが重要な役割を担うことになるのでそれぞれにモデリング・パネルを置く。CLIVAR-1モデリング・パネルにはTOGA NEGとMONEGが合体して対応し、CLIVAR-2モデリング・パネルにはSGGCM (Steering Group for Global Coupled Modeling) が発展的に対応する。WOCE NEG (WNEG) はWOCE 期間中は存続させ、これと協力してCLIVAR関連のモデリングを推進する。大気モデルについては現業モデルと気候モデルの差はあまりないのでWNEGとの協力関係を強化する。人類活動に起因する気候変動を同定するためのモデリングの進展状況についてSGGCMのレビュー会合が1994年秋にスクリップス海洋研究所であり、ここでCLIVAR-2モデリングパネルの第一回会合がもたれる予定である。

CLIVAR 計画には、当然であるが、WOCE, GEWEX, ACSYS等の他のWCRPプログラムとの緊密な関係が重要になってくる。これはとくにモデリングについて言えるであろう。現業観測プログラムのWWW, GCOS, GOOS等は組織的な全地球の基礎観測データを供給するものであり、これらのプログラムとの緊密な関係が必要である。

すでに行われた重要なCLIVAR関連の会合としてはCCCO Ad Hoc Study Group on Interdecadal Climate Variability (Honolulu, 18-20 Feb. 1992) やGOALS Study Conference (Honolulu, 1-3 Mar., 1993) が挙げられる。今後に予定されているものとし

ては、

- 1) アメリカ海洋学会年次会合 (Newport, RI, Apr., 1995)
- 2) ヨーロッパ学会会合 (Wiesbaden, Apr., 1995)
- 3) 第2回 GAME 会合 (日本, 1995)
- 4) TOGA 最終会合 (Melbourne, Apr., 1995)
- 5) IUGG 総会 (Boulder, Jul., 1995)
- 6) PAGES/CLIVAR 作業委員会 (1994/95 Winter)

等があり、こうした会合を活用してCLIVAR計画の国際的な浸透を図っていく。

最後にCLIVARプロジェクトオフィスとしてはドイツ研究技術省の招聘(1名の科学担当官および1名の秘書のサラリー、事務室、事務機器、必要な事務支援資金)を受けて、ハンブルグのマックス・プランク気象研究所におくことになっている。ここに米国等からさらにスタッフを供給する予定とのことである。

さてこうした状況のなかで我が国としてはどのように対処していくべきであろうか? フォーカス1についてはTOGA計画に絡んできたこともあり、観測、モデルとも決して充分とは言えないがそここの体制はあると言えよう。如何に継続、発展させるかであろう。問題はフォーカス2である。私は今でも科学的にはフォーカス1と関係してCCCO Ad Hoc Study Group on Interdecadal Climate Variability (Honolulu, 18-20 Feb., 1992)で作成した提言レポート(IOC Technical Series No. 40, SC-92/WS-54, 1992年)に沿って行くべきと考えている。今でもと言うのは、1991年ウッズホールで開かれた第12回CCCO会議で上記の特別ワークショップの必要性を提案した後で、当初文部省関係のGOOS基礎研究を推進するに際して、北太平洋の顕著な10年スケールのシグナルが現われる海域の混合層の形成などの大気海洋観測計画と西太平洋熱帯域の大気海洋観測計画を旨くリンクさせて推進すべきであると考えていたからである。実際、太平洋の10年スケールの大気海洋変動ではアリューシャン低気圧の南下と強化のフェーズ(この時、中央部から東部熱帯太平洋域ではあたかもエル・ニーニョのようであることに注意)に日本付近では冬季の季節風は強化され、一部はアジア大陸東部に沿って西太平洋熱帯域に吹き込んでいる。一方で冬季の季節風の主要な部分は南下したアリューシャン低気圧に反時計回りに巻き込む。ところが熱帯がいわゆるエル・ニーニョの時には西太平洋熱帯域は比較的水温は低く、南方振

動で良く知られているように地上気圧は正のアノマリーを示して対流圏下層の大気は偏差としてはアジア大陸東部に沿って、季節風を弱める方向、即ち日本列島の方向へ吹き出す。10年スケールの現象と ENSO 現象で西太平洋アジア大陸沿いの季節風の吹き方が逆のようなのである。このあたりに留意しつつ、西及び北太平洋の大気海洋相互作用を北太平洋の中層水などの水塊形成にも着目しつつ調べていくことが太平洋の CLIVAR 観測計画として当面は重要だと思うのである。これは冬の天候予報の向上という極めて現実的な側面からも推進すべきではないかと思う。

7. コメントと総合討論

安成 哲三 (筑波大学 地球科学系)

この時間スケールの変動の研究における science としての問題は、今回のワークショップでの報告などに基づくと、以下のようにまとめることができる。

1. (ENSO, QBO に代表される) 年々変動の振幅・周期変動として現れており、年々変動の空間構造との類似性が強いこと、年々変動に比べて振幅が小さく、従って一般に S/N 比が小さいことなど、decadal-scale 変動としての有意性、判別性が難しい。
2. 最近の、特に1970年代後半以降の「温暖化」シグナルや、19世紀の小氷期 (Little Ice Age) からの戻りという長期傾向との関連が不明である。
3. 長周期変動というよりも、年々変動に重なった気候ジャンプ (e.g., 1976-77 のアリューシャン低気圧指数) の繰り返しの特性も強い。
4. メカニズム論では、太陽活動周期、火山噴火などの外因説と、システムの非線形性 (Lorenz の準自動性など) による内因説があるが、いずれも今のところ決定的なものはない。
5. 海洋、および海洋上の大気のパラメータに顕著に現れており、大気・海洋相互作用が重要な役割を果たしていると考えられるが、大陸の積雪域や地温変動にも長周期変動が見られ、大気・海洋・陸面相互作用という側面も可能性がある。

いずれにせよ、このスケールの気候変動は、人間活動による「温暖化」のシグナルの検出という問題とも直接関係するため、今後の重要な研究課題であるが、その研究進展のためにはまず、衛星・地上観測を含めた長期的な観測、モニターの体制の確立が重要である

う。国際的な研究プロジェクトとしての CLIVAR, GEWEX, WOCE や、観測研究システムとしての GCOS, GOOS などを強力に推進する必要があるが、特にこのスケールの変動が顕著に現われているアジア・太平洋・インド洋地域は、大西洋域に較べて観測、モニター体制がかなり遅れているのが現状である。これについては、日本の役割が大きく期待されており、今後日本は、一体となって、この地域の環境・気候変動の研究・観測の国際的なイニシアティブを取っていく必要がある。そのためには、関連する現業、研究機関、大学のあいだの緊密な協力体制を確立していくことが、まず最重要課題のひとつではなかろうか。

8. 座長コメント

久保田 雅久 (東海大学 海洋学部)

大気・海洋の数10年スケールの変動を解明するための戦略について議論する事が目的で開かれた会合であったが、結果的には、数10年スケールの変動を解明する事はもちろん、それに対する戦略の端緒を見つける事すらも容易では無い事を実感させられた会合であった。アイデアの枯渇という問題に関しては、発表者の多くが、既に過去の研究計画の中で、献身的な努力のもとに中心的な役割を果たしてきたので、現在は少し疲労気味という事も関係しているのかもしれない。しかし、現在行われている研究計画でも、ある日突然にアイデアが浮かんで来たとは思われないし、仮にそうであったとしてもそこに至るまでの過程においては、今回のような会合が何度となく開かれていた事は容易に想像できる。すなわち、現段階で、このような会合を開く意味は、充分にあると考えられる。

恐らく、数10年スケールの変動は、気候という言葉に含まれるのであろうが、気候は、海洋、あるいは気象といった従来のパラダイムでは無く、今までとは全く異なるパラダイムの中で考えるべきものであり、そのパラダイムに沿った研究・観測・教育・社会システムを構築していく必要があると思われる。この時点で、数年スケールの変動に対する研究と数10年スケールの変動に対する研究は、根本的に異なる側面を持つような印象も受ける。例えば、数10年スケールの変動に対する研究が、TOGA 計画の中で強く意識されてきた予測、あるいは工学的側面をどの程度持ちうるものであろうかと感じた今回の研究会であった。

9. 参加者からのコメント

川村 隆一 (防災科学技術研究所)

今回の研究会に出席して思った、Interdecadal Variation (IDV) について、それを研究している一人として感想を述べてみたい。

IDV が地球の気候システムがもっているシステム自身の固有変動であるなしにかかわらず、IDV の理解は、人為的要因による地球温暖化の将来予測を評価する上で必要不可欠であろう。一つには IDV を温暖化のシグナルとして混同してしまう恐れがあるからである。しかしながら、研究の重要性にもかかわらず、IDV は、ENSO と較べて必ずしも現象が明確になっていない。これまでの研究から、北太平洋ならびに北大西洋域における大気・海洋現象に IDV のシグナルが見られることがわかってきているが、熱帯域では IDV は有意なシグナルとして検出されているのだろうか？

このような不明確さは熱帯対流圏における QBO 現象と類似している。誰もが認めている短期気候変動としての ENSO 現象より、短い時間スケールの QBO と、逆に ENSO より長い時間スケールをもつ IDV が共通の不確実性をもっているのは興味深い。これを理由に、熱帯域の IDV は ENSO の irregularity あるいは modulation の結果であると考える人もいるだろう。また、一方では ENSO モードのシグナルが大き過ぎるため IDV を検出するのを難しくさせているという見方もあるだろう。IDV のプロジェクト研究に関し

て言えば、TOGA-COARE のように key region の存在が不明瞭であるため、大規模な観測を行うようなプロジェクトは現段階では時期尚早かもしれない。逆にいえば、じっくり研究の積み重ねができ得るテーマであり、今は、pre-IDV 研究の蓄積を必要としている時期であると言えないだろうか？ モデル研究で言えば、発表にあったように、AGCM, OGCM, CGCM 各々で研究していく必要があるのは当然であるが、AGCM だけをとつても、GCM の個性の違いにより、シミュレートされる中高緯度大気 IDV の振る舞いはかなり異なっている。それは、熱帯の海面水温変動に対するモデル大気の応答特性の違いに大きく依存している。過去数10年間の気候変動を再現できる能力を持つ複数の GCM を用いた IDV の比較研究の推進が必要であると思う。その意味でも、観測・モデル研究の蓄積が求められている。

IDV は ENSO と同様に気象学と海洋学をつなぐ研究テーマであり、かつ、グローバルな現象として把握され得る。このような研究会やシンポジウムを機会にして、IDV の気象学的・海洋学的側面を気象学者・海洋学者が成果を持ちよって頻繁に討論してゆけばよいと思う。現象の名前としてはインパクトがないにもかかわらず、熱帯の季節内変動 (ISV) がコミュニティで認知されたように、IDV が ISV と同様な市民権を得るのかはこれからの研究成果にかかっている。