

大気-海洋相互作用に関するビアクネスシンポジウム*

新田 勲**・安成 哲三***・佐伯 理郎**

山形 俊男****・北村 佳照*****・山崎 孝治*****

鬼頭 昭雄*****・川村 隆一***

2月1日から5日まで、米国カリフォルニア州アナハイム市で表記のシンポジウムが開催された。このシンポジウムは1975年に亡くなった JACOB BJERKNES の偉業を記念して、特に最近、気候変動の立場から問題となってきた、大気と海洋との相互作用の解明のために、WMO、アメリカ気象学会、カリフォルニア大学が主催して行ったものである。

エルニーニョ・南方振動等、最近のホットな話題とも関連して、また、主催側の努力により、世界各国から150近い論文が集まり、そのうち約50編が講演発表、約100編がポスター発表された。日本からも8名の参加者がそれぞれ講演、ポスター発表を行った。以下、シンポジウムの全体の印象(安成)と個々のセッションの概略(新田, 佐伯, 山形, 北村, 山崎, 鬼頭, 川村)を報告する。

1. ENSO はどこまで理解できたか

—J. Bjerknes 会議参加印象記

安成 哲三(筑波大学)

今回の会議には、いわゆる ENSO 問題にたずさわる世界各国の主だった研究者のかかなりの部分が参加しており、文字どおりの ENSO 会議という感じであった。会場のホテルが、ディズニールランドのすぐ近くという悪条件(?)にもかかわらず、5日間の会場は、連日かなりの熱気に包まれていた。

* Jacob Bjerknes Symposium on Air-Sea Interactions

** Tsuyoshi Nitta, Masaro Saiki, 気象庁.

*** Tetsuzo Yasunari, Ryuichi Kawamura, 筑波大学.

**** Toshio Yamagata, 九州大学.

***** Yoshiteru Kitamura, Koji Yamazaki, Akio Kitoh, 気象研究所.

会議の焦点はやはり、ENSO を熱帯太平洋における大気・海洋相互作用としてのみとらえるか、または、よりグローバルな現象としてとらえるか、というところにあった。3日目にあった、“ENSO は予報できるか”というセッションにおいて、この問題がはっきりと浮き彫りにされるかたちとなった。勿論、若干の見解の相違は見受けられたが、前者を強調するグループを「太平洋派」、後者を強調するグループを「グローバル派」と仮に呼ぶことにしよう。

太平洋派の旗がしらは Cane であり、彼らの有力な武器は、Cane and Zebiak モデルとよばれる“簡単な大気-海洋結合モデル”である。彼らのモデルによる“ENSO サイクル”の再現の成功は、やはりアメリカの気象学界でもかなり評価されているようで、彼は会議の冒頭での基調講演者のひとり選ばれていた。たしかに彼らのモデルは、ひとつの break through であったのだろうが、このモデルをさらに詳しく調べた Hirst や Battisti の発表は、何やら数学の遊びのようで、余り感心したものではなかった。このモデルにおける“ENSO サイクル”では、海洋ケルビン波の東岸における反射と海洋ロスビー波の西岸における反射が重要な役割を果たしている(山形私信)。問題は、このようなケルビン波とロスビー波の反射現象が、減衰もせずに実際に起こっているかどうかである。Graham は NCAR-GCM による風のデータで走らせた FSU の海洋モデルの出力から、実際に有り得ると主張していたが、本当に南米西岸から暖水のアノマリーが発射されているかどうかは、データの解析手法が巧妙なため、判断が難しいところであった。

グローバル派は、これに対し、熱帯太平洋上の大気-海洋相互作用による ENSO イベントが、太平洋域以外の主として大気わでの外力によって引き起こされることを主張している。この代表は、Barnett, Van Loon,

Krishnamurti, それに私自身などであるが, 未だ少数派である。この会議に出席したのは, Barnett と私のみであったが, ふたりに特に共通した主張点は, ENSO イベントに約一年先立つユーラシア大陸やインド洋上での大気循環の異常を重要視することである。Barnett は今回, ユーラシアでの異常積雪が次の夏のモンスーンを弱めるという Hahn and Shukla 以来の指摘を, 季節サイクルをふくむ GCM によってはっきりと示し, この弱い夏のモンスーンこそが, 太平洋の貿易風を弱め, ENSO イベントを引き起こすことを主張していた。私自身は, むしろ ENSO の前年の夏のモンスーンの強いことが, 次の冬, 即ち ENSO 開始前の冬の西太平洋における暖かい混合層の発達を強化することを, データの解析から示し, これが ENSO イベントの開始の少なくとも必要条件であることを指摘した。この意味で, ENSO とモンスーンとの関係に対する二人の見解は, 微妙に異なっている。Barnett は, ENSO 年の弱いモンスーンに積極的な役割を与えているが, 私自身はむしろ, 前年の強いモンスーンと ENSO 年の弱いモンスーンの組合せを重視する。

グローバル派の主張のひとつの問題点は, ほぼ3~6年の周期を持つ ENSO サイクルを, いかにも説明するか, という点にあったが, 今回これに対するひとつの進展があったようにおもう。それは, モンスーンを含む熱帯対流圏には2~3年周期の現象(QBO)が卓越しており, これが ENSO サイクルの基本モードとなっているという認識である。この振動が時として別の何らかの原因(例えば, 後述の westerly burst)によって太平洋での大気-海洋相互作用の不安定モードを引き起こすことにより振幅が増大して, 結局, 数年ごとの ENSO イベントとして現われるという見方である。この対流圏の QBO の存在は, 昔から指摘されてはいたが, ENSO のメカニズムという視点での議論は, 私自身(Yasunari, 1985)や Harrison and Gutzler (1987), Meehl (1987)などの論文をきっかけとしてつい最近始まったばかりである。今回も, Rasmusson や Ropelewski などが, データ解析からこれに関連した発表を行っていた。山形は, この大気の QBO と, 大気-海洋結合モデルを組み合わせることで, ENSO サイクルをうまく再現できる可能性を指摘して, 注目を浴びた。

さて, ここで ENSO イベントの実際の開始に関連して議論となったもう一つの話は, いわゆる“westerly burst (西風の暴発)とでも訳すべきか”である。こ

れは Wyrski (1975) が提唱して以来, 繰り返し問題にされてきた現象であるが, 82/83 の ENSO ではっきりと観測されてから, ENSO イベントのトリガーとして特に注目されてきたようだ。この“westerly burst”は, 太平洋派にとってはむしろ大気-海洋相互作用の結果であり, どちらかという過小評価すべき存在であるが, グローバル派にとっては, 太平洋域外の大気からの外力のひとつの現れとして, 非常に重要な意味を持つことになりそうである。私自身は, この“westerly burst”の平均化されたものとしての西太平洋における西風強化が, ユーラシア大陸から赤道インド洋へと南下してくる高気圧のサージによって起こりうることを, そしてこのサージが, 反対 El Nino に対応した[西太平洋での活発な積雲対流に端を発する北米から北大西洋でのテレコネクション・パターンと NAO (北太平洋振動)との一種の共鳴により, 風下側のユーラシアに生じた循環場のアノマリーに関連している可能性を示したが, 聴衆の反応は, まだ半信半疑という感じであった。

一方, ハワイ大学の村上(多)は, 「いったいシノプティックスケールの現象である個々の westerly burst が, ENSO のような大規模な経年変動を起こすきっかけと成りうるのか」という素朴な疑問をまず提出した。そして結論として, これらシノプティックじょう乱の集合(アンサンブル)が, ENSO イベントを開始させることを, おとくいの統計的手法を駆使した解析により, 実に 旨く[表現していた。「はじめて ENSO に首をつっこんだ」と言って, 意気揚々としているこの老大家(?)の顔は, まるで駆出しの院生のように生きいきとしていた。

いずれにせよ, ENSO の前提・必要条件としての西太平洋の暖かく厚い混合層は, どのようにして形成されるのか, そして, それが東太平洋の ENSO イベントと発展するきっかけは westerly burst なのかどうか, もしそうだとしたら, その burst はまったくランダムな現象なのか, それとも何らかのグローバルな ENSO サイクルの一環なのか, というあたりに問題は絞られてきた, という感じを今回の会議で受けた。この意味で, いま日本が始めようとしている「西太平洋観測計画」が, これらの問題の解明に, 重要な役割を果たすことを期待したい。

「ENSO は予報できるか」のセッションは, なかなか楽しいものであった。ここでは, 5人の有志が各々の立場から, 86/87 の予報の成果を披露し, 聴衆を交えて議

論するというものであった。太平洋派を代表して Cane が、グローバル派を代表して Barnett が、その中間派として、O'Brien などが発表していた。また、Handler は、火山活動によるダスト効果が、ENSO の引金と成りうるという、一風変わった説を引っ提げて、この議論に加わっていた。このセッションで強く感じたのは、アメリカの研究者の自己主張の強さ、というよりたくましさであった。もうひとつ印象に残っているのは、ENSO 研究の草分けである Wyrski の、全体を見渡した上での的確なコメントであった。そのなかでかれは、Cane らのモデルは、その物理的基盤が弱いと、意外にはっきり言っていた。

この会議全体で、もう一つ強く印象に残った発表は、最終日の最後の、Keeling による ENSO と CO₂ 問題に関するものであった。既に参加者の大部分がいなくなってしまった会場での熱演は、特にモンスーンの経年変動とも結びついた、ENSO における前述の QBO モードは、ひょっとすると、熱帯の生物圏と大気-海洋との相互作用に積極的に関係したのかも知れないという、衝撃的なものであった。会議冒頭の Cane と最後の Keeling、との組合せは、ENSO 研究のこれまでと、これからを示唆させるようにすら感じさせてしまった。

太平洋派いまだ強しという五日間の会議全体の雰囲気にもかかわらず、私自身は、グローバル派の視点が、次第に認識されてきたことをむしろ強く感じつつ、ディズニールランドにへと足を向けた。

2. ピアクネス記念講演

新田 勅 (気象庁)

1960年代の乏しい観測データから、エルニーニョ・南方振動を熱帯大気と海洋の相互作用と理解したピアクネスの先駆的な業績を讃えるとともに、彼の研究成果を最近の観測、理論、数値モデルの結果で把え直す講演発表が行われた。

Rasmusson (メリーランド大学) は、ピアクネスが当時の乏しいデータから示した、エルニーニョに伴う熱帯太平洋の変動が、亜熱帯高気圧を強め、更に中緯度偏西風に影響を及ぼしているという筋書きは、最近の衛星データによる対流活動の変動や、熱帯の発散風の解析によって定量的に確認されていることを示した。又、近年、エルニーニョと南方振動を同一にして ENSO と呼んでいるが、南方振動は太平洋規模の大きな現象であるのに対し、南米西岸の異常昇温であるエルニーニョ現象は、

他の影響も受けた局所的な現象であることを示し、全球的に大きな影響を及ぼす太平洋規模の大気・海洋変動はピアクネスを記念して JBO と呼ぶのがふさわしいのではないかとの提案を行った。

Cane (コロンビア大学) は、ピアクネスが提唱した大気-海洋相互作用の重要性は、最近の理論的研究によって、熱帯域の大気-海洋結合系の不安定としてとらえることができ、海面水温→大気の流れ→海洋表層の力学→海面水温→の過程を取り入れたモデルによって、数年間隔の変動が再現でき、実際のエルニーニョ予測も可能であろう事を力説した。

一方、Wallace (ワシントン大学) は、ピアクネスの重要な仕事は熱帯域における大気-海洋相互作用に関することにとどまらず、中・高緯度での大気-海洋相互作用の重要性を指摘したことにもあることを、大西洋の亜熱帯域と中・高緯度の間の南北振動を例に挙げて紹介した。これに関して、最近、GFDL で行われている全球の海面水温の変動に対する大気大循環の応答実験では、中緯度で現われる大気の特徴的な変動は、熱帯域の水温変動よりは中緯度海洋の水温変動とより大きな相関がある結果が得られており、中緯度海洋との相互作用を今後一層検討して行く必要があることを主張した。

3. エルニーニョ

佐伯理郎 (気象庁)

エルニーニョに関して、主に、海洋観測資料の解析と海洋モデルの立場から、7編の発表が行われた。

Leetma (NOAA) は、GFDL の海洋大循環モデルに、海洋資料や大気からの影響を取り込んだ海洋の客観解析法を開発し、それをを用いた1985年~87年の解析結果を報告した。

1986年~87年のエルニーニョには、大気-海洋の年々変動、年変動、季節内変動の異なった時間スケールの現象が相互に強く関連し合っていることを示した。また、White 他 (スクリップス海洋研究所) は、1964~85年の太平洋の海洋資料及び海洋モデル (大気状態を与えた) の結果から、エルニーニョが起きる約1年前程に、北緯12度付近に東太平洋から西太平洋に伝わるロスビー波によると思われる暖水の移動現象があり、これらの現象を事前にうまくキャッチできれば、エルニーニョの発生の予測が可能であることを強調した。

佐伯 (気象庁) は、気象庁による137°E線の観測結果などをもとに、エルニーニョ発生前に西太平洋の熱帯域

で暖水が蓄積していること、また、これがエルニーニョ発生の必要条件となっているが、十分条件となっていないこと、さらに、エルニーニョ発生とともに西側に貯められていた暖水が太平洋熱帯域全域に広がることを示すとともに、西太平洋熱帯域の水温には2~3年周期の変動が卓越していることを報告した。

McPhaden 他 (NOAA) は、1986年5月エルニーニョ発生期に西太平洋で発生した双子低気圧に伴って西風が強まり、海洋中にケルビン波が励起され、東太平洋に伝播している解析事実を示しエルニーニョの発生・発達にこのような双子低気圧の存在が重要な役割を果たしているのではないかと示唆を与えた。

また、Wyrтки (ハワイ大学) は、インドネシア諸島の海面水位等のデータから、エルニーニョに伴って西部太平洋とインド洋との間で、海流の反転が生じることを指摘した。

大西洋にもエルニーニョに似た海面水温の変動が存在することを Merle (Univ. Pierreet Marie, フランス) と Pedersen (オスロ大学) が報告した。大西洋での大気-海洋変動の実態は、今後一層詳しい解析を進め、ENSO との関係、類似性、違いなど明らかにして行く必要がある。

その他ポスターセッションにおいて多数の中国の研究者が発表申込みを行っていたが、旅費の関係で発表中止になったのは残念であった。しかし、中国でのエルニーニョの研究熱とそのレベルが高まっていることが感じられ、日本もうかうかしてられないという印象を持った。

4. 季節内変動

新田 勲 (気象庁)

季節内変動および ENSO と関連した年々変動について、解析、理論、数値実験の面から6編の講演発表がなされた。

Wang (ハワイ大学) は、大気2層に境界層を取り入れたモデルの線形不安定性を調べ、観測される季節内変動の特徴を得るためには、波動に伴う下層収束の他に境界層での収束が必要であることを示した。又、Storch (マックスプランク大学) は、ECMWF の10年間の大気循環モデルの結果を解析し、波数1、周期約21日の変動成分があることを示した。

新田 (気象研究所) は、7年間の GMS データの解析から、西太平洋亜熱帯域と中緯度帯との間で逆相関の対流活動があり、この変動は ENSO サイクルとも関連

した西太平洋域の海面水温の年々変動と関係していること、亜熱帯域の対流活動の強まりに対応して大気中にロスビー波が励起され、日本を含む東アジア域で高気圧が強まることを示した。一方、村上 (ハワイ大学) は、海面水温と長波放射量の長周期変動 (3ヶ月以上) の関係を調べ、対流の活発域の東側に海面水温の高い領域があり、ゆっくりと東進する ENSO モードを維持していることを示した。又、このような年単位の ENSO モードは、30~60日周期変動や数日の変動にもなり西風の暴発と強く関係していることを示した。

ENSO のメカニズムについては、山形 (九州大学) と Lau (ゴッダード宇宙研究所) の発表があった。山形はこれまでの観測の事実から、ENSO が起こりやすい状況を作り出すのに、西太平洋での海洋表層の熱容量の増大と西風の暴発の存在が必要であることを指摘するとともに、大気-海洋結合モデルを用いて、そうした状況下では、ゆっくりと東進する本格的な大気-海洋結合モードが発達することを示した。又、今後の残された ENSO サイクルの解明には、こうした大気-海洋相互作用とともに、モンスーンを介した大気-海洋-陸地相互作用が重要であることを強調した。Lau は、線型化された湿潤大気モデルを用いて、暖かい西太平洋で発達した季節内変動成分が、冷たい東太平洋で生き残り赤道上一周して戻ってくるためには、海面から境界層への蒸発が重要であることを指摘した。また、ENSO onset には、大気-海洋結合の不安定とともに、季節内変動成分が重要であることを示した。

5. 大気海洋結合モデルとエルニーニョの予報可能性について

山形俊男 (九州大学・応用力学研究所)

会議の全体的な状況については安成氏の報告を参照していただくことにして、早速、表記の本题に入ることにする。

当セッションは、まず、Schopf, Battisti, Hirst の3名が Cane and Zebiak (1985) と Schopf and Suarez (1987) の両モデルに共通の ENSO サイクルの機構について解説した。Schopf によればその機構とは次のようなものである。まず、初春に密度躍層が赤道全域で少し深くなる。この結果 SST が上昇し、大気-海洋相互作用が夏から秋にかけて急激に強まる。風のアンモリーに励起された暖かい海洋ケルビン波は暖水を東太平洋に蓄積するが、一方で中央部太平洋に励起された冷たいロス

ビー波は西進し、西岸で反射して冷たいケルビン波に変身する。この冷たいケルビン波が暖かいエピソードを終息させる。一方で、この冷たいケルビン波に伴う大気の風のアノマリーが中央部太平洋に暖かいロスビー波を励起する。これが西岸で反射して暖かいケルビン波に変身し、東進することによって赤道域の密度躍層がすこし深くなるという訳である。(筆者の解説(天気, 34, 743-749)を参照のこと)。Schopf はこの機構を単純に

$$\frac{dT}{dt} = T - T^3 - \alpha T(t - \delta)$$

の形の非線型方程式にまとめ、この方程式の性質を詳しく調べた。(ここで T は擾乱の振幅、 α は西岸から反射した後 δ の時間差で戻ってくる負の効果の度合を表す。右辺第一項は大気-海洋相互作用による不安定性を示し、第二項は有限振幅で働く自家中毒の項である。Battisti と Hirst はこの方程式の性質にのみ話を集中したので、「子供が運動場で騒ぎまわっている」といった印象を与えることとなった。Schopf がはじめに登場することになったので、二人とも大変神経質になっていたそうではあるが、ともかく、座長 Munk の(ENSO に関しては全くの門外漢ではあるけれども)、「この常微分方程式は ENSO のコミュニティでは皆が了解しているものなのか?」という質問がすべてを語っている。ENSO 研究の本当の流れは、機械論的な ENSO サイクルのモデリングの過程で無視されたいくつかの重要な観測データの意味するところ、特にアジア・モンスーンや西風のバーストとの関連と言った古くて新しい問題をどう統一的に理解するかというところに移っているのだ。

コーヒープレイクの後はマックス・プランク研究所の Latif が西独の大気-海洋結合モデルの成果を発表した。ECMWF の T21 モデルと独自の海洋モデル(13層、東西6度、南北50~400 km の可変グリッド)を結合したもので、西風のバーストを初期擾乱として走らせたところ、SST アノマリー等が大気-海洋相互作用で約12ヶ月持続(非結合モデルでは約4ヶ月)することや、西風のバーストが自発的に発生することを示した。特に ENSO サイクルも海洋ロスビー波の伝播も見られない点の特徴である。腎臓に不治の病を持ちながらも、透析を受けつつ、西独の大気海洋モデルの発展のために努力する姿は胸を打つ。

次いで登場した Neelin は Held のもとで学位を得たばかりの新進気鋭であり、GFDL の海洋モデル(10層、グリッドが $1^\circ \sim 3^\circ$ の可変)と準定常の大気モデルを結

合した結果をいかにもさっそうと発表した。海洋の熱容量(混合層の厚さと読みかえてもよい)を大きくした場合には、大気-海洋相互作用は弱く、定常解に落ち着くが、ある程度小さくした場合には経年的な振動解へ、さらに小さくすると振動モードは現れなくなると言う。風の応力のアノマリーを意図的に0.8倍して海洋を駆動する実験等、大気と海洋の結合の強弱の程度に対して結合大循環モデルがどう振舞うかと言う点に興味を集中していたのが特徴的であった。

午後の部ではオックスフォード大学の Gordon が英国気象局の大気モデル(11層)と GFDL の海洋モデル(17層、 $1/3$ 度格子)を結合させた結果を発表した。雲が海洋を覆う結果や蒸発による冷却効果等が考慮され結合モデルとしてはかなり精巧なものという印象を受けた。Philander は GFDL の幾つかの結合モデルの結果を簡単に紹介し、格子の粗いモデルと細かいモデルとで極めて違った振舞いをすることを示した。加えて、細かいモデルの示す ENSO 現象にも幾つか違ったタイプのものであることに言及した。結合大循環モデルの解析では多くのパラメーターと多くのデータのためにどのグループでも苦慮している様子で、まだはっきりした成果は出ていないようである。実際、シンポジウムの後で訪問した GFDL では、Pacanowski がモデルの結果を取めた150本の磁気テープを前にして、解析グループでも組織しなければとても全体像をつかめないと嘆いていた。O'Brien が午後の最後のスピーカーとして登場したがあまり新鮮味はなかったのでここでは省略する。

最後に ENSO の予報可能性のセッションに触れておこう。このセッションでは懐疑主義者 Sarachik が司会者となった。裁判のような一種異様な雰囲気なかで、これはびつたりの人選に思えた。彼はまず召喚される Barnett, O'Brien, Cane と Handler に対し、次の4項目に答えるように求めた。(1)いかなる物理量を予報したのか?(2)ENSO が発生すると判断する基準は何か?(3)そうした長期的な予報の物理的基礎は何か?(4)採用した方法ではどんな状況の時に予報できないか? 火山の活動度に主観的に依存する Handler をさておけば、全球的な風のデータによる Barnett, ある時点までの風データとそれに駆動された海洋モデルの時間発展を考慮する O'Brien, そして、ある時点までの太平洋上の風データによる点では O'Brien と同じであるが、その後は大気-海洋結合モデルを用いる Cane という図式に仕分けすることができる。O'Brien ら(それにス

クリップス 海洋研究所の White や Graham 等) は断熱海洋モデル (赤道域太平洋のみ) に固執し太平洋内で生起する ENSO の“サイクル”説を主張しているが機械論的すぎる印象を受けた。Cane も大気-海洋結合モデルを用いてはいるものの、基本的には O'Brien の主張と類似している。Barnett はよりグローバルな大気-海洋の変動が重要と考える点ではより柔軟であるが、物理的な解釈と言う点では極めて弱い。ENSO の予報可能性をより深く追求するには“サイクル”か“イベント”かという意味論的なレベルで論争をしても意味はない。

White が別のセッションで「私は ENSO サイクルという用語を使う」と言いつつ、ついつい ENSO イベントと講演中に口を滑らせ、慌てて取り消す一幕が見られたが、これは滑稽というより米国に不毛な論争の土壌が生まれつつある印象を受けた。

私自身は ENSO の暖かいエピソードの発生段階と終息段階についてアジア太平洋域の大気-海洋データを一層蓄積し、その解析とありうる物理描像を総合して研究することが今最も大切であると考えているが、この考えは本セッション出席後も強まることはあれすしも揺らぐことは無かった。特に、米国のいろいろな研究者との雑談を通して、適切な研究体制さえ整えば、この分野に於て我が国の気象海洋研究者が指導性を発揮する日も近いという印象を受けたのは嬉しかった。

6. 海洋モデル

北村佳照・山崎孝治 (気象研究所)

このセッションでは、以下の六つの講演が行われた。

1. 「Numerical Study on the Interannual Variability of the Tropical Pacific Ocean」北村
2. 「El Nino and Southern Oscillation—Cycle or Event?」Graham (Scripps Inst.)
3. 「A Comparison of Observed and Model Simulated Time Series in the Tropical Pacific Ocean」Hayes (NOAA/PMEL)
4. 「A Vertically Integrated Ocean Model with Continuous Stratification」Muller (UCLA)
5. 「Tropical-Extratropical Interaction revisited: A Theory of Two Stage Fast and Slow Teleconnections」Webster (Pen. S.U.)
6. 「The Effect of Eurasian Snow Cover on Regional and Global Climate」Barnett (Scripps Inst.)

1は OGCM を用いたエルニーニョ発生前の海洋の

熱容量の変動を調べたものである。エルニーニョ年初めに赤道上を東進する正のアノマリーがエルニーニョの発生に密接な関係があると考えられているが、この正のアノマリーはエル・ニーニョ年前年 (81年, 71年) の春に中部太平洋の低緯度域で発生し以後西進して西岸に達していることが示された。このアノマリーの発生と季節変動との関連についても論じられた。奇しくも今度のシンポジウムでは、NMC・Leetma 博士が86/87エルニーニョに関する OGCM の解析で、またプリンストン大学の Chao 氏が82/83エルニーニョに関する OGCM の解析で、この正のアノマリーの発生する時期や位置について全く同じ結果を報告しており、異なるモデル、風、さらに異なるエル・ニーニョで共通の現象が抽出されたことは注目に値する。

2の講演も熱容量に着目したもので、reduced gravity モデルを用い、62年から84年までの長期間積分の結果をコンポジットに分けて解析したものであった。エルニーニョ年1月に負の熱容量のアノマリーが中部太平洋低緯度域に現れ、これは西岸での反射の後、赤道上を東進し翌年の1月には東岸付近に達してエルニーニョ (正のアノマリー) を終わらせる役割を果たしている。一方、その年の7月には中部太平洋に正のアノマリーが現れ、以後1年半に渡って西進が追いかけられ、負の場合と同様、西岸で反射が見られるという結果であった。残念ながら、東岸における反射の有無や、個々のエルニーニョのケースについての記述がなく、1の講演の結果との関係は明確ではなかった。

3の講演は、すでに NMC でオペレートしている OGCM (GFDL の Philander 博士のグループのモデルがベースになっている。) による データ・アシミュレーションの結果と、XBT ネットワークや PMEL/NOAA が中心になって赤道上に展開している係留系の結果を比較検討したものである。海洋の大循環モデルによる本格的なデータ・アシミュレーションの試みとしては初めてのものであるが、1月以上の長周期で比較的大きい空間スケールに関してはなかなか旨く機能している印象を受けた。このようなアシミュレーションや比較検証のための体制を整備、確立しつつあるそのパワーに感嘆すべきなのではないかと思われる。

4の講演は、流れに関して地衡流の仮定を用い、混合層の力学を加えた比較的簡便な海洋循環モデルの報告であった。未だ開発途上の感じであるが、Cane 達の 1.5 層モデルと OGCM のいわば中間に位置付けられるも

ので、完成すればカップル・モデルにも有用と思われ、なかなか興味深い。(以上、北村)

5と6は海洋モデルのセッションに入っていたが、内容は大気モデルに入るべきものであった。5では熱帯域の加熱が中緯度に及ぼす影響について新しい考え方を示した。熱帯の熱源から直ちにロスビー波として中緯度へ伝わるテレコネクションの他に、熱帯の Wave Guide を東西に伝播し、東西風速 U が減少する領域(東太平洋や大西洋)で波のエネルギーが蓄積し、そこから中緯度に伝わる機構が考えられるというものである。この考えによれば、熱源の位置が変わっても中緯度の応答にあまり変化が見られないという Blackmon らの GCM 実験の結果を中緯度大気の順圧不安定の考えによらずに説明できる。

6はユーラシア大陸上の冬の積雪の影響を GCM で調べたものである。降雪量を人為的に2倍にすると、つづく春・夏に土壌が湿潤・冷涼となり、インドの夏のモンスーンが弱くなり、赤道太平洋下層で西風が強まり、エルニーニョ的な循環になるというものである。安成が提案している仮説を GCM で調べたものといえる。

(以上、山崎)

7. 大気モデル

鬼頭昭雄(気象研究所)

シンポジウムも4日目の午後となり前日の山場を過ぎたという雰囲気もあるのか、会場も幾分ゆったりしてきた。ホテルの真向かいにある Magic Kingdom を訪ねる人もいたかと思われる。

さてこのセッションでは SSTA に対する大気の影響について7編の発表があった。

Fennessy と Kinter (Univ. of Maryland) は2編に分けて82/83と86/87 ENSO における太平洋 SSTA を与えた実験(冬の2ヶ月ラン)により、境界条件の影響を調べた。観測された SST を使うことによるスキルの上昇は熱帯では83年のほうが87年より良かったが、北半球中緯度では差は見られなかった。なおモデルの系統的誤差として東西波数0成分を差し引いている。

山崎(気象研)は太平洋に大きい SSTA の残っている83年初夏について予報実験(2ヶ月ラン)を行った。2ヶ月目の月平均200mb 流線関数のスキルは1ヶ月目と比べて悪いが領域による違いが大きく、太平洋の SSTA インパクトの大きいと考えられる北米を中心にした領域ではスキルが良いこと、又全球の SSTA を

用い鉛直解像度・積雲対流モデル等を改良したモデルでは2ヶ月目のスキルに改善が見られることを示した。

Blackmon (NCAR) は82/83 ENSO について81年8月から SSTA を入れて83年5月まで積分した初期値の異なる5つのランの平均状態に対してその evolution を詳しく記述した。北半球の大気の影響(PNA)は perpetual January mode で得られるパターンと大きく違うこと、また5ケースのうち1ケースは北太平洋に高気圧偏差が得られたことを示した。但し彼の使った SSTA は Fennessy と同様に太平洋のみのものであった。

Chervin (NCAR) は1950年~1979年の観測された SST を境界条件とした30年ラン(SSTが毎年変わる)と30年平均の SST を用いた30年ラン(SSTは毎年同じ)の結果から、年々変化する SST が大気の変動度を増加させるかどうか及び ENSO 時と non-ENSO 時の大気の状態に有意な差があるかどうかを調べた。季節平均値(12, 1, 2月)を用いた検定の結果この両者の設問のどちらに対しても、熱帯では YES、中緯度では NO であった。

大気持続性に関する発表が2編あった。北太平洋700mb 高度の持続性は El Nino 時には高いが non-El Nino 時には低い(Namias, 1986)、又 anti-El Nino SSTA に対して GCM を用いて統計的に有意な応答を得るのは困難である(Cubasch, 1985)と言われている。GFDL と ECMWF の予報スキルは PNA インデックスに依存するとも報告されている。Palmer (ECMWF) は PNA インデックスの大小によって合成した基本流に対して、PNA インデックスが正の時には擾乱が decay するのに対して、PNA インデックスが負の時には擾乱は大きいままであり、かつこれらはバロトロピック不安定によるエネルギー変換の結果であり基本流 eddy との相互作用が大きく異なることを示した。

Horel (Univ. of Utah) と Mechoso (UCLA) は18年間の観測値から北太平洋域の循環の持続性について調べた。0.5以上のパターン・コリレーションが少なくとも7日以上続いた場合は18年間に49回あった。この分類の結果、El Nino 年には持続性が高く準定常レジームはアラスカ湾で負の500mb 高度偏差を示すのに対して、それ以外の年には正負偏差が同頻度で起こることを示した。又 GCM の10回の冬の結果も SSTA の有無により同種の結果を示した。さらに季節平均したモデル中緯度大気の影響は準定常レジームが互いに打ち消しあって弱くなる事があるので、月平均・季節平均データ

を使うことの危険性が強調された。この点が Chervin の結果との違いを生み出していると思われる。

以上このセッションの内容について述べたが、以下若干ポスター・セッションから大気モデルに関するものについて触れたい。Mechoso (UCLA) は1984年春の anti-El Nino 時の SSTA に対する大気の影響を調べた。この時期に観測された熱帯上部対流圏の波数1の応答は、全球の SSTA を使った実験で表現されたが、SSTA を太平洋・インド洋・大西洋とにそれぞれ分割して与えた実験からはどの場合にも再現されなかった。鬼頭(気象研)は日本の暖冬と SSTA との関係を調べる実験を行った。その結果暖冬時の1月の SSTA を用いた時に、北太平洋に高気圧偏差が現われ日本(特に南部)の気温が高いこと、又このパターンと NINO 4 領域とハワイの間の降水量と正相関が高い事を示し、NINO 4 領域の SSTA が日本の冬の気候監視に重要であることを示唆した。

次にピアクネス・シンポジウムの会場ならびに翌週訪れた GFDL で感じたことについて記したい。米国の政府系研究機関では数値モデルを使った大掛かりな研究が出てきている。大気モデルでは NCAR, GFDL による GOGA (global ocean-global atmosphere) 実験のような30年にわたるものや SKYHI の高解像度モデル版、一方では大気-海洋結合モデルがある。このような大型モデルの出現はもちろん速い計算機の出現と歩を一にしているが、これにたいし記憶媒体の進歩が今一步という感じである。GFDL では大量の磁気テープの取扱に苦慮しているし、又我々の研究部では磁気テープを買うお金が幾らあるかが計算量を制限する事態になりつつある。コンパクトで安価な記憶媒体の出現が早急に望まれる(気象庁本庁に導入された追記式光ディスクはコンパクトだが価格は磁気テープと同等である)。

8. 大気-海洋間のフラックスに関する研究

川村隆一(筑波大水理実験センター)

大気-海洋結合モデルによるエルニーニョの予報可能性についての研究が、今回のシンポジウムにおいて最も人気が高かったのに対し、大気と海洋をつなぐフラックスと題した最後のセッションは概して地味なものであった。しかし、大気と海洋を結ぶ物理過程である大気-海洋間のエネルギー収支が非常に重要であることは言うまでもないだろう。発表内容は、このシンポジウムの性格から熱帯地域、特に太平洋でのエネルギーフラックスの

推定に主眼を置いたのが多かった。

まず、California 大 San Diego 校の Gautier は、7年間の衛星データによる全球放射収支解析から熱帯太平洋上での放射収支におよぼす積雲の影響を論じた。晴天と曇天との場合では長波放射収支で 70 W/m^2 、短波放射収支で 170 W/m^2 の差があり、全体では 100 W/m^2 の差が生じることを示した。彼女は、熱帯太平洋の西部と中央・東部との間での、正味の放射フラックスの東西方向の傾度としてこれを捉えた。対照的に、California 大の Weare はグランドトルースとしての海上観測点データから熱帯太平洋のエネルギーフラックスの推定を行った。年平均として見積った短波放射収支、長波放射収支、潜熱フラックスの推定誤差について論じ、系統誤差が $\pm 21 \text{ W/m}^2$ 、観測点の数を増やすと当然ランダム誤差は小さくなるが、地点数をいくら増やしても $\pm 35 \text{ W/m}^2$ の推定誤差があることを示した。一方、California 工科大の Liu は、49の海上観測点の17年間の観測と衛星データを両方用いて、月平均の潜熱フラックスを評価し、SST とは2ヶ月のラグで相関があることを述べていた。また、緯度 $2^\circ \times$ 経度 2° の領域内で推定された潜熱フラックスのランダム誤差は $\pm 26 \text{ W/m}^2$ 以下であることを示した。

このように、フラックスの推定誤差を検討した論文がいくつかあったが、評価したエネルギーフラックスが熱帯海洋-大気系の現象、その力学にどのような役割を演じているかについてはほとんど論じられなかったのが残念だった。それゆえに一層、熱帯海洋-大気間のエネルギーフラックスの推定の困難さと限界を感じた。

異色だったのは、最後の発表者である Scripps 海洋研究所の Keeling による大気中の CO_2 濃度とエルニーニョとの相関についてだった。彼は、マウナロアと南極の CO_2 データに基づいて、大気中の CO_2 濃度に顕著な2~3年周期があることを述べ、エルニーニョ時には CO_2 濃度が減少する傾向を示した。その原因について、陸上と海洋中の微生物の変動量に注目し、特に海洋中の微生物の活発化が CO_2 の吸収に寄与していることを論じた。

以上、最後のセッションを簡単に紹介した。今回の筆者の研究はこのセッションとは直接に関係していないが、西部太平洋海水温の QBO スケールの年々変動および熱帯の30-60日周期変動と結びついた SST の季節内変動についてポスターセッションで発表した。何度も繰り返して英語で説明し、議論するのは大変だったが、

NASA/GSFC の K. M. Lau, Hawaii 大の村上氏を始めとしていろいろな研究者に興味をもって頂き、とても有意義な経験となった。このような国際シンポジウムに

出席することを可能にしてくれたのは、日本気象学会国際学術交流基金からの出席補助によるものであり、学会および学会員の方々に深く感謝の意を表します。

日本気象学会誌 気象集誌

第 II 輯 第 66 卷 第 2 号 1988 年 4 月

野田 彰：対流圏における GLM (一般化されたラグランジ平均) 子午面運動

Andrew J. Weaver Lawrence A. Mysak：種々の構造を持つ中緯度加熱に対する大気の応答の時間発展モデル

呉 登華・宮原三郎：1979年1月の非定常波の構造と振舞いについて

里村雄彦：局地モデルにおける力学的規準モード初期化法

金谷年展：冬期の太平洋と北アメリカにおける異なった天候レジーム間の遷移過程

池山雅美・武田喬男：西太平洋における雲量の季節・年々変動

——30日周期変動の変化に着目して——

中島健介・松野太郎：熱帯大気中のクラウドクラスターの起源に関する数値実験

二宮洸三・秋山孝子・猪川元興：梅雨前線帯の meso- α -scale convective system の発達と微細構造 Part I
： meso- β -scale 構造

二宮洸三・秋山孝子・猪川元興：梅雨前線帯の meso- α -scale convective system の発達と微細構造 Part II
： meso- γ -scale 構造

藤部文昭：平日と週末の都市気候差 2. 中小都市における気温差の検出

藤部文昭：平日と週末の都市気候差 3. 東京・大阪周辺における地上気温・地上風の分布

Yi-Leng Chen：東部大西洋の水蒸気場に及ぼすクラウドクラスターの影響

要報と質疑

梶川正弘・桜井兼市・菊地勝弘：厳冬期のカナダ北極域における過冷却雨滴の特徴

訂 正

巻・号	頁	誤	正
35.6	393	金星電離圏観測探査機 2 機	金星電離圏観測探査機 1 機