

## 月例会「長期予報と大気大循環」の報告

—1992年10月26日、気象庁—

1991年から1992年にかけて91/92年エルニーニョが起り、また91年6月にはフィリピンのピナトゥポ火山の今世紀最大といわれる噴火が起り、外力として大気大循環に大きな影響を及ぼす現象が続いた。それらに対応して今年の月例会は、エルニーニョ関係が2題、ピナトゥポ関係が2題とそれらに関する話題が多かった。また力学、モデリング関係では対流の理論、成層圏、地表面過程（雪氷）の客観解析手法の改善についての話があった。

今回のピナトゥポ噴火に関しては、気象研究所の浅野氏と東大気候システム研究センターの中島氏の講演があった。浅野氏は、噴火後観測されたピシヨップリングのシミュレーションやサンフォトメーターによる観測からつくば上空の成層圏エアロゾルは約 $0.6\mu\text{m}$ の狭い山型の粒径分布であることを示された。これは、熱帯域で観測されたそれと異なっているようで、火山噴出物の輸送、エアロゾルの生成等にとって興味深い結果である。一方中島氏は気象衛星「ひまわり」の可視データを利用し、成層圏エアロゾルの光学的厚さの空間分布を算出することを試みられている。アメリカでは衛星を使ったエアロゾルの検出は行われているが、安定してデータがとれる国内の現業用の静止衛星をこれらのことに利用できることは国内の研究者にとっては心強いことである。両氏とも強調されたことは、成層圏に注入された火山噴出物の量だけでなく、注入された物質、粒径分布により放射効果は大きく異なるということである。これらの放射の研究は、気候への定量的な影響を評価する際の最も基礎となる部分であり、今後の更なる研究の進展が望まれる。

エルニーニョ現象に関しては、東海大学の和方氏が、エルニーニョ発生のメカニズムの理論的研究について、気象庁エルニーニョ監視センターの佐伯氏が気象庁における監視体制について講演された。エルニーニョの発生、終息については大気海洋結合数値予報モデルによる予測が大きな夢であるが、そのための一里塚として理論的研究の進歩、準リアルタイムの監視体制の充実が重要であろう。

大気大循環論の力学、モデリング関係では、東大理学部の石渡氏等による対流の理論、気象庁数値予報課の多田氏による成層圏客観解析手法について、同益子氏による日々の気象電報により得られる積雪データの数値予報モデルへの利用についての講演があった。気象学全般にそうだが、大気大循環論にも原理的問題として必ずしも明らかになっていないものがまだまだ存在する。これらの問題に地道に取り組むことは重要なことであろう。一方成層圏や地表面過程のデータ解析、同化法も特に数値予報モデルの長い時間に関する予報精度の改善には非常に重要であるし、またより良質の実況監視のための解析データを得るために重要なことはいままでもない。

全体として強く感じられたことは、衛星、測器、コンピュータなどの進歩にともない着実に気候システムの監視体制が整いつつあるという印象である。これらの進歩と共に大気大循環、気候に関する理解が更に深まっていくであろう。

以下に各講演者による簡単なまとめを掲載する。より詳細な報告は「グロスベッター」第31巻2号に掲載予定である。興味のおありの方は気象庁長期予報課内L.Fグループ事務局までご連絡願いたい。

(気象庁長期予報課・高野 清治)

## 1. ピナトゥポ噴火後のエアロゾルの粒径分布と放射効果

浅野正二 (気象研究所・気候)

1991年6月のピナトゥポ火山の大噴火の約1カ月から日本上空では条件の良い日に時折ピシヨップ光環現象が現れている。一次散乱理論にもとづくシミュレーションによると、このピシヨップ光環は、半径が $0.6\mu\text{m}$ の粒の揃ったエアロゾルが大量に付加された場合にのみ現れることが示された。一方、1991年と1992年の1月～4月にかけて気象研究所にて行われたサンフォトメータ観測によると、1992年の冬の大气

の光学的厚さは、前年の同時期に比べて0.1~0.2ほど、大きかった。更に、光学的厚さの波長分布から、成層圏エアロゾルに対して、モード半径が約0.6  $\mu\text{m}$ の狭い一山型の粒径分布が推定された。この粒径分布は、ビショップ光環のシミュレーション結果と合致する。ピナトゥボ火山性エアロゾルとして、この様に推定された粒径分布をもつ火山灰粒子と硫酸粒子のモデルを仮定し、短波放射と長波放射に対する影響を調べた。

## 2. GMS リモートセンシングによる成層圏汚染の観測

中島映至 (東京大学気候システム研究センター)

NIMBUS/TOMS による  $\text{SO}_2$  のリモートセンシングや NOAA/AVHRR によるエアロゾルのリモートセンシングによってピナトゥボ火山起源の成層圏汚染の様子が全球規模で明らかになってきた。このことは、地球規模の汚染の動態把握に人工衛星が大変威力があることを示している。太平洋上に位置する静止衛星「ひまわり」からもエアロゾルの地球規模の分布を求めることができるが、それが NOAA/AVHRR による手法と比較していくつかの長所を持っていることを本研究で示す。まず、「ひまわり」の可視基本ヒストグラム・データから抽出した晴天大気放射量から成層圏エアロゾルの光学的厚さを評価する。さらに、得られた光学的厚さの半球分布からピナトゥボ火山起源エアロゾルによる放射強制力の分布を求める手法について紹介する。

## 3. エルニーニョと赤道波

和方吉信 (東海大学海洋学部)

エルニーニョの単純大気海洋結合モデルによる数値シミュレーション実験の代表的な研究には、Anderson と McCreary (1985) と Zebiak と Cane (1987) の研究がある。両方とも、数年おきにエルニーニョが発生し、その特徴をよく再現している。しかし、前者は、大気や海洋のアノマリーが西太平洋から東太平洋に伝播しているのに対し、後者は定在波的に水温や混合層深度が変化している。これは、わずかな見かけの違いのように見えるが、これから導かれるエルニーニョ発生シナリオには、大きな差が生じる。因果律を考

るならば、前者では情報が西から東に伝わっているのに対し、後者は定在波的であるから東西両方向である。従って前者は、エルニーニョの原因として西太平洋における西風バーストなどのような、西太平洋にその原因を置くシナリオに結び付く。しかし、後者は、むしろ太平洋全域と境界も重要となる Schopf と Suarez (1988) が言っている遅れ振動のメカニズムに結び付く。

この違いについて、大気と東西に閉じた海洋の結合モデルの線形安定性を調べ研究を行った。前者のような解は、比較的簡単に求められる。なぜなら、大気海洋結合不安定の先駆的な研究である Philander, Yamagata, Pacanowski (1984) が求めたモードが現れるようにパラメーターを設定すれば良いからである。それに対し、後者の解を得るのは非常に難しい。なぜなら、このようなモードを構成するには、東に進む波と西に進む波の二つの波が必要であり、海洋中の西に進む波には赤道ロスビー波があるが、従来の大気海洋結合系では負のフィードバックがかかり、急速に減衰してしまうからである。

しかし、赤道上ではコリオリ力がゼロとなり、海洋の湧昇流は赤道付近で非常に強くなる点、つまり平均場の南北非一様性を考慮に入れるならば、後者のような定在波型の解があらわれる事がわかった。さらに、東西に周期的な結合モデルで波動の線形不安定性を調べたところ、湧昇域の幅が狭い場合、東進結合モードは不安定化し、同時に西進の第1対称ロスビーモードの減衰率は小さくなり、さらに、第2モードは不安定にもなりうる事がわかった。従って、東西両方向に伝播する波動の存在が可能になる。つまり、いろいろなモデルで、異なったシナリオが出たのは、湧昇流の南北分布の違いによる。また、観測で得られた風を用いた海洋の数値モデルを走らせ、その海洋のデータと風のモードを複合し、複素 EOF で解析したエルニーニョを示すモードは、前に求めた定在波型の不安定モードに良く一致していた。

## 4. エルニーニョ現象の観測・監視体制の進展について

佐伯理郎 (気象庁・エルニーニョ監視センター)

82/83 エルニーニョの発生に伴いエルニーニョ現象の観測・監視体制の充実強化が急速に進められた。こ

ここでは、海況観測・監視体制の整備について、この数年の進展について概観する。

エルニーニョ現象への理解が深まるにつれ、何をどんな目的で、どの様な頻度で監視すべきか、問題点・対応戦略が整理されてきた。現象への理解を深めたものは、もちろん観測であるし、また、データ同化あるいは現象のシミュレーションといった、数値モデルによるアウトプットである。これらの進展が観測・監視をどこにフォーカスすべきか教えている。特に、表層水温、海面水位、海流については、観測・監視“ネットワーク”の整備が進められてきた。ここでは、篤志船、衛星、パイ等による観測・監視体制の現状とその成果を紹介するとともに、今後の観測・監視体制の発展の方向について考察する。

でも、境界面での温度固定という条件の代わりに、熱フラックス固定という条件下で対流を発生させるとセルサイズが大きく変わることが知られている。熱的条件の効果が偏平セルの成因になっている可能性があるわけである。

熱的条件がセルサイズに与える影響をより徹底的に調べるために、上下の境界面で温度を固定した場合・熱フラックスを固定した場合・内部冷源が存在する場合の数種類の状況を設定して数値計算を行ってみた。上下の境界面で熱フラックスの値を固定した場合には、内部冷源の有無にかかわらず、領域全体に広がったセルが形成される。偏平セルの形成にとっては、境界面で温度を固定しないという条件が本質的であるらしい。

5. 熱的境界条件が2次元対流セルサイズに及ぼす影響

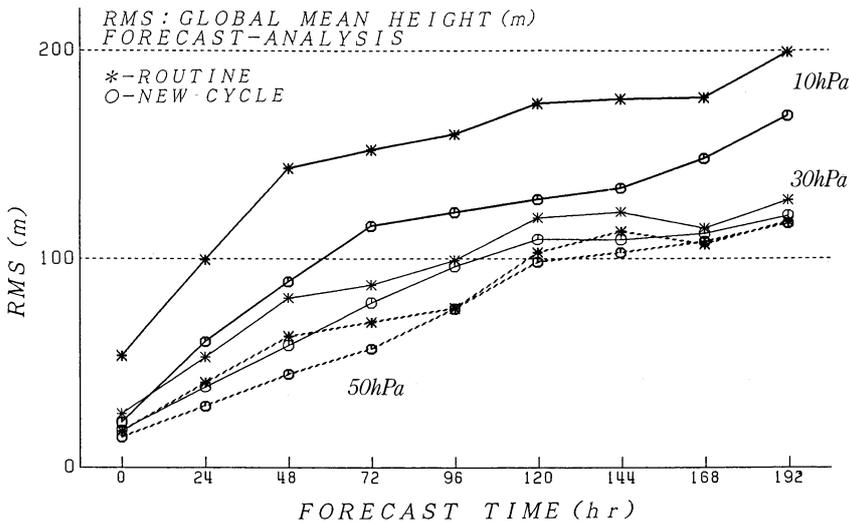
石渡正樹, 竹広真一, 林祥介 (東大・理学部)

中規模積雲対流、波数1の構造で知られる30-60日周期振動、あるいは、マントル対流等、鉛直スケールに比べて非常に大きな水平スケールを持つ対流現象が自然界には存在する。よく用いられる対流モデルであるペナル対流ではこのような偏平なセルが形成されることはない。ところが、ペナル対流と同様の状況

6. 成層圏の予報解析サイクル導入に関する問題

多田英夫 (気象庁数値予報課)

現在気象庁全球モデルでは、対流圏と成層圏で解析の処理方法が異なっている。対流圏では第一推定値として最適内挿法で解析を行う、いわゆる予報解析サイクルが用いられているが、成層圏ではこの方法は用いられていない。成層圏は対流圏に比べて観測密度や数値モデルの解像度が粗いのに加え、大気密度が小さい



第1図 10, 30, 50 hPaにおける予報と解析の間の平均2乗誤差。1992年10月10日12 UTC初期値の192時間予報の結果から、全球平均した高度について24時間おきに示してある。

ため、予報値にノイズなどが入りやすいからである。しかしながら、少ない観測データを有効利用するには、成層圏に予報解析サイクルを導入する必要がある。

予報モデルの鉛直座標は地形を考慮したものとなっている。これに対し、解析は等気圧面上で行われる。従って両者は異なる鉛直座標を用いていることになる。このため、予報-解析間で処理の度に相手の座標へデータを鉛直内挿しなければならず、ここにもテクニカルな誤差が生じる。今回はこの鉛直内挿法の改良によって、成層圏における予報値のノイズ、バイアスの軽減を実現し、解析の第一推定値として十分使用できる品質の良いデータを得ることができた。これにより、成層圏の予報解析サイクル化が可能となった。

実験の結果、第1図のように、成層圏における予報値と解析値の間の平均二乗誤差の減少や、初期値化の際の解析場の変形の軽減などが確認された。

予報値を第一推定値として、最適内挿法で成層圏の解析を行うことにより改善が期待される問題としては、冬の極成層圏に現れる極夜ジェットや、突然昇温などが挙げられる。これらは直接成層圏の予報スコアに影響してくる問題であるが、週間予報など、積分時間

の長いものについては、対流圏予報へのインパクトも十分に期待される。今後共、これら具体的事例による検証等、より多くの実験を重ねる必要がある。

## 7. 積雪データの数値予報モデルへの利用

益子直文（気象庁数値予報課）

積雪の存在と春先の融雪による土壌水分の補給は、気温など地表近くの気象要素ばかりでなく、局地循環や大気大循環などにも大きな影響を与える。

従来、全球的な積雪分布は、NOAAの極軌道衛星により求められてきた。しかし、積雪深分布に関する情報が不足し、積雪変動が季節予報に与える影響を数値実験する際の障害となっていた。最近、地上気象観測値を与えて生物圏モデルを時間積分することにより積雪深の季節変化を推定する方法が研究されている。

本講演では、このために必要な、積雪深や、降水量、放射量の全球観測データについて報告する。