

大気, 及び, 大気モデルにおける準定常超長波 の維持に関するシンポジウムについて*

住 明 正**・金光 正 郎**・神 沢 博***

1. はじめに****

1983年8月29日から9月2日の5日間にわたり、パリで、IAMAP と WMO の共催による、“準定常超長波の維持”に関するシンポジウムが開催されました。このシンポジウムには、日本からは、気象庁電子計算室の金光・住、国立極地研究所の神沢の3名が参加しました。

このシンポジウムは、非常に参加者が多く、全ての論文が発表されたわけではなく、毎日、3～4編の論文が、poster session にまわされていました。

主な参加者は、やはりパリで開催されたこともあり、欧州勢が多かったのが印象に残りました。具体的には、ECMWF からは所長の Bengtsson 以下、Simmons, Holingsworth, Tiedke, Arpe などが、英国気象局からは Rowntree や Lorenc らが、Reading Univ. からは Hoskins 達が参加していました。地元フランスからは、Sadourney, Talagrand 以下相当数が参加していました。北欧からは、Holopainen, Lange (Finland), Machenhauer (Denmark), Källén (Netherlands) (その他、ドイツ、イタリアなどから)が参加していました。アメリカからは、Held, Lau (GFDL) や、Madden, Williamson (NCAR), Hartmann (Univ. Washington), Somerville (Scrips), Krishnamurti (FSU), Gray (CSU) などが参加していました。その他にも、Arakawa (UCLA) や Namias (Scrips) の顔も見受けられました。Hamburg の帰りということで、Holton (Univ. Washington) も出席していました。オーストラリアからは、Fredericksen, Plumb (CSIRO) らが、中国からは、朱抱真ら6名が

参加していました。ソ連からは2名、WMO からは Wiin-Nielsen, Du の2名が参加していました。

symposium は、5日間にわたって行われ、第1日目が observational studies, 2日目が theoretical studies, 3日目が general circulation model studies, 4日目が forecasting model studies, 5日目が tropical studies という日程で行なわれました。

会議は、カルチュラタンの一角 école de polytechnique の講堂で行われました。外観は古い昔の建物ですが、内側は同時通訳装置も付いている立派な会議場であったので、びっくりしました。運営に関しては、非常に簡素で registration fee もなく、party もなく、女の人が2名受付に坐っているだけでした。coffee break も、espresso 方式の自動 coffee-maker が2台おいてあるだけの simple なものでした。この運営の simple さは、全般に好感を持って迎えられていました。

conference 自体は、一部 cancel された講演もありましたが、その代わりに poster session の講演を入れるなど毎日盛況で、朝9時から12時30分頃迄午前の session を、午後2時から午後6時迄午後の session を行いました。それでもやはり最終日の方は、cancel も多く、午後の予定の Bengtsson の closing address を午前にもわし、昼休み抜きで各 chairman のまとめと総合討論を行い、午後2時頃解散しました。

「天気」の読者の中には、何故に今頃準定常超長波のシンポジウムなどが開かれたのであろうか、と疑問を持たれる方も多いことと思います。そこで、次章では、まず、このようなシンポジウムが開かれるに至った経過を述べ、次にそれぞれの session の報告をすることにしたいと思います。

2. symposium 開催に至る経過****

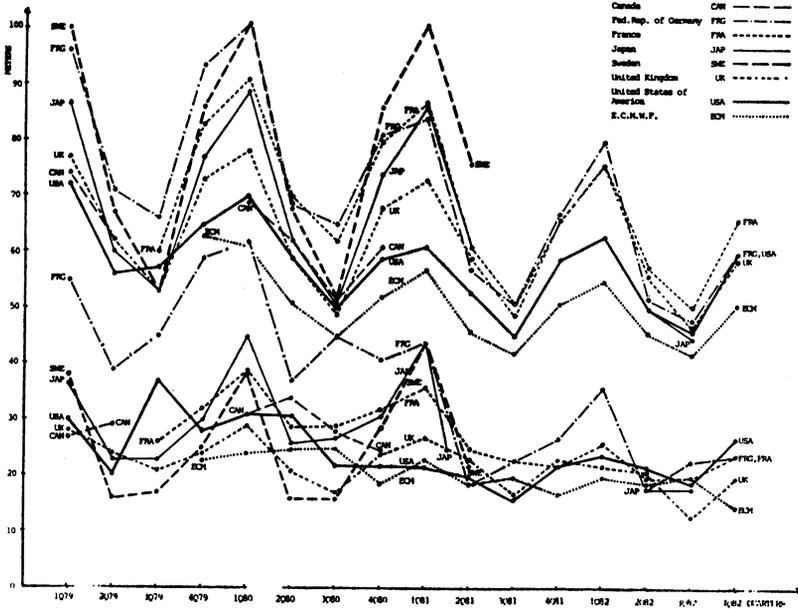
1978～1979年に、世界各国・各機関の協力の下に行わ

* On “A symposium on maintenance of the quasi-stationary components of the flow in the atmosphere and in atmospheric models”.

** Akimasa Sumi・Masao Kanamitsu, 気象庁予報部電子計算室。

*** Hiroshi Kanzawa, 国立極地研究所。

**** (執筆) 住 明正。



第1図 1979~1982の500 mbの各月の3 day forecastのtotal root-mean square error (上)と、systematic errorのRMS (下)。

れたFGGE (First GARP Global Experiment)の目的の中には、延長予報の可能性の追求と、そのevaluationを可能にする解析値の作成という目標が含まれていることでも明らかのように、世界各国の数値予報センターの興味は、予報モデルの精度向上とpredictabilityの延長にあります。そのようなわけで、FGGEの期間中、観測データを収集し処理をすることと並行して、各国の数値予報モデルのdocumentationを集めてcatalogueを作成したり、各国の予報モデルの予報結果を比較するprojectが行われました。(Bengtsson・Lange, 1980)。

このprojectは、当時としては意外な結果をもたらした。つまり、各国のモデルは、(その当時は)スペクトルモデルあり、格子モデルあり、垂直も水平のresolutionもいろいろであり、物理過程も多種多様であるなど、相違に異なっているにも拘らず、モデルの予想値は割合と似かよっていて、しかも、実況に比べると予報精度はまだまだということでした。このプロジェクトは、始めてみると、各国の数値予報センターの“contest”の性格もあり、FGGEの年のみならず、1982年迄継続された(参考までに、1979年から1982年にかけての500 mb高度の

誤差を第1図に示す)。

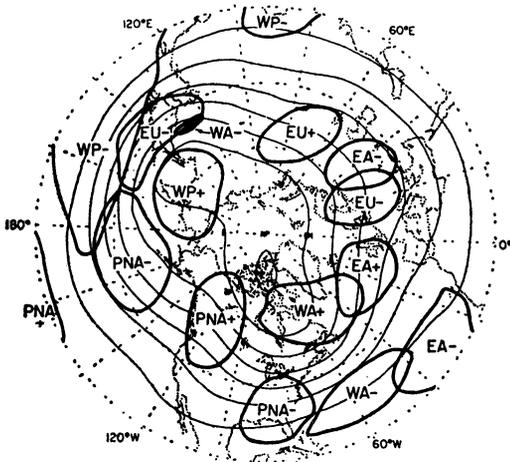
このように、相対的にmodel independentなsystematicなlarge-scaleのforecast errorの存在は、多くの人々の興味を引き、WGNE*の掲げるpost-FGGEの重要な課題として提起されて来たわけである。

つまり、model independentなところから、このようなsystematic errorは、物理過程のformulationに基づくものというよりは、dynamicalな理由で起きているであろうこと、および、このようなsystematic errorは、通常の子報誤差の1/3程度を占め、この誤差が軽減されれば、predictabilityを2~3日延ばすことが可能となるからである。

それと並行して、様々な動きが、このsystematic errorの話に収束するかのごとく存在した。

その一つは、Rossby波の伝播、あるいはlinear responseによる定常問題などの研究である(Hoskins *et al.*, 1977; Hoskins・Karoly, 1981; Huang・Gambo, 1982 a, b)。もう一つは、従来、長期予報の分野でいわれていたteleconnectionの研究である。このteleconnectionは、近年のEl Niñoに伴い非常に興味を持たれているわけである。このようなteleconnection patternは、Wallace・Gutzler (1981) や、Gambo・Kudo (1983)

* Working Group on Numerical Experimentation.



第2図 Wallace・Gutzler(1981)による correlation pattern. それぞれ

PNA=Pacific/North American Pattern, WA=West Atlantic pattern, WP=Western Pacific Pattern, EA=Eastern Atlantic Pattern, EU=Eurasian Pattern である.

で調べられた.

このような teleconnection pattern の中で、PNA (Pacific/North American)パターンは、アメリカの気象に非常に深く関係しているのと(第2図参照)、Rossby波の伝播に伴うものと考え、forcingの中心が、インドネシア付近にゆくこと(インドネシア領域は北半球の冬季の major な heat source の一つである、他の二つは、アマゾン領域と、アフリカ大陸)の故に、大きな関心を集めた。このような流れの延長線上にあるのが、Simmonds (1982)の仕事で、低緯度の forcing が、中・高緯度に、大円に沿って伝播する response を良く示していた。この研究は、予報モデルの systematic error が、forcing の不十分さを表すとすれば、その可能性として、低緯度の熱源の不十分さを示唆するものであった。

もう一つの考え方は、大規模な山岳の forcing が弱いのではないか、というものである。Wallace *et al.* (1983)は、北米の予報誤差が、ロッキー山脈に当たる風向によることなどから、“envelope mountain”を提案し、多くの実験を行っている。

この様に、当初は、数値予報モデルの systematic error

の話が出発点であったのが、各種の forcing anomaly (例えば、SST* の anomaly) に対する大気の response の問題や、大気に及ぼす山岳の効果など、各種の topics と関連を持つに至ったので、当初の、数値予報センターの関係者が集まって、model の error を減らすために議論するという性格から、準定常超長波の維持に関する symposium というように、テーマも性質も変更され、各大学・研究所に呼びかけて、開かれるに至ったのである。

3. 観測**

観測による準定常超長波の発表論文は次の三つに分類される。

- (1) 準定常超長波と時間変動じょう乱の関係.
- (2) 準定常超長波のノーマルモードによる解析.
- (3) 等温位面座標による大循環の解析.

この報告では講演発表の順にとらわれることなく、この分類に従って興味深かったものを紹介する。

- (1) 準定常超長波と時間変動するじょう乱の関係.

Holopainen が invited lecturer として最近まで行われてきた Wallace, Lau, Blackmon, Holopainen などの研究のまとめを行った。これらの研究は、定常場の温度・渦度・運動量・運動エネルギーなどの収支に関して、時間変動する部分(じょう乱)の役割を調べたものである。時間変動するじょう乱はフィルターをかけることによって、中間周期じょう乱(3~6日の周期をもつもので、BP (Band Pass) と略称)と長周期じょう乱(10~90日の周期をもつもので、LP (Low Pass) と略称)に分離されている。解析の最も重要な結果の一つは、BP と LP の性質が全く異なることである。BP は中緯度の低気圧に良く対応し、偏西風ジェットの入域(低気圧の発達域)では位置エネルギーからじょう乱の運動エネルギーへの変換とそれに対応する各物理量の収支、出口(低気圧の衰弱域)ではじょう乱の運動エネルギーから定常場の運動エネルギーへの変換とそれに対応する各物理量の収支、が起こっていることを示している。他方 LP は特にジェットの出口域で BP とは全く逆の、定常場からじょう乱へのエネルギー変換が起こっており、順圧不安定波の様相を示すのが特徴である。もう一つの重要な結論は、時間変動するじょう乱の定常場の維持に果たす役割に関するものであった。これはじょう乱の役割が注目する物理量によって異なることからくる疑問である。例えば低気圧が運動量を傾度に逆らって輸送することに

* Sea Surface Temperature.

** (執筆) 金光正郎.

関しては定常場を維持しているが、温度場に関しては顕熱を低温側に運ぶことによって定常場を逆に弱める働きをするのが良い例である。Holopainen によればじょう乱の総合的な役割は、渦位の収支を考慮することによって最も一般的にあらわされ、解析の結果からじょう乱は散逸的な役割しか持たないと結論された。これは重要な結論として留意する必要がある。

時間変動するじょう乱の解析の新しい仕事としては Hoskins の仕事があった。彼は後の理論のセッションで話題になった拡張された Eliassen Palm flux に関する E ベクトル、 $\vec{E} = (v'^2 - u'^2, -u'v')$ の分布の形によって、じょう乱の定常場に対する寄与が定性的に表されること、そして前記の BP, LP じょう乱が \vec{E} の分布で全く異なる性質があることを見事に示した。ここで E ベクトルの定義で注意したいことは、 $(\bar{\quad})$ は時間平均、 $(\quad)'$ は時間平均からのズレであり、 E - P flux の帯状平均およびそれからのズレと対比すべきことである。Hoskins はさらに LP じょう乱は理論のセッションで注目をあびた Simmons 等による東西に変化する一般場における順圧不安定モードに相当すると述べ、さらに実際のデータから太平洋の偏西風ジェットの大周期変動との関係を論じた。この仕事は JAS の 1983 年 7 月号に載っているので参照されたい。この関連でもうひとつの興味ある研究が GLAS の White によって発表された。彼は定常場の運動量収支に関する時間変動するじょう乱の役割を、運動量の式をさらに非地衡風成分と地衡風成分に分離することによって調べた。その結果、非地衡風成分による東西風の加速が、じょう乱による運動量の収束による加速と互いに相殺しあっていることを示した。その他、ECMWF の Illari は、夏のヨーロッパにおけるブロッキングに着目して、渦位の収支を求め、時間変動するじょう乱がブロッキングの維持に本質的な役割を果たしていることを示した。以上のいずれの研究も、じょう乱による物理量の収支を計算するにあたって、じょう乱によるフラックスの非発散成分を除くという操作を行うことによって他の項とバランスする部分を消去するなど、様々の工夫がなされていたのが印象に残った。このような工夫は、後の解説にある拡張された E - P flux に密接に結びついている。

(2) ノーマルモードによる解析

大気中の超長波を調べるために大気の場を様々の関数で展開するのは、きわめて一般的な方法である。この関数として回転している球面上の大気に固有なモードを用いることが最近特に良く行われている。ノーマルモー

ドを用いる利点は場が空間的なスケールばかりでなく、時間的なスケールにも分解されることである。この方法によって、NCAR の Madden は、実際の 大気において、ノーマルモードのひとつである比較的長周期のロスビーモードが卓越する例を示し、またこのような時に予報モデルがかなり長期間（6～10日）にわたって予報精度が良くなる可能性があるとして述べた。次に彼は多数の時間平均場（1年間にわたる10日平均の場）をノーマルモードで展開し、時期によって、長周期のロスビーモードが卓越する場合があることを示した。そして、予報モデルの平均場（山や熱源等によって維持されている定常場）を維持するメカニズムが不十分である場合には、この定常であるべきロスビーモードがフリーモードとして動いてしまうことによって予報が悪化すると論じた。

Machenauer は 50 日予報のヒストリー・データをノーマルモードで展開し、モデルの長周期のノーマルモードが実際の予報の中で卓越することがあることを示した。また、定常場がノーマルモードの共振効果としてあらわされ得ることを述べた。その他には、ノーマルモードとは関係はないが、Baer による経験直交関数を用いた超長波の水平・鉛直構造をさぐる膨大な仕事が印象的であった。

(3) 等温位面座標による大循環の解析

この仕事は Johnson によって始められたもので、これまでのオイラー流やラグランジュ流とはまた異なった見方で大循環を解析したものである。例えば帯状平均としては等温位面（ Z または P 面とは大きく異なる）に沿って地球を一周するなど、平均の意味もこれまでのものとは異なっている。この解析では南北循環も、非断熱加熱の分布に対応して、赤道域で上昇、極域で下降の細胞循環となり、また中緯度じょう乱の役割の解釈なども従来のものとは異なってくる。英国の Duncan は定常場と時間変動するじょう乱の関係を等温位面座標を用いて解析し、温位のじょう乱による flux がゼロとなる利点を強調した。

このセッションを聞いた感想を以下に記そう。最近、これまでの帯状平均場の維持を論じてきた大循環論にかかわって、時間平均した 3 次元場の維持を論ずることが一般的になっている。このとき、じょう乱の定義は帯状平均からのズレにかかわって、時間平均からのズレとなり、このじょう乱と時間平均場との関係が最も興味ある問題となる。この問題については、Holopainen の review で述べられたように、ほぼ解明されたと考えられよう。

ここで最も重要な発見は、じょう乱の時間スケールによってその性質が異なることであろう。特に10~90日の周期のじょう乱の性質に関しては、長期予報や気候の問題にも密接に関係しており、これから最も力を入れられる分野になると考えられる。この分野では英国の Hoskins を中心とするグループの活躍に注目したい。また熱帯気象における15日とか40日周期の現象との関係も興味あるテーマとなろう。日本でもこの方面の研究が望まれるが、あまりやられていないのは残念である。その理由の一つとしては、Lau 等が用いている10年以上にわたる毎日の解析が日本では整っていないことがあげられよう。これからは、この様な長期間にわたるデータの必要性はますます増大する傾向にあると考えられ、早急な対応が必要であると痛感された。

4. 理論 (その1)*

理論のセッションは観測のセッションよりバラエティーに豊んでいた。私自身は理論は専門ではないので十分な解説はできないが、特に重要と思われたものや興味をおぼえたものについてのみ以下に記そう。より専門的な解説については、この報告にある神沢氏の解説を読んでいただきたい。なおこの報告は神沢氏のものを読まずに書いたため、重複する部分もあるが、お許し願いたい。

このセッションは、

- (1) 時間的に変動するじょう乱の定常場に及ぼす影響
- (2) Forcing による大気の応答
- (3) 非線型モデルの定常解の多重性

に分類できる。このうち(2)は forcing として時間変動するじょう乱の統計的性質を考慮することによって(1)と直接的に関係している。

(1) じょう乱が定常場に及ぼす影響

このテーマは観測のセッションとも共通のものであり、このシンポジウムで最も重要なテーマであった。ここで、恐らくこのシンポジウムでも一番重要な発表が Simmons によってなされた。この研究は JAS, 1983 年 6 月号に載っているもので、詳しいことは論文に任せることにして、ここでは要点のみを記そう。この研究は南北ばかりでなく、東西にも変化する一般場の順圧不安定性を調べ、北半球冬季の平均場に固有の順圧不安定モードが存在することを示したものである。この不安定モードは約1週間の e-folding time を持ち、その周期は約50日である。この順圧不安定モードは、観測のセッションで

話題となっていた LP じょう乱ときわめて良く似た性質を持つこと、ならびにその水平構造が気候の研究で最近話題となっている太平洋-北アメリカパターン (PNA pattern) と良く似ていることが示された。この結果の意味するところは、次の2つにまとめられる。

- ① Hoskins and Karoly に始まった forcing に対する球面大気の応答の研究に対して、forcing の場所、正負にかかわらず場に固有の応答が得られる可能性を示したこと。
- ② 大気中にはこれまで良く知られていた傾圧不安定波に対応するじょう乱のほか、より長い周期を持った順圧不安定モードが存在し、それが定常場の維持や大気の長周期の変動に重要な役割を果たしている可能性があることを示したこと。

この結果の応用は幅広く、予報誤差から気候の問題にまで適用される。まず予報誤差に関してこれまで Simmons (1982) による研究、すなわち熱帯における forcing の誤差が大気の線型的な応答として中高緯度に誤差としてあらわれること、が認められていたが、この研究により予報誤差は場に固有の順圧不安定モードのあらわれ方の差と考えることができるようになった。これによって線型応答モデルの様々な欠点(特に結果が各種パラメーターに強く依存することや、熱帯域の forcing の誤差の出る域に強い制限が必要なこと)が避けられ、より妥当な説明がつけられる。

次に海面水温等の異常に対する大気の応答は気候や長期予報で重要なテーマであるが、この問題への応用も意味するところは大きい。Simmons の今回の結果によれば、最も卓越するアノマリーパターンは forcing によらず、与えられた定常場に固有の順圧不安定モードとなる。すなわち forcing は単に固有モードを励起するきっかけにすぎず、その正負や場所もアノマリーパターンとは無関係となり、これまでの線型 forcing の考え方を全く変える必要がでてきた。

この順圧不安定な固有モードは定常場に強く依存するので、数値モデルによるシミュレーションの sensitivity study に関しても応用できる。すなわち、山や熱源によって force された定常場が現実に近い振幅を持つときには固有の不安定モードの振幅が大きく、定常場の振幅が小さいときには不安定モードの振幅が小さくなることから、モデルの forcing に対する応答がモデルの定常場をシミュレートする能力や平均をとる期間に強く依存することになる。すなわち単なる統計的な取り扱いによって

* (執筆) 金光正郎。

結果の有意性を論ずることの危険性を示している。

Simmons によるこの研究をさらに発展させたものに Fredericksen があつた。彼は多層モデルを用い、3次元的に変化している一般場の固有解を求め、いくつかの不安定モードが存在することを示した。しかも、そのうちのあるものは基本状態によってブロッキングに対応したり、高インデックスの場に対応したりすることを示し、この方法の応用できる範囲をさらに広げた。このような、大気の準定常場を空間的に変化する一般場の固有な不安定モードに求める傾向がこれから増えてくるものと思われる。

以上の仕事に別の立場から取り組んだものに Hoskins があつた。彼は渦度の forcing を与えたときの球面大気の応答が、渦度の forcing が一般流(帯状流)を変え得るときと、得ないときで定常解が全く異なることを示した。この仕事は、線型の forcing による応答の研究で、得られた定常解の順圧不安定性を考慮しない限り解は現実的ではないことを証明したもので、線型定常解による方法の限界に言及している。また、英国の McVean は簡単なスペクトルモデルを長時間積分し、始めのうちに卓越した傾圧不安定波がエネルギーを与えることによって超長波が次第に卓越してくる実験例を示し、Simmons のいう長周期のじょう乱が実際に存在し得る例を見せたものとして興味深かつた。

(2) Forcing による大気の応答

Held, Vernekar, Lindzen, Wu などによって様々なモデルの結果が発表された。いずれの研究も実際の大気とよく似たパターンが得られているが、山と熱源のいずれの forcing が重要かという点に関してはまだ解決がついていないようである。ただし Vernekar によるじょう乱は散逸的な働きしか持たないことを再確認させた発表が目についた。この種の研究は前項を考慮することによって再考が必要となる可能性があるかもしれない。

(3) 非線型モデルの多重平衡解

Charney・DeVore に始まったこの種の研究は Källén 一つであつた。意外でもあつたが、この方法の限界を示しているようでもあり、考えさせられた。ヨーロッパという地域性にも関係しているのかもしれない。

この他の重要な仕事には Plumb による拡張された E-P flux の理論的研究があつたが、これは神沢氏の解説にゆずりたい。

5. 理論(その2)*

様々な人々によってとなえられてきた北半球中高緯度の「異常」な気候パターンを Wallace・Gutzler (1981) が整理し、それらのパターンの中、ブロッキングと関連した PNA (Pacific/North American) パターンと称されるテレコネクション・パターンの出現と南方振動 (Southern Oscillation, 本質は赤道太平洋海面温度の変動とみられる) とが深く関係していることを Horel・Wallace (1981), が示した。Wallace 達の仕事との相互作用を行う中で、Hoskins・Karoly (1981) は、非断熱加熱(特に、赤道域)に対する大気の線型応答を調べて、テレコネクション・パターンが大円コースに近いコースをとる定常ロスビー波列 (wave-train) とみなしうることを示した。今回のシンポジウムでは、このテレコネクションの問題を議論したものが多く、特に、非線型応答や非定常場の定常場に対する影響を論じた研究が目についた。中高緯度のテレコネクション・パターンが等価順圧 (equivalent barotropic, 位相が高さに依らない) であること、数値モデル実験の結果においても局所加熱に対する大気の応答は加熱域から離れた所では順圧的であることを踏まえて、Held (GFDL) は、十分に局所的な波源に対する応答は外部ロスビー波モードが波の場を支配することになることを示し、順圧モデルで問題を考え得る根拠とした。また、平均流が垂直シアを持つ場合の外部ロスビー波の性質を論じた。Simmons (ECM-WF) は、順圧モデルを用いて 300 mb 1月の東西方向にもうねった平均流の性質を調べ、観測されるテレコネクション・パターンは波源の位置にそれほど依らずに出ること、平均流の順圧不安定が大きな役割をしていることを示した (Simmons *et al.*, 1983)。Hoskins (レディング大学) は、大きな振幅のうず度源に対する非線型応答を調べた。この応答場は不安定であり、このことがその不安定域が異常な強制に対して敏感であることにつながるとした。Hartmanh (ワシントン大学) は、外向赤外放射を赤道域の対流活動の指標として用い、北半球中高緯度プラネタリー波との冬季における相関を調べた。Simmons の結果や Hoskins の議論との対応関係を論じて東西にうねった平均流の順圧不安定の重要性を示唆した。Geisler (ユタ大学) は、赤道海面温度異常に対する大気の応答としてテレコネクションをとらえる線が大循環モデルを使って調べていた。Palmer (英国気象局) は、数値予報の結果は、気候値でなく、観測された海面温度を与えることにより改善されること、特に、熱帯太

* (執筆) 神沢 博。

平洋の温度が効くことを示した。

北半球冬の流れの定常場と非定常場の相互作用を調べるための様々な方法——エネルギー変換、準地衝風うず位フラックスの非回転部分、運動量・熱フラックスによる等圧面高度場の変化傾向、そしてごく最近 Hoskins によって提唱された Extended Eliassen-Palm (便宜上今仮に、EE-P と略す) フラックス——を使って観測データを解析した研究 (Holopainen *et al.* (1982)) を中心に Holopainen (ヘルシンキ大学) がまとめて話した。現在流行している E-P フラックスが東西平均場と波の相互作用を記述するために導入されたのに対し、EE-P フラックスは非定常場と定常場との相互作用を記述するために導入されたものであり、従って、東西成分を持つ。南北、垂直成分に関しては、E-P フラックスと形式上同じ表現となる。適当な条件の下に、EE-P フラックスは非定常波による東西運動量の伝達とみなされ、その発散は非定常場の定常場への働きを具現する。その意味では、E-P フラックスと同じ。従って Extended E-P フラックスという。しかしながら、そういう意味づけを与えるためには、E-P フラックスに比べるとより多くの仮定、近似を要し、概念に濁りがある。ともあれ、非定常・定常場相互作用を論じるに便利な量であることに間違いはない。なお、EE-P フラックスの意味づけを述べた Hoskins *et al.* (1983) の論文は、ごく最近 (10月) 到着したばかりの JAS 7月号に載っているが (GFDL の Lau と話していたら、この会議に来る直前に彼はこの号を見たとのこと)、非定常・定常場相互作用に興味を持っていた欧米の研究者にはすでにかなり浸透していたようであった (ちなみに、Manuscript received 1 November 1982 とある)。Hoskins は EE-P フラックスを北半球冬のデータに適用した結果を話した。10日より長い周期の非定常成分は、太平洋のジェットの出で強く、かつ、ジェットを弱める働きを持ち、この成分が Simmons のいう順圧不安定によるじょう乱とみなしうることを示した。White (NASA ゴダード) は、EE-P フラックスを使ってプロッキングのみられた 1980/81 の冬と、みられなかった 1981/82 の冬を比べた。

Plumb (CSIRO, 今年いっぱい GFDL に滞在) は、Hoskins の提案した EE-P フラックスに似ているが東西成分がちょっと異なったフラックスを提案し、観測データに適用した結果を述べた。波の伝播を表すには、Hoskins のフラックスより Plumb のフラックスの方が良

い。すなわち、WKB 近似の下で Hoskins のフラックスは群速度の向きとちょっとずれるが、Plumb のものは一致するらしい。Illari (ECMWF) は、Marshal・Shutts (1981) により提唱された準地衝風うず位 フラックスを回転部とそれ以外の部分に分ける方法を夏のプロッキング時に適用した話をした。ここにいうフラックスの回転部とは、うず位の 2 乗平均 (ポテンシャルエンストロフィー) の水平分布の等高線に沿った成分である。従って非発散であり、平均場との相互作用はなし。準地衝風うず位フラックスの全体からその回転部分を差し引いた残りがじょう乱の source・sink と直接結びつく。このように非定常・定常場相互作用をうまく表現する色々な方法が提唱されていた。

テレコネクション以外の話をいくつか拾うと、Wiin-Nielsen (WMO) は準定常波に関する Rossby (1939) から Charney・DeVore (1979) までの研究のレビューを行い、Källen (ユトレヒト大学) は傾圧モデルでも現実的なパラメーターの範囲で多重平衡解が可能であるとした。Mechoso (UCLA) は1979年冬のプラネタリー波の大循環モデルによる予報を harmonic dial を使って論じた。波の増幅時には予報は芳しくないが、振幅が落ち着いて後に位相が動く様子はうまく再現できていた。Boville (NCAR) は下部成層圏の極夜ジェットをうまく再現した大循環モデルの結果と再現していない結果の両方におけるじょう乱の相異を論じて、波数1の定常プラネタリー波、シノプティック・スケールの非定常波に大きな違いが出てくることを示した。私、神沢 (極地研) は E-P フラックスを使って導いた準地衝風エネルギー変換式を示した。

以上、現在の私のできる限りで書いた。会議で課題になっていた問題がどんなものかを伝えているとしたら良しとしたい。

6. general circulation model studies について*

まず最初に、Lau (GFDL) が、GFDL の GCM の結果を、時間周期に分けて示していました。それをみると、3~10日周期の baroclinic wave は、いわゆる storm track のところで、きれいな東進を示す一方、40日程度の長周期変動は、中緯度と低緯度のシーソーパターン (あるいは、dipole pattern) を示していました。彼は、GCM の中での西太平洋の降水量と、アメリカの PNA パターンとの相関を調べていましたが、これは余り良い相関が得られていませんでした。

* (執筆) 住 明正.

Hartmann (Univ. of Washington) は、8年間 (1974/75~1981/82) の冬の OLR (Outgoing Longwave Radiation) データと、500 mb 高度の5日平均場を用いて、低緯度の heating の変化と、中・高緯度の pattern の変化の teleconnection についての話をしました。それによると、西半球では、太平洋、中央アメリカ、大西洋にかけて、中緯度の planetary wave の伝播によって、低緯度の降水が、影響されている様子を示していました。つまり、高・低気圧パターンが南北に並び、雨はその南東側に降っていました。一方、西太平洋の OLR の変動に対しては、composite によって顕著な PNA パターンを見出していました。これを確かめるために、Guam と Yap の32年間の降水量のデータを用いて、composite により、若干、振幅は小さいものの同様のパターンを見つけていました。

Geisler (Utah) は、NCAR の CCM を用いて、SST-anomaly を与えた simulation と、control run との比較を議論しました。SST-anomaly と、control run との差は、有意な PNA パターンを示しましたが、低緯度の降水と、PNA index との相関は、ほとんど有意なもの、見つけられないようでした。

Tiedtke (ECMWF) は、convection の parameterization について議論し、interactive cloud の impact が radiation を通して大きいことを示しました。

このことは、convection の parameterization で、どのように雲を作るか、および、その雲に伴う radiation への効果についての研究が必要なことを示しています。

その他にも、朱抱真 (中国) の bifurcation の話とか、フランスの GCM の結果の話がありました。余り興味がありませんでしたし、良く内容も覚えていませんので、省略します。

7. fovecast model studies について*

午前の session の最初に、Lange が、1979年以来続けられている intercomparison の結果を報告しました。この project は、その意義については、各国の評価が高いのですが、それから何らかの結論を引き出そうとすると、時間もなく、なかなか大変の様でした。第1図からも分かるように、まだ、ECMWF が若干リードしているものの、他の国のモデルはほぼ同じ精度にそろって(向上して) 来たことが強調されていました。

続いて、フランス、アメリカ、日本、英国、ECMWF

から、それぞれの model の systematic error について報告がありました。ここで、気の付いたことは、NMC からの参加が全くなかったことで、アメリカの役所も、日本と同様、財政事情が厳しいのだなあ、との印象を受けました。もっとも、NMC からの出席がなくても、その代わり、NCAR の Bettge が、NMC の systematic error や、ECMWF の error との比較の話をしたわけで、たとえ、NMC からの出席が不可能でも、他の誰かが、その結果を報告してくれるという点で、アメリカの層の厚さを感じました。それに比べ日本はと考えると、電計室から出席しない限り、誰も日本の数値モデルについて話してくれる人がいないような状況であるといえます。このような状況は、(1)日本のモデルの結果を多くの人に知ってもらい、使ってもらふことや、(2)出来る限り日本のモデルについての研究の成果を発表してゆくことなどを通じて、打破してゆく必要があると感じました。

ここで話された systematic error について、簡単に要約しますと、

- (1) 500 mb 高度では、極付近、カナダ北部と、シベリア東部で正の誤差があること (第3図参照)
- (2) \bar{U} (Zonal mean の東西風) に関しては、対流圏の jet が強まり、北に shift すること
- (3) 高緯度 (~60°N) で、地上気圧が下がることなどがあげられます。

さて、その systematic error の研究についてですが、どこのモデルも似かよっているのと同様に、解析方法も似かよっているなあ、というのが僕の印象でした。要するに、今は、現象の整理が行われている段階で、恐らく forcing (山と熱) が悪いのだらうという推測はされていますが、具体的な理由とその mechanism に関しては、暗中模索の段階というのが正直なところだと思います。詳しくは、Sumi・Kanamitsu (1983) を参照して下さい。

その他には、UCLA から、10日予報に及ぼす、成層圏の影響についての話がありました。UCLA の9層の GCM (top が 51.8 mb) と15層の GCM (1 mb と 51.8 mb の間に6層を加えてある) を用いた予報の比較を 500 mb の超長波でみていたのですが、4例のうち3例は、ほとんど効果がなく (9層の方が実況に近い例もありました)、一例については、差が見られました。総じて、上部成層圏の影響が少ないのは意外でした。

envelope mountain については、Tibaldi (ECMWF) が、効果があったこと特に、zonal と超長波の error に効

* (執筆) 住 明正.

果があったと報告していました。しかし、この envelope mountain については、理論がないのが弱点で、今後は、地形を parameterize する時の理論を考えてゆく必要があります。

最後に、英国気象局の5層 GCM を用いた、50日予報の話がありました。predictability は、個々の予報では、10日前後、15日の移動平均をとると、16~30日迄の平均まで、predictability があるといっていました。また、気候値の SST を用いる替わりに、実況の海水温を用いることにより、予報の skill が上がることを示していました。

8. Tropics studies について*

最初に、Krishnamurti が、Florida State University の GCM を用いた低緯度の予報の結果について報告していました。その中で、印象的であったことは、 q の initialization で、降水のあるところでは降水量に adjust するように、降水のないところでは radiative cooling と balance するように adjust するということでした。そのために、satellite の radiation data と、SMONEX の地上のデータから、1979年の夏についての Indian ocean の雨量分布の map を作成していました。この様に、何か必要な量があったら、すぐ、data を集め、解析するという態度は、印象的でした。その他、envelope mountain について触れ、 $m+2\sigma$ の山を用いると、シベリア付近と、アンデスの付近の、発散場に error が出るが、インド付近の onset vortex など、低緯度の予報は、改善されたと述べていました。

Wergen (ECMWF) は、現在の data coverage と、optimum interpolation scheme が、planetary scale の解析に及ぼす影響を議論しました。それによると、現在の correlation function では、scale を選んでしまっていること、及び、tropics での、mass-wind coupling の関係が、不十分な故に、Rossby mode や Kelvin mode などが、aliasing により誤差を受けることを示しました。さらに、予報誤差を、normal mode に展開し、zonal の barotropic な Rossby mode に対応する forcing を入れることにより、error の増大を防ぐことが出来たと報告していました。

その他、Ghil (NASA) が、optimum interpolation で使用する、forecast error statistics に関する理論を話しました (Balgovind *et al.*, 1983)。簡単な渦度保存の式

と、forcing の error が、時空間で random だという仮定から、結構、実測に近い correlation function が得られていたのには感心しました。Z-Z の correlation は、差がないようにみえても、Z-U などの、微分との相関は、結構、大きな差が出るので、この correlation function の関数形の決め方も、なかなか重要だな、と思いました。

最後にこの symposium の予稿集、

Extended Abstract. IAMAP-WMO Symposium or Maintenance of the quasi-stationary components of the flow in the atmosphere and in atmospheric models (Paris, August 29-September 2, 1983).

は、WMO から発行されていますので、興味のある方は、WMO に請求するなり、気象庁の図書館で閲覧して下さい。

文 献

- Bengtsson, L. and A. Lange, 1981: Results of the WMO/CAS numerical weather prediction data study and intercomparison project for forecasts for the northern hemisphere in 1979-80, PWPR Report NO. 1.
- Charney, J.G., and J.G. DeVore, 1979: Multiple flow equilibria in the atmosphere and blocking, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 1205-1216.
- Holopainen, E.O., L. Rontu, and N-C. Lau, 1982: The effect of large-scale transient eddies on the time-mean flow in the atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, **39**, 1972-1984.
- Hoskins, B.J., A.J. Simons and D.J. Karoly, 1977: Energy dispersion in a barotropic atmosphere, *Quart. J. Met. Soc.*, **103**, 553-567.
- , and D.J. Karoly, 1981: The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1179-1196.
- , I.N. James, and G.H. White, 1983: The shape, propagation and mean-flow interaction of large-scale weather system, *J. Atmos. Sci.* **40**, 1595-1612.
- Gambo, K. and K. Kudo, 1983: Three dimensional teleconnections in the zonally asymmetric height field during the Northern hemisphere, *J. Met. Soc. Japan*, **61**, 36-50.
- Marchall, J. and G. Shutts, 1981: A note on rotational and divergent eddy fluxes, *J. Phys. Ocean.*, **11**, 1677-1680.
- Rossby, C-G., 1939: Relations between variations in the intensity of the zonal circulation of the

* (執筆) 住 明正.

atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action, *J. Marine Res.*, **2**, 38-55.

Wallace, J.M. and D.S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height during the Northern hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784-812.

———, and J.D. Horel, 1981: Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813-829.

———, S. Tibaldi, and A.J. Simmons, 1982: Reduction of systematic forecast errors in the ECMWF model through the introduction of an envelope orography, *ECMWF Workshop on intercomparison of large-scale models used for extended range forecasts.*

Simmons, A. J., 1982: The forcing of stationary wave motion by tropical adiabatic heating, *Quart. J. Met.Soc.*, **108**, 503-524.

———, J.M. Wallace and G.W. Branstator, 1983: Barotropic wave propagation and instability, and atmospheric teleconnection patterns, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1363-1392.

Sumi, A. and M. Kanamitsu, 1984: A study of systematic errors in a numerical weather prediction model; Part I, General aspects of the systematic errors and their relation with the transient eddies (to appear in *Jour. Met. Soc. Japan*).

日本気象学会および関連学会行事予定

行 事 名	開 催 年 月 日	主 催 団 体 等	場 所
日本気象学会昭和59年 春季大会	昭和59年 5月23日～25日	日本気象学会	気象庁
第20回理工学における同 位元素研究発表会	昭和59年 7月2日～4日		国立教育会館
第10回国際生気象学会議	昭和59年 7月26日～30日		順天堂大学 有山記念館・ 医学部
Twelfth International Laser Radar Conference	1984年 8月13日～17日	Int. Radiation Commi- ssion (IRC) Committee on Laser Atmospheric Sensing (CLAS)	Aix-en-Provence, France
第2回エアロゾル科学・ 技術研究討論会	昭和59年 8月23日～25日	エアロゾル研究協議会	京都堀川会館