

3. 今後の問題点

前節で述べた過去3回のシンポジウムの概観は、一応ふたつの筋道を指向しているように見える。そのひとつは“実測される超長波は強制波か自由波か”という問いに代表される如く、いわば超長波それ自体の力学的理解を深める方向であり、もうひとつは超長波の作用を通して大循環的な場の変動を見てゆこうとするものである。これらの立場はふたつながら、数学の言葉でいえば、もはや線型の範囲を越え本質的に非線型の問題である。この非線型の困難さを克服するひとつの有力な手段として大気大循環の数値実験が考えられる。すなわち、再三論じてきた定常・非定常超長波の成因や維持機構を理解するためにモデル大気を構成し、大規模な地形や熱冷源を入れた場合入れない場合それぞれに関し出現する超長波の諸特性を相互に比較する所謂 control experiment を行ってみれば、従来の線型理論とはかなり異なった角度からの情報が与えられるにちがいない。同時に、その実験結果は種々の超長波・長波の平均帯状流への feed back

mechanism についても新しい情報を提供するであろう。このことは現象論の側からいえば index cycle や blocking の問題と密接な関係を持ち、従って予報の問題へのアプローチも可能となろう。今回のシンポジウムの話題として、特に菊池氏と西本氏をわずらわせ、それぞれ数値実験と予報現象の立場からの解説を依頼したのはまさにこのような事情をふまえてのことである。

一方、実際の大気の観測結果は如何なる場合においても研究の宝庫であることに変わりはない。このシンポジウムの話題としてまだ登場してはいないが、気象ロケット領域(上部成層圏から中間圏)における超長波の問題、最近脚光をあびてきた赤道波動の問題等、予報に直接関係ないとはいえ“回転熱流体中の大規模波動”という大きなワク組みの中でとらえたときにはぜひ欠かせない重要な問題が将来に多々残されている。未知の新しい問題の探究はその自ずからの結果として常にわれわれの身近な問題へと還元されてくることも決して忘れてはならないであろう。

大循環数値実験の中の超長波の振舞い*

菊池 幸雄**

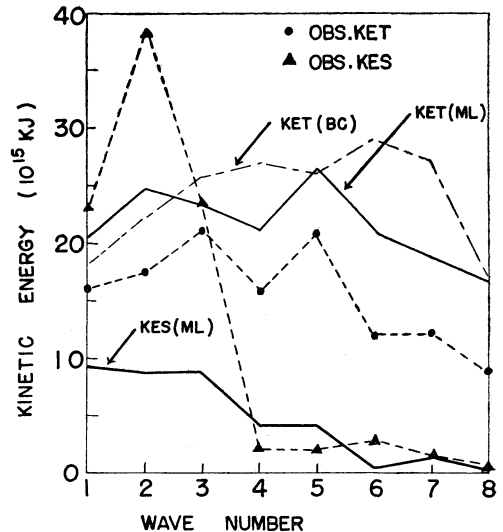
1. まえがき

過去3回にわたるシンポジウムの集約が廣田によってなされたが、そこで指摘された問題点のいくつかに関連して、大気大循環の数値実験から得られた超長波の振舞いについて述べよう。これまでに発表された大循環数値実験では特に超長波の問題に焦点をあてて結果を解析したものは見あたらないので、ここではおもに筆者の行なった数値実験をもとにして話をすすめることにする。成層圏の問題に関しては Manabe と Hunt の結果を借用するであろう。

2. standing wave と transient wave

毎日の天気図を長期間(30日ないしそれ以上)平均したとき残っている擾乱を standing wave, 消えてしまった擾乱を transient wave という。

第1図には実際の大气中の standing wave と tran-



第1図 運動エネルギーの波数分布 (KES と KET は夫々 standing wave と transient wave の運動エネルギー)

* Behavior of Ultra-long Waves produced by Numerical Experiments of General Circulations

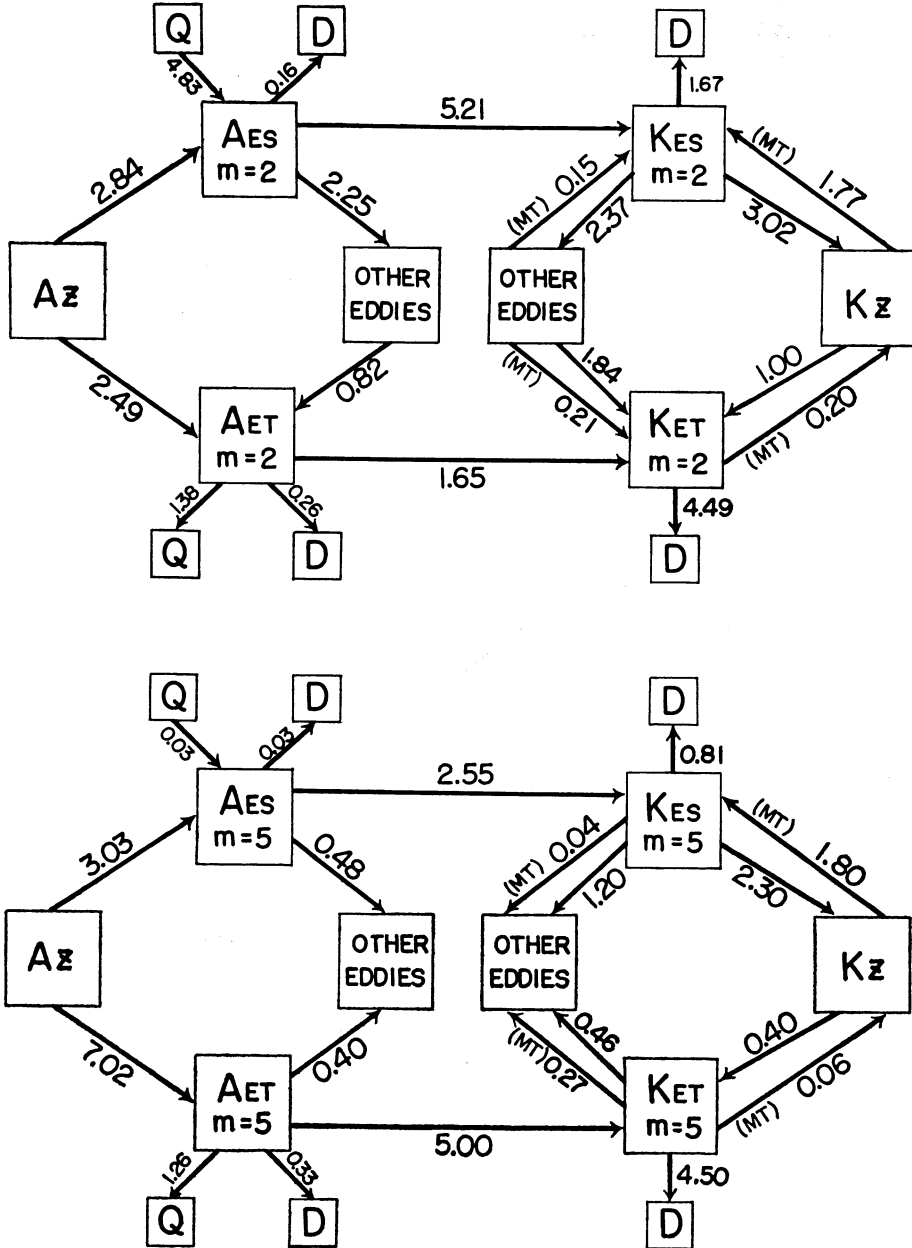
** Y. Kikuchi 気研予報

—1970年2月13日受理—

sient wave の運動エネルギーの波数分布が示されてい sient wave が圧倒的に大きいのに 対して、超長波領域
 る。図から明らかなように、波数が大きい所では tran- では standing wave と transient wave がほぼ同じ比重

ENERGY DIAGRAMS FOR SPECIFIED EDDIES (UNIT: 10^{10} KJ SEC⁻¹)

MODEL ML



第2図 モデル ML の波数 2 と 5 の擾乱に関するエネルギー収支図 (指標 ES, ET, Z は 夫々 standing wave, transient wave, zonal flow を, (MT) は山の効果によるエ ネルギー交換を意味する。)

を占めているのが一つの特徴である。第1図にはさらに二つの数値実験、即ち山と海陸分布の効果の入ったモデル(モデル ML)とそれらの効果が入っていないモデル(モデル BC)による数値実験の結果が示されている。モデル ML では実際の大气に見られるほどではないが、超長波領域に比較的大きい standing wave が存在している。しかしモデル BC では standing wave は現れない。これらの結果より standing wave は山や海陸分布の効果によって作られたもの、すなわち強制波であることがわかる。

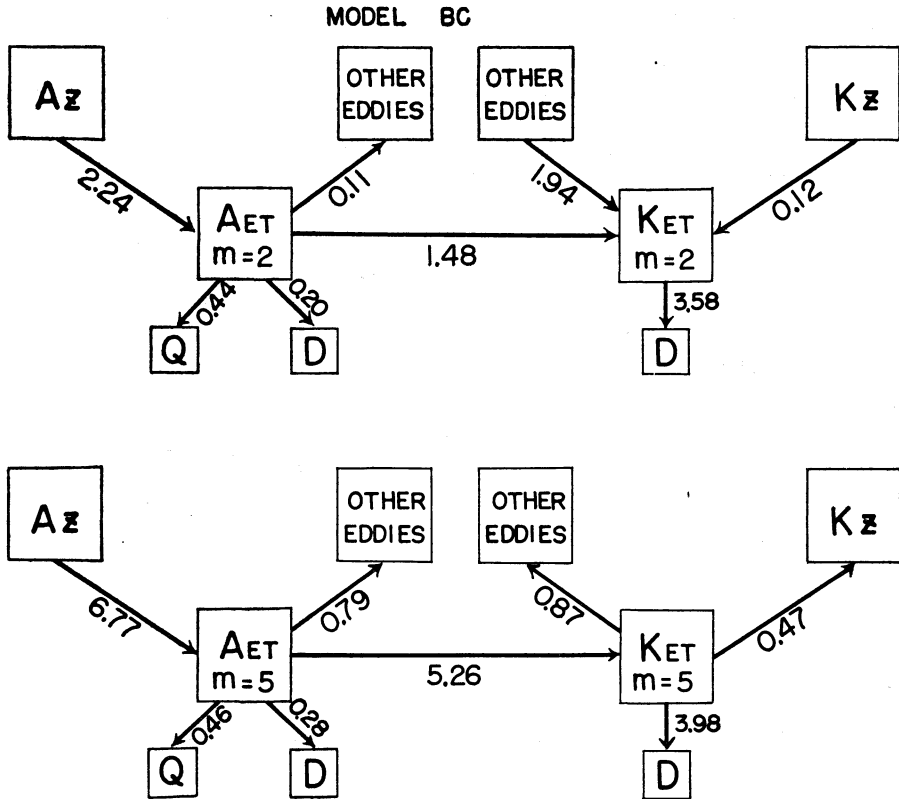
第2図はモデル ML の波数2と5の standing wave と transient wave について、その有効位置エネルギーと運動エネルギーがいかに維持されているかを示している。波数2と5はそれぞれ超長波と長波の特徴を見るために選ばれた。超長波も長波も standing wave, transient wave とともに一般場からその有効位置エネルギーを供給されている。ただし超長波の standing wave の場合、

海陸分布に起因する冷熱源もまたその有効位置エネルギーの生成に重要な役割を果している。

standing wave の運動エネルギーは超長波も長波も有効位置エネルギーから運動エネルギーへの転換と、山の効果による一般流から擾乱への運動エネルギーの転換(一般流が山につきあたって擾乱を作る効果)によって維持されている。この standing wave は non-linear interaction を通して他の擾乱(異なった波数の standing wave 及び transient wave)へ、また角運動量輸送過程を通して一般流へその運動エネルギーを興えている。すべての波数について合計すると、運動エネルギーは standing wave から transient wave へと流れている。すなわち、standing wave は transient wave によって養われているのではなく、有効位置エネルギーからの転換と山による擾乱生成の効果によってその運動を維持しているのである。

一方 transient wave の運動エネルギー源は長波では

ENERGY DIAGRAMS FOR SPECIFIED EDDIES (UNIT: 10^{10} KJ SEC⁻¹)



第3図 モデル BC の波数2と5の擾乱に関するエネルギー収支図

傾圧不安定による有効位置エネルギーから運動エネルギーへの転換であるが、超長波では傾圧不安定によるエネルギー転換の外に、non-linear interaction による他の擾乱からの運動エネルギーの供給もまた大きなエネルギー源である。

実際の大气では傾圧不安定による有効位置エネルギーから運動エネルギーへの転換と、擾乱から一般流への運動エネルギーの転換の波数分布が超長波領域で大きな値を示しているが、この図から明らかなようにそれらは standing wave の存在によるものであることがわかる。

第3図はモデル BC のエネルギー収支図である。このモデルでは山や海陸分布の効果が入っていないから、擾乱は自由波と考えられる。前述のように、この場合は standing wave が存在しないから図の中で対応するエネルギー成分は省略されている。この図と前の図の比較より、モデル ML の transient wave の有効位置エネルギーおよび運動エネルギーの維持の機構は定性的には自由波のそれと全く同じであることがわかる。

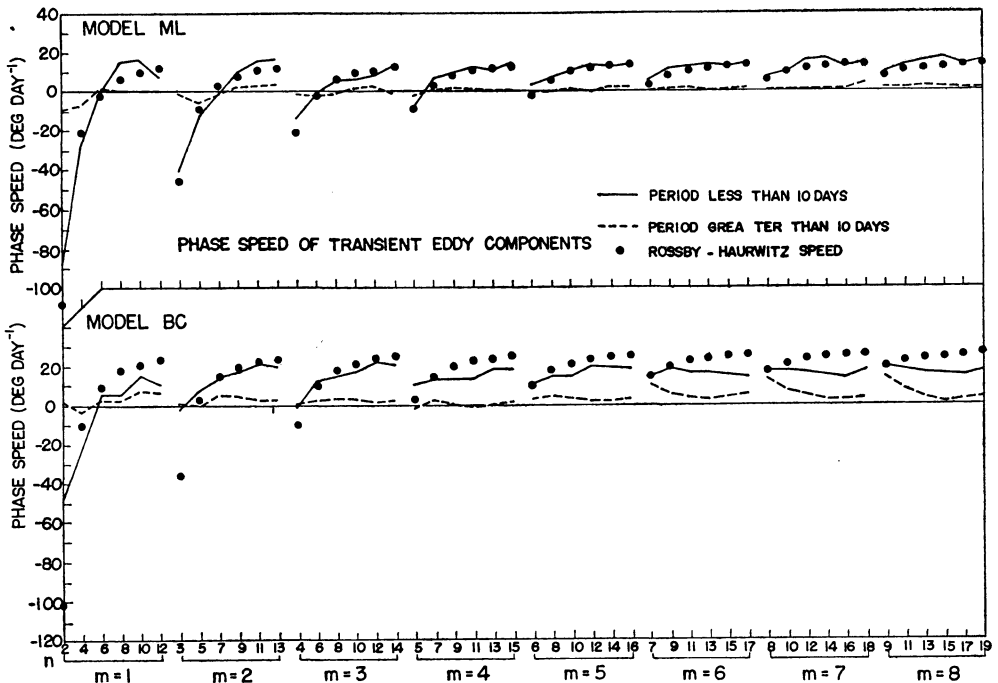
standing wave に対して山と海陸分布がそれぞれどのような影響を与えているかということも興味のある問題である。筆者の行なった山だけの効果が入ったモデルお

よび海陸分布だけの効果が入ったモデルによる数値実験の比較によれば、冬季間の standing wave に対しては山の効果が支配的であるという結果が得られたが、今後さらに詳細な研究によってこの辺の事情も明らかになるであろう。

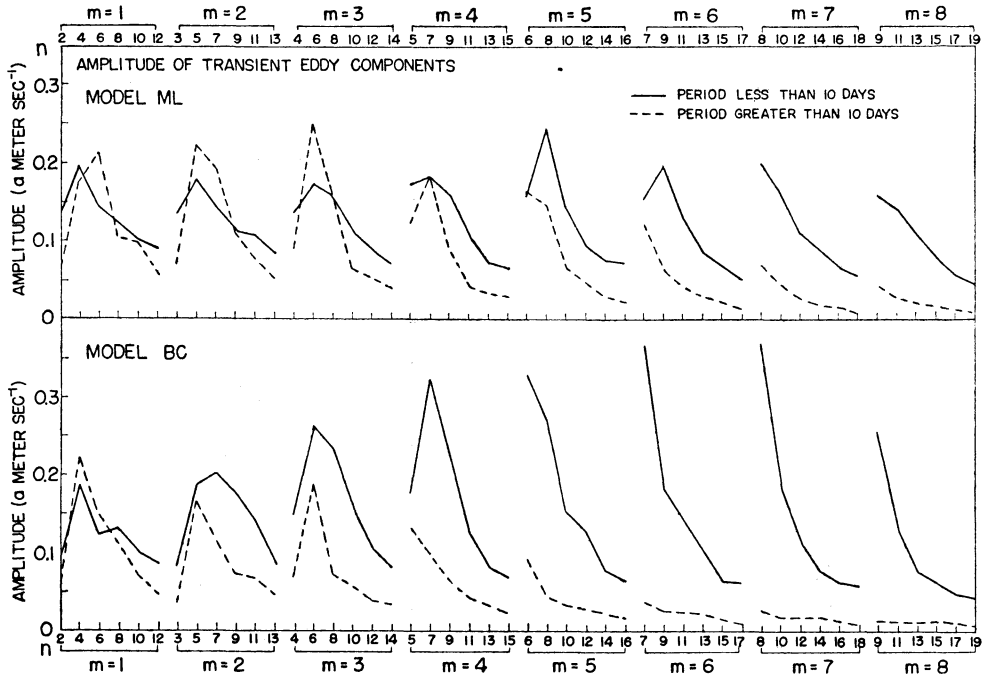
3. 短周期及び長周期の transient wave

近年, Deland, Eliassen と Machenhauer 等は実際の大气中の擾乱を球面調和関数の成分に分け、さらに周期の短い運動を取り出して、それらが Rossby 波の速度で移動することを示した。モデル ML と BC の transient wave を彼等と同じように球面調和関数の成分に分解し、10日以上とそれ以下の周期の運動に分けて、それぞれの位相速度と振幅を成分ごとに示したのが第4図と第5図である。両図の中の値は1日2回の値を150日について平均したものである。第4図には対応する Rossby-Haurwitz 波の位相速度がプロットされている。短周期の擾乱の位相速度と比較的よく一致していることがわかるであろう。すなわちこの短周期の擾乱は Rossby 波と考えてもよさそうである。一方長周期の擾乱は各成分とも位相速度は非常に小さい。

第5図の振幅の分布図を見ると、短周期の擾乱は傾圧



第4図 短周期と長周期の擾乱の球面調和関数成分の位相速度 (m は東西方向の波数, (n-m+1)/2 は南北方向の波数)



第5図 短周期と長周期の擾乱の球面調和関数成分の振幅

不安定性の最も強い波数5ないし6付近で最大の振幅を有し、長周期の擾乱は超長波領域で卓越するが、長波領域に入ると急激に小さくなっている。

モデル ML と BC を比較すると、短周期の擾乱はモデル BC の方が卓越しているにもかかわらず、長周期の擾乱は山と海陸分布の効果の入っているモデル ML で大きい。

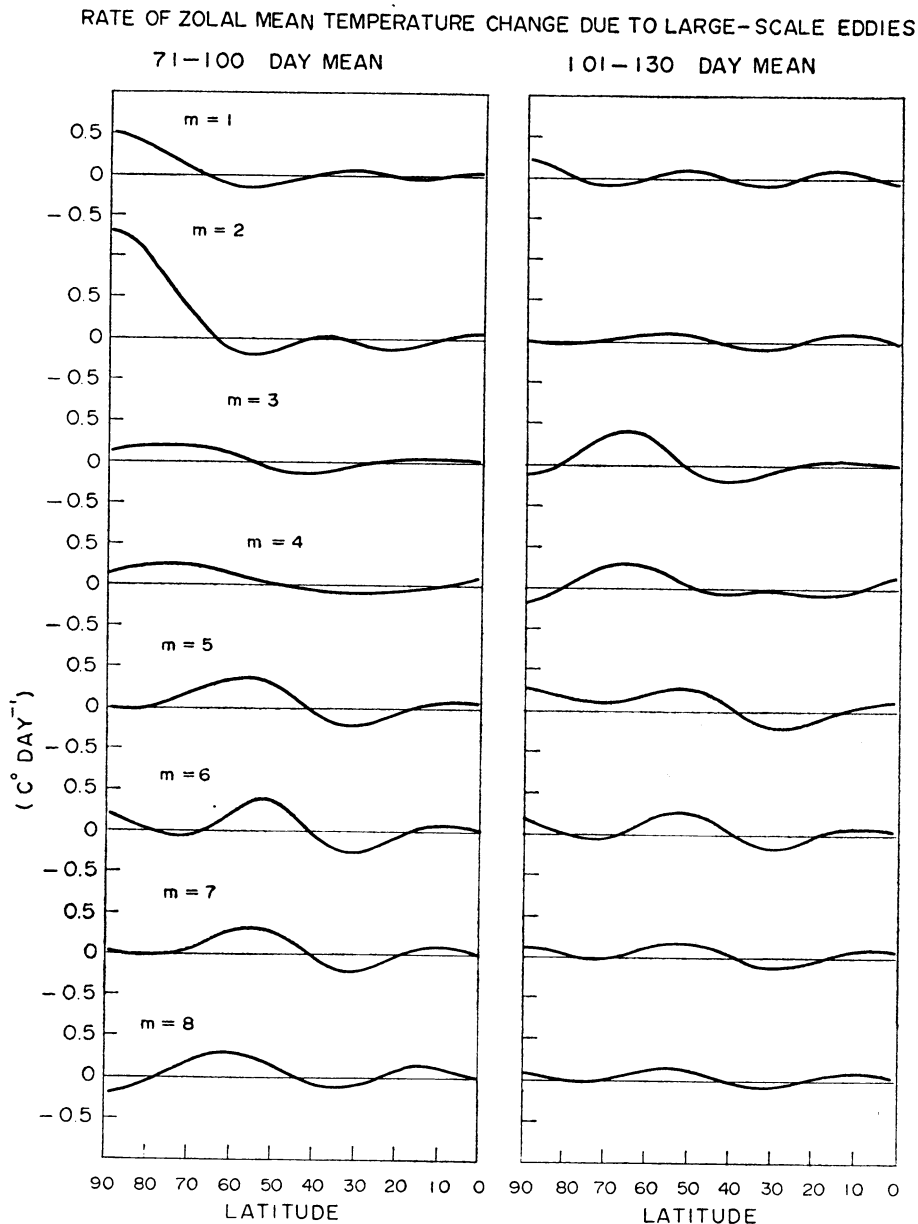
強制波といえども一般流の変動に応じて変動する部分があってもよいはずで、モデル ML の長周期の擾乱がモデル BC のそれより大きな振幅を持っているのは、この種の擾乱を含んでいるためかもしれない。また、廣田と新田は線型理論から transient な超長波に Rossby 波と停滞性の傾圧波があることを示したが、その後者のものがこの長周期の超長波の中に含まれていることも可能である。いずれにしろ現在のところその性質は不明である。しかし、Blocking 現象等はその特徴から見て、この長周期の超長波と standing wave の合作と考えられるから、今後長周期超長波の性質とその力学を解明することは重要な問題の一つであろう。

4. 大循環における超長波の役割

擾乱による角運動量や熱の輸送はその過程を通して一般流や一般温度場の変動に寄与している。しかも超長波

による輸送は全体のかなりの部分を占めているから、大循環の維持、変動に対し超長波の果している役割は大きい。ここでは一例として、Blocking 現象に関連して一般流の二重ジェット構造が卓越した期間と他の期間を比較しながら、一般流の維持機構と超長波の役割を見てみよう。もちろんこれは山と海陸分布の効果が入ったモデルによる数値実験の結果を解析したものである。

第6図には二重ジェット流卓越期間と他の期間について、擾乱による熱輸送量の収束量の緯度分布が波数別に示されている。特徴的なことは二重ジェット流卓越期間には波数2の超長波による高緯度への熱の輸送が非常に大きいことである。この熱輸送による加熱をバランスするべく極附近にはこの期間中上昇気流が存在し、平均子午面循環は、二重ジェット流が卓越していない期間中は3細胞構造であるのに反し、二重ジェット流卓越期間中は4細胞構造を示している。このため高緯度上層大気の角運動量は、そこに存在する間接循環によって見かけ上、下層へ運ばれ、その不足を補うべく上層大気中では擾乱が角運動量を高緯度へ輸送している。二重ジェット流が卓越していない期間中は角運動量が擾乱によって高緯度から中緯度へ運ばれているのに比べると著しい相違である。二重ジェット流の北の枝流の維持、変動はこの高緯

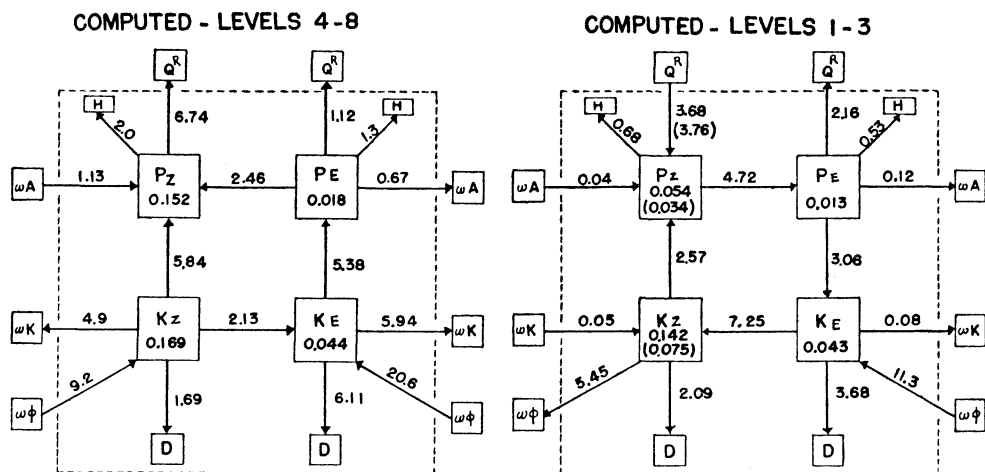


第6図 各波数の擾乱による熱輸送量の収束量の緯度分布
(71-100日は二重ジェット流卓越期間)

度への角運動量輸送に支配されているのであるが、波数2の超長波はこの角運動量輸送においてもまた重要な役割を果している。以上のような二重ジェット流卓越期間中の波数2の超長波の特徴的な振舞いはその波の発達と

相まって起こったものであるが、その発達の原因も前節でのべた長周期超長波の力学を説明することによって明らかになるであろう。

5. 成層圏のエネルギー収支



第7図 成層圏のエネルギー收支図
(LEVEL 1—3 は中部成層圏, LEVEL 4—8 は下部成層圏)

周知のように成層圏では超長波が卓越している。したがって成層圏の擾乱がいかに維持されているかをみることは、すなわち成層圏の超長波の維持機構を理解することに外ならない。Manabe と Hunt (1968) の山や海陸分布の効果の入っていない18層モデルによる数値実験の結果から得られた成層圏のエネルギー收支が第7図に示されている。

下部成層圏の主なエネルギー源は $\overline{\omega'\phi'}$ の効果による対流圏からの運動エネルギーの流入である。有効位置エネルギーの供給は運動エネルギーからの転換によってなされている。各成分間のエネルギーの流れは対流圏のそれとは反対で、Kz, KE 間のエネルギー交換の向きを除いては実測されるものとよく合っている。

中部成層圏では各成分間のエネルギーの流れは対流圏のそれと全く同じである。すなわち中部成層圏に入ると

擾乱は運動エネルギーを再び有効位置エネルギーからの転換によって獲得するようになる。しかし依然として $\overline{\omega'\phi'}$ の効果による下層からの運動エネルギーの流入が主要なエネルギー源であることには変わりがない。

第3回のシンポジウムですでに窪田によって紹介されたが、このモデルによる積分期間中のある時期に中部成層圏に突然昇温時にみられるような pattern が現われ、この擾乱の発達が $\overline{\omega'\phi'}$ の効果による下層からの運動エネルギーの流入によって引き起こされたものであることが示されたのは興味がある。

このモデルでは山や海陸分布の効果が入っていないから standing wave は存在しない。これらの効果が入った場合についての情報が得られるのもそう遠くはないであろう。

平均図における超長波*

西 本 清 吉**

1. まえがき

超長波の実際的な面について話題の提供を依頼された。これを機会に今までやってきた平均図に関する調査

をまとめてみようと思う。

ここにその骨子をのべる。

2. 平均図

一般にある時間平均図を作ると平均する期間に比べ、短いサイクルの変動は消去される。

今 500mb の 1 週間ないし10日間位の平均図を作ると

* Ultra-long Waves on Time Mean Chart

** S. Nishimoto 気象庁予報部

—1970年2月13日受理—