

~~~~~  
長期予報研究  
~~~~~

グロースベッター

第14巻 第2号

はじめに	1
超長波・長波の移動について(要旨)	荒井 康 ... 1
低指数期における順圧過程での超長波の振舞い	杉本 豊 ... 3
Climatic sensitivity と長期予報(要旨)	笠原 彰 ... 13
自由討論	20

1976年1月

L. F. グループ

は　じ　め　に

11月12日、折から帰国されていたNCARの笠原 彰氏を囲んで、次のような談話会を開催した。

・主題　これからの長期予報

・話題提供

1. 超長波・長波の移動について……………荒井 康

2. 低指数期における順圧過程での超長波の

振舞い……………杉本 豊

3. *Climatic sensitivity*と長期予報……………笠原 彰

続いて菊池氏に座長になっていただき、主題についての自由討議を行った。討議は非常に活発であり、時間が足りず、特に超長波とブロッキング現象までは十分に討論できなかった。これは主催者側の事前の計画が不備だったためであり、各位にお詫び申し上げます。

以下は、その時の要旨をまとめたものであるが、このうち笠原氏の講演と自由討議の内容については、編集部の責任において要約した。
(グロースベッター編集部)

超長波・長波の移動について（要旨）*

荒 井 康

話題提供ということで、春の学会で発表したプラネタリー波の移動に関する解析結果を中心に、いくつかの問題点について述べる。

大気じょう乱の解析の1つの方法に、1地点の要素の時系列のスペクトル解析があり、以前から多くの結果がだされている。他の方法は、1次元のフーリエ解析（いわゆる波数分析）で、近年この2つの方法を組み合わせ、*wavenumber-frequency*（または周期）の空間で調べられるようになった。

* 詳細は、“大気”（気象研究所刊）に掲載予定。

この種の研究には、*Eliassen & Machenhauer* (1965), *Deland* (1965), *Kao* (1968), *Hayashi* (1971), *Iwasaki & Yamamoto* (1971), *Arai* (1973)等があり、ここ5年程の間に発表されたものがかなりある。頭初は球関数が*Eliassen, Deland*によって用いられたが、最近は波数分析が多く用いられている。

資料としては、日々の値が使用されているが、筆者だけが主に半旬平均値を用いて解析している。半旬平均値を用いるということは、波数1~6で約10日以上周期を対象にすることであり、もう1つの意味は、超長波では5~10日以下の周期の振幅は30日程度の周期の波の振幅より1オーダー小さく(60°Nの冬)、短周期の移動性の波があったとしても、これを天気図上で見るのは困難であるということである。これに反して、半旬平均天気図上では、偏差(空間スケールはほぼ $n=1\sim6$)の中心がしばしばかなり長い間(1か月ないしそれ以上)追跡できる事実があり、波数分析の結果と対比できる場合がある。以下に主な結論のみをまとめると、

1. 移動波は約2か月周期まで認められるものもあるが、大部分は30~40日以下の周期である。
2. いわゆる準定常波は主として周期約3か月以上の成分からなっている。
3. 1と2から1か月平均によって移動波の大部分が消去され、1か月平均天気図上の波を準定常波と定義するのは、統計的に *reasonable* である。
4. 夏期の中緯度に波数約4のスケールの西進波が存在する。

結局、ごくあたりまえのことであるが、準定常波とともに、波数1~6、周期10~30、40日の波の性質をさらに詳しく調べる必要があるということである。

低指数期における順圧過程での超長波の振舞い

杉 本 豊

長期予報では大規模な南北交換の予測を行うに当たり東西指数の変動に着目した技術が多く用いられている。我々は東西指数を求めるに際し北緯40度と60度の *zonal mean* した等圧面高度の差をもって偏西風の強さとして用いている。

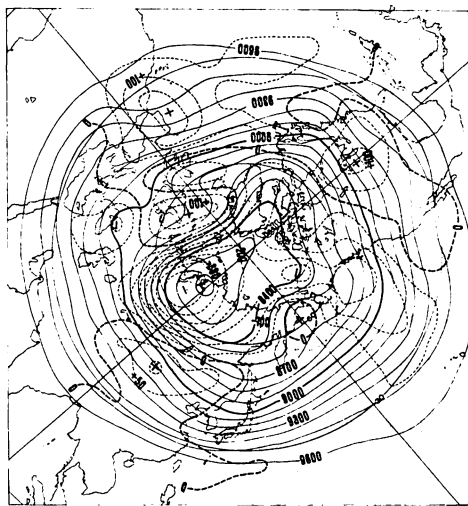
一般的に日本付近では東西指数が平年に比較して低い低指数型の場合、冬期は季節風の吹き出し、夏期には前線停滞型の悪天候が現われやすく、持続的低指数の場合には高緯度地方でブロッキング高気圧が発生する環流場になっていることが多い。したがって、低指数循環の卓越時には南北の熱輸送や運動量のうず輸送が増大することは容易に想像され、*Wiin-Nielsen* (1964)、片山・村上(グロスベッター)はこれらじょう乱量の輸送を通じブロッキング高気圧の発達におよぼす超長波の役割を論じている。また、杉本(1972)は夏期の低指数期には波数3~4による $u'v'$ が増大し波数2による輸送量が大きく減少することを示した。

今回は1974年の11~12月の調査期間に現われた低指数期において順圧過程での運動エネルギーの転換量の変動を通じて超長波と長波がどのように低指数循環の形成に寄与したかを調べたので報告したい。

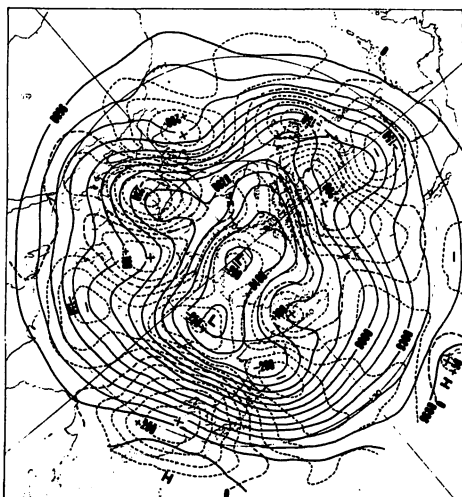
ここで夏期の循環は100 mbで、冬期は300~200 mb面で南北の循環が最も強まるのでここでは主として、300 mb面につき上記の関係を調べた。

1. 天気図上に現われた低指数期の特長

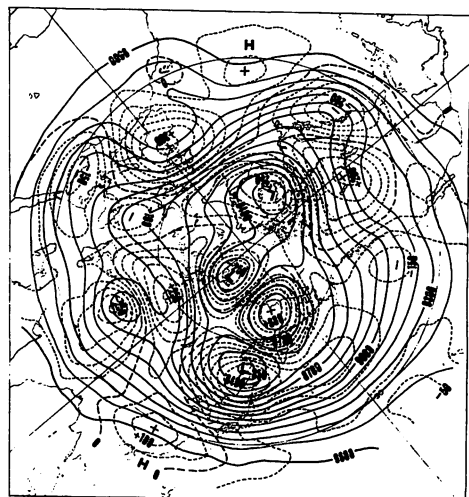
低指数期の例として1974年11月下旬より12月上旬にかけての300 mb等圧面高度とその平年偏差分布を示すと第1図a, b, cのようになる。第1図aは高指数循環が持続していた11月22~26日の天気図を示し高緯度地方に発達した低圧部が存在するが顕著な高圧部はなく全体としてみると偏西流の強いパターンになっている。この状態はその後次第にだ行流に変じb図に示される11月27~12月1日の5日平均図上では、カムチャッカ半島北方、中央シベリア、カナダで高圧部が次第に発達し前半旬に比較し気流のだ行が強まった。



(a) 1974年11月22~26日
第1図 300mb等圧面高度5日平均図



(b) 1974年11月27日～12月1日

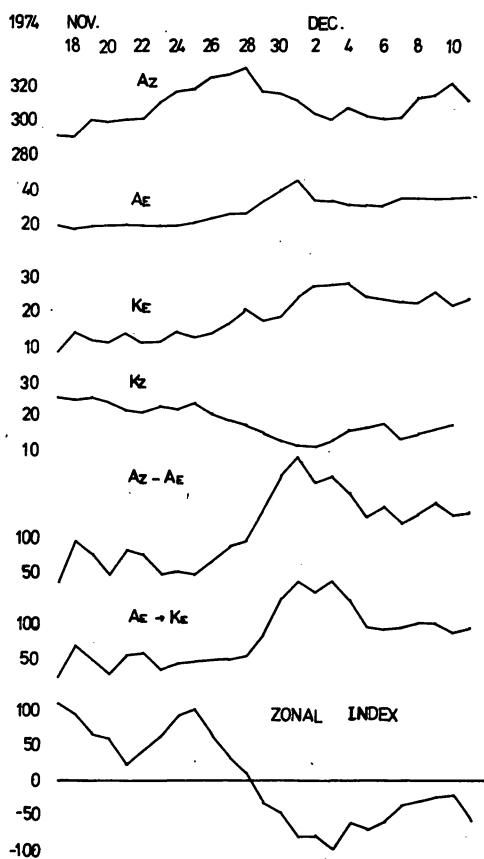


(c) 1974年12月2～6日

第1図 (つづき)

後に示すようにこの期間はじょう乱による運動のエネルギーが急増した期間に相当する。c 図はさらに1半旬後の12月2～6日の状態であり低指数循環は最強に達した。その特徴は東半球で顕著でとくに日本付近は樺太付近で強い等圧面高度の負偏差となり強い寒気の流入がみられた。

低指数循環が最も強まった期間はすでに記したように12月上旬であったがこの前後に循環の指標となる各種エネルギーや東西指数の変動の様子はどうであつたろうか。これらの状態を知るため11月18日～12月10日までの長期予報課でルーチンに計算されている500 mb 面のAZ, AE, KE, KZ およびエネルギー転換量を第2図に示した。

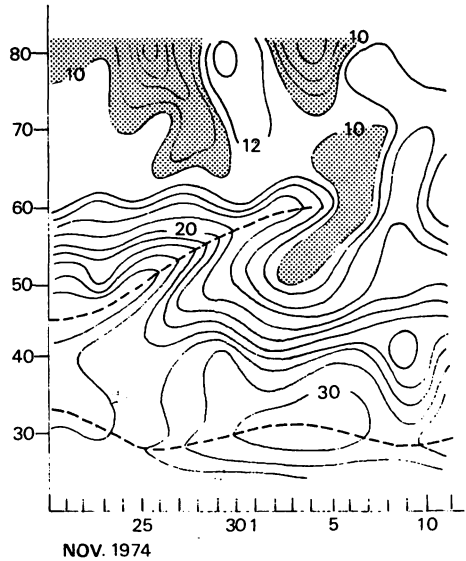


第2図 1974年11月18日～12月10日の各種エネルギー、転換量および40～60°東西指数(500mb)

第2図の最下部に示す東西指数は11月25日の $Maximum$ を境にして下降し12月上旬に $Minimum$ に達した。一方各種エネルギーの変動は11月28日以降 AZ は下降に転じているが、 AE は AZ の減少に反して増加を示した。 AZ と AE の関係は、 KZ 、 KE についてもあてはめることができる。また、 AZ と AE 、 AE と KE の転換量も上記した低指数循環期には急増していることがわかる。以上のことからこの例で示した低指数期には $AZ \rightarrow AE \rightarrow KE$ の向きにエネルギーが流れていたことになる。

以上全球平均されたエネルギー量の変動と40～60度の高度差で示される東西指数の変動との対応を示したので緯度的にはどの緯度で低指数循環が卓越したかは分りにくい。そこで北半球の各緯度での平均西風の強さを図示した(第3図)。

第3図では低指数循環時には強風軸は北上して北緯60度に達し、北緯40～50度帯は弱風域となる。したがってこの区域は一般的に KE の増加域になる。低指数期に高緯度域で偏西風が弱まるに反し、北緯30度の区域は西風が強まる。この強風域は天気図上ではブロッキング高気圧の南側に発生する $cut-off\ low$ 南側の偏西風の強まりに対応している。



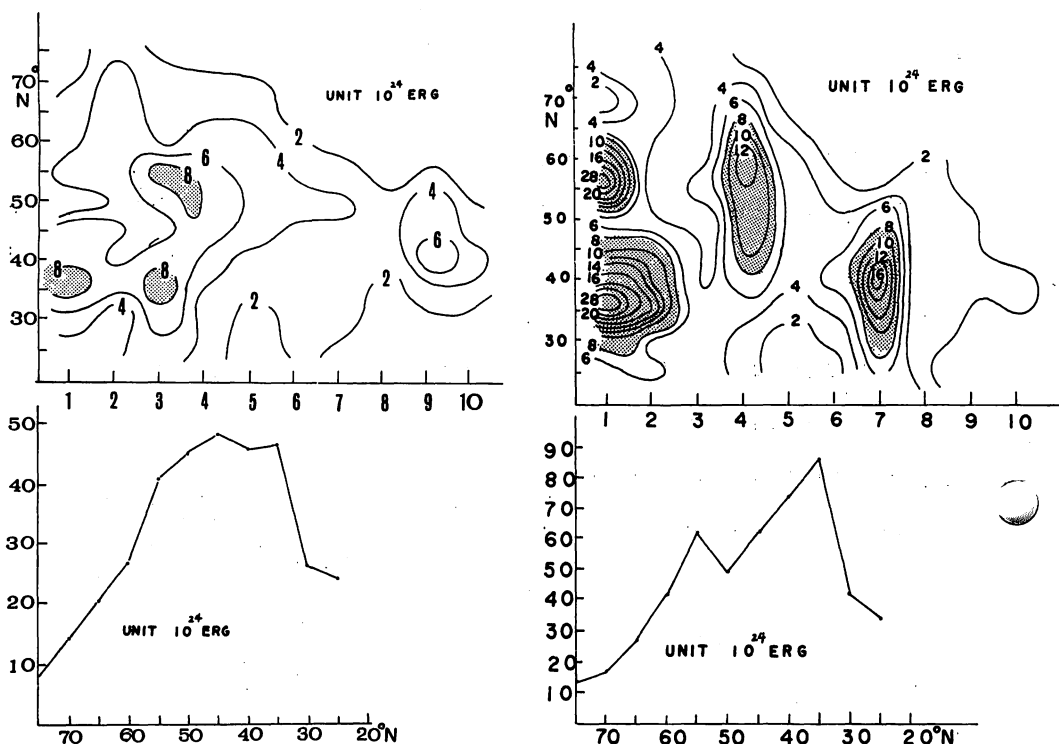
第3図 1974年11月20日～12月12日の $\bar{u}$ 分布図

2. ブロッキング高気圧発達期前後のじょう乱量の変動

すでに記したように1974年11月末から12月上旬に発達したブロッキング高気圧の活動は KE や東西指数の変動から発達期は11月25～30日、その最盛期は12月1～5日と一応区分して考えることができる。したがって、これら2つの期間における KE や KZ と KE の転換量、および非線型効果による波数間のじょう乱による運動エネルギーがどのように変わるかなどを調べた。

第4図a、bは KE の緯度別分布を波数ごとに示したものでa図は発達期の状態を示し、波数1、3、9～10の波数領域でじょう乱が発達し易いことを示している。これら波数領域のなかでも波数3の役割は中緯度より高緯度まで、グローバルの範囲で大きなじょう乱量を有していることが分る。したがって、後にもふれるが波数3の波の動向を把握することがブロッキング活動の場の予報に重要であるといえる。

なお $N=1\sim10$ のじょう乱エネルギーの合計値の緯度分布は第4図aの下方に示されている。



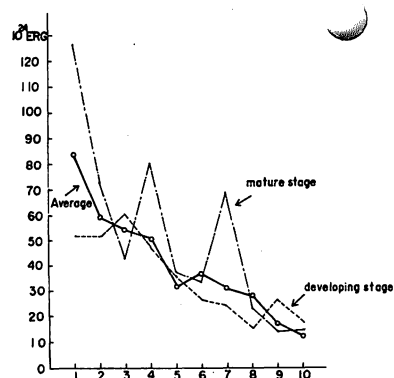
(a) 発達期 (11月25~30日) の状態

(b) 最盛期の状態

第4図 低指数循環の波数別KE (上部)と $\sum_{n=1}^{10} KE$ の緯度分布

この分布図からはブロッキング活動の発達期にはじょう乱の活動の中心は北緯 40~50 度の高緯度
にあり、その後発達の緯度は次第に南下して最盛期には北緯 30~40 度が活動の中心になることは
第4図bから明らかである。

第4図bはブロッキング活動の発達ステージが終了し、最
盛期に達した時期のKEの分布を示したものである。前に示
したように発達期のじょう乱エネルギーは波数3に集中がみ
られたが最盛期にはすでに波数3に伴うじょう乱エネルギー
KEは減少し、代わって季節の平均状態で卓越する波数1に
よるKEが再び増大するとともに波数4と7のKEの顕著な
増大がみられる。以上記したKEの波数別変動を期間平均、
ブロッキング高気圧の発達期、最盛期に分けて図示すると第5図
のようになり、1) ブロッキング高気圧の発達期は $KE_{N=1\sim2}$ の



第5図 低指数循環の発達期および最盛期の波数別分布図

$dump \rightarrow KE_{N=3}$ の増大 2) ブロッキング高気圧発達最盛期には $KE_{N=3}$ の $dump \rightarrow KE_{N=1,4,7}$ の増大が顕著となる。

一方最盛期の KE の $total$ 量については第 4 図 b 下部の図で明らかなようにじょう乱エネルギーの極大域は発達期に比してかなり南下し北緯 35 度付近に達する。以上のことは第 3 図を参照すると明らかなようにブロッキング高気圧に伴って発生する $cut-off\ low$ 南側の偏西流の強まりに関連するものとみなされよう。

3. 低指数期の順圧過程におけるエネルギーサイクル

低指数発達期のエネルギーサイクルを調べるのが目的であるが、じょう乱の運動エネルギー KE の変動には KZ と KE の間のエネルギーのやりとりすなわち順圧効果のほかに AE と KE のやりとりに相当する傾圧効果も考えなければならない。しかし各波数ごとの日々の KE の値と順圧効果が分れば傾圧効果も求められる。以上のような理由からここでは低指数期に現われる順圧効果と各波数とその他の波数の波の間で行われる非線型効果について調べた。

まず KZ と KE_n の間の転換量は上昇流の影響を無視すれば近似的に $\overline{u} \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y}$ で表示される。ここで $\overline{}$ は緯度平均値、 $\sim$ は空間平均値、 $'$ は緯度平均値よりの u , v の偏差を示す。

うずによる運動量の輸送 $u'v'$ は等圧面上の谷や尾根の傾むきに関係し、気圧系の軸が北東より南西の走向をもつときは南より北に輸送されて正の符号をとり、北西より南東の走向を有する場合には北より南に輸送され負の符号をとることになる。したがって $\overline{u} \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y}$ は軸が北西より南東に傾むく場合、南にゆくにしたがって傾斜が強くなる場合、および北東から南西に傾むく場合には北にゆくにしたい傾斜が強くなる場合には正の値をとり帯状の運動エネルギー (KZ) はじょう乱のエネルギー (KE) に転換されることになる。

つぎにある波数の波の有するじょう乱エネルギー KE の変動にはその他の波数のじょう乱からの干渉があつてエネルギーの増減がみられる。

したがって、ある波数の波による KE の変動はつぎのように示すことができる。

$$\frac{\partial K_n}{\partial t} = C_K(KZ \sim KE) + L(n) + C_E(AE \sim KE)$$

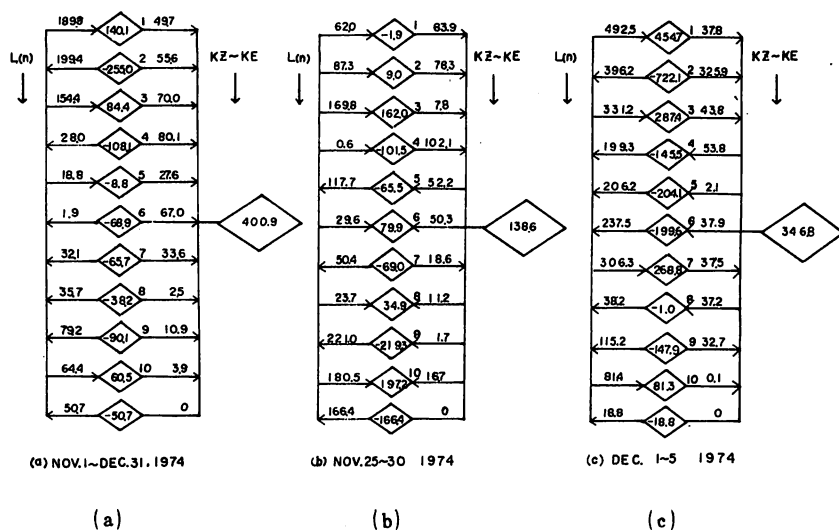
ここで C_K は帯状運動エネルギーとじょう乱による運動エネルギーのやりとりを表わし $\overline{u} \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y}$ にはほぼ等しく、 $C_K > 0$ は $KZ \rightarrow KE$ の向きに転換がおきていることになる。また、ここでは取扱わなかったが C_E はじょう乱の位置のエネルギーから運動のエネルギーに転換する量を表わし近似的には $-\overline{T' \omega'}$ となり、緯度平均気温より暖かいところで上昇流 $\omega < 0$ の場合には $AE \rightarrow KE$ にエネルギーの転換が生ずる。対流圏では普通 $C_E > 0$ (直接循環) の場合が多い。また C_K の値は平

均状態では負で $K_E \rightarrow K_Z$ の向きに転換が行われているが、じょう乱の発達場では特種の波で $K_Z \rightarrow K_E$ の転換が強く作用する。

$L(n)$ はすでに記したように波数相互の間で行われるエネルギーの転換を示している。したがって $L(n)$ は非線型効果による転換量を示しており、 $L(n)$ の年平均の状態については村上や戸松⁽¹⁾、Saltzman⁽²⁾ などが詳しく論じているので参考文献を参照されたい。

すでに記したように今回は C_K と $L(n)$ の値を 1974 年 11～12 月の 61 日間につき計算し、さらにこの結果を用いてこの期間の低指数循環の発達期とその最盛期につき C_K や $L(n)$ の値がどのように変化するかを調べた。

第 6 図 a は調査期間の 11～12 月のこれら量の平均値を示したもので図の右側の値は各波数の波と KZ の間の転換量を示し、一番右側の box 内の値は波数 1～10 の波から KZ に転換されし量の合計値が示されている。図から分るように平均値でみれば $N=1\sim 10$ の波数の波はすべてじょう乱エネルギーは帯状流を強める方向に作用しているが、そのなかでも超長波領域では $N=3$ ，4，長波領域では $N=6$ の作用が大きいことが分る。



第 6 図 期間平均(a)，低指数循環の発達期(b)，最盛期(c)における $L(n)$ および波数別エネルギーの収支 (gain)

- (1) Takio Murakami and Kiichi Tomatsu, *The spectrum Analysis of the Energy Interaction Terms in the Atmosphere. J., Meteorological Society of Japan Series II. Vol. 42. No. 1.*
- (2) Saltzman, B., 1957, *Equations Governing the Energetics of the Large Scales of Atmospheric Turbulence in the Domaine of Wave Number. J. Meteorol., 14 (6): 513~523*

次に波数間の非線型効果は図の左側の数値で示されているように季節平均を考えるかぎり地形波と考えられる波数2の波はエネルギーの大きな *source* になり、超長波領域では波数1と3長波領域では6～9の波が *sink* になっていることが分る。

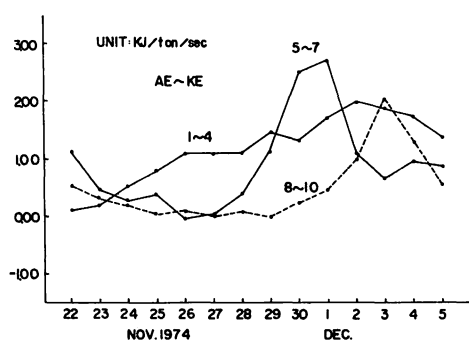
つぎにおおのの波について、計算された C_K と $L(n)$ の値を加えると最終的には順圧効果のみを考えた場合のおおのの波が得る運動のエネルギーを知ることができる。その結果は図の中央の *box*内に示されている。この図から本質的には波数1と3および10は発達しやすい波であり、これら3つの波はその他の波からのエネルギーの補給を受けることにより維持されているといえよう。以上の結果は *Saltzman* が計算した1955～1964年の資料による年平均の状態とはほぼ等しい。

以上秋から冬にかけての季節の平均状態を示したが、つぎには低指数循環の発達期であった11月25～30日とその最盛期に当たった12月1～5日の状態について調べた。

第6図b（発達期）によると、季節平均ではすべての波数の波につき $KE \rightarrow KZ$ の転換が行われていたが発達期においては帯状流とじょう乱の間のエネルギーのやりとりは波数1～4の超長波領域で $KE \rightarrow KZ$ の向きにエネルギーの流れがあるがその他のほとんどすべての波については $KZ \rightarrow KE$ となり帯状流からエネルギーを獲得し長波以下の波が発達するが量的には波数5～6への *inflow* が大きいことが分る。また非線型効果については明確なことはいえないが超長波領域では波数3と10に大きな *inflow* があり長波領域では波数5と7で大きな *out-flow* があることが分り大まかには超長波領域が *sink* になり長波領域の波数5, 7, 9が大きな *source* になっている。さらに C_K と $L(n)$ を合計した結果は波数3, 6, 10の波にエネルギーの大きな *gain* があることを示している。

順圧場における波数3, 6, 10の波は低指数循環の発達期にエネルギーの大きな増大を伴うことが分かったが、これら3つの波のエネルギー増大の内容はどうであつたろうかこの調査では KE の変換に関係ある AE より KE への転換量は $300mb$ 面については計算されていない。しかし現在長期予報課でルーチンに計算されている $500mb$ 面における $AE \sim KE$ の転換量が参考資料として考慮される。

第7図は11月下旬より12月上旬にかけての日々の $AE \sim KE$ の転換量を示したものである。この図より波数1～4, および8～10に伴う転換量は低指数の発達期には大きな変動がみられない



第7図 1974年11月22日～12月5日の超長波、長波、短波両域における AE と KE の転換量 ($500mb$)

のに反し長波領域の波数 5 ~ 7 に伴う量は低指数の発達期にきわめて大きな増大を示している。参考のため第 7 図に示されている単位は kJ/ton/day であるのでこの調査で用いられる単位に直すには、 $1 \text{ kJ/ton/day} = 3.3 \times 10^{20} \text{ erg/sec}$ の換算をすればよい。以上の結果から低指数発達期には長波領域の波数 5 ~ 7 による $AE \rightarrow KE$ が増大し、同時にこれら波数に伴う $KZ \rightarrow KE$ も同時に増大することが特徴で波数 3 および 10 の増大は非線型効果によってまかなわれていることが分る。

以上大まかに低指数発達期の順圧効果について記したが次に発達期に引き続く最盛期の状態についてふれておく。

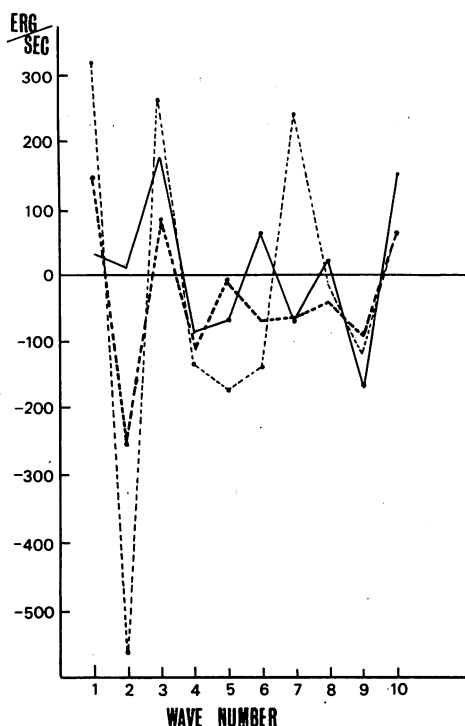
第 6 図 *b* で明らかなように発達期にはじょう乱流から帯状流への転換量は急減し、とくに波数 5 ~ 6 の波数領域では $KZ \rightarrow KE$ の転換が大きく作用している。しかし発達期がおわり最盛期に達した状態では第 6 図 *c* に示されているように $KE \rightarrow KZ$ の量の減少は止み KZ の増大が観測される。波数ごとの *Energy flow* をみると超長波領域 $N = 1 \sim 3$ の波による *flow* の向きは季節平均の状態と一致しているが (*a* 図参照) 波数 2 の波は大きな *Energy source* となり波数 1 や 3 および 7 の *Energy* の増大に寄与していることが分る。また長波領域では波数 4 ~ 6 の波が大きな *source* になっていることを示している。したがって超長波、長波領域についてまとめると波数 2, 4 ~ 6 の波は非線型効果によって波数 1 や 3 および 7 にの *Energy* 増大をもたらしているとみられる。さらに低指数の発達および最盛期を通じて超長波領域では波数 3, 長波領域では波数 6 か 7, および 10 の変動に注目する必要がある。

以上低指数発達期の波数ごとの *Energy flow* の特徴をのべたが最終的には各波数ごとのエネルギーの収支が重要なのでその結果をまとめると第 8 図のようになる。図中太い破線は期間の平均値を、実線は発達期 (11 月 25 ~ 30 日)、破線は発達の最盛期の状態を示したものである。この図より順圧過程を考える限り波数 1, 3, 10 以外の波による *gain* はすべて負の値をとるが発達期には波数 3 および 6, 10 などに大きな *gain* があり波数 4 ~ 5, 9 などが *Energy source* になっていることが分る。

一方最盛期の状態は波数 2 と 4 ~ 6 の領域が大きな *source* になっているのに反し波数 3 および 7 が大きな *sink* になっているのが特徴的である。

4. 超長波、長波、短波領域における *Energy Flow*

前節では低指数の *Energy flow* の各波数ごとの特徴を調べたが波数ごとの変動もかなり大きく総合したイメージを握むにはやや困難である。そこで波数区分を通常用いられている、超長波 (波数 1 ~ 4), 長波 (波数 5 ~ 7), 短波 (波数 8 ~ ∞) に区分してそれら階級間の *Energy flow* を



第 8 図 期間平均(太い破線), 発達期(細い実線) および最盛期(細い破線)における波数別のエネルギーの gain

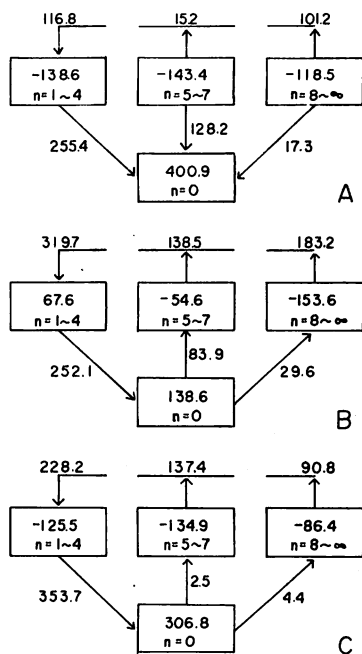
求めた。

第 9 図 A は季節の平均状態を示し, すべての波につきじょう乱エネルギーは帯状流に *Energy* を与えているが, そのなかでも超長波領域の波による作用が全体の 64 % を占めている。一方非線型効果としては長波, 短波領域の *Energy* は超長波に流入しており, そのなかでも短波領域の波の果たしている役割がきわめて大きいことが分る。

ぎに発達期においては超長波領域の $KE \rightarrow KZ$ の量は季節平均した値とほとんど等しい値で順圧過程では超長波は低指数の発達には関係が薄いようにみられる。

しかし, 長波および短波領域の波, 特に長波領域の波はこの間に帯状流からかなり大きな *Energy* の *supply* を受けていることが分る。しかし非線型効果を考えるとこれら領域の波はいずれも超長波に *Energy* を補給し結果的には波数 3 を中心に超長波の発達をもたらしていることになっている (波数 3 の波は *gain* は 162.0 erg/sec)。

一方低指数循環の最盛期の *Energy flow* は発達期のそれと流れの向きは全く同じ状態を持続しているが, 超長波領域の波から帯状流への *Energy* の流出は最も強まっていることが分りこれらのなかでも波数 2 よりの *supply* が非常に大きく卓越し, 低指数循環にともなうじょう乱場を減少さ



第 9 図 超長波, 長波, 短波領域における運動エネルギーの変化図

せ帯状流に移行さす作用が大きく作用していることを示している。以上記したように傾圧効果のみを考えると低指数の最盛期には超長波・長波の波数領域につき *Energy* の *gain* は大きく減少するが第 7 図を参照すると超長波（波数 1 ～ 4）および短波領域（波数 8 ～ 10）の 500mb 面で $AE \sim KE$ の転換量が増大しており結果的にじょう乱エネルギー量が増大することになり傾圧効果を見捨てることはできない。

5. ま と め

以上低指数発達期前後のじょう乱の運動エネルギーの変動がどのようなかを一つの *case study* をもとにまとめてみた。今回は主として傾圧過程を扱ったため傾圧効果の影響は推定するに止めたにすぎなかった。しかし今回の調査では低指数の発達期には超長波領域については非線型効果により波数 3 のじょう乱エネルギーが増加し、長波領域では傾圧効果と傾圧効果がともに増大し、波数 6 の波に伴うじょう乱エネルギーの増大をもたらしているといえる。

以上の調査に当たっては研究所予報研究部戸松主任研究官のプログラムを借用させていただき、計算に当たっては長期予報課の平沼洋司・田中康夫両技官の協力を得たことに厚く御礼申上げる。

1. 長期予報と predictability

これを考える前に、短期予報の *predictability* すなわち予報可能性の問題を考えてみたい。大気には持続性があるので、モデルを全く用いなくとも予報はできるわけである。

第1図には、予報期間と 500 mb 高度の *root mean square* のエラーの増大の関係が示されているが、全くモデルがなく持続性だけで予報を行った場合には左上の曲線のようにいつかはある一定値に収束する。一方、右下の曲線は理論的に完全

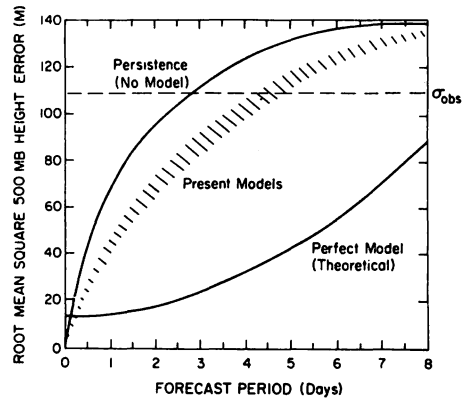
モデルを用いた場合のエラーの増えかたで、14 日ぐらいでモデルのない場合の曲線と交差してしまう。

この *predictability* は、大気大循環モデルのような1つの *history* を作っておき、ある瞬間にある観測値を用いて走らせた結果と、その観測値に観測や解析の際に通常含まれているようなエラーを加えてまた計算を走らせて、両者の差をとって決めたものである。エラーを

入れなければそのモデルによって一応正確な予報ができると考えたわけだが、実際にはさけられないエラーが観測値に入っており正確な予報ができなくなると考えられる。そういう完全なモデルでも、初期条件に多少エラーがあれば、それが波数間の *non-linear interaction* などによってエラーがエラーを生み値が増大する。このようなわけで、完全なモデルによったとしても大体2週間位でランダムな条件のものとおなじぐらいの結果になってしまう。

図中の斜線で示した *present model* は、現行の種々な 500 mb 高度の予想方法による結果を総合したものである。だいたい2日先ぐらいについてみると、持続性によるものより40 m ぐらいよくなり、60 m ぐらいのエラーである。さらに期間がのび5日先ぐらいになると、持続性によったものよりはもちろんよいけれども、エラーも大きくなってくる。

長期予報について考えよう。第1図のエラーの増大は *deterministic forecast* であって、ある時点で初期条件を与え、高・低気圧の移動状況まで確実に予報するという場合についてのもので



第1図 予報期間と 500 mb 高度のエラーの増大の関係

ある。つまり、統計的な予報 — たとえば低気圧が1か月のうちにいくつ通るかといった意味での — でなく、高・低気圧の移動を追ってその位置や強さを正確に予報するという意味での *deterministic forecast* についてのものなのである。

したがって、長期予報は何かというと、こういう *predictability* がなくなってしまったような — つまり *deterministic* な意味では予報ができなくなる期間、たとえば2週間 — その程度よりも長い期間の予報である。このことはとかく誤解を招くのであるが、第1図を見ると“それなら天気予報は2週間以上はできないのか”と考えがちである。しかし、*predictability* は高・低気圧を着実に追うという意味なのである。高・低気圧の移動が完全に予報できなくとも、統計的な現象 — つまり1か月の間に低気圧が何回、どの程度のものが通ると予報できると、通過日の予報は多少狂っても予報の価値はあるわけである。こういうものは第1図には含まれていないのである。

2. 平均場の予報

ここで考える長期予報とは *deterministic* な予報期間よりもっと長い — 2～3週間以上先の — ものであり、長い期間の予報となるとある平均場の予報ということになる。短期予報の積み上げによって期間をだんだん長くし、3週間なり4週間なりの予報をするというのは、*deterministic* の観点から意味がないわけである。天気図を変え初期条件をいろいろと変えて予報したときに低気圧がいくつ発生したかといった統計的なものは意味があるかもしれない。そういうわけで瞬間的な予報でなくてある平均場の予報 — つまり運動方程式を平均したようなもの — を対象として予報しなければならない。

たとえば、 $\frac{\partial u}{\partial t}$ に効く量として u の *gradient* と *heating* の項があった場合に、

$$\frac{\partial u}{\partial t} = f(u, \nabla u) + Q(u)$$

といった運動方程式を考えると、これにある意味での平均操作をほどこし、

$$\overline{\frac{\partial u}{\partial t}} = \overline{f(u, \nabla u) + Q(u)}$$

とした場合には、 $\overline{f(u, \nabla u)}$ 、 $\overline{Q(u)}$ といった量は、直ちには $f(\bar{u}, \nabla \bar{u})$ 、 $Q(\bar{u})$ のような形にはならない。一般にはこのほかに何か *Reynolds stress* と *eddy* に関係した効果がでてくる。つまり、*linear* の場合はそうなるが、*non-linear* のときはそうはならない。だから、ある程度平均したような運動方程式を作ることが大変であり、また *zonal* に平均してそれを長期予報に直ちに結びつけて利用することもむずかしい。大気の *simulation* を扱うとき、平均操作のない

運動方程式を扱うと同じように、平均操作のある式を解いていこうとするのはできないわけである。高・低気圧が一般場を作っているわけだから、これらの *non-linear interaction* がわからないと、モデルを作ることすらできない。それではどうするか？

3. いくつか考えられること

その1つとしては、モンテカルロ方式のようなことも考えられる。これは初期条件を少しずつ変えて同じようなものを何度も計算していき、それらの結果を平均して予報とするやりかたである。これに近いやり方を実際にすることができる。このような意味でのモンテカルロ方式を実際の予報に使ったという例はまだ聞いていないが、このような扱いをすれば、少なくとも初期条件から生じてくる *noise* を消すことができる。

もう1つは超長波の研究である。小さいスケールの運動をいくら追っても長期予報には役に立たない。というのは小さなスケールのものほど *predictability* が短いからである。第1図は全体の現象についてであって、同じようなことを各波数ごとにやれば、どこにいちばん *predictability* があるかがわかる。

それは超長波のところである。ところが超長波は予報するのが非常にむずかしい。この超長波は残された気象力学の問題であり、かつ興味深い問題である。

4. Sensitivity の考え

長期予報をもっと科学的に扱うにはどうしたらよいか？ ひとつの糸口になったのは、*Bjerknes* や *Namias* が行ったような海面水温の異常偏差が大気に影響を与えそれがさらに下流にまで影響を及ぼすという研究である。これが事実とすれば、海面水温の影響だけでなく、*physical* にいって境界層をモデル化する際の *parameterization* の *formulation* の影響などが考えられる。モデルを使って予報するときには—完全なモデルでないわけだから—モデルを少し変えただけでも *predictability* が変わってくる。一方海面水温のような外的な条件を変えても変わってくる。だから予報しようとしているときに、モデルを少し変えたら、海面水温などの外的条件を変えたより、もっと影響があったとすれば、海面水温の影響をうんぬんしても、そのモデルからみている限りでは意味がない。このように考えてくると、何がいちばん *sensitive* に効くか、海面水温の影響などはもっと広義に解釈してモデルの中でいろんな *parameterization* の変動があったときにどういう違った現象がでてくるか、といったことが問題になる。話が面倒になるのは完全なモデルがないからである。数値計算の方法をきちんと決めておかない限り外的条件をうんぬんできない。

終局的に何をやりたいかという、たとえば今年の1月の平均気温と去年のそれとの違いを議論するような際には、何がいちばん *sensitive* に効いているかを知りたいわけである。モデルが真

に完全なものであるなら外的な条件だけでよい。しかしそうでないから考える材料が多くあって、たとえば数値計算方法そのものもどの程度の影響があるのかとか、あるいは *physics* の *parameterization*, *radiation* の *formulation* のしかた、雲の影響の見方といったものがどの程度効くかを考えたうえで、外的な条件の影響をみなければ、何がいちばん重要かわからないわけである。

5. Sensitivity についての研究の現状

NCAR でやっているのは、何がもっとも影響があるかを1つ1つつぶしていこうというものがある。*Horizontal resolution*, *vertical resolution*, *mesh* を細かにすること、*radiation* をさらにきちんと計算すること、そういうものをみていっていちばん影響のあるものから研究していこうとしている。ところが問題はそれをどういう具合に調べるかということである。前述のように、初期条件を少し変えただけでも違った解がでてきてある程度の差がでる。反面それを全く同じにしておいても、モデルの中のちょっとした違いで同様に差がでてくる。もし、外的条件によって *detect* できるようなものがあるとすれば、それは最初にランダムに与えて計算した差より大きくなければ意味がない。種々の *parameterization* や外的条件を変える場合の物指しは何か？ 結局、外的条件を変えたための *signal* を見出すために、それが *noise level* より高い *signal* でなければ影響があったとはいえない。だから *noise level* をどれだけ低くできるかということである。モンテカルロの方法なども *noise* を減らすひとつの手段のわけである。

もし完全にランダムな条件なら、標準偏差を σ 、実施する回数を n とすると、 $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ に比例して減っていくわけである。同様に *noise* を消すためには、ある程度時間平均をかければよい。これはランダムな場合であるが、もし大気のような持続性のある現象ならエラーの減りかたはどの程度になってくるだろうか。

これを見るのには理論的なこともできる。つまり持続性を持つような運動の相関係数を仮定しておいて、ある平均操作を行ったときに、どのように *noise* がさがっていくかをみればよいわけである。

ひとつの簡単な方法は、大気大循環を使ってやる方法である。つまり、はじめにランダムの *initial error* を少し与えると、それが時間と共に増大していく。それがある程度 — だいたい30日位 — たつと、2つの *solution* が全くランダムのような状態になる。その際平均操作を行って平均期間を延ばすことによって *noise* をどの程度減らすことができるかをみた1例が第2図である。

はじめランダムに選んだ天気図による *global* な *RMS* (*root mean square*) *noise level* が、平均操作の期間を10日、20日、30日と多くしていったときに、どのように減っていくか

を示したもので、だいたい10日ないし20日になると半分ぐらいに減ってくる。ここで、(A)はNCARのモデル、(B)はUCLAの荒川のモデルをRAND corporationで計算したものである。

平均操作を施すことによって、両者共 noise が減っているので、モデルにはあまりよらないらしいということがわかる。

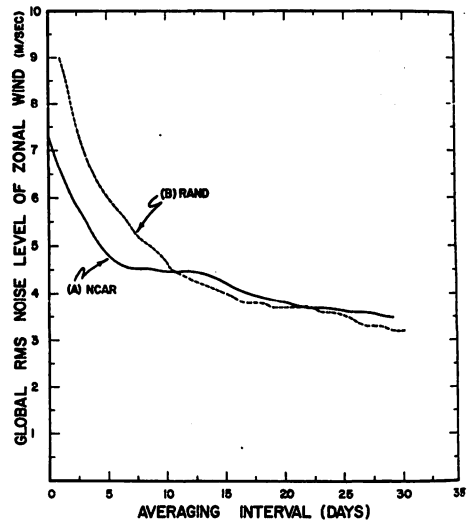
第3図は、降水量についての場合であるが、この方は noise はかなり早く減っており、10日平均で $\frac{1}{4}$ ぐらいに減っている。これは降水量のような細かい cell を作っているものは、平均すると直ちに noise が下ってくることを示していると思われる。このように noise の下がり方は要素によって違ってくる。

このようなことをどうしてやるのかというと、外界の条件が少し変わったときの影響の検出の場合に、noise level より大きい変動がない限り有意とは見なさないわけだから、その場合に noise level が高ければ高い程検定がむずかしくなって、検定するためには長期間にわたって平均しなければならない。したがって、何を平均すればもっとも効果的に signal の決定ができるかということのために、いろいろな量の操作をして減りかたを調べているわけである。NCARでは、このようなことを、いろいろな人がやっている。

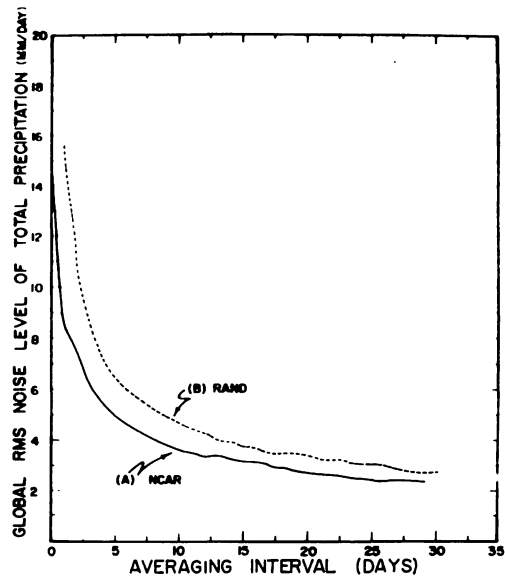
6. 海面水温を変化させた場合にどうなるか

例として Namias 等の提唱したような太平洋で海面水温を変えた場合の計算例を示す。

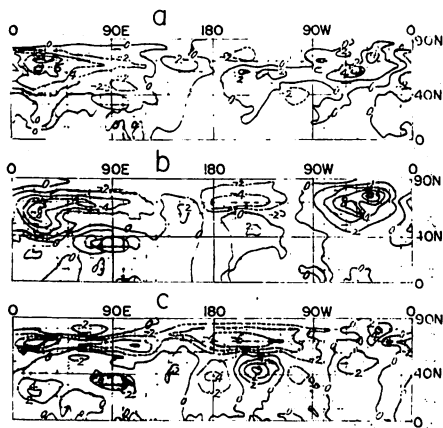
第4図は、他の条件は一定であるが海面水温だけを変えたときその影響が大気にどのように及ぶかをみるために、NCARモデルを使って、



第2図 平均期間による global rms noise level の変化の関係 (zonal wind component について)



第3図 第2図と同じ (ただし、降水量について)

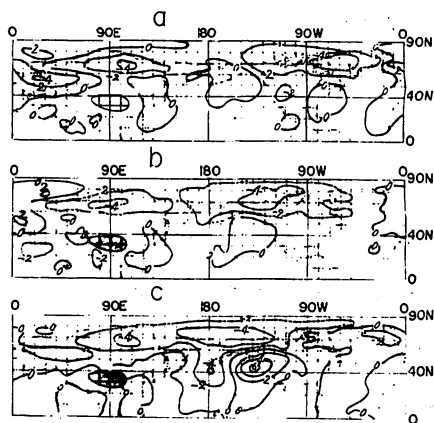


第4図 計算後31～60日の30日間平均の1.5 kmにおける気温分布(2℃ごと)の差。a, b, cはそれぞれランダムに control した場合, ある程度の偏差, 大きな偏差を海面水温に与えて計算した場合を示す。

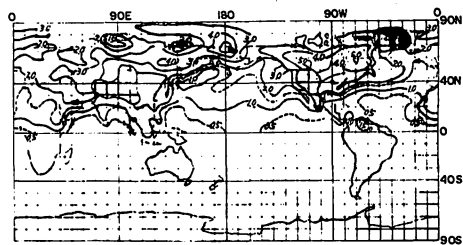
計算した結果である。いずれも計算を走らせて31～60日後の30日間を平均した1.5 km面の気温分布である。中段のbは, 太平洋域西部に-4℃, 東部に+4℃の海面水温偏差を与えた場合, 下段のcはそれぞれの3倍の-12℃, +12℃の偏差を与えて計算した場合であり, 上段のaはそれらの偏差を全くランダムに与えた場合である。aとbを比較すると, 多少違いがあるといった程度であり大きな差はみられない。これに反して, aと大きな偏差を与えて計算したcを比べてみると, 平均でもある程度差があり有意な結果となっている。

次に平均期間を延ばして, 3か月平均について

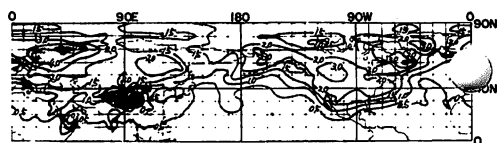
比較したのが第5図である。この場合にも, aとbの間にはそれ程の差は認められないが, aとcを比較すると差のあることがわかる。cの±12℃の偏差を与えた場合には気温は3℃ぐらいあがっており, その程度の差があると大気のモデルの上でも検出できるような影響が生ずる。第4図と第5図でやっていることは, ±4℃ぐらいの偏差を与えると多少影響があるようにみえるけれども,



第5図 第4図とおなじ(ただし, 計算後31～120日の90日間平均について)



第6図 実測した14例の1月についての850 mb気温の標準偏差(1.0℃ごと, 破線は0.5℃ごと)の分布図



第7図 Initial conditionをすこし変えて行った5通りのsimulationの結果についての1.5 kmの気温の標準偏差(等値線の間隔は第6図と同じ)の分布図

初期条件を少し変えたようなランダムなものを与えたような場合のエラーの *growth* と比較するとあまり違ってないといえる。

第6図は、実測の1月の850 mbの平均気温が年によってどれだけ違っているかを、14か年についての標準偏差で示したものである。

北米とアジア大陸中央部では4℃ぐらい、海上では1℃ぐらいとなっている。北半球全体をざっと平均すると、陸上で2～4℃、海上で1℃前後である。

これは観測結果であるが、初期条件を5通りに変えて *simulation* を行い、その5つの結果の1.5 Km面の気温について標準偏差をとったものが第7図である。

この図ではだいたい陸地で2～4℃、(北半で3℃)、海上で1℃またはそれ以下となっている。海上での実測が1℃である(第6図)のに対し、計算(第7図)では1～0.5℃と小さいのは、5回の計算の場合に海面水温として一定の値を用いたためである。ところが、実測の標準偏差も海上では1℃ぐらいであり、この点からみると海面水温の大気への影響を *detect* するのはかなりむずかしいように思える。

以上のようなわけで、現在なされていることは何がいちばん *sensitive* に影響があるかについてである。いまはモデルが正しいものと見なして考えているのであるが、この点を考慮にいれておく必要があることはもちろんである。

7. む す び

月平均した気温なり降水量なりが年々変化するという機構は、果して外的なものの影響であるのだろうか、それとも大気そのものが *Lorenz* の言うような *intransitive* な影響で内部に変動する原因があるのだろうか。

そういうわけで、いまのところ流水の一角を見ているにすぎない。それらの手掛かりを少しずつ探しているところである。

自 由 討 論

A：最近の長期予報は *synoptic* な方法から *dynamical* な方法を取り入れた方向に進もうとしていると思う。この場合にどういうふうに考えていったらよいか、それに実際には *synoptic* なものを総合的に判断して長期予報を出すこともあるわけだから、現象の物理をさらによく理解することが必要であろう。この2つの面から討論していきたい。

B：笠原氏の図の第4,5図は気温についてなされたものであるが、気温では出なくとも、大気大循環のパターンについてやると影響が案外出るのではないか？

C：あり得ると思う。いろいろな *variable* について平均操作をとって調べている。気温と気圧は大体似ているとは思いますが、やってみる必要がある。

B：短期予報では力学的方法で大体よい。しかし長期予報の場合は、たとえば K_E などは保存ないし、外との *interaction* がものをいっている。力学はその中味を理解するためにはもちろん必要だが、別にエネルギー論的見方が問題になってくる。さき程言われた *dynamical* な方法の中にエネルギーのことまで含めて考えるのならよいのだが。

A：エネルギーまで含めた広い意味での *dynamical* と考えて討議していったほしい。

D：笠原氏の図の第7図は5つのケースを取りあげて示されている。しかし笠原氏も話されたようにモデルの違い、もっと本質的なところで、たとえば境界層とか *convection* の入れかたの違いによって影響の現われかたにはかなり差があると思う。この点ではモデルの改造、完全なモデルの作成がやはり先決と考えられる。

C：たしかにモデルを変えるたびにそのような図は示されるだろう。*Predictability* の *curve* でも、昔いちばん最初に GARP をはじめるときに Charney が示した論文では鈍感なモデルを使用していたために *predictability* が長かった。だから大気は3週間の予報ができるだろうという意見がでた。モデルはよくしてくると、モデル内部の乱流の程度が多くなってくるから *predictability* が小さくなって、たとえばある特殊なモデルによると3日しか予報ができないという極端な人もいるくらいである。モデルを変えるたびに *predictability* のときと同様な意味で *sensitivity* についての論議がくりかえされることであろう。

D：+4℃、-4℃の偏差を与えて計算をした際に、あまり影響がないようだとのことであったが、その外の地域に対する影響はどうか？

C：赤道では大分様相が違ってくる。±2℃ぐらいの偏差を与えても *convection* が集まったりして *direct cell* の位置が変わってくることが検出される。さらに南半球のエルニーニョとも関

連して議論されている。低緯度地方はじょう乱も弱いから外的な変動を加えるとはっきりでるのだろう。大気にも *sensitive* な所があって、中緯度帯のように高・低気圧が通りやすい所では、条件を一寸変えてもなかなか *noise* 以上に影響が出ない。低緯度のような所は敏感に感ずるのではないか。低緯度はじょう乱が少ないということだけでなく、そこに *convection* などがあって赤道前線のような *physical* な *mechanism* を通じてそういう現象がよく現われるのではなかろうか。

A：長期予報の場合には、モンテカルロ的なことも一方法だとのことだが、具体的にもう少し説明してほしい。

C：むしろ逆にどなたかにお聞きしたい。ひとつの考え方としてはあると思うのだが。

B：いまのことは、こういうことではないか。たとえば1か月予報をやっていくときに結果が変わるということには境界条件が変わることである。むしろ、それが原因で結果が変わると考えるわけだが、その中に *noise* があるから—ひとつの境界条件だったら別だが—それを平均したものを出すというわけであろう。予報の立場からいうと境界条件が変わったという前提があって、その場合どうなるかということが問題である。ある意味でいうとそれが長期予報だろう。

C：それを検出するのがなかなかむずかしいのではないか。外的なもので行われたものがどの程度あるかをどうやって検出するかが問題である。

B：これは長期予報の *predictability* の問題ということになる。常識的に考えると、各季節の気候が年によって変わるということは、何か前の初期条件ないし境界条件が変わるために起こっていると考えているわけであろう。

C：そういうことも含まれている。

B：結果が違ってくるということは、2つあるわけで、*noise* があるためと、初期条件が違いためと考えられる。

何か外的な条件が変わったときに、そういうもの、より大きな違いでないと有意でないと考えられるわけであるが……………。

B：たとえば極端な例を言うと、月の引力の影響が気圧変化に出てくるが、ある意味では *noise* ではない。

C：大気潮汐もそうである。でも大気潮汐の影響をだすためには、ものすごい量を平均して *noise* を消している。それと同じようなことが、海面水温がさがった場合—それは大気潮汐より影響は小さいものかもしれないが—その影響を検出するにはかなり苦勞がいるらしい。それは、どうやってそれを検出するかまだ研究されていないから。1つは平均操作だが、どれだけ平均すればよいかということがわかっていない。したがって、その方法論をきちんとすることが必要だろう。

B：長期予報を研究していく場合、そういったことは方法論としてオーソドックスなやり方だと思うが、実際には別の方法もあるのではないだろうか。

C：実際の長期予報はどうやるかとなると、私は超長波を取りあげたいと思う。

A：たとえば、長期予報の場合、予想平均図がわかるといいわけだが、それを力学的な方法で求めようとする、そのような平均図の *predictability* という問題があると思うが。

C：今までの *predictability* ではそこまでは議論していなかった。

A：予想平均図をつくる場合いろんな初期条件から出発して時間積分をし、それらを平均して平均図をつくると初期条件はあまり効かないで、むしろ境界条件、つまり外因の方が大きく効くということにならないか？

C：そういうことにはならない。というのは、ある初期条件にじょう乱を加えるわけであるから。たとえば、9月の平均状態も8月がどうであったかによっているに違いない。しかし、その上にダムにエラーがあったために現われたようなものであってはならない。もし8月の初期条件にちよっとエラーを与えたら、それが一昨年の9月の天気図によく似たとなったら、それは初期条件によっていないということになる。実際はそうはならない。

A：その場合初期条件の8月の影響が9月に効くとなると、初期条件をどう選んだらよいかということが問題になるわけか。

C：いや、そうではない。

A：とすると、8月のある日を適当に選んでランダムな *deviation* を与えていくつかの例について時間積分してそれらの平均をとれば、いろいろなエラーのために起こる結果は消えるだろうということか。

C：そうだ。この場合初期条件がどれだけ影響があるかをどうして決めるかは問題。外的な条件とかモデルを固定しておいたとしても。

A：こういう問題で *predictability* がどれくらいあるかという問題もあると思う。先程エネルギー論的におっしゃられたが具体的にどんな方法があるでしょうか。

B：*Principle* だけを考えると季節変化があり、夏暑く冬寒い。それは太陽の光りの入り方によっている。極端にいうと、長期予報の定義にもよるが、夏暑いという予報を出しておけば、ほとんどの場合当たる。そういう見方もある。この場合はむしろ、何も運動を考える必要はなく、エネルギー中心問題となってくる。そういう面では、長期予報の場合は大気の中の熱の移動が効いてくる。運動が重要でないというのでなく、熱の差し引きを考えていく必要があるということである。気候変動になってくるとさらにその必要がある。

E：大気自身が、たとえば現在初期条件と境界条件があって、30日経つとある状態になる。モデル自身はある状態から境界条件で出発してある値に到達する。モデル自身は決定形のモデルである。悪かろうがよかろうが問題にしない。ある1つしか答を出さない。ところが大気自身は単なる感じに過ぎないが、決定的な答をもっていない。ということは大気自身は30日後の運命を知らない。そういう感じがする。どこからくるかという、——でたらめかもしれないが——、たとえば *Reynolds stress* の項なんかに、モデルでいうと拡散係数 K という形で与える *constant* だが、実際にはある程度のゆらぎみたいものがある、どうしてもつかまえられる部分がある。ところがモデルは決定的に予報する。その辺に私は、何となく長期予報という感じでは問題がある。どれくらい深刻であるかどうかは別として。モデル自身に先刻のモンテカルロの考え方を組みこめないか。たとえば、 K でもよい。 K にそれがある数字ではなく——それをどう与えたらよいかかわらないが——何かある幅をもっているけれども、これとは決まっていない。そういう性格を数値予報の中に組込むことはできないものだろうか。……いま感じたことだが。

C：それはこう考えたらどうだろうか。たとえばある瞬間から30日走らせる。仮に1か月間に日本付近に低気圧が3つ現われたとする。初期条件をちょっとランダムに変えて走らせてみたら、日にちは違うが、やはり2.5～3個現われたとすると、低気圧が日本の上を2.5～3個ぐらい通る確率は非常に高い。それでそれがわかったら長期予報として意味がある。決定論的なものとして計算した場合には *predictability* を越しているから意味がない。しかし、2.5～3個低気圧が現われるということは意味があるかもしれない。それは初期条件によると思う。低気圧が2つとか3つ発生する場があるとすれば、それは初期条件、つまり極端な言いかたをすれば、たとえば6月なら6月の天気に基づいて計算すれば低気圧はいくつできるか、仮に4月の天気図に基づいて計算すれば同じようにならない。ということは初期条件によっているということになる。

E：初期条件の問題についてであるが、大気の性質として *climatological* なもの、たとえば台風は夏に4個なら4個と決まっているわけである。長期予報で問題にしているのは、それからの *deviation* である。この *deviation* は結局初期条件が平年とどう違っているかにかかっている。そこに長期予報のむずかしさがある。

C：結局 *deterministic* なものについては、*predictability* 以上の予報をした場合には意味がないということになる。

B：モデルが完全であるかどうかということも問題となる。

E：モデルが完全であることは望ましいが、大気が完全でないということも……。

C：大気が完全でないとはおかしい……。

B: Radiation に関連する雲にしても、平均的なものを観測しているわけで、不確定性が含まれている。

E: 完全な解を得たいというのが理想なんだが、唯一の解は存在しない。ある幅をもっているのは経験的にわかっているけれども、この解であると決まっていな。解自身にゆらぎがあるというか。

F: Deterministic でない期間を予報するためには、どういうルールがあるかということだろう。考えられるのは、30日後の天気を決定論的には決められないが、前後10日ぐらいの平均の状態については、より正確な初期条件と境界条件があればモデルにかかわらず似ているのだから、解はその辺に収縮するというのはどうだろうか。

G: いまの話のような、たとえばゆらぎというようなものを *deterministic* でないと思うのはどうかと思う。人間が歩いただけで空気を乱すわけであるが、そう言っていたのでは不可価値論になってしまい、やっても無駄である。

大気には少なくとも *discreet* な現象として、特殊なところにスケールがある。だから人間が動いたからといって、すぐさまどのスケールの現象にも影響を与えるというわけではない。

その付近にだけは影響するだろうが、長期的現象が起こるのには長い時間を要する。すなわち、波長の *discreet* なところに特殊な現象があってその間に *non-linear* な *interaction* があるということはいえるが、その影響の伝わり方は非常に小さい。だから極端にいうと、ある時は孤立な現象を取り上げててもかなりの精度で予報できる。これが長波の理論であったわけである。そういう点で、どのスケールの現象をどの精度で当てるかということを見捨てて予報可能性ということを議論しても無意味だと思う。

我々はどのスケールの現象を予報しようとしているかである。これをしっかりおさえておくことが必要である。海の波がたっているか否かで、大気に与えられる *sensible heat* は違うが、それが長波にどれだけのタイムスケールで影響を与えるか、そこでの影響は非常に小さいと思わ。以上が第1点。

第2点は、*grid* を使っていることから起こる問題である。実際のモデルで計算した結果が *persistent* に比較して7日位で同じになるということは当然なことである。*Grid* を使って予報しているために *phase velocity* が必ず小さくなる。このため予報すればするほど *phase error* が大きくなる。1日の予報といっても、0.8日位の予報にしかならない — 実際には波数によって *phase velocity error* に違いがあるから完全に0.8日ずれるというわけではないが —。この意味では *deterministic* ではない。しかしパターンの予報については、ずれはあるにしても全体の形はかなりの精度で予報できると思う。こういう観点からは単に *R. M. S.* をとっただけでは精

度は当然落ちる。それをもって7日位で駄目だというのは早計すぎる。

第3点は、パーフェクトモデルの場合の予報可能性の問題であり、この実験には問題があるのではなかろうか。大気には観測エラーが2℃位ある。それをランダムエラーとしている。ところがこのモデルはバロクリニックな不安定を起こすような大気に適用しているわけだから、2℃位のランダムエラーを与えてもそれは長波のところにそのスペクトルをもっている。それでこれが発達するのは当然で、そこがランダムエラーが2℃位あるような大気と同じに取り扱っているわけではない。したがって、最初のランダムエラーの与えかたによって完全に違った現象がでてくるのは当然である。そういう意味では、たとえパーフェクトモデルでやっても、あの *R. M. S.* エラーの分布でもって12～13日だとか、或は *sensitive* でないものは20日だとかいうのは問題がある。具体的にいうと、実際の大気には観測エラー—というか場所による違いは2℃位は当然ある。たとえば、建物と建物の間では夏だったら温度差は2℃ぐらいあるが、そういうエラーはその付近ですぐさま解消している。ところが、*grid* 300 Kmを使うと、とたんに300 Kmの隣の点に影響がでてしまうことになる。だからそういう現象をもって大気現象と考えるのはおかしい。実際にはその点が瞬間的に300 Km離れた所へ影響を及ぼすようなことはない。そういう意味では *grid* を使っているということを考慮しないで *predictability* の問題をうんぬんするのは非常に危険性がある。エラーを早く消してしまうような方策を施せば、最初にエラーがあっても、ほとんど同じ結果が得られるのに違いない。すべてスケールの問題と関係がある。スケールが小さい現象はそんなに遠くまで影響を与えるとは考えられない。そういう点で私は *optimistic* になるべきだと思う。

E: 大気現象を決定論的に予報することはできないにしても、ただでたらめにどうなるかわからない、ということでもないと思う。30日後に低気圧が3つあるということは—その場所が10～20度の誤差はあるかも知れないが—予報ができるのではなかろうか。しかし、今のモデルではある初期条件で出発すると1つしか答がでない。そこに問題があるように思う。たとえば5通りの初期条件を支えるとそこからは5通りの答を得られるという議論はそれでよいかも知れないが、それとは別に1つの初期条件でも5つの答がでてくるようなモデルはないものだろうか。誰か考えておられないだろうか。

5つの答がある程度の幅で予報できればよいのであって、長期予報は研究次第で、なお可能だと思っている。

A: スケールの話がでたが、長期予報の場合には大きなスケールが問題になる。そういう意味でまず帯状平均の量(たとえば $\bar{U}$)を予報して、それを予報と結びつけるやりかたもあると思うが、この辺のことについては……。

H: *Zonal mean* の気温とか風と、或る地方の気温偏差が統計的にも結びつけられれば、 $\bar{T}$ や $\bar{U}$ を

予報することは意味がある。しかし、 $\overline{T}$ や $\overline{U}$ が大きいからといってその地方の気温が高いとは限らないと思う。或る地方の気温といったものは局地的なものであるから、 $\overline{T}$ や $\overline{U}$ を予報しても実際の役には立たないという懸念がある。

長期予報をやられている方に、これらの関連について伺いたい。

I：具体例をひとつ挙げてみたい。1か月予報の立場から夏の高温の場合——1973年のような8月が非常に高温だった14例——について検討した結果によると、日本を北日本・東日本・日本海側・西日本および沖縄に分けた程度のスケールの地域の平均気温偏差と、*zonal mean*した500mb高度偏差の対応は非常によくでている。たとえば、北日本が高温の場合には高度偏差の+極大域が50°~40°N帯にみられ、西日本が高温の際はそれが30°~40°N帯にあるといった関係にある。日本付近は海陸分布に基づく準定常波の谷の場に当たっているといった特殊な位置にあるので、特に対応がよいのかも知れない。*Zonal mean model*が開発されつつあり、それがある程度予報可能になれば、長期予報にとって非常に役立つと思われる。

J：長期予報をやっているいちばん知りたいのは、大気の流れ状況がいつ変わるかということの予報である。 $\overline{U}$ が直接ある地域の天候と関連しているかどうかという前に、たとえば高指数期が続けばその次には低指数期が来るわけだから、そういう流れの変わり目がわかれば対処のしかたがある。その意味で $\overline{U}$ の予報は予報者にとっては大きな情報量だと思っている。

A：長期予報上 *zonal mean* の予報が有用であるという話がでたが、それを予報する場合にはその *eddy* の取り扱いが問題になるかと思われる。その辺についての何か考え方なり問題点をだしてほしい。

長期予報課では現在栗原モデルをやっているのか。

F：栗原モデルをそのまま扱っている。いまは、たとえばうずを与える際にどの時点で与えたいいちばん早く安定するかといったことをやっている段階である。将来は電計の *ANAL* のデータというふうに栗原モデルに *adjust* すれば初期条件を使えるかということをやっていきたい。

Zonal mean model がどれぐらい先まで予報できるかはこれからの問題である。

A：次に超長波の問題だが、超長波の物理的性質をいろいろと知ることは長期予報で大変参考になると思う。これらに関しては荒井・杉本両氏から話題提供があったが、それについてのコメント、ご意見をどうぞ。

荒井氏によると、夏の場合アノマリーを追うのには波数4と5の移動波を見ればだいたい一致することだったが、冬の場合にはどうか。波数1~3の波はどうか。その辺をもっとクリヤーにできないか。要するに、波数1~3の波と4、5の波との関連はどうなっているか、またその働き

は夏と冬でどう違うのか、などについて討論いただきたい。

K：それらのことを全部やっているわけではないので、説明は不十分であった。これまでやったのは、冬の高緯度の場合なら波数1の *transient* 部分、夏だったら4、5の *transient* を合わせたものをみると、その部分に関しては便利な面がある。全部について調べれば、技術的現業的に意味があり、どこまで *superpose* すればよいとか、緯度もいくつに分ければよいとか、或いは立体的には500mbより300mbがよいとかがわかってくるだろう。現在は特に目ぼしいところしかやっていないので、他のことはわからない。やる必要はあると思う。

J：現場でやっていると、波数4、5程度の波の位相は非常にきれいに移るが、振幅の変化が大きくどうにもならなくなることがよくある。その辺については？

K：追いかけても、振幅の予想ができないと実際の予報には利用できないということだと思う。統計的にはあまり有意とはいえることではないのだが、波によっては低指数のときに——たとえば *transient part* だが——傾向として振幅が大きくなる。逆に高指数のときには小さくなる。しかし、それがどの程度予報できるかわからない。*Zonal mean* の予報ができれば、傾向として、ある波数たとえば高緯度の波数1の波の振幅が非常に増大し、しかも西進傾向が強ければ、日本に影響するだろうといったことも予報できるだろう。移動についてもそうだが、どの波の振幅が増大するかということを予報するのは実際には非常にむずかしい。

F：超長波の不安定理論は、将来どういうふうな考えで究明されていくのだろうか。

C：気象力学の方をふりかえてみると、たとえば *baroclinic wave* の不安定理論は、 β -plane を使ってやっているわけである。しかし、超長波の場合地球が球であることがどの程度影響があるものだろうか。そういうことを考慮した理論は非常に少ない。

波数1～3の超長波は β -planeだけではどうしても取り扱えない。そういうことが超長波の理論の進展をおくらせているのではないか。 β -planeの場合は *eigen function* が簡単であるから取り扱いやすかった。

ところが、球形になると理論的に取り扱いにくい。それはあまりなじみのない *eigen function* を扱わねばならないためだろう。

しかし、将来はもっとやられていいのではないかと思う。私自身は *Hough* (ハフ) *function* を使った理論に興味をもっているが。

A：あとブロッキングの話が残ってしまった。

杉本氏の解析では、波数3の波が非常に重要な役割りを果しているということであった。しかし、一方では波数2の波が主役となっているという解析例や、場合によっては2と3の波が交代でブ

ッキングの前後で入れかわって主要な役割りを果しているといった例も示されている。これらについて討論すると面白いのだが、残念ながら時間不足のためこれらについてはいずれまた機会を改めて行いたい。

編 集 後 記

- *L. F.* 会員のみなさん 明けましておめでとうございます。新しい年 1976 年がスタートしました。まだ汚れてない日めくりのカレンダーが 366 枚いろいろな可能性を秘めている日が前途にあります。わが *L. F.* グループも長期予報の科学的予報の可能性を目指して努力したいものです。
- *NCAR* の笠原さんが帰国した機会を利用させていただき、笠原さん、杉本さん、井さん、それに座長を引き受けてくださった菊地さんのご協力により談話会を開催しました。第 14 巻第 2 号はこの談話会の要旨をまとめたものです。
- 最近の諸物価の値上がりは異常気象をものぐ異常ムード、罪のない本誌の発行にも及んでいます。
- とにかく、会費を上げずにと *L. F.* グループ役員一同日夜努力しているものの、これに追いつけず、郵送料の値上げ分だけでも次年度分から会員のみなさんに負担していただくようになるかもしれません。具体案については、本年度の経理状況をみて、追ってお知らせしたいと思っています。何分ご理解のほどお願いいたします。
- その他ご意見がありましたら編集係まで。
- なお、笠原さんの講演要旨と自由討議の内容については、編集部でまとめたあと、2～3 の方に目を通していただきました。誌上を借りてこれらの方にお礼を申し上げます。

(H. T.)

)

