

超長波のシンポジウム (2) から*

窪田 正 八** 相原 正 彦***

[I]

超長波のシンポジウムも第2回目を迎えて何となく楽しいものになってきた。予報部談話会と学会の共催ということもユニークな色彩をおびているゆえんであろう。

まだ、私が研究所にいた頃、談話会の世話人をしておられる安藤さんから超長波について何か話をしてほしいと頼まれたのが事の起りであった。

ちょうど電計室の新田さんがグロスベッターにまとまった小論を書かれたばかりのときであった。私もそれを読んでいて、私のような古手が話すより新田さんのような新人に新しい眼でみた問題を話していただいたほうがよいのではないかといい、おことわりした。

それで事は済んだものと安心していたところ、秋も深まった41年のことだったと思う。また、安藤さんから電話がかかってきて「岸保さんと相談したところ、学会と共催にしたい。ついては、今後どのようにしたらよいか相談したい」ということであった。事の意外な発展に多少の愕きはあったものの昔懐かしい思いもあって本庁に出かけた。

詳しいことは忘れたけれども、現業の人にはそういう形での話あいは苦手だし、一種の complex もあるということから、第1回は新田、廣田の両者に話題提供者になって頂いたようにおぼえている。

その時、すでに予報者と力学をやっている人たちとの間に共通の広場をもちたいという望が強かった。その時、感じた歯がゆさも今回の朝倉、杉本、次回予定の藤範の皆さんの参加で多少はほぐれてくるのではないかと思うが、相変わらず予報者側の発言の少ないのは淋しい。兎に角、息の長い集まりにし、出来たら作業グループに

まで発展させたいという望は今ももちつづけている。しかし、第1回と第2回の内に約1年の年月が流れているのをみてもわかるとおり、気を長くしてじっくりやらないと、折角の楽しい集まりをふいにしてしまう恐れがあるように思う。

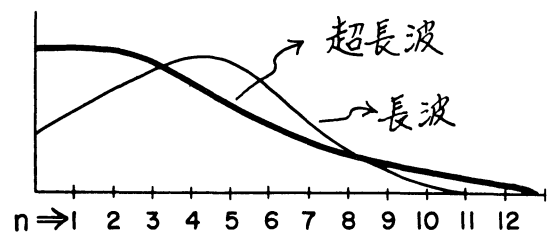
以下、今回のシンポジウムの話題の中から、記憶にあることを2、3述べてみたい****。

(1) 北緯 60°N 辺を境として、気圧変動その他超長波に関連した気象変化にいちじるしい相違がみられる。定性的には、古くからいわれてきたところであるが、成層圏の2-セル、対流圏の3-セルに関連しているのではないかというスペキュレーションがたしからしきをもって語られていた。

朝倉さんが提示された超長波パターンの垂直構造をみても、ある程度うなずけるような気がした。エネルギー構造その他、より一層の定量解析の進展を期待したいと思った。

(2) 超長波とは何かという命題は前回にも出された。理論的には $L=10^7$ m のオーダーという形で処理され、スケール・アナリシスなどではそれなりの役割を果しているけれども、解析ないし予報者の側からみると必ずしもそれほど明確であるとはいえない。

朝倉さんは、一応月平均パターンから高示数型、低示数型に分けて、様々な性質を調べておられた。たしかに代表性、定常性、スケールといった条件を満しているものをいくつか決められれば、現業的には恐らく相当有用であろう。定量的に扱いたければ、適当な波数空間で表現できる筈であるから、フーリエないし経験的または自然直交関数系で表現していくのも面白いと思う。



第 1 図

* Review of Symposium on Ultra-long Wave (II)

** S. Kubota, 気象庁予報部電子計算室

*** M. Aihara, 気象研究所予報研究部

**** 以下は一応、天気 vol. 15, No. 12 の予稿集を読んでいて下さるものとしての紹介ないし印象である。

—1969年2月21日受理—

この辺のところは、直交関数系に展開して $n=1, 2$ など個別に扱うのと違うところで、パターンをエネルギースペクトルになおして模式的にみると第1図のようになっているのであるが、実際の取り扱いでは、これよりもっとあいまいで、物理的に意味のあるパターンを抽出して、それを表現するスペクトル分布を用いないといけないのかもしれない。

(3) エネルギー・ダイヤグラムないしエネルギー変換については、前回にひきつづいて多くが語られたが、実際の大气中に観測される流れとモデル大气中の流れとの対比が興味深く討議された。スマゴリンスキーが外力なしのモデルで実験したときのエネルギースペクトルと、実際の大气のエネルギースペクトルとを対比してみると、数値実験では超長波を充分出しきっていないのではないかというのが相原さんの意見であった。もしそうならば、超長波の成因、維持の機構の主役は地形と熱ということになってくる。私なども、莫然とそんなものだろうと考えていたし、増田さんもそちら側の意見だった。

しかし、その図をみせられたとき、おやおやという感じをもった。実際の大气中のスペクトル分布は様々で、数値実験でえられた結果に近いこともあるし、高度にもなる短波の減衰もこの実験でよく表現されているようにみられた*。案外、大气自身に起長波を作り出す力が期待できそうである。新田さんもその点を指摘され、私も問題にした。

ただ、ここには一つの落とし穴があることを忘れてはならない。(2) のところでもふれておいたように、超長波というものがそれほどはっきりせず、スペクトル分布についての明確な区別ができていないことである。

外力が重要な働をしているならば、エネルギーだけでは不十分で、位相をみて海水温、地形などと対比しながら考えていかなければならないのではなからうか。

電子計算室では北半球傾圧モデルをルーチン化する努力を進めているが、上記の問題もそれによって自分のものとして考えていくことができよう。シンポジウムの場においても強い要望が述べられた。

(4) 超長波と長波(サイクロン波)とのエネルギーのやりとりについては解析ではかなりの結果がでていますが、それをとり入れた不安定理論は確立されていない。超長波にしる長波にしる、線型理論から期待されるものを抑圧するのだろうか、加速するのだろうか。

また、エネルギーをみるにしても位置エネルギーの帯

状平均値の作成に対し低緯度大气が果している役割についても不明確な点が多い。雲分布と放射の効果が大切なのだという考もある。

以上で座長としての責任文を果すつもりでいたのだが、電計室の意見もあり、前回の予稿集にはなかった珠玉のような話が相原さんによって語られたものをたって氏にお願いして以下に加えて頂いた。 [窪田正八]

[II]

1. はしがき

波長数千キロメートルの高低気圧波が予報や理論の対象となり、1950年代において一応の目的が達成された。更に予報領域を北半球範囲に広げたとときに、いわゆる、超長波、地球半径よりも長い波長をもつ波、の問題が現われてきた。単純にロスビーの公式を適用すると、すみやかな波の西進が計算されるが、経験ではそうではない。これらを手始めとし、対流圏、成層圏内の現象に関連して超長波の果す役割の重要性が認識され研究されるようになってきた。

ここでは、超長波の力学的側面を考察してみることにする。ただ、問題を明瞭にするために、中、高緯度の対流圏に限り、季節も超長波が顕著に現われる冬期を考える。

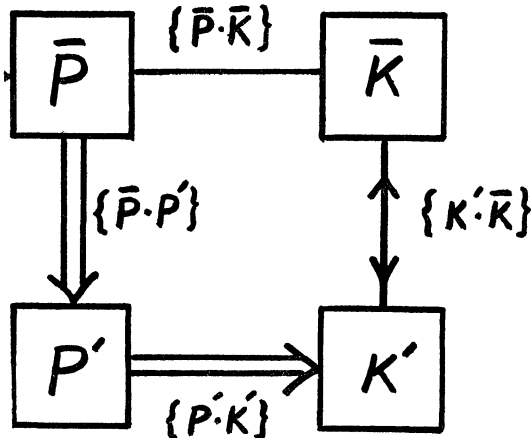
2. 解析的研究

近年、観測網の充実と資料の蓄積によって、詳しい定量的解析がされるようになってきた。超長波スケールにおける定量的解析の結果は、必ずしも確定的なものではない。それは年又は月によっても解析結果に変動がみられるからである。

擾乱の様子をみる一つの目安として、その運動エネルギーの南北成分がある。冬季にその緯度分布をみると北緯50度付近を極大に、その南北に向って減少している。

また、緯度圏に沿う波数分析では、波数2, 3, 4付近に極大がある。一般流との運動、位置エネルギーの交換、及び、擾乱の位置エネルギーから運動エネルギーへの交換を波数別に調べると、超長波が大きな役割を果していることを示している。年、または、月毎にも卓越する波数に多少の変動はみられるが、超長波が大气の循環に果す大きな役割については変りがない。同じことを少し違った立場からみた、擾乱の運動量、顕熱の南北輸送量を波数別に分解してみても、超長波が卓越していることがわかる。一般場と超長波の間のエネルギーの流れを図的に表現すると第1図のようになる。超長波のスケールでも、高低気圧波の場合と同様に傾圧性が支配的であ

* II 相原の第4図 (a) 参照。

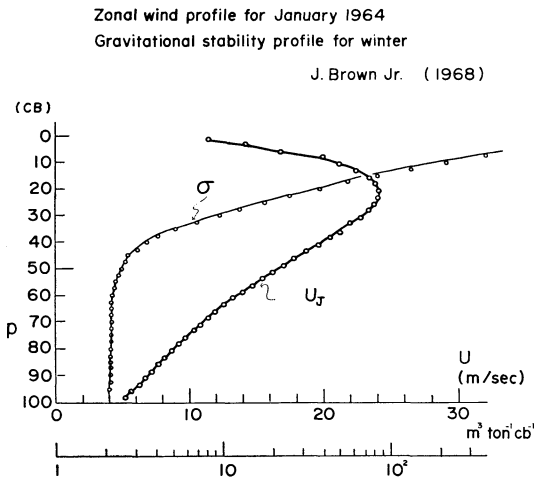


第1図 超長波のエネルギー変換を示す模型図

ることを示している。構造上の特長としては、トラフの軸が垂直西方に傾斜して、その振幅は圏界面付近で極大となっている。

3. 安定度理論

気象力学において、擾乱の発生、維持の機構を研究するのに安定度理論があり、これは中緯度の高低気圧スケールの擾乱の発達、減衰の条件や構造をよく説明している。これを超長波スケールに適用して、解析の結果が示す実際の構造、運動量や顕熱の輸送能力、およびエネルギー変換をどの程度説明するか調べてみよう。これまで

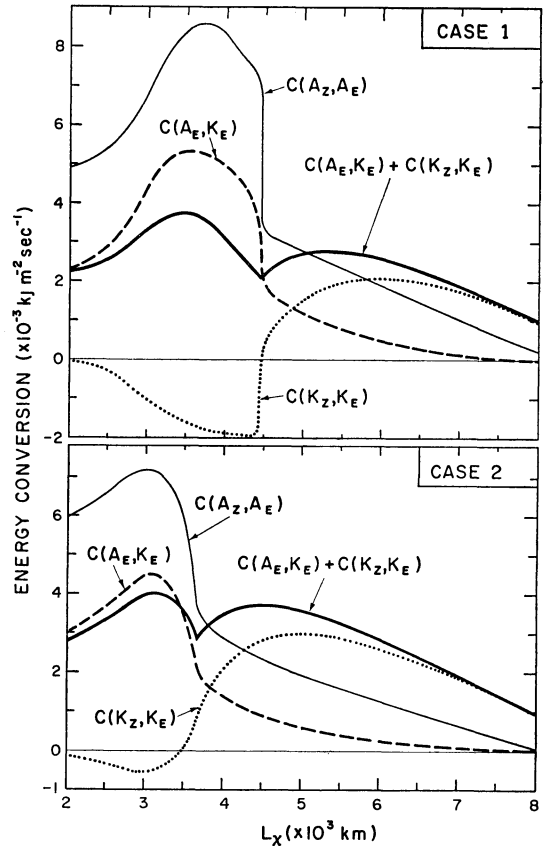


第2図 (a) 冬季の一般流、及び垂直安定度の垂直分布。

$$U(p, y) = KU_J(p) \left(1 - \cos \frac{2\pi}{W} y\right)$$

$$K = \left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{J.A. Brown Jr (1968)}$$

の理論計算の多くは、一般流、および、垂直安定度の分布については比較的簡単な分布が仮定されてきた。ここでは実際の平均状態に近い分布を仮定して求められた最近の計算結果について検討してみる。第2図にその結果を示す。この結果も含めて、これまでの理論的結果では、超長波の構造、とくに、トラフ軸の西方傾斜とそれに伴う顕熱の北向き輸送をある程度説明する。しかし、更に立ち入ってみると、擾乱のポテンシャルエネルギーを運動エネルギーに変換する過程を説明しきれない。軸の西方傾斜は計算されるが、上昇流と温度場の位相はほぼ90°はずれて、運動エネルギーを作り出せない状態になっている。熱、摩擦等の作用を含まない断熱系の理論的取扱いは超長波スケールにおいてポテンシャルエネルギー変換過程に難点がある。



第2図 (b) 第2図 (a) の分布に対する発達擾乱のエネルギー変換図

横幅 $W = 3351\text{km}$ (CASE 1), $W = 2682\text{km}$ (CASE 2)

(K_z, K_E) 一般流及び擾乱の運動エネルギー
 (A_z, A_E) 一般流及び擾乱の位置エネルギー

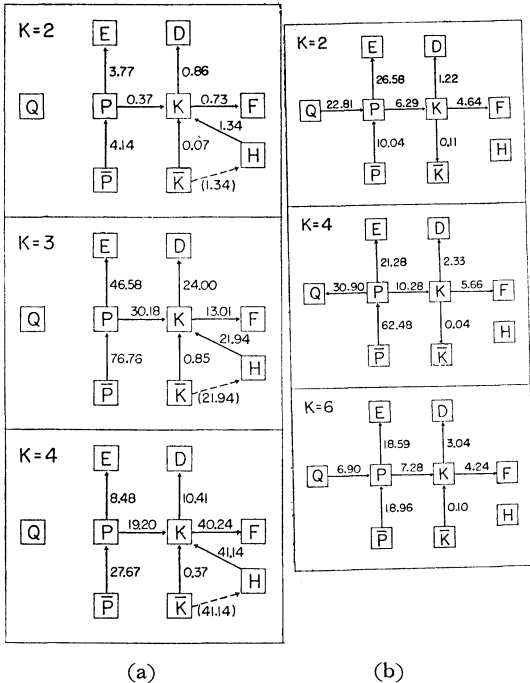
4. 外力により作られる超長波

冬季における超長波のトラフの位置がほぼ地理的に固定し消長していることから、地形、および海陸に対応する冷熱源により作られた強制波ではないかとは誰しも考える所である。地形、および、海陸に対応する単純な形の冷熱源分布を仮定した定常波の構造の計算が、これまで多くの人によってなされてきた。それらの計算結果によると、何れも、冬季の平均的な一般流分布の下での定常波の構造、即ち、トラフ軸の傾斜、地形、冷熱源に対する相対的位置は冬季の平均天気図の状態と比較してよい結果を与えているようである。垂直に僅か2層程度の自由度しかもたない粗いモデルでも、地形、冷熱源を入れて計算すると定性的に定常超長波の様子が出てくる。最近の傾圧安定理論は、垂直の自由度を増すと超長波スケールに弱い傾圧不安定の存在することを示している。これに対して2層モデルは垂直の自由度が少ないので、超長波は安定となっている。このことから、外力が超長波をつくり出す主因と考えることができよう。また、定常超長波について運動、および位置エネルギーの変換を調べてみると第3図に示す通りである。解析が示してい

る実際の様子(第1図)に近いものが現われてきている。

5. 数値実験

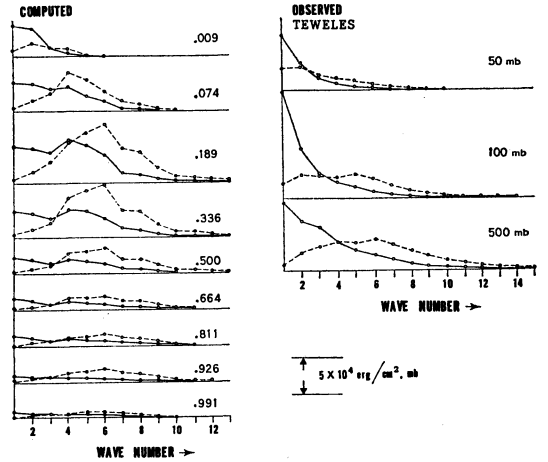
これまでの解析結果や、理論計算は冬季の超長波を支配する因子は何であるかについて示唆を与えているようである。その当否を知る具体的な方法は、それらの物理的因子をとり入れて、実験的に超長波を再現して見ることであろう。それには、最近の気大循環の分野で行なわれている数値実験が有効である。最初の Phillips の数値実験は、気大循環における高低気圧スケールの擾乱の役割と一般場との関係を見事に示した。これを拡張したものに、近年の Smagorinsky 等の9層モデル(dry model)がある。この数値実験では、東西方向は一様で



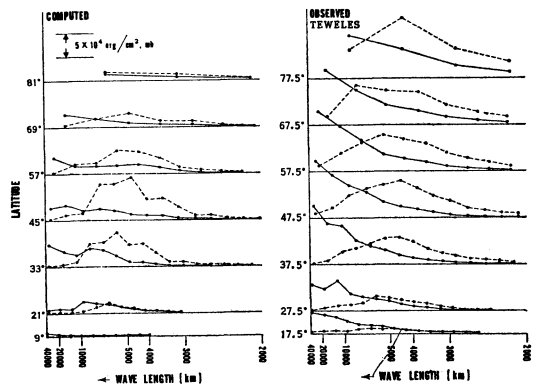
第3図

- (a) 山により作られた超長波のエネルギー変換図
- (b) 非断熱効果による超長波のエネルギー変換図

村上(1967)



(a)



(b)

第4図 Smagorinsky 9層モデルで計算した擾乱の南北運動エネルギーの波数分布(左)と実測(右)

- (a) 垂直分布
- (b) 緯度分布

南北の加熱, 冷却によって大循環が維持されている. 計算結果中, 擾乱の南北運動エネルギーのスペクトル分布を第4図に示す. 東西に一樣なモデルでは波数6に極大をもつスペクトル分布を示す. 比較にある Teweles の結果は, 1年間北半球に亘って平均されたものである. このため冬季の超長波を議論するには適当ではないように思われる.

東西方向に海陸分布, および地形効果を取り入れた大循環モデルの結果は, これに対して超長波の存在が明瞭にみられる. 平均の海面気圧では, 波数2のパターンが卓越していることが認められる.

したがって, 東西方向に分布した外力によって, よりよく超長波が作り出されると考えられる.

6. おわりに

超長波の問題をまとめてみて感じることは, その成因についてははっきりと結論付けるに足る結果の少ないことである. 解析の結果が, 年や月によっても変動のあることにもよる. その中で, 冬季対流圏内にみられる超長波の示す特長の一つとして, 一般場から擾乱への位置エネルギー変換とその運動エネルギーへの変換が大きいことが挙げられる. 熱, 摩擦を含まない不安定理論(その殆んどが β 平面における地衝風理論)は超長波は傾圧的

に安定, もしくは弱い不安定を示すのみで, 解析の示す $\{P \cdot P'\}$, $\{K' \cdot P'\}$ における大きいエネルギー変換を説明しない. 最近の超長波の時間変動部分に関する解析結果を参考にしつつ, 熱, 地形を含む超長波の安定度理論を考えてみる必要もある. その際, 可能ならば, 一般流, 超長波, 低気圧波, 等の相互作用も含まれることが望ましい. 数値実験では, 加熱関数の与え方が一番問題であろう. もし, 大気運動に及ぼす熱過程で, 現在採用されているのと違った種類のものが見出され, それが超長波スケールの運動に有効に作用するものであれば, これまでの推論が全く変わる可能性も充分にある.

ここでは議論を対流圏内の超長波に限定してきたが, 成層圏の超長波の研究も近年多くなってきている. 対流圏成層圏間の相互作用, 即ち, 対流圏よりのエネルギーの伝播を重視する Charney-Drazin, 等, の研究や, 光化学反応, 放射過程の影響を考えた Lindzen 等の安定理論, 等があり, 今後の問題であろう.

ただ, 現在の所, 冬季中高緯度の対流圏内に見出される超長波については, その原因を内部不安定よりは, 外部強制力にもとめた方が幾つもの特長をよりよく説明するように思われる.

[相原正彦]

[新刊紹介]

関口 武編, 現代気候学論説

A 5 版 262 頁 定価 2,300 円

本書は, 日本の気候学者の第一人者である東京教育大学の福井英一郎教授の停年退官を機縁として, 門下の新進気候学者たちがまとめたものである.

これを読んで感ずることは, 一体気候学の領域はどこまでだろうか, 別な表現をすると, 気候学の定義はどのようにしたらよいだろうかということである. 本書は地理畑の学者が中心になって書かれているので, その香が出てはいるが, いままでの気候学とは全く違った分野まで立入っている.

各章の表題, 著者はつぎの如くである. (1) 日本における気候学の進歩(関口武), (2) 地球表層の気候学(新井正), (3) 気候分類に関する諸問題(前島郁雄), (4) 季節論(倉嶋厚), (5) 日本の天気と大気大循環(朝倉正), (6) マクロ・スマールの総観気候学(吉野正敏), (7) メソ・スケールの総観気候学(河村武), (8) 最近における気候変動研究の発展について(土屋巖), (9) 設計, 計画に利用される気候設計(鈴木栄一), (10) 大雨の気候学(水越

允治), (12) 河川水温序説(西沢利栄).

この表題からわかるように, 最近の気候学の第一線のトピックスを挙げ, 各章の筆者が日頃の研究を土台にして書いたものであり, 章末には多数の文献も載っている. したがって, 本書は教科書というよりは, 論文集的な香がする. このような点から, これから初めて気候学を勉強しようとする方々には, とまどい感ずるもかもしれない. しかし副読本としてすばらしいと思う.

現在は科学の発展の一つの変換期にあり, 気候学も例外ではない. 本書はそれを意識して書かれたものであり, 新しい気候学に脱皮しようという意気込みがありありと窺われる. 文章はわかりやすく, 多少気候学をかじったことのある人達には興味ある多くの内容を含んでいる.

この種の本の性質として, 中には紹介者と意見を異にする部分もないわけではないが, 気候ばかりでなく, 気象一般に関心をもっておられる方々にも, 是非一読おすすめしたい著書である.

(高橋浩一郎)