

第2図 50及び500mb面を経度方向に調和解析した結果より求めた波数3のプロファイル。1958年1～2月及び1958年12月～59年2月の日々の値。(Benwell, 1966)

Kung (1966) は、北アメリカ大陸上の実測の風速や高度から運動エネルギー K に関する次式の右辺の各項を一年間にわたって地上から 50mb 面まで計算した。

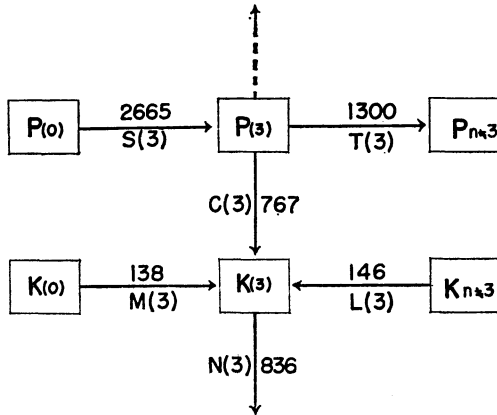
$$E = -\overline{V \cdot \nabla \phi} - \frac{\partial \overline{K}}{\partial t} - \frac{1}{A} \oint_C \overline{VK} \cdot \mathbf{n} ds$$

消費項 生成項 局所変化項 水平の出入りの項

$$- \frac{\partial}{\partial p} \overline{\omega K}$$

垂直輸送項

ここに $(\overline{\quad})$ は領域全体にわたる平均、 A は領域の面積、 \mathbf{n} は境界における法線方向の単位ベクトルである。第4図は、これらの諸量の一ヶ年平均の鉛直分布であ



第3図 1963年1月の波数3の波に対するエネルギー収支。相互作用に関する項の単位は $10^{18} \text{ergs} \cdot \text{sec}^{-1}$ 。(Murakami and Tomatsu, 1965)

る。資料はかなりよく処理されているので、この結果には相当の信頼がおけるだろう。ここで運動エネルギーの生成項 $-\mathbf{V} \cdot \nabla \phi$ に注目してみよう。この項は、運動方程式に \mathbf{V} を乗じて運動エネルギーの式をつくる時、気圧傾度力から出てくる項であって、気圧傾度力のなす仕事をあらわす。更にこの項は

$$-\mathbf{V} \cdot \nabla \phi = -\nabla \cdot \mathbf{V} \phi - \frac{\partial}{\partial p} \omega \phi - \omega \alpha$$

と変形される。右辺第1項は領域の境界を通るジオポテンシャル ϕ の水平方向の出入り、第2項はジオポテンシャルの垂直輸送フラックスの発散による、運動エネルギーの垂直方向の再分布、最後の項は位置エネルギーと運動エネルギーとの間の変換をあらわす。もし気圧 p について積分した気柱を考えれば $-\omega \phi$ が気柱全体から出たり或いは入るエネルギー輸送をあらわす。この場合は、どの項がどのように鉛直分布に寄与しているかわからないが、少なくとも運動エネルギーの生成のひとつのピークが圏界面附近にあることは注目に値する。年間を通じて平均的にみても、下部成層圏とが相互に関連しあつていことが推定される。もうひとつ指摘したいことは、この項に比べて運動エネルギーの鉛直輸送が小さいことで、これは殆んど無視できる。数値解析の結果はいつでもそのことを示している。

解析の立場をまとめてみよう。ここに掲げなかった仕事を含めて下部成層圏と対流圏との間で

- (1) 波数3～6の超長波、長波の間の対応がよい。
- (2) 数値解析の結果からみてジオポテンシャルの鉛直輸送 $\omega \phi$ を通じて、通常対流圏から成層圏に向

て擾乱の運動エネルギーが送られてくる。他の項による輸送は少ない。

- (3) 擾乱の有効位置エネルギーの鉛直輸送もかなりみられるが、(2)の運動エネルギーの輸送に比べると2次的である。

シノプティックな経験はもっと多岐にわたっているであろうが、ここでは一応上の事項を確認して次にすすもう。

2. 理論の立場から

今から3年程前に気象学会の春季大会で成層圏に関するシンポジウムが開催され、その要旨が「天気」に出ている(須田・朝倉・村上・根山, 1965)。その席上、村上多喜雄氏によって既に擾乱の垂直伝播について論じられている。それ以後、対流圏と下部成層圏の相互作用について、どれだけ理論的進歩がみられたかに焦点をおいてながめてみよう。当時の時点で垂直伝播又は相互作用の理論は Charney と Drazin (1961) の理論につぎる。(村上氏は中国の陳(1961)の仕事を紹介しておられるが、両者の間に本質的な差はない。)この辺から入っていこう。

2.1 定常擾乱による相互作用

我々が数値予報に用いる準地衡風近似の予報方程式で、うず度方程式と熱の式の間で上昇速度 ω を消去するとうず位に関する方程式が得られる。擾乱に関して、例えば風の南北成分 v について

$$v = V(z) e^{i(kx + ly - \omega t)}$$

という形の解を仮定すれば、 V についてうず位方程式から

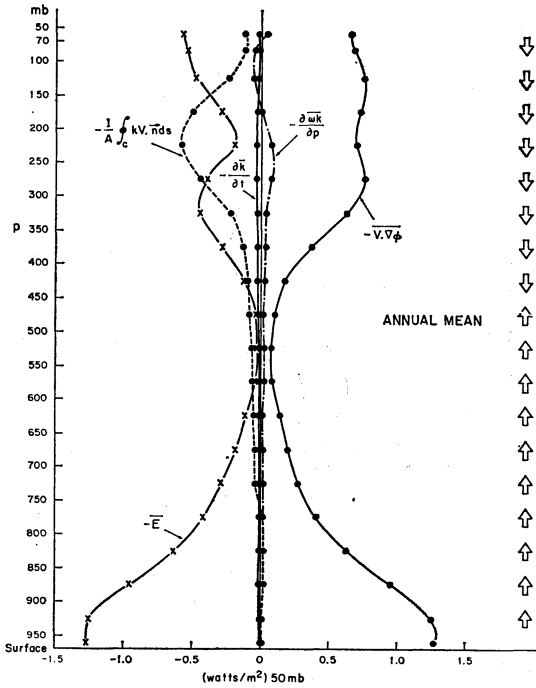
$$\frac{d^2 V}{dz^2} + \mu^2 V = 0$$

の形の式が導かれる。ここに η は垂直座標で、 μ^2 の符号の正負に応じて擾乱が透過するか、反射するかがわかり、方程式を解かなくてもその形から、擾乱がどの高度迄存在しうるか、即ちどの程度鉛直に伝播しうるかが推測される。この μ^2 は、一般流の垂直構造と擾乱の波数に關係している。Charney と Drazin や陳は、定常性の波について実測値から μ^2 の垂直分布を一年を通じて計算している。両方の結果を集約すると次のようになる、

- (1) 冬の高緯度では超長波は自由に対流圏と成層圏の間を伝播できるが、長波は遮断されてしまう。
- (2) 冬の中緯度では超長波もジェットの所で遮断される。伝播できるのは、一般流 u が

$$0 < u < U_c \sim 40 \text{m/s}$$

を満足する場合だけが、それが冬は u が強すぎるため満たされないのである。

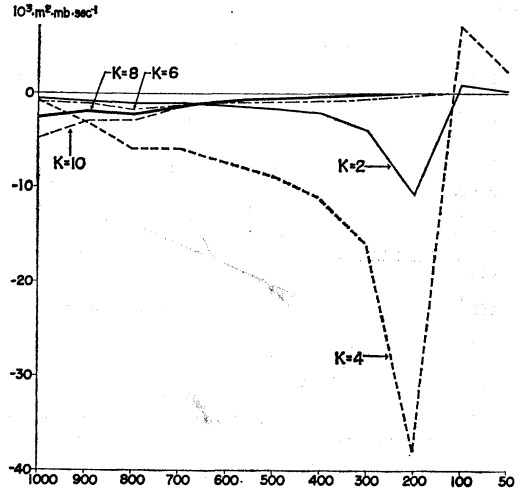


第4図 運動エネルギー・バランスの一年平均の垂直プロフィル。(1962年2月から1963年1月迄の資料)。矢印は ωK の方向を示す。(Kung, 1966)

- (3) それにひきかえ、春や秋には、中緯度で上の条件が満足されやすい。夏になると成層圏が東風になってエネルギー伝播は起りえない。
- (4) 以上をみてもわかるように、超長波が対流圏と成層圏の間のエネルギーの垂直伝播に重要な役割を果している。ここでの超長波は定常性の擾乱で、大規模な地形や熱冷源分布によって生じるものと考えられる。

Murakami (1967) は数値計算的にこの問題を扱い、より一般的な場合について検討した。第5図はその結果の一例で、 $35^\circ N$ 附近の一般流と静的安定度の鉛直分布を与えて、山に起因する波動のそれぞれの波数に関して擾乱のジオポテンシャルの垂直輸送フラックス $\omega'\phi'$ を計算したものである。この場合、波数4が大変貢献していることがわかる。Murakami の主要な結論は次の通りである。

- (1) 山によって起される定常擾乱の特長は：(a) 波数1, 2, 3の超長波は大気上層でのみ卓越するが、波数5~10の長波は下層で卓越し、その振幅は高度



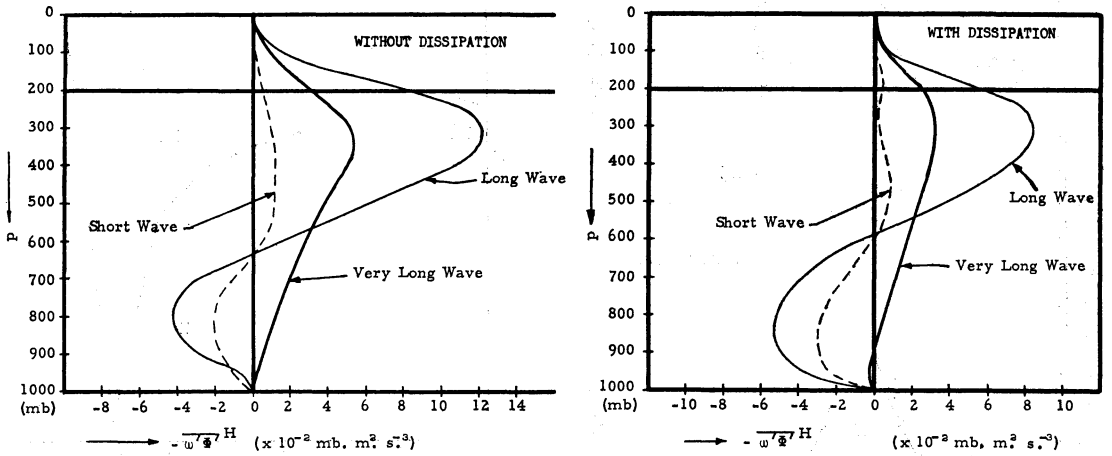
第5図 山に起因する波によるジオポテンシャルの垂直輸送フラックスを波長について積分したもの、 $\frac{1}{g} \int_0^L \omega'\phi' dx$ の鉛直分布を波数毎に示す。単位： $10^3 \text{ m}^2 \cdot \text{mb} \cdot \text{sec}^{-1}$ 。(Murakami, 1967)

と共に指数的に減少する、(b) 共鳴波(波数3ないし4)によって上向きのエネルギー輸送が起る ($\omega'\phi' < 0$)。上向きの垂直輸送は $35^\circ N$ で卓越するが、 $65^\circ N$ ではきわめて小さい。この垂直輸送は、主として下層における帯状位置エネルギーからの転換によって起っている。すなわち山でできる定常擾乱、帯状流から位置エネルギーをうけとり易いように垂直構造を規定している。

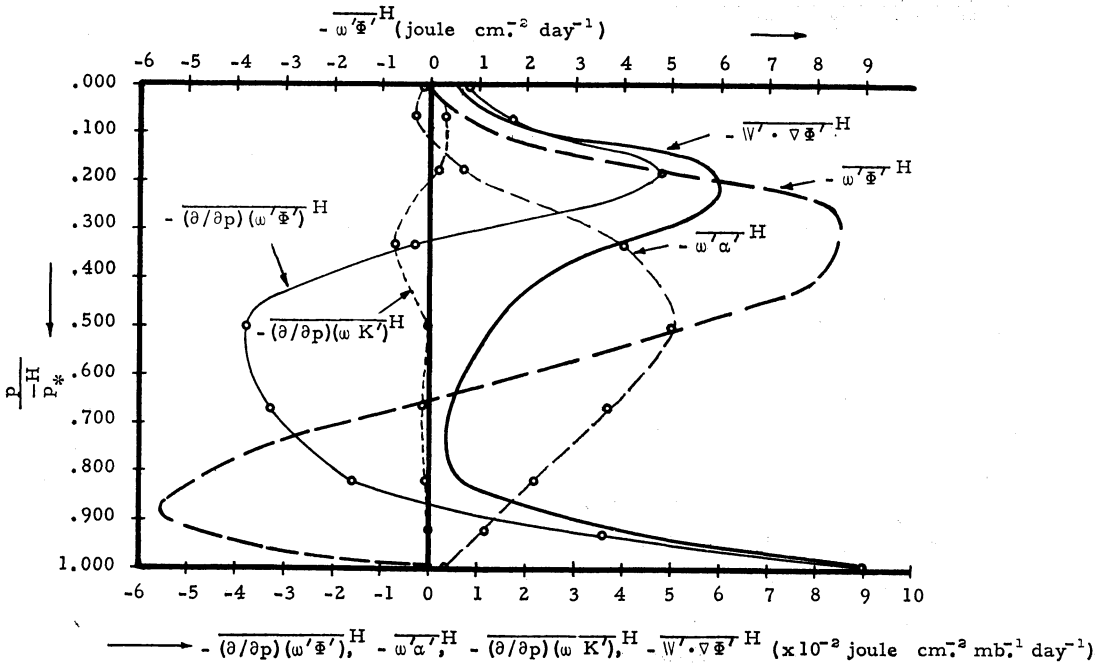
- (2) 熱による定常擾乱は：(a) 波数4の波(ほぼ共鳴波)は熱によって位置エネルギーを失う。熱によって起された波であるにもかかわらず、位置エネルギーは直接熱からではなく、帯状流の位置エネルギーからの転換によって維持されている、(b) $35^\circ N$ では $\omega'\phi'$ は常に下向きである。 $60^\circ N$ では超長波により上向き輸送が起る。即ち山と熱とではエネルギーの垂直輸送に及ぼす効果が緯度により大きく違う。

2.2 移動性擾乱による相互作用

地形や熱冷源によって発生した超長波も、一度出現するとその波の構造や一般流の状況に応じた運動をはじめる部分もあるし、大気中のバロクリニック不安定度によって超長波が発生する場合もあるだろう。後者の要因はシノプティック・スケールの長波になると著しく、殆ん



第6図 解析的に与えた超長波, 長波, 短波を線型多層バランス・モデルを用いて24時間予報したときのジオポテンシャルの垂直輸送フラックスの空間平均 $-\overline{\omega'\phi'}$. 但し中緯度での風速と静的安定度分布に対するもので, 単位は $10^2 \text{mb} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-3}$. (Nitta, 1967)



第7図 大気大循環の数値実験結果の70日平均から求めた気圧傾度のなす仕事 $-\overline{V' \cdot \nabla \phi'}$ とその成分値の垂直分布. (Smagorinsky, Manabe, and Holloway, 1966)

ど大部分パロクリニック不安定度によって発生, 発達している. こうした非定常な擾乱は, 対流圏と下部成層圏の間の相互作用にどういふ役割を果しているであろう

か.

筆者 (Nitta, 1967) は, 長波, 超長波について, その構造とエネルギー的な相互関係を数値実験的に調べたが

が、その結果次のようなことがわかった。

(1) エネルギーの鉛直輸送の向きは、擾乱の鉛直軸の傾きによってきまる。中緯度の対流圏と圏界面附近の層では、垂直の風速シア $\partial U/\partial p$ が負であるが、その場合軸が高さと共に風上側（偏西風帯では西側）に傾いているとき上向き輸送となり、下部成層圏の擾乱の運動エネルギーを増加させる。反対に風下側に傾斜しているときは向きも逆向きとなる。中緯度では南北の熱源分布からの要請で風上側に軸が傾く方が卓越するから、個々の移動性擾乱もエネルギーの上向き輸送に貢献している。

(2) 輸送量の絶対値は、波長、 $\partial U/\partial p$ 、コリオリ・パラメーターに関係している。第6図には $-\overline{\omega'\phi'}$ （擾乱についてのジオポテンシャルの垂直輸送フラックスの空間平均）の鉛直分布をそれぞれ代表的な超長波、長波、短波について求めたものだが、 ω' や ϕ' の値には中緯度の状態に対する線型多層モデルの24時間予報結果を用いた。摩擦の有無に関係せず超長波、長波の寄与が顕著であることがわかる。

(3) 移動性の長波は、垂直風速シアが大きい程発達するから、その意味では偏西風が強い程より多く垂直上方に（中緯度では）擾乱の運動エネルギーを輸送していることになる。成層圏に入ると大きい静的安定のために長波がフィルターされて上方へ浸透できないが、少なくとも下部成層圏全体のエネルギー収支に対する対流圏からの相互作用においては長波の役割は重要である。

個々の波についてみてきた役割が、果して統計的にみた対流圏と下部成層圏の相互作用でどの程度生かされているだろうか。ここでは大規模な地形や熱冷源分布のない場合についての気象大循環の数値実験結果をみることにしよう。第7図は Smagorinsky, Manabe, and Holloway (1965) の結果のひとつである。先に Kung (1966) の仕事で示した相互作用に関連した諸量の鉛直分布の70日平均であるが、Kung の実測値との対応も大変良いし、Nitta の個々の波の役割とも矛盾せず、上に推定したことが正しいことを示している。

3. これからの方向

人によって色々の意見があることだろう。筆者は次のように考える。

研究として

(1) 波同志の非線型的相互作用をとり入れた上で、もう一度対流圏と下部成層圏との相互作用を考え

る。

(2) 超長波について、その力学、熱力学を総合的に調べる。数値的シミュレーションの結果を解析してゆくことも必要となろう。

(3) 低緯度での相互作用を明らかにし、全地球的な規模でみた相互作用のイメージをつくる。

(4) 上部成層圏や中間圏に及ぶ相互作用を調べる。

予報技術として

(1) 従来のシノプティックな解析結果を統合整理してゆく。

(2) 下部成層圏を含んだ多層の数値予報モデルをつくり、実際に数値予報してゆく。結果を解析することによってより深く両者のつながりが理解されてゆくであろう。

参考文献

- 1) Benwell, G.R.R., 1966: The behaviour of the first six zonal wave numbers at 50 and 500 millibars during some winter months in 1958 and 1959, Meteor. Mag., 95, 33~47.
- 2) Charney, J.G. and P.G. Drazin, 1961: Propagation of planetary-scale disturbances from the lower into the upper atmosphere, J. Geophys. Res., 66, 83~109.
- 3) Julian, P.R. and K.B. Labitzke, 1965: A study of atmospheric energetics during the January-February 1963 stratospheric warming, J. Atmos. Sci. 22, 597~610.
- 4) Kung, E.C., 1966: Large-scale balance of kinetic energy in the atmosphere, Mon. Wea. Rev. 94, 627~640.
- 5) Miyokada, K., 1963: Some characteristic features of winter circulation in the troposphere and lower stratosphere, Tech. Rep. No. 14, The Univ. of Chicago.
- 6) Murakami, T. and K. Tomatsu, 1965: Energy cycle in the lower atmosphere, 気象集誌, Ser. II, 43, 73~89.
- 7) Murakami, T., 1965: Energy cycle of the stratospheric warming in early 1958, 気象集誌, Ser. II, 43, 262~283.
- 8) 村上多喜雄・渡辺正雄, 1965: プロッキング現象について, グロスベッター, 4, 1~25, L.F. グループ.
- 9) Murakami, T., 1967: Vertical transfer of energy due to stationary disturbances induced by topography and diabatic heat sources and sinks, 気象集誌, Ser. II, 45, 205~231.
- 10) Nitta, T., 1967: Dynamical interaction between the lower stratosphere and the troposphere,

Mon. Wea. Rev., 95, 319~339.

- 11) 新田 尚, 1967: 超長波の運動についての試論, OMEGA, 6, 1~28, 気象庁電計室有志.
- 12) 新田 尚, 1967: 成層圏と対流圏の力学的対流について——最近の理論的研究の展望. グロースベッター, 6, 10~37, LFグループ.
- 13) 関根勇八, 1967: Benwell の論文を主体としての対流圏と成層圏の長波の関連——とくに超長波の役割り——について. 東北技術だより, 32, 18~26.
- 14) Smagorinsky, J., S. Manabe, and J.L. Holloway, Jr., 1965: Numerical results from a ninelevel general circulation model of the atmosphere, Mon. Wea. Rev., 93, 727~768.
- 15) 須田 建, 朝倉 正, 村上多喜雄, 根山芳晴, 1965: 成層圏に関するシンポジウム, 天気, 12, 217~230.
- 16) 和田英夫, 1968: 対流圏と成層圏の相互関係(未発表原稿)

理 事 会 便 り

第14期 第16回常任理事会

日 時 昭和43年1月13日(土) 16.00~18.45

場 所 気象庁予報部長室

出席者 山本, 山元, 磯野(以上地方理事) 三宅, 桜庭, 神山, 根本, 岸保, 朝倉, 小平, 島山, 北岡, 小倉(以上常任理事)

報 告

1. 定款変更の事務書類は12月26日 東京都教育委員会に提出した。
選管委員は委員長河村四朗, 委員は中野, 嘉納, 清水, 樫根, 保科にきまつた。
2. 集誌: 外国人会員制について通知をだした。16ページを超えた分の Page Charge は 2,000 円とする。
3. 地物研連: 気象分科会は第11次南極観測はオゾン, 宇宙線などの外に極高気圧の形成という気象プロバの仕事をを行ないたいので, その計画を南極特別委員会にだす事になった。科研配分委員の投票はまだである。GARP の来年度予算は通らなかつた。

4. 学術会議: 有権者名簿もれをなくすために北岡, 神山, 岸保, 朝倉で具体案を相談する。原案神山担当

議 題
1. ベトナム民主共和国の気象界との学術交流について国際交流委員会で検討し, 疑問点を問合わせてみる。交流できる点は何かを研究する。

2. 学生会員について
学生の有志より, 申入れがあつた。それを基にして討論し, つぎのような問題点があげられた。次回はこの問題点についてさらに討論する。またそれまでに地方支部, 地方理事の意見を求める。

問題点

- (1) 大学生は経済的に余裕はなく, 奨学金, アルバイトで苦しい生活の貧しい子弟が多い。

(2) 気象学会は他学会と異なり, 大学に進学できずに気象官署に勤務している会員が多い。その負担によって学生の会員を優遇するのはおかしい, 少くとも片手落ちである。

(3) 学生会員を設けるとしたらその趣意は若い学会員の育成奨励におくべきで経済的要望は理由にならない。したがって権利の制限はしない方がよいのでなかろうか。

(4) 将来の気象学会を育てるための方策として必要なら, 新に学生で優秀な研究をしたものを対象として奨励賞などをだしたらどうか。

(5) 学生をして気象分野に興味をもたせることが第一でそのためには気象庁が魅力のある職場であることが第一の条件である。しかしそれは今すぐに達成されない。

(6) 学生会員の定義, 会費, 権利の制限, 事務処理などどうするか。

3. 韓国との集誌の交換

韓国だけでなく, 諸外国の研究機関への配布については学会から Name List をつけて気象庁図書課に申入れる。

学会の意見をまとめる。(小平理事担当)

4. 集誌のページ数の増加

実質的増頁を1月から行なう。

5. レーダ用語について

学会としてきめたいが他学会をみるとレーダー, レーダの両者がある。当面2本だてでゆく。

6. GARP 計画の推進につて, 文部大臣に申入れるなど P.R が必要なので, 学会としてまず要望書をだすなどの方策を考える。(小倉, 山本理事担当)