

超長波のシンポジウム(3)

気象学会講演企画委員会, 気象庁予報部談話会

1. 日 時 昭和44年6月25日(水)13時—17時
2. 場 所 気象庁第1, 2会議室
3. 話題提供者 窪田 正八: 超長波における強制波と自由波
岸保勘三郎: 超長波の西進について
藤範 晃雄: 超長波と週間予報

超長波における強制波と自由波*

窪 田 正 八**

1. まえがき

筆者がフーリエ解析を施し、大気の性質を調べようとしていた頃は、超長波という概念もなく、なんとなくロスビー波としては説明できない変な部分があるなどという感じてあった。今でいう超長波の領域の波の伝播を調べると、定常波と伝播波の分離が便利だし、伝播波について統計的にみると、ロスビー波ないしハウルウィッツ波で説明された。その時(10数年前になるが)は一カ月平均値をもって定常波と考え、それからの偏りを伝播波としていた。

当時、波数の大きいところは乱流学者の興味の対象となり、エネルギーの流れから逸散えとかかなり理論的研究が進んでいた。一方、超長波の部分はエネルギー論的には単なる記述に止まり、問題提起はむしろ位相の追跡、ないし波の伝播速度に注目することから初まった。超長波の異常西進に対する考察は新田の試論に初まり、今回のシンポジウムにおいて岸保が問題提起を行なっている。熱を与へてこれに対応する controlled experiment の結果が紹介される予定なので、強制波と自由波に関連ありそうな解析結果を以下にする。

2. 成層圏じょう乱のエネルギー源

第1図a, bはGFDの18層プリミティブ大循環モデルを用いた結果である。外力はなしとし、帯状対称流から出発し、5日後にランダムな気温分布を与えて積分したものである。

第1図aは一番上の層(5mb)の80日後の状態を示しており、bは140日目のものである。「極渦」のelongationのため、うず輸送による極向き熱輸送量は大きくなっていった。異常温暖期にみられる状態に似ている。

$-\omega'\alpha'$ と $-\partial\omega'\phi'/\partial p$ の変化(第2図)をみると、後者は前者の6倍以上になっている。したがって、この時の変形の主原因は下部からのエネルギー輸送(45°~70°)による強制力であって、傾圧不安定効果は小さいことになる。

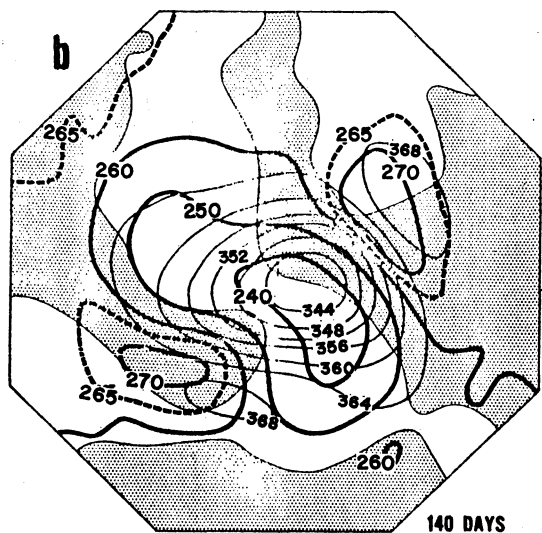
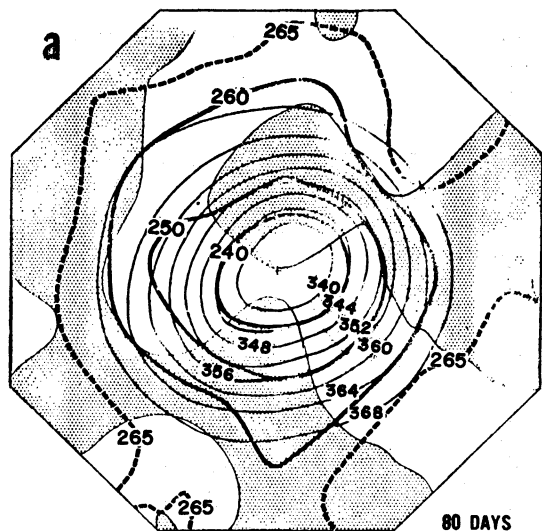
傾圧不安定効果は相対的に下層ほど大きいのが、その輸送量の垂直配分など筆者にとっては未知である。相原は、9層の数値実験のスペクトル分布と観測結果のスペクトル分布とを比較している。成層圏上部では長波はほとんど存在していない。たとえ、下層から長波のエネルギーが輸送されても、そのエネルギーはすぐにポテンシャルエネルギーに変わり、超長波に対する傾圧不安定源は一般流に限られている。一方、対流圏ではポテンシャルエネルギーから運動エネルギーへの変換は活発であるため、長波とのエネルギーのやりとりも大きい。

以上は、自由波あるいは大気固有の不安定性から期待されるスペクトル分布であるが、実際の気象とくらべると、それだけでは不十分である。参考のため、非線型エネルギー変換および定常波(強制波)と伝播波(自由波)を分離した結果を紹介しよう。

G-H. Yang と A.C. Wiin-Nielsen は1963年2月から1964年1月までの毎日の等圧面高度の観測を用い、20°Nより北の大気中における地衡風運動の非発散成分によ

* Forced and free waves in the ultra long waves.

** S. Kubota 気象庁予報部 電子計算室



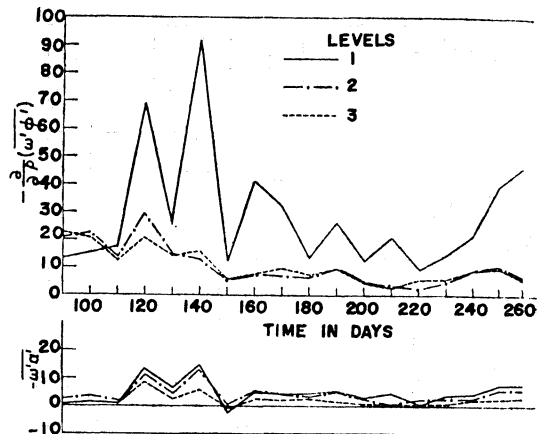
第1図 気温 (°K) : 太線, ジオポテンシャル高 (100m) : 細線 a) 80日後, b) 140日後

る運動量と熱の水平移流に基づくエネルギー変換を求めた。

Saltzman と Fleisher (1960) および Saltzman と Teweles (1964) の結果の要点は (1) うず運動の15成分はすべて運動エネルギーを帯状運動に変換し, (2) 波数 $n=2$, と $n=5\sim 10$ とは残りの成分に対して運動エネルギー源になっており, (3) 3-成分間のエネルギー変換*

*) じょう乱相互の変換

***) 帯状流とじょう乱との間の変換



第2図 位置エネルギーの渦動変換と気圧の渦干渉項 (上部成層圏, 10日平均値)

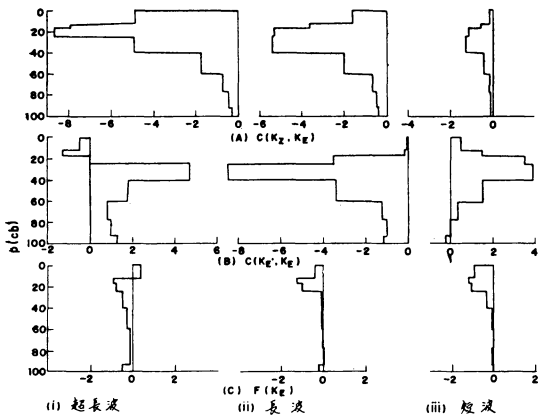
の大きさは帯状運動との2-成分変換**) の大きさと同じくらいである。(2) のうち $n=2$ がエネルギー源になっていることは大陸海洋規模の強制エネルギー変換の存在を示している。

C.H. Yang は垂直方向の分解能を高め1年分の資料を解析した。運動エネルギーについての結論は前者とほとんど同じであったが、有効位置エネルギーではこれと異なり、すべての成分が帯状平均からエネルギーを供給されている、 $n=2\sim 5$ と $n=7$ の波が他の波に対する供給源になっている。両者共、うずの形で境界を通る流れは帯状平均の形にくらべると小さいが、個々の成分の正味の収支におよぼす効果は全体としては無視できなくなっている。

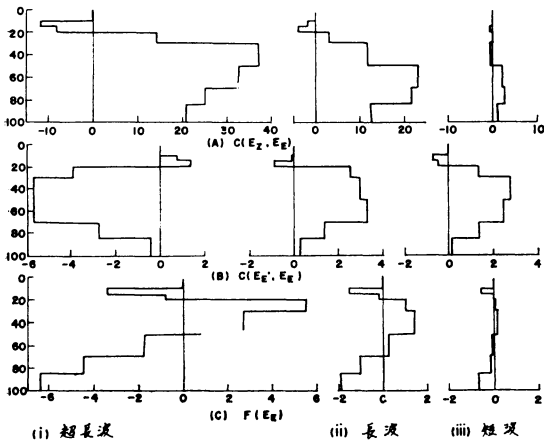
運動エネルギーの変換の極大はジェット流高度の付近にあり (第3図), 有効位置エネルギーの変換量は中部対流圏で一番大きい (第4図)。これらの層はそれぞれのエネルギー量の極大層にもなっている (第5図)。有効位置エネルギーの変換は下部成層圏と対流圏とでは方向が反対であり、高さとともに主役は超長波に移っている。

運動エネルギーの緯度圏 $20^\circ N$ を通しての出入りの量は、じょう乱については小さいが (第3図(C)) 一般流の運動エネルギーの流入量は (第5図(B)) 変換量に匹敵している。

有効位置エネルギーについてみると (第4図) 成層圏では各じょう乱とも低緯度地方に向い少ないながら流出しているが、対流圏では上半分で流入、下半分での流出がみられる。各層の量は大きい、全層を合計すると小



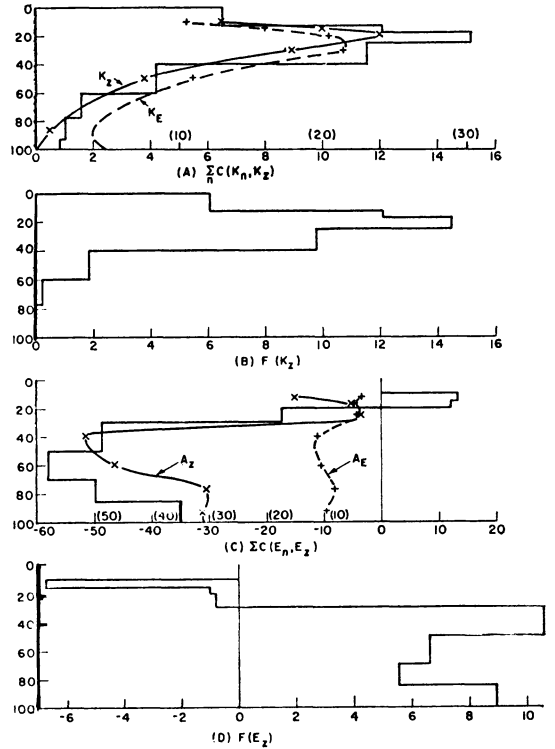
第3図 渦運動エネルギーの変換量と流入の垂直分布 (erg cm⁻² sec⁻¹ cb⁻¹); K_Z =帯状運動エネルギー, K_E =渦運動エネルギー, $C(K_Z, K_E)=K_Z \rightarrow K_E$ の変換量, $C(K_E, K_E)=K_E$ 以外から K_E への変換量, $F(K_E)=K_E$ が境界を通過しての流入量.



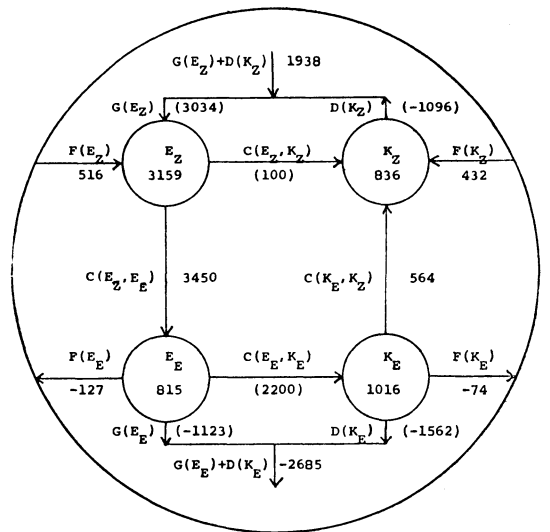
第4図 有効位置エネルギーについて, 第3図に同じ.

さくなっている。これにくらべると, 一般流の有効位置エネルギーの流出量(第5図D)は相対的に小さく, 第5図(C)で示される E_Z の消失は放射によって作られるのではないと思われる(第6図, 図中GとDは方程式の残差項として求められたもので, それぞれ, 発生と逸散の大きさを表わしている).

運動エネルギーの変換をみると, 対流圏では長波($n=6\sim 10$)が超長波($n=1\sim 5$)と短波($n=11\sim 15$)に対するエネルギーの補給源であることは Saltzman と Fleisher が1952年の 500mb 面で見出したものと同じだが, 対流圏下部では短波群が獲得するエネルギーの量はきわ



第5図 第3, 4, 図参照



第6図 大気エネルギーの流れ図(1063年2月~1964年1月, 領域は20°Nより北), エネルギーの単位=10⁶ erg cm⁻², 変換量などの単位=erg cm⁻² sec⁻¹

第1表 (a) 時間領域における運動エネルギーの非線型変換と流入量 (年平均値, 全大気, 単位 $\text{erg cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$)

じょう乱群	$C(K_{Z1} K_E)$			$C(K_{E1} K_E)$			$F(K_E)$		
	超長波	長波	短波	超長波	長波	短波	超長波	長波	短波
全 景	-295	-222	-47	132	-265	133	-24	-22	-28
高 速 性	-78(26)	-168(76)	-46(98)	124(94)	-245(93)	121(91)	-57(238)	-38(173)	-32(114)
低 速 性	-147(50)	-47(21)	-3 (6)	23(17)	-43(16)	20(15)	28(-117)	14(-64)	1 (4)
定 常 性	-70(24)	-7 (3)	2(-4)	-15(-11)	23(-9)	-8(-6)	5(-21)	2(-9)	4(-11)

第1表 (b) 有効ポテンシャルエネルギー. 内容は (a) に同じ.

じょう乱群	$C(E_{Z1} K_E)$			$C(E_{E1} K_E)$			$F(K_E)$		
	超長波	長波	短波	超長波	長波	短波	超長波	長波	短波
全 景	2142	1223	85	-306	170	136	-109	-1	-10
高 速 性	1019(48)	1147(94)	95(112)	-307(100)	167(98)	140(103)	-115(105)	22(-245)	-2 (20)
低 速 性	794(37)	31 (2)	-3(-4)	-19 (6)	13 (8)	6 (4)	10(-9)	-16(178)	-13(130)
定 常 性	329(15)	45 (4)	-7(-8)	20(-6)	-10(-7)	-10(-7)	-4 (4)	-15(167)	5(-50)

めて小さい.

それが下部成層圏になると, エネルギー源は超長波群に移り, 長波と短波群は吸収帯になっている. また, 有効位置エネルギーについてみると, 超長波は他の波に対し対流圏ではエネルギー源になっているが, 下部成層圏では吸収帯である.

3. 超長波中の停滞波と進行波

つぎに, 超長波の成因を外因的なものに求めるか, 内因的なものに求めるかの参考のため, 定常波と進行波の間のエネルギー変換の大いさ (第1表 a, b) を見てみよう. 表中, 高速進行性, 低速進行性, 定常性というのはつぎのようにして決められたものである. すなわち,

$$E = [E] + F, \quad [F] = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} F dt$$

とすると 任意の量 F, G, H について

$$[F \cdot G \cdot H] = [F] \cdot [G] \cdot [H] + ([F] \cdot [\hat{G} \cdot \hat{H}] + [G] \cdot [\hat{H} \cdot \hat{F}] + [H] \cdot [\hat{F} \cdot \hat{G}]) + [\hat{F} \cdot \hat{G} \cdot \hat{H}]$$

になるが, エネルギーの変換はすべてこのような3つの量の積で表現される. ここでは

$[F] \cdot [G] \cdot [H]$ を定常性, $[\hat{F} \cdot \hat{G} \cdot \hat{H}]$ を高速進行性残りの項を低速進行性と名付けた.

山のような力学的効果が主役なら, 定常性が卓越している筈である. 海陸分布を主原因と考えるなら, 海水面温度の変動がにくらべて小さければ, 矢張り定常性が卓越しよう. したがって, 3つのうちどれが卓越しているかによって, 前記問題に対する判断の資料が求められる.

第1表は $\tau = 1$ カ月とした場合のエネルギー変換量で, (a) は運動エネルギーに対するもの, (b) は有効位置エネルギーに対するものの1年分の量である. 帯状流とじょう乱とのエネルギーのやりとりでは, ほとんど高速進行性であるが超長波になるに従って停滞性が占める割合が高くなっている. とくに超長波では低速性すなわち停滞波と進行波が共存による効果が大きくなっている点が注目される. また, 高速性進行波だけによる効果は有効位置エネルギーのほうが運動エネルギーより大きい. 前者のエネルギー変換の卓越高度が対流圏中層であるのにくらべ, 後者ではジェット流の高度になっていることを考えると当然のようにも思える. つぎにじょう乱群間のエネルギー変換の大いさをみると, 圧倒的に移動性波動だけ (高速性) で説明されている点が注目される.