

~~~~~  
長期予報研究  
~~~~~

グロース ベッター

第 10 巻 第2●号

—— 目 次 ——

1. 統計・力学二層モデルによる季節変化の数値実験（講演）

栗 原 宜 夫 1

2. 最近のソ連における長期予報における研究とその概要（紹介）

古 賀 晴 成 21

3. 昭和46年度長期予報技術検討会に関連して

新田 尚，朝倉 正，荒井 康，松岡 隆，~~和~~田 英 夫 27

1972年 5月

L. F. グループ

統計・力学二層モデルによる

大気大循環の季節変動の数値実験

栗原 宜夫

§1 ま え が き

大循環の気候状態の数値実験のために、統計・力学二層モデルを組み立てた。

風速、気圧、気温などの気象要素(variable)はそれぞれの緯度平均(zonal mean parts)と擾乱(deviation)に分解される。大循環の基礎的な気候状態は、この緯度平均と擾乱の緯度平均から得られた統計量(eddy statistics)によって記述される。大規模な擾乱に関係する統計量、すなわち擾乱の運動エネルギー、熱や角運動量の輸送などは、擾乱の強さ(intensity)、構造(structure)、大きさ(size)や移動(movement)などのシノブチチェックスケールの特性を表現した経度の積分値(longitudinally integrated measures)である。つまり個々の擾乱の変化は、このモデルではもちろん扱っていない。しかし擾乱の役割は緯度と高さと時間の関数としての帯状平均場に評価されている。

風、気温、気圧の緯度平均や擾乱の運動エネルギーの式は、運動方程式、熱の式、連続の式から得られ、擾乱の統計量による項を含んでいる。熱や角運動量の擾乱による水平輸送、鉛直輸送の予報式は準地衡風近似で導かれる。運動量の擾乱による水平輸送はSmagorinsky(1964)のものと同じ式で推定した。その他、長波の理論的研究の諸結果は、方程式に含まれている気圧のinteraction term、擾乱の性格の大きさや位相速度などの決定に利用されている。

このようにして閉じた方程式系で記述されるモデル大気は、日射(insolation)、放射の熱輸送のparameter、静的安定度、運動量や熱の変換の下層の境界条件、水平方向のストレスや小規模擾乱の自由大気中の熱の拡散作用のparameterなどによってコントロールされている。なおこのモデルは潜熱のエネルギーの輸送効果は扱っていない。

数値実験は季節変化する日射やその他の制御因子(control factor)を与えて遂行された。モデルは二層から成っており、おのおの北極から南極の間に48のzonal ringについて計算された。静止、且つ中層の一定の気温状態から出発し、積分は最初の50日は擾乱のない状態で行なわれ、その後擾乱の運動エネルギーがつけ加えられる。それからjet stream、平均の南北循環のFerrel細胞や極むきの擾乱の熱輸送のような実在の循環の初期の様相が現われ、変動する準平衡状態が得られる。その後100日以後について、季節変動の実験を行った。

実験は地球表面が全く陸地に覆われた場合と全く海洋で覆われた場合の両方の場合について行ない、両者の比較から、陸地と海洋のもつ役割について検討を行った。この研究にとりかかった当時、長期間の数値実験では、まだ不明の点が多く、そこで統計量を仮定して、計算することを

考えたが、最近さらにオーソドックスな北半球の数値実験が行なわれるようになってきた。大気・海洋に関する大循環の数値実験は、今まで年平均状態の平衡状態の再現について研究されてきたが、ここでは季節変化の追跡 (seasonal march) を行ったものとして興味ある結果を与えている。

§ 2 統計・力学モデルの概要

緯度平均場の方程式は運動方程式として, primitive 方程式, 熱力学の第1法則, 連続の式および静力学の式から得られる。これらの式から風, 気温, 地上気圧の緯度平均の方程式。また緯度平均した上昇流と, 気圧の式が得られる。第1表がその一覧表であるが, 方程式の右辺には第1表, 第3欄に示すような統計量が含まれてくる。この量は適当な方法で見積もらなければならない。

TABLE1. The eddy statistics and control factors required for the prediction of the zonal mean field

Type of equation	Zonal mean	Required eddy statistics	Control factor
Equation of motion	$\frac{\partial \bar{p}_* \bar{u}}{\partial t}$ $\frac{\partial \bar{p}_* \bar{v}}{\partial t}$	$\overline{u'u'}$, $\overline{v'v'}$, $\overline{u'v'}$, $\overline{u'\omega'}$, $\overline{v'\omega'}$	Frictional force
Thermodynamical equation	$\frac{\partial \bar{p}_* \bar{T}}{\partial t}$	$\overline{T'v'}$, $\overline{T'\omega'}$	Heating function
Continuity equation	$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t}$ $\frac{\sigma}{\bar{\omega}}$		
Hydrostatic relation (Assumption)	$\bar{\phi} = \bar{p}_*$ $\bar{p}_* = \bar{p}_*$	$\overline{u'u'} = \overline{v'v'} = K_E$	

ばならない。また制御因子として, 大気の熱機関の特性を決定する摩擦力や熱関数のようなものを明確にしなければならない。

ここで式を簡単にするため, $\bar{p}_* = \bar{p}_*(\theta, t)$, すなわち地上気圧 $\bar{p}_*$ は緯度と時間だけの関数。また $\overline{u'^2} = \overline{v'^2}$ を仮定するが, 実際の場合とよく合っている。

第2表は擾乱の統計量を導くための方程式の物理的基礎を示したものである。 v'^2 の方程式は擾乱の運動エネルギー K_E の方程式である。このエネルギーの式は二つの新しい統計量 $\overline{\phi'\omega'}$, $\bar{a}$ が必要になってくる。

準地衡風二層モデルの線型化された渦度方程式と熱の式から, T' , U' , ω' の式が得られる。ここでまた新しい parameter ℓ^2 (擾乱の性格の大きさ) が導入される。上の式は, エネルギー的に大規模な擾乱の役割が重視される中緯度でよく成り立つ。低緯度では詳細は不明だが, 一応この関係式を適用した。

擾乱の運動量輸送
 に関して、地上のス
 トレスがわかれば、
 $\overline{u'v'}$ が予報できる。
 このための経験的な
 条件は Smagorin
 -sky (1964) に
 よった。

K_E の方程式に現
 われる統計量 $\overline{u'v'}$ は擾
 乱の運動エネルギー
 の輸送と、気圧の
 interaction
 term の和である。
 これは primitive
 方程式のロスビーナ
 ンバーの第1次近似
 から推定することが
 できる。

擾乱の性格の大き
 さや速度を変えるた
 めに、Charney
 (1947) その他の
 長波の力学の研究結
 果を利用した。この
 ため最も不安定な中
 立波の大きさ (ℓ_{cr})
 とスピードを推定し、
 それによって擾乱の
 大きさ ℓ の比を決
 めるようにする。位
 相速度についても同
 じようにして決める。

TABLE 2. The physical basis upon which equations for eddy statistics are derived. Note that two prediction equations and eight diagnostic formulas are derived in the second column. The last column shows the required parameters other than those which appeared in Table 1.

Basis for deriving equations in the second column	Equation or formula	New statistical quantities
Equation for eddy kinetic energy	$\frac{\partial p_e K_E}{\partial t}$	$\frac{\phi' \phi'}{\bar{u}} = K_E \overline{v'v'}$
Linearized vorticity and thermal equations under quasi-geostrophic assumption	$\frac{\partial \nabla^2 \psi'}{\partial t}$ $\frac{\nabla^2 \phi'}{\nabla^2 \psi'}$ $\frac{\nabla^2 \phi'}{\nabla^2 \psi'}$	ℓ (characteristic size of eddy)
$\frac{\partial v_e'}{\partial t}$ and w_e' are obtained	$\overline{u'v'}$	
Momentum balance relationship for zonal ring ($\overline{u'v'}$ is related to surface stress)	α'	M (phase speed)
First-order approximation of momentum equation		
Theoretical study of long waves in baroclinic zonal current (The size of the neutral eddy ℓ_0 is estimated; then the ratio of ℓ/ℓ_0 is appropriately chosen)	ℓ M	

*) *)
以上、第1表、第2表に示した10個の統計量を与えることによって、緯度平均量を計算することができ、閉じた方程式系となる。

level 0	//////////	0
1	_____	250mb: $\bar{u}$, $\bar{v}$, K_E , $\overline{u'v'}$
2	-----	中層: $\bar{T}$, $\overline{T'v'}$, $\overline{u'\omega'}$, $\overline{v'\omega'}$, $\overline{T'\omega'}$
3	_____	750mb: $\bar{u}$, $\bar{v}$, K_E , $\overline{u'v'}$
4	//////////	1000mb

図1 二層モデル

実際のモデルは図に示すような二層モデルを用いた。高さはそれぞれ、0, 250, 500, 750, 1000 mb に対応している。変数はlevel 1.8では $\bar{u}$, $\bar{v}$, $\bar{\omega}$, K_E , $\overline{u'v'}$ および $\bar{\alpha}$ が、またlevel 2では $\bar{T}$, $\overline{T'v'}$, $\overline{u'\omega'}$, $\overline{v'\omega'}$, $\overline{T'\omega'}$ が計算される。 ℓ (size of eddy) や M (phase speed) は高さには無関係である。

§3 解析と結果

(1) Net Heating とその成分

一般に地球全体が陸地で掩われた場合は、大気は太陽からのSR (short wave radiation) とIR (long wave radiation) と顕熱SHFX (sensible heat flux from land) によって、暖められる。一方、海面で掩われたときは、heat capacity は無限大とすると、 $\bar{T}^*(\theta, t)$ となり、緯度と時間の関数となる。また海洋の場合は顕熱(LH latent heat) は凝結熱(COND: condensation of water vapor) となる。第2図は a) 陸地の場合と b) 海洋の場合の Net heating と各要素の見積りでそれぞれ、春分と夏至の時点の南北分布である。

実際の大气は運動によって熱輸送される。第3図は陸地および海洋の場合の気温の変化傾向 $\partial p \cdot \bar{T}^* / \partial t$ と子午面循環(MC), 擾乱(EDDY), 水平発散(HD)等の各要因の南北分布である。

このようにして、ステップをふんで計算すると、陸地の場合にはおよそ最初の1年目は変動するが、2年目からはほぼ似たような変動のくりかえしとなる。海洋の場合は時間を長く計算しても、その変化は決まらない。

*) 第1表、第2表に対応する数式は

Kurihara Y., 1970: A Statistical-Dynamical Model of the General Circulation of the Atmosphere, J. of the Atmospheric Sciences, Vol. 27, No. 6, 847-870.

(2) 対流圏中層の $\bar{T}_2$ ($^{\circ}\text{K}$) の季節変化

第4図 a) 陸地だけの場合, b) 海洋だけの場合。

陸地の場合の北半球では冬季に極地方に低温域が現われ, また夏至の1カ月くらい後に中緯度で最高となる。海洋の場合の気温の変動は非常に小さくなる。

(3) 対流圏上層の東西成分 $\bar{u}_1$ (m/sec) の季節変化

第5図 a) 陸地 b) 海洋 参照。

a); b) 両者の比較で, 海洋の場合は偏東風が現われない。陸地の場合, 夏の低緯度の偏東風は実際よりも強く現われている。また偏西風は海洋の場合よりは強い。しかし両者の差は量的なもので, 質的には差はない。

(4) 鉛直運動 vertical motion

a) 春分 および b) 夏至 の時の, 500 mb の上昇流の南北分布を第6図に示す。

3月(a)には赤道地帯で上昇流, 30°N (北半球) 付近で下降流で3細胞循環が現われる。

7月(b)の北半球では Hadley 循環は殆んど現われず, 強い下降流は南半球の亜熱帯高気圧の成因になっている。

海洋の場合はほぼ年間を通じて両半球とも3細胞循環をなしている。

(5) 擾乱の風速 $(\overline{v_1' v_2'})^{1/2}$

第7図 a) 陸地, b) 海洋

a) 陸地で掩われた場合の, 北半球の中緯度では冬から夏に向ってゆっくり減少し, 風速の max から min に至る期間は長い。これに対し夏から冬にかけての変化は, 秋に入ってから急速に増加する。

b) 海洋の場合は夏と冬の差は大きくない。これは実測と異なっている。しかし, 冬の擾乱の発達には海洋も影響をもっている。

(6) 熱の南北輸送 $\overline{T' v_1'}$

第8図 a) 陸地 b) 海洋

a) 陸地だけの場合, 北半球では冬に北向きの輸送がみられるが, 南半球では逆になっている。北半球の 47°N でこの $\overline{T' v_1'}$ の季節変化をみると冬から夏にかけて減少し, 最小となる。これに対応して, KE も減少する。

b) 海洋の場合は北半球では冬も夏も北向きの輸送で, わずかの季節変動があるが, その変化は少ない。

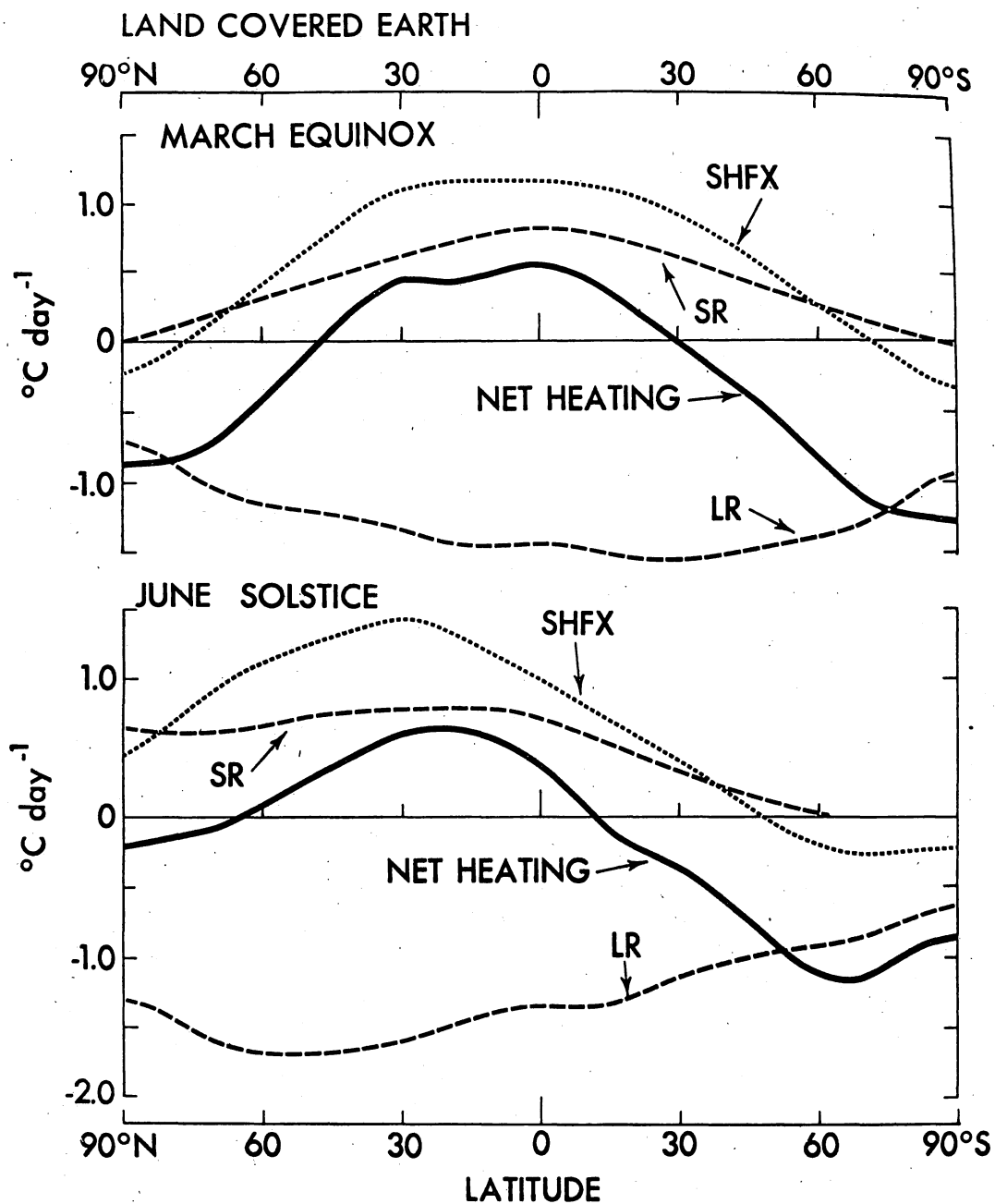
(7) 異常現象の実験

数値的時間積分の途中(4年目)で、海洋で掩われた場合の全球同時に大気に大きなブレーキをかけて、その後の影響を検討してみた(第9図)。この場合2月の後半の期間だけ $\frac{\partial}{\partial t} - c \frac{\partial}{\partial x}$ の係数 c の値を0.11(海洋の場合の係数)から0.48(陸地の場合の係数)に変えると TV の変動が大きくなる。その影響は5か月くらいで、もとの平衡状態にもどるようである。海洋の影響がいかりの役割を果していることがわかる。

あ と が き : —

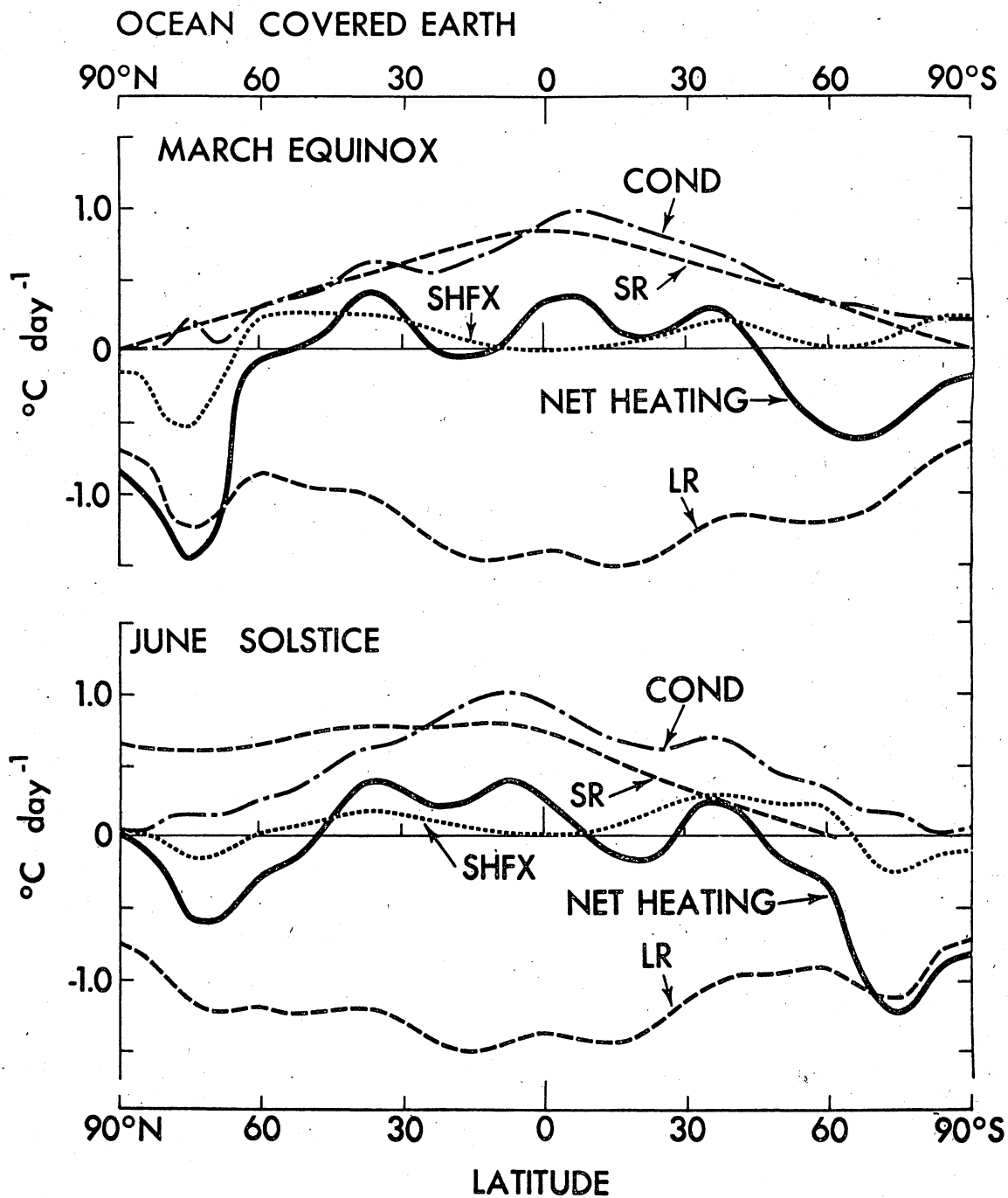
この講演は現在 GFDL, ESSA で、この方面の研究をされている栗原さんが昨夏に帰省された折、LFグループで講演していただいたものの速記をまとめたものである。まだ論文として印刷されていないので十分に著者の意を伝えていない所が多いのであるが、グロースベッターに紹介することを承諾して頂いた栗原さんに感謝し、今後の発展を祈ります。

(文責 久保木, 官川)



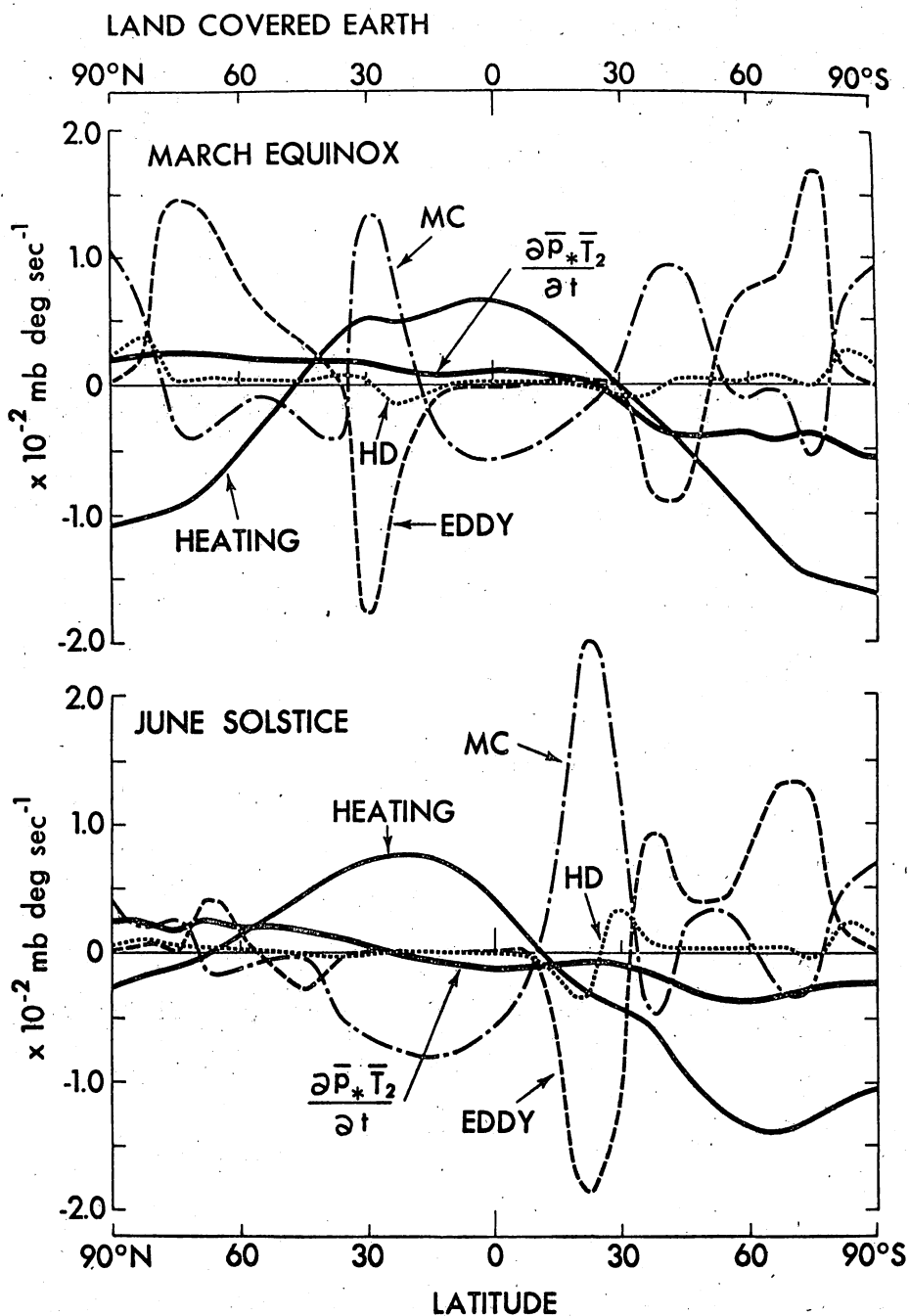
第 2 図 (a)

Net Heatingとその成分 但し Warming due to SR(short wave radiation)
 LR(long wave radiation)
 SHFX(sensible heat flux from land)



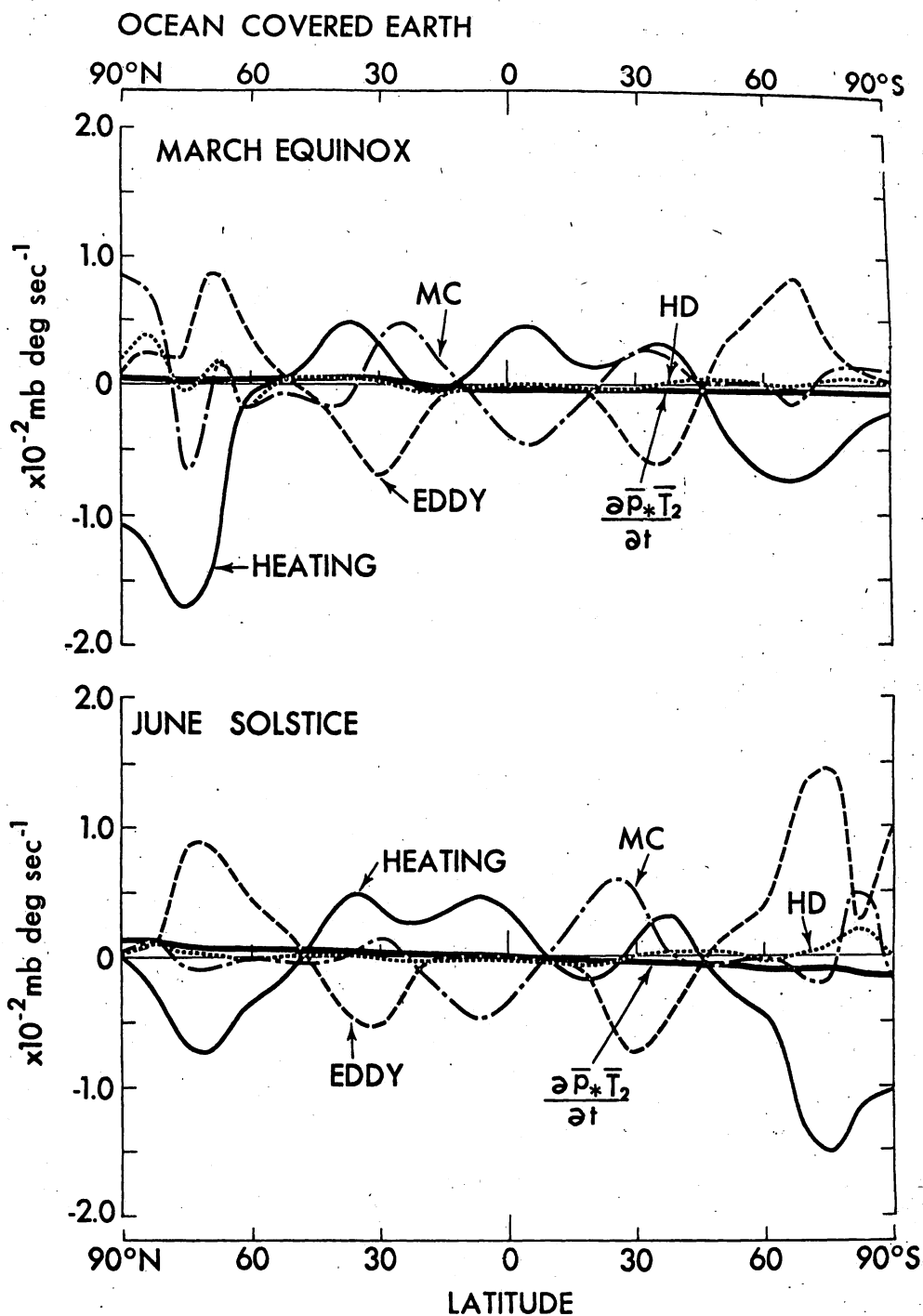
第 2 図 (b)

但し COND (condensation of water vapor)

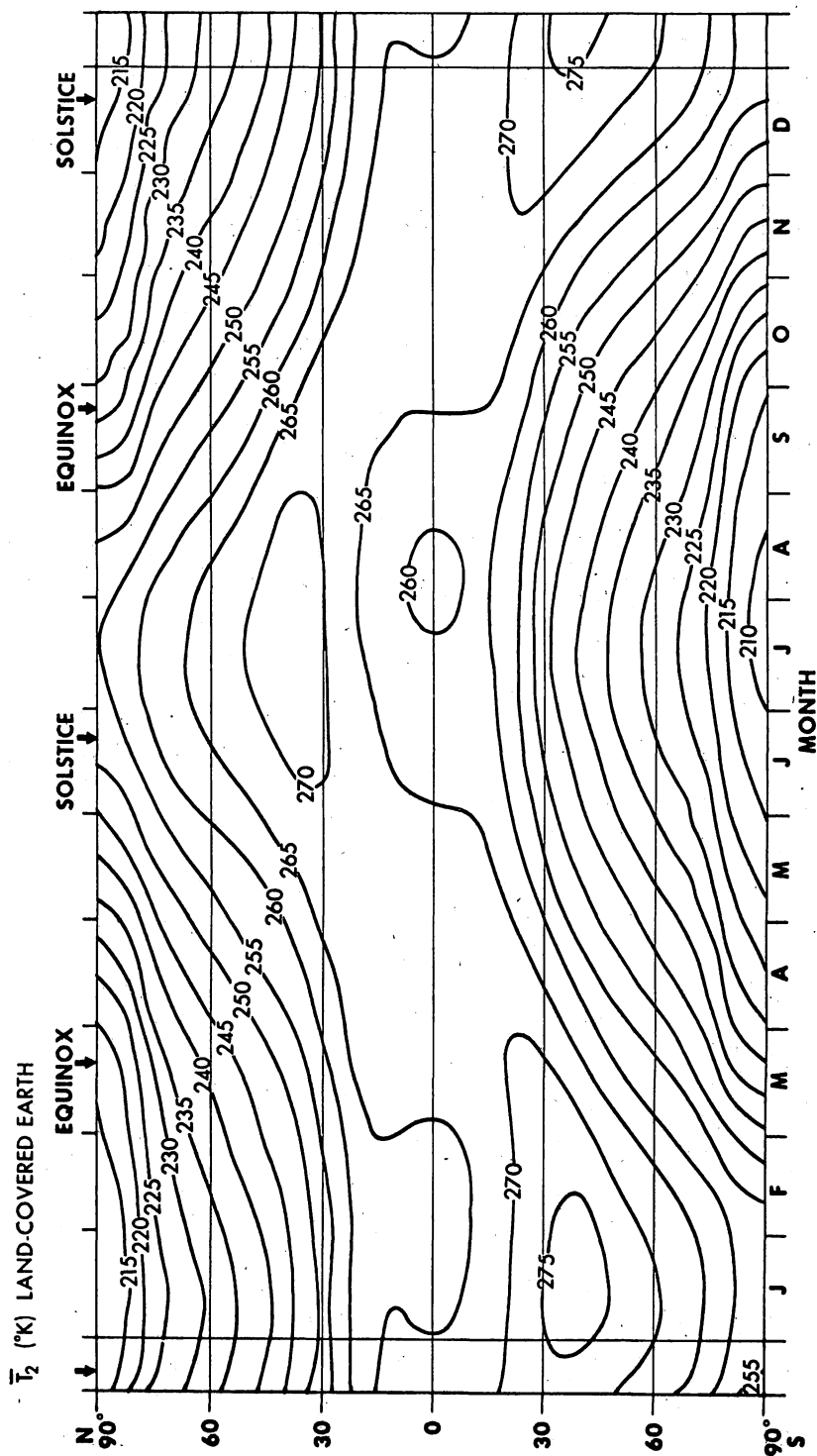


第 8 図 (a)

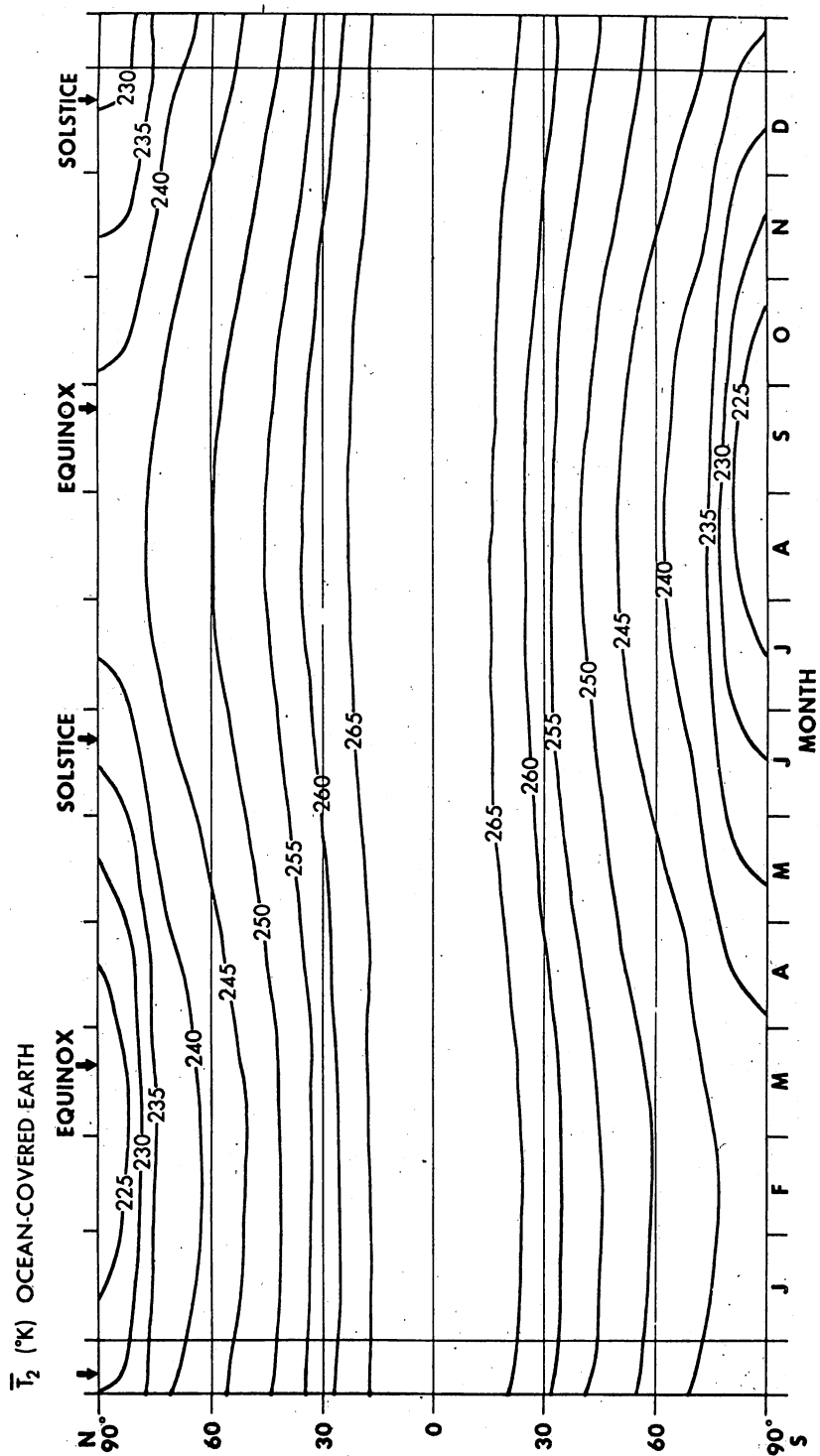
Temperature tendency $\frac{\partial \bar{p}_* \bar{T}_2}{\partial t}$ と各成分 但し (Tendency due to MC, EDDY, HD (horizontal diffusion))



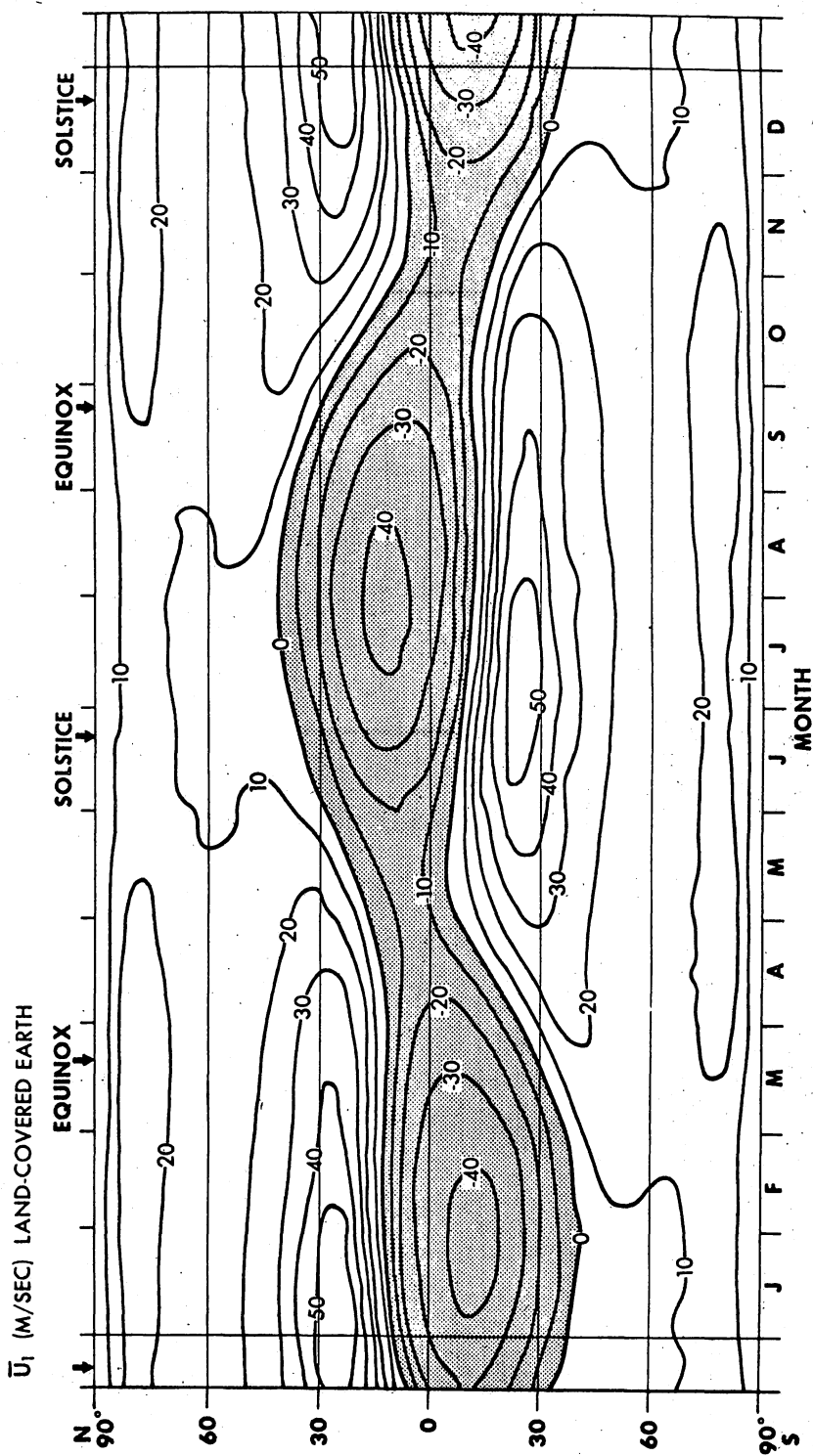
第 8 図 (b)



第 4 図 (a) 対流圏中層の T_2 (°K) の季節変化

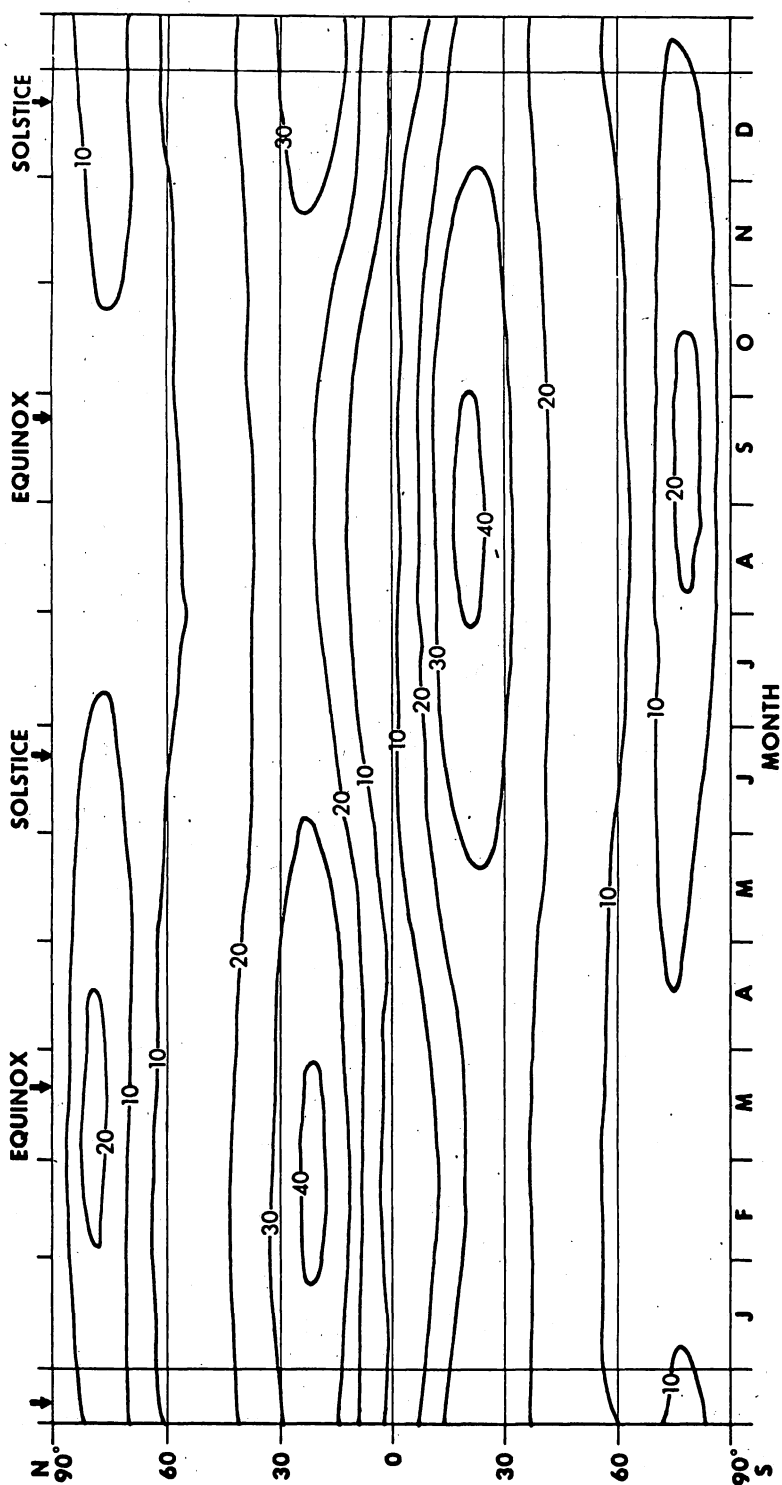


第 4 图 (b)

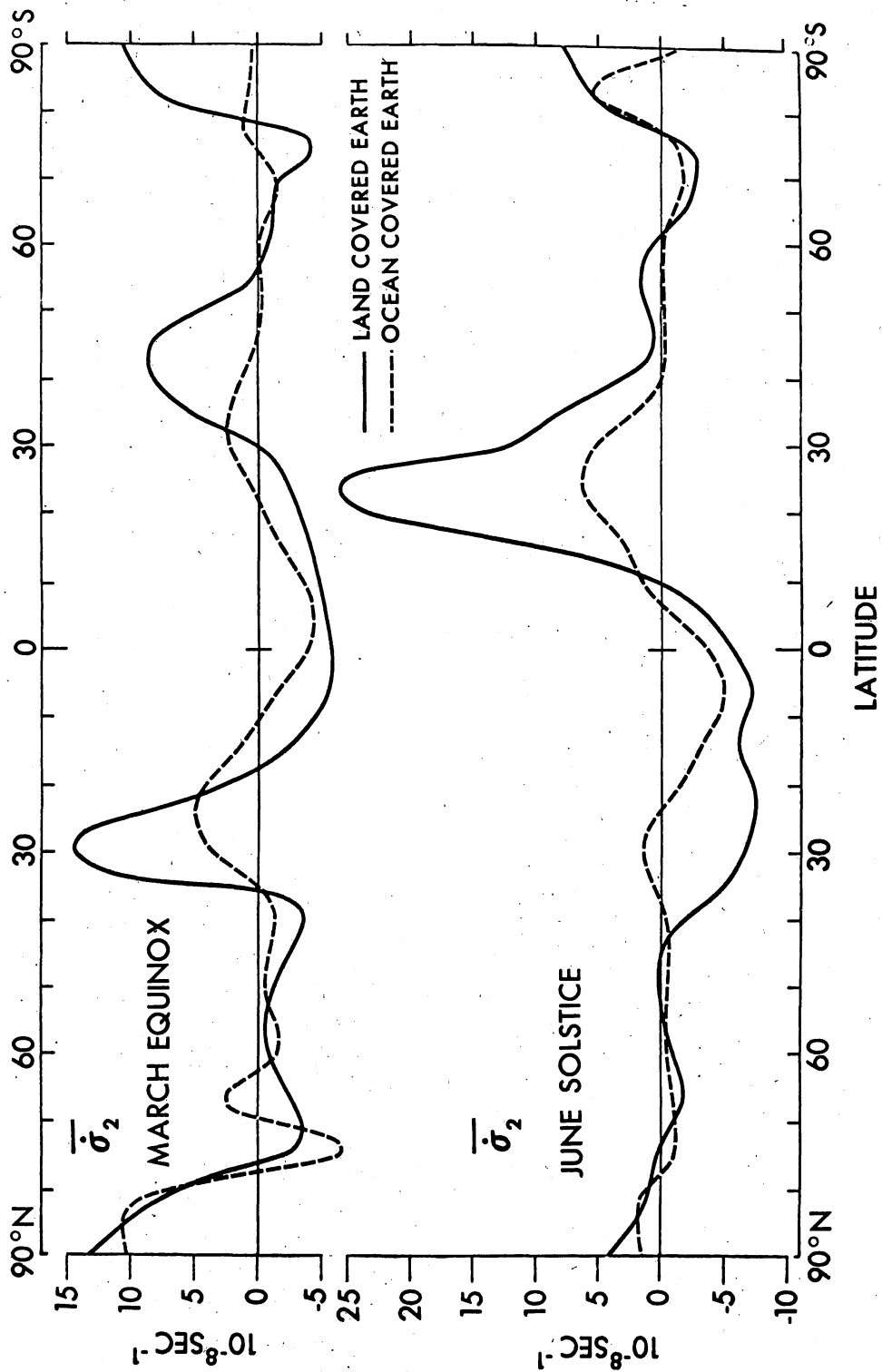


第 5 図 (a) 対流圏上層の東西成分 $\bar{u}_1$ (m/sec) の季節変化

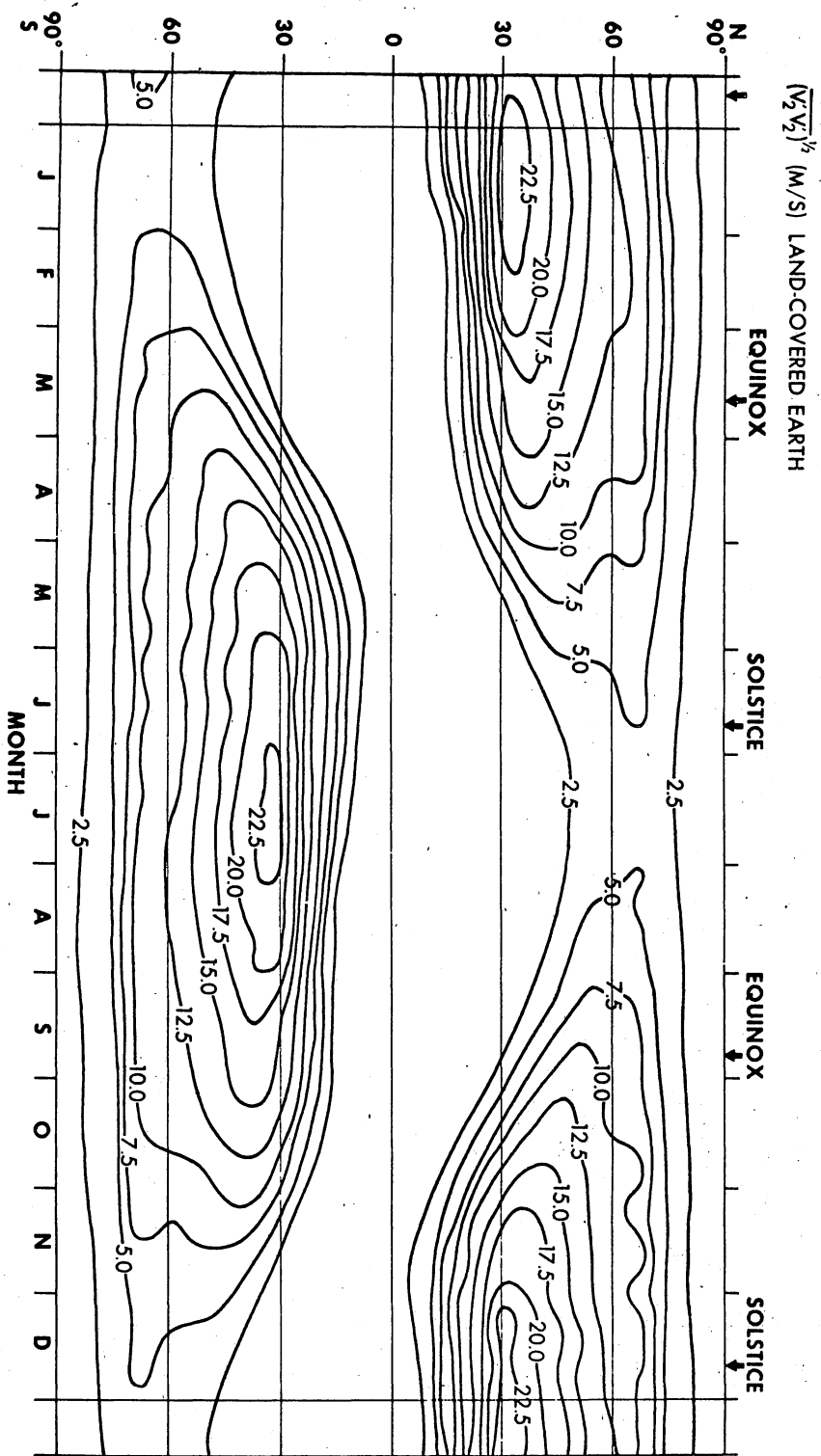
$\bar{U}_1$ (M/SEC) OCEAN-COVERED EARTH



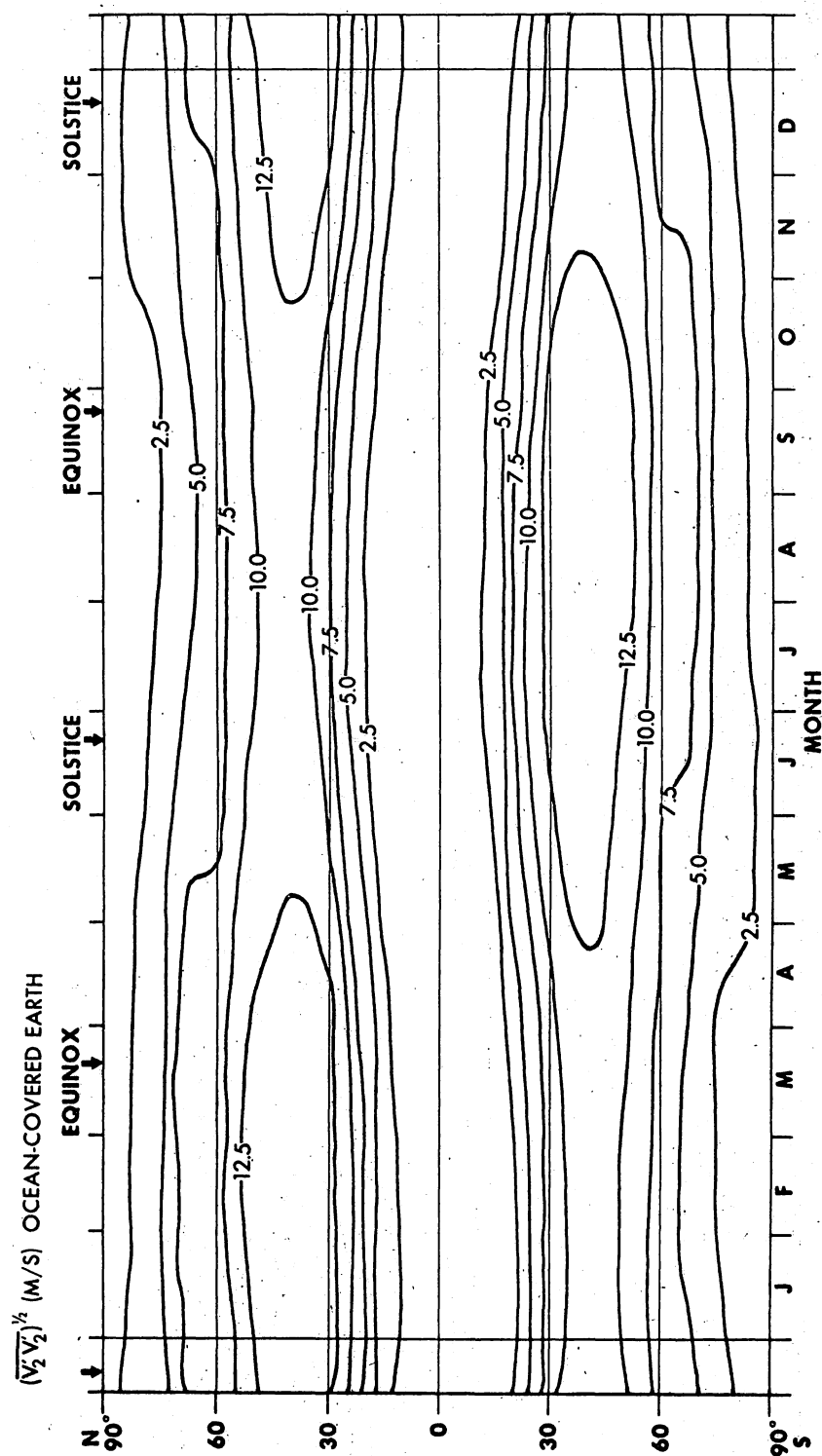
第 5 图 (b)



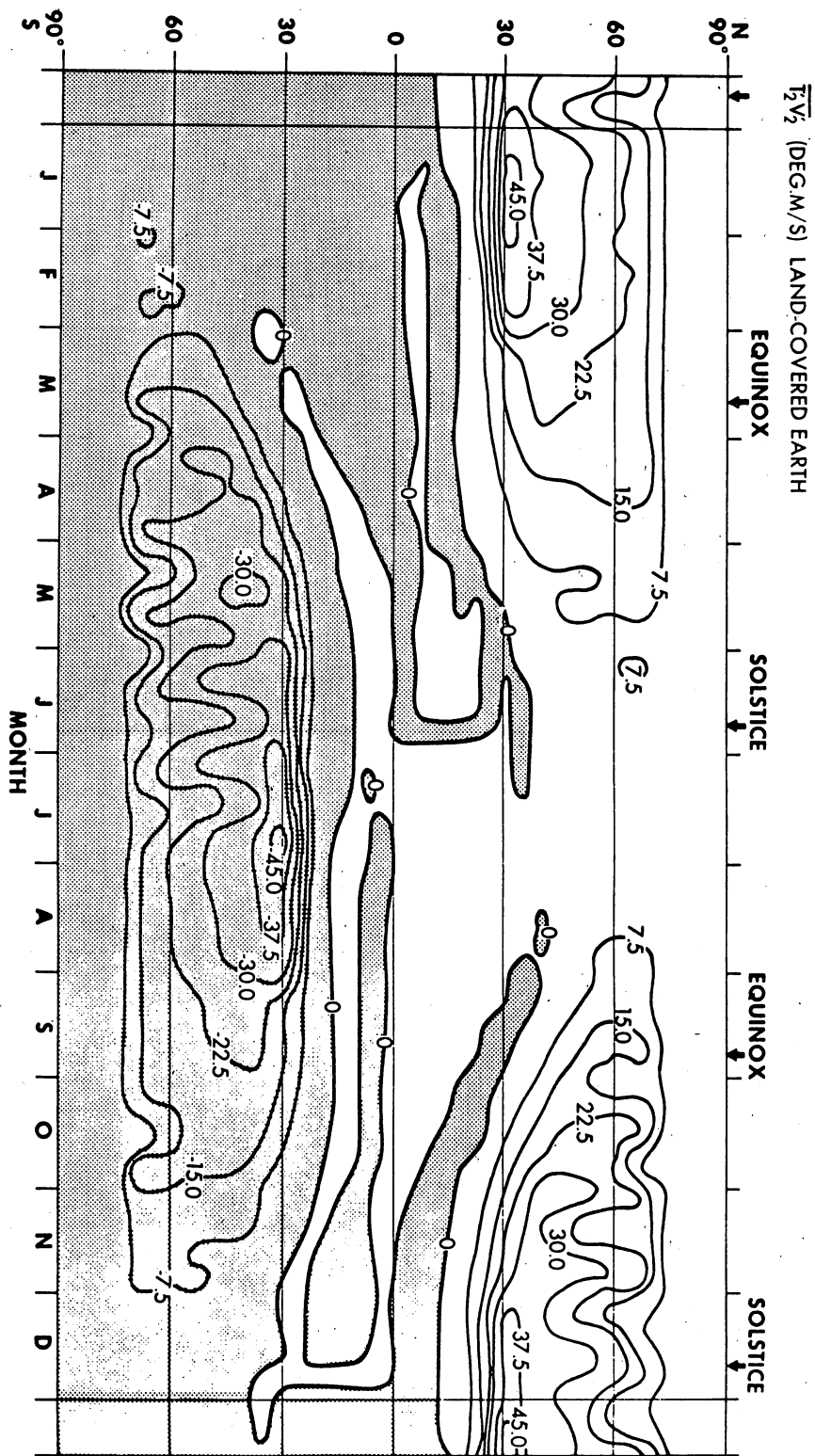
第 6 図 鉛直運動 Vertical motion



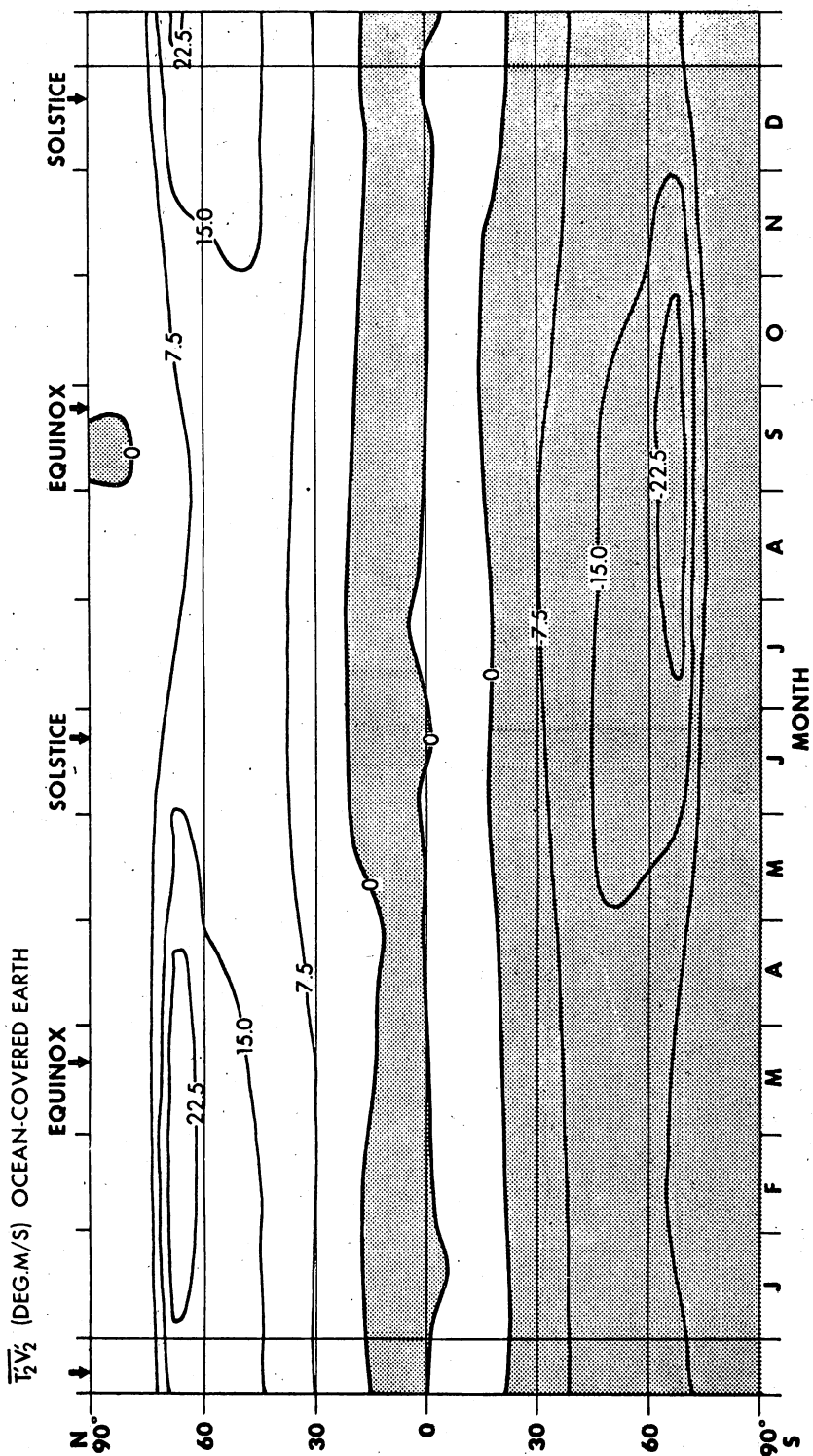
第 7 図 (a) 擾乱の風速 $(\overline{V'V'})^{1/2}$ (m/sec)



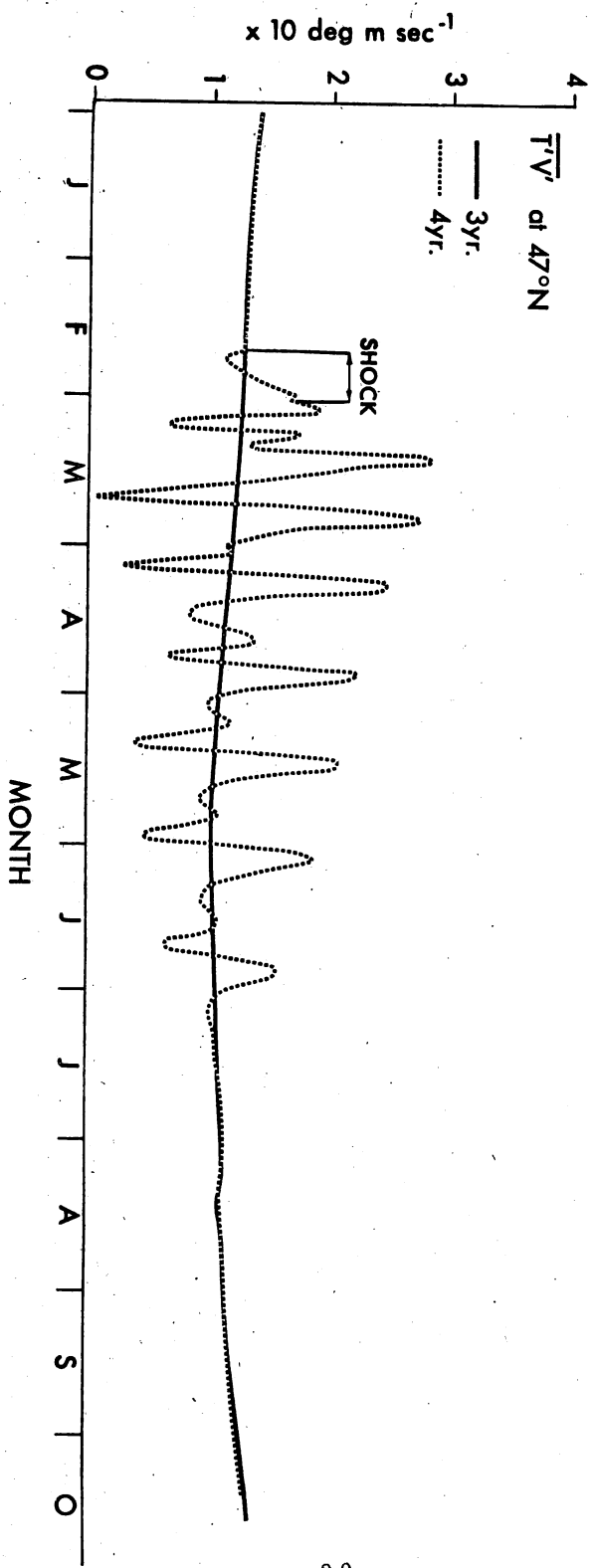
第 7 图 (b)



第 8 図 (a) 熱の南北輸送



第 8 图 (b)



第 9 図 異常現象の実験 (Ocean covered earth) Shock の期間だけ係数を 0.11 から 0.48 にかえた。

最近のソ連における長期予報に関する 研究とその概要

古 賀 晴 成

(I) 総観解析法と1カ月予報: Trudy Gidromet. Nauchno-Issledov., №42

(1969)

最近の1カ月予報に関する特集号で、本文の内容は137頁に及んでいるが、ここではそのアブストラクトの要点を記述した。

(1) ブリニコバ: 月平均気温偏差の予報精度について p 3~7

1966~67年のソ連における月平均気温偏差の予報精度についての検討。年間を通じて、予報する時点で大気の東西循環が強い時には予報精度がよく、とくに暖候期(5~10月)には ρ (skill score) = 0.26 $\sim$ (適中率) = 7.5%に達している。表3, 文献8

(2) ポリゾバ: 春の各月とその年の11月との気温偏差の関係 p 8~13

ソ連の欧州部、西シベリヤでは、春の各月(3.4.5月)の気温偏差が類似している年には、その年の11月にも似た状態になる。この関係の成立する割合は88%, 3月と5月とが似るような年では68%が成り立つ。表1, 文献23

(3) ドロガイツェフ: 11月の高度場と翌年1月の気温との関係 p 14~28

28年間(1939~66年)について、ソ連の西部21地点の1月平均気温と前年11月のH₅₀₀場との関係を調べた。その結果1月の気温予想に利用できる(偏差符号一致率70~80%)地点が数多くみつかった。表3, 図2, 文献2

(4) ズベレーフ: 大気のリズムについて p 29~35

東西循環指数 $I = \alpha\%$ (α : 地衡風の東西成分 $\omega = a \sin \phi$) の毎日の値を1946~56, 1964~66年について、統計的に調べ、大気の3, 5カ月のリズムをみつけた。表2, 図2, 文献10

(5) ジニコフスカヤ: 自然直交関数で展開した北半球月平均H₅₀₀場 p 36~62

1948~66年の北半球月平均H₅₀₀場を自然直交関数を用いて展開し、統計的な解析をした。その結果、展開した項のうち、予報に重要な項をいくつか用いるだけで、総観過程の基本的な特徴を記述することができることが判明した。表4, 図7, 文献17

(6) クレメンスカヤ, ニキチエンコ: 中央黒土地帯における暖候期の乾季到来の総観状態

p 49~62

1946~65年の4~10月の期間で、乾季を定義し、その乾季の気候的な特徴を調べ、そ

の出現には周期性があることを確めた。さらに乾季の総観状態と出現過程を明らかにし、その予想を可能にした。表2, 図8, 文献5

- (7) クリンジ, ペーチ: 1ヵ月天候予報に海洋観測所(気象観測船)の情報を利用すること p63~74
月平均気温偏差の予報に、海洋のデータを利用する方法の一つに類似法がある。種々の要素(海面温度、海水温と気温との差等々……)は、気温に色々な影響を与えているが、季節や初期条件等によつて変わる。しかしこのデータを予想に利用できるという統計的結果が得られた。表6, 文献9

- (8) ウリエーバ: 季節平均気温予想のための長波の動きの利用 p75~98
大気循環の特徴を表わす指数を提案し、この指数を用いて、大気過程の気候的分類をした。気候の変化(季節交替期)と非気候的变化とを調べ、予報に応用した。表8, 図6, 文献17

- (9) ウリエーバ: 北半球月平均気圧波の動きと月平均気温の予報 p99~125
大気循環の特徴を表わす指数を導き、この指数が大気循環の交替期や大規模過程の変化時に、大きな変化を示す。これを予報に利用し、満足できる結果を得た。

- (10) チスチャコーバ: 東シベリヤと極東における春の昇温の特徴 p126~137
春の温度場を-5, 0, 5度の等温線と等日付線を用いて解析した。気候の特徴を明らかにするとともに、大気循環と関連している気温の0°Cの越える時期の早い遅いの予想を試みた。表8, 図4, 文献14

(II) 季節予報の立場から見た成層圏と対流圏と地面における大規模な過程: Trudy Gidromet. Nauchno-Issledov., №48 (1969)

最近の季節予報も含めた長期予報全般にわたる論文の特集号で、本文の内容は119頁に及んでいるが前章と同じく、その要点のみを記述した。

- (1) ムルタノフスキー 一派の50年間にわたる総観長期天候予報の研究について

アリストフ, ブリユーミナ p8~22

ムルタノフスキー一派が50年間にわたつて研究してきた長期予報法をふりかえつてみる。この方法がたゆまぬ進歩を続けており、最も完全に仕上がりつつあると思う。これはソ連の予報業務に大きな効果をもたらしており、自然総観の期間、月、季節や対象とする期間の天候予報を可能にしている。

この方法は、自然総観期間、自然総観季節、大気循環の崩壊過程と活動のリズム、現在とそれ以前の季節における大規模過程の発達と天気の継続性等についての概念が基礎となつている。

この方法の第一歩は、地上天気図で大規模な総観過程を解析することからはじまる。それに続いて対流圏の全部、成層圏のほとんどで大規模な過程の解析を行う。この時には、海洋と大陸の熱交換、海洋と大気の相互作用に大きな注意を払う。

図 8

(2) 自然総観季節における北半球 H_{500} 場の特徴

ザハローバ p 23 ~ 56

この研究では、第一地域における自然総観季節の30年(1938 ~ 1967年)分の資料をまとめた。季節の始め、の異常な日付、平均的な日付、その期間や季節前兆現象の出現日を調べた。さらに北半球と第一地域において季節が進むにつれて生ずる循環の特徴も導く。

資料に計算機で手を加え、北半球における(5度毎の緯度と経度の交叉点のネット)、自然総観季節の H_{500} 、ある季節から別の季節への H_{500} の変化、 H_{500} の季節平均値と振巾、季節平均 H_{500} の自乗平均偏差等の値を得た。

こうして導いた結論と H_{500} の永年値は、研究や長期予報の実施に有効である。

表2, 図24, 参考文献58

(3) 夏と秋の100mb面の温度場の特徴

バガバ p 57 ~ 62

この論文では、北半球における自然総観季節の夏季の前半と後半、第一地域における秋について、温度場の特徴を解析した結果を述べる。

100mb面の温度場、対流圏の循環の特徴と地上気温偏差との同時又は非同時的な関係を示す。こうして導いた結論は、季節天候予報に役立つ。

(4) 夏季の前半に大きな気温偏差が生じた時の対流圏と成層圏循環の特徴

ブリューミナ p 63 ~ 70

この論文では、90°以西のソ連邦で夏季前半に大きな気温偏差が出たとき、それに先行する対流圏と成層圏における総観過程の研究結果を述べる。この領域で気温偏差の符号が全く逆の分布を示す5月についてみると、これに先行する季節でも、5月中でも、循環の過程は逆になるという特徴がある。

表3

(5) 自然総観季節の特徴

セバルキナ, アレシーナ p 71 ~ 77

1962 / 63年の冬から1967年の晩秋までの自然総観季節の前兆について研究する。有名な式で、第一自然総観地域内における H_{500} 場の前兆とその季節の各期間との関係を示すパラメーターを算出した。前兆の中には季節到来までに、総観過程の発達に完全に影響を与えるものもある。

表1, 参考文献6

(6) 晩秋期と冬季における大気循環の特徴と海洋の熱的状況

プロセキナ, エメリヤノバ p 78 ~ 82

自然総観季節の晩秋と冬季における北半球域の H_{100} と H_{500} の月平均値、北大西洋の海水面

温度偏差 90° 以西のソ連領での気温偏差を検討した結果を述べる。対象とする領域で気温偏差が大きい晩秋期には、対流圏や下部成層圏の循環にも、また北大西洋の熱的状況にも明らかな特徴が存在する。

参考文献1

(7) 特に寒い秋と暖かい秋における下部成層圏の特徴

ザハローバ p 88~89

1957年7月~1968年6月までの北半球域の対流圏と下部成層圏における大規模過程の解析結果を述べる。自然総観季節の秋が、特に寒い場合と暖かい場合における循環の特徴を示す。北極での H_{100} の月平均気温の経過と、循環の帯状指数の経過、ソ連邦の欧州域の地上気温偏差との間には、非同時的な関係がある。最後に秋季の気温と関係が深く予報に役立つ事項を示す。

参考文献14

(8) 7月の H_{500} 場の予報法

ズペーレフ, コゼリツエーバ p 90~98

この研究では、春季における H_{500} と7月の H_{500} 場とにある関係を示す。この関係を一層明確なものにすることによつて客観的な予報法になる。

表3, 参考文献7

(9) 季節到来日の決定に海洋と大気の大熱交換の特徴を考慮することについて

セバルキナ p 94~96

この論文では、18寒候期について、海洋と大気の大熱交換の特徴を示す資料を研究する。この研究の目的は、自然総観季節の変り目を定義することである。早く、正確に定義できるという結論を得た。

参考文献8

(10) 第一自然総観地域において、北大西洋が季節平均 H_{500} 場に及ぼす影響

クリンジン p 97~104

この論文では、北大西洋の季節平均の温度場と第一自然総観地域における H_{500} 場との同時的關係について研究した結果を述べる。独立変数 Δtw は南北循環の予報に一定の効果があり、前の季節と非常に密接な関係があることを示す。この研究は、1948年~1962年の観測に基づいている。

表3, 参考文献9

(11) 北大西洋上の気温予想について

メルツアローバ, ページ p 105~119

個々のパラメーター、気温 (Δta)、水面と気温との差 ($\Delta tw-a$)、水面温度 (Δtw) H_{500} の大気のゾーナル循環 (ΔL) の情報を、仮りの函数 $\rho(t)$ を用いて研究した。最大の情

報は Δtw と ΔL である。最後に、北大西洋上の気温(ΔTai)を示す式を作った。

$$\Delta Tai = A \Delta t (w-a) i + B \Delta L$$

又は,

$$\Delta Tai = a \Delta tai + b \Delta twi + C \Delta L$$

この式で係数 a , b , c は, 1949~1967年の資料で最小自乗法を用いて, 当月と翌月の予報のために決定した。

翌月の ΔTai の予想結果は, 年平均で $\rho = 0.25$ $Q = 1.00$ $P = 77.2\%$

$\bar{p} = 87.4\%$ 当月に対しては, $\rho = 0.37$ $Q = 0.85$ $P = 86.5\%$ $\bar{p} = 93.9\%$ であつた。この方法は, 北大西洋上の月平均気温偏差(ΔTa)の予想に応用できる。

表5, 図3, 参考文献24

昭和46年度長期予報技術検討会に関連して

I. 「日本付近での低気圧の発生・発達とその予報の可能性」というテーマ へのとりくみ方について—— 一門外漢の感想

電計室 新 田 尚

今年の全国長期予報技術検討会の大きいテーマのひとつが、日本付近での低気圧の発生・発達とその予報の可能性であった。第2日の討論は、殆んどこれにあてられた。このテーマが、長期予報技術検討の立場からみて適当かどうか、という議論もあるだろうが、こゝではそれについてはふれない。

このテーマをとりあげて議論するとすれば、どうとりくめばよいかについて、外野席からの感想を述べさせて頂きたいと思う。時間の制約で、肝心の検討会では殆んど報告をきくだけで終始し、つまこんだ討論がなかなかできない現状から、誌上で大いに批判、反論を受けたいと思う。

予報技術では、あるテーマに対して次の3つの段階をきちんとふんで攻めていくことが必要だと思う。すなわち、

1. 前提となる考えの確立。
2. その考えの下で、何が、どの程度可能かという点について充分な考察をする。
3. 具体的な予報技術にまとめるための集約。

さて、今回のテーマについてこれらの点について順を追って考えていこう。第1の“前提”となる考え方は、幸い近年かなり明確になってきた。勿論、いくつかの例外やまだよくわかっていない点もあるが、少くとも現象的にはかなりはっきりした解析、統計が出されてきたし、理論的裏付けもみとおしがよくなってきた。

日本付近での低気圧については、熱帯性のじょう乱（台風も含む）を除いて、発生の状況と発達状況をはっきり区別する必要があると思う。発生に関しては、対流圏下半分での不安定性に基くと考えられる型と対流圏上層から下部成層圏に及ぶ不安定性に基くと考えられる型とのふたつに大別されるようである。従って、発生の調査に関しては、この点が明白に区別されて行われる必要があると思う。次に、発達に関しては、対流圏上層から下部成層圏にかけての不安定性が、対流圏下層に及ぶとき、はじめて実現するようである。こゝではこれ以上説明しないが、理論的

にも裏付けられてきたし、これまでの多くの調査は大体この考えを支持していると思う。第2日最後の話題であった成層圏循環による低気圧の発生・発達に関しても、決して例外的なことではなくて、上の考えに包含されると思う。なお、こゝではシノプティックなスケールの低気圧のみを対象にしているのであって、中規模やメソとよばれるスケールのじょう乱との関連については、現在まだよくわかっていないことが多いので対象としていない。今後の重要な課題だろうと思う。

低気圧の発生・発達について、仮説的ではあるが、ひとつの総合的物理像が明確に出来上がっていることが何より必要な“前提”だと考える。

次に、第2の“考察”に移ろう。対流圏上層や下部成層圏に及ぶ不安定性を天気図上で示すひとつの目安は上層の谷であるが、その谷が下層に低気圧を発生させたり、発達させたりするか、しないかは、その時の大気の状態による。複雑なことをぬきにして、ひと口でいうならば、不安定性の程度あるいは谷の垂直構造が、どの位の深さに達しているかが重要なキイとなると思う。従って、先づ発生についていうならば、“前提”で述べた2つの型のそれぞれについて、もし背の低い方（中間規模じょう乱）ならば、対流圏下半分中の不安定性の蓄積をつかみとることが何よりも必要だし、他方背の高い方（シノプティックなスケールのじょう乱）ならば、対流圏全層から場合によっては下部成層圏に及ぶ不安定性の蓄積をつかむことが重要なポイントとなってくる。発達に関しては、後者がどの程度の強さで下へ下ってくるかが決め手になると思う。

また、発達の程度を知る上では、何が手がかりになるだろうか。やはり、各層のパターン、偏差、ゾーナル・インデックス、エネルギー、卓越波数ということになると思う。このうち、ゾーナル・インデックスやエネルギーは、ある領域（普通は閉じた領域ということで北半球や全地球）での平均状態のインディケーターであることを忘れてはならないと思う。従って、大気の平均状態を示す目安として重要ではあっても、特定地域の状況をユニークに示すものではないと思う。また、波数については、これの変動からクリアー・カットな規則性は出てくるかどうか、疑わしいと思う。ケース・スタディそのものは、われわれの現象に対する理解を深める上で大切だが、他方ではその代表性を評価していくことが重要だと思う。

最後に、第3の“予報技術”についてだが、短期、長期を問わず現状では、“予測”技術として、さまざまな観点から答をしぼり出すよりはかかないと思う。そのためにも、個々のツールに対してある程度客観的なウエイトをきめておく必要があろう。このウエイトは、多くの資料からきめておくことになると思う。ツールの内容については、今更目新しいものがあるわけではないが、以下思いつくまゝに列挙しておく、

- a なるべく物理的根拠がはっきりした平均場の予報（主として超長波が中心）
- b a と独立ではないが、ゾーナル・インデックスの予報
- c 長波（短波）の発生・発達の目安になるインディケーターの予報
- d これまで得られた類似、モデル・パターンといったものの代表性を示す確率（そういうパターンに似たパターンのとき、何%の確率で低気圧が発生又は発達するか）

今回のこのコメントは、一門外漢の素人くさい発言にすぎないし、決して従来の予報技術を否定するものでもない。たゞ、現状をより発展させ、改革させていくには、こうした考え方をする必要があるのでないかと感じた所を発言したまでである。短期、長期を問わず、予報を出す上では、先づ根拠のはっきりした、客観性のある材料を充分(しかし多すぎずに)用意し、その上で豊かな経験で補いながら答をしぼり出すことが基本だと信じている。大いに反論、批判をして頂いて、小生をより高い所へ導いて下さるようお願いする。

Ⅱ. 1ヶ月予報の検討会について

朝 倉 正

新田さんの批判と助言はまことに貴重なものであり、長期予報以外の方々からの建設的な批判は長期予報の進歩にとってこれほど有難いことはない。新田さんの助言を頭に浮かべながら、1カ月予報の位置づけを試みた。

1. 低気圧の発生・発達を検討について

新田さんは1カ月予報の立場で低気圧の発生、発達を検討することの是非について、残念乍ら批判をさげられた。しかし、これは基本的に重要な問題であり批判をうけたかった。本誌でもすでに片山さんが2回にわたり predictability の問題を取り上げており、長期予報者の関心の的でもある。当初、決定論的予報の限界は Charney, Miyakoda の数値実験などから2週間が限界と云われたが、この限界は学問と計算機の進歩によってさらに拡張される性質のもので固定しているとは考えられない。メイソンの報告によると、Coby は50日まで積分し数日ごとに新しい低気圧が発生したと言う。また、fine meshによって超長波の予報も改善されたと云われている。したがって、将来とも低気圧の発生・1カ月予報は学問的にベースにならないということはないと楽観しているがどんなものであろうか。

だからと言って、低気圧の発生・発達を検討会の主題にしたことは冒険でないと言うつもりはない。多くの人が言っていたように、取り扱いによっては冒険であり、危険でさえある。我々は科学的な予報を志すものであり、情動的な予報を意図するわけにゆかない。

エネルギーは小さなじょう乱から大きなじょう乱に伝えられていることや、fine meshの有効性から判断すると低気圧の発生を5日平均天気図を用いて決定論的な予報が出せるわけがない。発生の機構が分かって始めて科学的な予報の対称になる。そのことに対する考え方が厳密でなかったことが、発生と発達と一緒にする取扱いになったと思われる。これは新田さんの批判をまつまでもなく、心すべきことと思われる。

現在、我々の持っている技術は超長波の変動を予想することに成果を上げているし、これが長

期予報の本質でもある。その観点に立つと、低気圧の発生・発達に超長波を通してどのように予測したらよいかという命題に変わる。それが故に平均天気図や成層圏天気図を用いた解析例が検討会に多く発表されたと考えられる。しかし、その成果の評価は人によって違うであろう。超長波のパターンが分かったからと言って、それよりスケールの小さなしょう乱のすべてが予報できるとは考えられず、「可能性」までが実力の範囲でなかろうか。したがって、我々は可能性を追求するもので、決定論的予報が可能であるとは考えられない。

2. 疫学と病理学と長期予報

長期予報は学問的に十分な根拠があって予報をだしているのではない。失敗しながら経験を重ねて、なんとか現状にきている。この歴史はここ当分つくであろう。メーソンに云わせると、今後は Marake と Bryan の結合モデルのように大気と海洋の取り扱いの一体化が長期予報に必要であると云う。

長期予報は学問的基盤が出来てから始めた仕事でなく、社会的要望が先行して始められ、技術が追いかけている。その技術の進歩の跡をみると、最新の知識を使いこなし、なんとか物理的な方法に近づくように、多くの資料を使つて外側からじわじわ的をしぼるようにしている。これは原因の分らない病気を発生状況、環境などから攻めてゆくと、ある程度分かってくると似ている。煙草が悪い、塩からいのはよくないとかいう処方だせるか、病理学的に証明されて始めて処方するわけでない。医者に聞くと、このくすりが何故風邪にきくのか分らないけれど、経験的に治療に役立つから使うと言う。病理学で分かって、臨床に役立つ場合もあるが、全部が全部そういうわけでないらしい。

長期予報の現状はそれに似ている。学問的にはまだ証明されなくても、高温になる場合、寒波が吹き出す場合の前兆となる要素を疫学的立場から分かっている。そして、それなりに理くつをつけて大気の運動を理解している。それを病理学の立場からみると、十分でなくおかしい場合が多々あるに相違ない。外からの建設的批判が欲しい理由がこゝにある。

Ⅲ. 長期予報技術検討会についての感想

気象研究所 荒 井 康

検討会に毎年出席していつも感じることは、1ヶ月ないし半年先の予報をだすことが大変むずかしいということと、予報技術向上のために全国の仲間がいろいろと努力し、調査研究を進めているということである。ごく最近では物理量の導入等新しい考え方も定着しつつあり、こうした中で予報技術はたしかに進歩してきている。しかし他方、いくつかの以前からある手法がそのままの形で使われており、現場にいるという制約から、簡単に求められる量だけにたよる解析が多い

というような点で、何か物足りないと感じることがあるのも事実である。このことに関していくつか意見を述べるが、これは研究所にいる者の現場に対する一つの意見であるから、逆に我々に対する意見や批判が、別の機会にでもまとめられてほしいものである。

一つの例として週期法について考えてみよう。かつて週期法がはなやかだった時があったが、それから今日まで週期（法）そのものに対する基礎的研究は少いように思う。確かに、高度場に20日とか30日週期が現われたと見られる場合、これを利用して予報がうまくいったということも聞くが、ただこれを繰り返していても、予報精度の向上には役立ちそうにもない。これは、一年とか半年週期のようなものを除き、一般に週期そのものの存在が実証されておらず、その実態も明らかでないためである。しかし予報技術の一つとして週期法を使うというのであれば、その実態を少しでも明らかにする必要がある。このためには、北半球各点の気温や高度等の気象要素の時系列のスペクトル解析を行ない、どのような週期が卓越するのか、またその地域性や三次元的空間分布を調べることが考えられる。ただこれにはやり方にもよるが、ぼう大な資料、計算時間、手間がかかり、現場でやるというのはまず無理である。しかし手計算でもそれなりに、過去の例についてまとめることはできる筈である。例えば、もし30日週期が経験的に意味がありそうだというのであれば、この週期を抽出する定義を定め、これによって過去に出現した例の度数、持続性、地域性等の特徴を調べるのである。このような解析に大きな意義があるかどうかは別にして、こうした解析をしない限り、技術としての週期法の発展はありえないといえるであろう。

次に解析をする際の順序や問題点等をいくつかあげてみよう。

- (1) 解析の目的を明らかにする。
- (2) すでに得られている客観的事実をもとに、結果の見通しをつける。
- (3) 具体的（年次）計画をたてる。
- (4) 解析の見通しに特に関連すると思われるものからはじめる。
- (5) 解析のそれぞれの段階できちんとまとめていく。
- (6) 解析の結果に主観的解釈をやたらに加えない。
- (7) それまでに得られた結果から、はじめに見通した結果が出そうにもない時は、解析の計画を時に変えることもあり、またはその解析を一時中止する。
- (8) 目的とする解析がうまくいかなかったとしても、しっかりした解析なら、得られた結果はいつか役に立つことが多い。

以上あらためて強調するまでもないごく当たり前のことを書きならべたが、しかしこれ等のことが案外守られていない場合があるのである。また実際問題として、このようにやるというのは大変努力のいるものでもある。長期予報にかぎらずその技術を発展させる道は、積み重ねのきくような仕事をする以外になく、結局それが一番の早道であるということである。

Ⅲ. 昭和46年度全国長期予報技術検討会に出席して

高松地方気象台 松 岡 隆

編集部から検討会の感想を求められた。地方の現場の人間である筆者は軽妙にものを表現することが不得意であるが、編集部が地方の生の声を要求しているものと解釈して批判に堪えないであろう感想文を提出する。

家族的なふんい気——地方で季節予報業務を担当している人々はだいたい似たような環境にありしかも少数であるので、検討会に集まると親しみがわき家族的なふんい気がかもし出される。そのうえ本庁の方々の歓待を受けると和やかな気分になってしまう。有難いことで厚く御礼申し上げます。

もっと討論を——今年は昨年に比べると質疑応答が少し少なかったような気がする。以前のことは知らないので何とも言えないが、带状流のなかのゆるやかな波のようなもので、心配するような現象ではないだろう。強いて原因を考えると、今年の検討内容が豊富でしかも新しい分野の開拓ということであったので時間的制約があったせいではなかろうか。昭和48年度からは各論に入って行けるのでサブ・テーマをもっとしぼって集中的に検討することができるだろう。技術の面白さは厳しさと同じもののような気がするのでさらに討論が活発になることを願っている。今年はオブザーバーの方々からコメントをいただいた。プレディクタビリティに関することだったように思う。筆者がいつも気にしていることで、明快に説明されたので有益であり、士気を鼓舞された。

1年間の疑問——本務のほかに当台の人々からいくつかの疑問点を教えていただいてくるように依頼される。現場の仕事に関連したもので次元の高いものではないが、いつも頭にひっかかっているような問題である。超長波の存在・平均図の意味などいまさら……という気持があって質問するには勇気を要する。教えていただいた方々の御好意に深謝申し上げます。

講演——今年は広田さんの“大気現象における時間・空間エネルギー”を拝聴した。上京するときに講演内容をみんなに伝えるよう強く依頼されていたこともあり興味深く聞かせていただいた。基礎的なところから説きおこしていただいたのが有難かった。高松へ帰って報告したときに質問が多かったのがこの部分であって、現象のスケールとスケールの選択性(成因)の二項の内容は地方の人々が常々現業の仕事に関連して抱えている疑問点に当たってくれるところが多かった。

検討会の報告会——四国地方では短期の検討会とあわせて報告会を開いている。今年は3月8日に約50名の人々が集って開催された。多忙な業務の間を縫って参加されるわけでその熱意に敬意を表したい。地方の方々が中枢へ来られて“地方ではデータがない”ということと言われる。なるほど現代は情報の洪水であるが、実際に適切な技術的な情報ということになると話は違ってくる。地方の方々の心情は筆者が本庁へ出かけるときの気持ちと似たようなところがあり、察す

るに難くない。したがって報告会は活発で百家争鳴である。何回も何回も回を重ねて技術的情報の交換をはかることによって少しずつ技術的な面に貢献することができるのではないかと考えている。

地方の利点 — 地方中枢の季節予報業務は予報官が担当しているところと調査係が担当しているところの別はあるがともに兼業である。部屋も一緒に兼業であるが故に短期・長期のカーテンは存在することができない。また天気図はいつでも好きなときに見ることができる。——われわれは事実のほう庫のなかにいる——（もっとも見る目が必要だが）また国民政治経済社会の要求と批判の前面にあることも強みである。

あとがき — 感想文が負け惜しみになってしまった。地方官署の方々に少しでもお役に立てばしあわせである。

V. 検討会の御批判に答えて

長期予報管理官 和田 英 夫

本年の全国長期予報技術検討会に関連して、新田、荒井、松岡さんから、それぞれ御感想あるいは御意見をいただいた。

新田さんは、我々がこれから1ヶ月予報を検討するに際して指導標ともなるべき具体的事項を示され感謝に堪えない。その中で予報技術の客観性への努力は、これからの長期予報にとって最も大切な問題であり、その反面かなり難しい問題であろう。

たとえば北半球の500mbパターンを見て、その現況と世界の天候の特性について討論できる人は気象庁にいま何人いるであろうか。なるべく多くの人に北半球のパターンを理解してもらうために何とかして北半球パターンを客観的に分類できないであろうか。といったような考えから、私と北原さんが東西指数を用いて戦後の北半球500mbパターンの分類を行なったが、とてもまだ十分な分類に達していない。しかし、私自身北半球の500mb天気図を毎日のように眺めて十数年になるが、今ではパターンを見ただけで世界の天候の特性がかなりまで判断できるようになってきた。特に平年偏差図があれば気温については大局を誤らないまでになってきている。しかし、これを客観的に統計的方法で明確に示せと言われても、すぐにはちょっとできかねる。つまり短期予報の幼年期と同じように、いろいろの因子が組み重った経験がひとつの500mbパターン判断の手法として身につけてきているのである。長期予報には現在もなお、経験的な面が多いが何とかして客観性を付与してだれにでも分るようにすると共に、長期予報に興味をもつ方々を多くしたいと考えている。来年の予定検討事項である太平洋におけるブロッキングにしても、客観性ということが大きな問題となるであろう。

荒井さんは周期を取りあげ、その解析手法についていろいろ論じておられるが、やはり客観的

事実の摘出をあげている。しかし周期について指摘されているような度数、持続性、地域性などの統計的な特性もさることながら、その周期の物理性の究明を並行すべきではなかろうか。長期予報の現業として周期法は最も使い易い方法のひとつであるが、早く物理的な客観性のある周期を使いたいものである。

松岡さんからは検討会に出席する地方側の一人として御意見を頂いた。検討会の内容については、本年度から御期待に沿うようもっとしぼりたいと考えている。1ヶ月予報の問題は短期予報にもつながる問題が多いので、是非これからも検討会の内容を管内の方々にPRするようお願いしたい。

折角三人から貴重な投稿をいただいたのに答えにならない答えになってしまった。蛇足ながら、次に1ヶ月予報を始めるに際しての方針を再録してお許し願いたい。

1ヶ月予報に関する総合検討に際して

すでに御承知のように、過去6年間にわたる夏、冬の天候予想の検討結果は、近く“季節予報指針”としてまとめられ発刊されることになっている。その内容は、もちろん十分とは言えないかも知れないが、現時点においては世界的に誇りうるものと信じている。特にこれらの結果は、他の研究成果と異なり、予算の裏付けもなく研究が行なわれ、各予報中枢の担当者の多大な努力によるものであり、ここに担当者各位に深く謝意を表したい。

さて長期予報の研究に関する世界のすう勢をみると、これまで1ヶ月予報に重点をおいてきた各国、特にソ連や英国では、最近夏や冬の季節予報の技術開発に努力を集中するようになってきた。さらに学者によっては、ドイツの Flohn やソ連の Kljukin のように数年先の天候予想の重要性を指摘している人もあり、世界的に長期間の天候予想が、最近の気候変動と関連して各国の注目的的となっている。このようなすう勢の中で、わが国で季節予報に関する技術の総まとめが行なわれたことは、まことに時宜にかなったことであったと考えられる。

日本においては、御承知のように昭和34年から8カ年にわたって1ヶ月予報の検討を行ない、特に天候ベースの転換についていろいろ検討がなされている。しかし、その後10年を経過し、500mbの資料の整備、さらに電計の利用など資料と技術の両面で近年長期予報は飛躍的進歩をしている。そこで、すでに得られた季節予報の研究成果を背景として、ここに再び予報中枢の総力を結集して1ヶ月予報の検討に再挑戦しようというのである。

もともと学問的には、Predictability のこともあり、1ヶ月予報の技術開発は極めて困難な問題ではあるが、気象庁の業務という面では、全力を尽して是非解決しなければならぬ重要な問題である。Predictability がどうあろうとも、寒候期における寒波しゅう来モデルの確立、北日本の冷夏モデルの設定など、ある特異な天候を対象として、季節予報という長期の予報の立場からその総観的過程がかなり解明されつつあることは、今後の1ヶ月予報の精度向上の可能性に大きな示唆を与えてくれる。とりあえずは、1ヶ月予報の重点ともいべき天

候ベースの問題、異常天候の総観過程のモデルの確立、さらに最終的には、毎日の天気の1ヶ月予報の確立を目ざして検討を続けていきたいと思う。これらの諸問題は、とりもなおさず短期予報にとっても重要な問題であり、広く各位の今後の御協力をお願いしたい。また本庁としても、地方の各位ができるだけ少ない労力で調査ができるように、毎年各テーマに関連した資料の配布を行なうように計画するつもりでいる。

最後に、1ヶ月予報の検討についていろいろな考え方があると思うが、その基本的方向として根本氏の論説を引用してその方向についてまとめておこう。根本氏は、天気予報の段階には、現象的、機構的、本質的段階の3つがあることを指摘している。我々がこれまで取扱ってきた長期予報の多くの問題は、殆ど現象的段階に終始してきたように思われる。しかし今後の1ヶ月予報では、対象となる気象現象の立体構造や大循環との総観的関連性を考慮し、少なくとも機構的段階における検討を行なうように、あらゆる点での努力が必要である。主題によっては短期予報と同じように、本質的段階にまで取組むことも必要であろう。恐らく現実の問題として、まず、1ヶ月予報に関連した諸現象の気象学的本質に基づき、その大循環との同時的関連性の検討に努力が集中されることになろう。これらの問題が解決された後に、その予報という観点から、いろいろの方法によってその可能性の検討が行なわれるのではなかろうか。いずれにしても本年の検討会は、これからの1ヶ月予報の検討をどのように行なっていくかというその方向を見出すためのものであり、活発な討論と意見を期待してやまない。

編集あとがき

10巻2号の発行がおくれて誠に申し訳なく思っています。いろいろ理由もありますが、多くの方々にご迷惑をかけたことをここに詫言します。

次号は広田さんのご好意により、検討会の講演要旨を論文にまとめたものと、森さんの成層圏大循環の総合報告のまとめを予定しております。発行は7月中旬頃の予定です。

さて、47年度のLEグループ代表として、安藤正次、山崎学、森信成の3氏が選出されました。身心気鋭の人たちですから、もうすでに次年度の発行に取組んでおられます。

(久保木、宮川)

