

# 図式方法による予想天気図の作成

新 田 尚\*

Estoque-Fjortoft の 2-level model を用いて図式方法による予想天気図を作成し、現業的にとの程度までの予想天気図が得られるか実験した。(この報告に含まれる期間は1956年12月から1957年4月迄である。)その結果いくらかの改善は必要だが、この期間については十分使い得ることが示された。

## § 1 はじめに

昨年以来、Fjortoft の図式積分法を用いたバロクリニック・モデルの数値予報方式で地上(1000mb)の予想天気図を作るモデルが、いろいろ発表された。いずれも本質的には同じものと考えられるが、用いた仮定が少しずつ異なるので実際のやり方になると違っている。それらのモデルとして呈出者に応じて次の4つがあげられる。

- (1) Estoque のモデル 1
- (2) Estoque のモデル 2
- (3) Fjortoft のモデル
- (4) Reed のモデル

大阪管区気象台予報課では、現場の人々が2~3人づつ交替に日勤班をつくり1956年12月1日から準ルーチン作業として毎日予想天気図を作成した。最初 Estoque のモデル2と、Fjortoft のモデルを併用して2つづつ作ったが、結果は殆んど同じであった。1957年3月からのモデルのみを用いた。なお1月22日から計算方法を簡単化した。われわれの目的は毎日の天気予報作業に物理的な客観性をもたせるために数値予報の成果をとりいれる所にあり、図式方法という簡単で現業的に扱い易いが粗雑な積分方法でどの程度までの予想天気図が得られるか実験することにした。そのためには、日々複雑な変化を示す天気現象をなるべく多く扱ってみる必要を感じた。

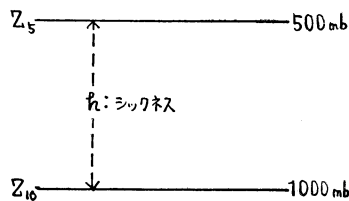
1956年12月から1957年4月に至る5ヶ月について結果をみると天気現象の種々の特長についていろいろ面白いことがわかったが、1000mb 24時間高度変化の予想は、この期間のはじめから終りにゆくにつれてよくなった。しかし技術的な改善を施すことによって大体毎月コンスタントに0.6~0.7位の相関係数が得られるものと考えられる。結果の予想天気図は予報者の主観的な予報のチェックとして或いは従来バラバラに用いられて来た予報技術の一つの総合的な表現として用いられた。また逆にこうした図式方法を使って数値予報的な解析をすれば、大気現象の物理的な構造が次第に明らかにされる見通しを得た。(即ちシックネスや渦度の変化の実態を数値予報のモデルに従って解析すれば、一方ではモデルのチェックが他方では大気現象の物理的なからくりをこ

とが出来る。)

そうした意味でこの図式方法を現業で扱えば単に出来上った結果を追うだけでなく天気予報を行い天気現象を解明する過程にいろいろ有益な道具になると考えられる。又そうすることによって図式方法に限らず高速計算機を使って日本附近の数値予報を行う際の知識が貯えられるだろう。この予報方式に含まれている種々の仮定が実際の大气でどの程度成立しているか、又実験の結果生じた問題の更に詳しい検討は機会を改めて報告したい。

## § 2 予報方式

先に岸保博士が紹介されたので(天気 Vol. 3, No. 10, 1956)ここでは大阪で使った方式を示すに止める。(附録参照) 2-level model では500mb及びシックネス24時間高度変化、



第1図 2-level model

$\Delta Z_5$  及び  $\Delta h$  を夫々予報し 1000mb の24時間高度変化  $\Delta Z_{10}$  を

$$\Delta Z_{10} = \Delta Z_5 - \Delta h$$

から求める。これを初期の1000mbに加えれば、24時間後の予想図が得られる。所で500mbの予報は、500mbを非発散層とするバロトロピック予報を行い又、シックネスはモデルによって夫々異った方法で予報する。

そこで  $\Delta Z_5$  と  $\Delta h$  を別々に求めずに、500mbの絶対渦度保存の式とシックネスについての保存量の保存の式をカップルして一つの保存量の保存式の形にすれば計算は大変簡略化される。そうして求めた  $\Delta Z_{10}$  を初期の  $(Z_{10})_{t=0}$  に加えれば、求める予想図  $(Z_{10})_{t=24}$  は次の方式で与えられる。

《Fjortoft のモデル》: 移流場  $\bar{Z}_5 + G$

第1近似  $(Z_{10})^{(1)}_{t=24}$

$$(Z_{10})^{(1)}_{t=24} = (Z_{10})_{t=0} + \Delta Z_{10}$$

$$= \left[ Z_{10} - \frac{1}{2} (\bar{Z}_{10} + G) \right]_{t=24}$$

$$+ \frac{1}{2} (\bar{Z}_{10} + G)_{t=0}$$

\* 大阪管区気象台予報課 —1957年7月24日受理—

ここにGは緯度のみによる定数、 $\bar{\alpha}$ は $\alpha$ の空間平均を意味する。

第2近似  $(Z_{10})^{(2)}_{t=24}$

$$\begin{aligned} (Z_{10})^{(2)}_{t=24} &= (Z_{10})^{(1)}_{t=24} + 2\bar{\Delta A} \\ &= \left[ Z_{10} - \frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G) \right]_{t=24} \\ &\quad + \frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G)_{t=0} + 2\bar{\Delta A} \end{aligned}$$

ここに

$$\begin{aligned} \Delta A &= \left[ Z_{10} - \frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G) \right]_{t=24} \\ &\quad - \left[ Z_{10} - \frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G) \right]_{t=0} \end{aligned}$$

である。

《Estoque のモデル2》: 移流場  $\frac{Z_5}{2}$  (又は  $\frac{\bar{Z}_5}{2}$ )

第1近似  $(Z_{10})^{(1)}_{t=24}$

$$(Z_{10})^{(1)}_{t=24} = [Z_{10} - (\bar{Z}_5 + G)]_{t=24} + (\bar{Z}_5 + G)_{t=0}$$

第2近似  $(Z_{10})^{(2)}_{t=24}$

$$\begin{aligned} (Z_{10})^{(2)}_{t=24} &= (Z_{10})^{(1)}_{t=24} + 2\bar{\Delta A} \\ &= [Z_{10} - (\bar{Z}_5 + G)]_{t=24} \\ &\quad + (\bar{Z}_5 + G)_{t=0} + 2\bar{\Delta A} \end{aligned}$$

ここに

$$\Delta A = [Z_{10} - (\bar{Z}_5 + G)]_{t=24} - [Z_{10} - (\bar{Z}_5 + G)]_{t=0}$$

である。

Fjorftoft のモデルについて手順を示すと次の通りである。

(1)  $Z_5$  と  $Z_{10}$  (我々は地上天気図から 6.5mb は 50m の換算率で求めた) を用意する。

(2)  $Z_{10}$  を 1000km の格子間隔で空間平均し ( $\bar{Z}_{10}$ ) それにGを加えて ( $\bar{Z}_{10} + G$ ) 2 で割る。 ( $\frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G)_{t=0}$  を得る) G は m単位で概算下表の通りである。

第1表 Gの表 (m単位)

緯度	60°	56°	50°	45°	40°	34°	28°	17°	0°
G (m)	200	175	150	125	100	75	50	25	0

(3)  $Z_{10}$  から  $\frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G)$  を引く

$$\left[ Z_{10} - \frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G) \right]_{t=0} \text{ を得る}$$

(4) それを  $\bar{Z}_5 + G$  の場で24時間流す ( $[Z_{10} - \frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G)]_{t=24}$  を得る), なお我々は移流場の80%の地衡風で流した。

(5) その結果に (2) で得た  $\frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G)_{t=0}$  を加える。これで第1近似  $(Z_{10})^{(1)}_{t=24}$  を得た。

$$\begin{aligned} (6) \quad \Delta A &= \left[ Z_{10} - \frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G) \right]_{t=24} \\ &\quad - \left[ Z_{10} - \frac{1}{2}(\bar{Z}_{10} + G) \right]_{t=0} \end{aligned}$$

を求め、1000kmの空間平均し2倍する。

(2 $\bar{\Delta A}$ を得る)

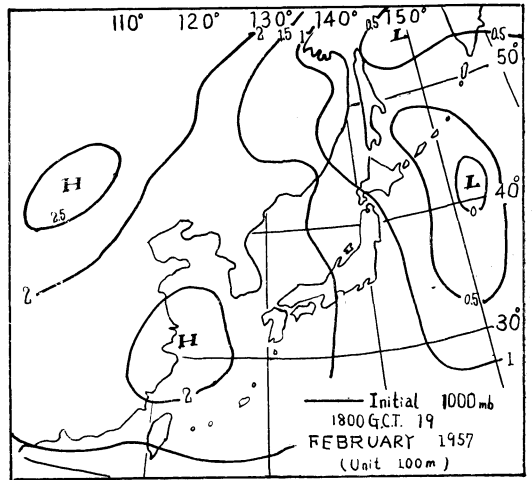
(7) 第1近似に 2 $\bar{\Delta A}$  を加える。

これで第2近似  $(Z_{10})^{(2)}_{t=24}$  を得た。

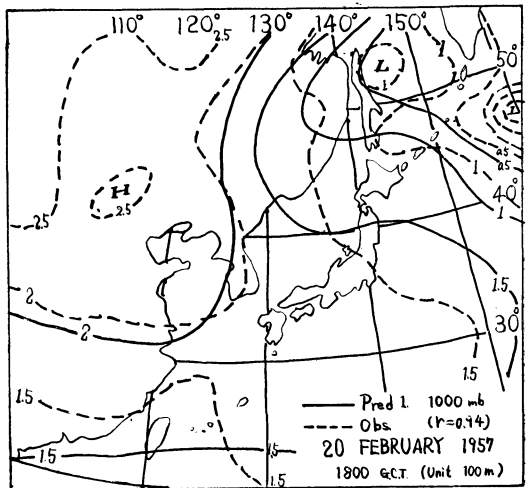
### §3 結果と検討

Fjorftoft のモデルを用いた予想天気図の例を第2図(a), (b), 第3図(a), (b), (c), (d), (e)に示す (Pred. 1は第1近似, Pred. 2は第2近似をあらわす)。

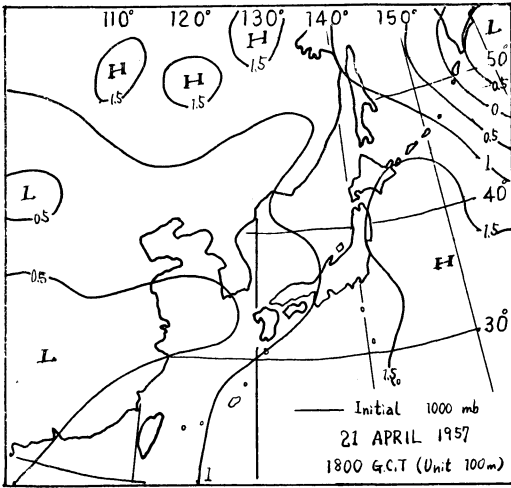
第2図は高気圧が張り出した場合である。第3図は谷



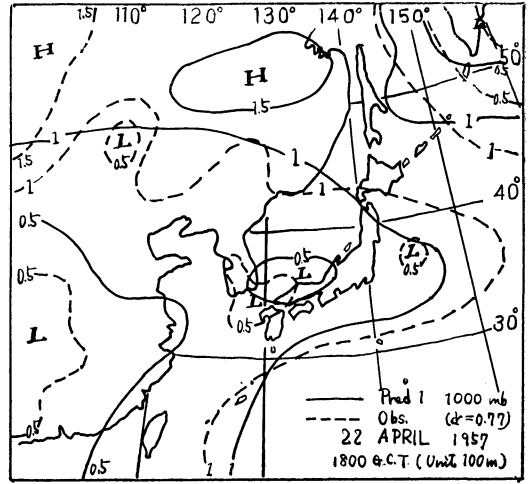
第2図(a) 高気圧の張り出し。初期 1000mb 等高線。2月20日3時。単位 100m。



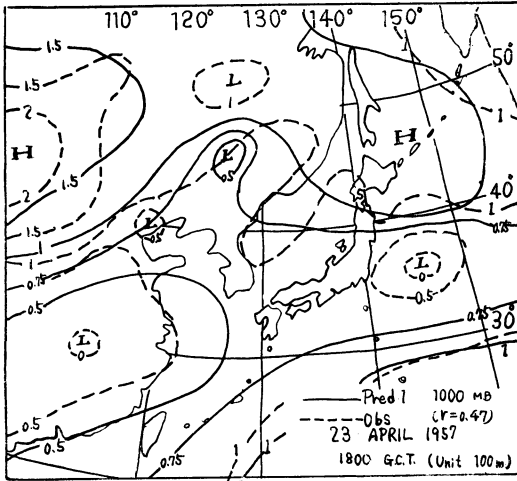
第2図(b) 高気圧の張り出し。予想 1000mb 等高線(—)と実況1000mb等高線(……) 2月21日3時。単位100m。



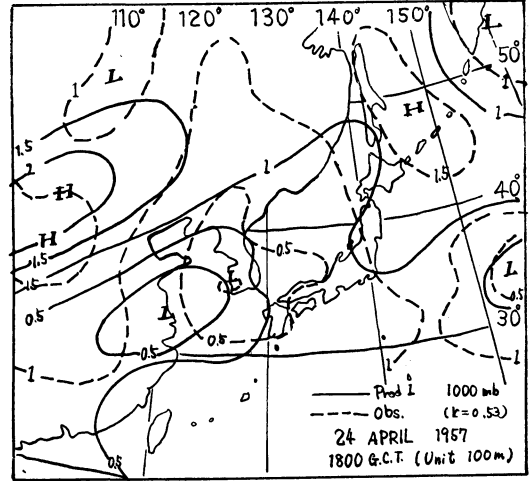
第3図(a) ぐずついた天気. 初期 1000mb 等高線. 4月22日3時. 単位100m.



第3図(b) ぐずついた天気. 予想 1000mb 等高線 (—) と実況 1000mb 等高線 (……) 4月23日3時. 単位 100m.



第3図(c) ぐずついた天気. 予想 1000mb 等高線 (—) と実況 1000mb 等高線 (……) 4月24日3時. 単位 100m.



第3図(d) ぐずついた天気. 予想 1000mb 等高線 (—) と実況 1000mb 等高線 (……) 4月25日3時. 単位 100m.

や小さい低気圧が次々と西日本を通りぐずついた天気が続いた例で、一連の予想図の経過を示した。

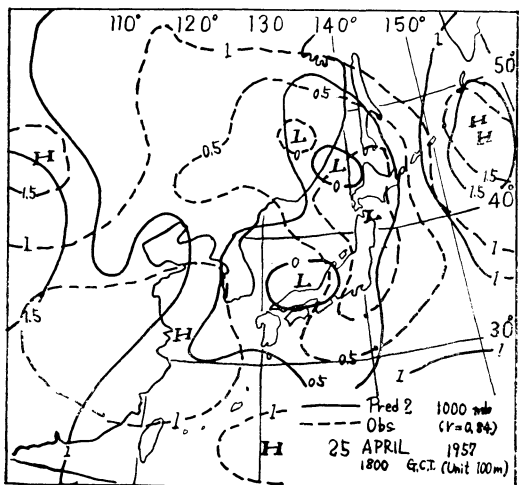
これらは、ごく限られた例にすぎないが、この期間の1000mb 24時間高度変化の予報—実況の相関係数  $r$  を示すと第2表のようになる。なお相関係数は第4図の35の格子点につき計算したものである。

又相関係数の月平均値をグラフにすると次頁の様になり、この期間のはじめから終りにゆくにつれてよくなっていることがわかる。しかしこの傾向から直ちに12月が一番悪いというのは危険で、12月の場合をしらべてみると、最初の技術的な未熟さと更に西高東低型の気圧配置の時が悪いことがわかる。そこでこの期間の天気変化の

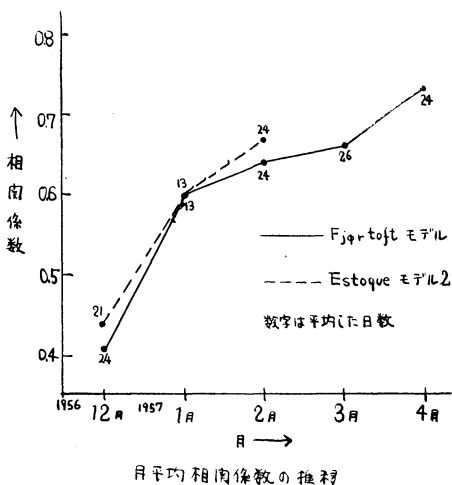
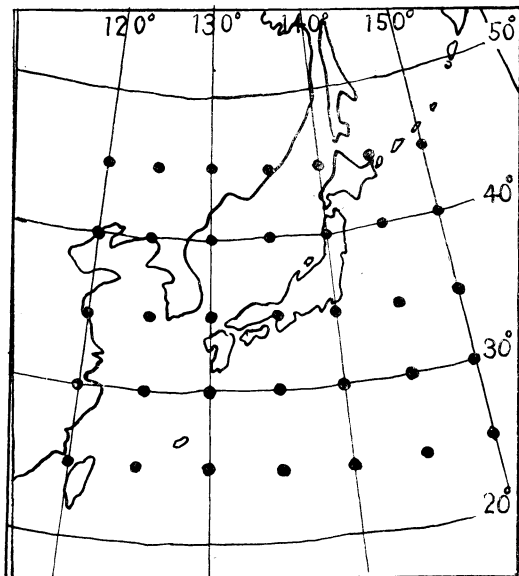
特長と予想図の結果をみてゆく。

(1) 西高東低型

パターンの型は似ているが全般に東へ流れ過ぎで、24時間高度変化の相関係数が著るしく悪くなっている。一つには非発散層が500mbにあるかどうかが問題になるが、700で流してみても結果に大きい改善がみられなかった。(300mbについても改善が期待出来ない様に考えられる)。次に高度変化の様子を調べてみると予報領域の西方の高気圧、東方の低気圧が共に発達している。しかし東方の低気圧は予報領域の境界にひっかかっており、ある場合は低気圧の中心が、境界の外に出ている。西方の高気圧も境界にふれて十分その発達が予報されな



第3図(e) ぐずついた天気。予想1000mb等高線(—)と実況1000mb等高線(……) 4月26日3時。単位100m。



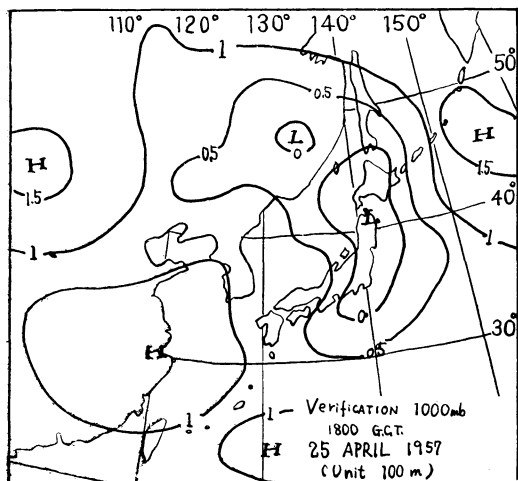
第4図 相関係数を計算するのに用いた格子点(上图)及びグラフ月平均相関係数の推移(下图)

第2表 1000mb 24時間高度変化予報—実況の相関係数  $r$

$r$	月	1956 12月	1957 1月	2月	3月	4月
0.49 以下		11(8)	3(4)	5(6)	6	4
0.50~0.59		3(2)	2(2)	5(2)	2	2
0.60~0.69		4(5)	1(1)	3(4)	4	0
0.70~0.79		2(3)	3(0)	6(6)	4	8
0.80~0.89		3(2)	3(5)	3(5)	2	8
0.90 以上		1(1)	1(1)	2(1)	3	2
日数		24(21)	13(13)	24(24)	26	24
Max		0.91 (0.91)	0.95 (0.93)	0.94(0.92)	0.97	0.96
Min		-0.36(-0.47)	0.01(-0.01)	0.21(0.34)	-0.04	0.39
Mean		0.41(0.44)	0.60(0.60)	0.64(0.67)	0.66	0.73

(註) ( ) 内は mcdel 2





第5図(e) 実況 1000mb 等高線. 4月26日3時  
単位 100m.

#### (7) 4つの model の比較

1例として4月25日から26日にかけて低気圧が発達した場合を示す。このモデルの例は第3図(e)である。

Reed のモデルは低気圧が遅れているが、例が少いのでは何とも云えない。

上に述べた結果からこの方法の限界が明らかとなって来た。次にそうした限界の内、図式方法の制約によるものと 2-level model の制約によるものと、もつと一般的な予報方式の問題に至るものとわけて考えてみたい。

そして最後の問題は機会を改めて解決を求めことにしたい。

#### A. 図式方法の制約によるもの

##### (a) 移流場の変化

図式方法では移流場例えば  $Z_0 + G$  の時間的安定が前提となっていてその初期の場で24時間一気に流す。しかし実際には必ずしも十分安定であるとは限らない。例えば低気圧が急激に発達する際には移流場自身はかなり変化する。そうした移流場の変化は次の3つにわけて考えられる。

1) バロトロピックに変化し time step さえふめば変化が表現されるもの。(図式では time step をふんでも有効ではないから高速計算機でやらねばならない)

2) バロクリニックに変化している場合。その場合図式方法に便利な様に 2-level model の上の level を非発散層としている仮定が成立していないのだから先づ非発散層を 500mb 以外に求めねばならない。或いは移流場として扱える様な非発散層がないかもしれないので、種々の天気状況と非発散層の関係を明らかにする必要がある。

3) long wave に変化が起きた場合。即ちもっとスケールの大きい基本的な場に変動が起きた場合なので移流

場の変化というよりむしろその土合が変わっている訳だから現在我々が取扱っている範囲外の問題である。この種の変動は普通ゆっくりしたものだが、かなり影響を与える場合がある。

##### (b) relaxation

低気圧が発達する際など relax を沢山行う必要があるがこれは図式では十分期待出来ない。

#### B. 2-level model の制約によるもの

##### (a) 非発散層

上にもふれた様に、この予報方式では一つの大きい仮定で非発散層の実態を調べる必要があり今後の課題の一つである。例えば一年を通じて季節的にどう変っているか？ 5月下旬から6月にかけては 500mb で 1000km 格子間隔の空間平均は場が平滑化されすぎて都合が悪い。又低気圧の発達につれて低下するといわれているがその際まわりは下っていないだろうからいずれを移流場にするべきか？ (或は両方平行してやってみなければならないだろう) などある層を非発散層として固定する際にいろいろ問題が生じてくる。今  $\omega$  の鉛直分布を目安としてさぐっている。

##### (b) 2-level の間、全層を thermotropic とする仮定

日本附近の天気現象は常にこの仮定を満しているとはいえない。例えば台湾坊主の発達の比較的初期の段階ではその鉛直構造に上層と下層でかなりのギャップがある。そして 2-parameter model 自身の自己矛盾はこの model を採用する限り仕方がないとしてこれを解析に應用すれば、こうした物理的な仮定については構造のチェックが出来る。

#### C. 一般的な予報方式に至る問題

##### (a) 大気現象のスケール

三次元的な数値予報を行い高層の map から地上の map 迄ひっくりかえりて扱う場合従来の large scale の予報方式の範囲をひろげて medium scale の現象も含める必要がある。即ち Rcossby number  $R < 1$  として導かれた予報方式を  $R \sim 1$  の現象も含める様にしなければならないと考えられる。また A の移流場の現象でふれた様に ground tone の波の変動のことも考えねばならない。

##### (b) 台湾坊主

大阪予報課の藤範氏は図式方法で数値予報的な解析を行い台湾坊主の初期の発達では 2-level 間の全層を thermotropic とする仮定が不十分であることを示されたが、台湾坊主の発生や初期の発達には更に一般的な取扱いを要する問題が含まれており、その物理的な過程にさかのぼって検討する必要がある。

## § 4 む す び

日本附近の天気予報を客観的に行う道は多様で険しい。しかし予報の現業作業に科学的な根拠のはっきりした道具を送ることは気象学を学ぶものの一つの道具であ

りまた現場の要求である。

以上に報告したことはそのささやかな努力にすぎず、まだまだ不十分であろう。残された問題は今後の研究課題として少しづつ開拓してゆきたい。この仕事は、大阪管区気象台予報課の現場の人々によって成されたものである。いろいろな面で御協力下さった現場の方々、また終始励ましと御指導をうけた岸保博士、いろいろ有益な討論をして下さった藤範予報官、西本調査官及び他の予報官の方々に深く感謝する。

最後にこの仕事を実施することを許され、種々御援助をうけた大谷台長、北田技術部長、喜多村予報課長、隼田調査課長、関西気象協会に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) 岸保勘三郎, 1956: 低気圧の発達とエストークの方法及び日本附近への応用, 天気 3, 10, 318~324.
- 2) Fjørtoft, R., 1952: On a Numerical Method of Integrating the Barotropic Vorticity Equation Tellus 4, 3, 179~194.
- 3) Estoque, M. A., 1956: A Prediction Model for Cyclone Development Integrated by Fjørtoft's Method. Jour. Met. 13, 2.
- 4) Estoque, M. A., 1957: Graphical Integrations of a Two-Level Model. Jour. Met. 14, 1, 38~42.
- 5) Reed, R. J., 1957: A Graphical Method for Preparing 1000-millibar Prognostic Charts. Jour. Met. 14, 1, 65~70.
- 6) Fjørtoft, R., 1955: On the Use of Space-smoothing in Physical Forecasting. Tellus

7, 462~480.

- 7) Petterssen, S., 1955: A General Survey of Factors Influencing Development at Sea Level. Jour. Met. 12, 1, 36~42.
- 8) Landers, H., 1955: A Three-Dimensional Study of the Horizontal Velocity Divergence. Jour. Met. 12, 5.
- 9) 藤範・新田 1957: 図式方法による予想天気図の作成 (実験報告)—1957年春名古屋での学会で発表.

<附 録>

単純化した予報方式の導出: Fjørtoft モデル 500mb の予報式

$$\frac{\partial Z_5}{\partial t} = \frac{\partial (Z_5 - \bar{Z}_5 - G)}{\partial t} = -J(\bar{Z}_5 + G, Z_5 - \bar{Z}_5 - G) = -J(\bar{Z}_5 + G, Z_5) \dots\dots\dots (1)$$

シクネスの予報式

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left( h - \frac{\bar{h}}{2} \right) = -J \left( \bar{Z}_5, h - \frac{\bar{h}}{2} \right) = -J \left( \bar{Z}_5 + G, h - \frac{\bar{h}}{2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

上を結びつけると

1000mb の予報式

$$\frac{\partial Z_{10}}{\partial t} = \frac{\partial Z_5}{\partial t} - \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[ Z_{10} - \frac{1}{2} (\bar{Z}_{10} + G) \right] = -J \left( \bar{Z}_5 + G, Z_{10} - \frac{1}{2} (\bar{Z}_{10} + G) \right) \dots\dots\dots (3)$$

を得る。(3)式から予想図を求める方式は §2 で記した通りである。

学 界 消 息

1. ラングミュア、スヴェルドラップ両博士逝く

晩年シェーファ等とともに人工降雨で我々に親しかつた米国の化学者ラングミュア博士は8月16日に、スウェーデンの海洋学者スヴェルドラップ博士は8月22日に死去されたということである。

2. 国際電波科学連合 URSI 第 12 回 総会が北米コロラド州ボルダーで開かれた

上記総会は8月22日より9月5日までボルダーで開かれた。在米中の人も含め日本の学者は26名出席したが、第2分科(電波と対流圏)にはコーネル大学に留学中の内藤惠吉氏(気象研)が出席した。

3. 国際測地学地球物理学連合 IUGG 第 11 回総会がカナダのトロントで開かれた

上記総会は9月3日から同14日までトロントで開かれ、在米中の人も含め10名以上の日本人学者が出席した

が、気象分科にはMITに留学中の松本誠一氏(気象研)が出席した。

4. トランソソソデが米海軍気象隊から気象庁に密贈された

米海軍気象隊では昨年春追浜で行った実験に引続き同夏から岩国基地でトランソソソデの飛揚実験を行っているが、10月10日午後2時横須賀米海軍気象部長コート中佐、同副長コンラド中佐、岩国海軍気象隊長ヒューステット少尉らが気象庁を訪問し、気球を含めトランソソソデ1組を和達長官に密贈した。

5. 日本気象学会創立75周年記念事業資金密付者名簿(11)

昭和32年9月7日から9月30日までに御寄付を頂いた方々(到着順)は次のとおりです。なおこれをもって申込受領証に代えさせていただきます。もし掲載漏れの方がいましたら至急御連絡下さい。

137 関岡 理一	8口
138 寺内 栄一	6口
小計	140口
総計	1,403口