

## 長期の予報に関する基礎的問題

日時：昭和31年5月19日午前9時～12時

場所：学 士 会 館

### 正野重方（東大理学部）

「長期の予報に関する基礎的問題」という題目で、シンポジウムを開くことになりました。しかしこの題目はいろいろな意味に解釈されがちです。例えば、ある人は季節予報と考えるかも知れません。しかし、これから開きますシンポジウムでは季節だけにとどまらず、半旬でも1カ月先でもともかく2・3日より長期の予報に関する問題を基礎的に論議することに致します。おそらく普通の dynamics だけで解決される問題ではなく radiation 等も考慮に入れなければならないと思われ、かなり複雑なものになって参ります。今日はこのような点に関してどこに本質的な問題があるかを、現業と離れて基礎的に議論していただきたい。

座長は内海さんにお願いします。

### 内海徳太郎（仙台管区気象台）

不馴れで御期待にそえないかも知れませんが、皆さんの御援助により上手にやりたいと思います。今日のシンポジウムは客観的長期予報はどうすれば完全になるか、どの程度延ばすことができるかの意見を講師から各々5分ぐらいきいてその後で質疑討論に移ります。活発な御意見を期待いたします。先ず西本さんから。

### 西本清吉（大阪管区気象台）

長期の予報には色々な問題がありますが、普通には予報対象として time mean の pattern を取扱っています。そこで先ず basic な pattern とそれからの偏差に分けて考えますと、perturbation は basic pattern に流されると考えられます。しかし一方 basic field はまた perturbation によって変形されます。例えば trough によって cyclone は発達すると同時にこの cyclone が通過した後では trough の形が変わります。このように大体半旬程度の平均図では渦度の移流よりも、むしろ擾乱効果により変形していると考えるのが妥当のように思います。

### 有任直介（気象庁予報部）

週間予報で苦労するのはよい方法がないことです。現在色々な方法を用いてはいますが、当りはずれが非常に多いのです。実際問題としては、70%の精度でもよいから安定性のある予報法が要求されます。ところで前回の技術検討会でも問題にしましたが、予報がはずれるのは所謂 base が変化したときです。例えば long wave の変化だとか、大寒気が北から下りて来る時には、それ迄良い成績を取っていた方法ががらりとはずれてしまいます。従って大規模の擾乱を予報する方法が望まれるの

です。さて、この問題について、少し私見を申し上げますと、いま迄渦度の保存がいられていますが、このような週間程度の大規模な pattern の予報に対してはこれは検討を要するのように思います。保存的な量として、変形発散等もさらに研究すべきではないかと考えています。また大規模な擾乱を予想するには、 $\bar{Z}$ ,  $\bar{P}$  だけでなく、もっとならして三重平均ぐらいのものをとって考えるのもよいのではないのでしょうか。例えば2月10日には70°～80°N に blocking high があつた。二重平均をとると ridge が残る。三重平均では大きな低気圧になる。これなどは blocking high の移動に何らかの知識を与えるのではないかと思います。

### 小沢正（気象研究所）

長期予報については、実に古くから物理的根拠を持たなければならぬと論議されながらも確固たる基礎の上に立つ研究方針が打出されず、必然的に狭義の統計的研究の方向にのみ向けられてきました。これは極端に言えば理論気象学との交渉を絶つたような状態であります。またその頃までの理論気象の研究のあり方も両者の分離の一因となつたと思います。そのようにして1940年まで統計的研究は数多くありながら、多くは verification のないまま、また原因不明のままに多くは淘汰されてしまいました。そして現在残されているものといえば Walker の研究およびその系列に属するものだけではないでしょうか。従つてこのような方法についての大気循環の基盤の上に立つ研究が要請されるわけです。しかし一面、従来呼ばれている狭義の統計的研究を長期予報研究の大道だとする考え方は検討されるべき時ではないでしょうか。新しい、大循環の model を設定しつつ統計的に検討しつつ進む研究方法も強く長期予報研究の前面におし出すべき時に来ているのではないのでしょうか。これに対し combined physical-empirical method として、J. Namias 派の研究が1カ月予報まで拡張されています。しかし model の時間平均の本質を疑問視することなく、単なる見掛上の model の上に統計的技法を適用しているのは1940年前の愚を再び繰返すに過ぎないように思われます。次に2、3の研問問題点を挙げて見ます。**客観的量的化** 長期予報の研究に実施されている synoptic analysis を客観的量的化することははなはだ困難なことでありましようが、より客観的、量的に解析し、関与する物理的考察をさらに有効果する時代に今や観測網の点、理論気象との結びつきのためにも要求されていると思われまふ。従つてこの方向への意識的努力が必要と考

えます。persistenceの研究 極端に言えば長期予報では、現在では、見掛上かも知れませんが persistenceが気象現象にあることが、予報の唯一の手懸りかと思えます。大気中の実質部分は日々変化しますが、場全体としての time lag correlationが高いことは認められます。しかしまだこの方面の理論的考察が不十分であるように考えます。この意味において1例として5日平均天気図の理論的統計的研究の必要性が望まれます。さらに、persistenceを広義に解釈すれば index cycle, 週期性の問題もあると思います。この点理論気象と統計との密接な関係を強調致します。安定度の研究 最近の研究は古い考え方から飛躍的に脱皮しつつあるように思われます。統計的立場からは Lorenzが提示した集合論的考察の面の研究が予報の基礎として考えられます。このような考え方の面からの発展が重要でないかと思えます。

最後に重ねて狭義の統計的研究の努力のほかに、延長予報の根本的問題、大気循環の問題(例えば大気循環の維持、大気運動エネルギーの平均流・擾乱のエネルギー交換過程等)に真正面から取り組むべき研究の必要性を強調致します。

#### 竹永一雄(福岡管区気象台)

旬日から3カ月程度の予報に因ることは、baseが変ってしまうことであります。これは位相あるいは波数が変わるといってもよろしいでしょう。5日、10日、15日の平均をとってみますと、各平均した波についてどれ位、持続性及び規則性があるかが判ります。例えば半月平均では季節変動が出てきます。すなわち11月および3月では急に波数が違ってきて、大陸の波が不安定になります。一方10日平均では定常波がよく現われてまいります。この安定波を乱すのは blocking です。次に5日平均になりますと持続性がなくなり変動が顕著になってきます。これは中波あたりが変動するためと見られます。又5日 intervalの図を作りますと、半月平均のものと同じくなり、定常波の変動を見るのに役立つと見られます。次に Fourierに展開して、中波だけをとり出すと1週間から10日位持続し、熱の南北交換でそれが持続しなくなるのがわかります。以上のことから平均の intervalは5日でよいが、定常のものしか判らない。旬日程度の予報をやるときにはその間に熱の南北交換のような変化を考慮しなければならないということです。

#### 増田善信(気象研究所)

予報期間を延ばす可能性があるか否か、ということの前に長期予報の意味を考えたいと思います。旬日予報では恐らく旬日の天気予報が要求されることでしょう。1カ月以上となると、月平均の状態とか anomalyの予想が要求されていると思います。このように要求に応じて方法を変える必要があります。旬日程度では time isoplethが用いられていますが、客観性が少ない。これは改善すべきであります。私は数値予報方式を用いるのがよい

と思います。窪田・栗原は5日予報、私も6日予報をやりましたが、Stockholmでも3日予報をやり相関係数0.7を得ています。旬日程度では渦度の保存性に問題点があるように思います。これが成り立つことについてはその予報結果がよいことから、大体は想像できます。しかし時には、はずれることがあります。この様な時には一応 baroclinicityを考慮すべきであります。baroclinicityを入れて time stepをふむと誤差が集積する恐れもあります。従ってたとえ baroclinicityを入れることにしても出来るだけ簡単な方法で入れ誤差の拡大を防がなければならないと思う。非地衡風の問題もありますが、500mbの旬日予報程度では問題にならないだろうと思います。もう一つの問題は boundary conditionであります。窪田・栗原のように4日位で相関係数が落ちるのは boundary conditionの影響だと思います。境界条件の入らない rangeをとるためには北半球全部をとるべきでありましょう。1カ月以上になると地形・非断熱の問題がありますから、anomalyの予報にした方がよいと思います。それには vorticity equationを移動平均して使うとよいと考えます。この中には Reynolds stressの項が出てきますが、現在までの dataで予報するとなるとせいぜい15日が限度であります。そこでこの中に統計的補助を入れる必要があります。一般に予報期間が長くなると time changeの項が小さくなり Jacobianや非断熱項が comparable orderになります。そのため errorを計算している心配が出てきます。それを防ぐために統計的やり方を加味するのがよいと思われる。又、その意味で荒川昭夫氏が今度の学会で発表されたものは発展性があると思うのであります。

#### 朝倉正(気象研究所)

ここでは、1カ月ないし半年位さきの予報について考えてみたいと思います。所で予報の本質は保存性にあると思いますが、半年先迄保存性のある物理量が存在するかどうか疑問があります。したがって半年さきまでの予報はできないという見通しがたちます。しかし、実際には予報期間が長いほど大気の流れ状態が卓越してくるので、保存という概念が変わり、ある統計状態において定義される量になり、確定的な予報は出せなくても、大きな傾向は予報できると思います。もっと短い予報期間たとえば1カ月位なら、力学的考えから出発した保存量によって、ある程度の変動を予測することはできるかも知れません。極端な表現をすれば1カ月予報ならば数値予報的思想を拡張してある程度の変化を予報し得ますが、半年予報になると全然その見込がないと思います。いまこの問題をエネルギー収支の立場から説明したいと思います。

1949年1月の1000mb, 700mb, 500mb, 300mbの北半球天気図を用いて、北半球の運動エネルギーを求めると  $4 \times 10^{12}$  S<sub>1</sub> erg, 摩擦によって失うエネルギーは 7.8

$\times 10^6 S_1$  erg/sec になります。ただし  $S_1$  は緯度  $20^\circ$  と  $30^\circ$  の間の面積です。これから推察すると運動エネルギーが摩擦によって消費される日数は 5.5 日となるので、力学的に閉じたバロトロピック・モデルでは予報はせいぜい数日程度さきまでしか出来そうにありません。つぎに位置のエネルギーが運動エネルギーに変わる量がどの位か館野の資料から見積ると、位置のエネルギーの変化のやく 1% が運動エネルギーに変わっているようです。このようなエネルギー変換を考えますと、運動エネルギーは 20 日ないし 40 日ぐらいで消費されます。したがって熱を入れた閉じた系では、やく 1 カ月位さきの予報なら可能であろうという結論になります。つぎに太陽輻射量によるエネルギーを見積ると、その 37% が effective energy になります。これは  $10^9$  erg/sec で前にのべた摩擦によって失うエネルギーを補うに充分であります。これがどのような道筋によって大気大循環に寄与しているかを知ることが、季節予報の本質的な問題になっています。予報期間をのぼすためには、太陽活動の変化を無視するわけにはいきません。この輻射エネルギーのある部分が南北の flux によって運ばれます。その輸送の方法には meridional circulation によるものと eddy によるものとがあります。平均期間が長くなると eddy flux の影響が卓越してきますが、一方平均図は滑らかになってきます。予報期間をのぼすためには閉じた系でなしに、熱の輸送を考えねばなりません。そのためには random と思われる eddy 状態を解析し、予報することが必要と思えます。

#### 須田建 (気象庁予報部)

私は現業の立場から、この問題をお話してみたいと思えます。短期の予報では、高低気圧、trough 前線をつかむことが大切で、いくらか期間の長い旬日予報でも trough の追跡を行うことによってある程度の成功をおさめています。しかしながら期間の長い予報では、所謂、“base” が変わる と急に成績が悪くなってきます。これは南北混合が、強くなったときすなわち low index になった時であります。このような base の変化が予測出来なければ正確な予報は期待できないわけですから、これを研究するのが重要であります。その為には base の変化に伴って synoptic にどのような現象が起っているかを調べ、それから法則を帰納することも一つの方法だと思います。もっと具体的には、まず非常に極端な場合をいくつかとりあげて解析し、どのような development が起っているかを調べ、そしてやがては normal な場合に迄及んで行く。このようにすることによって、同時に理論的考察も可能になってゆくこととあります。次に 1 月位の予報については、どうしても index cycle の次の繰り返し迄予報する必要があります。それにはその月の気象状態の顕著な特徴が偏西風の強弱や偏西風帯の位置といかに関連しているかをたぐさんの例について、その結果に基

づいて統計的な予報を行えばよいわけです。要するにその年の大気の環流のクセを知ることです。例えば去年は blocking action が弱くて westerly が例年よりずっと北上していた。そして夏、非常にあつく、極端な持続的な寒気は現われなかった。所が一昨年になると、そうではなく 6 月から 7 月まで blocking action が顕著で westerly は北上せずに低緯度にとどまり寒気が続いた。このような年のクセというものがあるわけですから、これが一休 synoptic には何を現わしているかを解析しそれから予報の clue を求めることが重要であります。まとめて申しますと短期予報の延長として旬日または季節予報に進むためには synoptic な解析により、新しい長期変動に essential な大気環流の異常の本質を掴み出すことが必要だということです。大気環流の変動は非常に複雑ですから将来誰かが一つの方法を発見し、その結果長期予報の精度が飛躍的に向上することは期待されません。迂路のように見えますが synoptic な解析から着実に事実を掴み出し、その基礎の上に長期予報の発展をはかるべきだと思います。

#### 安藤正次 (気象研究所)

私は 6 カ月予報あるいは凶冷の立場から、この問題を論じようと思えます。短期予報では、温度保存とか、大気の持っている性質を重視しています。しかし長期の問題になりますと少し違ってまいります。すなわち太陽活動・海水温・極氷・火山灰といった大気系外の因子を取り出して大気系外と系内のある種の交渉を問題にしております。エネルギー論的に見れば後者は比較的に大気自体のエネルギーの收支関係を問題にするのに対し、前者は大気系内の現存のエネルギーの形態・移動・変遷の極く一断面の研究に主眼を置いているものと考えられます。これ等の両者の間には明らかに結びつきがあると思えます。比較的短期の現象に支配的な影響力を持つ因子は一般に現存の大気系内のエネルギーの移動・変遷であり、長期的な支配因子は短期的には目立たない存在になっているのではないのでしょうか。しかしこの目立たない長期的支配因子の積算、蓄積（正あるいは負の大気内エネルギー化）がある臨界値を越すと爆発的に、あるいは徐々にその大きな影響力を現わすようになるように思えます。

次に遷期性について論じようと思えます。長期の予報ではわれわれは遷期的あるいは輪廻的な現象に注目します。しかも、例えば高橋浩一郎博士およびその協力者による一連の研究によっても明らかのように、この種の現象には長短いくつかの卓越し易いものがあります。最近の気象学はこの種の現象の説明にも乗り出して来ていますが、長期の問題はこの種の現象の説明を山とすると思われます。大気現象が全く無秩序とは見えないことが現在の季節予報の最大の根拠になっています。実際の大気の変動をみますと disturbance を起させながらも、あ

る統計的な量に近付いて行くようであります。その様子はあたかも至上命令を受けているかのようであって、低気圧が発生したり消滅したりするのは、夏迄に進んで行く途中の道草のようなものであります。いいかえると短期で重要な量は長期変動の中の一つの営みにすぎないのです。しかしながらこの週期的な現象の中どの程度のものが大気内のエネルギーの形態の交替現象として説明され得るものなのか、あるいは外力による強制的なものなのか区別がつかない。かくして大気現象が長期の問題になると大気系内のみ原因を置いた因果律的な論法は現状ではどうかつに展開出来ない。否しせば短期的現象にも存在し得る難問ではないでしょうか。以上述べましたように、大気にはいくつかの週期的な現象の存在が見られます。私は先ず東北地方の豊凶に関係する夏期3カ月以上もの異常低温(高温)の現象のみに注目することによって比較的短週期的な現象や余りにも長週期的な現象を取り除いたものについて調査して見ようとしています。私が考えておりますことは、大気は系外からエネルギーを受けるがそれが積算的な形で蓄積され連続的に消費されない。この段階を第1段階としますと最初の蓄積状態は世界の特殊な地域にある種の異常な偏倚状態として見えて来る。ある臨界値(大気の性質が支配するが臨界値を大にしたり小にしたりする状態は長期予報的に重要)を越すと、この蓄積されたエネルギーは活動をはじめが移動(おそらくは南北が重要)分散のほかには形態の交替等を起して、摩擦による熱エネルギー化して消滅

する迄細分化しながらある期間振動的な現象を惹き起す。このように考えております。この第2段階にも地形の影響等で特殊な地域にある種の偏倚状態の繰り返しを見せる。第1段階の偏倚と第2段階の偏倚には地域や状態に相違があり得るように思います。この蓄積されたエネルギーは特に吸収し易い週期現象を卓越させます。実際の現象は合成で複雑であります。非常に単純な異常現象などは扱い易いと考えるが、現象分離の問題は基本的なものと思われる。また如何なる資料を用いるのが合理的かは大切であるが現実的に資料には大きな制限があります。

次に以上の見解を補足して私が北半球の空気量の変動などになぜ注目したかを述べたいと思います。例えば気温なら気温は一年の季節変動をいたします。この季節変動は年々では複雑な偏倚を持っております。この偏倚を週期分析等の技術を駆使して、すでに高橋先生は複雑な現象の分類・解析をされております。私は普通短期の研究では無視されがちな質量の移動や分布を問題にしているのは、過去の資料は地上の気圧が主であることと、また北半球の空気量はちょうど気温の季節変動のごとく大きく季節変動をしており、しかも凶冷をおこすような持続的な異常低温は季節変動の大きな disturbance とみられますが、空気量の季節変動にも異常さが現われます。私はこの空気量の変動の異常さに関与した北半球の大気の状態を空間的に解析して見ようとしているものなのです。

## シーボルト事件と台風

1828年、有名なシーボルトは在日5年の任期が終って帰国することになった。ここにははしなくもシーボルト事件が起り、彼はそのため14カ月の監禁をうけ、日本人側も多数の犠牲者をだすことになった。岡田東助は自殺し、天文方の高橋作左衛門は卒死した。ところで歴史上有名なこのシーボルト事件は台風が原因で起ったことは興味深い。シーボルトが在日中に収集した研究資料は、書籍、地図、器具、動物、植物など山のようにあった。それらをオランダ船コルネリウス・ハウトマン号に積んで送り出そうとした時、それは8月10日(1828)のことであったが「古来これなき大嵐」「数万人の死亡ありし程」(甲子夜話)の大台風がしゅう来し、船は岸に打ちあげられ、舳を民家の2階につつこんで大破した。役人が出張してとり調べたところ、シーボルトの荷物の中から地図や各種の書籍をはじめ国外持出し厳禁の品々、葵の紋服や大小の刀などがあらわれた。甲子夜話には「長崎御役台より船中残らず相改め、図は勿論写しかけまで戻り来る。実の神風というべし」と嵐のおかげで、シーボルトの密輸出のバレたことを礼讃している。シーボルトはスパイの容疑で長崎の出島に監禁され、14カ月の後に国外追放、再度の渡来を禁じられて許された(しかし

1858年に追放令は撤去され、59年に再び長崎に来た)。シーボルトは、どうしてこれらの禁制品を入手したか、彼はヨーロッパの学問知識を伝授する代償として、わがオランダ心酔の学者たちから集めたのであった。天文方兼御書奉行高橋作左衛門は、シーボルトがナポレオンの戦記、露人クルゼンステルの世界一周記4冊、蘭領東印度の地図9枚をもっていることを知ると、どうしても、それを手に手れよう、これは海外の大勢を知る好材料である、翻訳して幕府に差出したいと思ったので、譲り受けたいといったが、シーボルトは応じない。それで日本国内の産物の記録と、日本と蝦夷の地図とを交換することになった。当時地図を外人に譲ることは死罪にあたる重大事であったが、ついに意を決して、幕府の文庫にあった伊能忠敬作の日本と蝦夷の地図を部下に命じて複写させ、物産の記録をそえて前記の書籍や地図と交換した。シーボルトの所持した禁制の図書全部を押収することはできなかった。一部は巧みに目をのがれ、あるいは模写となって残り、また、大部分のものはオランダやジャヴァに発送済みになっていた。これらは後にシーボルトが日本に関する幾種かの著述をするときに大へん役立ったのである。以上台風期にちなんで台風縁のある歴史の一こまを紹介した。(松山思水著《シーボルトの功績》による) (根本順吉)