551.501.45 : 551.509.314

気象統計法に関するシンポジウム*

10月2日気象庁研修所教室で気象現象の統計法に関するシンポジウムを開催した．
その概要は次の如くである．**

I. 多変量解析について

柏　木　　力***

多変量解析といってもこゝで問題にするのは，従来因子分析法といわれているものについてである．この主な目的は数多くの変量を，それより少数の独立な変量に還元することであり，それによって観測対象の特性を推定するてがかりを求めることである．

M. G. Kendall によると，上の目的に適う方法としてComponent Analysis（仮りに成分分析と訳す）という方法が述べられている．それは，今n個の個体Bについて，P個の特性を考え，i番目の個体のj番目の測定値をx_{ij}であらわすと，測定値は次の行列の形で書きあらわされる：

$$\begin{array}{ll} & \longrightarrow \text{個体} \\ \downarrow \text{特性} & \begin{pmatrix} x_{11}, & x_{12}, & \cdots & \cdots, & x_{1n} \\ x_{21}, & \lambda_{22}, & \cdots & \cdots, & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & & \cdots \\ x_{p1}, & x_{p2}, & \cdots, & \cdots, & x_{pn} \end{pmatrix} \end{array}$$

成分分析では，次の形の線型結合を求める，すなわち $\zeta_k=\sum_{j=1}^{p} a_{kj}x_j$.　a_{kj} は，x_{ij} の相関行列の特性方程式を解くことにより求められる．幾何学的にいえば，p次元空間のnケの点からの距離の2乗の和が最小になるように主軸ζ_1の方向が定められ，その際a_{ij} $(j=1, 2\cdots p)$は，主軸上の単位の長さの各座標に対する投影として求められる．

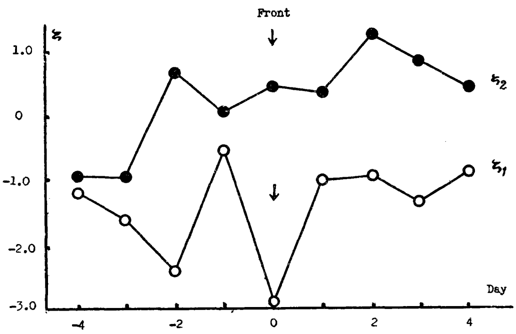
例として生気候学の場合を挙げると，1個体について，4つの変量X, Y, Z 及びWが測定され，100日以上連続して測定し，それから変量間の相関係数γ_{xy}, γ_{xz}, …, γ_{wz} を計算し，それから $\zeta_k=\sum_{j=1}^{4}a_{kj}\,x_j$ を計算する．この場合

$$\zeta_1=-0.08607X+0.02650Y-0.21071Z+0.83469W$$
$$\zeta_2=-0.40944X-0.25114Y+0.03145Z+0.05870W$$

ζ_1の変動は，ZとWとにより規定され，ζ_2の変動はXとYとにより左右されることが係数の大きさをみてわかり，またζ座標では，XとYはζ_1軸上逆方向にあり，Z, Wはζ_2軸上逆方向にあり，XYの組とZWの組とは相互に独立であることがわかる．

測定期間中，印刷天気図上で寒冷前線の通過を目印にして 時間N法 により，ζ_kの値を整理すると，図のように全く別箇の経過を示すことが示される．

因子分析についてこのような使い方があることを例示したが，一般に個々の測定は益々分析的に精度を高め綜合的にみる必要がある場合には，因子分析を含めて多変量解析にたよることが必要であろう．たとえば，ある地方の気候学的な特性の綜合的な表現，あるいは気象前線の綜合的な強度の推定等．



討　　論

根本（本庁予報）一個体反応をこのような方法でしらべるとしても，個体によっては反応に敏感なものもあり，そうでない場合もある．個体の unit がちがう場合もこのような方法でしらべられるのか？

柏木　一個体の測定値はそのまゝつかわれるのでなく

* Symposium on Meteorological Statistics
** 小沢　正，鈴木栄一（気研，予報研）記
*** 気象研究所応用気象研究室

一応規準化してから計算に入る．その意味ではそうした個体自身の差もかなり adjust されているので差支えないと思う．

II. 思考実験による気象統計

高　橋　浩　一　郎*

気象統計もいろいろ発展し，一口に統計といっても各種の方法が進展してきている．**その一つの方法としてシムレイションの方法が気象統計の一つの分野として有効なことを指摘したい．**これは一種の思考実験であって，複雑なプロセスの入った統計的現象の解析に一つの有効な手段となる．経済で，ビジネスゲームなどがその一つのよい例として流行しているようである．

この方法は，複雑な構造の問題でも，実際に近いモデルで扱かうので直感的であり，取扱いやすい．又数値的に答がでゝくるので便利なことも多い．しかし，一面不便な面がないわけでもない．解析的な表現ではないので現実の定性的性質を調べるのには，余り便利でなく，理論的な考察には余りむかない．

その例として，予報の問題をシムレイションの方法で取扱ってみたい．予報をする場合，予報区をどれくらいにしたらよいかということである．区域をせまくした方が正しく表現できるが，予報の適中率が100% になっていないので，ある広さをとっても実際的には同じことになる．広さを決めるものは，天気の空間構造，予報の適中率の２つの要素がある．問題をモデル化し，一次元の上の天気現象を考える．天気の分布の統計的性質として自己相関で表わし $\rho(r)=e^{-r/r_0}$ とする．このような性質を満足する数列として

$$y_{n+1}=\alpha y_n+f$$

というような数列が得られる．但し，f は乱数表からとった数値で自己相関は，α^n で得られる．

つぎに，これに反応した予報値 y_i を考える．これと実況値 y_i との間には予報の適中率を表す相関 R がある．しかる時

$$Y_i=y_i+\varepsilon_i$$

が得られる．ただし ε_i は $\sigma_\varepsilon{}^2=\sigma_y{}^2\ \dfrac{1-R^2}{R^2}$ の関係を満たす乱数表からとり出した値である．

かくして任意の点の予報値と実況値のモデルが得られる．つぎに一定の距離 r をへだてた３つの地点の統計量 P_1，P_2，P_3 をとり，P_1，P_3 を予報し，P_2 は内挿法で求めるとする．これは上のモデルから簡単に得られる．そしてこの値と実況との相関，及び実際に直接予報した値と実況との相関を求めてみる．もし，この２つが余り違わないならば，P_1，P_3 の値を計算し，内挿法で P_2 の値を推定してもよい．即ち予報区の広さをこの程度にしてもよいことになる．

そこで予報と実況の相関係数が仮りに 0.7の場合について調べてみると，P_1 と P_3 の値の相関係数が 0.6 程度にしてもよいことになる．月平均の気象要素についてこの程度の相関をもつ２地点の距離は，気圧では 1,400 km，気温では700km，降水量では300km程度である．これを別の表現をすれば，月平均の予報に対しては日本全国で気圧については一点，気温では２点，降水量では10点を予報すればよいことになる．

なお，こゝで注意しないといけないのは観測網ではほゞ同じ条件でも，この４倍は必要とする．又こゝでは地形の影響は省略し，予報の精度は，0.7 としている．これらの前提条件が違ってくれば当然違ってくる．又，短時間の降水量をとり，そのピークのあらわれ方を見るとかなり不規則であるが，ピークの分布は割合綺麗な指数型になっている．これは rain cell に対応していると思われる．そして極く短時間の降水量なら降水量はその観測時間の平方根に大体比例するが，時間を長くしたときの降水量は $\sqrt{t}$ に比例する部分と t に比例する部分との和と考えられる．

討　　論

藤田（気研）一気圧の場合について，常識で考えられるものより広すぎるように思われますが？

高橋(浩)（長期）こゝでは予報のための観測網を問題にしているのではなく，予報区の設定の問題を取扱っているので，こゝでの２つの仮定のもとでは，上に述べたような結果になる．

---

*　長期予報管理官

鈴木 (気研) 短時間降水量のピークがポアソン分布に従ってランダムにあらわれるなら，ピークの間隔は理論的にも指数分布になるはずで，その間隔と降水量が密接な関係になっている．

高橋(浩) 時間のスケールのとり方でその関係が変わってくることに注意すべきで，スケールを大きくするとトレンド的な傾向が入ってくるため，ランダム性が失われてくる．

III. 統計的予報における問題点*

藤　田　敏　夫**

大型電子計算機の発達により，数値予報が多くの成果を収めて，発展している．一方，数値予報に十分に組み入れられない物理過程（例えば，地形，非断熱の影響）を総括的に考えると同時に，予報期間を延長する目的で，1955年頃から，いわゆる〝統計的予報〟が行なわれるようになった．こゝでは，現在，諸国で研究されているこの方法の概要を説明し，われわれが直面している幾多の困難な点についてご教示を得たいと考えている．

先ずこの方法の根拠となっているのは，影響函数の考え方である．ある点のある高度の気圧変化は，その周囲の諸々の物理過程の影響によって引き起されている．たゞし，影響の仕方は，採用した微分方程式の型，境界条件，格子系，階差のとり方で各々異なっている．そして，周囲といっても，どこまでをとるかによっても誤差が異なって来る．しかし，こゝでは，そういうことは，一括して誤差項に入るものとして，毎日，毎時，生じている物理過程の影響を経験的に見積って行こうとする立場である．数値予報が短時間づゝ time step をふんで予報値を求めるのは瞬間的な変化傾向で予報して行くためであるが，この方法では，一挙に12時間，又は24時間の変化を予報するので，その間に自ら大きく変化してしまうし小擾乱は cut しなければならない．こゝに smoothing の必要性が出て来る．しかし短時間々隔のデータがあれば短かい time step も考えられるだろう．

この方法を大きく分けて，各点の気圧高度を線型に結んで予報式を作る linear model と，非線型項を考える qudratic model がある．前者は，1955年にR.M. White が北米大陸の15ケ所の観測点の三層の値を使って試みている．1日予報ではある程度の成功を収めているが3日～5日の予報になると精度がガタ落ちである．後者についてはソビエットで，1958年に П. Н. бедоb が矢張り3層の値と各層の温度移流を考えて地上気圧の24時間予報を行なっている．

D.S. Cooley も渦度移流と温度移流を考慮して60個位の予報要因を使って予報している．この場合の重相関係数は0. 85位の値を得ている．

しかし，以上の方法では，いづれも，独立変数の数が莫大になり，回帰係数の信頼度が小さくなると同時に，電子計算機をもってしても，計算が大変である．そこで何とかして独立変数の数を少くする方法が考えられている．例えば，気圧場を直交多項式を使って展開し，直交化された新しい変数群を作ることによって，Malone 等は 160 個の独立変数の与える情報を失うことなく30個に減少している．空間について直交化するだけでなくして，時間的にも直交化することによって更に変数の数を少くすることができる．Lorenz は経験的直交関係を導入して64個の変数で表わされる気圧場を僅か8個の変数でその変動の90%以上を表わすことに成功している．

この予報法で根本的に問題になることは，回帰係数の定常性である．多くの人達は，計算した資料と全然別な新しい同質の資料によって予報精度を確めている．この問題は2つに分けて考えられる．1つは係数の標本誤差他は係数自身の非定常性である．前者がどの程度かを見積るためには，重相関係数の仮説検定，model seriesによる sampling error の研究をする必要があるし，後者については，係数自身の変化を他の考えられる気象要素との関連に於て予報して行くことを研究すべきである．なお，われわれの場合の母集団と標本はどのように設定したらよいかということも統計的には大問題である．

討　論

高橋(浩) 紹介された外国の予報式では資料としてどの位もちいますか？ 又予報要因を増加するとますます係数の不安定の影響が入り込みませんか？

* 気象研究所

藤田 大体数年間の資料を用いてますから，200～300の資料です．後者については，そのとおりで，資料数をN，要因の数をkとすると，精度は大体$1/\sqrt{N-k}$に比例するので，係数の数をへらす目的で直交化が考えられているが，直交化された変数の意味が問題になる．

小河原 ソ聯の人の予報式の安定性は？

藤田 比較的安定のようです．

高橋(浩) 非定常なものでも，種々なスケールにわけて取扱えば定常化できはしないかと私は思うが，

藤田 数値予報の残差を統計的に予報する試みと初めから統計予報を実施するのとどちらが予報がよくなるだろうか？

小河原 私も前に戸松君と一緒にその問題を考えたことがありますが両方やって見ないとわからないようですね．

IV. 予報の情報量とO.R.

小河原正己*

Shannon, Wiener にはじまる情報理論は通信工学だけでなく科学の広い分野に発展した．一方 Feinstein, Khintchine 等によって数学的にも整備されてきたが，これらは偶然事象または確率過程そのものに含まれる情報量を問題としている．これに対し，偶然事象を支配する確率法則あるいはそれに含まれる母数に関する情報をその標本を通して，どれだけ得ることができるかを問題としたものに R.A.Fiher の情報量があった．したがってこれは推定論に属する．この両者の関係にふれ，統計的推測に情報理論を持ち込んだのは主として Kullback である．

Fisher はまた母数に関する fiducial distribution の概念を導入した．これには不明確な点があって，その後多くの議論を生んだが，これには明確な解釈を与え，定義することが可能であろう．そして筆者は，これが統計的推測において，特に O. R. の見地から，重要な役割をすることを強調したい．これによって，母数に関する情報量も，Shannon-Wiener 流に定義することができる．

偶然事象の予報において，この fiducial distribution に対応するものが stochastic prediction である．O.R. 的見地から，これが普通行われている decisional な prediction より，すぐれていることは既に証明されている．予報の情報量も，これによって定義するのが合理的と思われる．なお，災害の軽減に関するO.R.では，stochastic prediction の精度をよくするとともに，災害防止技術に対応して loss function の概形でもよいから，これを推定することが必要である．

stochastic prediction の応用の一つとして，大災害を起す事象の発生する可能性が，どの程度に大きいとき，これを発表したらよいかというような問題も取扱われる．（曲田（気研）より質問がありましたがそれは藤田の項に廻します．）

V. 気象資料の処理と近代統計

斎藤錬一**

気象資料の統計処理を業務統計，調査統計の2つに分けて考えてみると，近代的な統計技法は調査統計には相当用いられているが，業務統計にはほとんどはいってきていない．業務統計は目下のところ古典的な大標本論の域を出ていないが，しかし昔と同じような計算をしていても考え方は相当幅をもってきた．例えば，1．気象資料の吟味（同一母集団からの標本であるために，観測方法・観測回数・観測場所等の変更を考慮して均質な資料を得ようとする）．2．平年値の考え方（気候の永年変動を考慮に入れて，かならずしも測候所開設以来の全

* 東京女子大
** 気象庁統計課長

資料ということに拘泥しない．また計算して得た平年値も平年値の母集団のひとつの標本とみて，その不確定性を暗に許容している）．３．階級別日数等の考え方（昔は気温類別日数・降水量別日数等という名で階級別日数等の統計を行なっていたが，それは応用気候学的の建前からであった．現在は同じ計算をしても経験的分布曲線を決定し，分布関数を推定する意味を多分にもつ）．４．極値（これも応用気候的な意味のほかに分布の端を推定する意味を多分にもっている）．

以上のように，務業統計の面でも考え方には近代的統計の概念がはいっているが，統計実務では，まだ大標本論的な統計も完成されていない．例えば，標準偏差も完全には算出されていない．近代的技法が，なかなかはいらないことの原因としては，１．資料そのものの大標本性（業務統計ではほとんど常に大標本を扱い，近年進歩した小標本論的扱いの技法がはいる余地が少ない）．２．理論のもつ仮定（理論はほとんどすべての場合母集団の正規性を仮定しているが，気象要素では正規分布に従わないものが多い）．３．計算量（正規分布でないものに対しては，変換関数を求めればよいわけであるが，その計算量がぼう大なため手がつかない）．

以上のようなことが考えられるが，今後業務統計に新しい手法を導入するには，具体的にどのようにしたらよいかを議論したい．

討　論

高橋(浩)（長期）現在の気象統計業務としては資料としての性格から，やはり大標本的性格があってやむを得ない．業務として組織的にやるのだから，どんな統計値をとるべきか慎重にきめて，本当に普遍的な基本的なものにしたい．近代統計とのギヤップはあっても基本方針をあまりかえないでよいと思う．

斉藤(統計)　統計値としては平均値の外に標準偏差を重要と考えてやったことがある．

小河原（東女大）理科年表にはたしかに気象要素の標準偏差があって私もつかったことがあるが，今はないようだがどうされたのか．

斉藤　標準偏差を算出して出したが，あまり反響もなかったし，計算労力も尨大なので，現在はやめてしまった．

小河原　ちらばりをみるためにも標準偏差はたしかに便利だし，相当役立つと思うのだが，……

斉藤　必要なことはよくわかる．検討してみたい．

三寺（気研）　調査という面からの統計の機動性がもっとあってもよくないか，固定した観測点ばかりの統計でなく，もっと実体に即したやり方はないか．例えば雲量統計でも単に平均値では雲量の実体がわからないが，平均としての性格が一寸あいまいに思われるのだが．

斉藤　いまの統計課の仕事には一口にいって小標本論統計の一歩手前にあるものが多い．そして，利用面からいうと業務統計は general purpose であり，調査統計は special purpose である．この special purpose ものはそれをするかしないかは内容にもよるし，それによって受ける利益もちがい複雑なので一率にいえないが，我々としては special とはいってもかなり一般性の多いものからとりあげていく，今あげられた〝機動性〟については具体的提案があれば承って十分参考にしたい．又雲量の統計は平均だけでなく，ほかの統計値（最頻値など）も確かに大切だが，今他の大きな仕事に忙殺されて手がつけられていない．この他雨の継続時間の統計など多くのやるべき仕事を抱えている．

高橋（浩）　雲量を統計するといっても，その目的次第で私は平均雲量も十分必要だし意味があると思う．あいまいといわれたのは雲量の度数分布がU字型になっているため，平均雲量が実はもっともあらわれにくいことを意味されたと思うが，大雑把に雲量の性格をとらえる意味で平均雲量も確かに必要だ．問題は，雹，竜巻などの特殊現象をふくめ，どんな目的で，何を統計するかをきめその後，どんな統計値がもっともその目的に合うかを慎重にきめればよい．それには調査課のようなものも必要になるかもしれない．

斉藤　たしかに調査面をもっと充実すべきだ．風水害の被害高の統計も組織的にはほとんど整理されていない．

高橋(浩)　アルベドーをしらべるには平均雲量が必要なのだが，そうした面はどうか．

斉藤　今の処あまり考えられていない．必要に迫られて種々の統計をやっているが，雲量などについても今後考えたい．

三寺　新しい気象技術とくに測器の業務面えの取入れが気象統計の面から阻害されているのではないか．たとえばエーロベンが新しい風力の測器として，よい結果がでるにも拘わらず，統計業務の面からその導入が抑えられている．

斉藤　そんなことはないと思う．風力については４杯型と新しい３杯型とエーロベンとについて資料の均質化

を保持できる換算方式などを検討したが，結局，従来の4杯の代りに3杯をとり入れ，平均風速を算出できるようになった．3杯とエーロベンとで瞬間風速を出す場合，統計資料としての面から調査中である．要するに新測器を業務に取入れるとき，かなり永い従来の古い資料を全部廃棄するのでなく，これを生かしてつなぎ合わせる合理的方法が必要なのである．その他気温の平均として，3回がよいか，24回がよいか（場所によっては0.5°Cもちがう）また観測所の移転にともなうちがいをどう処置するか（たとえば函館）も問題である

三寺 気候図の信頼性は？

斉藤 たとえば等温線がひいてあるが，これは各点の推定をするのに用いるべきでなく，地理的分布についての概略を大雑把にとらえる程度と思う．

佐藤(順) その際海面更正はしてあるか？

斉藤 それはやっていない．

高橋(浩) 風の統計をとる場合，エーロベンがよいか，ロビンソンをどうするかの問題は？

斉藤 瞬間値についてはエーロベンと3杯（発電）をとっており，平均は3杯にきめたが，これまでやってきた10分間平均は synoptic な面その他を考え検討が必要なことは事実だ．

高橋(浩) いづれも同じでないか，synoptic といってもあまりちがいないし，むしろ地形の影響が大きい．

斉藤 それなら問題ない．私もそう考えたい．私も地形の影響がより重大と思う．

藤田（気研） 風についてももっと3次元的な統計が望ましいと思うが．

斉藤 それは大切なことで，高層課と連絡して整備すべきだと思う．

藤田 数値予報などでも業務として上層の資料をつかいつゝある．今後やって頂きたい．

小沢（気研） 社会生活に対応して，要素のとり方，きめ方も考えねばならないと思うが．

斉藤 それは考えたい．たとえば，明るさの程度，degree day などの統計などはいわれるとおり確かに必要で，いま調査的に試みているが，なお検討したい．

要するに，業務統計をどうするか，調査統計として具体的にどんな面をとりあげるか，これまでの討論を参考にしてやってゆきたい．

〔書　評〕

藤巻時男著 “天 気 と 元 気”

（B 6 判 184頁， 230円，文芸春秋新社発行）

著者の藤巻博士は，慶大付属月ケ瀬温泉治療学研究所主任として永く勤務され，一昨年の狩野川台風の時には，ラジオの気象通報と自分の観測結果とにもとずく判断で，同所流失前に入院中の患者と職員を避難させ，多勢の生命をまもったことで有名な人である．

この本は著者の温泉医学，気象医学に関する永年の研究と体験をもとにして書かれた気象医学の書物である．内容は第1部〝天気と元気〃，第2部〝月ケ瀬の教訓〃にわけられている．第1部は気象医学の解説で，〝病いは気から〃，〝気候とからだ〃，〝日本の気象〃，〝気候と病気〃にわけて説かれている．そこには著者の人柄からにじみ出るユーモアが多分にたたえられて，思わず微笑を誘われる節も多い．ストレッサーやストレスについてもかなり詳しく記してあるし，気象医学研究のむずかしさから，綜合的につかむものとして気団や前線の重要性を強調している．

第2部は狩野川台風の思い出を記したものである．このことについては，かってラジオ東京の〝科学の手帳〃の時間に，著者と評者とで対談をやったことがあり，その時にも医学者でこんなに気象をよく知っている人があるのだろうかと思ったことであった．

著者はあとがきに〝変った医学部門として素人の方にも医師にも一読して載きたい〃と書いておられるが，評者はそのほかに気象屋もこれを読んで，気象医学に理解を持って頂きたいと思う．そして将来何かの形で気象医学の予報なり注意報なりが行なわれるようになることを期待したい．　畠山久尙（東京管区気象台長）