

気象の予報と O.R. (歴史的展望と問題点)*

鈴木 栄 一**

はしがき

最近気象の問題に O.R. 的な考え方を導入しようとする試みが数多く見られるようになった。この報告は、それがいまにはじまったものでなく、O.R. という表わし方はしてないが、かなり古くから論じられてきたものであるという意味で、歴史的な展望を試みつゝ問題点の所在を close up しようとする意図のもとで作られたが結果的にみれば、どうもそうした意図通りにはなっていない。その点不十分なところは読者の御教示を頂きたいと思う。

1. 歴史的展望

天気予報そのものの歴史は相当長いが、1851年ロンドンではじめて天気図が市販されてから、天気予報にこれを用いるようになり、Fitz Roy (英国海軍の Beagle 号艦長) は1861年、はじめて海上航行する船舶のため、暴風警報を出した。その頃から英仏では船舶の遭難をさけるため、天気図による暴風警報に関心が高まりその効果もあると思われてきた。

天気図による一般天気予報も次第に体系化されてくることなどはその予報がどの位あたるかを明らかにしたくなるのは人情である。ドイツの気象学者 Köppen (1884) は "天気予報の検証 (verification) とは予報した天気状態と実際の天気状態を比較検討することであり、その目的は天気予報の利用効果をあげることにある。利用効果をあげるには、予報者も利用者も気象についての知識を深める必要がある" とのべ、数式的表現はさけたが Doolittle (1885) は適中率算定をしてから、利用できるか否かをみるべきだという。豪州の気象学者 Cooke (1906) は "予報者は自分の予報に自ら信頼度をつけて出す" ことをすゝめ、そうすることによって利用できる

か否か (信頼度がある基準以下なら利用しないし、以上なら利用する) が明確になることに注意したが、これは本質的に現在の吾々と同じ態度であるが、ただ、1920年、米国の Hallenbeck が New Mexico の Pecos 峡谷付近の局地天気予報で、予報者として主観的に適当に (?) 自己の予報適中率を予めつけて出したごとく、信頼度についてはどうしたら、客観的なものができるかには考慮が及んでいない。Grohmann (1908) は天気予報の利用価値はどんなときにあり、どんなときにないかを農園経営に関してのべているが、客観的でない。Schmauss (1911) は予報利用は利用者の態度如何できまり、予報者が自分の予報をどう宣伝しようと、また控え目に採点しようとするようなことは問題でなく、役にたゝない ("Verification of weather forecast serve no purpose") といった。複雑多岐な天気現象の予報やその利用に一片の数式的処理は無理として、保守的態度を一貫してとりつけた。藤原、中村両先生 (1919) は適中率と天気持続性について論じ、予報の採点を +2 ~ -2 の階級に分けて行う方法について研究されたが、標題のごとく、利用価値自体についてはあまりのべられていない。両先生の価値は適中率のことであるらしい。Wallén (1921) は Cooke のいう Weight を結果の採点にも用い、たとえば、"Storm" の予報について発表された weight の一試案は次のごとくである。

	予報		
		No Storm	Storm
実況			
	No Storm	1	\sqrt{hk}
	Storm	\sqrt{h}	\sqrt{h}

ただし $h \sqrt{k}$ としては

* Weather Forecasts and Operation Research

** Eiichi Suzuki, 気象研究所.

h = quotient of the number of stagnant period
divided by the number of changing period

\sqrt{k} = quotient of the square root of the number
of no storm period divided by the number
of storm period

を用いる*。その後 Heidke (1927) は全面的にこれを支持して、予報利用価値はこうした考案から生まれるとし、中欧をおそう「寒気氾濫」(Vorstobe der Kaltluft) の一案を作成しているが、経済価値にはあまりふれていない。1929, 30年に到って、予報検証の 2, 3 の尺度が統計的に確立されるとともに利用面からいって categorical forecast がもっともよいことを強調した。Clayton (1934) は Wallen と同じことを別の例で示したにすぎず、Dines (1936) は当時の各現業予報について適中率をしらべ、各方面にくばって、とくに当時飛躍的に発達した航空機関係者の関心を高めたといわれる。いはばこの頃までは「予報売り込み時代」で、予報の適中率をなるべく客観的に評価することによってその実績を示さんとした。Schmauss (1937) はそうした傾向に強く反撥し、天気予報を受けとる側から何の要請もないのに、適中率を示して売り込むべきではないと説いてまわった。そうしている中に、第2次大戦がはじまり、いや応なく気象管制がひかれ、気象情報は各国とも○秘抜いとなってしまったので、この方面の研究も表面的には Muller, Brier (1944) の調査をのぞき、ほとんど影をひそめてしまった。軍事作戦の前に他の一切の問題は棚上げされ気象利用は軍事目的において大きくとりあげられた。大戦後、英国王立気象学会から Symons 賞をうけた E. Gold は記念祝賀講演の席上、「money making by using of weather forecast」と題して論陣をはり、成功した予報からの gain factor, 失敗した予報からの loss factor なる概念導入と、そのバランス関係を定式化し industry や business 上の問題に対する予報価値について不十分ながらのべた。この辺から予報の O.R. がどうやらスタートしたといえるかもしれない。

Gringorten (1950, 1951) は航空路の気象予報において、予報失敗による発行停止 loss, と成功による純益(予報利用せずとも明らかに飛べた日をのぞく利益)との関連において予報者を採点する方法を提案し、検証についても予報効率という概念のもとに、近代統計的な方法を発展させ重要ないくつかの結論を導いた。Bleeker

(1952) は Gold の考えをとり入れた。予報の経済的利潤 (economic benefit) 算定ノモグラフを作成し、適中率の問題にもこの点から立入ることをすゝめた。小河原博士 (1955) は Wald の risk function の考えをとり入れ、確率的予報が決定論的予報にまさることの証明と、risk function (費用と期待される損害の和) による予報効率論の展開をした。オプホフも2者択一予報の経済効果について検討しているが、あまり重要な結果は得られていない。

Thompson & Brier (1955) は、どれ位の予報適中率が経済的効果をあげる上に必要かをのべ、その下限は各 industry 毎にちがうが、critical probability とよんでいろいろ吟味しているが、常識的のこしかのべられていない。むしろ Thompson 自身 (1952) の研究の方が重要で、予報に対する吾々の行動決定の指針の1つは階級別予報の信頼度調整であるとし、現在アメリカで行なわれている気温、降水について問題点を明らかにした。

以上が、これまでの大雑把な史的展望であるが、次に最近5年間の分だけをまとめておく。というのは、O.R. という言葉が本格的につかわれ始めたのは率直に言って、最近5年位だからである。

2. 最近の状況

1956~1960 の状況は文献にみるごとく、可成り多くの報告がなされている。これを大別すると

- (i) 予報のもつ情報価値とその定式化
- (ii) 実験的なモンテカルロ法又はモデル的な方法によるもので予報というよりも実況の統計的利用
- (iii) 金額に換算しての予報利用とそうでない場合の採算関係
- (iv) その他

となるであろう。また総合報告的な解説も多く、端的に言って、予報と O.R. の問題に関しての基本的方向又は方針が、いまだ確立されず、いろいろな意味で、種々のアイデアが散発的にもち出されている。もちろん、O.R. 導入の初期の形態としてそうなっているのでこれからどんな発展をするかは O.R. の手法自体の発展の傾向と相俟ってきまるものと思う。

以上 § 1, § 2 とも、筆者の入手可能な範囲でしらべた文献から得た知識で筆者なりの見方でまとめたもので、完全な文献目録を作るつもりであるが、これは、予報と O.R. について話題提供程度にしか役立たないであろう。

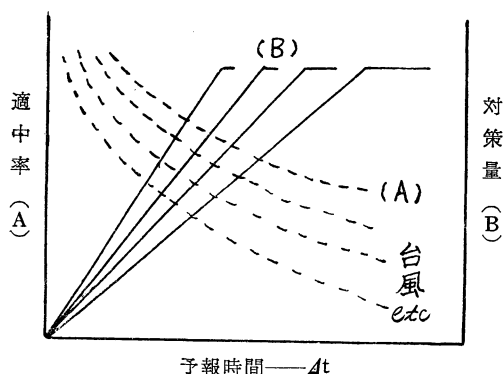
3. 予報と O.R. についての問題点

* この意味不明である。 $\sqrt{k/h}$ なく $\sqrt{k/h}$ ではなかるうか。

これまでの沢山の研究, 自分の経験, 気象情報のもつ本質的特長への考慮から, 問題は便宜的に大別すれば,

- (a) 予報の出し方, (タイミングと内容) 警報のあり方
- (b) 出された予報又は警報の利用方法

の2つの面に O.R. 的問題が存在している。(a) は気象庁自体で解決すべき面で, もちろん利用者の立場も重要な資料である。要望研究課題の1つともなったもので, これは何としても予報, 警報の適中率の関係がもっとも重要である。たとえば, 台風時の暴風雨警報を例にとるなら, 長時間先より短時間先の予報の方が適中率も大きく, 従って信頼度が高い。ところが対策準備を完全にするには, 長時間先の予報の方が好都合である。(図参照)



予報対象のもつ性質, 一般気圧場などのちがいにより, (A) としていくつかの曲線ができ, 対策準備時間や対策量も堤防の場合, 護岸の場合, 建築物の場合, ……によってちがうから (B)のごとくなる。適中率, 対策量とも金額に換算できれば, 最適なところがきまるはずだが, 対策と損害の関係 (どんな対策のとき, どんな被害がどの位でるか) も未だ充分しらべられていないし換算もできていないので, 中々むづかしい。

気象業務法に細かい規程があるが, 本年の三陸津波の如く, 気象庁の仕事には人命に関する問題を包蔵しているので, 極めて複雑である。警報, 注意報の出しすぎは悪くすると狼と少年の昔話 (狼がくるくるとおどかしてこないことが多いと, いざというとき, つまり狼がたしかにきたとしても誰も関心を示さない。こゝで狼の代りに台風, 雷雨, 地震, etc を入れてみたらどうなる?) になりかねない。心理的効果と人命やその所有財産まで考慮に入れると, 予報, 警報の信頼性の基準が中々まっぴらでない。

次に出された予報警報の利用策という立場からいう

と, その予報をどの位信用してよいかかわからないというの, すべての利用者の声である。どんな美辞麗句や名文句 (藤原咲平先生は雲その他についてエレガントな表現をいろいろ工夫された) で大方向を感じさせても, ドライで, コストに敏感な向きが多くなった今日, 適中率が客観的に示されないと到底納得してもらえない。利用者自身がやるべき問題で, 気象関係者のタッチすべきことでないという意見も気象部内にはある。果たしてそうだろうか, 利用面のいかにかわらず, 予報精度の向上はそれらのすべてに共通した要望だから, これだけに専念していればよいというのも確かに一応筋が通っている。しかし, 一度でも予報を出した経験のある人ならわかるように, 自分がこんな予報をだしたら, “一般にどんな印象を与え, どんなところに利用されるだろうか” を考えないはずがない。

つまり, E. Gold (1947) がすでに指摘したように, 利用者の声を聞くこと, 予報精度の向上が並列的につねに身近な問題であり, 関心事である。それで上述したように (a), (b) の問題となってくるのは自然の成行で, 私 (b) の問題解決の主体は利用者であり, 気象関係者は利用者側の O.R. 的処理の基礎資料として気象実況とその予報について相談にあづかるのが, 本質的なあり方と考えているが, これはあまり形式的に考え, 事務的になっては失敗する。成功の鍵は気象関係者と利用者とが互に相手の領域に遠慮なく入り込む位にして協力し合うことにあるのではなからうか。

最後にこれまでとりあげられた具体的問題のいくつかをあげておこう。

河田竜夫博士の土産話によると, アメリカの Brooks に Pittsburg で会い, その後の手紙によって

National Conference of Applied Meteorology が Hartford で開かれ

- (i) 商業その他諸産業への気象の応用 (現状と将来の見通し)
- (ii) 高潮, Storm の警報サービス, 伝達
- (iii) 船の荷物あげおろしと気象状況
- (iv) 航空機工業と気象
- (v) 石油工業と気象予報
- (vi) 原子力と気象
- (vii) 大気汚染の社会的影響
- (viii) 長期天候予報の利用見通し
- (ix) その他

といったテーマで対論されたことがわかった由である。

文献においてとりあげられた具体的問題としては

- (イ) 建造物強度の設計基準と最大風速 (高橋)
- (ロ) 海上船舶運航路と台風進路 (久米)
- (ハ) 鉄板の錆止めと露発生予報 (山本, 鈴木)
- (ニ) 航空路と上層風 (Gringorten, Gleeson)
- (ホ) 風水害の発生の O.R. (高橋)
- (ヘ) 天気予報と保険の比較 (根本, 鈴木)
- (ト) 晩霜, 露の被害の O.R. (Thompson Obyxob)
- (チ) 霧防止策と露予報 (Berkowsky)
- (リ) 農園経営と天気予報 (Thompson, Gleeson)
- (ル) その他 (地震, 雷……)

がある。問題点の所在は要するに (b) の場合, 不確実性を含む気象の予報をうけとった利用者が, 自分の利用すべき面で, それをどう処理するのが O.R. 的な意味で optimum となるのかという訳だが, 場合によって問題の形態がちがうので, あまり一般的に扱うことができず, 上述した 9 コの問題の原文, 又は文献としてあげたものについて, 関心のある方はみて頂きたい。

あとがき

はじめにお断りしたように問題点の所在を Close up させる意図のもとに執筆しはじめたにかゝらず, 生来の怠慢と不勉強でこの報告は羊頭狗肉のものとなってしまった。

気象台が気象庁に昇格し, 防災とか, 気象サービスを重要視するようになってから, 気象関係の仕事に対する一般の関心も次第に高まっている。気象の予報と O.R. といった問題についても今後多くの研究すべき具体的問題が残されており, 利用者の方の進歩に対応して, われわれ気象関係者の方でも, 充分な反省と工夫によって研究調査が進められるべきであろう。

こゝに述べたことが少しでも, この問題に興味をもたれる方の参考になれば幸である。

(1960. 9. 15.)

文 献

- 1884: Köppen, W.: Eine neue Method der Prüfung der Wetterprognose. Met. Zeit. **1**. pp39~40.
- Köppen, W.: Eine rationelle zur Prüfung der Wetterprognose. Met. Zeit. **1**. pp397~404.
- Pierce, C.S.: The numerical measure of the success of prediction. Science. **4**. pp 453~454.
- 1885: Doolittle, M.H.: The verification of prediction, Phil. Soc. Washington Bull. **7**. pp127~131.
- 1906: Cooke, W.E.: Weighting forecast. Month. Weather. Rev. **34**. No.6.
- 1908: Grohmann, H.: Welchen Wert haben die Prüfungsergebnisse der Wettervorhersage öffentlicher Wetter dienststellen? Das. Wetter **25**. pp 118~120.
- 1911: Schmauss, A.: Die Treffsicherheit der Wetter. Das. Wetter. **28**. pp 68~71, pp 167~168.
- 1912: Gallé, P.H.: E'tude critique sur la Methode de Prevision du temps de Guiledrt. Neth. Met. Verhand. **12**.
- 1919: 藤原咲平, 中村左衛門太郎: 天気予報の価値について. 気象集誌 大正 8 年 162~173頁
- 1921: Wallén Axel: Sur la Controle des annonces des Ompetés. Geografiska Annaler. **3**. pp267~297.
- 1927: Heidke, P.: Über die Zweckmassigkeit einer Objektiven Bestimmung von Erfolg und Gute der Vorhersage. Met. Zeit. **44**. pp219~222.
- 1929: Heidke, P.: Zur objektiven Prüfung ortlicher Vorhersagen in taglichen Wetterdienst. Beitrage zur Physik der Atmosphäre **15**. pp202~204.
- 1930: Heidke, P.: Zur objektive Prüfung von Wetter vorhersagen. Annalender Hydrographie. **8**. **58**. pp134~146.
- 1934: Clayton, H.H.: Rating weather forecast Bull. Amer. Met. Soe. **15**. pp279~283.
- 1936: Dines, E.: Vorhersageprüfungen. Deutscher Flugwetterdienst. (Germany Reichsamt für Wetterdienst) Sondervand Teil. **2**. Section XII~XIV.
- 1937: Schmaus, A.: Prüfung der Treffsicherheit der Wettervorhersage. Das Probleme der Wettervorhersage. 2nd ed. Berlin. pp54~61
- 1944: Muller, R.H.: Verification of short range weather forecast. Bull. Amer. Met. Soc. **25**. pp18~25, 47~53, 88~95.
- Brier, G.W.: The verification of a Forecasts confidence and the use of probability statements in weather forecasting. U.S. W.B. Research Paper. No. **6**.
- 1946: U.S. Army Air Forces: Critique of verification of weather forecasts. Weath. Dept. D.S.A.A.F. Washington D.C. **39**. p.
- 1947: 藤原咲平, 山田直勝: 天気予報の判断における心理的影響 研究速報 **22**号 9~10頁.

- Gold, E.: Weather Forecasts. Quart. Journ. Roy. Met. Soc. London. **73**. p. 151
- 1949: U.S. Air Force: "Weather Service critique of the Terminal Verification Program. (Typewritten, Probable author)
- 1950: Gringorten, I.I.: Forecasting by Statistical Inferences. Journ. Met. **7**. No.6. Dec. pp388~394.
- Brier, G.W.: Verification of Forecasts expressed in term of probability. Month. Weath. Rev. **78**. No.1. pp1~3.
- Berkofsky, L.: An objective determination of probability of Fog formation. Bull. Amer. Met. Soc. **37**. No.5. pp158~162.
- 1951: Gringorten, I.I.: The verification and scoring of weather forecasts. Journ. Amer. Stat. Assoc. Sep. pp279~296.
- Philip William, Jr.: The Use of Confidence factor in Forecasting. Bull. Amer. Met. Soc. **2**. No.8. pp279~281.
- Brier, G.W. and Allen, P.A.: "Verification of weather forecasts" Compendium of Met. Amer. Met. Soc. pp841~846.
- 1952: Bleeker Wand Bijvoet, H.C.: The value of weather forecasts. Weather. Vol. **6**. No.2 pp36~38.
- Thompson, J.C.: On the operational deficiencies in categorical weather forecast. Bull. Amer. Met. Soc. **33**. pp223~226.
- Knighting, E.: Uncertainty in weather forecasting. Weather. **7**. pp131~134.
- 1953: 鈴木栄一, 天気予報の Verification について(Ⅰ)(Ⅱ)(補) 予報研究ノート **3** 巻9~10号, 9~22頁; **4** 巻1号1~25頁 2号98~102頁.
- 1955: Ogawara, M.: Efficiency of a stochastic prediction Papers in Met & Geoph. **5**. pp203~211.
- A.M. Оьухов: К вопросу об оценке сор успешности Альтернативных прогнозов изветия Академин наук С.С.С.Р. Сер реоэриз No. 4. СТР 339~349.
- Thompson, J.C. and Brier, G.W.: The economic utility of weather forecast. Month Weath. Rev. **83**. pp249~254.
- 1956: Miller, R.G.: Statistics and predictability of weather. Abstract. in Bull. Amer. Met. Soc. **35**. pp495~496.
- 高橋浩一郎: 気象統計 地人書館 **74**~78頁
- 小河原正己: 天気予報と O.R. 気象と統計 **7**. 2~5頁.
- 高橋浩一郎: モンテカルロ法による設計風速の推定について. 気象と統計 **7**. 33~36頁.
- 1957: Brier, G.W.: The effect of errors in estimating probabilities on the usefulness of probability forecasts. Bull. Amer. Met. Soc. **38**. pp76~78.
- Thompson, J.C.: Operations research Looks at the weather forecasts. Weather-wise. No.5. pp149~153.
- 鈴木栄一: Networks と einear programming. 気象と統計 **8**. 1~2, 18~20頁.
- K. Takahashi: On the decision of the design windspeeds and the amount of precipitation by means of Monté Carlo method. 75 th. Anniv. Vol. Journ. Met. Japan. pp. 399~402.
- 高橋浩一郎: 災害に関するオペレーションズリサーチ 研究時報 **9**. 1~34頁.
- 山本昌: 現場の問題の O.R. 的取扱い. 日科技連 O.R. 月報. Vol. **6** No.3. 125頁.
- T.A. Gleeson: On limitation to prediction, Journ. Met. **14**. pp304~307.
- 1958: 高橋浩一郎: 気象の O.R. 日科技連, 教育コース・テキスト. No.36.
- 鈴木栄一: 気象サービスと O.R. の一例. 経営科学. **2** 巻2号. 59~65頁.
- 高橋浩一郎: モンテカルロ法による風水害対策の研究 (損害保険料算定会, 災害科学研究会)
- 高橋浩一郎, 牧守真: 最低気圧による風水害危険度の推定 (損害保険料算定会, 災害研究会)
- Suzuki, E.: Weather Forecast and Entropy in Information Theory. Papers in Met. & Geoph. **9**. pp51~62.
- 鈴木栄一: 天気予報と O.R. オペレーションズリサーチ **3**, **2**. 12~3頁.
- 根本・順吉: 予報の経済的価値と保険. 気象と統計. **9**. 1~2. 15~18頁.
- Wilkins, E.M.: A Note on Forecast Economics. Journ. Met. **15**. pp237~240.
- Yamamoto, S.: Is weather forecasting profitable? Journ. Op. Res. Soc. Japan. **1**. pp114~119.
- 根本順吉: 天気予報が経済的価値をもつための条件研究時報 **10**. 823~835頁.
- Gringorten, I.I.: On the comparison of one or more sets of probability forecast. Journ. Met. **15**. pp283~287.
- 鈴木栄一: 数値予報の検証. 研究時報. **10**. 414~428頁.
- 鈴木栄一: 天気予報はもうかるか? 天文と気象. 9月号 (24巻) 13~15頁.
- 河田竜夫: 最近海外の O.R. 事情について. 測候時報 **25**. 293~297頁.
- 1959: Gleeson, T.A.: Observational probabilities

and uncertainty relations for meteorology. Journ. Met. **16**, **2**. pp149~154.

小河原正己：予報の情報量と O.R. 気象と統計 **10**. 57~59頁.

鈴木栄一：情報量と適中率. 気象と統計. **9**. 45~46頁.

寺田一彦：経営気象学の提唱（気象学会講演未刊）

Gringorten, I.I.: Probability estimates of the weather in relation to operational decisions.

Journ. Met. **16**. pp663~671.

1960: Gleeson, T.A.: A prediction and decision

method for applied meteorology and climatology based partly on the theory of games.

Journ. Met. **17**. pp116~121.

鈴木栄一：天気予報の信頼性と利用策 研究時報 **12**巻2号（2月）61~67頁.

予報における O.R. 的諸問題. 数理科学総合研究 第**5**班5号.

（内容，設計荷重，台風予報と資材管理 etc）

鈴木栄一：気象予測における O.R. 処理. 電子計算と制御（光琳書院）**2**巻 11~16頁.

気象界消息

1. 寒波. 日本海海岸にまた大雪

1月11日低気圧が通過，それに伴って寒冷前線が南下し，北陸地方から東北地方日本海海岸にかけて大雪が降り，12日早朝には箱根芦の湯にも 2 cm の積雪があった。また，13日（金）寒波がおそい，鹿児島でさえも午前6時には， -3°C に下った。

2. 本州中部に大雪

1月26日から27日にかけて北からの季節風によって本州中部では大雪が降り，全域を通じて，60~70cm の積雪があり，このため急行北陸は湯檜曾で9時間立往生した。

3. アメリカ合衆国に寒波

1月23日（月）に北米合衆国北部で，極前線（arctic front）が南下し，寒波がおそい，北カロライナから北はニューイングランド，西は5大湖地方までが雪でおおわれ，ニューヨークでは12 cm の積雪があった。またストームは北米南部にまでみぞれを降らし，フロリダだけが寒波をまぬがれた。交通が途絶し，停電となり，また雪のための交通事故，寒さによる心臓まひ等によって48人の死者が出た。

4. アルゼンチンに洪水

1月19日（金）にアルゼンチン，ブエノス・アイレスの南西，パムバス地方に洪水があり，20日には死者は20名以上にのぼり，200名が行方不明となった。