



気象データ処理法 II

客観解析

柏木 啓一*

1. はじめに

気象台の現場に初めて足を踏み入れた人は、そこで使用されているぼう大なデータに圧倒される事と思います。私事で恐縮ですが、気象台に勤めだした最初の頃は、テレタイプから絶え間なく流れてくるデータのロットや天気図作成においまくられて1日を終えていました。それが、電子計算室では、極めて短時間のうちに処理され、天気図となって出力されるのを見て、当然とはいえ、コンピュータによるデータ処理に驚きを感じました。

このように、ぼう大なデータは、調査・研究に用いられるとともに、日々、リアルタイムに天気予報の資料として処理されています。一般的な気象データ処理法については丸山によって、調査・研究のための解析については二宮によって、データ処理の基礎となる統計学については小沢によって、すでに本講座で述べられていますので、これらを補う意味で、ここでは、現場でデータ処理をしている立場から客観解析について述べてみたいと思います。

2. 客観解析とは

個々のデータは現象の一面を示すのみでそのままでは価値が小さい。データの背後にある現象を適正に認識し、何らかの判断に役だつように、データの有効な情報化へのプロセスがデータ処理であり、今日、電子計算機がその主要な手段となっている。データ処理は、

- (1) 問題(目的)の提起・明瞭化
- (2) データの収集
- (3) 何らかのモデルによるデータの解析・情報の抽出
- (4) 結果の表示・解釈

というステップをふむものと考えられる。この場合、目

的をはっきりさせないまま集められたデータは、焦点のさだかでないピンボケデータであって有効な情報を得る事が難しい。したがって、目的を明瞭にし、目的にかなったデータを収集する事が、まず必要である。次に、データには目的にかなう情報以外に、その情報をかき消してしまいかねない諸々の誤差やノイズが含まれている。データの質の良否は固有技術の問題に属し、いかに多くのデータを用いても、データの質の悪さを解析技術だけで補い、データの品質をはるかに越えた結論を出す事はできない。したがって、どのようにしてデータを採り、どのような加工のプロセスを経たものかという、データの由来や特性を理解しておく事が必要である。また、品質チェックに耐えられないようなデータは使用しない方が賢明である。そして、データに含まれるノイズを除去し必要とする情報を取り入れるためにも、目的を明確にし、それに応じた適切なモデルを使用し、データの持つ情報をまっ殺したり、誤まった結論を出す事のないようにしなければならない。

上記のような観点から客観解析をながめると、客観解析は、数値予報の発展に伴い、不規則に分布している観測データから、数値予報の入力データに適した、一定の規則的な配置をした格子点値を求める目的で生まれた。広義の客観解析としては、

- (1) データの収集、デコーディング(解読)、ソーティング(分類編集)
- (2) 誤まったデータの検出とその修正または削除
- (3) 格子点値の推定(狭義の客観解析)
- (4) 解析図の出力

の過程が含まれる。

まず、解読されたデータについて、それが妥当なものかどうかを調べる。通信上のミスなどによる人為的な誤データを避けるために、データの値が一定の範囲内にあるかどうかを調べる絶対値チェック、ゾンデデータの場

* Keiichi Kashiwagi, 気象庁電子計算室。

合に温度と高度が静力学の関係から著しくかけはなれていないかとか、安定度が負になっていないかを調べる鉛直チェック、周囲のデータと著しくかけはなれていないかを調べる水平チェックなどがある。誤データ検出の制限については、統計的な立場にたつとはいえ経験による面も強く、制限をきびしくすれば正しい観測値が削除されるし、ゆるくすれば誤まったデータを採用する。したがって、完全に自動的に行なわず、機械的に削除されたデータを人間が再判断する方法もあり、どちらをとるかは、必要とされる解析の品質とコストのかねあいで決定される。

品質チェックを通過した観測値は、

- (a) 対象としている現象スケールの情報
- (b) 対象としている現象スケール以外の情報、いわゆる気象学的ノイズ
- (c) 測器や生データ処理の過程で生じる誤差

を含むので、単なる内挿ではなく、ノイズや誤差をできるだけ除去できるような解析法が望ましい。

また、現在の WWW 観測システムは、さまざまな目的に対して過去約 200 年の間に除々に整備されたもので、天気予報のために、どのようなパラメータをどの位の精度でどのような時空間スケールで観測すればよいかという事を、気象技術者によって一貫した手法で計画されてきたものではない。したがって、観測密度や配置・品質に大きなばらつきがあるので、これを適切に取り入れる事ができる手法が必要であるし、平滑化や、観測点のないような領域で観測値として使用される第 1 推定値についても十分な考慮が必要である。さらに、異なる要素や同一要素の異なるレベルの解析値が、地衡風の関係や静力学の関係のような気象学的に要求される関係を、ある程度の精度で満足するような解析法が望ましい。

従来から、本来、数値予報への入力データを目的とする客観解析が、手書き天気図の代用として使用されてきたので、その特性を理解しておく事は必要であった。さらに今日、衛星・飛行機観測、ブイ、定高度気球のような新しい観測手段や従来からの拡充によって、ぼう大なデータが入るようになった。これらのデータは、

- (a) 観測時刻が一定ではない非定時データ
- (b) 間接測定であり、従来のゾンデデータとは性質が異なり、表現している現象スケールも異なる場合がある
- (c) 特定要素、特定レベルのみのデータ、もしくは、指定面以外のデータである

という特徴のいずれか、もしくは二つ以上をかねそなえている。これらのデータを手書きの解析で有効に利用する事は困難であり、従来の同時刻的な客観解析を発展させ、イニシャルゼーション、数値予報と統合した 4 次元解析が重要視されるに至っている。現段階ではこれらの新しいデータの利用法は十分に確立されていないが、全球的組織的な FGGE の成果をふまえ、天気予報のために最適な観測、解析・数値予報の一体化が行なわれる日も遠くないであろう。

3. 客観解析法を学ぶには

現在使用されている客観解析法は、多項式法、スペクトル法に属するものと、修正法、最適内挿法（統計的解析法）に属するものに大別される。さらに、いわゆる客観解析というよりは場の調整に力点をおき、むしろイニシャルゼーションに属する変分法を加える場合もある。清水：客観解析法（1978）には、上記すべての解析法の原理が非常に要領よくまとめられている。Haltiner: Numerical Weather Prediction (1971) には、予報の立場から客観解析をながめ、多項式法、修正法に加え、場の調節、ノイズの除去のために 3 次元解析、dynamic initialization、変分法、smoothing、filtering の解説がある。解析法のみではなく、客観解析全体を知りたい時には、電子計算室報告別冊第 22 号（1971）がある。ここでは、通常触れられる事の少ないデコーディングや解析図の出力まで述べられている。特に、データの品質チェック、第 1 推定値、データのない領域の取扱いなどは、実際に解析を行なう場合に非常に参考になると思われる。解析法自体は、予報などに比べればはるかに簡単なので、下記の論文を読む場合にも、このような実際的な問題に留意したい。

多項式法は、格子点近傍あるいは適当に分割された小領域で、解析される気象要素の場が多項式による曲面で表現されるとし、係数を周囲の観測値から最小自乗法によって求める方法で、Panofsky(1949)によって最初に提案された。高度と風の調整をはかるために、地衡風の仮定のもとに高度と風の観測精度に応じた重みをつけて風の観測値も用いる。Gilchrist-Cressman(1954)は、標準大気からの偏差を多項式で表現するとともに、最初は観測値のみを用い、これで決定されない格子点については前回の解析値を観測値とみなすとともに、データの採用範囲を広げて解析を 7 回繰り返す、解析領域間の不連続性を取り除いている。また、データの少ない領域では

予報値も使用している。**Bushby-Huckle**(1957)は、風と高度の間ばかりではなく、観測点と格子点間の距離による重みを加えている。**Corby**(1961)は、海上の発達した低気圧付近の領域で、解析を改良するために、比較的データの多い海面気圧解析の積上げ法による利用、傾度風の使用、修正法を取り入れ、多項式法による解析値と観測値から外挿される値の荷重平均を提案している。近年の電子計算機の進歩に伴い、**Dixon et al.**(1972)は、鉛直方向も含めた3次元解析領域全体を、一般的に n 個の基底関数の線形結合で一括して表現する方法を提案した。連立1次方程式を解く際の ill condition に触れ、Gram-Schmidt の逐次直交化法を導入している。この方法は、イギリス気象局の現業北半球解析モデルに採用され、**Dixon**(1976)に述べられている。スペクトル法も、計算法としては多項式法と同じであるが、関数として、大気の流れを記述する線形化された方程式の固有関数を用いるので、気象要素の解析にはより適切である。**Flattery**(1970)は、緯度方向にはラプラスの潮汐方程式の固有関数である Hough 関数、経度方向には三角関数、鉛直方向には経験的直交関数を用い、3次元で風と高度の同時解析を行なう方法を示している。これは、現在のアメリカの現業全球解析モデルとなっている。

修正法は、何らかの方法で求めた第1推定値を、周囲の観測値によって修正する方法である。**Bergthorsson-Döös**(1955)は、気候値と予報値の荷重平均によって第1推定値を求め、これと周囲の観測値から外挿した解析点の高度に観測点と解析点間の距離に依存する経験的荷重および観測密度に依存する荷重を加え、予報値との荷重平均で解析値を求めている。**Cressman**(1959)は、この方法を修正し、周囲の各観測点における観測値と第1推定値の差の線形結合で解析点の第1推定値を修正している。荷重係数を距離のみに依存する経験的関数で決定し、データの採用領域をひろげながらこの過程を数回繰り返す。いずれの場合にも、地衡風の関係によって高度の解析に風の観測も使用される。日本の現業モデルは Cressman 形の修正法で、前記別冊22号に詳述されている。また、アメリカの現業成層圏解析にも用いられており、**Finger et al.**(1965)に解析全体にわたる解説がある。放射の効果の修正や、データの少なさを補うための鉛直方向の外挿、他のマップタイムデータの併合、データチェックは、特に参考になると思われる。**Atkins**(1974)は、相対湿度の解析に第1推定値の Gradient に依存する非等法性の荷重関数を導入し、降水量の予報が改善さ

れる事を示している。降水量解析への応用としては、**Brandes**(1975)、**Maine-Gauntlett**(1968)がある。

最適内挿法は、修正法と同様に、観測値または観測値と第1推定値の差の線形結合によって格子点値を求める。しかし、修正法のように荷重関数をあらかじめ与えておくのではなく、重回帰分析の手法を用い、RMS 解析誤差が最小となるように、解析のたびに正規方程式を解いて荷重を決定する。この場合、気象場の統計的構造を示す相関係数や分散をあらかじめ求めておく必要がある。解析値と同じ要素の観測値のみを用いる一変数の場合と、たとえば地衡風の関係を用いて風を含む相関係数を求め、高度と風の観測値両方を用い、高度と風を同時に解析する多変数の場合がある。この方法は、従来からソ連の水理気象センターで採用されており、解析全般にわたる **Gandin**(1963)の優れた解説がある。内容的にやや古い部分もあるが、大規模場の統計的特性、一変量最適内挿法の理論と実際、多変量による場の調整、合理的な観測網の設定をのべるとともに、修正法、多項式法、変分法のレビューが含まれている。主として解析点と各観測点間の相対的な距離で荷重が決定される修正法に対し、非均質な観測点分布や観測誤差の効果、観測値と予報値や気象要素間の場の調整が一貫した手法で取り扱われるために、観測手段の多様化による4次元解析への動向に伴い非常に多くの研究がなされているので、節を改めて述べたい。

4. 最適内挿法と4次元解析

観測・解析・予報を一体化した新しい天気予報体系をいかにすればよいかという観点に立った総合報告に、**Bengtsson**(1976)がある。まず、WWW システムの現状と FGGE およびそれ以後の多彩な観測手段の特性、衛星による温度や風データ導出の原理、通信系について述べた後、Gandin 以後の、特に多変量最適内挿法のレビューがある。さらに、地衡風調節、イニシャルゼーション、4次元解析に言及した後、データ収集からユーザーへの普及まで、種々のタイムスケールに対する予報体系のガイドラインを示している。4次元解析を中心とする問題に焦点を合わせた総合報告には、**Bengtsson**(1975)、**住**(1978)がある。前者には、4次元解析、OSS E、イニシャルゼーション、衛星データ同化の効果についての主要な論文ごとくに内容が要約されている。**Proceedings of the JOC study group conference on four-dimensional data assimilation**(1976)にも、多

くの興味ある論文が掲載されている。4次元解析やイニシャリゼーションについては、これらの文献を参照していただくとして、以下、最適内挿法に関するものを挙げる。

最適内挿法で重要な役割を果たす相関係数に関しては、**Buell (1972)**, **Thiebaut** の一連の研究がある。**Thiebaut** は、高度の相関係数モデルを実際のデータに対する適合度、そのフーリエ変換の既知のスペクトル特性との一致、地衡風の関係による風を含む相関係数の導出という立場から、非等方の場合を含むさまざまな関数形を評価するとともに、種々の観測点配置で実際に内挿を行ない、その効果を調べている。

非定時データの同化のために、従来の空間的な相関にラグ相関を加え、時間的な場合に拡張する方法が、**Morel (1973)**, **Bengtsson・Gustavsson (1971)**, **Talagrand・Miyakoda (1971)** に示されている。この方法は、今のところ実際に使われる事は少なく、観測誤差の取扱い、3次元多変量最適内挿法による場の調整という面がむしろ強調されている。

Alaka・Elvander (1972) は、観測誤差の異なるデータや非定時データの解析精度に及ぼす影響を調べている。**Bergman・Bonner (1976)** は衛星データのように観測誤差に相関がある場合について、**Nimbus 5** によって得られたデータをもとにして調べている。**Seaman (1977)** は、同様の研究を、絶対値のみではなく、**gradient**, **Laplacian** について調べている。**Bergman (1978)** は、このような最適内挿法における観測誤差の役割をまとめている。**Phillips (1976)** は、準地衡風2層モデルを用い、500 mb 高度の予報に及ぼす、衛星の温度データの影響を調べ、観測誤差を **explicit** に取り入れない解析法は第1推定値と同程度以上の誤差を有するデータを取り扱うためには役に立たないが、最適内挿法はそのようなデータからさえ、大規模場の予報に対して重要な情報を抽出できる事を示している。

4次元解析を目的とする現業的な多変量最適内挿法モデルとしては、**Schlatter et al. (1976)**, **CMC** 現業モデルについて、**Rutherford (1976)**, **ECMWF** 現業モデルについて、**Lorenc et al. (1977)** の詳細な解説がある。**Schlatter et al.** は、中高緯度では地衡風の関係を用いた高度と風の2次元多変量で、低緯度では流線関数を用いて風のみ1変量解析を行ない、高度はバランス方程式をとり求めている。第1推定値や相関係数の影響、1変量との比較が、解析、予報の両面から検討され

ている。**CMC**, **ECMWF** モデルは、いずれも、高度、風、温度または層厚を用いた3次元多変量解析である。ただし、**CMC** モデルでは、航空機データのような特定レベルのみのデータを鉛直方向に解析した後、水平方向の解析を行なっている。**ECMWF** モデルでは解析領域を **box** に分割し、格子点の含まれる **box** 内の観測値以外は、各 **box** について最適内挿法によって合成された **super observation** を用い、計算時間を短縮している。風を含む相関係数については、流線関数と速度ポテンシャルを用いている。統計量の決定がやや不十分であるとはいえ、データチェックから一貫して最適内挿法を用い、現在、最も完成したモデルと思われる。

最適内挿法による **real-data** を用いた4次元解析の研究には、**Seaman (1978)**, **Miyakoda et al. (1976)**, **Ghil et al. (1979)** がある。**Seaman** は、上記 **ECMWF** モデルを用いた全球4次元解析の結果を、**NMC** の全球解析、**Deutscher Wetterdienst** の北半球解析、**オーストラリア気象局** の南半球解析と比較するとともに、衛星データを除いた場合、ゾンデデータを除いた場合、第1推定値を変えた場合の効果を調べている。**Miyakoda et al.** は、1変量最適内挿法と格子点に最も近い観測値あるいは近接観測値の平均値を格子点値に置き換える **direct replacement** を行ない、**NMC**, **オーストラリア** の解析と比較している。上記の研究では一定の時間間隔でデータを挿入しているが、**Ghil et al.** は10分間の予報のタイムステップごとに連続的にデータを挿入する場合について、最適内挿法、修正法、**direct insertion** の比較、間接的に挿入した場合との比較、衛星データの効果を客観予報の結果、**S₁** スキルスコア、予報官による判定などを用いて行なっている。

5. おわりに

気軽に原稿の依頼を引き受けて、いざ書き始めると、自分の不勉強が身にしみて感じられるばかりです。特に、4次元解析については、私自身、最適内挿法や衛星データの利用という方向から入門してまもなく、イニシャリゼーションや数値予報にかかわる論文はあげていませんが、幸いに優れた総合報告がありますので、そのレファレンスを参照していただきたいと思います。また、専門的な論文を読む事も必要ですが、数値計算法(特に連立1次方程式の解法や行列演算)や統計学の基礎を作っておく事、解析結果を評価するために気象のセンスを身につける事、実際にデータ処理を行なってみるとなか

なか原理通りにはいかないのが、実際に多くの問題にあたってみる事が、入門者にとって必要なのではないかと思います。

文獻

総合報告, 教科書, 論文集

清水喜允, 1978: 客観解析法, 気象研究ノート, 134, 251-272.

Haltiner, G.J., 1971: Numerical weather prediction, John Wiley & Sons. Inc., 248-277.

気象庁予報部, 1971: 客観解析, 電子計算室別冊報告, 22.

Gandin, L.S., 1963: Objective analysis of meteorological field, Translated from Russian by Israel Programm for Scientific Translations, Jerusalem, 1965, 242 pp.

Bengtsson, L., 1976: Initial data and some practical aspects of weather forecasting, Weather Forecasting and Weather Forecasts: Models, Systems, and Users I, NCAR, 255-419.

———, 1975: 4-dimensional assimilation of meteorological observations, GARP Publications Series No. 15, WMO-ICSU Joint Organizing Committee, 76 pp.

住 明正, 1978: 4次元同化作用とイニシャルゼーション, 気象研究ノート, 134, 273-299.

GARP Joint Planning Staff, 1976: Proceedings of the JOC study group conference on four-dimensional data assimilation, The GARP Programme on Numerical Experimentation, Report No. 11, 437 pp.

Morel, P., 1973: Space and time meteorological data analysis and initialization, Dynamic meteorology (Morel, P. ed.), D. Reidel Publ. Co., Boston, 469-514.

多項式法, スペクトル法, 修正法, 変分法

Atkins, M., 1974: The objective analysis of relative humidity, Tellus, 26, 663-671.

Bergthorsson, P., and B. Döös, 1955: Numerical weaheer map analysis, Tellus, 7, 329-340.

Brandes, E.A., 1975: Optimizing rainfall estimates with the aid of radar, J. Appl. Met., 14, 1339-1345.

Bushby, F.H., and V.M. Huckle, 1957: Objective analysis in numerical forecasting, Quart. J. Roy. Met. Soc., 83, 232-247.

Corby, G.A., 1961: Some experiments in the objective analysis of contour charts, Quart. J. Roy. Met. Soc., 87, 34-42.

Cressman, G.P., 1959: An operational objective analysis system, Mon. Wea. Rev., 87, 367-374.

Dixon, R., E.A. Spackman, I. Jones and A. Francis, 1972: The global analysis of meteorological data using orthogonal polynomial base functions, J. Atmos. Sci., 29, 609-622.

———, 1976: An objective analysis system using orthogonal polynomials, Proc. JOC study group conf. four-dimen. data assimil., 73-85.

Finger, F.G., H.M. Woolf, and C.E. Anderson, 1965: A method for objective analysis of stratospheric constant-pressure charts, Mon. Wea. Rev., 93, 619-637.

Flattery, T.W., 1970: Spectral models for global analysis and forecasting, Proc. Sixth AWS Tech. Exchange Conf., U.S. Naval Academy 21-24 Sept. 1970, Air Weather Service Tech. Rept., 242, 42-54.

Gilchrist, B., and G.P. Cressman, 1954: An experiment in objective analysis, Tellus, 6, 309-318.

Kruger, H.B. and R. Asselin, 1967: A statistical dynamical objective analysis scheme, Supplement, No. 1. Canadian meteorological memories, No. 23, Met. Branch, Dept. of Transport, Toronto.

Maine, R., and D.J. Gauntlett, 1968: Modifications to an operational numerical weather analysis system and application to rainfall, J. Appl. Met., 7, 18-28.

Masuda, Y. and A. Arakawa, 1962: On the objective analysis for surface and upper level maps, Proc. Intern. Symp. Num. Wea. Pred. Tokyo, Nov. 7-13, 1960, 55-66.

Panofsky, H.A., 1949: Objective weather-map analysis, J. Met., 6, 386-392.

Sasaki, Y., 1958: An objective analysis based on the variational method, J. Met. Soc. Japan, 36, 77-88.

———, 1970 a: Some basic formalisms in numerical variational analysis, Mon. Wea. Rev., 98, 875-883.

———, 1970 b: Numerical variational analysis formulated under the constraints as determined by longwave equations and a low-pass filter, Mon. Wea. Rev., 98, 884-899.

———, 1970 c: Numerical variational analysis with weak constraint and applicaion to analysis of severe storm gust, Mon. wea. Rev., 98, 900-912.

Shapiro, M.A., and J.T. Hastings, 1973: Objective cross-section analysis by Hermite polynomial interpolation on isentropic surfaces, J. Appl. Met., 12, 753-762.

Whittaker, T.M., and R.A. Petersen, 1977: Objective cross-sectional analyses incorporating thermal

- enhancement of the observed winds, *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 147-153.
- 最適内挿法, 次元解析**
- Alaka, M.A. and R.C. Elvander, 1972 a: Optimum interpolation from observation of mixed quality, *Mon. Wea. Rev.*, **100**, 612-624.
- , 1972 b: Matching of observation accuracy and sampling resolution in meteorological data acquisition experiments, *J. Appl. Met.*, **11**, 567-577.
- Bengtsson, L. and N. Gustavsson, 1971: An experiment in the assimilation of data in dynamical analysis, *Tellus*, **23**, 328-336.
- Bergman, K.H., 1978: Role of observation errors in optimum interpolation analysis, *Bull. Amer. Met. Soc.*, **59**, 1603-1611.
- and W.D. Bonner, 1976: Analysis error as a function of observation density for satellite temperature soundings with spatially correlated errors, *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 1308-1316.
- Bliesner, B.O., D.P. Baumhefner and T.W. Schlatter, 1977: A comparison of several meteorological analysis schemes over a data-rich region, *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 1083-1091.
- Brady, P.J., 1978: Optimal sampling and analysis using two variables and modeled cross-covariance functions, *J. Appl. Met.*, **17**, 12-21.
- Buell, C.E., 1972: Correlation functions for wind and geopotential on isobaric surfaces, *J. Appl. Met.*, **11**, 51-59.
- Eddy, A., 1967: The statistical objective analysis of scalar data fields, *J. Appl. Met.*, **6**, 597-609.
- , 1973: The objective analysis of atmospheric structure, *J. Met. Soc. Japan*, **51**, 450-457.
- , 1974: An approach to the design of meteorological field experiments, *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 702-707.
- Ghil, M., M. Halem and R. Atlas, 1979: Time-continuous assimilation of remote-sounding data and its effect on weather forecasting, *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 140-171.
- Julian, P.R. and H.J. Thiebaut, 1975: On some properties of correlation functions used in optimum interpolation schemes, *Mon. Wea. Rev.*, **103**, 605-616.
- Kruger, H.B., 1969: General and special approaches to the problem of objective analysis of meteorological variables, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **95**, 21-39.
- Lorenc, A., I. Rutherford and G. Larcen, 1977: The ECMWF analysis of mass and wind fields, ECMWF Tech. Report, No. 6.
- Miyakoda, K and O. Talagrand, 1971: The assimilation of past data in dynamic analysis, I, *Tellus*, **23**, 310-317.
- , L. Umscheid, D.H. Lee, J. Sirutis, R. Lusen and F. Pratte, 1976: The near-real-time, global, four-dimensional analysis experiment during the GATE period, Part I, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 561-591.
- Phillips, N.A., 1976: The impact of synoptic observing and analysis system on flow pattern forecasts, *Bull. Amer. Met. Soc.*, **57**, 1225-1240.
- Rutherford, I.D., 1972: Data assimilation by statistical interpolation of forecast error fields, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 809-815.
- , 1976: An operational three-dimensional multi-variate statistical objective analysis scheme, Proc. JOC study group conf. four-dimen. data assimil., 98-121.
- Seaman, R.S., 1977: Absolute and differential accuracy of analysis achievable with specified observation network characteristics, *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 1211-1222.
- , 1978: Data assimilation experiments II, ECMWF Tech. Report, No. 12.
- Schlatter, T.W., 1975: Some experiments with a multi-variate statistical objective analysis scheme, *Mon. Wea. Rev.*, **103**, 246-257.
- , G.W. Branstator and L.G. Thiel, 1976: Testing a global multivariate statistical objective analysis scheme with observed data, *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 765-783.
- Talagrand, O. and K. Miyakoda, 1971: The assimilation of past data in dynamic analysis, *Tellus*, **23**, 318-326.
- Thiebaut, H.J., 1975: Experiments with correlation representation for objective analysis, *Mon. Wea. Rev.*, **103**, 691-699.
- , 1976: Anisotropic correlation function for objective analysis, *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 994-1002.
- , 1977: Extending estimation accuracy with anisotropic interpolation, *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 691-699.
- 新田 尚, 1977: FGGE 観測体系と研究計画の現状, *天気*, **24**, 751-768.
- , 山口 協, 1978: 世界気象監視(WWW)計画の現状と将来, *測候時報*, **45**, 197-210.