気象庁毎時大気解析

室　井　ちあし*・藤　田　　匡*・石　川　宜　広*

1．はじめに

気象庁毎時大気解析は，大気の実況監視を目的として，風と気温について1日24回，客観解析によって毎時実施されている．このデータは気象庁の予報作業で利用されるとともに，気象業務支援センターを通じて民間気象会社に提供，また気象情報提供環境 Web を通じて航空会社にも提供されている（第1図に Web 上で提供されている毎時大気解析を利用した航空路断面図の例を示す）．

2007年3月22日より毎時大気解析の解析手法を従来の最適内挿法から3次元変分法に変更し，またドップラーレーダーによる動径方向の速度データの同化を開始して，解析精度の向上をはかった．ここでは最新の毎時大気解析の概要について紹介する．

2．毎時大気解析の意義とその歴史

予報作業において実況把握が重要であることは論を待たない．しかし，観測データは空間的に不均一に分布しているため，観測データのみから大気の詳細な状態を把握することは容易ではない．また，ラジオゾンデによる観測は通常1日2回であり，顕著現象のタイムスケールを考慮すると実況把握資料としては十分ではない．一方，データ同化により，時空間4次元的に統一のとれた数値予報 GPV（格子点値；grid　point value）の形式で利用できる客観解析は，空間的に実況を把握できるデータとして，それを初期値として予報モデルを実行して得られる数値予報結果とともに，天気予報や防災気象情報作成等の予報作業に有効に活用されている．しかし，客観解析としてよく知られる，数値予報モデルの初期値を作成するための高度な全球解析・メソ解析においては，実際の観測時刻から観測データの収集にかかる時間（カットオフ時間）を確保しなければならない．さらに客観解析の計算やデータ配信にかかる時間を勘案すると，観測時刻から当該時刻の客観解析データの配信までには一定の時間が必要となる．実況監視という意味では速報性を欠いているのである．

そこで気象庁では，様々な観測データを利用して高解像度の客観解析を行い，速報的な3次元 GPV として提供する，「毎時大気解析」を実行している．これにより，予報作業従事者が，より迅速，より正確に大気の状態を把握できるようになり，その解析データは予報作業を進める上でも有効となっている．

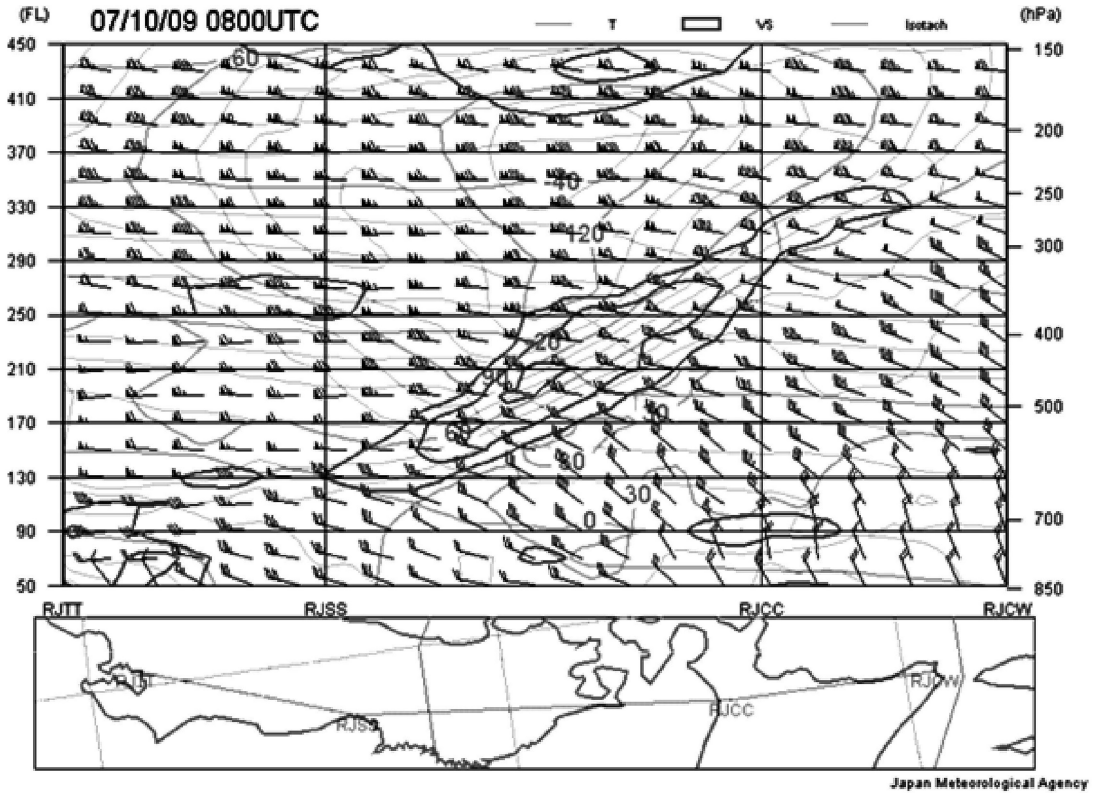
毎時大気解析開始のきっかけとなったのは，2001年4月の気象庁ウィンドプロファイラ観測網（WINDAS, 加藤ほか　2003；Ishihara *et al*.　2006）の展開である．この WINDAS データを有効に活用した実況把握資料に対する要望が高まり，従来の1日2回のラジオゾンデよりはるかに高頻度・高密度の風の解析を行い，速報的に現場に提供する業務を，WINDAS の展開と同時（2001年4月）に開始した．その解析手法としては最適内挿法[†1]が採用された．2002年1月より慣熟的にデータ配信が開始されたが，当初は「毎時下層風解析」と呼ばれていた．その後ドップラーレーダーデータに VVP 法[†2]を適用して算出した，東西・南北風の同化を開始した．さらに，2003年11月にはアメダスを利用した地上風の解析を追加し，ウィンドプ

* 気象庁予報部数値予報課．

—2007年10月18日受領—
—2008年3月11日受理—

© 2008　日本気象学会

[†1] 最適内挿法とは客観解析法のひとつで，ある気象要素の解析値と第1推定値との差が，周囲の観測値と第1推定値の差の線形結合で表されるとして，その荷重を重回帰分析の手法（最小二乗法）によって設定する手法．



第1図　毎時大気解析の航空路断面図の例（東京―稚内の航空路断面における風（矢羽：長い羽10 kt，短い羽5 kt，三角形の羽50 kt），気温（細実線：5 kt毎），鉛直ウィンドシアー（太実線：3 kt/1000 ft毎）を示す）．1 ktは約0.5 m/s．

ロファイラの鉛直間引き間隔の変更を行う等の改良を行い，「毎時風解析」と名称変更した．

その後，2006年3月に気象庁のスーパーコンピューターシステム（NAPS）の更新とともに解析範囲を拡大，解析格子の高解像度化（10 kmメッシュから5 kmメッシュ），解析要素に気温を追加し，「毎時風解析」は「毎時大気解析」として新たなスタートを切ることになった（西嶋　2005）．毎時衛星風[†3]の利用も同時に開始し，また2006年6月からは，情報通信研究機構（NICT）が運用する稚内・沖縄のウィンドプロファイラのデータの同化も開始した．

近年，東京を皮切りにドップラーレーダー観測網の展開が進められ，突風災害対策の観点から，さらなる展開が図られることになった．しかし運用開始以来，毎時大気解析では解析手法として最適内挿法を用いていたが，その手法上の制限により，ドップラーレーダーの動径方向の速度データを直接利用することはできず，やむを得ずVVP風に変換した上で同化する必要があった．その結果，変換に伴う誤差の混入が考えられるほか，変換精度が保証されるデータ領域が限られるなど，観測データの情報を十分に活用できない状況にあった．このような背景のもとで，将来的に多様な新規データの同化に対応するためにも，解析手法の高度化が求められるようになった．

折しも気象庁では，メソ数値予報モデルとして用いられている非静力学モデルと整合の取れた初期値作成を目的として，非静力学モデルに基づく変分法同化システムの開発が進められており（Honda *et al*.

[†2] Volume Velocity Processingの略．有限の微小体積内のドップラー速度データから，その空間内の平均速度風を回帰的に求める手法．

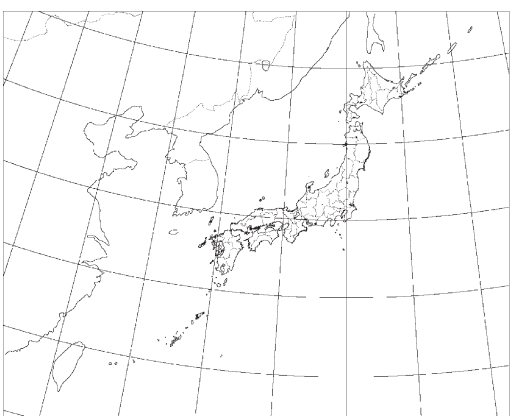
[†3] 衛星風は，静止衛星から撮影された雲や水蒸気塊のパターンを追跡することによって推定された上層の風である．MTSATの運用が開始され，従来は6時間ごとにしか算出されていなかった衛星風プロダクトに加え，北半球では1時間ごとの衛星風プロダクトも作成されるようになった．

2005)，このシステムの毎時大気解析への応用が検討された．このシステムは，元来4次元変分法による解析システムとして開発されたものであるが，計算資源，時間上の制約から，毎時大気解析では3次元変分法としての利用が適切と判断された．

第1表　毎時大気解析の仕様．

解析方法	3次元変分法
観測値	アメダス（風，気温）　国内 約920地点 ウィンドプロファイラ　国内31＋2（NICT）地点 ドップラー速度レーダー（動径風）　国内8（空港）＋4（一般）地点 毎時衛星風
第1推定値	解析時刻における最新の気象庁メソ数値予報モデル（MSM）予報値（通常は2～4時間予報値）
解析要素	風（水平2成分），気温
解析範囲	アジア域（第2図），5 km メッシュ，高度約22 km まで
解析時刻	毎正時（計算開始は毎正時後20分）
配信資料	東西0.0625度，南北0.05度 風（2成分），気温 地上，1000，975，950，925，900，850，800，700，600，500，400，300，250，200，150，100 hPa 毎正時後30分を目処に配信

このようにして，毎時大気解析に3次元変分法を導入して，動径方向のドップラー速度データを直接同化することにより解析精度の向上を目指すこととなった．このため，2007年3月より3次元変分法に解析手法を変更，同時に東京レーダーのドップラー速度データ（ビーム方向に沿った風速成分；第3.3節参照）の同化も開始し，さらに従来VVP風に変換した上で同化していた空港気象レーダーによる観測データについても，ドップラー速度の直接同化に変更した．2007年5月からは仙台・新潟・名古屋レーダーのドップラー速度データも含めて利用することで，解析精度向上をはかった．



第2図　毎時大気解析の解析範囲．

3．毎時大気解析の概要

毎時大気解析の主な仕様を第1表，解析範囲を第2図にそれぞれ示す．以下，解析手法や観測データの問題，3次元変分法の設定について補足する．

3.1　仕様

前節で述べた通り，現在，毎時大気解析では解析手法として3次元変分法を用いている．毎時大気解析で同化される観測データは，アメダス（風・気温），ウィンドプロファイラ，毎時衛星風，ドップラーレーダー（ドップラー速度）等によって得られたものである．

毎時大気解析の計算は気象庁のスーパーコンピューター上で行われるが，その開始は毎正時後20分である．計算機上では，実際には毎正時後15分に前処理を起動し，ウィンドプロファイラ以外のデータの処理とその品質管理をまず行う．そして毎正時後20分になるのを待ってウィンドプロファイラデータを取得し，その品質管理を行っている．これは，ウィンドプロファイラデータの収集と整理にかかる時間を勘案しているからである．すべての観測データがそろったところで解析本体を実行し，後処理をしてプロダクトの配信を行っている．

3.2　3次元変分法の設定

3次元変分法では，第1推定値，観測値それぞれからの乖離の度合いを示す評価関数の極小値を与える場を探索することで，解析値を求める（露木　1997，2002）．評価関数における第1推定値，観測値からの乖離を評価する重み（それぞれ背景項，観測項）は，あらかじめ設定された背景誤差や観測誤差に依存する．このため，これらの設定が解析の結果として得られる場の修正量に大きく影響する．そこでここでは，毎時大気解析における誤差設定について概説する．

3.2.1　背景誤差の設定

異なる場所・変数間の誤差相関を定める背景誤差共

分散は，膨大な次元を持つため，そのままで計算に取り込むことは困難である．このため変分法ではしばしば，主要な相関のみを考慮に入れ，背景誤差共分散を単純化することが行われる（石川・小泉 2002；竹内 2002；Parrish and Derber 1992；Bouttier and Courtier 2002；Fisher 2002）．具体的には，変数間の主要な相関の強さを理論的考察や統計的手法で見積もり，互いに相関する部分を分離することにより，制御変数を構成する．そして，それぞれの制御変数について独立に，空間的な相関を規定する背景誤差共分散を設定する．

毎時大気解析では，風・気温の解析のための制御変数として，流線関数，非バランス速度ポテンシャル，地上気圧，温位がとられている．ここで，非バランス速度ポテンシャルは，速度ポテンシャルから流線関数と相関を持つ部分を差し引いて定義される．この際に用いる流線関数と速度ポテンシャルの間の相関の強さは，解析面ごとの回帰解析（水平分解能5 kmの気象庁メソ数値予報モデル（MSM）による2004年7月2週間の予報の統計値を利用）を行って求められる．一方，制御変数の設計には風と気温との間の相関は考慮されておらず，風と気温はほぼ独立に解析されている．

各制御変数の背景誤差共分散は，NMC（National Meteorological Center；米国気象センターの略）法（Parrish and Derber 1992）に基づいて設定される．これは，上記の非速度ポテンシャルの設計に用いられたのと同じMSM予報値による統計に基づくものである．ただし，3次元変分法導入前までの解析手法である最適内挿法で用いられていた予報誤差特性とおよそ一致するように，調整を施している．

背景誤差の水平方向の相関に関しては，大気最下層の解析面では水平相関距離のスケールを半径約25 km，それより上層の解析面では半径約220 kmに設定している．また，鉛直方向に関しては，大気最下層の解析面と，それより上層の解析面との間の共分散を0としている．この設定により，地上場は大気最下層の場から診断されるため，地上と上空はほぼ独立に解析される[†4]．上空における修正の鉛直方向への影響範囲のスケールは高度に依存する．例えば，高度850 hPa（300 hPa）では，気温については上下それぞれにおおよそ50 hPa（40 hPa）程度，風については90 hPa（60 hPa）程度である．また，背景誤差の大きさは，風については約3 m/s，温位については約3.5℃（ただし，大気最下層では約4.8℃）と設定されている．

3.2.2 観測誤差の設定

地上での観測誤差は，アメダス気温については0.5℃，風の東西・南北成分については0.8 m/s と設定している．

上空の観測誤差は，高度とともに増大するよう設定されている．上空の気温については，500 hPa より下層で1℃，100 hPa で約2℃である．風（東西，南北成分共通）の観測誤差は500 hPa より下層では，ウィンドプロファイラについては1 m/s程度，毎時衛星風については3–5 m/s と設定されている．

3.3 ドップラー速度データの同化

これまで述べたとおり，毎時大気解析ではドップラー速度データを直接同化している．現在の毎時大気解析では，速報性を重視するため，十分な数の観測データが用いられてはいないが，ドップラーデータは今後増加が見込まれる貴重な観測データであり，利用者の関心も高いと思われるので，以下に詳述する．

ドップラーレーダーは，降水粒子からの反射信号のドップラーシフトを利用して降水粒子の移動速度，すなわち降水粒子を動かす風の速度（風速）を観測することができる．ただし，ドップラーシフトを利用する観測の性質上，レーダービームに沿った方向の風速成分しか測定できない．また，降水粒子が存在しない場所ではデータが得られないという制約もある．

気象庁は，空港と気象官署に気象ドップラーレーダーを設置している．空港気象ドップラーレーダーは，平成7～17年度に全国8箇所（新千歳，成田，東京（羽田），中部，大阪，関西，福岡，那覇）の空港に整備され，主に現地での監視業務に使用されている．また，気象官署の気象ドップラーレーダーは，一般の気象レーダーにドップラーの機能を追加する形で更新整備が進められた．平成17年度に東京レーダーが，平成18年度に仙台，新潟，名古屋のレーダーが，それぞれドップラーレーダーに更新された．平成19年度には新たに7官署（釧路，函館，松江，福岡，種子島，沖縄および室戸岬）でレーダーがドップラー化された．

気象官署の気象ドップラーレーダーは，設置場所から150 km（最低仰角のみ250 km），空港ドップラーレーダーは120 kmの範囲内で，それぞれビーム方向0.5 km間隔・方位角0.703度間隔の高密度なドップ

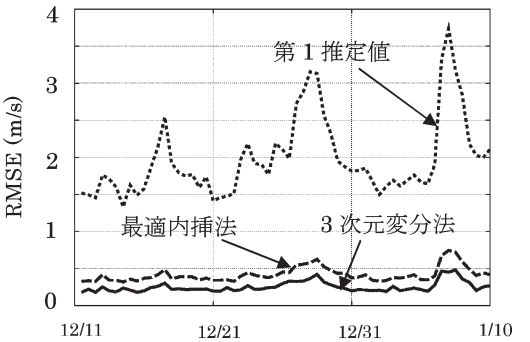
[†4] ただし，変分法による解析の後，地上の修正の影響が，第1推定値の大気境界層の高さ（MSM内で温位の鉛直プロファイルにより診断される）の範囲で上空に及ぶよう，補正を行っている．

ラー速度データが観測され，気象庁のスーパーコンピューターに送られてくる．これらの観測データについて，観測値として妥当かどうかをチェックする品質管理を行うとともに，データが非常に密に存在するため間引きも行われる（小泉　2004）．

新規ドップラーレーダーによるドップラー速度データについても順次対応し，毎時大気解析に採り入れていく予定である．

3.4　毎時大気解析の精度

3次元変分法による毎時大気解析の実況監視資料としての精度の指標として，観測データと解析データとの差を平方根平均二乗誤差（RMSE）として評価した．第3図に，3次元変分法と最適内挿法に基づき，それぞれ得られた解析データ，ならびに第1推定値について，アメダスによる観測データを用いて計算した風データの東西成分についてのRMSEの時系列（2006年12月11日12 UTCから2007年1月10日00 UTCまでの00，12 UTC）を示す．3次元変分法により得られた解析値のRMSEは，期間を通じて最適内挿法と同程度，もしくはより小さい値となっている．同化される他の観測データについても，3次元変分法は最適内挿法と同程度の誤差となっており，同化した観測データの情報が適切に解析場に取り込まれていると考えられる．



第3図　毎時大気解析で同化されたアメダスの風観測の東西成分データに対するRMSEの時系列．2006年12月11日12 UTCから2007年1月10日00 UTCまでの毎日2回（00，12 UTC）の評価に基づく．実線：3次元変分法による解析値，破線：最適内挿法による解析値，点線：第1推定値．

4．毎時大気解析の事例（3次元変分法の効果）

毎時大気解析の検証や利用方法については，佐々木（2005），松原・末（2006）にまとめられている．これらは最適内挿法を用いた資料による調査であるため，厳密には現在の毎時大気解析とは，プロダクトの特性が若干異なる．しかし，実況監視資料としての位置付けは不変であるため，利用方法については現在でも参考になる．ここでは，3次元変分法による毎時大気解析の解析結果を2つの事例について紹介する．

4.1　ドップラー速度の同化による改善例

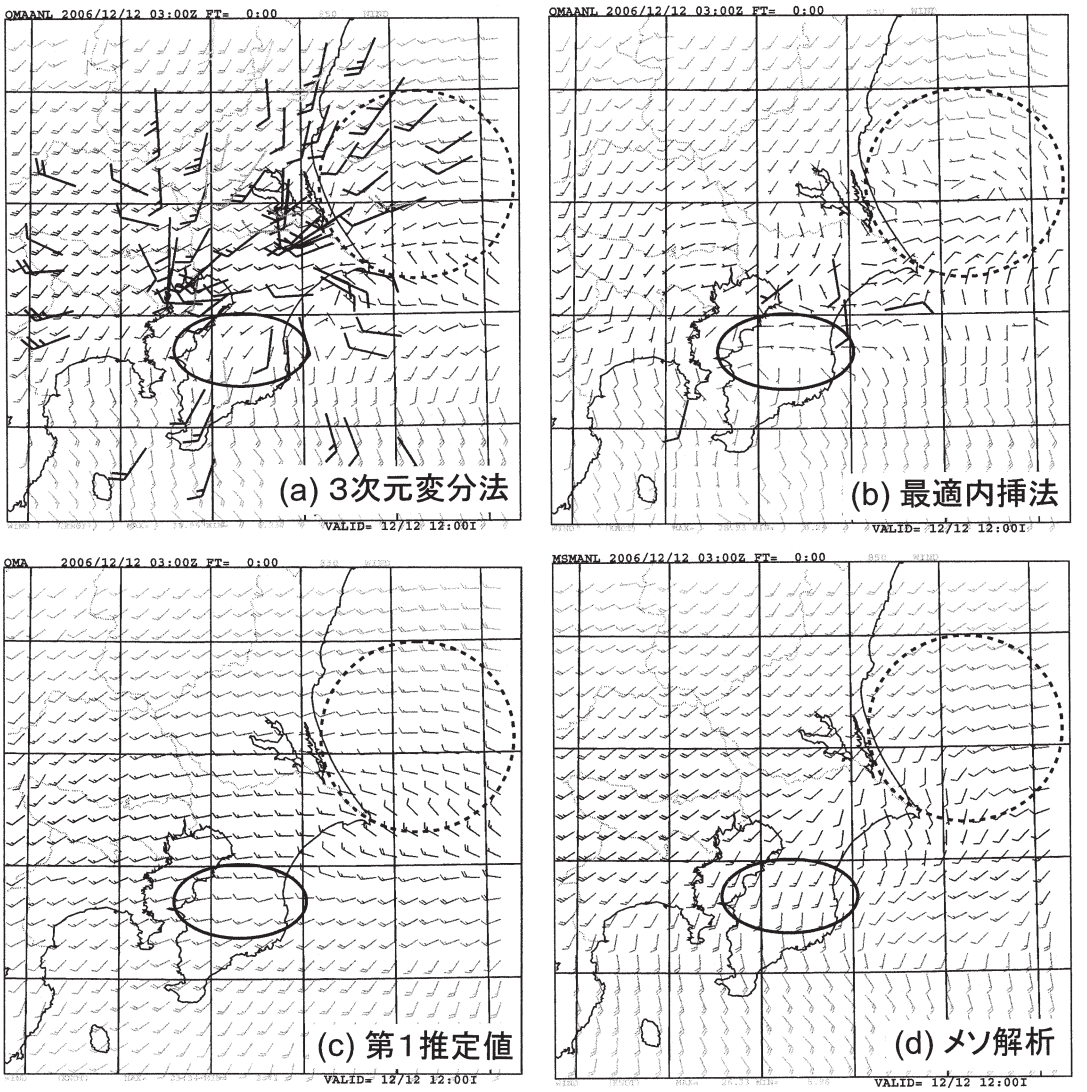
3次元変分法による毎時大気解析において，ドップラー速度を直接同化することによって，解析が従来の最適内挿法に比べて改善した事例を紹介する．第4図に2006年12月12日03 UTCの850 hPa風の分布を示す．この事例の第1推定値（第4図c）は気象庁メソ数値予報モデル（MSM）による00 UTC初期値の3時間予報値である．気圧の谷の通過に伴い，関東地方では降水があり，3箇所のドップラーレーダーサイト（成田空港，羽田空港，東京）による風の観測が得られている．

最適内挿法による解析[†5]（第4図b）では，レーダーサイトからの距離が大きくなるとVVP法による変換の誤差が大きくなるため，レーダーサイトから50 km以内の観測データのみを使用している（西嶋　2004）．一方，3次元変分法による解析（第4図a）では，ドップラー速度を直接同化している．このためデータを取得することができる範囲にある全て（3.3節参照）のドップラー速度データを解析に使用している．

解析結果を見ると，最適内挿法による解析値（第4図b）では，茨城県沖に第1推定値（第4図c）には見られない高気圧性循環が解析されている（破線円領域）．しかし，3次元変分法による解析値（第4図a）では，この循環は存在しない．一方，第4図dに示す03 UTCのメソ解析値[†6]でもこのような循環は存

[†5] ただし，当時の業務仕様での計算にあわせ，新規に加えられた東京レーダーは同化していない．

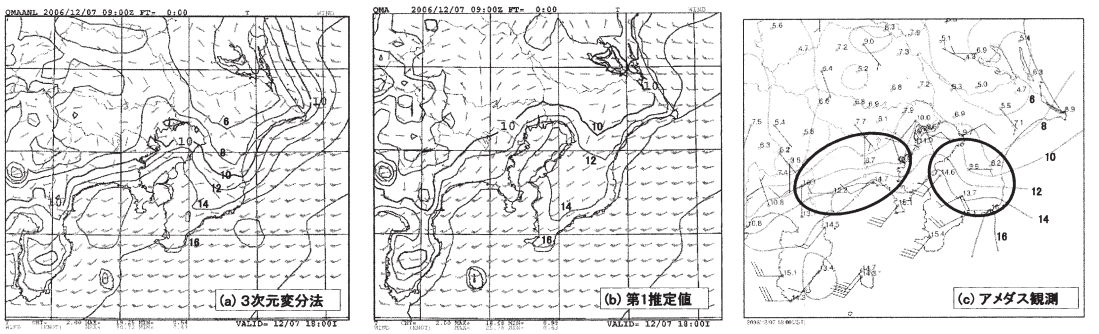
[†6] メソ解析は，メソ数値予報のための初期値を作成するための客観解析である．メソ解析は，時間や計算資源に毎時大気解析ほど強い制約を受けない．このため，毎時大気解析よりも数・種類ともに多くの観測データが同化されている．また，解析手法として，数値予報モデルによる時間発展との整合性を拘束条件として課しつつ解析場を変分法により探索する高度なデータ同化手法である4次元変分法を用いている．ただし，水平格子間隔が10 km（インナーモデルは20 km）と，解像度は低い．



第4図　2006年12月12日03 UTC の関東地方における850 hPa 風の分布．矢羽は長い羽が10 kt，短い羽が5 kt を示す．(a) 3次元変分法による毎時大気解析の解析値．(b) 最適内挿法による毎時大気解析の解析値．(c) 第1推定値（MSM による00 UTC 初期値の3時間予報値），(d) メソ解析による解析値（解析時刻03 UTC)．(a) の矢羽はドップラーレーダーのドップラー速度（矢羽の方向の速度成分），(b) の矢羽は VVP 風を示す（成田，羽田，東京における，830-870 hPa のレベルに分布するデータを重ねている）．太破線の円は最適内挿法 (b) で循環が解析されたおおよその位置を示す．この領域内で3次元変分法，最適内挿法は異なる風向を解析している．

在しないため，3次元変分法を用いた解析結果が正しいと考えられる．

第4図bでは，最適内挿法により同化されたドップラーレーダーの観測データは，前述の通り，レーダーサイトから50 km 以内のみであるため，循環が解析されている領域には存在しない．また，この事例では，茨城県とその近海の領域で，高度850 hPa 付近で同化されたドップラーレーダー以外の観測値は，水戸のウィンドプロファイラのみであった．従って，最適内挿法において茨城県沖は観測データの存在しない領域となっている．一方，最適内挿法では，上空において，水平方向の予報誤差相関のスケールは2度（約



第5図　2006年12月7日09 UTCにおける関東地方南部の地上気温と風の分布．(a) 3次元変分法による解析値，(b) 第1推定値，(c) アメダス地上観測値．等値線の間隔は2 ℃．矢羽の単位は，(a)，(b) 長い羽10 kt，短い羽5 kt，(c) 長い羽2 m/s，短い羽1 m/s．相模湾沿岸，房総半島の収束帯（実線の楕円領域）については本文参照．

220 km）に設定されている．このため上記の循環は，千葉県とその近海など，離れた観測点における修正の影響が茨城県沖にまで及んだため解析されたと考えられる．なお，東京レーダーのデータも含めて，VVP風として最適内挿法で同化した場合においても，位置は南にずれるが依然として高気圧性循環が解析された（図略）．

一方，3次元変分法による解析で使用された，成田空港と東京のドップラー速度データは茨城県沖にも分布している（第4図a）．3次元変分法ではこれらの観測データが拘束条件となり，偽の高気圧性循環が解析されることを防いだと考えられる[†7]．

また，房総半島中部における風についても3次元変分法の導入によって改善が見られる（第4図太実線楕円領域）．この領域で，最適内挿法（第4図b）では東風，3次元変分法（第4図a）では南西風が解析されており，3次元変分法による解析のほうがメソ解析（第4図d）との整合性が良い．これも，3次元変分法では，最適内挿法に比べ，房総半島とその周辺の領域において，ドップラーレーダーによるより多くの観測データが利用可能となったためと考えられる．

4.2　関東地方南部の収束帯の事例

第5図に2006年12月7日09 UTCの毎時大気解析による関東地方南部の地上気温と風の分布を示す．北海道付近に低気圧があり（図略），これに向かって関東地方の南海上では暖かい南西風が吹き込んでいる．アメダス観測値（第5図c)[†8]をみると，関東地方南岸地域では，海上からの南西風と内陸の冷たい空気との間に収束帯が形成されている（実線楕円領域）．

この事例での第1推定値（第5図b）は，気象庁メソ数値予報（MSM）による12月7日06 UTC初期値に対する3時間予報値である．第1推定値では，房総半島全体で南西風の流入が表現されており，半島上に明瞭な収束帯は見られない．また，第1推定値では，全体的に内陸の気温が実況より高く予想されている．

3次元変分法による解析値（第5図a）では，房総半島での収束帯が適切に表現され，収束帯の南北での風向と気温の違いが明瞭になっている．また，内陸の気温も修正され，相模湾沿岸での収束帯をはさんだ南北の気温勾配が実況に近づいている．

5．まとめと課題

気象庁で実況監視用として実行している毎時大気解析の概要を紹介した．ウィンドプロファイラやドップラーレーダーなど新しい観測網の展開により，様々な観測データが得られるようになっている．毎時大気解析は，解析手法を高度化しこれらを速報的に高頻度で解析することにより，シアーラインの位置把握等，予報作業上の有益な実況監視資料となっている．今後展開される新しい観測網によるデータについても，品質

[†7] なお，3次元変分法によりレーダーサイトから50 km以内のVVP風を同化した場合（図略）にも，最適内挿法と同様の高気圧性循環が解析された．このように，観測データの分布から離れており，かつ観測データによる修正の影響範囲内にある領域での解析場の振る舞いには注意が必要である．

[†8] 描画には東京管区気象台による「かさねー3D」（平原ほか，2004）を使用した．

管理手法を開発してデータ同化に取り組むことにより，解析精度の向上を進めていく予定である．

近年，研究のコミュニティでもデータ同化研究が盛んになり，高度なデータ同化手法の研究開発が積極的に行われている．防災情報を提供する気象予報の立場としては，膨大な計算を必要とする高度なものばかりでなく，速報性が確保できる簡略なデータ同化も，引き続き重要な役割を持つと考えている．本稿が毎時大気解析データの利用者だけでなく，データ同化に関わる幅広い研究者の理解に役立つことを願っている．

謝　辞

本解説の投稿にあたり，貴重なコメントをいただいた東京大学の中村　尚先生，2名の査読者，ならびに気象庁予報部数値予報課・予報課の関係官に感謝いたします．

参　考　文　献

Bouttier, F. and P. Courtier, 2002：Data assimilation concepts and methods. Meteorological Training Course Lecture Series, ECMWF, 59 pp.

Fisher, M., 2002：Assimilation techniques：3 dvar. Meteorological Training Course Lecture Series, ECMWF, 11 pp.

平原洋一，柴田のり子，市川　寿，宮城仁史，2004：気象観測データ統合描画 Web アプリケーションの開発．平成15年度東京管区調査研究会誌，東京管区気象台，CD-ROM．

Honda, Y., M. Nishijima, K. Koizumi, Y. Ohta, K. Tamiya, T. Kawabata and T. Tsuyuki, 2005：A pre-operational variational data assimilation system for a non-hydrostatic model at the Japan Meteorological Agency：Formulation and preliminary results. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., **131**, 3465-3475.

Ishihara, M., Y. Kato, T. Abo, K. Kobayashi and Y. Izumikawa, 2006：Characteristics and performance of the operational wind profiler network of the Japan Meteorological Agency. J. Meteor. Soc. Japan, **84**, 1085-1096.

石川宜広，小泉　耕，2002：メソ4次元変分法．数値予報課報告・別冊，(48)，気象庁予報部，37-59．

加藤美雄，阿保敏広，小林健二，泉川安志，石原正仁，2003：気象庁におけるウィンドプロファイラ観測業務．天気，**50**，891-907．

小泉　耕，2004：非静力学メソ数値予報モデルの現業化．平成16年度数値予報研修テキスト．気象庁予報部，71-74．

松原竹男，末　洋一郎，2006：毎時大気解析（気温）の利用方法と注意点．平成18年度量的予報研修テキスト，気象庁予報部，1-8．

西嶋　信，2004：毎時風解析．平成16年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，63-65．

西嶋　信，2005：毎時大気解析．平成17年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，63-65．

Parrish, D. and J. Derber, 1992：The National Meteorological Center's spectral-statistical interpolation analysis system. Mon. Wea. Rev., **120**, 1747-1763.

佐々木　洋，2005：毎時大気解析（地上風）の利用方法と注意点．平成17年度量的予報研修テキスト，気象庁予報部，13-17．

竹内義明，2002：全球3次元変分法．数値予報課報告・別冊，(48)，気象庁予報部，17-36．

露木　義，1997：変分法によるデータ同化．数値予報課報告・別冊，(43)，気象庁予報部，102-165．

露木　義，2002：変分法によるデータ同化の基礎．数値予報課報告・別冊，(48)，気象庁予報部，1-16．

Hourly Analysis at the Japan Meteorological Agency

Chiashi MUROI*, Tadashi FUJITA* and Yoshihiro ISHIKAWA*

* *Numerical Prediction Division, Forecast Department, Japan Meteorological Agency, 1-3-4 Ote-machi Chiyoda-ku Tokyo, 100-8122, Japan.*

(Received 18 October 2007；Accepted 11 March 2008)