

MSC における上層風ベクトル自動算出の現状とマンマシン処理の効果

A Statistical Investigation to Evaluate Present Performance of Automatic Computation and Effect of Manual Procedures in the MSC.

酒井 誠*・西村 修司**・藤田由紀夫*
Makoto Sakai, Syuji Nishimura, Yukio Fujita

Abstract

The Meteorological Satellite Center (MSC) operationally extracts cloud motion wind vectors (CMWVs) using GMS images.

Upper level CMWVs are computed through automatic and manual procedures.

A statistical investigation to evaluate present performance of automatic computation and effect of manual procedures. The manual procedures improved the accuracy of upper level CMWVs very much. For example, the root mean square error (RMSE) of wind vector difference between upper level CMWV and radiosonde observed wind, which is 13.1m/s for automatic computation, is improved to 7.8m/s after the manual procedures.

1. はじめに

気象衛星センターでは静止気象衛星が一定の時間間隔で撮像した画像を用いて、巻雲を追跡しその移動量を求める事により上層雲移動風（以下、上層風ベクトル）を、積雲を追跡して下層雲移動風（以下、下層風ベクトル）を、また水蒸気分布を追跡しその移動量を求めることにより水蒸気移動風（以下、水蒸気風ベクトル）を算出している。

巻雲を追跡して求める上層風ベクトルは1978年4月からループフィルム法による算出が開始され（浜田、1979）、1987年3月からは処理が計算機による自動処理（以下、自動処理）とオペレーターによるマンマシン処理（オペレーターによる風ベクトルの追加及びマニュアル品質管理）の併用となった（大島、1988、1989）。その後も両者を併用すると共に自動処理及びマ

ンマシン処理とも精度向上のための様々な改良が続けられている（Uchida, 1991、Takata, 1993、気象衛星センター、1996）。

現在、ルーチンで行われている上層風ベクトル処理では、最初に計算機による風ベクトルの自動算出、品質管理が行われる。次にマンマシン処理によりオペレーターが風ベクトルの追加算出及び自動算出分も含めたすべてのベクトルの品質管理を行い不良風ベクトルを削除する。最終的にはマンマシン処理を加え合格した風ベクトルのみが、ADESS を経由して気象庁数値予報課や GTS 回線を経由して世界各地に配信される。

ADESS に配信された風ベクトルデータ（最終風ベクトルデータ）は常時高層観測風と比較し精度評価しているが、このデータは自動算出された風ベクトルにマンマシン処理を加えたデータであり、自動算出法自体の精度やマンマシン処理がどの程度精度の改善に寄

* 気象衛星センター 解析課

** 気象庁観測部 観測技術課

（1997年11月14日受領、1997年12月19日受理）

与しているかどうかは明らかになっていない。

そこで本稿ではマンマシン処理の実例を紹介すると共に統計調査によって上層風の自動算出法の精度とマンマシン処理がどの程度精度の改善に寄与しているか調査した結果を報告する。

2. 風計算処理業務の概要

気象衛星センターにおける風計算処理の概要を Fig. 1 に示す(気象衛星センター、1996)。風計算処理は上層風ベクトル・下層風ベクトル算出と水蒸気風ベクトル算出の3つから構成されている。

上層風ベクトル、下層風ベクトルの算出及び品質管理には自動法とマニュアル法の2つの方法があり、両者が併用されている。一方、水蒸気風ベクトルは算出から品質管理まで全自動処理されている。

上層・下層ベクトルともに、まず自動法によって風ベクトルが算出される。自動法は風の場合を代表する巻雲や積雲の選択と追跡をすべて計算機で自動的に行う。選択は風データがなるべく全球に均一に分布するように行っている。算出された風ベクトルの高度は上層風の場合は追跡雲の輝度温度から求めた雲頂気圧高度(以下、自動高度)が、下層風の場合は850hPa が一様に設定される。

次に計算機による品質管理が行われる。ここでは近接した上層風ベクトル同士や下層風ベクトル同士の比較チェック、上層・下層ベクトルと近接した数値予報風データ(12時間または18時間予報値)と比較チェックによりあらかじめ設定された基準値を満たさない風ベクトルにフラグを立てて、後続のマニュアル品質管理処理でオペレーターにより適否をチェックしている。

この後、画像ディスプレイ上でオペレーターによるマンマシン処理が行われる。マンマシン処理はマニュアル法による風ベクトルの追加算出とマニュアル品質管理の2つから構成されている。

マニュアル法による風ベクトルの追加算出では、上層風や下層風の算出に適した巻雲や積雲がありながら、自動算出法で算出からもれた領域でオペレーターが画像表示装置上の画像ループムービーで雲の移動を見な

がらトレーサ雲を指定、追跡する。算出方法には、以下の①、②の2つの方法がある。

①ターゲット(雲)の選択をオペレーターが行い、その後の追跡を自動で行う1点指定法(MM1法)。

②ターゲット(雲)の選択と移動をオペレーターが判断し、始点と終点を指定する事により風向・風速の計算を行う2点指定法(MM2法)。

①、②共、高度設定は自動法と同様に行われる。

マニュアル品質管理は画像表示装置上の画像ループムービーに自動法やマニュアル法で算出された風ベクトルを表示して、雲の動きと算出された風ベクトルとの整合性や空間的一貫性をオペレーターがチェックするものである。その際に、高層観測風や数値予報風データの水平分布や鉛直分布が表示可能であり、これらと比較する事も可能である。不良と判断したものは削除され、合格したもののみがADESSへ出力される。

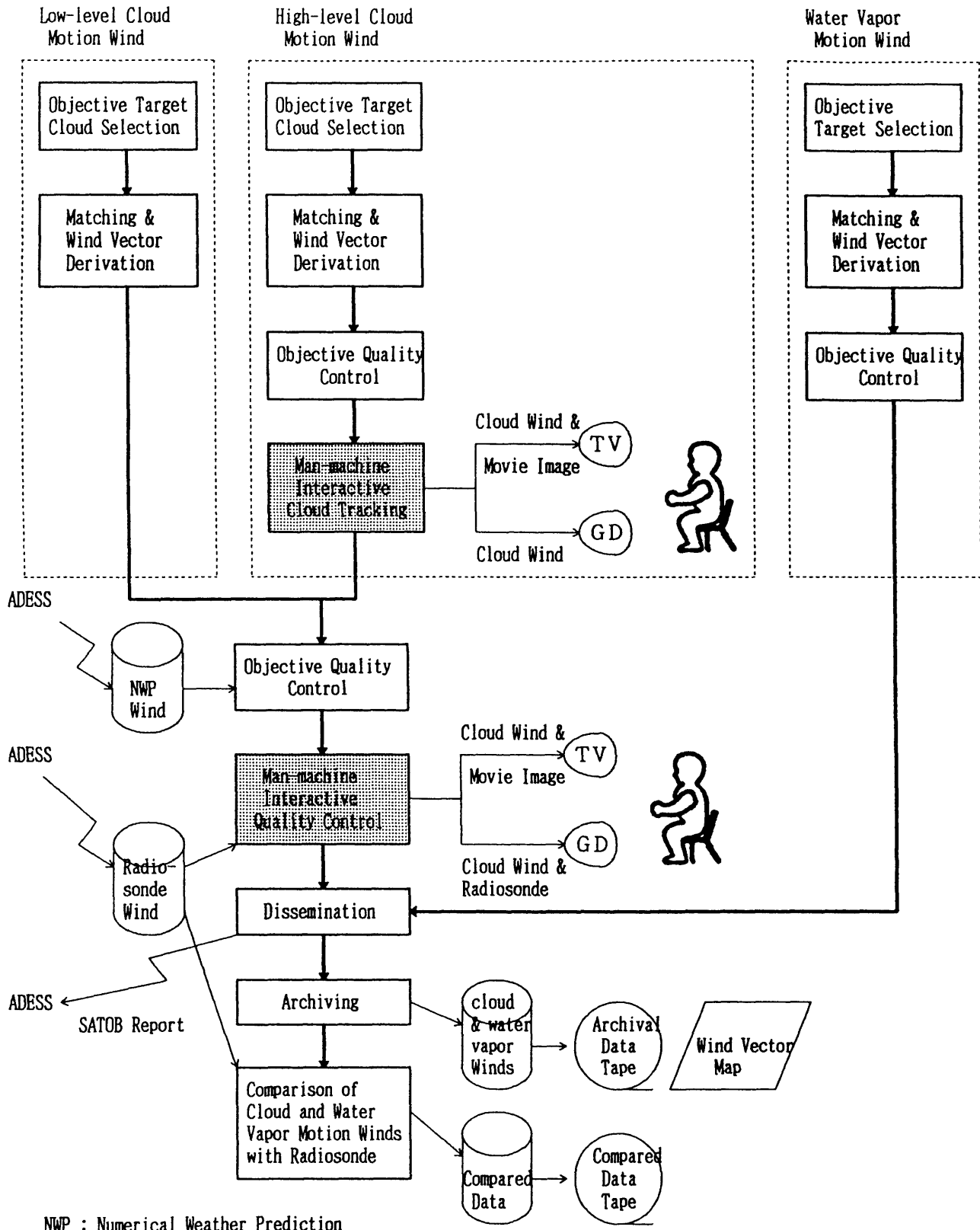


Fig. 1 Process flow of cloud and water vapor motion winds derivation system in MSC.

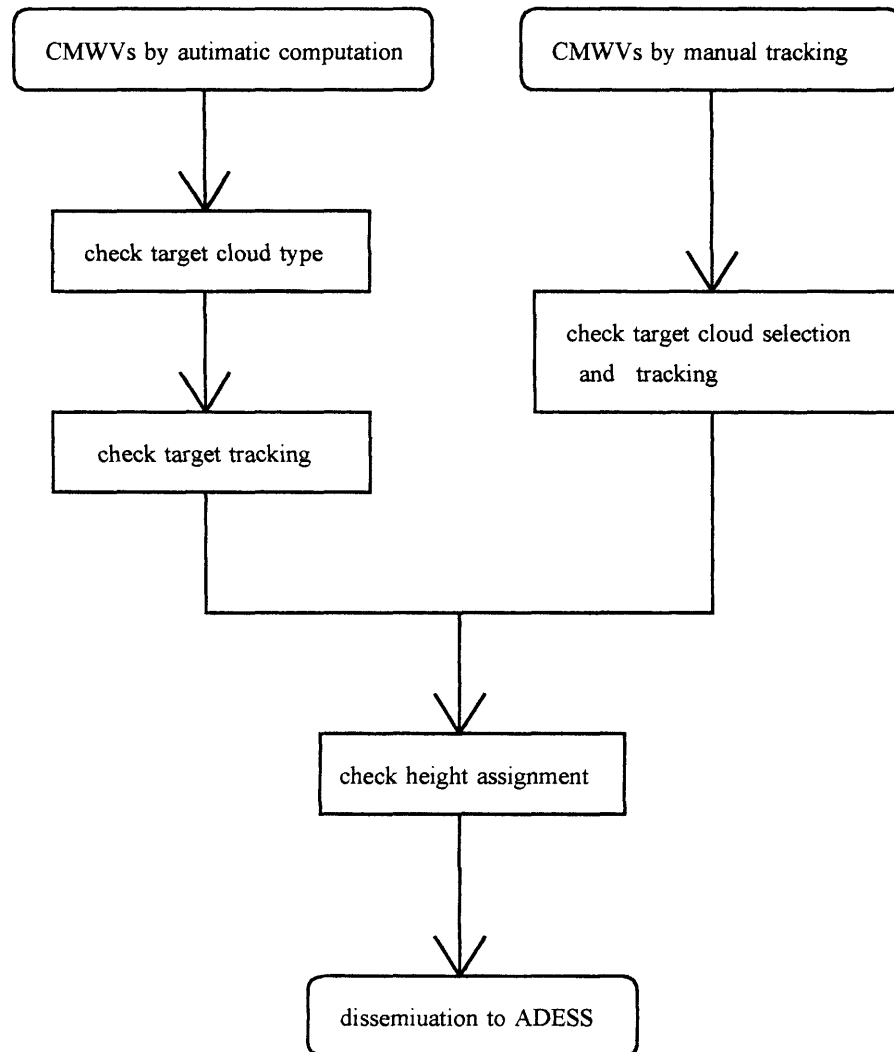


Fig. 2 Flow chart of manual quality control procedure of upper-level CMWVs.

上層風のマニュアル品質管理は以下の①～③の流れに沿って行われる (Fig. 2)。

①自動法で算出された上層風ベクトルの雲の選択が正しいかどうかのチェックを行い、巻雲以外の雲 (積乱雲等) を選択している場合は削除する。

②雲追跡のチェックを行い、正確に巻雲を追跡していない (誤追跡) 場合は削除する。雲が変形 (発生・消滅など) するものや特徴点がない巻雲を自動法で追跡したものなどは誤追跡が生じやすい。

③上述の過程を経て巻雲を正確にトレースした風ベクトルに対して自動で付加された高度 (以下、自動高度) が適切かどうか高層観測データや数値予報風データ等

を参考にチェックを行い、オペレーターが適切な高度でないと判断した場合は50hPa刻みの100hPa～500hPaの範囲で高度変更を行っている。

マニュアル法による風ベクトル算出時も同様に、算出された風ベクトルに対し、雲の選択・雲追跡の再チェックを行い、最後に自動高度のチェック、必要に応じての高度変更作業をしている。

なお、下層風のマニュアル品質管理は、①雲の選択のチェック。正しく積雲を選択しているかどうか。②雲追跡のチェック。正確に積雲を追跡しているかどうか。の2点について行っている。

3. 上層風ベクトルのマニュアル品質管理の例

オペレーターによる上層風ベクトルのマニュアル品質管理の例を以下の(a)~(c)に示す。

(a) 雲選択のチェック

積乱雲や特徴のない中層輝度の雲を自動選択して算出された不良風ベクトルをオペレーターが削除した事例の雲写真を Fig. 3(a)に、同事例の風ベクトルと300 hPa の高層実況値・数値予報風データ (12時間予想値)との比較を Fig. 3(b)示す。

Fig. 3(a)の黄色い矢印で示された風ベクトルは積乱

雲 (資料番号2186, 2227)や特徴のない中層輝度の雲 (資料番号1917, 2009, 2106) を選択しているのがわかる。このような風場を代表していない巻雲以外の雲を自動選択した風ベクトルはマニュアル品質管理で不良と判断され削除される。これらの風ベクトル (黄色い矢羽根)の自動高度は300hPa 前後で、同時刻の300hPa の高層実況データ (白い矢羽根) や数値予報風データ (マゼンダの矢羽根)と比較する (Fig. 3(b)) と風向・風速共まったく一致していない事がわかる。なお、図は省略するが、他の層(100~500hPa)と比較してもまったく一致していない。

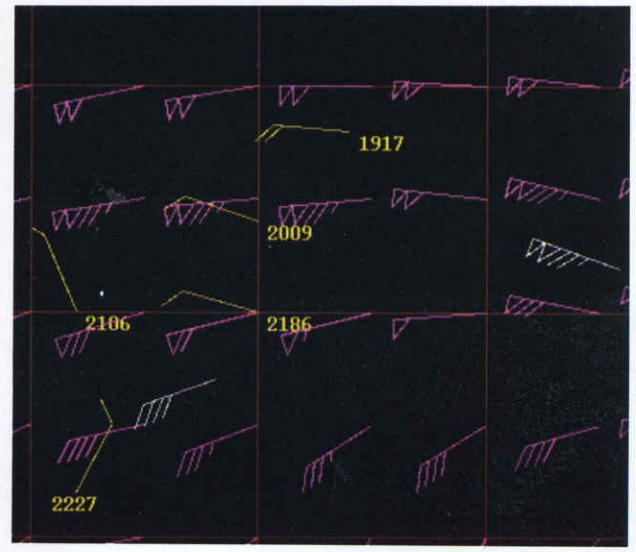
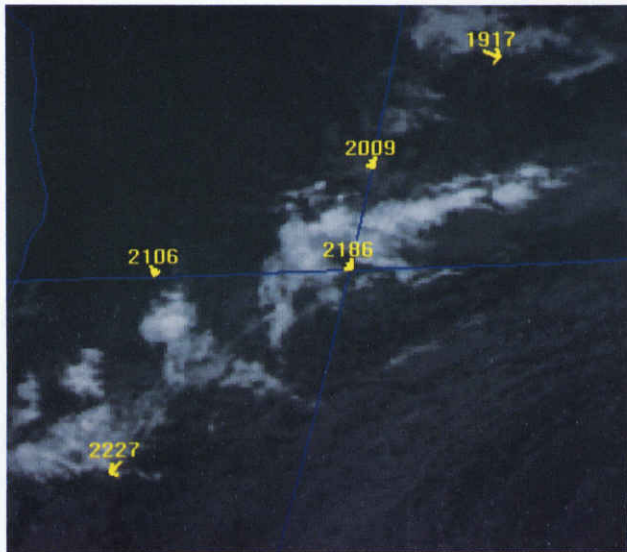


Fig. 3 Example of manually rejected wrong CMWVs.

(a) Wrong CMWVs on IR images. These arrows are manually rejected because the selected target clouds are mid-level ones or Cb.

Fig. 3 (b) Wrong CMWVs due to wrong target cloud with winds of upper air observation and numerical weather prediction (12 hour forecast) at 300hPa level.

yellow arrows ; rejected CMWVs
white arrows ; winds of upper air observation
magenta arrows ; winds of numerical weather prediction model
numbers above CMWV arrows ; data number

(b) 雲追跡のチェック

自動選択された雲は巻雲だが、正確に巻雲を追跡していないと判断して削除した事例の雲写真を Fig. 3(c)に、同事例の風ベクトルと高層実況値・数値予報風データ(12時間予想値)との比較を Fig. 3(d)示す。

Fig. 3(c)の黄色い矢印で示された風ベクトルは、選択された雲は巻雲だが、動画で見ると正確に巻雲を追跡していない(誤追跡)。この様に自動追跡で誤追跡が生じた風ベクトルは不良と判断されマニュアル品質管理で削除する。これらの風ベクトル(黄色い矢羽根)の自動高度は330~395hPaに付加されており、同時刻の400hPaの高層実況データ(白い矢羽根)や数値予報風データ(マゼンダの矢羽根)と比較する(Fig. 3(d))と20~30KT程度風速が遅くなっており対応が悪いのがわかる。なお、図は省略するが、他の層(100~500hPa)の高層実況データ、数値予報風データと比較しても対応が悪い。

(c) 自動高度の確認・変更

風ベクトルには自動高度が付加されているが、この自動高度をオペレーターが適切でない判断し、高度の変更を行った事例の雲写真を Fig. 3(e)に、同事例の風ベクトルと200hPaと400hPaの高層実況値・数値予報風データ(12時間予想値)との比較を Fig. 3(f),(g)に示す。

Fig. 3(e)の緑色の矢印で示された風ベクトルはどれも巻雲を選択し正確に追跡をしている風ベクトルであり、自動高度は200hPa付近に設定されたものがある一方で半透明の薄い巻雲には400hPa前後に設定されたものがある。同時刻の高層実況データや数値予報風データと比較すると200hPaの高度と対応が良い(Fig. 3(f))が、400hPaの高層実況値等と比較すると対応が悪い(Fig. 3(g))。ここではオペレーターが400hPa前後に付加されている半透明の薄い巻雲の風ベクトルの高度は自動高度が不適切(低い高度に設定されている)だと判断し200hPaに高度を変更した。

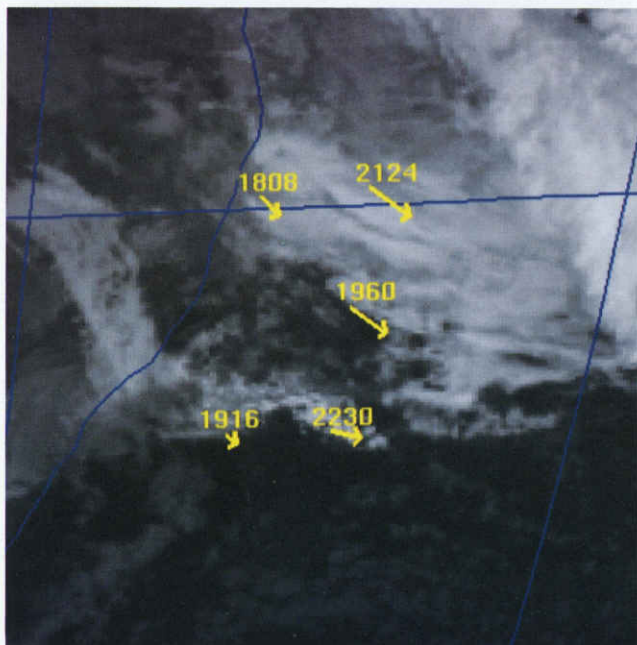


Fig. 3(c) Same as (a), except for the rejection due to wrong tracking.

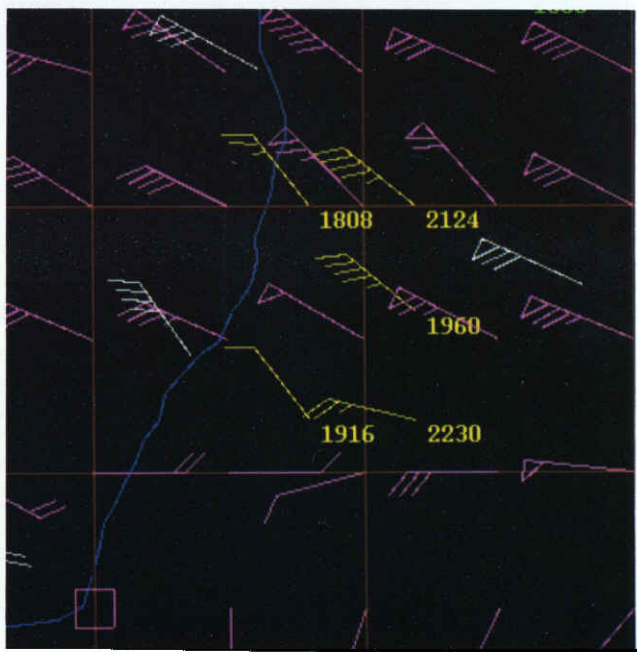


Fig. 3(d) Same as (b), except for the rejection due to wrong tracking and for 400hPa level.

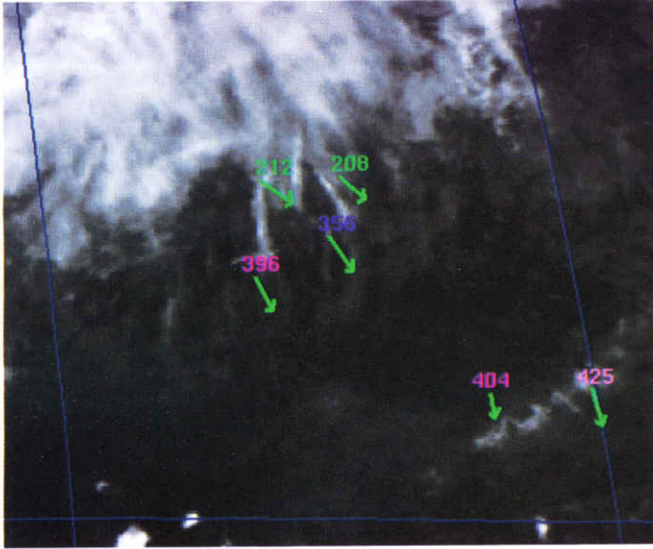


Fig. 3(e) Example of wrong wind heights assigned to successfully tracked winds. The wind heights about 400hPa are changed to 200hPa because that the heights assigned to the semi-transparent cirrus are wrong. Number shows wind height (hPa).

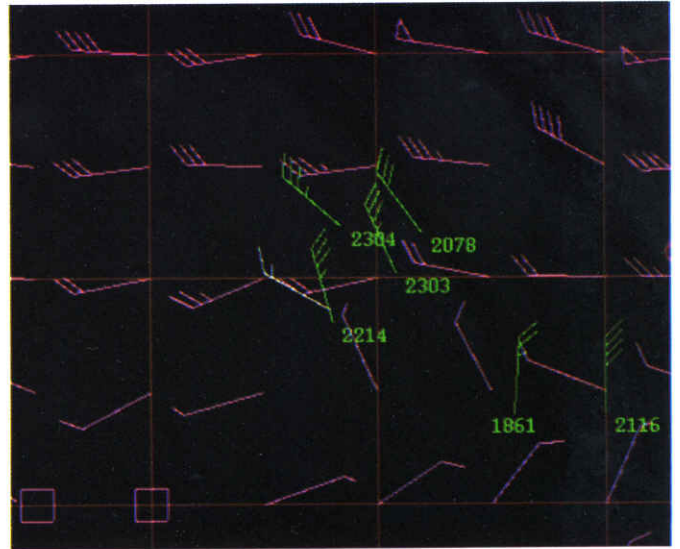


Fig. 3(g) Same as (b), except for an example of wrong height assigned CMWVs and for 400 hPa level.



Fig. 3(f) Same as (b), except for an example of wrong height assigned CMWVs and for 200 hPa level.

4. マンマシン処理による精度向上の統計調査

本章では上層風ベクトルの自動算出法の精度とマンマシン処理がどの程度精度の改善に寄与しているか統計調査した結果を報告する。

4. 1 調査方法

調査は以下の要領で行った。

- ①統計期間：1995年9月～1996年8月までの1年間
- ②使用データ：00UTCと12UTCのルーチン処理で算出された上層風ベクトル及び対応する高層観測データ。
- ③比較方法：衛星で算出された上層風ベクトルの高度に対して、高層観測データから高度内挿法より風向・風速を求め比較し、スピードバイアス・ベクトル差の根平均二乗誤差 (RMSE)・スキャッターインデックス (SI) 等を求めた (付録)。比較対象となる上層風ベクトルは高層観測風との距離がある基準値内のものを選び出して比較した。この基準は風国際比較の基準値に準じ、Table-1の条件で行った (浜田、1981)。
- ④調査項目

マンマシン処理の効果を調べる為に自動算出法自体

の精度と、マンマシン処理を行った後の風ベクトルの精度を緯度別、季節別に調べた。

また、マンマシン処理の各作業がどの程度精度改善に寄与しているかをみるために、各作業毎の精度の変化を調べた。まず、マンマシン処理のうちマニュアル法による追加指定の効果をみるために ADESS に配信された風データの算出方法別の精度を求めた。次に、マニュアル品質管理のうち不良風ベクトル削除の効果を示すために不良風ベクトル削除前の自動算出法で得られた風ベクトルの精度と不良風ベクトル削除後の精度を風速別に調べた。そして、オペレーターによる高度の確認・変更処理の効果を調べるためにオペレーターが高度を変更した風ベクトルの変更前後の精度を求め、比較を行った。ここでは雲の誤選択や誤追跡による精度誤差を除く為にオペレーターが不良風ベクトルを削除した後のデータのみを対象とした。

5. 調査結果

5. 1 自動算出法の精度とマンマシン処理の効果

Table-2は自動法で算出されたすべての上層風ベクトルについての精度結果とマンマシン処理を加えて最終的にアデスに配信されたものの精度結果の比較である。両者を比較すると、ベクトル差の RMSE では13.1 m/s から7.8m/s へ、スピードバイアス(上層風ベクトル—高層観測風)では-5.4m/s から-1.6m/s へ、SI では67%から29%へなどあらゆる統計要素でマンマシン処理後の大幅な精度の向上が見られる。また、マンマシン処理前後の上層風ベクトルの平均風速を比較するとマンマシン処理後は平均風速が約2倍近く増加している。

緯度別に改善の様子をみると、北・南半球の中緯度帯(50°N~20°N、20°S~50°S)がベクトル差の RMSE 及び SI の改善量がそれぞれ7.0m/s, 41%、7.3m/s, 31%となっており、熱帯域(20°N~20°S)より精度の向上が大きい。

Table-3(a)~(d)は季節別比較である。ここでは、北半球の中緯度帯(50°N~20°N)の12, 1, 2月のスピー

ドバイアス及び SI の改善量がそれぞれ14.4m/s、52%と他の季節よりも大きい。また、南半球の中緯度帯(20°S~50°S)では6, 7, 8月のスピードバイアスの改善量が8.2m/s、SI の改善量が33%と他の季節より改善量が大きくなっているのがわかる。

以上から、マンマシン処理による精度改善は緯度、季節を問わず見られるが、そのなかでも中緯度帯の冬期が精度改善の度合いがより大きい事がわかる。

5. 2 追加算出の効果

Table-4は ADESS に配信されたデータを AS(自動算出法：雲選択・雲追跡とも自動法)と MM1(雲選択はマニュアル法、雲追跡は自動法)、MM2(雲選択・追跡共マニュアル法)の算出方法別に分けた精度評価である。

精度はほぼ同等かスピードバイアス・SI で比較すると MM2が若干良い。衛星風の平均風速は AS, MM1法はほぼ同じだが、MM2法で算出したものは他より5 m/s 程速い。これは風速の速い風ベクトルをオペレーターが MM2法で追加算出しているためと思われる。また、ADESS に配信されたデータ(最終風ベクトルデータ)数をみると配信データのうち約3分の1が MM1, MM2のマニュアル法で追加算出されたデータである。

これらから追加算出では風速の速い風ベクトルの取得と ADESS 配信データ数を増やすことに貢献している事がいえる。特に速い風ベクトルに対しては自動雲追跡法を用いる AS 法や MM1法より MM2法の方が精度良く多数のデータを得ることができる。

5. 3 自動法で算出される不良風ベクトル削除の効果と不良風ベクトルの特性

自動法で算出された不良風ベクトルの削除の効果と不良風ベクトルの特性について見ていく。

Table-5は自動法で算出されたすべての上層風ベクトルとマニュアル品質管理により不良なものを削除した風ベクトルとの精度の比較である。両者を比較する

とベクトル差の RMSE では13.1m/s から8.8m/s と4.3m/s 改善されているなど、すべての要素で大幅に精度の向上が見られる。マンマシン処理によるベクトル差の RMSE の改善は5.3m/s (table-2)であるから不良風ベクトルの削除による改善量 (ベクトル差の RMSE で4.3m/s)は全改善量 (ベクトル差の RMSE で5.3m/s)の約80%を占める。また、削除後は衛星平均風のスピードが約 6 m/s 上昇している。

自動法で算出された風ベクトルについて風速別にみると (Table-6(a), (b))、10m/s 以下や10~20m/s の低風速の風ベクトルが数多く算出されている。北・南半球は中緯度帯 (50°N~20°N、20°S~50°S)では20m/s 以下の、熱帯域 (20°N~20°S)では10m/s 以下の風ベクトルは負のバイアスが顕著で精度も著しく悪く、マニュアル品質管理での不良風ベクトルの削除率は70~90%以上と大きい。このような低風速域の不良風ベクトルが削除されるために、削除後の平均風速は上昇している。なお、低風速域での精度の悪さは動きの遅い積乱雲を巻雲として誤選択していたり、自動雲追跡で巻雲の流れを正確に追いきれずに (誤追跡) 実際の風速より遅く見積もられた不良風ベクトルが数多く存在している事が主な原因と考えられる。

以上の事から現状の自動雲選択・追跡法では雲の誤選択や誤追跡によると考えられる不良風ベクトルが数多く算出されており、特に低風速域の風ベクトルでその割合が非常に大きい。そして、この低風速域を中心とした不良風ベクトルをマニュアル品質管理で大量に削除することにより大幅に精度が向上している。

5. 4 自動高度設定の評価と高度変更の効果

Table-7は自動法による高度 (自動高度) をオペレーターがマンマシン処理の際にチェックし、適切でないと判断し高度の変更を行った場合の変更前 (自動高度) と変更後 (設定高度) の精度比較である。

両者を比較すると高度変更後の方がベクトル差の RMSE では10.4m/s から7.9m/s へと2.5m/s 改善されているなどスピードバイアスを除いた他の統計要素で顕著な精度向上が見られる。なお、オペレーターによる高度の変更の割合は ADESS 配信データの64%と大きな割合を占めている。

この事は現状では自動高度の精度はまだ十分ではなく、オペレーターによる自動高度の確認、必要に応じての高度変更作業が重要である事を意味している。

Table- 1 The size of elliptical colocation area for International Comparison of Satellite Winds specified by CGMS.

Wind level	Satellite wind speed	Major Axis	Minor Axis
High-level and Mid-level wind (less 700hPa)	Less than 10m/s	225km	175km
	10-25m/s	250km	140km
	Larger than 25m/s	300km	100km
Low-level wind (700hPa-Surface)	Any speed	225km	175km

*The major axis must be oriented along the satellite wind direction.

Table-2 Accuracy of upper level CMWV from September 1995 to August 1996.

before : for all the CMWVs computed automatically
 after : for disseminated CMWVs through ADESS after the manual quality control
 mean : mean speed of CMWVs
 number : the number of CMWVs
 bias : bias of the speed of CMWVs
 speed RMSE : root mean square error of speed of CMWVs
 SI : scatter index
 vector : difference of vector of CMWVs
 vector RMSE : root mean square error of vector of CMWVs

latitude		number	mean (m/s)	bias (m/s)	speed RMSE(m/s)	SI (%)	vector (m/s)	vector RMSE(m/s)
5 0°N~2 0°N	before	13643	13.7	-7.1	13.4	65	11.1	15.2
	after	4351	23.8	-1.6	6.1	24	6.7	8.2
2 0°N~2 0°S	before	11231	7.7	-2.7	6.9	66	7.0	9.0
	after	3366	12.2	-1.5	5.6	41	5.8	7.3
2 0°S~5 0°S	before	3062	15.4	-7.9	13.7	59	11.8	15.6
	after	1036	21.5	-1.8	6.5	28	6.7	8.3
A L L	before	27936	11.5	-5.4	11.3	67	9.5	13.1
	after	8753	19.0	-1.6	6.0	29	6.4	7.8

Table-3 Accuracy of upper level CMWV for each season.

before : for all the CMWVs computed automatically
 after : for disseminated CMWVs through ADESS after the manual quality control
 (a) from Dec. 1995 to Feb. 1996

latitude		number	mean (m/s)	bias (m/s)	speed RMSE(m/s)	SI (%)
5 0°N ~ 2 0°N	before	1672	14.7	-16.8	22.7	72
	after	383	32.0	-2.4	6.7	20
2 0°N ~ 2 0°S	before	3223	7.7	-2.7	7.0	68
	after	1102	12.0	-1.5	5.9	44
2 0°S ~ 5 0°S	before	982	13.2	-5.3	11.0	60
	after	372	18.4	-1.6	6.6	33
A L L	before	5887	10.7	-7.1	13.9	78
	after	1857	17.4	-1.7	6.2	33

Table-3(c) from June. 1996 to Aug. 1996

latitude		number	mean (m/s)	bias (m/s)	speed RMSE(m/s)	SI (%)
5 0°N ~ 2 0°N	before	5496	11.3	-3.7	8.5	57
	after	1813	18.5	-1.4	5.7	29
2 0°N ~ 2 0°S	before	2315	8.2	-3.0	7.0	62
	after	617	13.8	-1.5	5.3	35
2 0°S ~ 5 0°S	before	633	16.7	-12.2	17.8	62
	after	145	23.4	-4.0	7.8	29
A L L	before	8444	10.9	-4.1	9.2	61
	after	2575	17.6	-1.6	5.8	30

Table-3(b) from Mar. 1996 to May. 1996

latitude		number	mean (m/s)	bias (m/s)	speed RMSE(m/s)	SI (%)
5 0°N ~ 2 0°N	before	3040	16.3	-8.7	15.0	60
	after	1006	28.4	-1.8	6.6	22
2 0°N ~ 2 0°S	before	2662	7.1	-2.1	6.1	66
	after	713	11.8	-1.5	5.6	42
2 0°S ~ 5 0°S	before	820	15.2	-7.8	13.4	58
	after	303	22.2	-1.7	6.6	28
A L L	before	6552	12.4	-5.9	12.0	65
	after	2022	21.6	-1.7	6.3	27

Table-3(d) from Sep. 1995 to Nov. 1995

latitude		number	mean (m/s)	bias (m/s)	speed RMSE(m/s)	SI (%)
5 0°N ~ 2 0°N	before	3435	14.8	-6.4	12.4	58
	after	1149	25.1	-1.8	6.1	23
2 0°N ~ 2 0°S	before	3031	7.7	-3.1	7.3	68
	after	934	11.6	-1.6	5.3	40
2 0°S ~ 5 0°S	before	627	17.9	-7.6	13.0	51
	after	216	24.0	-0.9	5.0	20
A L L	before	7093	12.0	-5.1	10.6	62
	after	2299	20.6	-1.6	5.7	27

Table-4 Accuracy of upper level CMWV for each computation method.

AS ; automatic target selection and tracking

MM1 ; manual target selection and automatic tracking

MM2 ; manual target selection and tracking

method	number	mean (m/s)	bias (m/s)	speed RMSE(m/s)	SI (%)	vector (m/s)	vector RMSE(m/s)
A S	5843	17.7	-2.0	5.9	30	6.3	7.8
MM1	845	18.3	-1.2	6.4	33	6.3	8.1
MM2	2065	23.1	-0.7	5.9	25	6.6	7.9
ALL	8753	19.0	-1.6	6.0	29	6.4	7.8

Table-5 Accuracy of upper level CMWVs derived from AS method before and after the manual rejection of wrong CMWVs.

manual check	number	mean (m/s)	bias (m/s)	speed RMSE(m/s)	SI (%)	vector (m/s)	vector RMSE(m/s)
before	27936	11.5	-5.4	11.3	67	9.5	13.1
after	5843	17.7	-1.3	6.7	36	6.9	8.8

Table-6 (a) The number and manual rejection rate of upper level CMWV for each wind speed range.

number : the number of CMWVs derived from AS method

speed : speed of CMWVs

reject : rate of rejection (%)

latitude \ speed	50°N~20°N		20°N~20°S		20°S~50°S		A L L	
	number	reject (%)	number	reject (%)	number	reject (%)	number	reject (%)
0~10m/s	6054	95	8446	88	1008	91	15508	91
10~20m/s	4593	80	2509	51	1257	71	8359	70
20~30m/s	1994	63	250	29	577	56	2821	59
30~40m/s	672	47	24	8	148	35	844	44
40~50m/s	260	35	2	50	52	33	314	35
≥ 50m/s	70	27	0	0	20	55	90	33

Table-6 (b) Accuracy of upper level CMWVs for each wind speed range.

RMS : RMSE of the speed of CMWVs

latitude \ speed	50°N~20°N			20°N~20°S			20°S~50°S			A L L		
	bias (m/s)	RMS (m/s)	SI (%)	bias (m/s)	RMS (m/s)	SI (%)	bias (m/s)	RMS (m/s)	SI (%)	bias (m/s)	RMS (m/s)	SI (%)
0~10m/s	-9.3	15.7	105	-3.6	7.1	79	-10.3	15.3	93	-6.3	11.8	100
10~20m/s	-6.2	11.8	57	-0.2	6.0	45	-7.4	13.0	58	-4.6	10.6	57
20~30m/s	-5.6	10.8	37	1.8	6.9	33	-6.6	12.7	42	5.1	11.0	38
30~40m/s	-2.6	9.1	25	0.1	7.7	23	-4.8	11.6	30	-2.9	9.6	26
40~50m/s	0.8	11.1	26				0.1	10.4	24	0.8	11.0	26
≥ 50m/s	4.4	8.8	17				9.6	20.3	41	5.5	12.3	24

Table-7 Accuracy of upper level CMWVs before and after the manual change of assigned wind vector height.

	number	mean (m/s)	bias (m/s)	speed RMSE(m/s)	SI (%)	vector (m/s)	vector RMSE(m/s)
before	5581	19.3	0.9	8.2	44	8.3	10.4
after	5581	19.3	-1.5	6.0	29	6.4	7.9

6. まとめ

マンマシン処理は、自動算出のあとの配信リミット時刻までの限られた時間内で行っていることやオペレーターの熟練度によって品質管理等に多少の個人差が生じる可能性はある。しかし、今回の調査により以下のような改善・効果が確かめられた。

現時点では自動算出された上層風ベクトルの精度は十分でない為、マニュアル品質管理（不良風ベクトルの削除・自動高度の確認、変更作業）とマニュアル法による追加算出を行う事によってベクトル差のRMSEで13.1m/sから7.8m/sへと改善されるなどすべての統計要素で精度が大幅に向上しており、最終風ベクトルとしてADESSに配信するうえでは、マンマシン処理を行う効果は大きい。

精度向上においては、自動雲選択・追跡法では雲の誤選択や誤追跡による不良風ベクトル、とりわけ低風速域の不良風ベクトルの削除による寄与が大きく、全改善量の約80%を占める。残りの改善は、高度設定の変更によっており、オペレーターによる高度変更は全配信データの64%にのぼっている。これは自動高度の精度はまだ十分ではなく、オペレーターによる自動高度の確認・必要に応じての高度変更作業が重要である事を意味している。また、追加算出は配信データの増加、とりわけ高風速域のデータの増加に寄与している。

【付録】統計値の説明

- 対象要素：上層風ベクトルの風向〔 x_{IDEG} 〕、風速〔 x_i 〕、U成分； x_{ui} 、V成分； x_{vi}
高層観測風の風向〔 y_{IDEG} 〕、風速〔 y_i 〕、U成分； y_{ui} 、V成分； y_{vi} (単位；deg, m/s)
上層風ベクトルと高層観測風を比較した個数〔N〕
- 上層風ベクトルの平均風速 (m/s) = X (mean)
 $= \sum x_i / N$
- 高層観測風の平均風速 (m/s) = Y (mean) =
 $\sum y_i / N$

- スピードバイアス (m/s)；バイアス誤差
 $= X$ (mean) - Y (mean)
- スピード差のRMSE (m/s)；スピード差の根平均自乗誤差 = $\sqrt{\{\sum (x_i - y_i)^2 / N\}}$
- S I；スキュアインデックス = スピード差のRMSE / Y (mean) (単位；%)
(数値が小さくなればなる程、精度が良いといえる)
- ベクトル差 (m/s)；ベクトル差の平均
 $= \sum \{\sqrt{((x_{ui} - y_{ui})^2 + (x_{vi} - y_{vi})^2)}\} / N$
 $= \sum \{\sqrt{((U_i)^2 + (V_i)^2)}\} / N$
- ベクトル差のRMSE (m/s)；ベクトル差の根平均自乗誤差
 $= \sqrt{\{\sum ((x_{ui} - y_{ui})^2 + (x_{vi} - y_{vi})^2) / N\}}$
 $= \sqrt{\{\sum ((U_i)^2 + (V_i)^2) / N\}}$

参考文献

- 大島隆、1988：自動算出法の現業用上層風算出システムへの適用と算出ベクトルの精度。気象衛星センター技術報告、第17号、45-62。
- 大島隆、1989：風計算処理。GMSシステム更新総合報告IIデータ処理編、気象衛星センター技術報告特別号(1989)II, 85-102。
- 気象衛星センター、1996：GMS-5システムの更新、気象衛星センター技術報告特別号103-110。
- 浜田忠昭、1979：風計算。GMSシステム総合報告、データ処理解説編(その2)、気象衛星センター技術報告(特別号II-2)、15-42。
- 浜田忠昭、1981：風計算国際比較の概要、気象衛星センター技術報告、第4号、117-132
- Takata, S., 1993: Current status of GMS wind and operational low-level wind derivation in a typhoon vicinity from short-time interval images. Proceedings of Workshop on Wind Extraction from Meteorological Satellite data, Tokyo, 17-15 Dec. 1993. Published by EUMETSAT, 6100 Darmstadt, Germany, EUM P 14, 29-36.

Uchida, H., 1991: Height assignment of GMS high-level cloud motion wind. Proceedings of Workshop on Wind Extraction from Meteorological Satellite data, Washington D.C., 17-19 Sept. 1991. Published by EUMETSAT, 6100 Darmstadt, Germany, EUM P 10, 27-32.