

## 高密度衛星風プロダクトの開発 Development the High-density Atmospheric Motion Vector Product

大河原 望\*、今井 崇人\*、隈部 良司\*  
OHKAWARA Nozomu, IMAI Takahito, KUMABE Ryoji

### Abstract

Meteorological Satellite Center (MSC) has developed a high-density Atmospheric Motion Vector(AMV) product to suffice the recommendation by the Co-ordination Group of Meteorological Satellite (CGMS), that is the standardization of AMV in terms of retrieval method, quality information and the format of dissemination. MSC started the operation of the product at 12 UTC 22 May 2003. The most significant change of the derivation process from the previous one is the introduction of automatic objective quality control. The Quality Indicator(QI) method developed at European organization for the exploitation of METeorological SATellite(EUMETSAT) and the Recursive Filter Function(RFF) method developed at University of Wisconsin - Co-operative Institute for Meteorological Satellite Studies(UW-CIMSS) are used for the quality control process. In addition, the interval among the candidate grid points in the target selection process was made smaller as half as before to yield the finer spatial resolution AMVs. The high-density AMVs with the quality information of QI and RFF are coded into the World Meteorological Organization(WMO) code form FM 94 BUFR(Binary Universal Form for the Representation of meteorological data) and disseminated to users within 1 hour from the observation.

The results of comparison between high-density AMVs and radiosonde winds show the accuracy of the high density AMVs is almost the same levels as that of previous MSC's AMV which human operators had the quality checked. The ranges of Root Mean Square error of Vector Difference(RMSVD) are 8 to 10 m/s for infra-red vectors, 3 to 5 m/s for visible vectors and 8 to 9 m/s for water vapor vectors.

Further development on some parts of AMV algorithm is underway such as height assignment and pattern matching which should lead to the improvement of the accuracy.

### 要 旨

気象衛星センター (MSC)では、衛星風の算出手法、品質情報、配信フォーマットに関する標準化という気象衛星調整会議(CGMS)からの提言に応えるため、高密度衛星風プロダクトを開発した。MSCは、2003年5月22日12UTCから同プロダクトを定常的に算出している。従来のプロダクトからの最も大きな変更点は、客観的な自動品質管理の導入である。品質管理処理の手法には、欧州気象衛星開発機構(EUMETSAT)で開発された品質指標(QI)法とウィスコンシン大学・気象衛星研究機関(UW-CIMSS)で開発された再帰フィルター関数(RFF)法が採用されている。さらに、空間的に高密度な衛星風を算出するため、ターゲット選択処理における候補点間隔が、従来の半分の大きさになった。高密度衛星風は、QIとRFFの品質指標と共に世界気象機関(WMO)のFM 94 BUFRフォーマット(気象データ表記のための一

---

\*気象衛星センターデータ処理部システム管理課  
2004年8月27日受領、2004年11月18日受理

般的バイナリ形式)にコーディングされ、観測後1時間以内にユーザに配信される。

ゾンデデータとの比較から、高密度衛星風データの精度は、オペレータが品質管理をしていた従来の衛星風とほぼ同様であることが示された。平均二乗ベクトル誤差は、赤外風で8～10m/s、可視風で3～5m/s、水蒸気風で8～9m/s前後である。

精度向上のための、高度指定やパターンマッチングの高密度衛星風算出アルゴリズム改良について、現在調査中である。

## 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間隔で観測した画像を用いて、雲や水蒸気分布の動きを追跡することにより、上層・下層雲移動風(1978年4月～)(浜田,1979)と水蒸気移動風(1995年6月～)(内田・高田,1996)の算出を行っている。これらの衛星風ベクトルデータは、衛星が観測する全ての領域において、空間的に均質なデータを提供することが出来るので、高層観測の疎らな地域においてもデータが算出され、数値予報モデルの初期値として重要なデータとなっている。近年、数値予報モデルの高度化が進み、より高品質な衛星風データの即時的な提供が求められている。この数値予報ユーザからの要望を受けて、気象衛星の運用機関で構成されるCGMSでは、①衛星風プロダクトの算出方法や付加される品質情報の標準化、②提供フォーマットにおける更なる標準化を提唱している。この提言に応えるべく、気象衛星センターでは、2003年5月22日12UTCより、高密度衛星風プロダクトの作成・配信を開始した。

高密度衛星風プロダクトの特徴は、次のとおりである。

- (1) 空間的に高密度な衛星風を算出する。
- (2) 国際的に標準となっている客観的な品質管理(QI法とRFF法)を行い、個々の衛星風データに品質情報を付加する。
- (3) 品質情報が付加された衛星風データは、国際的に標準となっているBUFRフォーマットで配信する。
- (4) 配信時間は、観測時刻から1時間以内とする。

本稿では、高密度衛星風プロダクトについて、その処理内容、データの初期評価、今後の開発課題を述べる。

## 2. 処理内容

### 2.1 処理の概要

基本的に衛星風算出処理は、①ターゲット選択処理、②風算出処理、③品質管理処理からなる。従来の各処理の内容については、浜田(1979)、大島(1989)、内田・高田(1996)に詳しい。

空間的に高密度な衛星風を算出すると、計算機による処理量が増大する。一方、数値予報ユーザからは即時的な提供を要望されており、観測後1時間以内にデータ配信する必要がある。このため、新たに専用の高速ワークステーション(WS)を整備し、これに対応した。表1に、高密度衛星風算出用WSの性能諸元を示す。この高速WSの能力をフルに活用するため、衛星の撮像範囲を4つの象限に分割する並列処理を導入している。これらにより、従来に比べてデータ数で7倍程度の高密度化と、1時間以内のデータ配信を可能にした。

表1 高密度衛星風算出用WSの性能諸元

項目	性能諸元
CPU	クロック周波数：600MHz 一次キャッシュ：256KB 二次キャッシュ：8MB
CPU演算処理能力	1712 SPECfp2000
プロセッサ数	4
主記憶容量	4GB (512MB×8)

図1に、気象衛星センターにおける高密度衛星風算出処理と、従来までの衛星風算出処理のフローチャートを示す。

上層雲移動風算出について、従来の処理では、自動法による算出に加えて、オペレータがマニュアル法によ

る風データの追加算出を行っていた。高密度衛星風算出処理では、オペレータによる差をなくし、より均質なデータを算出するため、自動法による算出のみとなった。

上・下層雲移動風の品質管理処理では、従来は、数値予報モデルデータを利用した自動品質管理に加えて、オペレータによるマニュアル品質管理を行っていた。高密度衛星風算出処理では、品質管理処理が全面的に見直され、全ての種類の風データについて、同一の品質管理がなされる。

高密度衛星風データの配信には、国際的に推奨されているBUFRフォーマットを使用したバイナリ電文を採用した。BUFR報では、衛星風データに加えて、品質指標のQIとRFFを付加して配信する。従来のSATOB報は、一部ユーザの要望により継続している。

また、その他の算出処理内容についても、今回の衛星風の高密度化に伴い、若干変更された。以下に、今回の衛星風算出処理の高密度化に際する変更点を中心に、各処理の内容を簡単に記す。

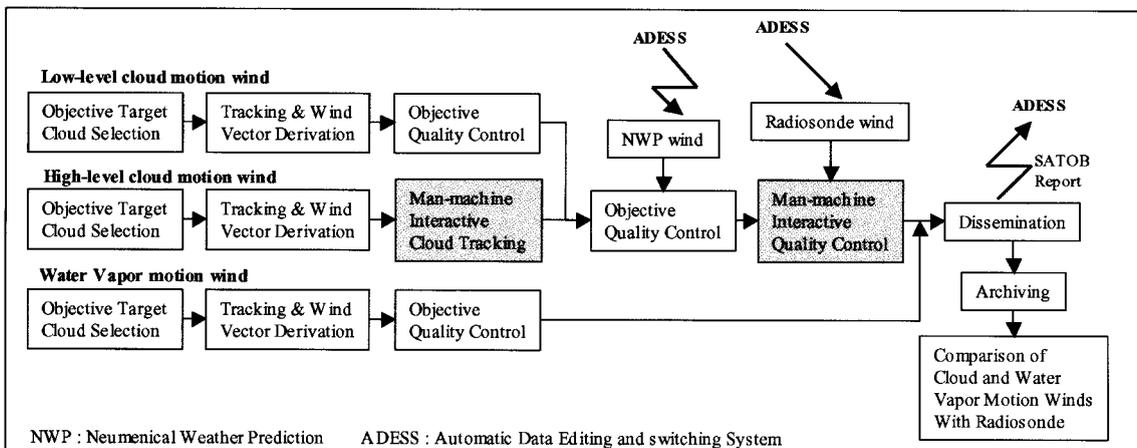
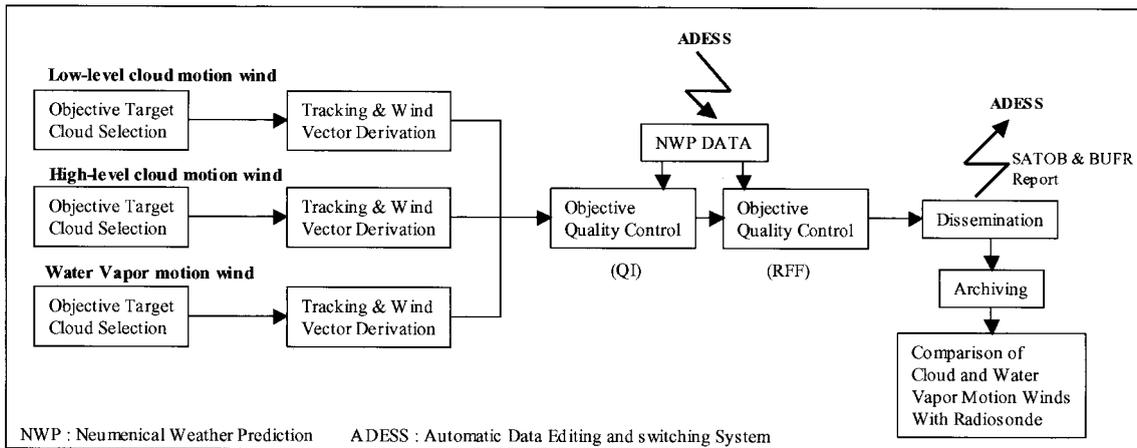


図1 高密度衛星風算出処理（上）と従来の衛星風算出処理（下）のフローチャート

### 2.1.1 ターゲット選択処理

ターゲットには、従来の衛星風算出処理と同様に、上層雲移動風用には巻雲、下層雲移動風用には積雲を赤外画像データのヒストグラム解析により選択する。水蒸気移動風用には、水蒸気画像における風の流れを代表する水蒸気分布を選択する。

ターゲット選択の候補点については、従来は算出領

域(50N-50S、90E-170W)におけるターゲット選択候補点の格子間隔を、緯経度1度間隔(最大10000点)としていた。さらに、計算機の処理能力と配信時間の制限から、このターゲット選択候補点全てを処理するのではなく、上限を設けていた(上層:3000点、下層:3000点、水蒸気:6000点)。今回の衛星風算出処理の変更に伴い、計算機資源として、新たに専用の高速ワークステーションが導

入され、計算機の処理能力が飛躍的に上がった。このため、より多くのターゲット選択候補点を処理することが可能となり、格子間隔は緯経度0.5度間隔(最大40000点)とし、従来の上限も廃止した。このことにより、空間的に高密度な衛星風が算出されるようになった。衛星風の高密度化に伴い、従来まで行われていた04UTC帯の台風周辺詳細風プロダクトは高密度衛星風プロダクトに吸収され、廃止となった。

## 2.1.2 風算出処理

風算出処理は、従来どおり、(1)追跡処理、(2)風向・風速の計算処理、(3)高度指定処理の3処理から成る。従来は、ターゲット選択処理と同様に、計算機資源の問題から、算出される衛星風データ数にも制限があった(上層：800点、下層：500点、水蒸気：3000点)。高密度衛星風算出処理では、算出される衛星風データ数に制限はない。

### (1) 追跡(マッチング)処理

上層雲移動風にもマニュアル法による衛星風の算出がなくなったことで、全ての衛星風は自動雲指定法(Automatic Selection法：AS法)となった。AS法で選択されたターゲットは、従来と同様に、相互相関法によるパターンマッチングにより移動量が決定される。また、2.1.3(1)で述べるように、品質管理処理の内容が変更され、風算出処理には必ず3枚の画像が必要となった。このため、マッチング方式には、2段1段マッチングが採用される。

### (2) 風向・風速の計算処理

風向・風速の計算処理に変更点はない。ターゲットの位置と追跡処理により決定された一定時間経過後の画像における位置は、地球上の緯度・経度に変換され、風向・風速が算出される。

### (3) 高度指定処理

#### ① 下層雲移動風

積雲を追跡して得られる下層雲移動風の高度には、

従来は850hPaの固定値が採用されていた。高密度衛星風算出処理では、Tokuno(1998)の手法による可変値を指定するよう変更された。この手法では、赤外チャンネルのヒストグラムと鉛直温度分布データから下層雲の雲底高度を算出し、これを下層移動風の高度とする。ただし、雲底高度が850hPaより高く算出された時は、これまでどおり850hPaとする。

#### ② 上層雲移動風

巻雲を追跡して得られる上層雲移動風の高度の指定手法には変更はなく、赤外と水蒸気チャンネルのデータから雲頂高度を決定し、この高度が上層雲移動風の高度として採用される。

#### ③ 水蒸気移動風

水蒸気分布を追跡して得られる水蒸気移動風の内、雲域を追跡して得られる(高高度の)水蒸気移動風の高度の指定手法には変更はなく、高度指定方法としては赤外画像を用いた雲頂温度による高度指定を用いている(補正ヒストグラムによる最低温度法)。このため晴天域、あるいは水蒸気画像では見えないほどの低高度の雲域では指定される高度が通常考えられないほどの低い高度になる。高密度衛星風処理では、400hPa以下の高度に指定された水蒸気移動風については、追跡領域内の水蒸気画像の平均輝度温度に基づいて指定し直す処理を加えた。

## 2.1.3 品質管理処理

高密度衛星風算出処理では、品質管理処理が大きく見直された。従来は、水蒸気風に関しては、計算機による自動品質管理のみが行われ、上・下層風ベクトルに関しては、これに加えて画像処理装置上でオペレータによるマニュアル品質管理が行われていた。これに対し、高密度衛星風算出処理では、全ての衛星風に対して、同様な品質管理が計算機で自動処理にて行われる。これにより、オペレータの主観的な判断が風ベクトルデータの品質に影響を及ぼすことが無くなり、客観的な品質管理が可能となった。

高密度衛星風の自動品質管理処理には、2種類の独立した手法が世界の主要な衛星風算出機関で主流となっている(Holmlund K. et al,2004)。EUMETSATで開発されたQI法と、UW-CIMSSで開発されたRFF法である。高密度化に際して、気象衛星センターでも、これらの手法を採用した。

(1) QI (the Quality Indicator) 法

QI法は、EUMETSATで開発された品質管理の手法である。この手法は、欧米の主要な衛星風算出機関で標準的に採用されており、現在の衛星風プロダクトで主流となっている。

この手法では、5つの独立した検査と補助的な補正から構成され、これらの結果を組み合わせることで最終的な品質指標が算出される(Holmlund K.,1998)。

① 風向一様性検査(the Direction Consistency test)

この検査は、衛星画像から算出された1番目(1枚目と2枚目の画像から算出された衛星風)と2番目(2枚目と3枚目の画像から算出された衛星風)のデータについて、その風向の一様性を調べるものである。

$$QI_{Dir} = 1 - [ \tanh [ \text{Difference} / ( A \times \exp(-\text{Speed}/B) + C ) ] ]^D$$

Difference : 1番目と2番目の衛星風データの風向差  
Speed : 1番目と2番目の衛星風データの平均風速  
A, B, C, D : 定数

② 風速一様性検査(the Speed Consistency test)

この検査は、衛星画像から算出された1番目と2番目の衛星風データについて、その風速の一様性を調べるものである。

$$QI_{Spd} = 1 - [ \tanh [ \text{Difference} / ( \text{MAX}( A \times \text{Speed}, B ) + C ) ] ]^D$$

Difference : 1番目と2番目の衛星風データの風速差  
Speed : 1番目と2番目の衛星風データの平均風速  
A, B, C, D : 定数

③ ベクトル一様性検査(the Vector Consistency test)

この検査は、衛星画像から算出された1番目と2番目の衛星風データについて、そのベクトルの一様性を調

べるものである。

$$QI_{Vect} = 1 - [ \tanh [ \text{Difference} / ( \text{MAX}( A \times \text{Speed}, B ) + C ) ] ]^D$$

Difference : 1番目と2番目の衛星風データのベクトル差  
Speed : 1番目と2番目の衛星風データの平均風速  
A, B, C, D : 定数

④ 予報値一致度検査(the Forecast Consistency test)

この検査は、衛星画像から算出された2番目の衛星風データについて、予報値の風とのベクトル差を取り、予報値の風との一致度を調べるものである。

$$QI_{Fcs} = 1 - [ \tanh [ \text{Difference} / ( \text{MAX}( A \times \text{Speed}, B ) + C ) ] ]^D$$

Difference : 2番目の衛星風データと予報値の風とのベクトル差  
Speed : 1番目と2番目の衛星風データの平均風速  
A, B, C, D : 定数

⑤ 空間一様性検査(the Spatial Consistency test)

この検査は、衛星画像から算出された2番目の衛星風データについて、近隣の最もベクトル差が小さいベクトル(best neighbor、同時刻の他のチャンネルから算出された衛星風でもよい)との一様性を調べるものである。

$$QI_{Spat} = 1 - [ \tanh [ \text{Difference} / ( \text{MAX}( A \times \text{Speed}, B ) + C ) ] ]^D$$

Difference : 2番目の衛星風データとbest neighborとのベクトル差  
Speed : 1番目と2番目の衛星風データの平均風速  
A, B, C, D : 定数

600hPaより下層の衛星風について、薄い巻雲を誤って下層のターゲットとして追跡していることがある。この下層風を取り除く目的で、次式で表されるチャンネル間鉛直不均一性フィルター (IVH: Interchannel Vertical Heterogeneity filter)が算出される。

600hPa以上の衛星風では、IVHは常に1(一定値)とする。

$$IVH = [ \tanh [ \text{Difference} / ( \text{MAX}( A \times \text{Speed}, B ) + C ) ] ]^D$$

Difference : 2番目の衛星風データと同一指定点における2番目の水蒸気風とのベクトルの差  
Speed : 1番目と2番目の衛星風データの平均風速  
A, B, C, D : 定数

最終的な品質指標であるQIは、①～⑤の各検査で得られたQI要素に重みをつけて和をとったものに、IVHフィルターを掛けることにより算出される。

$$QI = \{W_{Dir} \times QI_{Dir} + W_{Spd} \times QI_{Spd} + W_{Vect} \times QI_{Vect} + W_{Fcst} \times QI_{Fcst} + W_{Spat} \times QI_{Spat}\} / \text{SUM}(W) \times IVH$$

W: QIに掛ける重み(定数)、添え字は検査毎のQIと同じ

SUM(W): 重み(W<sub>Dir</sub>, W<sub>Spd</sub>, W<sub>Vect</sub>, W<sub>Fcst</sub>, W<sub>Spat</sub>)の和

衛星風データの主要な用途は、数値予報モデルの初期値である。このため、数値予報モデルとは独立した指

標とするため、予報値一致度検査の結果を含まないQIも算出している。この場合には、予報値一致度検査要素に掛かる重みは0として算出される。

表2に、検査毎のQI算出に使われるパラメータの値と、最終的な品質指標QI算出に使われる重みの値を示す。これらの値は、実際の衛星風データに適用して調整された値である。

なお、QIの算出には、それぞれの衛星風データに対して2つの連続したデータが必要となるので、連続した3枚の画像が揃わなければ、高密度衛星風算出処理は行わない。

表2 QI算出処理における各パラメータの値

検査項目\パラメータの値	A	B	C	D	W(重み)
風向一様性検査	20.0	10.0	10.0	4.0	1
風速一様性検査	0.2	0.0	1.0	3.0	1
ベクトル一様性検査	0.2	0.0	1.0	3.0	1
予報値一致度検査	0.4	0.0	1.0	2.0	1または0
空間一様性検査	0.2	0.0	1.0	3.0	2

(2) RFF(the Recursive Filter Function)法

RFF法は、UW-CIMSSで開発され、米国内の衛星風算出機関で標準的に採用されている。この手法は、2段階の3次元風ベクトル場の再帰フィルター(the Recursive Filter)による客観解析を通して、衛星風データと数値予報モデルの予報値から得られた客観解析場に、個々の衛星風データを適合させる手法である(Timothy L. Olander,2001)。CGMSの勧告に基づいて、この品質評価は算出・配信しているが、有効な利用については未調査である。今後、ユーザである数値予報課とも協力し、有効な利用に向けた調査が必要である。

これら独立した2つの品質管理は、計算機上で全自動処理にて行われ、それぞれの風ベクトルデータに対して品質指標が算出される。

2.1.4 データ配信処理

高密度衛星風は、従来と同様に1日4回6時間毎(00、06、12、18UTC)に算出される。算出されたデータの配信には、国際的に標準的な配信フォーマットであるBUFRフォーマットを新たに採用した。このフォーマットでは、衛星風データ(風速・風向・緯経度・高度)に加えて、その他の情報も自由に付加することができ、バイナリ形式のためデータ容量も小さい。算出された高密度衛星風データは、QIの値が著しく低いものを除いた全てのデータが、3種類の品質フラグ(QIに関しては予報値一致度検査要素を含むものと含まないものの2種類+RFF)を付加し、GTS回線経由で世界の予報機関に配信されている。また、従来から配信されているSATOB報では、電文容量の制限から、配信できるデータ数に制限がある。このため、QIを参照して品質の高いデータのみ(QI≥0.85)を選択し、更に空間的に間引いて(緯経度1度間隔)、BUFR報と並行して配信している。なお、将来的に、SATOB報の配信は廃止される予定である。

## 2.2 高密度化に際する衛星風算出処理の変更点と プロダクトの変更点

今回の衛星風プロダクトの高密度化に際しての、従来の算出処理からの変更点をまとめて、表3に示す。また、算出されるプロダクトの変更点を表4に示す。

表3 高密度化に際する衛星風算出処理の変更点

衛星種別 変更点	高密度衛星風算出処理	従来の衛星風算出処理
ターゲット選択候補点数	緯経度 0.5 度間隔 (最大 40000 点)	緯経度 1 度間隔 (最大 10000 点、計算機能力による上限あり)
追跡 (マッチング) 処理	全ての衛星風は、相互相関法によるパターンマッチング (2 段 1 段)	相互相関法によるパターンマッチング (2 段 1 段) に加え、一部の上層雲移動風は、マンマシンによるマニュアル処理
下層雲移動風の高度指定	赤外ヒストグラムから雲底高度を求める手法 (Tokuno,1998) による可変値を採用	850hPa の固定値を採用
水蒸気移動風の高度指定	晴天域・低高度の風は、水蒸気画像の平均輝度温度に基づいて指定	赤外画像を用いた雲頂温度による高度指定
品質管理処理	2 種類の独立した手法による自動品質管理	数値予報モデルを利用した自動品質管理と、オペレータによるマニュアル品質管理
算出方法	高速 WS による全自動処理 (ただし、電文配信部分は汎用計算機による)	汎用計算機による自動処理と、オペレータによるマニュアル処理 (品質管理、上層風ベクトルの付加)

表4 高密度化に際する衛星風プロダクト内容の変更点

衛星風種別 変更点	高密度衛星風プロダクト	従来の衛星風プロダクト
算出ベクトル数 (1 観測あたり)	上層雲移動風：7000-10000 下層雲移動風：1500-2000 水蒸気移動風：10000-15000	上層雲移動風：300-500 下層雲移動風：200-300 水蒸気移動風：2000-3000 ( 計算機資源による上限あり )
算出時間	基準時刻から 1 時間以内	基準時刻から 2 時間 30 分程度
風ベクトルデータに関する品質情報	QI (数値モデル結果を参照するもの、しないもの 2 種類) と RFF 合わせて 3 種類の品質情報をベクトル毎に付加 (BUFR 電文のみ)	なし (すべて同様に扱われる)
配信方法	BUFR 形式によるバイナリ電文 従来の SATOB 形式による A/N 電文も QI の高いベクトルを空間的に間引いて配信 (将来廃止予定)	SATOB 形式による A/N 電文

## 3. データの初期評価

### 3.1 算出例

高密度衛星風の算出例を、図2.1～2.3に示す。

実際に算出されたベクトルは各図に示したものよりかなり多数であるが、煩雑になることを避けるため、SATOB報で配信された程度に間引いて図示してある。

衛星風データが、空間的に高密度に算出されている様子  
子ができる。

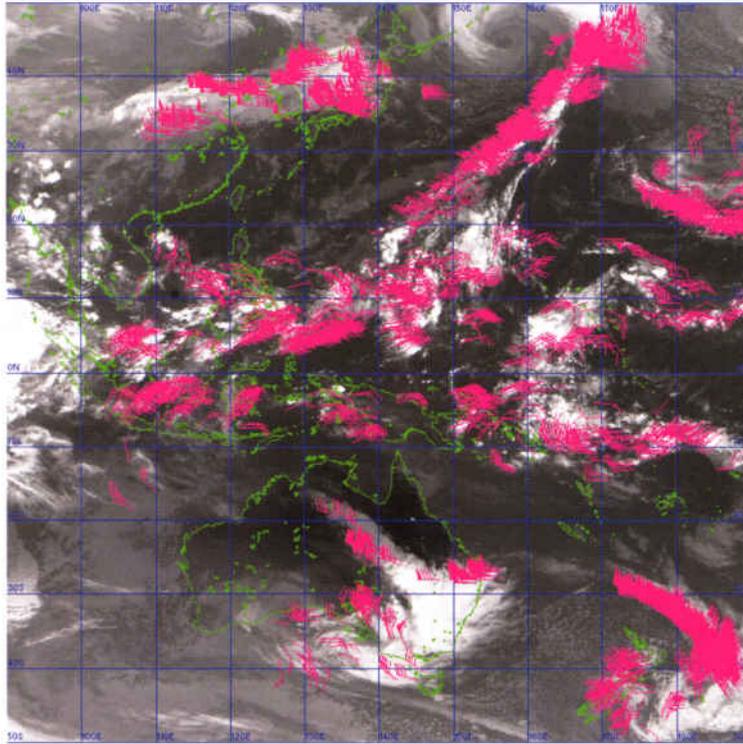


図2.1 高密度衛星風の算出例 (2003年10月1日 00UTC)  
赤外画像から算出した上層風

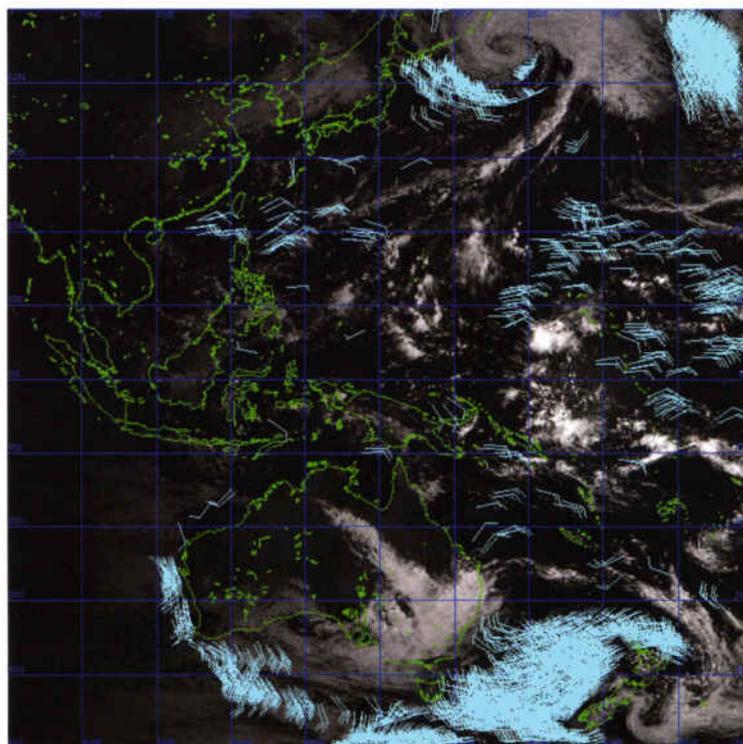


図2.2 高密度衛星風の算出例 (2003年10月1日 00UTC)  
可視画像から算出した下層風

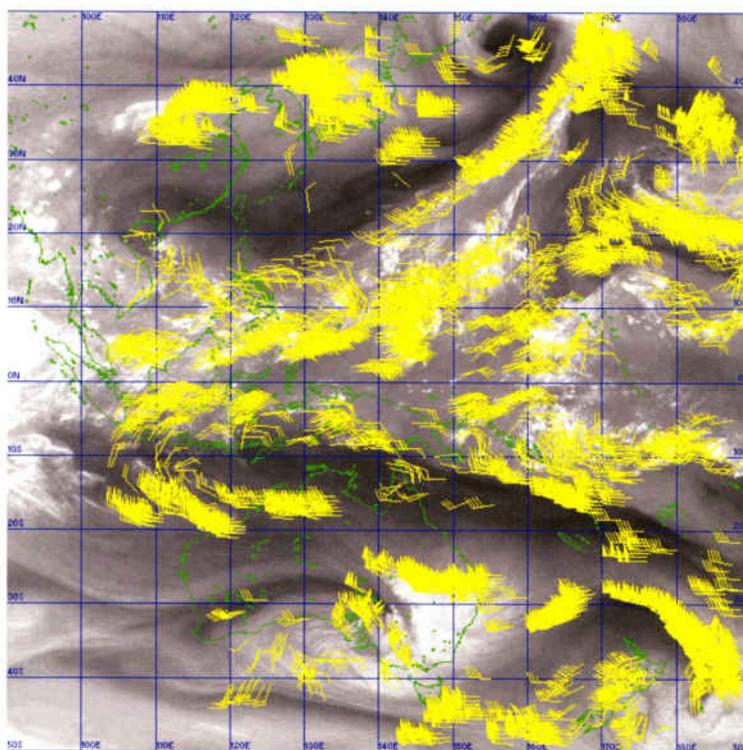


図2.3 高密度衛星風の算出例（2003年10月1日 00UTC）  
水蒸気画像から算出した水蒸気（中・上層）風

### 3.2 算出された高密度衛星風の品質と QI の値との比較

高密度衛星風は、新たにベクトル毎に品質情報が算出されている。ここでは、品質情報の内、欧米の衛星風算出機関で主流となっているQIと、算出された高密度衛星風の品質との比較結果を示す。衛星風は、CGMSで推奨されている手法に基づき、近隣のゾンデによる高層観測データとの比較を行い、この比較から得られた風速バイアス(BIAS)と平均二乗ベクトル誤差(RMSVD)を、QI（予報値-致度検査結果を含むもの）の値0.1毎にその平均値を求めた。また、参考のため、平均風速(SPD)についても、QIの値0.1毎に平均値を求めた。比較に使用したデータ期間は2004年7月の1ヶ月間で、データ数は赤外：7385個、可視：576個、水蒸気：14185個である。

図3.1～3.3に、観測チャンネル毎（赤外、可視、水蒸気）の結果を示す。概して、QIの値が大きいくほど、衛星風のバイアスとRMSDVは小さくなり、精度は高くなっていることがわかる。従って、QIの値は衛星風データの精度に良く対応しており、QIを参照することで衛星

風データの品質を判断することができる。2.1.4で述べたように、気象衛星センターでは、このQIを配信データの品質管理に利用している。

平均風速とQIとの関係を見ると、全ての観測チャンネルで正の相関がある。これは、2.1.3で述べたQIの各要素の算出式①から⑤を見るとわかるように、QIの算出式に起因する特性であるが、QIの高い衛星風ほど精度が良くなっていることから、衛星風全般の特性である、高速のターゲットほど追跡精度が良く、算出される衛星風の精度が高いことを表している。逆に言えば、QIは衛星風全般の特性を捉えて、衛星風の精度をうまく表現した客観的な指標であるといえる。

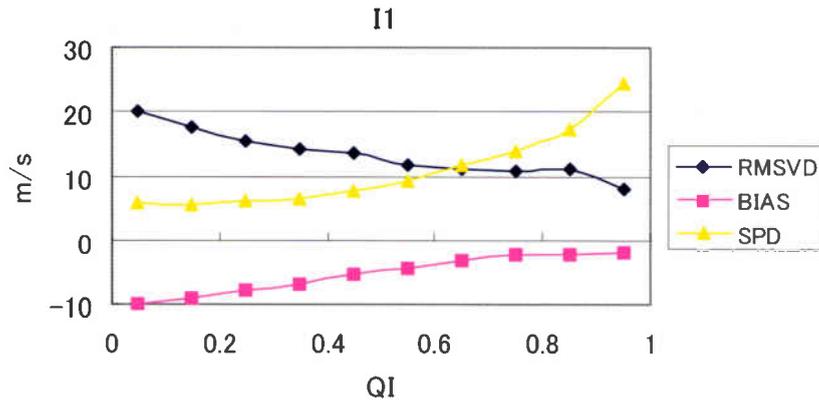


図3.1 赤外画像から算出された高密度衛星風の品質とQIとの比較 (2004年7月)

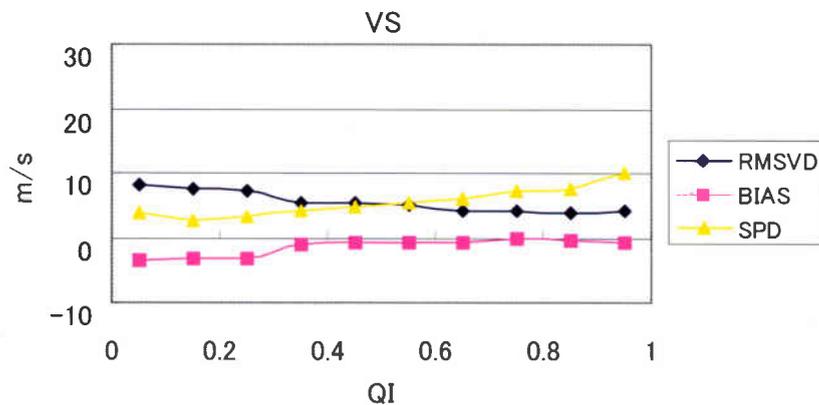


図3.2 可視画像から算出された高密度衛星風の品質とQIとの比較 (2004年7月)

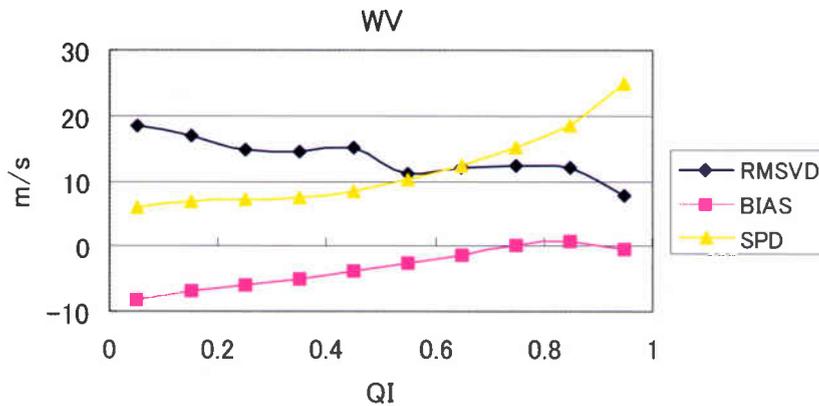


図3.3 水蒸気画像から算出された高密度衛星風の品質とQIとの比較 (2004年7月)

### 3.3 SATOB 報で配信される高密度衛星風プロダクトの精度

高密度衛星風プロダクトの精度を評価するため、従来の衛星風プロダクトの精度との比較を行った。手法は3.2節と同様で、近隣のゾンデデータと比較することにより行った。使用したデータ期間は、高密度衛星風に

切り替わった前後の各1年間(従来の衛星風：2002年6月から2003年5月、高密度衛星風：2003年6月から2004年5月)である。両者の算出に使用した画像を観測する衛星も異なるため、厳密な比較は出来ないが、両者の1年分のデータを比較することで、季節による衛星風精度の変化によらず、両者の算出手法の違いによる精度変化

の傾向を見ることができる。2003年5月途中で高密度衛星風に切り替わったが、従来の衛星風の統計に使用したデータは、切り替え前のもので、高密度衛星風を含まない。比較は、3.2と同様に観測チャンネル毎（赤外風・可視風・水蒸気風）について行った。なお、水蒸気風に関しては、高密度化の前後で晴天域・低高度の風について高度指定の手法が異なり、また下層風に関しても、高度指定の手法に違いがあることに留意されたい。

図4.1～4.3に、SATO B報で報じられた高密度衛星風プロダクトと従来の衛星風プロダクトの風速バイアス(BIAS)、平均二乗ベクトル誤差(RMSVD)、平均風速( SPD)の年変化を示し、表5.1～5.3に、両者の統計要素

毎の比較結果を示す。

(1) 赤外風

高密度化の前後で精度に大きな差は見られない。僅かではあるが、高密度衛星風の方が、平均してBIASで1.1m/s、RMSVDで1.3m/s程度悪くなっている。ただし、全体的に見ると、高密度化前後で衛星風データの品質は、ほとんど変わらない。平均風速は、高密度衛星風が5.4m/s大きい。これは、3.2で述べたQIの算出式に起因する特性によるところが大きく、風速が小さな風データはQIが低くなる傾向があるため、SATO B報で報じるQIの閾値より小さくなることが多いからである。

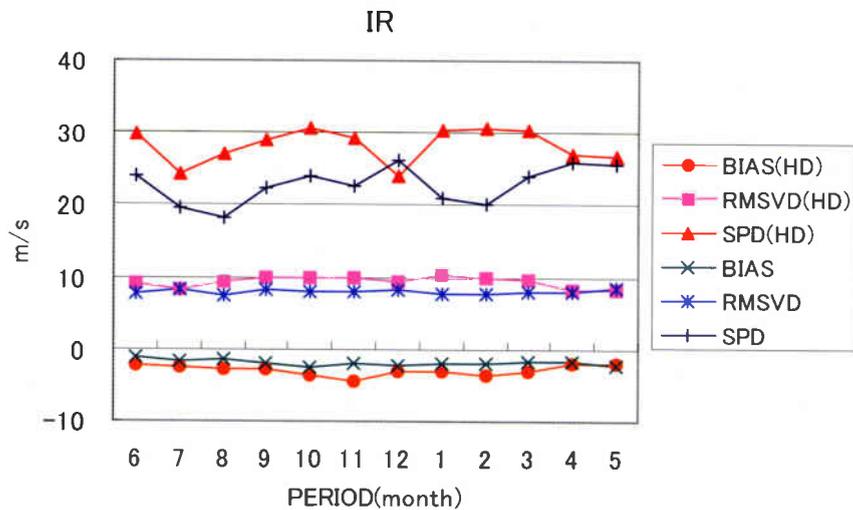


図4.1 SATO B報で報じられた高密度衛星風プロダクトと従来の衛星風プロダクトの精度の年変化 (赤外風。ただしデータ期間は、従来の衛星風：2002年6月～2003年5月、高密度衛星風：2003年6月～2004年5月。図中のHDは高密度衛星風を示す。)

表5.1 高密度衛星風と従来の衛星風の統計要素毎の比較(赤外風)

衛星風種別 統計要素	高密度衛星風			従来の衛星風		
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
BIAS(m/s)	-4.4	-2.0	-3.0	-2.5	-1.2	-1.9
RMSVD(m/s)	8.1	10.5	9.3	7.5	8.5	8.0
SPD(m/s)	24.0	30.7	28.2	18.3	26.3	22.8
データ数	19637			15695		

(2) 可視風

両者に精度の差はほとんど見られない。平均風速は、高密度衛星風が1.6m/s大きくなっている。可視風は下層風しか算出していないため、赤外風や水蒸気風に比べ

て低風速のデータが多く、風速のばらつきが小さい。このため、算出された可視風データの内、低速のものがSATOB報にエンコードする際に除かれても、平均風速の変化は赤外風に比べて小さい。

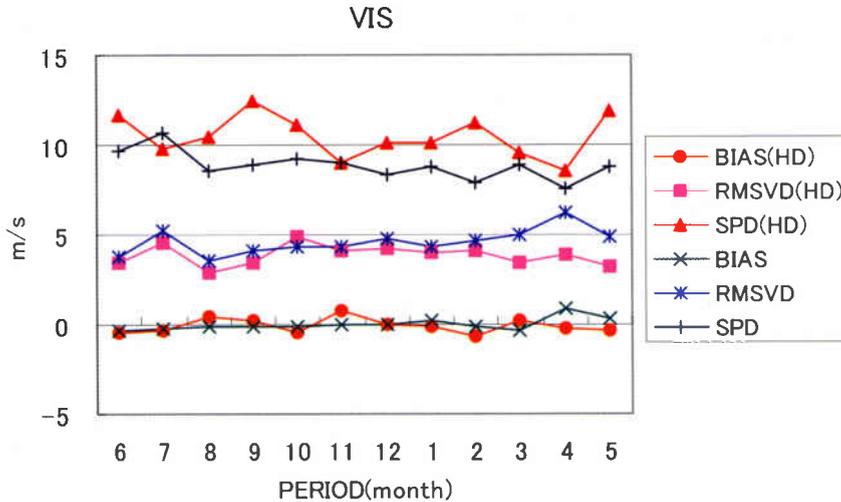


図4.2 SATOB報で報じられた高密度衛星風プロダクトと従来の衛星風プロダクトの精度の年変化(可視風。ただしデータ期間は、従来の衛星風：2002年6月～2003年5月、高密度衛星風：2003年6月～2004年5月。図中のHDは高密度衛星風を示す。)

表5.2 高密度衛星風と従来の衛星風の統計要素毎の比較(可視風)

衛星風種別 統計要素	高密度衛星風			従来の衛星風		
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
BIAS(m/s)	-0.7	0.8	-0.1	-0.3	0.9	0.0
RMSVD(m/s)	2.9	4.9	3.9	3.6	6.2	4.6
SPD(m/s)	8.6	12.5	10.5	7.6	10.7	8.9
データ数	1703			4071		

(3) 水蒸気風

BIASで見ると、高密度衛星風の精度が若干悪化しており、また高密度化の前後で正のバイアスから負のバイアスへ変化している。RMSVDで見ると、高密度衛星風の精度が若干向上している(平均RMSVDで0.9m/s)。全体的に見ると、高密度化の前後で衛星風データの品質にほとんど変化は無い。

高密度衛星風では平均風速が8.4m/s大きくなっている。また、両者のデータ数については、大きな違いは見られない。これは、前記したQIの影響によるところが大きい。水蒸気風の高度は、可視風に比べて高く、風速は

全体的に大きい。このため、赤外風と同様に、低いQIを持つ低風速の水蒸気風が除かれたため、両者の平均風速の差が、可視風に比べて大きくなったものと考えられる。

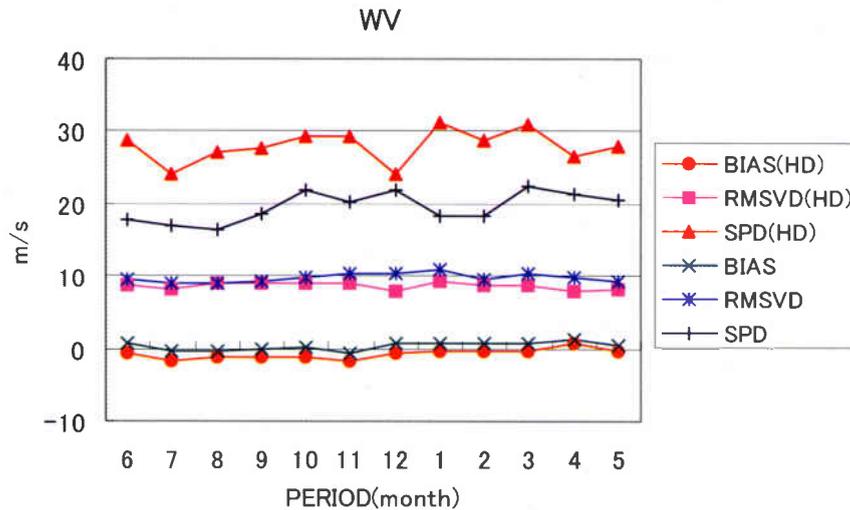


図4.3 SATOB報で報じられた高密度衛星風プロダクトと従来の衛星風プロダクトの精度の年変化 (水蒸気風。ただしデータ期間は、従来の衛星風：2002年6月～2003年5月、高密度衛星風：2003年6月～2004年5月。図中のHDは高密度衛星風を示す。)

表5.3 高密度衛星風と従来の衛星風の統計要素毎の比較(水蒸気風)

統計要素	高密度衛星風			従来の衛星風		
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
BIAS(m/s)	-1.8	+0.6	-0.8	-0.7	+1.4	+0.4
RMSVD(m/s)	7.8	9.2	8.6	9.0	10.8	9.7
SPD(m/s)	24.0	31.2	27.9	16.5	22.3	19.5
データ数	35680			35551		

全般に、従来の衛星風と高密度衛星風のうちSATOB報で配信されているデータの精度は、同程度である。ただし、より厳密な算出手法による精度の違いを調べるには、同期間の画像データによる比較が必要である。

### 3.4 SATOB 報および BUFR 報で配信される衛星風ベクトルデータ数

図5に、SATOB報で報じられた高密度衛星風データ

数と従来の衛星風データ数の年変化を示す。比較した期間は、2002年6月から2003年5月の1年間と、2003年6月から2004年5月の1年間である。比較は、下層風（可視風+赤外下層風）、上層風、水蒸気風について行った。

下層風については、高密度化の前後でデータ数に大きな違いはない。上層風と水蒸気風においては、高密度衛星風のデータ数は従来に比べて、この期間の平均で、それぞれ20%と15%程度少なくなった。

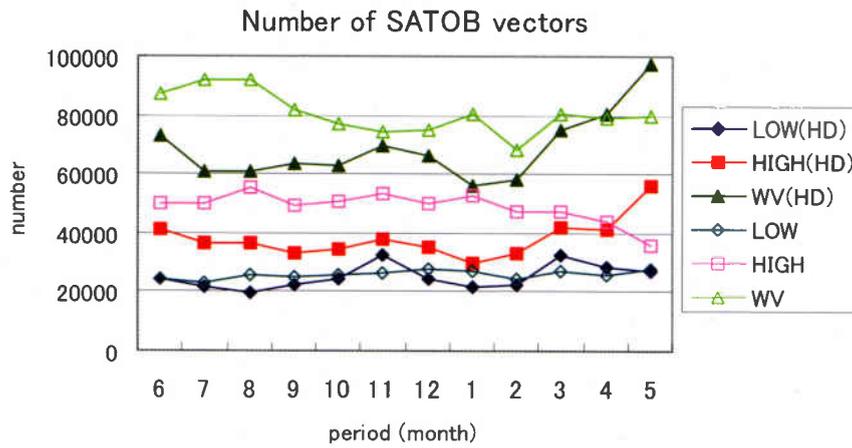


図5 SATOB報で報じられた高密度衛星風データ数と従来の衛星風データ数の年変化  
(データ期間は、従来の衛星風：2002年6月～2003年5月、  
高密度衛星風：2003年6月～2004年5月。図中のHDは高密度衛星風を示す。)

図6に、BUFR報で報じられた高密度衛星風データの年変化を示す。使用したデータの期間と調査対象は、2003年6月から2004年5月の1年間の下層風（可視風+赤外下層風）、上層風、水蒸気風である。BUFR報で報

じられた衛星風のデータ数は、図5に示される同期間のSATOB報で報じられた衛星風データ数に比べて、上層風と水蒸気風で20倍、下層風で15倍程度多くなっている。

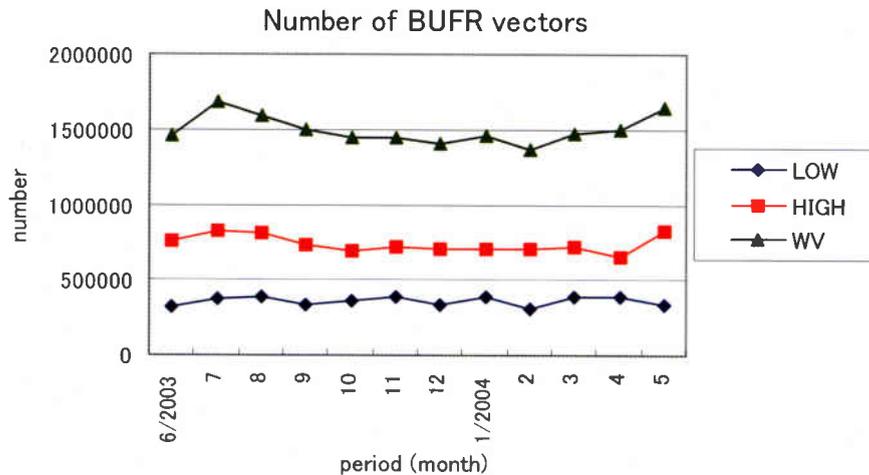


図6 BUFR報で配信された高密度衛星風ベクトル数

図7.1、7.2、7.3に、BUFR報で報じられた高密度衛星風のQI0.1毎の全ベクトルに対する割合を示す。使用したデータおよび調査対象は、図6と同様である。

上層風と水蒸気風を比べると、0.8以上の高いQIの衛星風の比率は平均して上層風が40%前後、水蒸気風が30%強となっており、上層風の方が高い比率である。上層風と水蒸気風は、図3.1（若干の赤外下層風も含むが）と図3.3で示されるとおり、ゾンデとの比較の平均風速

およびRMSVDの値の範囲はほぼ等しいが、水蒸気風は上層風に比べて低いQIを持つ風データの割合が多いことが分かる。原因についてははっきりしないが、算出に使用される観測チャンネルセンサの空間分解能の違い（上層風は衛星直下で4kmの空間分解能をもつ赤外1チャンネル、水蒸気風は衛星直下で8kmの空間分解能をもつ水蒸気チャンネル）、算出に使用される観測チャンネルの特性の違い（上層風は高コントラストの赤外チャン

ネル、水蒸気風は低コントラストの水蒸気チャンネル)による追跡精度の違い等が考えられる。今後、より詳細な調査が必要である。

下層風は、0.8以上の高いQIをもつ衛星風の比率は平均45%前後となっており、他に比べて高い比率である。図3.2(可視風だけであるが)と図3.3を比べると、水蒸

気風に比べて下層風の方が相対的に低風速であるが、ベクトル差の絶対値が著しく小さい。QIの算出式においてベクトル差の小さい影響が低風速の影響を上回り、他に比べて高いQIの風が多く算出されているものと思われる。

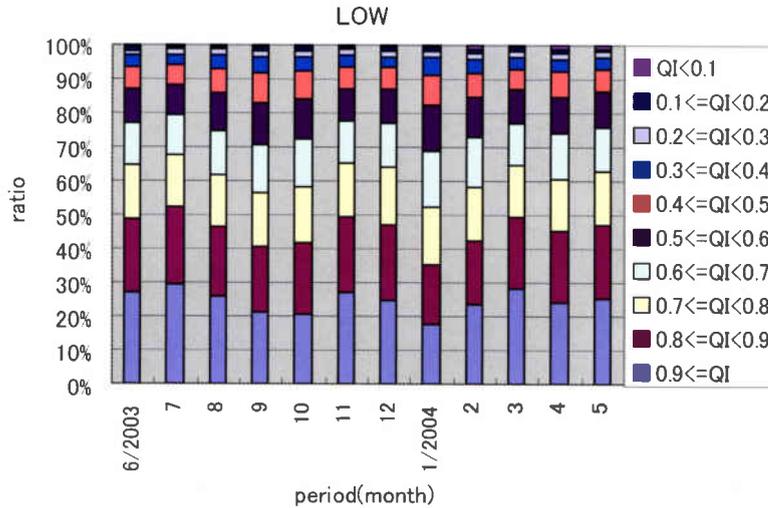


図7.1 高密度衛星風のQI0.1毎の全ベクトルに対する割合(下層風)

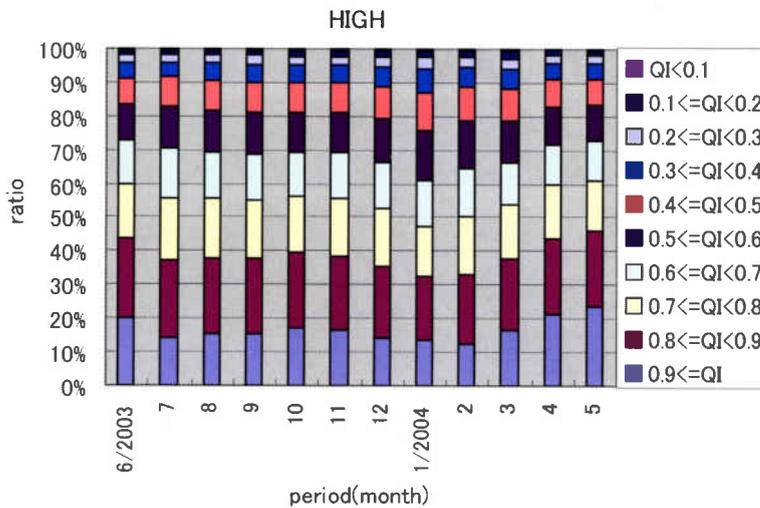


図7.2 高密度衛星風のQI0.1毎の全ベクトルに対する割合(上層風)

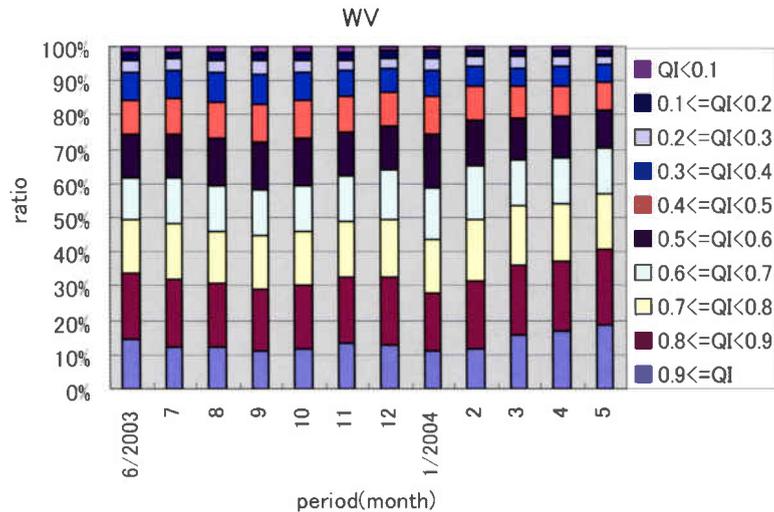


図7.3 高密度衛星風のQI0.1毎の全ベクトルに対する割合 (水蒸気風)

#### 4. 今後の開発課題

高密度衛星風プロダクトでは、従来に比べて空間的に高密度な衛星風データが、客観的な品質指標と共に算出され、即時的にBUFR報にて配信されるようになった。これにより、CGMSの提唱する標準的な要件を満たすようになった。衛星風データの品質も、マンチェックを行っていた従来と同程度を保持している。今後、さらなる衛星風データの品質向上のためには、高度指定やマッチング処理などのアルゴリズム見直しが必要である。この中でも最大の課題は、衛星風の高度指定の問題である。衛星センターでは、現在、半透明の巻雲についての高度指定法(Xu J. et al,1998)について、試験中である。また、今年度中の打ち上げが予定されているMTSAT-1Rでは、新たに3.7μm帯(赤外4チャンネル)を観測するセンサーが搭載される。この観測波長帯では、センサーは従来の赤外センサーより下層からのエネルギーを多く受ける。このため、赤外4チャンネルの画像を用いると、夜間の下層風の算出において、現行の赤外画像から算出する衛星風に比べて精度の向上が期待できる。今後、新たな技術やデータを積極的に活用し、衛星風データの精度向上に努めていきたい。

#### 参考文献

Holmlund, K.,1998:The utilization of statistical properties of satellite-derived atmospheric motion vectors to derive quality indicators, Weather and Forecasting,

13, 1093-1104.

Holmlund K., C. S. Velden, Tokuno M., Le Marshall J., Sarrazin R., Serdán J. M. F.,2004:Automatic quality control with the CIMSS RFF and EUMETSAT QI, (Submitted to Proceedings of 7<sup>th</sup> IWW).

Kumabe R.,2004:Renewal of operational AMV extraction system in JMA, (Submitted to Proceedings of 7<sup>th</sup> IWW).

Tokuno M.,1998:Improvement in the method to extract operational cloud motion winds and water vapour motion winds of the GMS-5 system, Proceedings of 4<sup>th</sup> IWW, 61-68.

Timothy L. Olander,2001:UW-CIMSS Satellite-Derived Wind Algorithm User's Guide(Version 1.0).

XU J., ZHANG Q., FANG X., LIU J.,1998:Cloud motion winds from FY-2 and GMS-5 meteorological Satellites, Proceedings of 4 IWW, 41-48.

内田裕之、高田左知男,1996:, 雲移動風・水蒸気移動風。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 II(1989),85-102.

大島隆,1989:, 風計算処理気象。GMS-5 システムの更新, 衛星センター技術報告, 28,43-49.

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.