気象衛星による高層風データの抽出*

大 島 隆**•内 田 裕 之***

1. はじめに

1966年に打ち上げられた静止衛星 ATS-1 の地球画 像を利用して雲の移動を測定するシカゴ大学の藤田教 授グループの調査から始まった衛星からの高層風観測 は、1970年代中頃に米国において静止気象衛星 (SMS, 現在は GOES シリーズ)を使って現業的に行なわれる ようになった.ここで衛星からの高層風観測と言うの は、静止気象衛星がある一定の時間間隔で撮影した数 枚の雲画像を使い、小さな積雲や巻雲の移動を追跡し 移動量求めることによってその高度の風データ(以下, 雲移動ベクトルと呼ぶ)を抽出するものである.これ により、海洋上などの高層観測データの空白エリアを 埋め、広範な領域で高層の風データを求めることが可 能となった.

その後第一次地球大気開発計画(FGGE)を契機と して、1978 年には欧州 (METEOSAT シリーズ) 及び 日本 (GMS シリーズ)も静止気象衛星による風観測業 務を現業化し、極地方を除いた地球をとりまくほぼ全 域がカバーされるようになった.現在では INSAT シ リーズも加え,各々,日本の気象庁気象衛星センター (MSC),米国の海洋大気庁環境衛星データ情報局 (NESDIS), 欧州字宙機関の宇宙運用センター (ESOC/ESA) 及びインド気象局において、1日4回 (インドは1回のみ)の定常的な抽出が行なわれ世界気 象回線(GTS)を通してリアルタイムに世界各国に配 信されている.これらは日々行なわれる数値予報の解 析のための入力データとしての利用の他、台風監視の 支援資料としても利用されている。第1図に風観測に 使用される静止気象衛星の運用履歴を、第2図に各国 で抽出された雲移動ベクトルの最近の例を示す。

- * The Extraction of Cloud Motion Wind from Geostationary Meteorological Satellite.
- ** Takashi Ohshima, 気象庁予報部数値予報課.
- *** Hiroyuki Uchida, 気象庁気象衛星センター.

静止気象衛星による風観測については、気象衛星セ ンターの運用開始当初に、浜田(1980)が当時の日本 のシステムに基づいて風の代表性や抽出方法、精度に 関する解説を行い、加藤(1983)が各国で初期の頃に 調査された様々な方法の概略をまとめている。また、 Hamada (1984, 1986) が,世界気象監視計画 (WWW) の一環として全球的に整備された静止気象衛星風観測 のシステムとそのデータの特徴を総括的にまとめてい る、ここでは、その後気象衛星センターや各国の抽出 システムも変わり、抽出されるデータ数も増えて利用 の途も広がってきているので、利用する側から特に問 題となる精度の改善調査に留意しながら、改めて気象 衛星センターを中心として各国の最近のシステムや抽 出状況,及び将来の動向について紹介することとする。 なお、FGGE において大量の雲移動ベクトル抽出に貢 献し、現在も米国のシステム開発に重要な役割を果た しているウィスコンシン大学宇宙科学技術研究所 (SSEC)の McIDAS (Suomi, 1983) による風抽出シ ステムは NESDIS のシステムに反映されているので 記述を省略した

2. 雲移動ベクトル抽出の概要

雲の動きから大気の流れを推定するためには、大気 の流れを代表する雲(トレーサ)を選んで追跡する必 要がある.テレビの天気予報で放送される毎時間の連 続した雲画像を見れば、台風や前線等のじょう乱の移 動に伴う雲域全体の動きがよく分かる.しかしながら、 これらの動きが台風や前線付近の風を表現しているわ けではない.大気の流れを抽出するためには、1つ1 つ個別の雲を追跡することになる.また追跡する雲は、 台風や前線等のじょう乱に伴う雲ではなく、周囲の大 気に流されるような小さな積雲や巻雲が適している. こうして、時間的に連続した雲画像から小さな積雲や 巻雲を追跡するために、時間間隔が短く解像度の高い 画像が必要となる.現在、雲移動ベクトルの抽出には、

静止気象衛星	位置	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
	0					M	ETEOS.	T-1		M	ÉTEOS.	AT-2					M	ETEOS.	AT-4	
BATT (METEUSAT)	0															<u>и</u>	ETEOS	AT-2		
							OFC-						IN	SAT-1	R					
	75E					-	JUE 3-	-					<u> </u>					┣━_		
(GUES-IU/INSAI)																		I	NSAT-	1D
	1400					GM	Ş					GMS	GM	\$-3						
日本(GMS)	140C								-	CHC 2							-	CMS-A		
			CM			0				GM3-2	CORC	UM 1	3-2							
米国(GOES-₩)	135₩			5-2			069-2			-	0025-	Ĺ			GO	ĖS−6				
						GOE	¦ S−1		GO	ĖS−4	GO	ĘS-6	COF							
(GOES-PRIME)	110W											-	GOE	3~0	-					<u> </u>
		C14			0		CMC								CO	FC_7				
(GOES-E)	75W	<u> </u>	<u>5−1</u>		<u> </u>	UES-Z	- SMS	-2	—							L3-7	┢			
	FOR				GOES-	1	şms-1		G	¢ES−5									METEO	\$AT-3
1	'50₩													1			1			

第1図 風観測に使用される静止気象衛星の履歴 (1984年以前のデータは木村氏による.また,静止位置はおおよその値を表わしている)



(太い矢羽根が上中層風、細い矢羽根が下層風を示す)

およそ 30 分間隔で撮影された 2,3 枚の連続した雲画 像(赤外画像または可視画像)が使われている. 雲画 像は写真のような瞬間の撮影ではなく,衛星のスピン とともに撮影カメラ (VISSR)が回転し,反射鏡によ り公軸の向きを北から南へ変えることによって地球の 北から南まで撮影される. ひまわり (GMS)の場合こ れに約 25 分を必要とし,反射鏡が北に戻る時間も含め て連続画像の撮影には約 30 分の間隔が必要である.

雲移動ベクトルの抽出の方法には大きく別けて,マ ニュアル法と自動法の2つの方法がある.マニュアル 法は,映写機で連続画像のループフィルムを投影した り,画像表示装置上に連続画像のループムービーを繰 り返し表示させたりして,解析者が雲の動きを見なが らトレーサ雲を選択し,その移動を追跡するものであ る.自動法は,大気の流れを代表するトレーサ雲(積 雲や巻雲)を選んで追跡する作業を,全て計算機で自 動的に行なうものである.また,マニュアル法に自動 法を組合せ,トレーサ雲の選択はループムービー上で 解析者が行い,追跡は計算機が自動的に行なう方法も ある.マニュアル法は,選択や追跡の難しい雲を対象 とした雲移動ベクトルの抽出に適し,良い品質の雲移 動ベクトルが得られるが,短時間に大量の抽出はでき ない.雲移動ベクトルの抽出を現業的に行なっている 各抽出センターではマニュアル法が当初は多かったが

	気象衛星センター (MSC)	米国環境衛星資料 情報局 (NESDIS)	欧州衛星運用センター (ESOC)	インド気象局		
追跡に使用する 画像とその解像 度	赤外画像 (5 km) と, 可視画像 (1.25 km) の各3枚 (但し,可視 画像は昼間の追跡の み)	赤外画像 (8 km) の 3 枚	赤外画像 (5 km) の 3 枚	可視画像 (2.75 km) の 2 枚		
抽出方法	上層風は自動とマニュ アル法の併用 下層風は自動法	上/中層風はマニュア ル法 下層風は自動法	全ての層で自動法	マニュアル法		
処理時間帯	00, 06, 12, 18UTC	00, 06, 12, 18UTC	00, 06, 12, 18UTC	06UTC		

第1表 各抽出センターにおける雲移動ベクトル抽出方法の分類



第3図 気象衛星センターの雲移動ベクトル抽出 システムの概略

順次自動法を導入し,現在では追跡する雲の高度に合わせて,第1表のように自動法及びマニュアル法を組み合わせて使用している.

3. 気象衛星センターの抽出システム

MSC では, 1978 年 4 月より現在まで, 途中 GMS-2

の不具合で中断した約3ヶ月間(1984年中頃)を除い て,雲移動ベクトル抽出業務を実施している.追跡す る雲は主として積雲(下層)と巻雲(上層)であり、 概ね 30 分間隔の 3 枚の可視(0.5 μm~0.75 μm) 及び 赤外(10.5 µm~12.5 µm)画像を使用する. 運用開始 当初は 00UTC と 12UTC の 1 日 2 回(日本時間の 9 時と21時)の抽出だったが、1987年3月の計算機シス テムの更新時から6時間毎の1日4回(日本時間の3. 9, 15, 21時)となっている。第3図に現在の雲移動 ベクトル抽出システムの処理の流れを示し、この図に 沿ってその概略を説明する。さらに詳細な内容につい ては、気象衛星センター(1988)、大島(1989)に記述 されている. なお, 運用開始当初(浜田, 1979, 1980) には, 下層風は解析者が雲を指定し相互相関法によっ て自動追跡する方法、上層風はループフィルムを投影 して解析者が雲の始点と移動後の点を指定するマニュ アル法であった

(1) 画像と位置合わせ

精度の良い雲移動ベクトルを抽出するためには,画 像上のトレーサ雲が地球上のどの位置に対応するかを 正確に決定することが重要である.ただし,画像の絶 対的な位置精度よりは連続画像間の相対的位置精度が 問題となる.この場合,赤外画像で1画素(赤道直下 点で約5km)以上ずれると,抽出された雲移動ベクト ルの殆どが使い物にならないこともある.通常,この 対応付け(位置合わせ)は,観測された画像をリアル タイムで利用するために,衛星の軌道・姿勢の情報を 過去のデータを使ってあらかじめ予測することで行っ ている.しかしこの予測にもわずかな誤差が生じる場 合があり,また,衛星の姿勢や軌道の制御を実施した 後では使えない.そこで,位置合わせの精度を高める ために,昼間の可視画像を使って位置が正確に分かっ ているランドマーク(半島などの海岸線や島)を抽出

1993年7月

気象衛星による高層風データの抽出



442

第4図 テンプレートエリアとサーチエリア(トレーサ雲を選択した画像から候補点を中心としてテンプレートを,また30分後の画像からサーチエリアを取り出して,テンプレートの中心をラグエリア内で動かしながら,各対応位置(P,q)における相関係数C(P,q)を算出する).

し、衛星の姿勢情報を毎日再決定している. さらに MSC では、赤外画像で1 画素以内の位置合わせの精 度を実現するために、赤外画像の地球の外縁の円形を 合わせる方法が開発(高橋, 1981)され、各画像毎に 最終的な微調整を行っている.

(2) 積雲(下層雲)の移動ベクトルの抽出

現在は,背の低い小さな積雲(トレーサ雲)の抽出 は全て自動法を使用している.

まず、赤外画像を用いたヒストグラム解析でトレー サ雲の選択を行なう、これには、 雲移動ベクトルを抽 出する領域 (50°N~50°S, 90°E~170°W) で1度間隔で トレーサ雲の候補点を設定し、候補点のまわりに追跡 に適したトレーサ雲があるかどうかを調べていく、こ のために,赤外画像から候補点のまわりのある大きさ の領域(およそ100~150 km 四方に相当)を切り出し て輝度温度情報のヒストグラムを作成し, その最低温 度から算出した雲頂温度や雲量,雲の存在する温度範 囲などの各種パラメータを計算し、あらかじめ設定し たしきい値内にあるか否かを判定する。これらによっ て要するに背が低く輪郭の明瞭な小さな雲を捜し出そ うというのである。この際に、雲頂温度が最も有効な パラメータとして作用している. トレーサ雲の選択に 自動法を導入(浜田他, 1984)したことにより,短時 間内に大量の雲移動ベクトルの抽出が可能となった.

選択されたトレーサ雲は,相互相関法によるパター ンマッチング(浜田, 1980,又は気象衛星センター,



第5図相互相関法で算出した相関係数曲面の分布例(相関係数曲面を斜め上から見た様子を表わしており,底面の四角が第4図のラグエリアに相当し,上向きの軸が相関係数を示す.この図は相関係数の最も大きな曲面のピークの位置が移動位置を示している).

1988)によってその移動位置が計算される.簡単に説 明しておくと、まず、トレーサ雲が選択された画像と その30分後に観測された画像を重ね合わせて、第4図 のように各々の画像からトレーサ雲を中心としてある 大きさのエリア(各々、テンプレートエリア及びサー チェリアと呼ぶ)を取り出し、ある対応位置における 相関係数C(p,q)を求める.テンプレートエリアの画 像をサーチエリア内で1画素ずつずらして各々の位置 における相関係数Cを計算し、最大の値Cmaxを示す 位置がトレーサ雲の移動位置として決定される.この 際の相関係数の値の分布図の例を第5図に示す.MSC ではこのマッチングの計算時間を短縮するために、ま ず粗くサンプリングした画像同士でマッチングを行 い、次にその近傍でオリジナルの画像で最終的なマッ チングを行う2段マッチングを行っている.

決定されたトレーサ雲の始めの位置と30分後の移 動位置を各々の画像の軌道・姿勢情報を基にして緯 度・経度に変換し、風向・風速を算出する.実際の算 出では3枚の画像を使用し、2枚目の画像を使ってト レーサ雲が決定され、1、2枚目からのベクトル V_{12} と、2、3枚目からのベクトル V_{23} の2つの移動ベク トルが算出されて、(4)項で示す自動品質管理に使用 される.なお、3枚目の画像の撮影時刻が最もマップ タイム (00,06,12,18 UTC)に近いので、MSC の場 合最終的に外部へ出力されるのは V_{23} である.

こうして得られた下層雲の移動ベクトルには代表す る高度として 850hPa が一様に設定される. これはラ



 第6図 雲移動ベクトルの抽出に使用される画像 処理装置の概観
 右側がループムービーが表示されマニュアル抽
 出を行う TV 画面,左側が抽出された移動ベクト ルや品質チェック用のラジオゾンデ・数値予報の 風が表示される GD 画面である。

ジオゾンデとの統計的比較の結果 (Hamada, 1982) で 得られたもので,その後引き続き MSC で行っている 比較モニターでも最も一致する値となっている.

(3) 巻雲(上層雲)の移動ベクトルの抽出

現在は、巻雲(上層雲)の選択にもまず自動法を初 めに使用しているが、赤外1チャンネルの画像のヒス トグラム解析という下層雲と同様な選択方法に基づい ているので、限られた場合しか自動法は使用できない。 即ち雲頂温度を計算する際の巻雲の射出率が判らない ため、例えば薄い巻雲には適用できないからである。

また,選択後のトレーサ雲の追跡は相互相関法で行 なっている.しかし,大島(1988)が示したように移 動距離が大きいトレーサ雲を追跡できない場合がある こと,また,トレーサ雲に似た雲が列状に連なってい る場合は追跡不能となることなどの問題点もある. 従って,運用上は抽出時間の短縮を図るために高度の 高い不透明な巻雲を自動法で抽出し,それ以外は解析 者がマニュアルで抽出する方法を採用している.

マニュアルによる抽出には画像処理装置(第6図) を使用する. 概ね 30 分間隔の 3 枚の画像から作成され たループムービーが TV 画面(第7図)上に繰り返し 表示されている. 抽出の方法としては, 1 点指定法あ るいは 2 点指定法が使われる. 1 点指定法は,巻雲(上 層雲)の指定(選択)を解析者が行い,移動後の位置 は相互相関法で自動抽出するもの, 2 点指定法は巻雲 (上層雲)の指定(選択)も移動後の位置の決定(追跡) も解析者が行うものである. 抽出された雲移動ベクト ルは, その都度ループムービー上に表示され適正かど



第7図 雲移動ベクトルのマニェアル抽出に使用 される TV 画面.

うかが判断される.

その後,下層風と同様にして風向・風速が算出され, 高度が設定される.上層風の高度は,最近まで浜田 (1982a,1982b)の調査で得られた統計的な気候値が設 定(注)されていた.その後抽出システムが変更され 以前の気候値と合わない場合も多くなってきたので, 新たな調査の結果,1990年4月より詳細な新しい気候 値(第2表)が採用された.現在では第2表をベース として算出毎に解析者がラジオゾンデや気象庁の全球 予報など他の情報も参考にしながら判断し,マニュア ル修正を行なっている.

(4) 品質管理

上層風・下層風共に,計算機による自動品質管理を 行なった後,解析者によるマニュアル品質管理を行い, 良質な雲移動ベクトルを出力するように努めている.

計算機による自動品質管理は、当初は下層風につい て、トレーサ雲の雲頂高度を3枚の画像で計算して比 較するトレーサ雲の安定性のチェックや、 V_{12} と V_{23} を比較することによる風速の変化が大き過ぎないかの チェックを行っていた。現在はこれを上層風について も行うとともに、抽出後に近接した下層風同士や上層 風同士の比較チェック、上層風と周囲の下層風との比 較チェック、及び数値予報の第一推定値との比較 チェックをしてフラグ立てを行って、次の解析者によ る品質管理作業の軽減を図っている。

マニュアルによる品質管理では、抽出された上・下 層風ベクトルがループムービーで表示された雲の移動 に一致しているかどうか、あるいは、高度が適当かど うかを解析者が TV 画面(第7図)を使って評価する とともに、GD 画面上で風ベクトル全体の様子を見な がら、ラジオゾンデや気象庁の全球予報との比較を行

Zone (lattitude)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
$40^{\circ}N(35^{\circ}N-50^{\circ}N)$	400	400	400	300	300	300	300	300	300	300	400	400
$30^{\circ}N(25^{\circ}N-35^{\circ}N)$	400	400	400	300	300	250	250	250	250	300	400	400
$20^{\circ}N(15^{\circ}N-25^{\circ}N)$	300	300	300	300	300	250	250	250	250	300	300	300
10°N(5°N-15°N)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
EQ $(5^{\circ}S - 5^{\circ}N)$	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
$10^{\circ}S(15^{\circ}S - 5^{\circ}S)$	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
$20^{\circ}S(25^{\circ}S-15^{\circ}S)$	250	250	300	300	300	300	400	400	400	300	300	250
$30^{\circ}S(35^{\circ}S-25^{\circ}S)$	300	300	300	300	300	300	400	400	400	400	400	400
$40^{\circ}S(50^{\circ}S-35^{\circ}S)$	300	300	300	300	300	300	400	400	400	400	400	400

第2表 上層の雲移動ベクトルに設定される高度(気候値)



第8図 下層の雲移動ベクトルと近接したラジオゾンデとの比較調査 (Hamada, (1982) よりベクトル差のみ抜粋)

トレーサ雲の雲頂高度別にベクトル差 (VSAT-VRAOB) の絶対値(各図の2本の折れ線の左側)と RMS (右側の折れ線)を示したもので,(1)夏期(1981,7.1~7.31) では,(a) 600 hPa 以下,(b) 700~600 hPa,(c) 800~700 hPa の雲頂高度の場合を,また(2)冬期(1981.1.1~2.15) では,(a) 600 hPa 以下,(b) 700~600 hPa,(c) 800~700 hPa,(d) 800 hPa 以下の雲頂高度の場合を表わしている。

なって、不良と判断されたものを削除する.

(5) 出力とデータ保存

品質管理に合格した雲移動ベクトルは,国際気象通 報式 SATOB 形式に編集の上,雲画像の観測終了後2 時間 40 分以内に出力され,GTS 回線により世界各国 に配信される.

また,出力された雲移動ベクトルデータは,1978 年 4月の運用開始以来全て,FGGEの際に取り決められ たデータ交換形式(気象衛星センター,1988)で磁気 テープに保存されている.

(注)下層風の高度については、当初は移動する雲の赤 外画像から得られる輝度温度を鉛直温度分布(当時は 気候値,現在は全球予報の第一推定値を使用)と参照 して算出した雲頂高度を設定していたが,その後のラ ジオゾンデとの統計的比較調査(Hamada,1982)の結 果(第8図),1981年12月から850hPaの一定高度を 設定することとなった.上層風についても当初は圏界 面高度(気候値)を設定していたが,下層風と同様の 調査の結果,同じ時期より3つの緯度帯(赤道付近及 び南北の中緯度帯)と4つの季節に分割した気候値 (200~400hPa)を使用することとなり,1990年3月 まで使用された.

4. 他の雲移動ベクトル抽出センターの方法

他の抽出センターの方法については, Hamada (1985) が FGGE から 1980 年代前半に行なわれてい た各国の抽出センターのシステムを簡潔に紹介してい る. ここでは, それを参照しながら最近の動向につい て紹介することとする.

4.1 米国環境衛星データ情報局

NESDIS は世界で最も早く1970年代中頃に雲移動 ベクトル抽出業務を開始し、引き続き現在も実行して いる抽出センターである.本来は GOES-EAST と GOES-WEST の2つの衛星で観測された雲画像を 使って東太平洋から大西洋西部までの領域をカバーし ているところであるが、GOES の次期シリーズ (GOES-NEXT)の開発・打ち上げが当初の予定より 大幅に遅れており、現在は1機だけ運用可能な GOES -7(110^{*}W)から観測された30分間隔の3枚の雲画像 を使って雲移動ベクトル抽出業務 (Merrill *et al.*, 1991)を行なっている.なお、ハリケーン監視などの ために大西洋西部の静止気象衛星観測を強化する目的 で、以前に欧州宇宙運用センター (ESOC/ESA)が運 用し最近はスペアとされていた METEOSAT-3 が 1991 年 8 月より西経 50 度に配置され, NESDIS に対 する支援 (de Waard *et al.*, 1992) が行なわれるよう になった. NESDIS では 1993 年からこの画像を使っ て雲移動ベクトルの抽出を行なうことが計画されてい る.

現在 NESDIS では、赤外画像を使って1日4回,上 中下層雲の移動ベクトルを抽出し GTS 回線に配信し ている. なお、水蒸気画像による移動ベクトルの抽出 はハリケーン解析用に1日2回行なわれ、解析結果は ハリケーンセンターへ送られている.現在のところこ のデータは GTS 回線へは出力されていない.

(1) 下層風

下層雲の移動ベクトルは,当初から自動法 (Bristor, 1975, Whitney, 1984) 即ち,赤外画像の輝度温度情報 を利用した下層雲の選択と,相互相関法によるトレー サ雲の追跡によって行なわれてきた.その高度は 900 hPa が設定される.また,品質管理については,自動 的に数値予報の第一推定値との比較やペア(3枚の画 像からは1,2枚目からと2,3枚目からの2つのベク トルが算出される)のベクトルの比較によって不良ベ クトルが削除されるとともに,最後に McIDAS 上の ループムービーを使った数値予報の第一推定値やラジ オゾンデと比較による解析者の品質チェックが行なわ れる.

(2) 上・中層風

上・中層雲の移動ベクトルは,当初は MSC と同様 に解析者が 16 ミリのループフィルムを使って抽出し ていたが,1982 年から McIDAS を使って行なう (Whitney,1984) ようになった. McIDAS 自体は雲画 像や天気図,各種気象データなどを計算機と対話型に 処理する装置であるが,その1つとして雲移動ベクト ル抽出の機能を備えている.TV 画面のループムー ビー上でトレーサとなる上・中層雲が解析者により指 定される.移動後の位置はパターンマッチング(相互 相関法,又はユークリッドノルム法)で計算する場合 と解析者が指定する場合との2方法がある.

上・中層風の高度は、まず赤外画像から計算した雲 頂温度と航空モデルの最新の 6/12 時間予報の鉛直温 度分布とから雲頂高度を計算し、また、可視画像から 経験式に基づいて射出率とトレーサ雲の光学的厚さを 求めて物理的な厚さを計算した後、雲底高度を算出す る(ただし夜間には可視画像が使えないので、雲底高 度は便宜的に雲頂高度に 100 hPa を加えた値として いる).対象となるトレーサ雲の高度に応じて,雲頂高 度,雲底高度,あるいはその中間の値を自動的に設定 している.最後に,解析者が McIDAS 上で総観場や 近隣の雲グループの様子を判断しながら修正を行な う.

4.2 欧州宇宙運用センター

ESOC は、1978 年に METEOSAT を使い、欧州、 アフリカ大陸、東大西洋をカバーエリアとして雲移動 ベクトルの抽出業務を開始した.途中、衛星の故障に よる約2年半の中断を除いて引き続いて運用してお り、現在では1日4回行なっている.

雲の追跡に使用する画像は 30 分間隔の 3 枚の赤外 画像で,上中下層の全ての層の雲移動ベクトルを自動 法で抽出している.基本的な追跡システムは運用開始 当初 (Bowen et al., 1979) と同じであるが,高速の上 層風を抽出するために雲の輪郭を強調した画像を使う ようになった点や,精度向上のために薄い巻雲から抽 出した上層風の雲頂高度を修正したり,自動品質管理 を導入した点などが当初と異なっている.

ESOC のシステムは、まずセグメント処理を行なう ことから始まり、上中下層のトレーサ雲を含むセグメ ントが決定される. セグメントは 32×32 画素から成り 全球画像をこの単位に分割したもので,計 3456 個の各 セグメントについて赤外画像と可視画像(夜間は水蒸 気画像)を使用した二次元ヒストグラム解析を行なっ て上層の雲や陸、海などが判別される.

上中下層の雲を含むと判別されたセグメントは、周 囲の8つのセグメントを集めてサーチエリアとされ、 相互相関法によって赤外画像上で移動位置の追跡が行 なわれる.この算出時間の短縮のために2つの方法が 用いられるようになった.1つは、欧州中期予報セン ター(ECMWF)の風の予報値を用いてサーチェリア を限定する方法であり、2つ目は、MSCと同様の2段 マッチングである.

雲移動ベクトルの高度は, ECMWF の数値予報の鉛 直温度分布を参照して,赤外画像から算出された雲の 平均温度(雲クラスターの温度の平均)を高度に換算 して決定される.この場合,射出率が不明の半透明な 雲については,セグメントの中のピクセル1つ1つの 赤外放射と水蒸気放射との対応関係を上層雲,下層雲, 海,陸などについて分類し,薄い上層雲(巻雲)の場 合の放射量をその対応関係を使って修正することに よって,高度の補正(Bowen *et al.*, 1984, Szejwatch, 1982)が行なわれている. 抽出された雲移動ベクトルは、3枚の画像から得ら れる $V_{12} \geq V_{23}$ の対称性のチェックがされた後、 V_{12} と V_{23} の平均が出力ベクトルとされる.さらに、1986 年 4 月より導入された ECMWF の数値予報の風と比 較する自動品質管理 (Schmetz *et al.*, 1986) を行なっ た後、解析者のチェックを経て不良ベクトルが削除さ れ、GTS 回線を通して配信されている.

4.3 インド気象局

インドでは,通信・放送・気象観測の機能を有する 多目的衛星 INSAT シリーズの雲画像を使って,アラ ビア海,ベンガル湾とインド洋北中部を対象エリアと して,1984 年中頃から雲移動ベクトルの抽出が開始さ れ,1日1回 06UT 帯に GTS 回線に配信されている.

抽出 (Kelkar et al., 1986) には 30 分間隔の可視画 像を使用し、マニュアル法でトレーサ雲が選択され、 パターンマッチングで追跡される. 高度は、赤外画像 から得られるトレーサ雲の雲頂高度が設定される.

5. 雲移動ベクトル抽出の現状と課題

5.1 雲移動ベクトル抽出の現状

(1) 雲移動ベクトル抽出状況

5個の静止気象衛星が赤道上に配置され特別観測が 行なわれた FGGE の期間は,全地球上の抽出数は月平 均で約 18 万個であった.ただしこれはリアルタイムで はなく後から抽出したものも含めての数であり, FGGE 終了後のルーチン的な抽出数についてのデー タは持ち合わせていない.参考に約5年後の1984年頃 に安定して運用されていた頃の抽出数は約9万個であ る.現在では月平均で約20万個の抽出となっている. 第9図に最近の抽出数の緯経度10度毎の分布を示す. 抽出数とその平面的な分布は対象領域や季節で異なる 偏りを示す領域もあるが,ラジオゾンデ等の観測デー タが無い南半球や海洋上を広くカバーしている.

(2) 雲移動ベクトルの精度について

雲移動ベクトルの精度を論じる際に、当初は抽出シ ステムに起因する誤差の問題と、気象学的に何を表現 しているかという問題が主として扱われたが、その後 は如何に利用するかという観点から、ラジオゾンデな ど既存の観測方法とどの程度の差があるかという点で 論じられることが多い.

雲移動ベクトルの抽出方法やシステムによる誤差 は、画像の位置合わせやマッチングによる誤差などが あり、浜田(1980)が詳細に論じている.これらは現 在のシステムにも共通する課題であり、その内の画像



第9図 雲移動ベクトルの10度毎の1日当たりの抽出数の分布(1991.11~1992.10の平均) 100~400 hPa を上層風, 401~700 hPa を中層風, 701~1000 hPa を下層風で分類した.

の位置合わせ誤差など既に改善され安定した運用に貢 献しているものも多い. 今後,水蒸気風などこれまで とは異なる風をルーチン的に抽出していく際も常に課 題となる.

また気象学的に何を表現しているかについては, 雲 は風とともに移動するか, あるいは, 雲移動ベクトル はどの高度の風を代表しているかなど, 1970年代に 様々な調査が行なわれ, また浜田(1980)や加藤(1983) などによっても論じられた. これを論じる時にいつも 引き合いに出されたのが, Hasler *et al.* (1976, 1977, 1979)の一連の調査である.彼等は INS (慣性航法装置)搭載の航空機を使って雲頂や雲底及び中間の高度 における雲の移動速度とその周囲の大気の風を測定 し、さらに衛星から観測した雲移動ベクトルと比較し た.これによると、貿易風や亜熱帯高圧帯の積雲の移 動速度はその雲底の高度(900~950 hPa)の風に良く 一致(ただし前線付近の積雲の場合は雲の層の平均の 風に一致)するというものである.この結果は Hamada (1982)が行なったラジオゾンデとの比較調 査,及び現在 MSC が毎月行なっている比較モニター

11

からも類推され,積雲を追跡して得られる下層風の高度に MSC で 850 hPa を設定する根拠となっている. 上層風については適当な調査はあまり見付からないが,上記の Hasler *et al.* で例数は少ないが同様の調査を行なっており,巻雲の平均高度の風に一致するとの結果が得られている.

(3) 精度改善のための最近の調査

下層風については INSAT の場合を除きほぼ安定し た精度を保って利用されている.上層風についてはそ の精度が常に問題にされており,各抽出センターでも 様々な改善の取組みが行われてきた.巻雲自体の高度 (雲頂高度等)の衛星による算定が難しいため,巻雲に よる移動ベクトルの代表する高度を見積もることは容 易ではない.

NESDIS では、VAS (VISSR Atmospheric Sounder) の多チャネルの機能を使って精度向上を図



第10図 上層の雲移動ベクトルと近接したラジオゾン デの比較調査(各高度設定方法の違いによる 緯度帯10度毎のベクトル差の比較-1988年平 均。

るための調査 (Menzel et al., 1983, Eyre et al., 1989) が行われ、業務実験の後 1992 年 1 月から現業化され た. これは、2 つの CO₂ 吸収帯を利用し、その吸収率 の違いを使って半透明な薄い雲の雲頂高度を精度良く 算出しようと言うもので良好な結果が得られている が、下層にも雲があるような多層の場合には精度が悪 くなるようである.また、Hayden et al. (1987) は、 赤外画像で追跡した雲移動ベクトルの高度を同時に撮 影した水蒸気画像の輝度温度から抽出した方が、赤外 画像の場合よりも上層風の高度を改善する結果になる ことを示した.次に打ち上げられる GOES-NEXT に は、CO₂ チャネルの測器が搭載されないので、NES-DIS においても水蒸気画像を使った上層風の高度設定 の改善方法の開発が急務とされている。

MSC では、土井、内田等 (1990) によって上層風と ラジオゾンデとのより詳細な比較調査が行なわれた. これは上層風の高度を、トレーサ雲の 400 hPa より上 層の温度情報を使う方法と、従来の気候値に代えて新 たに決めた月毎の9つの緯度帯に分かれた気候値(第 2表)を使う方法で設定し、ラジオゾンデと比較した ものである、その結果(第10図)、両方法とも当時の 気候値よりはラジオゾンデ風との差が小さくなるが. トレーサ雲の温度情報を使う方法では風速 40 m/s 以 上の風や低緯度域で差が大きくなる場合があるため, 新しい気候値(第2表)が1990年4月から採用される ようになった、これは、とりわけジェット気流の付近 でラジオゾンデと比較して雲移動ベクトルが小さくな るというスピードバイアスの改善にも大きく寄与する 結果 (Uchida, 1991) となった, Woick (1991) が GMS のスピードバイアスについて調査した結果を第11図



第11図 MSC の雲移動ベクトルのスピードバイアス (Woick, 1991) (雲移動ベクトルの風速―ラジオゾンデの風速) をスピードバイアスとしており,図中の○印が,1989年10月~1990年3月及び1990年4月以降の各平均を,また□印が1990年4月以降の各月平均を示している.



に示す. これによれば, 1990 年 3 月以前と比べて約 2 m/s 改善されたことがわかる.

ESOC では, ラジオゾンデとの負バイアス(第12図) に関して雲のピークに近い部分に限って追跡する方法 の調査 (Schmetz *et al.*, 1986) が進められ, 地表面や 低い雲など最も高い雲以外の影響を少なくする目的の フィルター関数で赤外画像を変換する前処理が 1990 年からシステムに導入 (Hoffman, J., 1990) された.

このように負バイアスの問題は,最近の追跡システムの修整や高度設定方法の変更によって改善が進められている.

(4) 最近の精度

当初からも言われてきたことではあるが、雲移動ベ クトルはラジオゾンデ風とはその測定手段が全く異な るものである.前者は約100~150 kmの広さを持ち少 なくとも30分以上のライフタイムのある雲を対象と しておりそれ以上の時間をかけて観測するのに対し て、後者はバルーンの直径が数メートルでその移動の 数分間の平均値である.このように異質の観測システ ムではあるが、これらを比較することは、雲移動ベク トルの品質を見積もる上での重要な指標と見なされ る.現在、各抽出センターでは年に2回、定期的にラ ジオゾンデとの比較結果をモニターし互いに交換し て、雲移動ベクトルを精度よくかつ安定して抽出する ように努力している.第3表に各センターの比較,第 13 図に MSC の最近のモニター結果を示す.第3表に よれば各センターともベクトル差の RMS で近い値を 示しており,上層風で 7.9~10.0 m/s,下層風で 4.0 ~7.0 m/s となっている.第13 図から特に MSC の上 層風の差が約 2 m/s 小さくなったことがわかる.ま た,利用する側として各数値予報センターにおいて品 質の評価(柏木,1990)を行ってその情報を交換する ことになり,今後の改善に寄与するものとして期待さ れている.

5.2 雲移動ベクトルの利用とその課題

(1) 雲移動ベクトルの利用

GTS 回線で世界中に配信されている雲移動ベクト ルは、数値予報の解析のための重要な入力データとし て日々使用されている他、台風周辺の風の推定への利 用(次項参照)や、長期間に蓄積されたデータの気候 変動調査における利用が試みられている。

雲移動ベクトルを数値予報に利用した場合としない 場合を比較してその影響を評価する調査は1980年代 の前半に多くが行なわれ、またその多くが FGGE の データを使って行われていた. これらは概ね,熱帯域 や南半球で大きなインパクトがあり、北半球では小さ いとされた、最近の数値予報に対するインパクトの調 査としては、柏木 (1990) が 12 時間間隔の予報解析サ イクルを実施し雲移動ベクトルを使用しないとラジオ ゾンデの存在しない領域で解析精度が著しく低下する 例を示した. また, Kelly et al. (1989) が ECMWF の10日予報を4例行い,熱帯域ではどの例も大きく南 半球中緯度帯では3日までの正のインパクトがあり、 1例ではあるが 500 hPa 高度における北半球中緯度 帯では大きな負のインパクトがある結果を示した.5.1 節で述べた負バイアスが問題となっているのが北半球 中緯度帯であるが、これについて Thoss (1991) は、 厳しい品質管理を行ったデータを使った14日予報を 行い、正のインパクトの結果を示した、従って極めて 当然のことではあるが、どれだけ品質の良いデータを 使うか、あるいは品質の良いデータを抽出するかが数 値予報に対しても重要なことである.

(2) 利用上の注意点と課題

5.1 で記述したように雲移動ベクトルの抽出システムがラジオゾンデなど従来の風観測システムと大きく 異なるため、利用する際に注意すべき点として以下の 項目が挙げられる.

i)抽出する層が上・下層(一部で中層)の2~3

第3表 各描出センターにおける雲移動ベクトルと近接したラジオゾンデとの比較モニターの最近の結果 (1) 上層風

(High level)		No. of	Mean	Vector Diff.		Speed I	Difference	e (M/S)	Direction Diff. (Deg			
		Compared Data	Speed of Sat-wind	Abs. Mean	R.M.S.	Alg. Mean	Abs. Mean	R.M.S.	Alg. Mean	Abs. Mean	R.M.S.	
		GMS	1,278	13.6	7.0	8.4	-0.4	4.3	5.9	-1.2	26.4	39.3
1990	Jul.	MET.	679	23.6	8.0	9.4	-1.7	5.6	7.3	-3.3	12.5	16.7
		GOES	452	16.2	8.1	9.2	0.1	5.5	7.0	-2.7	26.4	40.3
		GMS	1,014	18.3	7.0	9.0	-0.9	4.7	6.9	-2.6	16.9	25.7
1991	Jul.	MET.	894	20.7	7.8	9.1	-1.0		6.7	-1.8	—	19.7
		GOES			—	—	—		—	—	_	—
		GMS	969	23.3	7.8	9.7	-1.6	5.5	7.5	-2.4	14.7 .	24.5
1991	Oct.	MET.	1,333	24.3	8.3	9.7	-1.2	_	7.4	-1.4		16.6
		GOES		_	—		—	—				_
		GMS	916	20.3	6.6	8.1	-1.3	4.5	6.2	2.5	14.6	22.3
1992	Jan.	MET.	689	25.9	8.4	10.0	-1.5	. —	7.6	-1.4		16.8
		GOES					—	—	—	—	—	—
1992 Apr.		GMS	1,070	24.5	6.4	7.9	-1.7	4.4	6.1	1.3	11.1	17.6
	Apr.	MET.	910	25.5	7.9	9.3	-0.7	—	7.1	-1.1		15.9
		GOES		—	—	_	-	—	—		_	_
							· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					

(2) 下層風

(Low level)		No. of	Mean	Vector Diff.		Speed I	Difference	e (M/S)	Direction Diff. (Deg)			
		Compared Data	Speed of Sat-wind	Abs. Mean	R.M.S.	Alg. Mean	Abs. Mean	R.M.S.	Alg. Mean	Abs. Mean	R.M.S.	
		GMS	669	7.3	3.7	4.5	0.2	2.2	3.1	0.3	28.3	43.3
1990	Jul.	MET.	333	11.6	5.4	6.6	0.2	4.0	5.3	-2.4	16.4	21.3
		GOES	68	8.6	5.7	7.0	-2.0	3.4	4.4	-3.7	35.4	54.4
		GMS	1,093	8.1	3.3	4.0	-0.5	2.0	2.7	-2.8	21.0	3.4
1991	Jul.	MET.	366	10.7	4.6	5.2	0.0	-	3.7	1.5	—	21.5
		GOES	—	—	-	-		-			<u> </u>	_
		GMS	1,532	8.9	3.9	4.8	-0.2	2.5	3.3	-3.5	22.2	34.5
1991	Oct.	MET.	590	10.0	4.6	5.3	-0.8	—	4.1	5.0		21.3
		GOES	—	—		-	-	—	—	—	—	_
		GMS	1,342	9.1	3.8	4.5	-0.3	2.4	3.0	0.9	21.0	33.3
1992	Jan.	MET.	304	9.5	4.8	5.5	-1.1	_	4.0	1.8	—	22.8
		GOES	—	—	-				—	—	—	
		GMS	1,209	8.0	3.5	4.3	-0.2	2.2	2.9	-3.2	22.4	35.7
1992	Apr.	MET.	379	11.2	4.9	5.7	-0.4	—	4.3	2.6	_	20.5
		GOES	—		—	—	—	—				_

層だけである.これは追跡に適した雲が巻雲や 積雲など,これらの層でしか得られないことに よる.

- ii)これまでの赤外画像や可視画像を使った雲の追跡では,雲の無い晴天域では抽出されない.従って,雲移動ベクトル単独ではなく,他のラジオゾンデ等の風と合わせて利用することが重要である.
- iii)抽出された風(特に上・中層風)の高度を算定 することが難しく、時にはこれによって誤差が

大きくなる.風の高度の算定にはそのトレーサ 雲の高度(雲頂高度)を精度よく算出すること が重要である.

- iv) 雲移動ベクトルは MSC 出力分だけでも14年 余の累積があるが,その時期によって抽出方法 や風の高度の設定方法が異なっている.
- v) 30分間隔で追跡するためこれより寿命の短い 雲や現象は把握できない。

i)の点に関しては, MSC では抽出していない中層 風が, NESDIS や ESOC で抽出されるようになった



第13回 MISC におりる毎月のモーター結果(月平均)(ペクトル差の絶対値と KMS 及び裏移動 ベクトルの風速の各平均を示す) (a) 1988年の上層風,(b) 1992年の上層風,(c) 1988年の下層風,(d) 1992年の下層風.

が、これは赤外画像だけでなく水蒸気画像や多波長帯 の画像(VAS)を使った雲頂高度の算定方法の改善が 進み、中層雲との判別が可能となったためである。

ii)の点に関連して、雲の無い領域や上中層の風を 抽出する目的で行なわれてきた、水蒸気画像を使って 水蒸気パターンを追跡(水蒸気風)する調査について 簡単に紹介しておく.これは従来の雲移動ベクトルよ り広い範囲でかつ高密度に得られるという特徴があ る. METEOSAT が水蒸気チャネル(6.7 μm)を搭載 した最初の静止衛星であるが、Eigenwilling *et al.* (1982)は水蒸気パターンが見易くなるよう輝度を強 調した画像を使い、マニュアル法で追跡を行った.高 度については、中緯度の冬季と夏季のモデル大気を使 い水蒸気チャネルの応答関数を算出してそのピークの 高度から、冬は 500 hPa, 夏は 400 hPa とした. 付近 のラジオゾンデと比較した結果, RMS で風速差が 4.9 m/s, 風向差が 20°であった. Mosher *et al.* (1981) は, GOES の VAS の 6.7 μ m 帯の輪郭等の強調された画 像を使って自動法とマニュアル法で追跡を行った. 自 動法では 10%しか追跡できなくマニュアル法が必要 であるが、画像の時間間隔の大きい方が追跡しやすい とした. ただし、これは VAS の画像の解像度(衛星 直下点で 16 km) が低いためとも思われる. Stewart *et al.* (1985) は、1時間間隔で撮影した VAS の 6.7 μ m 画像を使ってマニュアル法で追跡を行った. 高度 設定を 400 hPa の場合と客観解析で得られた鉛直分 布に最も近い高度の2通り行い, ラジオゾンデと比較した. その結果は, 400 hPa の場合の差が RMS で 8.81 m/s, 他の場合の差が 7.88 m/s であった. この他に, 6.7 μ m 帯とは異なる高度のベクトルを抽出する目的で, 7.2 μ m の水蒸気画像を用いた調査 (Hayden *et al.*, 1987) も行なわれている. いずれにしても, 水蒸気風を現業的に抽出・配信していくためには, 高度設定の方法等さらなる調査が必要である点に留意する必要がある.

ESOC では1991年1月から1日2回 (00UT, 12UT) 準ルーチン的に, 全自動法による水蒸気風の抽 出処理が始まった 30 分間隔で撮影された 3 枚の水蒸 気画像から、雲移動ベクトルと同じ相互相関法を使っ て追跡を行っている。これまで調査されてきた水蒸気 風の抽出方法には、フィルタリングや輪郭抽出等の画 像強調法があるが、ESOC のテストの結果、オリジナ ルの解像度の画像を使う方が良いことから画像強調は 行なわれていない、水蒸気風の高度は水蒸気チャネル から抽出された温度を高度に変換して設定されてい る。抽出された水蒸気風は ECMWF に配信され評価 が現在行なわれているところである。なお ESOC 等の これまでの調査の中で、水蒸気分布の動きを追跡して 抽出した中層風(上層風ではない)の精度が良くない ことが分かってきた。これは水蒸気チャネルは雲の無 い領域では厚い層(600~300 hPa)からの積算された 放射を検知するため、特定の高度に設定することが難 しいためと思われる.

iii)の点が今後も最も努力を有する課題であるが、 5.1節で説明した NESDIS による VAS の CO₂ チャ ネルの利用や MSC による高度設定方法の変更、また 4.2節の ESOC による水蒸気画像の利用など、雲頂高 度の算出精度の向上のために様々な調査が行なわれて おり、今後新たなセンサーの利用など引き続き調査が 進められるであろう。

iv)の点についてはこれらの過去のデータを利用する場合に方法等の違いに注意を要することである。

v)の点に関連して,追跡に使用する画像の撮影時 間間隔については1970年代から実に様々な調査が行 なわれており Hanada (1986)がまとめている.これ によれば、画像のサンプリング(量子化)誤差の点か らは時間間隔が長い方が良く短くなりすぎると誤差が 増加する.一方、トレーサ雲となる巻雲や積雲の寿命 の点からは短い方が良いことから、Hamada は現業的 には上層/下層風ともに15分間隔画像の使用を提案し た. 最近の調査もこれらの結果を支持しており,斎藤 等(1987)が朝鮮半島沖を通過する低気圧の下層風を 10,30分間隔のGMS画像から抽出して比較し,10分 間隔の方が品質の良いベクトルが密に得られ解析に役 立つことを示した.また,Fujita(1991)は飛行機雲等 の移動ベクトルを GOES の画像を使って10分間隔で 追跡して全天候型カメラの写真と比較し,約1m/sの RMS 誤差であることを示した.

MSC 等では台風周辺の雲移動ベクトルについて短 時間間隔画像の有効性とそれによる海面風の推定の可 能性についての調査 (Uchida et al., 1991, Ohshima et al., 1991) が行われた、台風の周辺では、雲の変形が大 きく、また下層の雲は上層雲に覆われてしまうので、 従来から使われている 30 分間隔の画像では台風周辺 の下層の雲移動ベクトルを抽出することが難しい. そ こで短時間の15分間隔や7.5分間隔の画像を撮影し, 下層風が自動抽出された。その結果、短時間間隔(15 分、7.5分)の画像から抽出された雲移動ベクトルの方 が、30分間隔よりも台風中心に近く高密度に抽出でき ることが分かった。現在 MSC では台風が発生すると 1日に1回,台風周辺で15分間隔の画像を撮影し,下 層雲の移動ベクトルを抽出して、台風予報作業の支援 資料(第14図)として気象庁予報部へ送信している。 また数値予報の台風予報への利用可能性の調査も始め られている.

さて,これまで各抽出センターで使用されてきた画 像の時間間隔を第4表に示す.2項で述べたように現 在の衛星では今より短い時間間隔で地球の北から南ま で撮影するのは無理であるが,より詳細な現象の把握 を可能とするためにさらに検討していくべき課題であ る.

6. まとめ

最後に今後の可能性について触れておきたい.

日本においては、平成7年始めに新しいセンサーを、 搭載したひまわり (GMS-5) が打ち上げられる予定で ある. GMS-5の搭載センサーは、可視チャネルはこれ までと同じであるが、赤外チャネルが分割された 11 μ m帯と12 μ m帯のスプリットウインドー・チャネル となり、新たに水蒸気チャネル(6.5~7.0 μ m)が加わ る予定である.従って、水蒸気パターンからの水蒸気 風の抽出と、水蒸気チャネルやスプリットウイン ドー・チャネルを使った上層風の高度設定の精度向上 が期待されている.

	気象衛星センター (MSC)	米国環境衛星資料 情報局 (NESDIS)	欧州衛星運用センター (ESOC)	インド気象局
上(中)層風	30分 (1987.3~)	30分(1982.7~)	30分(注)	30分
	90分(~1987.2)	120分(~1982.6)		
下層風	30分	30分	30分(注)	30分

第4表 追跡に使用する雲画像の時間間隔

注) 3 枚の30分間隔画像から抽出された 2 つの移動ベクトルの平均を出力するので実質的 には60分間の移動を表現している.





米国においては、地球の雲画像を撮影するイメー ジャーと大気の鉛直温度分布を観測するサウンダーを 同時に使用することができる GOES-NEXT の開発が 進められている.これを使った高層風の抽出に関する 新たな計画についてはつかめていない.ただし、現在 はマニュアルでしか行っていない上層風の抽出に自動 法を組み込むことや、また、水蒸気風やサウンダーか ら抽出した傾度風などを利用して、ハリケーン解析用 に7層で抽出することが計画されている.

欧州においては,8チャネルのイメージャーと6

チャネ ルのサウンダーを搭載した次世代の METEOSATを1999年以降に運用することが計画されている.これにより、スプリット化された水蒸気チャネルと CO_2 チャネルを使い、雲移動ベクトルの高度設定の精度向上や抽出に適した雲の識別方法の開発が検討されている.また、欧州等の限られた領域を15分間隔で撮影して雲移動ベクトルの抽出を行い、ナウキャストに利用することなども検討されている.

なお、静止気象衛星以外の衛星から風を抽出するものとして、海上風を観測する SSM/I (搭載衛星は

DMSP) やマイクロ波散乱計 (ERS-1) があり,後者 は 1995 年打ち上げ予定の ADEOS にも搭載される. また高層の風を観測するライダーを軌道衛星に搭載す る計画もある.

さて、本解説では現業的に行われている静止気象衛 星からの高層風観測を中心に書いてきた.これ迄見て きたように、日本をはじめ各抽出センターでは、精度 の向上と抽出の(水平または鉛直)分布の密度を高め ることに様々な努力が払われてきた.海域も含めてこ れだけ広範なエリアで風観測ができる手段は気象衛星 以外には難しい以上、気象衛星による高層風観測の重 要性は変わらないと思われる.各センターでは新たな チャネル利用によるトレーサの発見も含めてさらに引 き続き精度向上等の努力がされることと思われる.

なお,本解説をまとめるにあたり,浜田忠昭気象衛 星室長に有益な御助言を頂きましたことに感謝いたし ます.

参 考 文 献

- Bowen, R. A., L. Fusco, J. Morgan and K. O. Roska, 1979 : Operational production of cloud motion vectors (satellite winds) from METEOSAT image data, Use of data from meteorological satellites, ESA SP 143, 1979, p65-75.
- —, and R. W. Saunders, 1984 : The Semitransparency correction as applied operationally to Meteosat infrared data : A remote-sensing problem, ESA Journal 1984, 8, 125–131.
- Bristor, C. L., 1975 : Central processing and analysis of geostationary satellite data, NOAA Tech. Mem. NESS 64, NOAA/NESS, pp155.
- de Waard, J., W. P. Menzel and J. Schmetz, 1992 : Atlantic data coverage by METEOSAT-3, Bull. Amer. Meteor. Soc, 73, 977-983.
- 土井恵治,内田裕之,内藤成規,1990:衛星画像から求 めた上層風の精度向上,気象衛星センター技術報告, 20,61-73.
- Eigenwilling, N. and H. Fischer, 1982 : Determination of midtropospheric wind vectors by tracking pure water vapor structures in METEOSAT water vapor image sequences, Bull. Amer. Meteor. Soc, 63, 44-58.
- Eyre, J. R. and W. P. Menzel, 1989 : Retrieval of cloud parameters from satellite sounder data : A simulation study, J. Appl. Meteor., 28, 267–275.

Fujita. T. T., 1991 : Interpretation of cloud winds,

Proceedings of Workshop on Wind Extraction from Operational Meteorological Satellite Data, 17-19 Sept. 1991 Washington, D. C., 99-104.

- Hamada, T., 1982 : Representative heights of GMS satellite winds, Met. Sat. Cent. Tech. Note, 6, 35-47.
 —, 1985 : Summary of operational wind derivation systems used during and after FGGE period, Met. Sat. Cent. Tech. Note, 12, 1-14.
- ------, 1986 : Improvements in geostationary satellite wind observations as a result of the Global Weather Experiment and applications of these in the context of the WWW system, Met. Sat. Cent. Tech. Note, 14, 1-28.

浜田忠昭, 1979:風計算, GMS システム総合報告, 気象 衛星センター技術報告(特別号 II-2), 15-42.

------, 1980:静止気象衛星「ひまわり」の画像から の風計算,天気, 27, 139-158.

- ,加藤一靖, 1984:GMS 風計算システムにおける客観的雲指定法と算出ベクトルの精度,気象衛星センター技術報告,9,27-38.
- Hayden, C. M. and T. R. Stewart, 1987 : An update on cloud and water vapor tracers for providing wind estimates, Preprint of sixth symposium on meteorological observations and instrumentation, 70-75, 1987, Amer. Meteor. Soc.
- Hoffman, J., 1990: Use of the spatial coherence method for cloud motion wind retrieval, CGMS -XIX ESA WP10 atachment, Prepared by ESA.
- 柏木啓一, 1990: SATOB データについて, 気象データ と客観解析, 数値予報課別冊報告 36 号, 46-51.
- 加藤一靖, 1983:静止気象衛星の画像データによる気象 要素の抽出,気象研究ノート,148,685-786.
- Kelkar, R. R. and P. N. Khanna, 1986 : Automated extraction of cloud motion vectors from INSAT 1B imagery, MAUSAM, 37, 4, 495-5.
- Kelly, G and J. Pailleux, 1989 : A study assessing the quallity and impact of cloud track winds using the ECMWF analysis and forecast system, Proceedings of ECMWF/EUMETSAT Workshop, The use of satellite data in operational numerical weather prediction : 1989-1993, 9-12 May 1989, 2, 317-338.
- 気象衛星センター,1988:風ベクトル,気象衛星資料利 用の手引き,69-84.
- Menzel, W. P., W. L. Smith and T. R. Stewart, 1983 : Improved cloud motion wind vector and altitude assignment using VAS, J. Climate Appl. Meteor., 22, 377-384.
- Merril, R., W. P. Menzel, W. Baker, J. Lynch and E. Legg, 1991 : A report on the recent demonstration

of NOAA's upgraded capability to derive cloud motion satellite winds, Bull. Amer. Meteor. Soc, 72, 372-376.

- Mosher, F. R. and T. Stewart, 1981 : Characteristics of water vapor tracked winds, NAVENPERRSCH-FAC Contractor Report, CR 81-06, 52pp.
- Ohshima, T, H. Uchida, T. Hamada, and S. Osano, 1991 : A comparison of GMS cloud motion winds with ship-observed winds in typhoon vicinity, The Geophysical Magazine, 44, 27-36.
- 大島隆, 1988:自動算出法の現業用上層風算出システム の適用と算出ベクトルの特性. 気象衛星センター技術 報告, 17, 45-62.
- ーーーー, 1989:風計算処理, GMS システム更新総合報 告 (1989 年版), 気象衛星センター技術報告 (特別号 II -データ処理編), 85-102.
- 斎藤和雄,高野功,1987:マルチセグメントデータによ る準総観規模低気圧の下層風,気象衛星センター技術 報告,15,67-78.
- Schmetz, J., M, Nuret, O. Turpeinen and B. Mason, 1986 : Recent improvements of cloud track winds, Report of the Proceedings 6 th METEOSAT Scientific User's Meeting, Amsterdam 25-27 Nov. 1986.
- Stewart, T. R., C. M. Hayden and W. L. Smith, 1985 : A note on water-vapor wind tracking using VAS data on McIDAS, Bull. Amer. Meteor. Soc, 66, 1111 -1115.
- Suomi, V. E., R. Fox, S. S. Limaye and W. L. Smith, 1983 : McIDAS III : A modern interactive data

access and analysis system, J. Climate Appl. Meteor., 22, 766-778.

- Szejwach, G., 1982 : Determination of semitransparent cirrus cloud temperature from infrared radiances : Application to METEOSAT, J. Appl. Meteor., 21, 384-393.
- 高橋大知, 1981:アースエッジ検出法による VISSR 画 像の位置合わせについて,気象衛星センター技術報告, 3, 55-68.
- Thoss, A, 1991 : Cloud motion winds, Validation and impact on numerical weather forecasts, Proceedings of Workshop on Wind Extraction from Operational Meteorological Satellite Data, 17-19 Sept. 1991 Washington, D. C., 105-112.
- Uchida, H., T. Ohshima, T. Hamada and S. Osano, 1991 : Low-level cloud motion wind field estimated from GMS short interval images in typhoon vicinity, The Geophysical Magazine, 44, 37-50.
- ———, 1991: Height assignment of GMS high -level cloud motion wind, Proceedings of Workshop on Wind Extraction from Operational Meteorological Satellite Data, 17-19 Sept. 1991 Washington, D. C., 27-32.
- Whitney, L. F., Jr., 1984 : Satellite derived products, Winds, NESDIS, Prepared paper for CGMS-XIII.
- Woick, H., 1991 : Verification of cloud motion winds, Proceedings of Workshop on Wind Extraction from Operational Meteorological Satellite Data, 17-19 Sept. 1991 Washington, D. C., 127-131.



教 授 公 募 東京大学大学院理学系研究科 地球惑星物理学教室

- 1. 公募の対象
- (1) 固体地球物理学を専門とするもの 教授1名
- (2) 大気海洋物理学(主として海洋物理学)教授1名
 を専門とするもの
 計2名
- 2. 着任時期
- (1) は平成5年度内,(2) は平成6年4月を予定
- 3. 応募書類等
 - ・略歴書(学歴および職歴)
 - ・業績目録(レフェリーのある論文と,それ以外の 総説等に分けて下さい)
 - ・主要論文3編の別刷またはコピー
 - ・他薦の場合は推薦状,自薦の場合は応募者に関す る所見を伺うことのできる2~3名の方の氏名,

住所等

- ・今後の研究計画・抱負など(自薦の場合, A4版 2枚程度)
- 4. 応募・推薦締切:平成5年8月31日(火)必着
- 5.書類送付先並びに問い合わせ先 〒113 東京都文京区弥生2-11-16 東京大学大学院理学系研究科 地球惑星物理学教室 主任 浜野 洋三 Tel 03-3812-2111 内線4293 Fax 03-3818-3247

応募書類の封筒には「教授応募」と朱書し, 簡易書 留で郵送して下さい.