

# SEASAT 衛星の散乱計データによる 海上風向・風速場の解析

竹 田 厚\*

国立防災科学技術センター平塚支所

## An Analysis of Wind Fields over the Ocean from Data taken by a Microwave Scatterometer on SEASAT

By

**Atsushi Takeda**

*Hiratsuka Branch, National Research Center for Disaster Prevention  
No.9-2, Nijigahama, Hiratsuka, Kanagawa-ken 254*

### Abstract

As the wind-measuring scatterometer(SASS) on the satellite SEASAT cannot provide a unique solution for a wind vector measurement, information on wind fields over the ocean may not be directly obtained.

In this study, we tried tentatively to determine the most profitable solution from the SASS's processed data with the aid of surface weather maps and cloud photographs taken from the geostational satellite GMS, and we obtained charts of wind vector distributions over the seas around the Japanese Islands which clearly indicated typical patterns of wind fields around a typhoon or a front. The results were compared with marine meteorological data.

This new technique involving the scatterometer will contribute much to the forecasting of disasters in coastal areas.

### 1. まえがき

外洋上の風向・風速の分布状況は、沿岸における異常現象—高波・高潮・異常潮位等—の形成過程を解明し、その発生を予測するためには不可欠の情報である。これらの現象の水平スケールから推して、数千kmの範囲の海域にわたって数十kmの間隔で、風のデータが得られることが望まれている。

従来、海上の風の観測データの取得は、きわめて少数の気象観測船や気象観測用ブイなど

\* 沿岸防災第1研究室

のほかは、もっぱら商船や漁船に頼るしかなかったが、これらは特定の航路沿いや沿岸海域に偏在することが多かった。また最近、静止衛星から時間をおいて撮った写真で特定の雲の動きを追跡し風向・風速を推定する方法が実用化されつつあるが(浜田, 1980)この方法でも地上(海上)の風の細かい分布を知ることは不可能と思われる。

1978年夏, N A S A (米国航空宇宙局) が打ち上げた海洋実験衛星 SEASAT-I 号には, 測風用マイクロ波散乱計システム SASS (Seasat-A Scatterometer System) が搭載され, はじめて人工衛星からのリモートセンシングによる海上風の本格的観測に成功した (Jones *et al.*, 1979). この方法によれば, 衛星が周期100分で地球を周りながら軌道下の幅約 1000 km の帯状の海域の風向風速を 50km の格子間隔で測定することができる。しかもマイクロ波を使ったレーダであるから, 海面でありさえすれば, 雲や日射に関係なく連続的な測定が可能である。したがってこの方法による海上風観測が実用化されれば, 単に航海の安全や沿岸災害の防止にとどまらず, 広汎な目的に沿ったデータが提供されるものと大きな期待が寄せられている。

SEASAT-I は残念ながら3カ月余で全機能を停止してしまっただが, その間, 得られた龐大な量の SASS のデータは, 並行して行なわれた GOASEX (Gulf of Alaska Seasat Experiment) などの海上観測データと照合されながら解析が進められており, 現在までの N A S A の検討結果では, 風速 2 ~ 20m/s の範囲では, 風向・風速がそれぞれ  $\pm 20^\circ$ ,  $\pm 2\text{m/s}$  の精度で測定できるというきわめて満足すべきものであった (Jones *et al.*, 1979).

このように SASS によって具体化された測風散乱計の技術は優れたものであるが, データの利用に際しては検討を要する問題がいろいろある。その一つは, SASS が直接測定する「正規化後方散乱断面積」の値を, 風速ベクトル値に変換するとき, 解が四つ出てくることである。この中から一つの最適解を決定する方法はまだ一般的には確立されておらず, データ利用者の工夫に任されている。今回の解析では, 天気図から推定される地衡風の向きと気象衛星 GMS の写真の雲の形を参考にして風向を決定するという方法をとった。本稿ではこの手続きを中心に SASS データを利用した海上の風向・風速場の解析方法とその結果の検討について論じてみたい。

## 2. SASS による海上風の測定法

これらの問題を論ずるには, マイクロ波散乱計による海上風の測定技術について触れておく必要がある。これについてはすでに詳しい解説があるので(たとえば, 竹田, 1980), ここでは SASS を例にとって要点だけを述べる。

### 2.1 原理

マイクロ波の海面散乱のプロセスは基本的には鏡点 (specular point) 散乱モデルと Bragg 散乱モデルによって記述できる。前者はマイクロ波ビームの海面に対する入射角が  $20^\circ$  以下

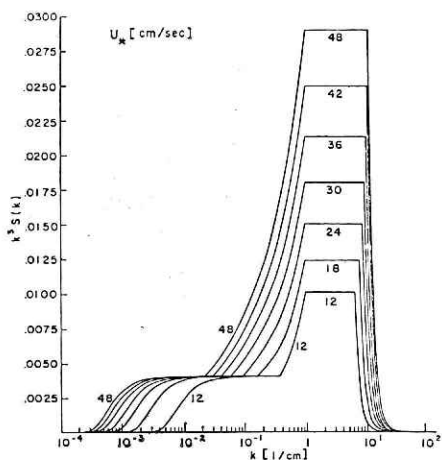


図 1 風速をパラメータとした風波の波形勾配の波数スペクトル (Pierson, 1975 による)  
 Fig. 1 Wave slope spectra for various wind speeds ( $U_*$ : friction velocity); from Pierson (1975).

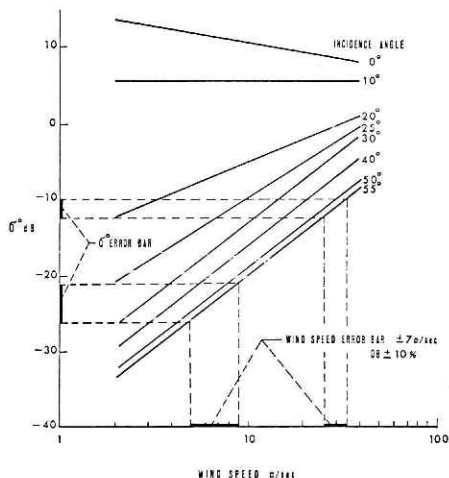


図 2 入射角をパラメータとした風速と後方散乱断面積  $\sigma^0$  の関係—横風の場合— (Grantham *et al.*, 1975 による)  
 Fig. 2 Back-scattering coefficient  $\sigma^0$  versus wind speed for various values of incidence angle—cross-wind case—; from Grantham *et al.* (1975).

のとき、後者は  $20^\circ$  以上のときに適用できるが、SASS にとって重要なのは後者である。Bragg 散乱は海面に存在する「さざ波」が回折格子の働きをしてマイクロ波を散乱させるもので、マイクロ波の波数  $K$  とさざ波の波数  $K'$  との間に

$$K' = 2K \sin \theta \quad (\theta: \text{入射角}) \dots (1)$$

なる関係があるときに起こる。このとき入射方向に戻る散乱波の強度 (通常、正規化後方散乱断面積  $\sigma^0$  で表わす) は(1)式の関係にあるさざ波の波数成分の波形勾配のスペクトル密度に比例する。

一方、さざ波の波形勾配のスペクトル密度は、図 1 に示すように、風速への依存性が明瞭であることが、Mitsuyasu and Honda (1974) や Pierson (1976) によって示された。

この二つの独立の物理過程をうまく結びつけて応用したのがマイクロ波散乱計による測風原理で、たしかに、 $\sigma^0$  と風速  $U$  の間には、入射角  $\theta$  をパラメータとしたとき、図 2 に示すような整然とした関係があることが、多くの実験から明らかにされている。

ところがさざ波の波形勾配は伝播方向 (風ベクトルの向きに一致する) で最も大きく、そ

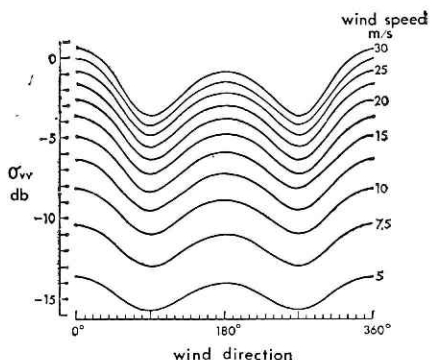


図 3 風速をパラメータとした風向と後方散乱断面積  $\sigma^0$  の関係 (Grantham *et al.*, 1975 による).  
 Fig. 3 Back-scattering coefficient  $\sigma^0$  versus wind direction for various wind speeds; from Grantham *et al.* (1975).

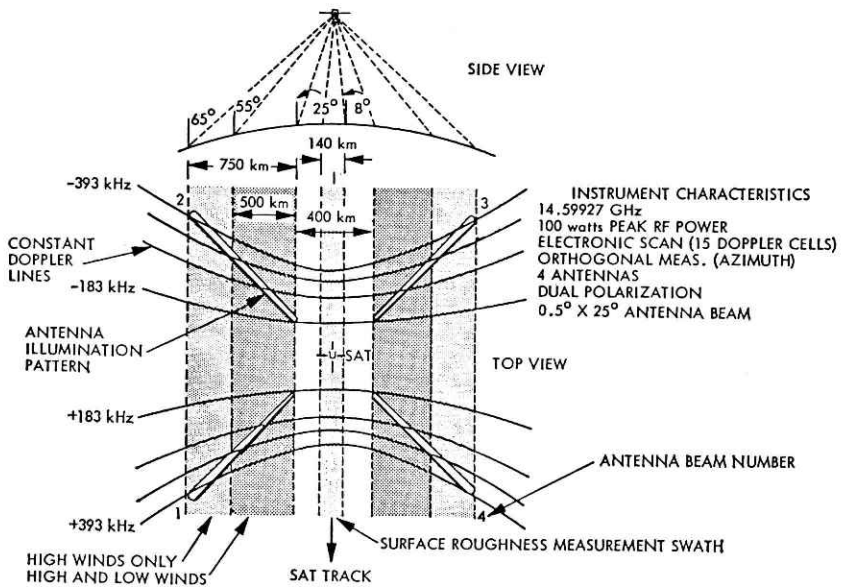


図4 SASSの地上照射パターン (footprint) と測定区域幅。上は衛星の進行方向から、下は真上からみた図。陰影の部分が生測定区域、曲線は等ドップラーシフト線  
 Fig. 4 SASS illumination pattern.

れに直角な方向では最小となるので、同じ風速、入射角のもとでも、風向とマイクロ波ビームの方位角の差によって $\sigma^{\circ}$ の値は変る(図3)。この特性を使って風速のみならず風向をも知ることができる点が、この測風原理の特長になっている(Grantham *et al.*, 1975)。

## 2.2 SASSのハードウェア

衛星上からのリモートセンシングを行なうSASSでは、上述の原理にのっとりたうえて、同時にできるだけ広い海域を、要求されたスケールの分解能で測定するための設計がなされた。まず、垂直面内で、入射角が25°から65°の範囲(Bragg散乱が有効である範囲)をカバーするような扇形ビームを放射する。これは約800km下の海面上に長さ約1000km、幅約50kmのfootprintを描く。このfootprint内の各地点から散乱によって衛星に戻ってくるマイクロ波信号は、各地点の衛星に対する相対速度のちがいがから周波数がドップラーシフトされているので、濾波器でスペクトル分解すれば散乱地点ごとに分別することができる。この方法により footprintは最大15のセルに区分され、実効分解能50kmの各セルごとに空間平均された $\sigma^{\circ}$ の値が測定される。この扇形ビームは衛星の進行方向から左右両側それぞれ45°と135°の方向に放射される。片側の2本のビームは衛星の進行に伴って相前後して同じ海面を90°異なる方角から照射することになり風向を知るための情報をうる。左右各2本のfootprintが掃引する測定海域の幅は通常、それぞれ軌道直下から200kmに始まり700kmに終る500kmであるが、強風域ではこれを750kmに広げることができる(図4)。

この設計では、風速 2~48m/s の範囲の風を、風速については  $\pm 2$  m/s (または  $\pm 10\%$ )、風向については  $\pm 20^\circ$  の精度で測定できることになっている。

なおビームの入射角が  $0^\circ$  に近い軌道直下の海域については鏡点散乱モデルに基づく測定法があり、SASS でも観測を行なったが、データの有意性については疑点があるので本稿ではこれに関する議論は省略する。

### 2.3 SASS のソフトウェア

衛星上の SASS が受信した信号の電力からは、まず各セルごとに  $\sigma^0$  が計算され、つぎに風向・風速値が算出される。これらの計算は、それぞれの量を支配する物理モデルを設定したうえで作られた、二つのアルゴリズム— $\sigma^0$ -アルゴリズムと、風ベクトル (地球物理量) アルゴリズム—によって実行される。

$\sigma^0$ -アルゴリズムはよく知られているレーダ方程式で表現される。その中に含まれるいろいろのパラメータを、地上からの送信データあるいは衛星上での観測によって与えて、衛星上で計算を行なったのち地上に  $\sigma^0$  の値として送られてくる。

風ベクトルアルゴリズムの考え方は、基本的には、第 3 図の中に方位角で  $90^\circ$  の差をもった二つの測定値を与え、無数にある曲線群の中から、この 2 点を通るものをいかに選び出すかというものである。実際には、海面のある 1 点を  $n$  個のセルがほとんど同時に通過したとしてそれぞれのセルについての  $\sigma^0$  の値を  $\sigma_1^0, \dots, \sigma_n^0$  とするとき、これらから一つの風速値  $U$  が決まる確率  $P$  をベイズの式

$$P = \frac{\prod_{i=1}^n \exp\{-(\log \sigma_i^0 - \log F_i)^2 / 2 \delta_i^2\}}{dU \prod_{i=1}^n \exp\{-(\log \sigma_i^0 - \log F_i)^2 / 2 \delta_i^2\}} \quad \dots\dots(2)$$

により求め、 $P$  を極大にするような  $U$  の値を求めるという方法をとる。ここで  $F$  は  $\sigma^0$  の分布を与える入射角  $\theta$ 、方位角  $\phi$  および  $U$  の関数、 $\delta_i$  は  $\sigma_i^0$  の標準偏差である。SASS の場合は  $n=2$  で、 $P$  の極大値は一般に四つとなる。つまりこのアルゴリズムによる解 (根) は四つ存在し、その中から最適値一つを決定するためには SASS のデータ以外の情報を必要とする。このアルゴリズムには現在、Wentz, KUNY および KU の三つの異なる型があるが、平均値等の扱い方に差があるだけで本質的なちがいはない。なお風速値  $U$  は摩擦速度  $U_*$  または海上 19.5m の高度の風速値  $U_{19.5}$  で表わされている (Jones *et al.*, 1978)。

## 3. SASS データの解析

### 3.1 使用した SASS データについて

今回の解析に使用したデータは、NASA が IGDR (暫定版地球物理量データ集) として公表した SASS のデータの中で、周回番号 693 の日本付近の部分である。IGDR では、

SASSのデータはすべて $\sigma^0$ から風速ベクトル値に変換済みであるが、前述のように四つの解がそのままの形で載せられている。暫定版となっているのは、事前に用意されたアルゴリズム(航空機やSKYLABによる実験を通じて作られたもの)がまだ不完全で、SEASATの観測結果によって改良される余地があることを意味している。データはCCTに収められておりそのフォーマットはNASAとJPL(カリフォルニア工大ジェット推進研究所)によって作られた利用者用ハンドブック(Ronai, 1979)で説明されている。それによって解読すると、各測点について、観測時刻、位置、入射角、使用した $\sigma^0$ のセルの数、それに四つの風速ベクトル値の解が、摩擦速度 $U_*$ 、19.5m高度の風速 $U_{19.5}$ および風向の順序でそれぞれの標準偏差値とともに書き込まれている。周回番号693の日本付近の軌道下軌跡はオホーツク海から静岡付近を経て、フィリピン東方海上に至るもの(赤道に対する傾角は $108^\circ$ )で、衛星は1978年8月14日1130 GMTごろ(日本時間同日20時30分ごろ)、この区間約4000kmを北から南へ10分間程で通過している。このとき沖縄南東約400kmの海上には台風7811 'Carmen'があった。同日1200 GMTの日本付近の地上天気図(気象庁発行)を図5に示す。

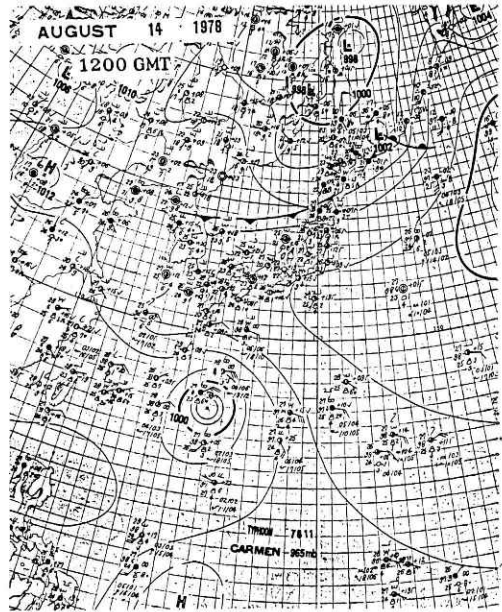


図5 解析に使ったデータが観測された直後の日本付近の地上天気図—1978年8月14日1200 GMT—(気象庁発行の印刷天気図から)

Fig. 5 Surface weather map at 1200 GMT August 14, 1978.

解析に先立ってCCT上のデータを地図上にプロットしたのが図6である。図では、各測点を原点として、その点で風速の四つのベクトル解を線分の向きと長さで示してある。大部分の測点では、ベクトルの絶対値(風速)の大きさには、大きな差はなく、四つの向きのうち二つずつがほぼ $180^\circ$ ずれていて×型を描いている。これら×印で表わされたデータは、幅400~500kmの2条の帯状の海域内に無数に分布している。これら2条の海域はSASSのアンテナから発信された左右2対の扇形ビームのfootprintが前後して通過したswathであり中央の空白部分は、入射角の関係でBragg散乱モデルの方式では測定されない区域である。衛星はこの部分の中心線上808kmの高さを翔んでこの観測をおこなった。またよくみると各×印は、軌道下軌跡に $45^\circ$ と $135^\circ$ の線に関して対称であることに気づく。これは図3の特性曲線が調和関数であることに由来する。なお各×印に添えてある数字は四つのベク

SEASAT 衛星の散乱計データによる海上風向・風速場の解析—竹田

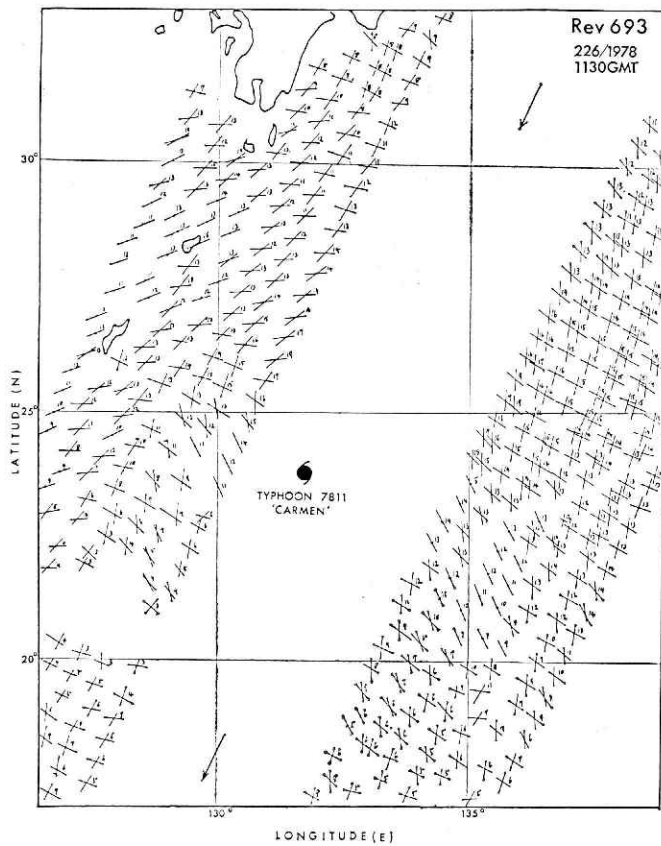
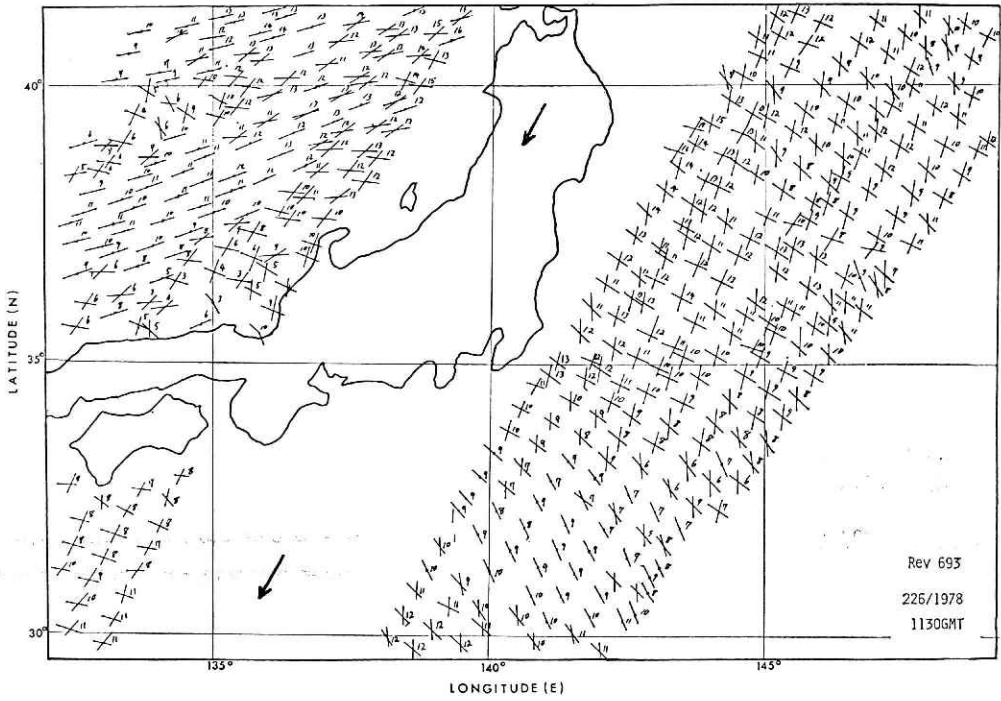


図 6 SASS の測定値から計算された四つの風速ベクトル解のプロット。×印は測定点の位置を原点として四つのベクトルを線分で表わしたもの (IGDR データによる)

Fig. 6 Plots of four wind vector solutions from SASS IGDR of Rev. No. 693.

トルの絶対値（風速）の平均値を m/s（小数点以下四捨五入）で表わしたものである。

### 3.2 解析——天気図と衛星写真を利用した最適解の選択法——

この解析では、ベクトルの向き、すなわち風向の適否から最適解を求める方法をとった。それは、すでに述べたように四つのベクトルの大きさ（風速）がほとんど同じであることと、風速の場合、風向にくらべて参考にする資料に乏しいからである。

日本付近のように海上の気象観測データが比較的多い海域では天気図の等圧線のパターンはかなり信頼できるものと考えられる。等圧線の曲率が小さいところでは、高度1000m以上の上層の風は地衡風として近似でき、風向は等圧線に平行で、北半球の場合、気圧の高い側を右に見て空気は流れている。高度約1000m以下のプラネタリー境界層内では、気流は地表面まさつの影響を受け、風速ベクトルは高さの変化とともにいわゆるエクマン螺旋を描き、地表では地衡風の向きよりも気圧の低い側にずれるが、中緯度の海上の中立大気の場合、その角度は $10^\circ$ ないし $20^\circ$ であるといわれている(Lettau, 1957)。また等圧線の曲率が大きい高低気圧の周辺では傾度風を考えるべきであろう。

実際の作業では、図6の中に図5の天気図から写しとった等圧線を書き込み、さらに間隔が大きいところでは内挿によって数本を書き加えた。SASSの風向測定の設定精度は $\pm 20^\circ$ となっているので、上述の条件にこの点を配慮して等圧線となす角が（気圧の高い方を右にして）原則として右 $10^\circ$ から左 $40^\circ$ の範囲に入るベクトルを四つの中から選び出すという作業をおこなったところ解析した約500点の測点のうち約80%は一義的に一つのベクトルを選ぶことができた。残り約20%のうち、四分の一は上の条件を満たすベクトルが二つあり、また四分の三は四つの解すべてがこの条件に合わなかった。このように天気図の等圧線から推定される風向に適合する解がない状態は、1測点だけで単独に発生することは少なく、たいいてい周囲の何点かで、かたままって起こっている。このような例は、たとえば日本海南部あるいは沖縄南方海域にみられた。観測時におけるこれらの海域は台風に伴う気圧場と一般場との境目になっておりそれに伴って風系も複雑になっていることが予想される。

そこでこのような場合の風向を推定するための参考資料として東経 $135^\circ$ の赤道上に静止する気象衛星GMS-I（ひまわり）の写真（気象協会発行）を利用することを試みた。理想的には、はじめに述べたような下層雲の動きを追跡する方法が望ましいが、専門的な知識や技術を要するのでここでは単純に下層雲と思われる雲の連なり方、筋の向きなどから風の方角を推定することにした。しかし日中の可視域の写真では、細かい雲の形も判読できるが、この場合のように（日本時間20時30分頃）日没後であると、分解能の低い赤外域の写真になりとくに下層雲の判読はむずかしい。したがってかなり大まかな風向推定しかできなかったが、これを参考にして天気図からは判定困難の測点のベクトル解を選択した。

以上のような手続きを経てもなお風向の決定のむずかしい場合は周囲の測点の選択ずみの解から内挿した風向に最も近いベクトル解を選んだ。



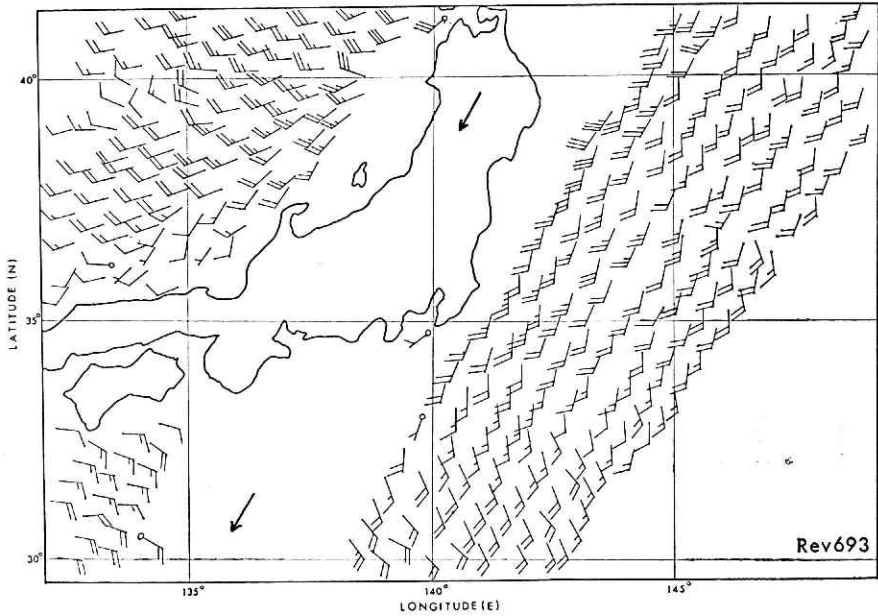
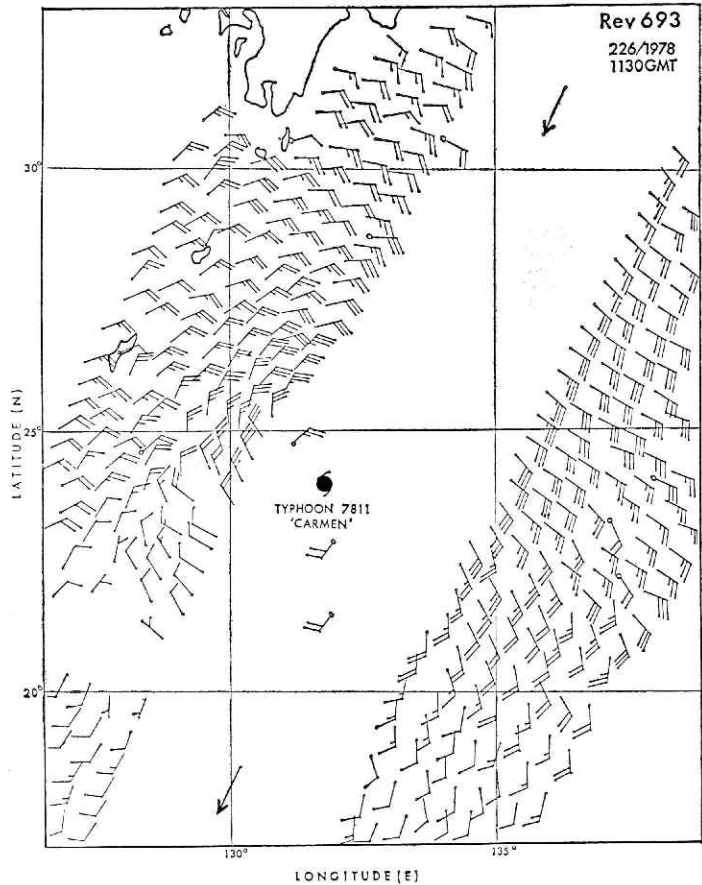


図 7 SASS データから天気図・衛星写真を参考にして求めた日本付近の海上の風向・風速分布. 矢羽根の矢が風向, 長短の羽根 1 本がそれぞれ, 5m/s, 2.5m/s の風速を表わす. 矢の先に○印のついたものは海上観測データを示す.

Fig. 7 Wind vector fields over the seas around Japan derived from SASS IGDR plotted in Figure 6 with the aid of a surface weather map and cloud pictures taken from the geostational satellite GMS.



今回の解析では、地上（海上）の観測データを直接参考にすることは避けた（天気図を通じて間接的には利用したが）、これは SASS による海上風測定が、海上における風向・風速の直接観測とは全く独立の方法によって行なわれたものであるとして比較、照合を行ないたいからである。ここで天気図や衛星写真からの情報を使ったのは測定値を決定するための条件を与えるためではなく、その存在範囲を示す条件を与えたに過ぎない。

このようにして求めた SASS による GMT 1978年8月14日11時30分頃の日本付近の海上風の分布を図7に示す。風速ベクトルは矢羽根で表わし、矢の方向が風向、羽根は短いものが 2.5m/s (5ノット)、長いもの1本が 5 m/s (10ノット)を示す。

#### 4. 解析結果とその海面照合

##### 4.1 SASSによる海上風観測例

SEASAT 衛星の SASS が観測したデータからは、結局、図7のような海上風の分布図が得られるわけである。この図には日本南方海上の台風をとりまく大きな渦巻状の風系と、日本海北部にある低気圧とそれから南西にのびる前線の周辺の風系、さらに三陸沖の高気圧から吹き出す風系などが鮮明に現われている。残念なことは、SASS の swath (観測域) が台風を中心部を通っていないため予想される高風速が観測されていないことである。この観測例で測定された最大風速は台風の北約 200km の海域の 19.4m/s、逆に最小風速は台風の南西約 400km の海上での 2.8m/s であった。

この結果の中で疑問に思う点が 2, 3 ある。一つは上述の最小風速が測定された海域（沖縄南方 400~600km）では台風域に近いにもかかわらず風速が弱く、測定可能範囲を下まわったためと思われるデータの空白域さえあることである。マイクロ波は雨滴では減衰するため、降雨域では  $\sigma^0$  が小さくなり（IGDR ではこの補正はされていないと思われる）SASS の測定風速は小さくなるが、衛星写真や那覇レーダの写真で調べた限りこの海域に強い雨雲があったという証拠はない。ただ、このときフィリピンの北方に熱帯低気圧があったため、それと台風11号との間では風が相殺されて実際にこの結果の示す通りの風になっていたとも考えられる。もう一つは沖縄や奄美大島など島の近くでその周辺より風速が強く特異点になっているように見えることである。このことについては、その測定点を決めたセルが島など散乱係数の大きな対象を含んでいたためではないかと考えるのが妥当であろう。

##### 4.2 海上照合

図7に示された結果の確からしさを検討する必要があるが、海上で直接観測された風のデータと単純には比較できない問題を含んでいる。すでに述べたように SASS の測定値は 50km のサイズのセルについて測られたもので空間平均された風速ベクトルであるのに対し、利用できる海上観測データはすべて空間的な 1 点 (spot) において観測された風速ベクトルでその値がどれだけの区域の風を代表しうるかは簡単には分らないからである。したがって

風速の分布に大きな水平勾配があるような場所では両者に大きな差があっても当然であるともいえる。

このような点を十分承知したうえで あえて比較を試みた。海上観測データとしては気象庁発行の印刷天気図の Dairy Weather Reports と同庁海洋気象部編集の国際海上気象統計オリジナルデータファイルの中から、1978年8月14日 1200 GMT のもので、50km 以内に今回解析した SASS の測定点が存在するものを選び出した。これらの条件を満足するデータは意外に少なく全部で22点しかなかった。これらの風速値を横軸に、最寄の SASS の測定点の値をたて軸にとってプロットしたのが図8である。この図で両者間の風向値の差が  $20^\circ$  以内のものは大きい黒丸、 $20^\circ$  から  $36^\circ$  (最大値) までのものは小さい黒丸で示した。破線は両軸の値が等しい場合を示す。この結果でみる限り 風速について

は両者間にかなりの相関は認められるもののバラつきは大きいと言わざるを得ない。設計精度の  $\pm 2$  m/s を満足しているのは22点中10点しかない。風向についても設計精度の  $\pm 20^\circ$  を充たしているのは12点にすぎない。NASA/JPL が中心になって行なっている GOASEX の workshop の検討結果が報告されているが (NASA/JPL, 1979)、海上観測値との間には直線的な高い相関はあるものの、やはりバラつきは大きいようである。この問題に関しては、spot 観測値の代表性、個々の海上観測値の精度など、検討の余地はある。第7図中には海上観測による風向・風速のデータも、先端に○印をつけた矢羽根で書き入れてある。

## 5. あとがき

以上のように今回の解析は、SASS データの精度を評価するよりも、まずその使い方を習得することに重点をおいた。短い期間ではあったが、SEASAT が観測した SASS のデータは龐大なもので、これを綿密に解析することによって得られる海上の風速場の情報は、海洋学・気象学の研究用資料として貴重なものであることはまちがいない。NASA/JPL では SEASAT で試みられたいくつかのマイクロ波センサー (高度計、放射計、合成開口レーダ) の中でも、SASS の成果を最も高く評価しており、その実用化は有望視されている。近い将来、さらに改良された測風散乱計を搭載した実用海洋観測衛星が打ち上げられることは、米

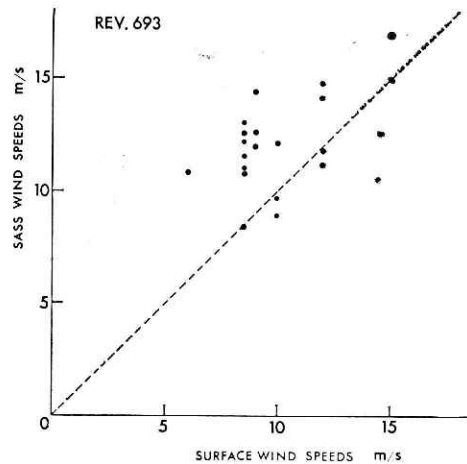


図8 SASS データから求めた風速値と海上観測風速値との比較。大きい黒丸は双方の風向値の差が  $20^\circ$  以内の場合、小さいものはその差が  $20^\circ$  ないし  $36^\circ$  の範囲のものを表わしている。

Fig. 8 Comparison of SASS winds with sea surface winds. A large solid circle shows the case where the wind direction difference is less than  $20^\circ$ .

国の NOSS 計画にみられるように、確実であり、また同一地点の観測頻度も増すであろう。そのときには今回の解析で得られたような海上風の分布は、沿岸に到来する高波などの異常現象の予測精度を格段に向上させるデータとなることは明らかである。

しかし今回解析した海域は天気図や衛星写真など信頼できる参考資料があったが、この条件がすべての海域に適用できるわけではない。少なくとも SASS 型のデータを全地球的に利用するにはまだ問題は多い。

## 謝 辞

この研究の解析作業にあつては国立防災科学技術センターの渡部勲氏、東海大学海洋学部学生の大槻明弘氏に大へんお世話になった。お礼を申し上げる。解析に使った SASS の IGDR データは宇宙開発事業団および財団法人リモートセンシング技術センターからの提供によるものであり、また海上気象データは気象庁海上気象課から提供をうけたものである。関係者のご厚意に深く感謝の意を表したい。この研究では科学技術庁が推進する「宇宙分野における日米協力」事業を通じて得た多くの文献等を参考にしたことを付記する。

## 参 考 文 献

- 1) Grantham, W. L., E. M. Bracalente, W. L. Jones, J. H. Schrader, L. C. Schroeder and J. L. Mitchell, (1975): An Operational Satellite Scatterometer for Wind Vector Measurements over the Ocean, NASA Tech. Memo., X-72672.
- 2) 浜田忠昭(1980): 静止気象衛星「ひまわり」の画像からの風計算, 天気, 27巻3号139~158.
- 3) Jones, W. L., E. J. Wentz and L. C. Schroeder, (1978): Algorithm for Inferring Wind Stress from Seasat-A, *J. Spacecraft, Rockets* 15, 368-374.
- 4) Jones, W. L. *et al.*, (1979): Seasat Scatterometer: Results of Gulf of Alaska Workshop, *Science*, 204, 1413-1415.
- 5) Lettau, H., (1957): Windprofil, innere Reibung und Energieumsatz in den unteren 500 m über dem Meer., *Beitr. Phys. Atmosphäre*, 30, 78-96.
- 6) Mitsuyasu, H. and T. Honda, (1974): The High Frequency Spectrum of Wind Generated Wave, *J. Oceanog. Soc. Japan*, 30, No. 4.
- 7) NASA/JPL (1979): SEASAT Gulf of Alaska Workshop Report Vol. 1.
- 8) Pierson, W. J. (1976): The Theory and Applications of Ocean Wave Measuring Systems at and below the Sea Surface on the Land, from Aircraft and from Spacecraft, NASA Contractor Report, NASA CR-2646.
- 9) Ronai, P., (1979): Seasat Interim Geophysical Data Record (IGDR) Users Handbook—SASS, NASA, JPL., 622-204.
- 10) 竹田厚(1980): 衛星による海上風のリモートセンシング, 天気27巻3号, 87~102.

(1980年12月8日 原稿受理)