

マイクロ波 (Aqua/AMSR-E) 画像による台風強度推定

Estimation of Tropical Cyclone's Intensity Using Aqua/AMSR-E Data

吉田資朗¹、酒井誠¹、小司晶子²、広畑雅哉¹、志水菊広¹

YOSHIDA Shirou, SAKAI Makoto, SHOUJI Akiko, HIROHATA Masaya, SHIMIZU Akihiro

Abstract

The authors carried out an estimation of a tropical cyclone's intensity using a method devised by Hoshino and Nakazawa (2007) that makes use of the microwave imagery of the AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS), which is installed on the earth observing satellite Aqua. The results indicated a high correlation with the best track data provided by the Japan Meteorological Agency (JMA), proving that this estimation technique can be used as a reference for intensity analysis. It is expected that this estimation technique will enable us to correct tropical cyclone intensity analysis performed using the Dvorak method and conduct a more exact and objective intensity analysis.

要 旨

Hoshino and Nakazawa (2007) の手法を用いて地球観測衛星 Aqua に搭載されている AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS) センサのマイクロ波画像による台風強度の推定を行なった。その結果、気象庁が確定したベストトラックデータと高い相関が得られ、強度解析の参考資料として十分利用できることが判った。これによりドボラック法による台風強度解析を補正し、より正確で客観的な強度解析が可能になると考えられる。

1. はじめに

台風の強度解析には、地上データ、船舶データ、静止気象衛星画像、マイクロ波散乱計(QuikSCAT 衛星に搭載される SeaWinds センサ等)のデータ等が利用されているが、海上に存在することの多い台風に対して利用できるデータは少ない。このため静止気象衛星画像を用いて台風の強度推定が可能なドボラック法(Dvorak(1975,1984))による解析結果が台風の強度解析の重要な判断材料となる。しかし、ドボラック法では台風の発達段階の判定を誤ると強度解析結果が大きく異なることがあるため、解析者には

台風のライフステージを考慮して台風強度を決定することが求められる。このような解析者の主観的な解析による誤判断を避けるためには、熟練した解析技術の取得が必要となる。また、ドボラック法は統計による手順を含むため、例外的に急激に発達・衰弱する事例の解析が難しいこともある。これらのことから、ドボラック法による台風解析手法以外の方法による台風強度推定の判断材料があれば、より客観的に強度を推定することが可能になると考えられる。本稿では Hoshino and Nakazawa(2007)の手法を用いて地球観測衛星 Aqua に搭載されている AMSR-E センサのマイクロ波画像による台風強度推定の検証を行なったのでこれを報告する。

¹気象衛星センターデータ処理部解析課

²気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室

(2008年9月19日受領、2009年3月12日受理)

2. 調査方法

2.1 調査に用いた解析ツールと解析手法

解析ツールは GMSLPM/SATAID を用いた。

SATAID (**S**atellite **A**nimation and **I**nteractive **D**iagnoses) とは気象衛星画像の動画や輝度温度等の測定、各種気象資料の重ね合わせなどパソコン上で衛星画像解析ができるソフトウェアのことである(気象衛星センター(1999)、Kumabe(2000)、隈部(2001))。今回は、この衛星画像表示解析ソフトウェアのうち、マイクロ波画像が表示可能なバージョンである GMSLPM を用いた。

強度推定方法は、Hoshino and Nakazawa(2007)の手法による。これは地球観測衛星 TRMM に搭載されている TMI センサ(以下、TRMM/TMI)のマイクロ波周波数帯における輝度温度分布を用いた手法である。Hoshino and Nakazawa(2007)は 1999 年から 2003 年のデータで算出式を作成し、2004 年の北西太平洋のデータを用いて検証している。今回の検証では星野氏が同手法を用いて 2002 年から 2004 年のデータを使用し、Aqua 衛星に搭載されている AMSR-E センサ(以下、Aqua/AMSR-E)用にパラメータを再計算したものを使用した。なお、星野氏は 2005 年のデータを用いて検証を行っている。

具体的には予め決定した台風中心位置を用いて、中心周りの同心円/同心円環について最低/最高/平均輝度温度、あるしきい値以上のピクセルの割合などのパラメータを計算し(パラメータの計算領域は台風中心から半径 2 度以内)、既知データから得られた 10 個の回帰式により「最大風速の候補値」(V_{max})を計算する。その「10 個の最大風速の候補値」の平均値を推定される最大風速の値とするものである。推定される最大風速は 2 種類あり、北西太平洋のベストトラックデータの最大風速を既知データとして算出する値(BT_WP)と全球のマイクロ波散乱計(QuikSCAT 衛星に搭載されている SeaWinds センサ以下、QuikSCAT/SeaWinds)のデータの最大風速を既知データとして算出する値(SCAT_ALL)である。

表 1-1 に「最大風速の候補」(V_{max})を求める式とその回帰式に用いたパラメータを、表 1-2 にそのパラメータの説明を示す。

本調査で使用した衛星画像表示解析ソフト GMSLPM では、パソコン上で Aqua/AMSR-E 画像の台風中心位置をクリックすることにより前述の 10 個の回帰式から得られる「10 個の最大風速の候補値」(BT_WP および SCAT_ALL)とその平均値(BT_WP_Ave および SCAT_ALL_Ave)が求まる。GMSLPM による解析例を図 1 に示す。

2.2 調査対象とした台風と調査方法

調査対象は 2003 年 6 月から 2006 年 12 月の台風で、ベストトラックで台風として解析され、Aqua/AMSR-E 観測時刻の前後 3 時間以内でその観測範囲内にベストトラックの台風の中心位置を捉えている時間のみである。ベストトラックデータの間隔は最長で 6 時間であることから、Aqua/AMSR-E 画像とベストトラックの観測時刻のずれは 3 時間以内である。なお、Aqua/AMSR-E 画像は撮像時刻を 1 時間単位で示した。

調査には気象衛星センター解析課でマイクロ波衛星画像による台風中心解析調査に使用した画像と、その際に求めた中心位置(2003 年から 2005 年)を使用した(西村ら(2007))。また、2006 年の Aqua/AMSR-E 画像については、新たに中心位置の決定を行った。中心位置決定手順は上記の西村ら(2007)と同様である(図 2)。Hoshino and Nakazawa(2007)はベストトラックの内挿によりベストトラックデータのない時刻の台風中心位置を決定していたが、本調査ではマイクロ波画像から中心を決定したためより正確な位置を採用しているといえる。

中心推定に用いたマイクロ波画像の台風雲パターンは上記の西村ら(2007)に従った。よって、ドボラック法による台風雲パターンとは異なる。このマイクロ波画像の台風雲パターンの例を図 3 に示す。以下、マイクロ波画像の台風雲パターンには MW EYE 等、先頭に MW を付加して記述する。ドボラック法

による台風雲パターンの分類は気象衛星画像の解析と利用—熱帯低気圧編—(気象衛星センター 2004)に従った。

が KT であるため、KT とした。ただし、Hoshino and Nakazawa(2007)の調査では、m/s を用いているため、精度検証の比較には m/s を用いた。

なお、最大風速の単位は、ベストトラックデータ

表 1-1 「10 個の最大風速の候補値」(V_{max})を計算する回帰式と BT_WP 算出のためのパラメータの組み合わせ(上表)
SCAT_ALL 算出のためのパラメータの組み合わせ(下表)

最大風速の候補値を求める回帰式： $V_{max} = aP1 + bP2 + cP3 + d$

	a	P1	b	P2	c	P3	d
1	0.099	TB07H_AREA110_C10	0.31	TB07V_MIN_C05	0.29	TB10H_MIN_A0515	-59.48
2	0.19	TB07H_AREA110_C10	0.42	TB10H_MIN_A0515	0.28	PCT89_MEAN_A1020	-97.47
3	0.57	TB07V_MIN_C05	0.36	TB10H_MIN_A0515	0.036	PCT89_MIN_C10	-115.59
4	0.16	TB07H_AREA110_C10	0.38	TB07V_MIN_C05	0.048	PCT89_MIN_C10	-54.04
5	0.13	TB07H_AREA110_C10	0.30	TB10H_MIN_A0515	0.22	TB19V_MIN_C05	-55.29
6	0.12	TB07H_AREA110_C10	0.37	TB07V_MIN_C05	0.21	TB24H_MIN_A1015	-90.43
7	0.25	TB07H_AREA110_C10	0.20	TB19H_MEAN_A1520	0.43	PCT89_MEAN_A1020	-136.12
8	0.12	TB07H_AREA110_C10	0.37	TB07V_MIN_C05	0.10	TB19H_MEAN_A1520	-62.86
9	0.52	TB07V_MIN_C05	0.38	TB10H_MIN_A0515	0.034	PCT89_MIN_A1020	-108.86
10	0.50	TB07V_MIN_C05	0.52	TB10H_MIN_A0515	0.18	PCT89_MEAN_A1020	-161.25

	a	P1	b	P2	c	P3	d
1	1.30	TB07H_MEAN_C15	-0.19	TB24H_AREA260_C15	0.32	PCT89_MEAN_C15	-187.65
2	1.10	TB07H_MEAN_C15	-0.15	TB24H_MIN_A1020	0.34	PCT89_MEAN_C15	-143.00
3	0.93	TB07H_MEAN_C15	0.17	TB07V_MAX_C05	0.47	PCT89_MEAN_C15	-227.52
4	1.10	TB07H_MEAN_C15	-0.59	TB07V_MIN_A1020	0.37	PCT89_MEAN_C15	-85.12
5	1.20	TB07H_MEAN_C15	-0.18	TB19H_MIN_A0515	0.38	PCT89_MEAN_C15	-167.22
6	1.10	TB07H_MEAN_C15	-0.15	TB19V_MEAN_A1520	0.37	PCT89_MEAN_C15	-152.32
7	0.99	TB07H_MEAN_C15	0.053	TB19H_MEAN_C05	0.45	PCT89_MEAN_C15	-205.12
8	1.10	TB07H_MEAN_C15	-0.24	TB10V_MIN_A0510	0.34	PCT89_MEAN_C15	-135.98
9	1.00	TB07H_MEAN_C15	-0.15	TB24H_MAX_A1520	0.38	PCT89_MEAN_C15	-142.07
10	1.20	TB07H_MEAN_C15	-0.24	TB24H_AREA260_C15	0.035	PCT89_MIN_A1020	-92.49

表 1-2 表 1-1 の各パラメータに関する説明

パラメータの説明

TB07H(V) : 7GHz帯チャンネルの水平(垂直)偏波による輝度温度
 TB10H(V) : 10GHz帯チャンネルの水平(垂直)偏波による輝度温度
 TB19H(V) : 19GHz帯チャンネルの水平(垂直)偏波による輝度温度
 TB24H(V) : 24GHz帯チャンネルの水平(垂直)偏波による輝度温度
 PCT89 : 89GHz帯チャンネルの偏波修正温度(海上からの放射を除いた放射量を示すもの)・・・ $PCT89 = 1.818TB89V - 0.818TB89H$
 TB89V : 垂直偏波の輝度温度、TB89H : 水平偏波の輝度温度
 MIN (MAX) : 中心周りの同心円・同心円環の領域中の最低(最高)輝度温度
 MEAN : 中心周りの同心円・同心円環の領域中の平均輝度温度
 AREA : 中心周りの同心円・同心円環の領域中の、ある閾値以上のピクセルの割合
 CXX : 半径X.X度の中心周りの同心円領域
 AYYZZ : 内径Y.Y度、外径Z.Z度の中心周りの同心環領域

(例 1) TB07H_AREA110_C10 : 7GHz帯チャンネルの水平偏波で、中心から半径 1.0 度の同心円領域(下図の灰色の部分)での輝度温度が 110K以上のピクセルの割合
 (例 2) TB10V_MIN_A1015 : 10GHz帯チャンネルの垂直偏波で、中心から半径 1.0~1.5 度の同心環領域(下図の黒い部分)での最低輝度温度

十字は台風の中心位置を示す

(Hoshino and Nakazawa(2007)より)

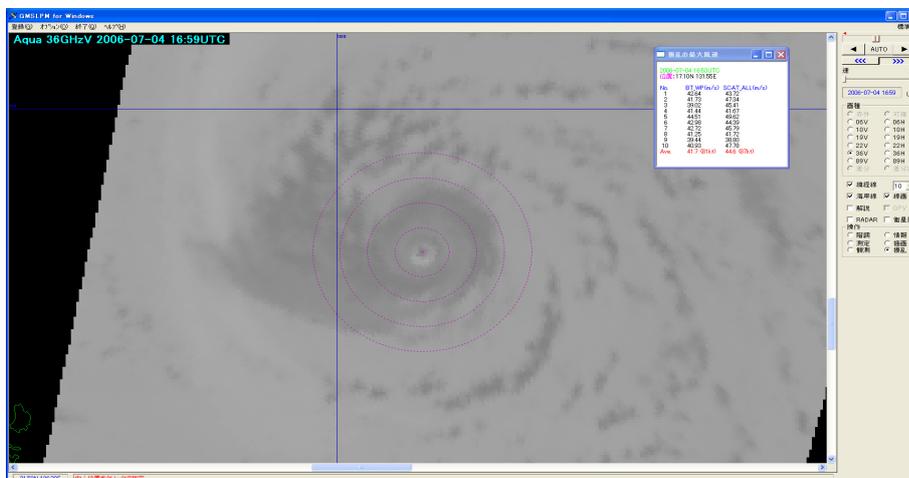


図 1 衛星画像表示解析ソフト GMSLPM の画面(解析例)

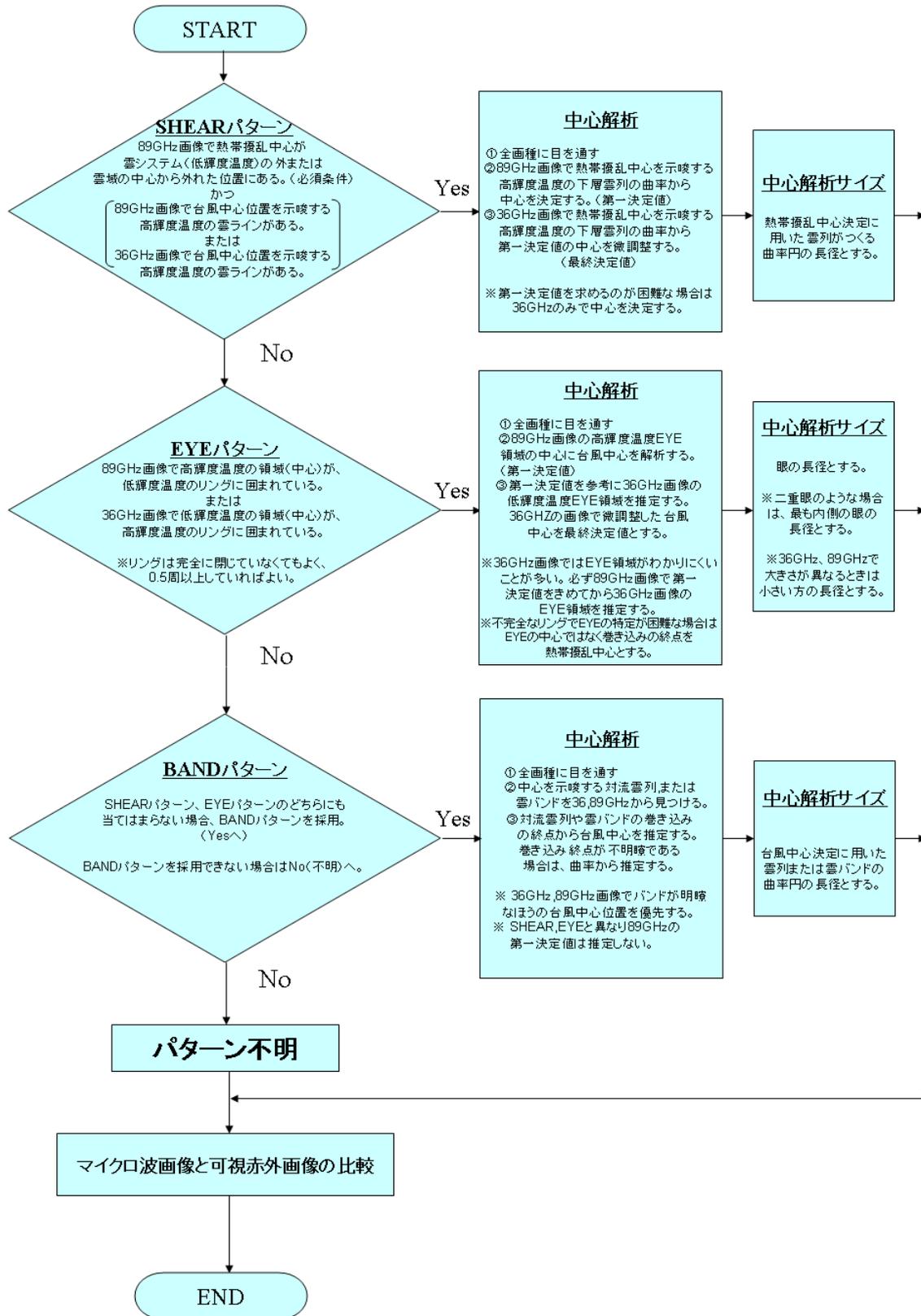
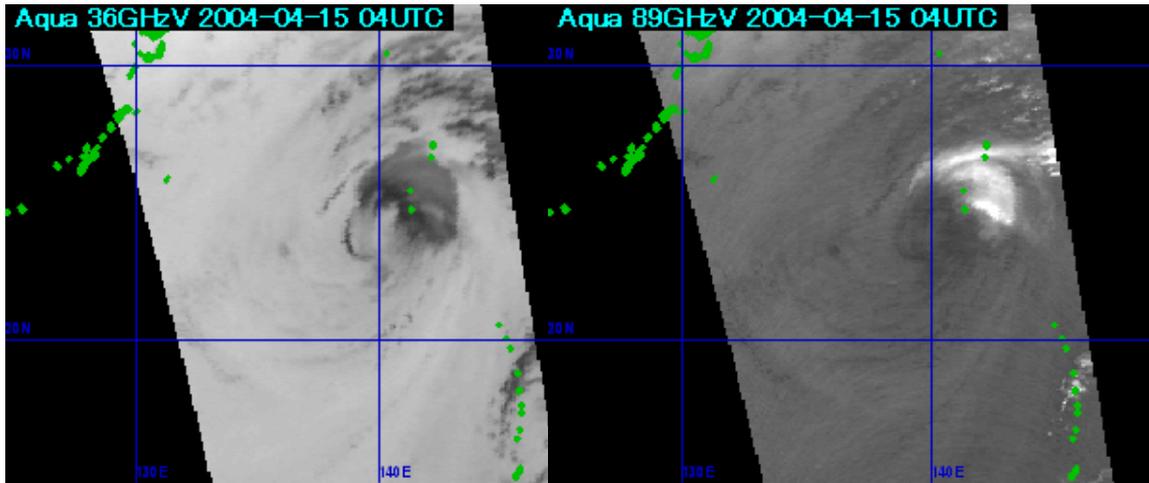
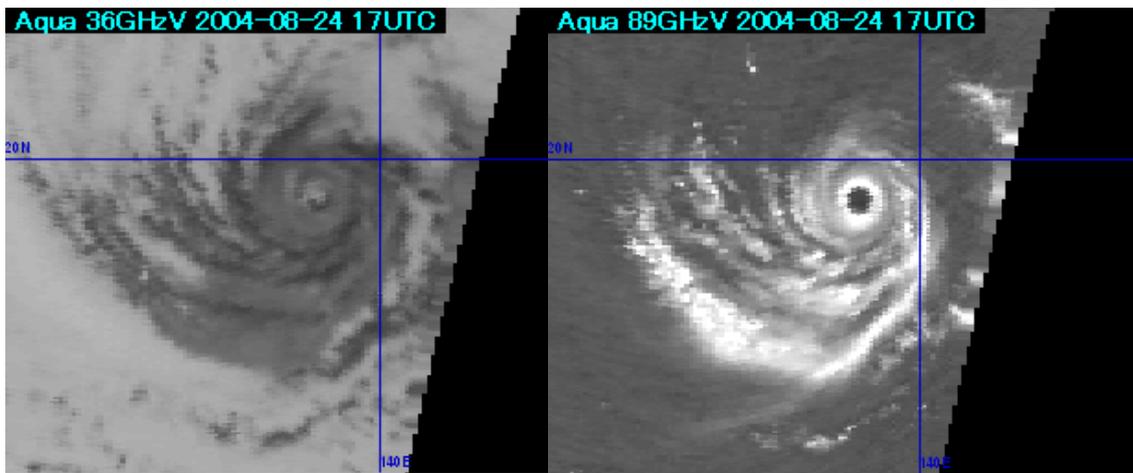


図2 マイクロ波画像による台風中心推定手順フローチャート
 (西村ら(2007)より 但し、本調査では「中心解析サイズ」は使用しない)

MW SHEARパターンの例(2004年04月15日04UTC、台風第1号)



MW EYEパターンの例(2004年08月24日17UTC、台風第16号)



MW BANDパターンの例(2004年11月21日18UTC、台風第25号)

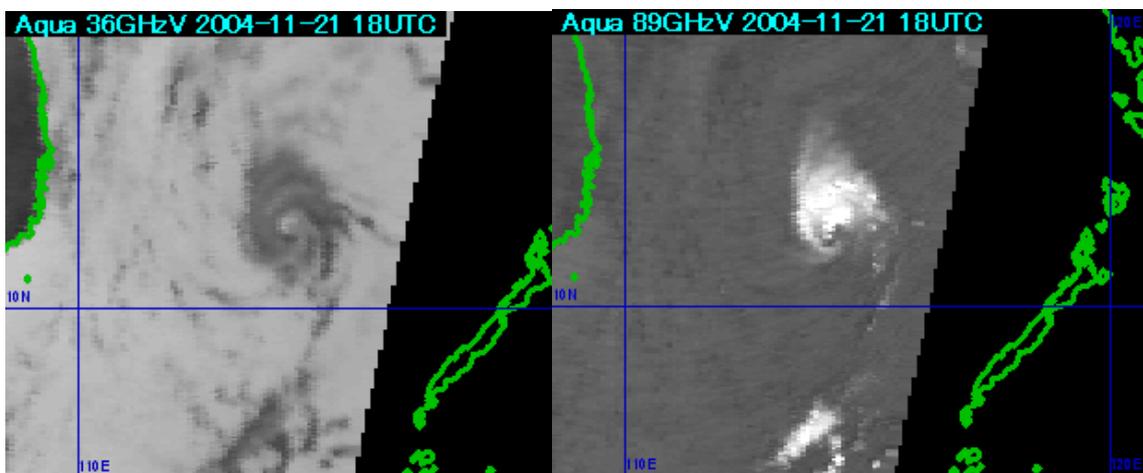


図3 台風中心推定雲パターンの例(それぞれ左は36GHz、右は89GHzの画像)

3. 検証結果

本報告では気象庁が決定した北西太平洋の台風ベストトラックの最大風速を真値として、ベストトラック最大風速と BT_WP および SCAT_ALL の関係をさまざまな観点から検証した。

Hoshino and Nakazawa(2007)は、台風中心位置から緯度3度以内の QuikSCAT/SeaWinds の最大風速を選んで「最大風速」とし SCAT_ALL を算出した。

SCAT_ALL は QuikSCAT/SeaWinds の最大風速値に近づくように設定されているので、より厳密に検証するには QuikSCAT/SeaWinds データとの比較が必要だが、本報告では真値としてベストトラックの最大風速のみを用いたため、ここでは QuikSCAT/SeaWinds データから得られる最大風速値との比較は行っていない。

3.1 全データのベストトラック最大風速と BT_WP および SCAT_ALL の散布図

2003-2005年の全データ(事例数は BT_WP_Ave が355事例、SCAT_ALL_Ave が353事例)による比較を図4に示す。2003~2005年の全データのベストトラックの最大風速に対する BT_WP_Ave および SCAT_ALL_Ave の相関係数はそれぞれ0.71、0.22であった。

ベストトラックの最大風速と BT_WP_Ave は比較的相関が良いが、SCAT_ALL_Ave はベストトラック最大風速より極端に大きな値をとる場合がみられる。ここで SCAT_ALL_Ave が120KT以上の事例を除けば相関係数は0.72となる(図略)。SCAT_ALL_Ave が120KT以上の事例は34事例あり、そのうち台風中心位置から2度以内に陸地を含む事例は30事例と多数を占めていた。また、SCAT_ALL_Ave が135KT以上の事例数は29であったが、そのすべてが陸地を含む事例であった。この陸地の存在がデータに及ぼす影響については次節で述べる。

3.2 陸地による影響

マイクロ波による観測では、陸地の放射率は海上より大きく輝度温度はかなり高くなる。この陸地の影響を除去するため、衛星画像表示解析ソフト GMSLPM で陸地として判定された画素の外側(海上側)に1画素*を加えた領域を除いて算出した結果、つまり陸地の影響を取り除いた結果が図5である。ここで、陸地にかかる部分が大きく BT_WP_Ave が算出されないデータやマイクロ波画像の台風雲パターンが不明で台風中心位置が決定できなかったデータは除いている。ここからは2003-2006年のデータを使用しており、総事例数は BT_WP_Ave が470、SCAT_ALL_Ave が471である。(ここからは2008年度に台風中心位置を決定した2006年分を追加した。台風中心位置から2度以内に陸地を含む事例を加えると相関係数が悪くなることは2003-2005年のデータで判明しており、2006年分では陸地を含む事例を除去した。3.2節以後は2003-2006年のデータを用いて検証を行なう。)

陸地の影響を除去した結果、BT_WP 算出値はもとも相関が良く大きな違いはないが、ベストトラックに比べて非常に大きな値を算出するデータがなくなり、相関はさらに良くなっている。ベストトラックの最大風速に対する BT_WP_Ave および SCAT_ALL_Ave の相関係数はそれぞれ0.83、0.72となり、SCAT_ALL_Ave 算出値は明らかに相関が良くなっている。また、図5の左図を見ると、ベストトラック最大風速が弱い場合には BT_WP_Ave が強めに、ベストトラック最大風速が強い場合は BT_WP_Ave が弱めに算出される傾向があることがわかる。このベストトラック最大風速が弱い場合に BT_WP_Ave が強めに算出される傾向は、ベストトラックで熱帯低気圧(最大風速が34KT未満で台風の強さへ発達する前。3.3節以後の調査事例には含まない)として解析された期間でも共通した傾向で、熱帯低気圧の期間は BT_WP_Ave が強く算出された(全期間で21事例、表略)。以下、陸地の影響を取り除いたデータによる検証結果を示す。 *1画素は、約10km

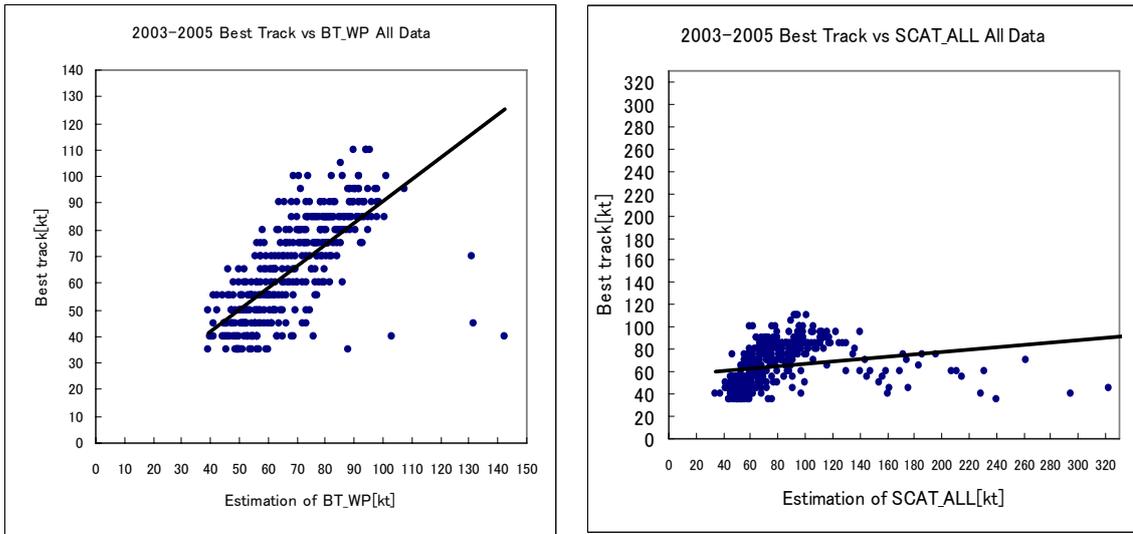


図4 2003-2005年全データの散布図 ベストトラック最大風速と BT_WP_Ave の散布図(左図)
 ベストトラック最大風速と SCAT_ALL_Ave の散布図(右図) それぞれの図内の直線は回帰直線を表す

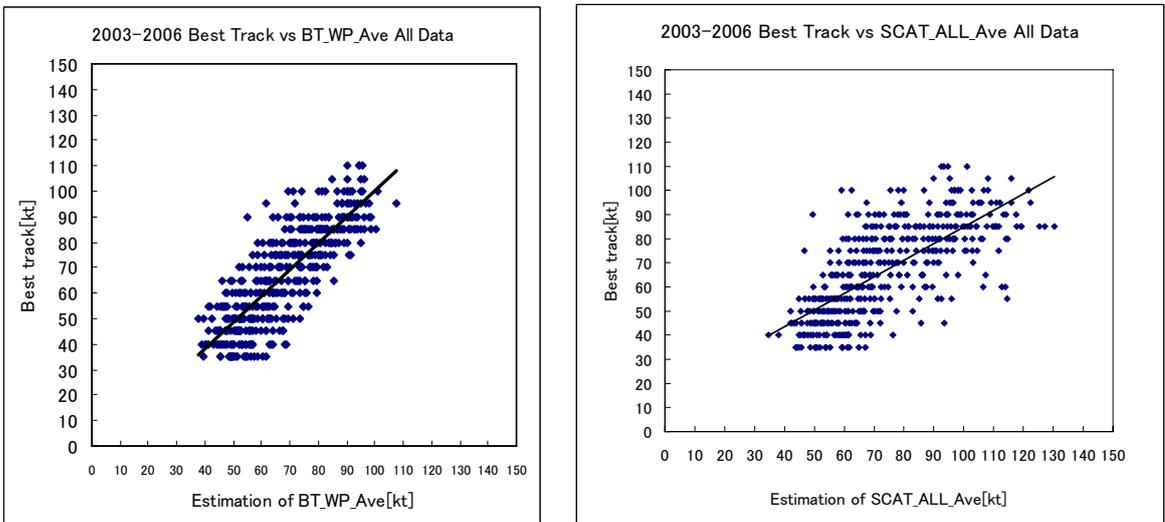


図5 2003-2006年陸地の影響を取り除いた全データの散布図 ベストトラック最大風速と BT_WP_Ave の
 散布図(左図) ベストトラック最大風速と SCAT_ALL_Ave の散布図(右図) それぞれの図内の直線は回
 帰直線を表す

3.3 パラメータ計算領域内で画像が一部でも欠けている場合や最大風速の候補値が計算されなかった場合の影響

極軌道衛星である Aqua による観測では観測範囲が限られているため、いつも台風中心が画像の中央にあり、画像内に「台風中心から半径 2 度以内のパラメータ計算領域」がすべて入っているとは限らない。画像が「台風中心から半径 2 度以内のパラメータ計算領域」で一部でも欠けているデータの数は 111 事例あり、これらを除いた場合のベストトラックの最大風速と BT_WP_Ave の相関係数は 0.83 で、3.2 節で得られた「画像が台風中心から半径 2 度以内のパラメータ計算領域」で一部でも欠けたデータを含んだ相関係数と同じになる。このため画像が「台風中心から半径 2 度以内のパラメータ計算領域」で欠けたデータの影響は小さいと考えられるので、これらを含んだデータを使用することとする。

また、上記の理由で画像が一部でも欠けていた場合や陸地による影響で 10 個の回帰式から求められる最大風速の候補値が 1 つでも得られなかった (計算されなかった) データ*は 15 事例あり、このデータを除いた場合のベストトラックの最大風速と BT_WP_Ave の相関係数は 0.83 で、同データを含んだ 3.2 節で得られた相関係数と同じになる。このため最大風速の候補値が得られなかった場合でも BT_WP_Ave の算出値への影響は小さいと考えられるので、これらを含んだデータを使用することとする。(表略)

* 本報告で使用した GMSLPM では、「各回帰式で用いられる各周波数帯の輝度温度統計値は、その計算領域内で有効な画素が半数以上得られた場合に有効とする」仕様なので、画像の欠けや陸地の影響により無効な画素が半数以上占める領域では回帰式による最大風速は得られない (計算されない)

3.4 年別精度の検証

ベストトラックに対する「10 個の最大風速の候補値」の平均値の誤差を表 2 に示す。「10 個の最大風速の候補値」を算出するパラメータは、星野氏が

TRMM/TMI 画像に対する手法を用いて、Aqua/AMSR-E 画像用にパラメータを変更しているが、Aqua/AMSR-E 画像を用いた星野氏の調査・アルゴリズムは 2002-2004 年のデータを用いて作成されている。

また、2005 年のデータの一部を用いて検証を行っているので、本調査では 2006 年が独立した検証データとなる。表 2 に示すように BT_WP_Ave については星野氏の調査結果とほぼ同等の結果が得られた。一方、SCAT_ALL_Ave は真値をベストトラックの最大風速としたため、QuikSCAT/SeaWinds の最大風速を用いた星野氏の結果に比べて誤差が大きくなっている。

Hoshino and Nakazawa (2007) は、中心位置から緯度 3 度以内の QuikSCAT/SeaWinds の最大風速を選んで「最大風速」とした。ここまで見てきたように、真値として得られるのはベストトラックの最大風速値であるため、SCAT_ALL_Ave は BT_WP_Ave に比べて相関が低く RMSE が大きい。以下、ベストトラックの最大風速と BT_WP_Ave の比較のみ検証する。

なお、表 2 で 2004 年の台風発生数が平年並みの 29 個であったのに事例数が他の年より多いのは、2003 年は 6 月以後の事例であり、2005 年、2006 年は台風発生数が平年より少ない 23 個であったこと (平年値: 26.7 個 1971-2000、気象庁 HP より) が影響していると考えられる。

3.5 データの従属・独立の影響

3.4 節で示したように、RMSE でみると従属資料 (2003-2005 年) と独立資料 (2006 年) の差は 0.5m/s 程度である。2004 年と 2006 年の散布図 (図 6) を比較しても大きな差異はなく、独立資料である 2006 年のデータでもほぼ同程度の精度で算出していることがわかる。ベストトラック最大風速と BT_WP_Ave の相関係数は 2004 年では 0.86、2006 年では 0.81 であった。

表2 精度検証結果

各年の RMSE および全データの RMSE (上表)

星野氏調査の RMSE (下表 SCAT_ALL_Ave は QuikSCAT データの最大風速値との比較)

RMSE (m/s)	BT_WP_Ave (事例数)	SCAT_ALL_Ave (事例数)
2003 年	5.85 (50)	9.65 (49)
2004 年	5.22 (189)	8.07 (188)
2005 年	5.34 (116)	8.36 (116)
2006 年	6.03 (115)	8.34 (118)
2003 年-2006 年	5.55 (470)	8.39 (471)

RMSE (m/s)	BT_WP_Ave	SCAT_ALL_Ave
2002 年-2004 年	5.12	6.20
2005 年	5.15	5.18

(下表の総事例数：北西太平洋のベストトラックデータ 351、QuikScat データ 502)

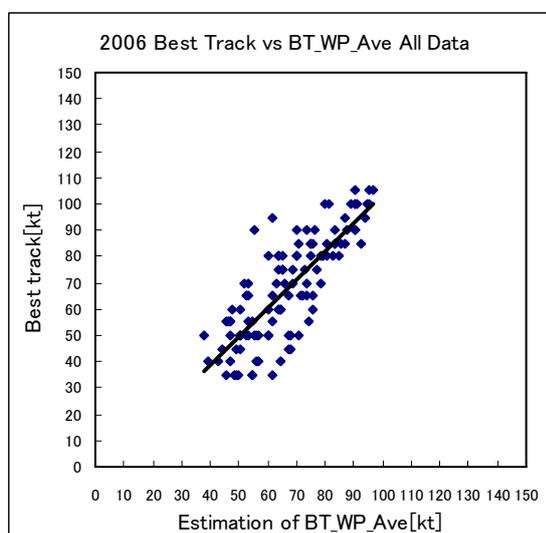
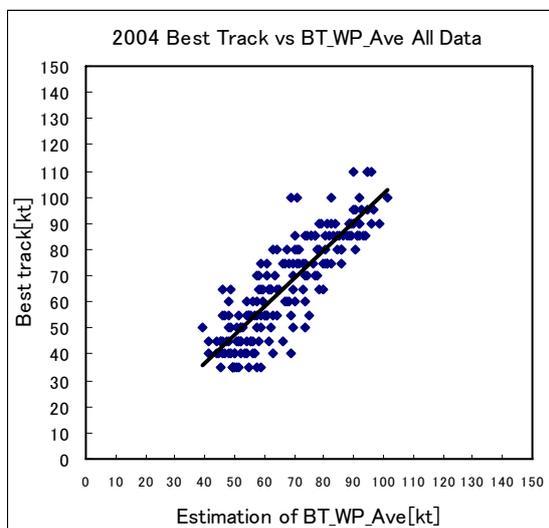


図6 2004年(左図)と2006年(右図)のベストトラックの最大風速とBT_WPとの散布図
それぞれの図内の直線は回帰直線を表す

3.6 雲パターンの違いと台風のライフステージ別の比較

図2で示したように、マイクロ波画像の台風中心推定パターンでは89GHz(36GHz)画像で高(低)輝度温度の領域が89GHz(36GHz)画像で低(高)輝度温度のリングに0.5周以上囲まれていればMW EYEパターンとしている(図3の画像で高(低)輝度温度の領域は黒く(白く)見える)。このMW EYEパターンのうち89GHzまたは36GHzの画像で台風の目の周りのリングが完全なものをMW TEYEと定義してさらに細分化し、形状(パターン)の違いによる影響を見た(図7)。その結果、ベストトラック最大風速とBT_WP_Aveの相関係数はMW EYEパターンでは0.76、MW TEYEパターンでは0.75であり、細分化したことによる精度の向上はみられず、相関係数はほぼ同じであった。

次に、台風のライフステージ別(発達期、最盛期、衰弱期)に分類*したBT_WP_Aveの精度を表3に示す。また、ドボラック法による台風雲パターンの分類を表4に示す。発達期・最盛期・衰弱期の3つの区分(表3)の基準は、最盛期は最大風速64KT以上(台風の階級でTyphoonとする風速で海上台風警報に相当する)または表4のドボラック法による台風雲パターンがEyeまたはBanding Eyeである場合とした。最盛期に含まれないのは、最大風速が64KT未満で、発達期はドボラック法による解析でT数=CI数の場合(ドボラック法の分類では発生期~発達期にあたる)、衰弱期はT数≠CI数の場合とした。

T数はドボラック法で衛星画像の解析から得られる熱帯低気圧の強度を表す指数で、T数は調整されてCI数となる。台風が発達中の場合や再発達した場合はT数=CI数となる。つまり、台風が再発達した場合も発達期に含まれる。

表3から、ベストトラック最大風速とBT_WP_Aveの発達期の平均誤差が+4.98m/sとベストトラック最大風速が強めに算出され、最盛期の平均誤差が-1.95m/sとベストトラック最大風速がやや弱めに算出されていることがわかる。衰弱期は他の期間に比

べて精度が良い。

表3のライフステージ(発達期・最盛期・衰弱期)別で、表4のドボラック法による台風雲パターンごとに色付けした散布図を図8に示す。図8をみると、発達期ではCb ClusterやCurved Bandが多く、ベストトラック最大風速と比べてBT_WP_Aveは強めに算出される場合が多い。最盛期ではBT_WP_Aveはベストトラック最大風速との対応は良いが、Eyeの場合にBT_WP_Aveは弱めに算出される場合がある。これらの中で、誤差が大きかった事例については3.11節で検証する。衰弱期の場合はShear/LCVやCurved Bandが多く、ほぼベストトラック最大風速と同様の値が算出されている。

*3つの台風のライフステージ別(発達期、最盛期、衰弱期)に基準を設けて分類したのは、ドボラック法上の台風ライフステージを用いると、雲パターンによっては複数のライフステージに含まれることがあるのを避けるためである。

3.7 ベストトラック最大風速とマイクロ波画像の台風雲パターン毎のBT_WPの相関

マイクロ波画像の台風雲パターン毎にベストトラック最大風速と「10個の最大風速の候補値」BT_WPの相関およびRMSEを求めた(図9)。

3.6節で示したように、マイクロ波画像の台風雲パターンでMW EYEとMW TEYEの相関はほぼ同等であったが、「10個の最大風速の候補値」別に見るとMW TEYEの6番目の最大風速値(V6)はMW EYEパターンのどの最大風速値より相関が高い。逆に2番目、7番目はどの最大風速値より相関が低い。また、MW SHEARやMW BANDは6番目の最大風速値の相関が低く、RMSEは大きい。このように、解析パターンにより既知データと相関が高い最大風速値を示す回帰式が異なることがわかる。また、BT_WP_AveではMW EYEやMW TEYEのときに相関が最も高く、MW SHEARが次に高く、MW BANDは低い。

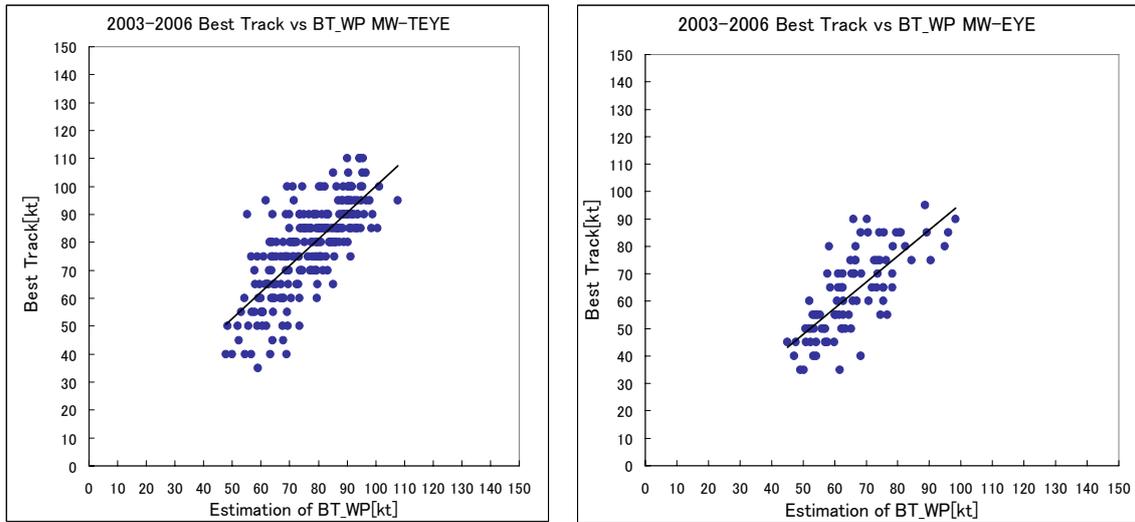


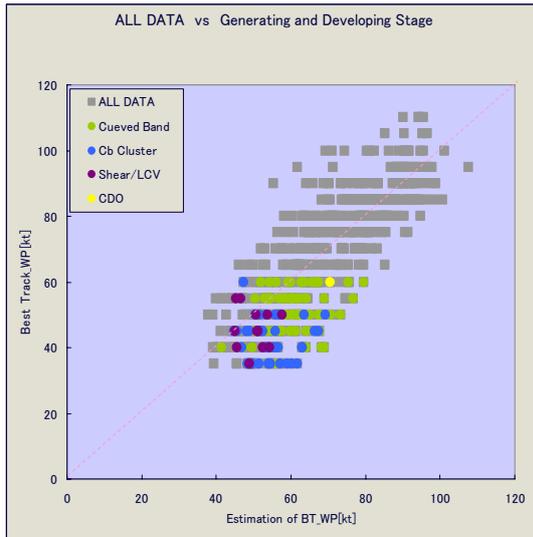
図7 「ベストトラック最大風速」と「マイクロ波画像の台風雲パターンが MW TEYE のときの BT_WP_Ave」(左図) および「マイクロ波画像の台風雲パターンが MW EYE のときの BT_WP_Ave」(右図)の散布図(MW EYE には MW TEYE の事例は含んでいない) それぞれの図内の直線は回帰直線を表す

表3 台風のライフステージ(発達期：左上、最盛期：右上、衰弱期：左下)に分類した BT_WP_Ave の精度 (発達期から衰弱期の事例数の合計は 469 となる。対象時刻に衛星による台風解析が行われなかった事例が 1 つある。)

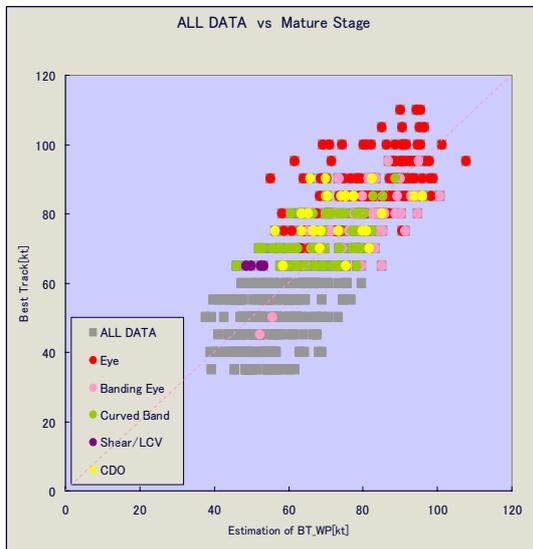
台風のライフステージ	データ 個数	ベストトラック最大風速の平均 (KT)	BT_WP_Ave の平均 (KT)	平均誤差 (m/s)	RMSE (KT)	RMSE (m/s)
発達期	127	47.28	56.97	4.98	12.84	6.60
最盛期	262	81.35	77.56	-1.95	10.37	5.33
衰弱期	80	50.25	52.18	0.99	8.28	4.26
ALL_DATA	470	66.77	67.61	0.43	10.78	5.55

表4 ドボラック法の台風中心位置推定の雲パターンとその特徴(気象衛星画像の解析と利用-熱帯低気圧編-より)

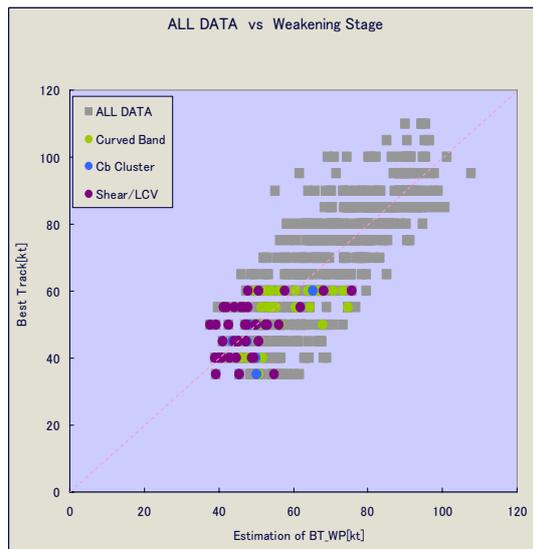
ステージ	雲パターン	台風中心の雲パターン	雲パターンの特徴
発生期	Cb Cluster	Unorganized Cb Cluster	中心付近に Cb クラスタが散在している。
		Organized Cb Cluster	Cb クラスタが組織化して、バンドパターンへの移行期。
	LCV	LCV or Shear	下層雲のみによる渦。(Low level cloud vortex)
	Shear		風の鉛直シヤーが大きい時に現れ、下層雲列により決定される中心と濃密な雲域がずれている。
発達期	Curved Band	Curved Band	中心を示唆するような曲率を持つ雲バンドがある。
	CDO	Distinct CDO	中心を取り巻くほぼ円形の濃密雲域(CDO)で少なくとも、一端が明瞭な縁を持つ。
		Indistinct CDO	CDO の境界が Ragged か、一様なキメをしていない。
最盛期	Eye	Distinct Small Eye	直径が 40km 以内の大きさの眼。
		Distinct Large Eye	直径が 40km を超える大きさの眼。
		Ragged Eye	眼を形成している雲の壁が不規則な形状をしているか、中に別な雲を含んでいる。
	Banding Eye	Banding Eye	眼を一周以上する雲バンドがある。
衰弱期	Curved Band	Curved Band	中心を示唆するような曲率を持つ雲バンドがある。
	Shear	LCV or Shear	風の鉛直シヤーが大きい時に現れ、下層雲列により決定される中心と濃密な雲域がずれている。
	LCV		下層雲のみによる渦。(Low level cloud vortex)
	EXL		温帯低気圧に移行しつつある。



ベストトラック最大風速と発達期の BT_WP_Ave の散布図



ベストトラック最大風速と最盛期の BT_WP_Ave の散布図



ベストトラック最大風速と衰弱期の BT_WP_Ave の散布図

図8 表3の分類による台風雲パターン別の散布図
 (それぞれの図には、凡例(「Eye」等はドボラック法による雲パターン分類)と相関の傾向がわかりやすいように、
 ベストトラック最大風速=BT_WP_Ave を破線で示した)

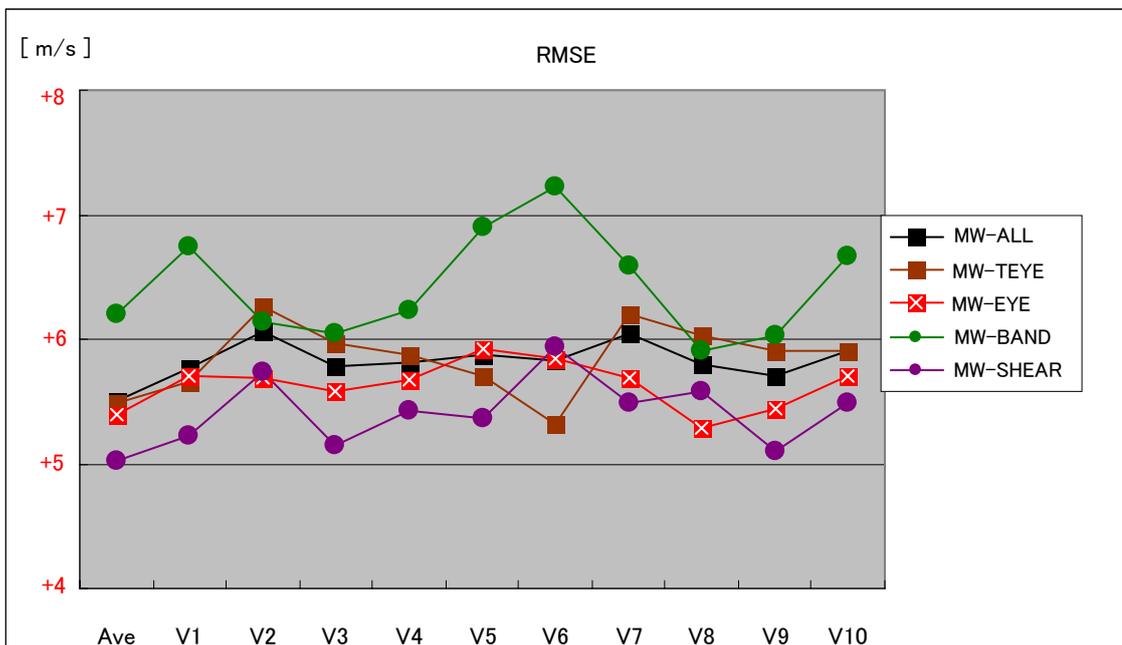
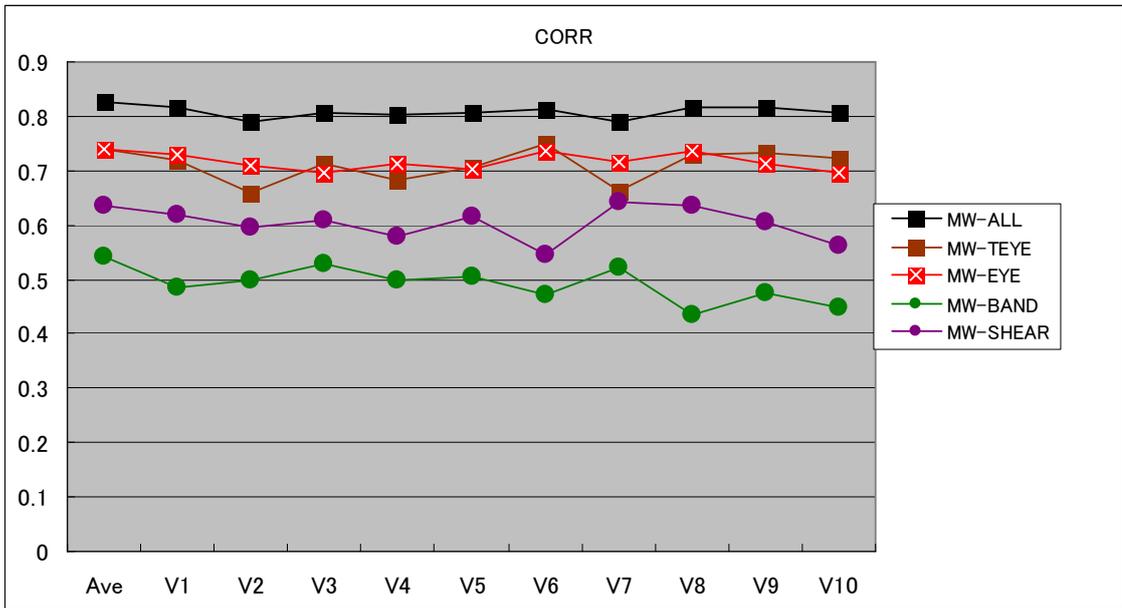


図9 ベストトラック最大風速と BT_WP の各最大風速の候補値の相関（上図）および RMSE（下図）
（図中の ALL は全パターン、V1~V10 は最大風速の候補値(Vmax)、Ave はその平均）

3.8 最大風速の時間変化の比較

ベストトラック最大風速と BT_WP_Ave の時間変化を調べた例を図 10 に示す。Aqua/AMSR-E 画像に捕捉されなかった時期は比較できず、台風の一生涯の一時期をみているに過ぎないが、全体として BT_WP_Ave は、ベストトラック最大風速と比較して発達初期は強めに算出されるが、その算出される風速の上昇は緩やかであり、逆に最盛期にかけてはベストトラック最大風速と比較してやや弱めの算出となる場合が多い。一方、BT_WP_Ave は、ベストトラック最大風速が弱まる衰弱期では対応よく算出しており、3.7 節に示した結果と同様である。発達初期から最盛期にかけて強弱の誤差はあるが変化傾向はかなり良い対応になっている。

3.9 ベストトラック最大風速別の BT_WP_Ave との比較

図 10 のように、発達初期では BT_WP_Ave の方がベストトラックの最大風速より強めに算出されるが、60KT~80KT 程度を境に BT_WP_Ave よりベストトラックの最大風速の方が強くなる傾向があることがわかる。この傾向を参考に、表 5 のようにベストトラック最大風速階級別に統計調査を行った。

ベストトラック最大風速が 70~79KT の場合が最も RMSE が小さい。RMSE が大きいのは~49KT や 90~110KT の場合で、~49KT では正のバイアスが大きく、90~110KT では負のバイアスが大きい。また、おおよそ 70KT 程度を境として平均誤差の正負が逆転しており、ベストトラック最大風速がこれより大きいと負のバイアスが出やすいことを示唆している。これは、3.6 節のライフステージ毎の比較や 3.8 節の時間変化の結果と一致している。

3.10 台風の急発達や急衰弱による BT_WP_Ave への影響

2.2 節で示したように Aqua/AMSR-E 画像とベストトラックの観測時間差は最大でも 3 時間以内であるが、台風が急発達や急衰弱した場合にこの時間差

が影響するのかを調べた。ドボラック法による台風解析時に MET 数(Model Expected T Number)の過去 24 時間変化量が±1.5 であった時刻の観測値を除いて、その相関を調べた(表 6)。MET 数とは、ドボラック法で現在の画像を 24 時間前の画像と比べて台風の発達・衰弱を判断して現在の台風の強度を示す指数で、過去 24 時間の変化量として標準的な発達(衰弱)の場合は 1.0 を加え(減じ)、発達が速い(遅い)場合は 1.5 を加え(減じ)て求める。つまり、MET 数の過去 24 時間変化量が+1.5 であるときは台風が急発達、-1.5 のときは急衰弱していることを意味する。

その結果、相関係数は全データの 0.83 から 0.85 とやや高くなり、RMSE もわずかではあるが全データの 5.55m/s から 5.41m/s へ改善された。

3.11 大外れ事例

ベストトラックの最大風速と BT_WP_Ave の差を求め、その差の大きかった事例(バイアス±20KT 以上)を表 7 に示す。

Hoshino and Nakazawa(2007)はベストトラック最大風速と相関の高いパラメータを使用し多くのパラメータの組み合わせから RMSE の小さい回帰式を 10 個選定した。このため、様々なパラメータの組み合わせから作成されている回帰式から、バイアスが大きくなる場合の要因を解説することは容易でない。そこで、気象衛星センター解析課の GMSLPM/SATAID で画像表示できる周波数帯で、表 1-1 に示した「10 個の最大風速の候補値」を計算するための回帰式で多く用いられているパラメータの画像を比較し、その特徴について調査した。

調査の対象としたのは 7GHzH、7GHzV、10GHzH、19GHzH、19GHzV、24GHzH、89GHzV の各画像の輝度温度(TBB)の分布である(V は垂直偏波成分、H は水平偏波成分)。その結果、7GHzH の輝度温度分布に明瞭な傾向がみられた。パラメータとして TB07H_AREA110_C10(7GHz 帯チャンネルの水平偏波で、中心から半径 1.0 度の同心円領域での輝度温

度が 110K以上のピクセルの割合)は最も多く使用されており、このパラメータでしきい値として採用されている「110K 以上のピクセルの割合」を用いてバイアスが大きくなる場合の要因を正のバイアスが大きい事例と負のバイアスが大きい事例の 2 つに分けて検証した。

(1) 正のバイアスが大きい事例

表 7 のベストトラックの最大風速より BT_WP_Ave が 20KT 以上過大に算出された(正のバイアスが大きい)事例は、全 17 事例中 16 事例においてベストトラック最大風速が 55KT 以下の発達期に現れている。またマイクロ波画像の台風雲パターンが MW EYE、MW TEYE または MW BAND、ドボラック法による雲パターンで Curved Band または Cb Cluster の事例が 8 割を超えており(全 17 事例中 15 事例)、これらの場合には BT_WP_Ave が大きく算出される場合があることに注意が必要となる。

ここで更に条件を絞り込み、「ベストトラックの最大風速が 55KT 以下の発達期で、かつマイクロ波画像の台風雲パターンが MW TEYE または MW EYE、ドボラック法による雲パターンで Curved Band または Cb-Cluster」の事例とすると 17 事例中 8 事例となり半数近くに達する。そこで、正のバイアスが大きい事例との比較を容易にするために、この 8 事例と同じ条件でバイアスが小さい事例(バイアス±5.0KT 以下を抽出)である 9 事例と比較を行った。

正のバイアスの大きい事例(8 事例)の AREA110_C10(中心から半径 1.0 度の同心円領域での輝度温度が 110K以上のピクセルの割合)は 50~94%で平均値は 74%となった。一方、誤差が小さい事例(9 事例)の AREA110_C10 は 13~52%で平均値は 36%となった(表 8、9)。

図 11 に正のバイアスが大きい事例の画像を示す。正のバイアスが大きい事例はいずれも AREA110_C10(図中のカラー表示部分)が 1.0 度円内をほぼ半分以上覆っている。一方、図 12 に示

した正のバイアスが小さい事例は AREA110_C10 が図 11 と比べて小さく、AREA110_C10 が図 11 のほぼ半分程度となっている。

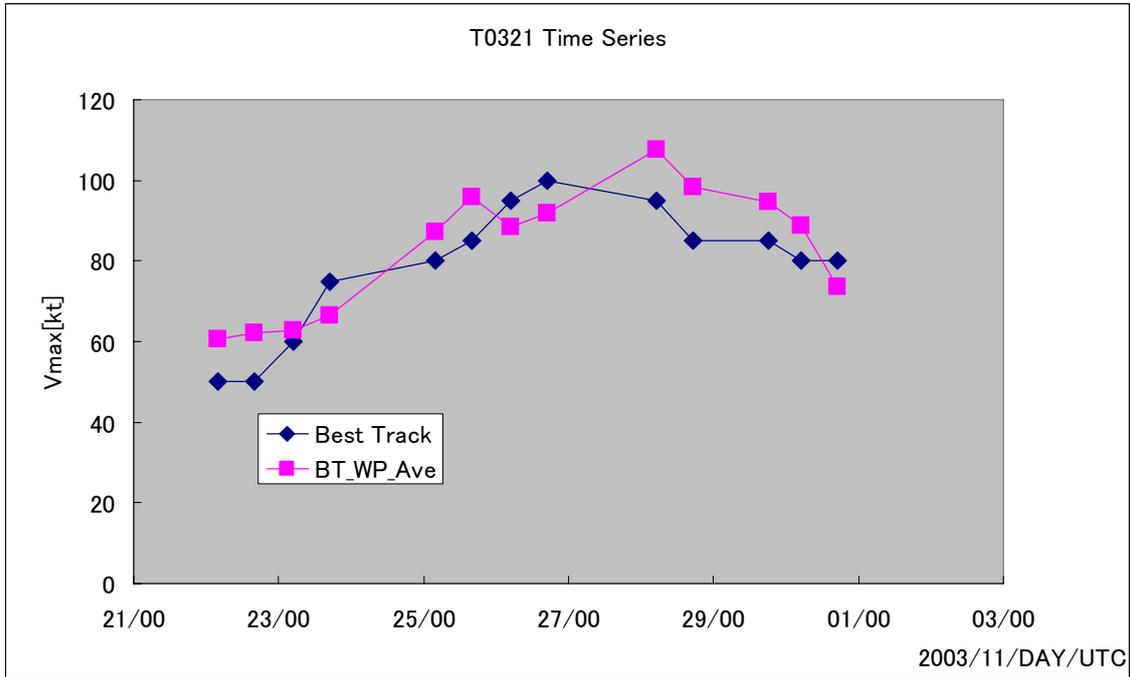
(2) 負のバイアスが大きい事例

表 7 のベストトラックの最大風速より BT_WP_Ave が 20KT 以上過小に算出された(負のバイアスが大きい)事例では、マイクロ波画像の台風雲パターンが MW EYE または MW TEYE、ドボラック法による雲パターンで Eye の事例がほとんどを占めている(全 11 事例中 9 事例)。また、すべて最盛期に現れ、ベストトラック最大風速が正のバイアスが大きい事例に比べて強いのが特徴である。

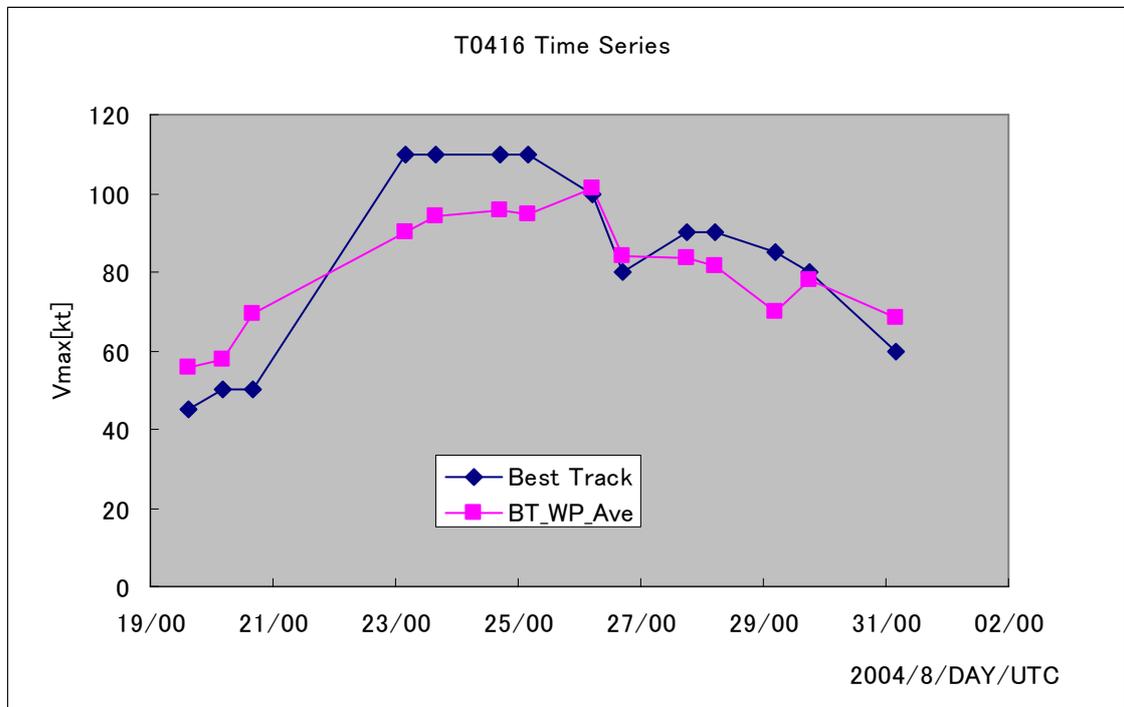
AREA110_C10(中心から半径 1.0 度の同心円領域での輝度温度が 110K以上のピクセルの割合)について負のバイアスが大きい上位 10 事例を表 10 に示す。また、バイアスが小さい方から上位 10 事例を表 11 に示す。なお、表 11 の事例は表 10 の負のバイアスが大きい 11 事例中 10 事例でベストトラック最大風速が 90KT 以上であったことから、それらを対象とした(マイクロ波画像の台風雲パターンでは、すべて MW TEYE であった)。

図 13 にベストトラックの最大風速より BT_WP_Ave の風速が小さい(負のバイアスが大きい)事例の画像を、図 14 には負のバイアスが小さい事例の画像を示す。負のバイアスが大きい事例はいずれも AREA110_C10 が 1.0 度の同心円内をすべて覆っていない(90%以下)。一方、バイアスが小さい事例はいずれも AREA110_C10 が 1.0 度円内をすべて覆っていた。AREA110_C10 は負のバイアスが大きい 10 個の事例の平均が 65%(36~90%)、バイアスが小さい 10 個の事例ではすべて 100%(中心から半径 1.0 度の同心円内を 100%覆っている)となった。

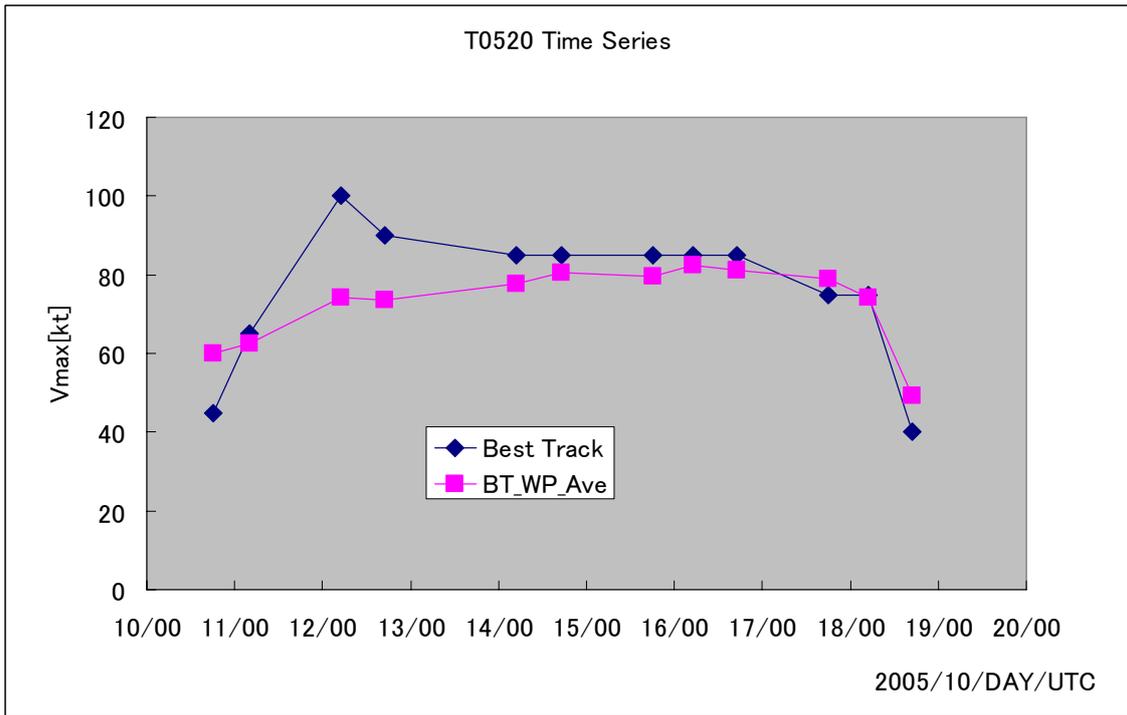
また、図 15 のように AREA110_C10 が小さいほど BT_WP_Ave の風速が小さく見積もられ、負のバイアスが大きくなる傾向がみられた。



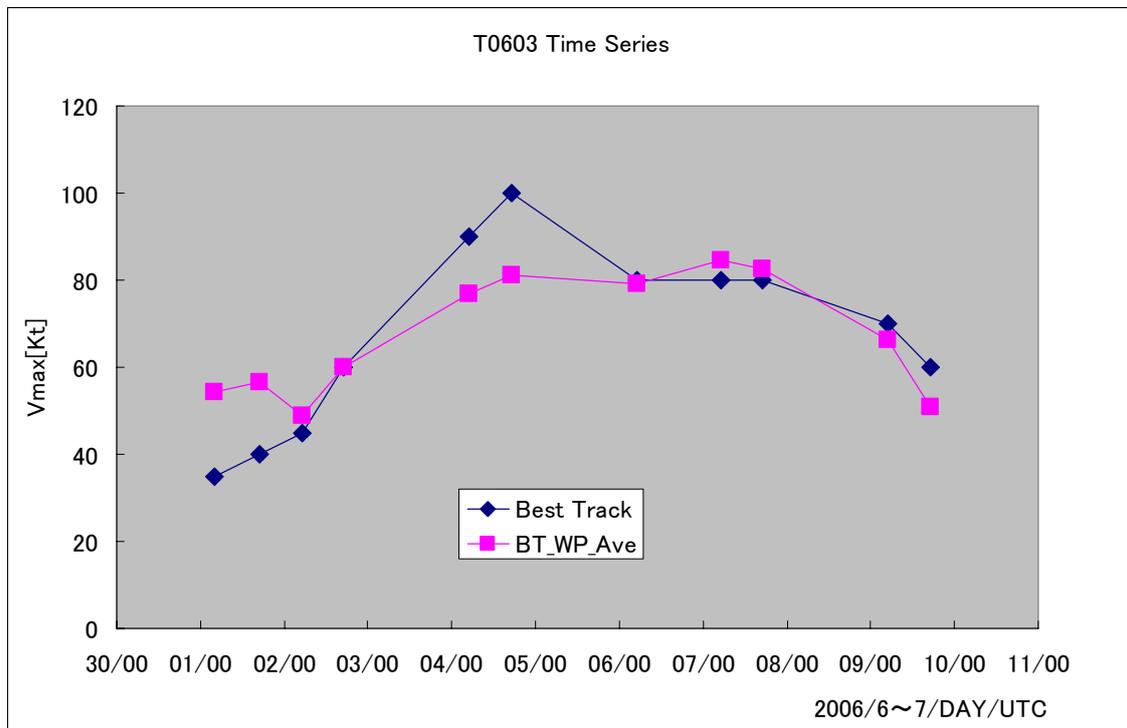
2003 年台風第 21 号



2004 年台風第 16 号



2005年台風第20号



2006年台風第3号

図10 ベストトラック最大風速と BT_WP_Ave の時間変化の比較

表5 ベストトラック最大風速階級別の BT_WP_Ave の精度比較

	事例数	ベストトラック最大風速の平均(KT)	BT_WP_Aveの平均(KT)	平均誤差(m/s)	RMSE(KT)	RMSE(m/s)
ALL_DATA	470	66.77	67.61	0.43	10.78	5.55
～ 49KT	95	41.00	51.92	5.62	13.40	6.89
50～ 59KT	83	52.35	55.86	1.80	9.23	4.75
60～ 69KT	62	62.42	63.48	0.55	9.01	4.64
70～ 79KT	67	72.76	71.50	-0.65	8.57	4.41
80～ 89KT	90	82.72	79.95	-1.42	8.71	4.48
90～110KT	73	95.21	86.08	-4.70	13.70	7.05

表6 MET 数の過去 24 時間変化量でみた急発達・急衰弱時の BT_WP_Ave の精度比較

	事例数	ベストトラック最大風速の平均(KT)	BT_WP_Aveの平均(KT)	相関	平均誤差(m/s)	RMSE(KT)	RMSE(m/s)
ALL_DATA	470	66.77	67.61	0.83	0.43	10.78	5.55
MET 数の過去 24 時間変化量=±1.5 除く	361	66.87	68.42	0.85	0.80	10.52	5.41

表7 ベストトラックの最大風速とBT_WP_Aveの差が大きい事例(バイアス±20KT以上)

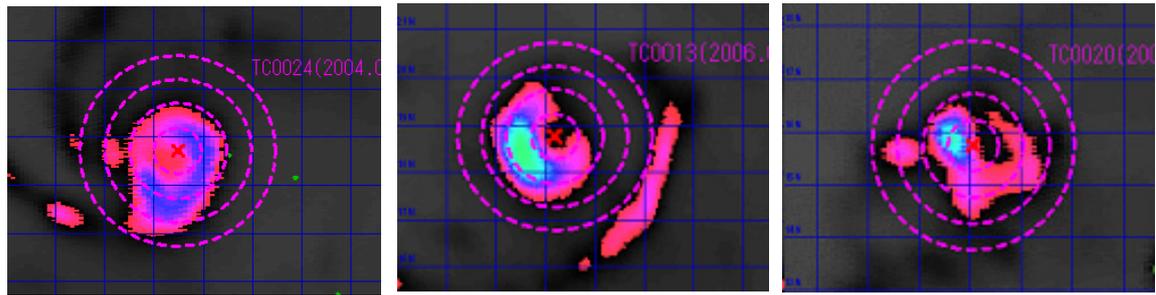
西暦年/月/日 時刻	ベストトラック最大風速 [KT]	BT_WP_Ave [KT]	Error [KT]	MW 雲パターン	ドボラック法雲パターン	台風のライフステージ
2004/ 8/28 03UTC	40	68.9	+28.9	TEYE	Curved Band	発達期
2005/10/29 06UTC	40	68.3	+28.3	EYE	Curved Band	発達期
2006/ 8/14 05UTC	35	61.7	+26.7	EYE	Cb Cluster	発達期
2003/ 9/ 6 04UTC	35	60.2	+25.2	BAND	Cb Cluster	発達期
2006/ 8/ 8 18UTC	40	64.2	+24.2	SHEAR	Curved Band	発達期
2004/ 6/ 6 18UTC	35	58.9	+23.9	TEYE	Cb Cluster	発達期
2004/11/17 05UTC	50	73.5	+23.5	TEYE	Curved Band	発達期
2004/ 4/ 5 04UTC	40	63.2	+23.2	TEYE	Cb Cluster	発達期
2003/ 9/ 6 16UTC	40	63.0	+23.0	SHEAR	Cb Cluster	発達期
2006/11/ 9 17UTC	45	67.7	+22.7	TEYE	Curved Band	発達期
2006/ 8/ 6 04UTC	45	67.4	+22.4	BAND	Cb Cluster	発達期
2004/ 5/18 17UTC	35	57.2	+22.2	BAND	Cb Cluster	発達期
2005/ 8/23 16UTC	55	76.7	+21.7	EYE	Curved Band	発達期
2004/ 8/ 8 17UTC	45	66.5	+21.5	BAND	Cb Cluster	発達期
2003/ 8/29 17UTC	35	56.3	+21.3	BAND	Curved Band	発達期
2006/ 8/ 6 16UTC	50	70.8	+20.8	BAND	Curved Band	発達期
2003/ 8/24 19UTC	65	85.2	+20.2	TEYE	Banding Eye	最盛期
2006/ 8/ 8 18UTC	90	69.9	-20.1	TEYE	CDO	最盛期
2005/ 9/28 05UTC	90	68.6	-21.4	TEYE	Eye	最盛期
2005/10/30 19UTC	80	58.3	-21.7	EYE	Eye	最盛期
2005/ 6/ 4 05UTC	95	71.5	-23.5	TEYE	Eye	最盛期
2005/ 6/ 4 18UTC	90	65.9	-24.1	EYE	CDO	最盛期
2005/10/12 05UTC	100	74.4	-25.6	TEYE	Eye	最盛期
2005/ 6/ 3 05UTC	90	64.1	-25.9	TEYE	Eye	最盛期
2004/10/ 7 18UTC	100	71.0	-29.0	TEYE	Eye	最盛期
2004/10/ 8 05UTC	100	69.2	-30.8	TEYE	Eye	最盛期
2006/11/10 17UTC	95	61.7	-33.3	TEYE	Eye	最盛期
2006/11/10 06UTC	90	55.3	-34.7	TEYE	Eye	最盛期

表8 ベストトラックの最大風速より BT_WP_Ave の風速が小さい(正のバイアスが大きい)事例
 (マイクロ波画像の台風雲パターンが MW EYE または MW Band でドボラック法による雲パターンが
 Curved Band または Cb Cluster の事例)

Error [KT]	ベストトラック 最大風速[KT]	BT_WP_Ave [KT]	TB07H_AREA110_C10 [%]
+28.9	40	68.9	88
+28.3	40	68.3	71
+26.7	35	61.7	64
+23.9	35	58.9	50
+23.5	50	73.5	83
+23.2	40	63.2	72
+22.7	45	67.7	73
+21.7	55	76.7	94
Ave.+24.8	Ave.43	Ave.67.0	Ave.74

表9 ベストトラックの最大風速と BT_WP_Ave の風速の差が小さい(バイアスが小さい)事例
 (マイクロ波画像の台風雲パターンが MW EYE または MW Band でドボラック法による雲パターンが
 Curved Band または Cb-Cluster の事例)

Error [KT]	ベストトラック 最大風速[KT]	BT_WP_Ave [KT]	TB07H_AREA110_C10 [%]
+1.8	50	51.8	28
+2.0	50	52.0	43
+2.5	50	52.5	33
+3.4	50	53.4	42
-1.8	55	53.2	52
-1.4	55	53.6	42
-0.8	55	54.2	13
+1.9	55	56.9	31
+2.7	55	57.7	40
Ave.+1.1	Ave.53	Ave.54.0	Ave.36



07H_AREA110_C10→88% 2004年08月24日04UTC 台風第18号	07H_AREA110_C10→64% 2006年08月14日05UTC 台風第11号	07H_AREA110_C10→59% 2003年09月06日04UTC 台風第14号
---	---	---

【輝度温度階調】(110K未満はグレースケールで表示)

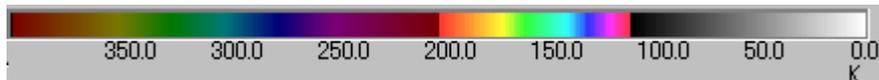
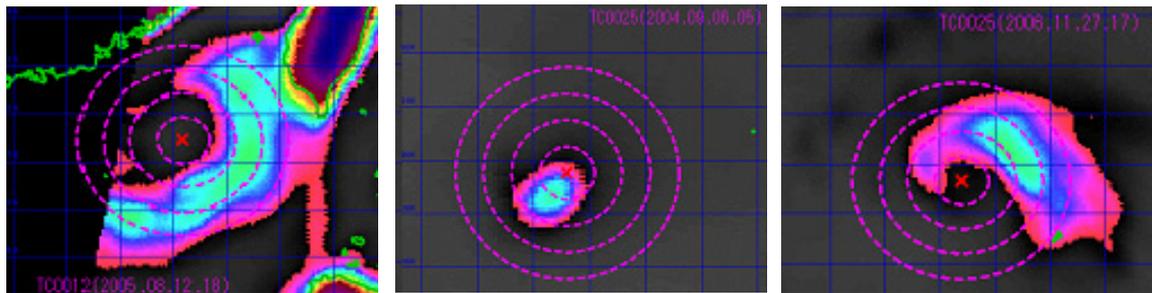


図11 表8に示した正のバイアスが大き事例の7GHz帯チャンネルの水平偏波の画像例
(破線円は中心から0.5度毎の同心円、中心から半径1.0度の同心円領域がC10、カラー表示となっている部分は輝度温度が110K以上の領域)。



07H_AREA110_C10→28% 2005年08月12日18UTC 台風第10号	07H_AREA110_C10→33% 2004年09月06日04UTC 台風第19号	07H_AREA110_C10→42% 2006年11月27日17UTC 台風第21号
---	---	---

図12 表9に示したバイアスが小さい事例の7GHz帯チャンネルの水平偏波の画像例
(表示要素やカラースケールは図11と同じ)

表 10 ベストトラックの最大風速より BT_WP_Ave の風速が小さい(負のバイアスが大きい)事例

Error [KT]	ベストトラック 最大風速[KT]	BT_WP_Ave [KT]	TB07H_AREA110_C10 [%]
-34.7	90	55.3	36
-33.3	95	61.7	60
-30.8	100	69.2	66
-29.0	100	71.0	70
-25.9	90	64.1	56
-25.6	100	74.4	90
-24.1	90	65.9	68
-23.6	95	71.5	74
-21.7	80	58.3	55
-21.4	90	68.6	80
Ave.-27.0	Ave.93	Ave.66.0	Ave.65

表 11 ベストトラックの最大風速と BT_WP_Ave の風速の差が小さい(バイアスが小さい)事例
(ベストトラック最大風速が 90KT 以上の事例)

Error [KT]	ベストトラック 最大風速[KT]	BT_WP_Ave [KT]	TB07H_AREA110_C10 [%]
+1.6	90	91.6	100
+1.2	100	101.2	100
+0.6	90	90.6	100
+0.4	90	90.4	100
+0.2	90	90.2	100
-0.1	95	94.9	100
-0.7	90	89.3	100
-1.2	90	88.8	100
-1.3	90	88.7	100
-1.4	95	93.6	100
Ave.-0.1	Ave.92	Ave.91.9	Ave.100

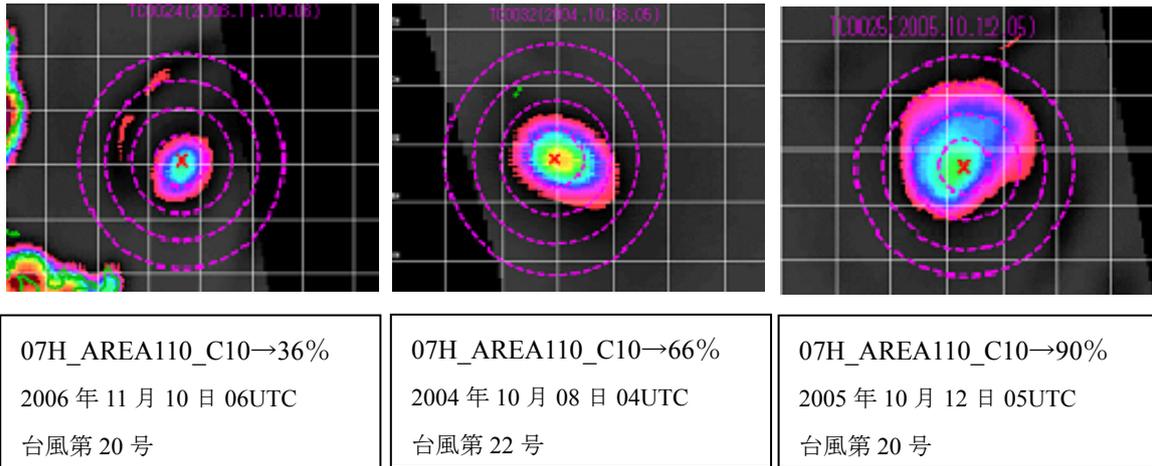


図13 表10に示した負のバイアスが大きい事例の7GHz帯チャンネルの水平偏波の画像例
(表示要素やカラースケールは図11と同じ)

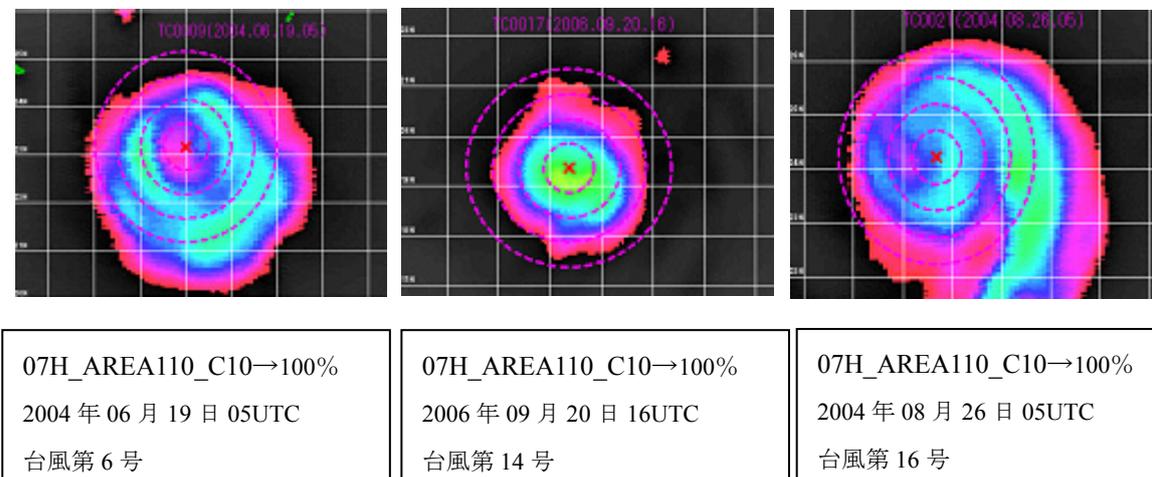


図14 表11に示したバイアスが小さい事例の7GHz帯チャンネルの水平偏波の画像例
(表示要素やカラースケールは図11と同じ)

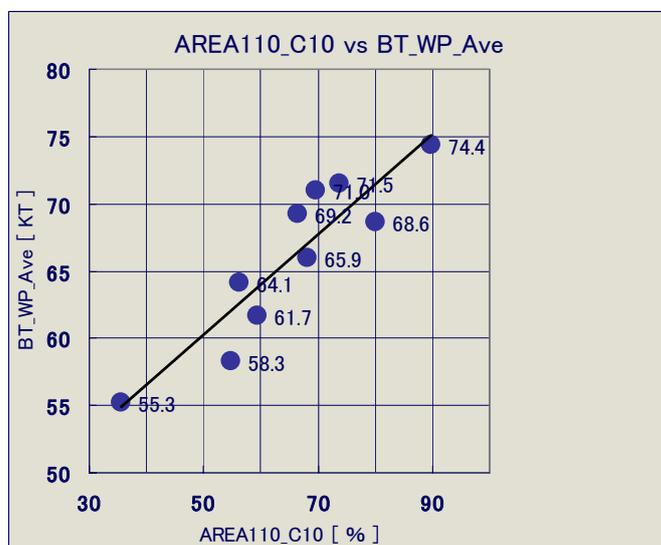


図15
AREA110_C10(7GHz帯チャンネルの水平偏波)とBT_WP_Aveの散布図
(グラフ内の数値はBT_WP_Ave[KT])
図内の直線は回帰直線を表す

3.12 検証結果のまとめ

今回の調査で得られた検証結果を以下にまとめる。(以下、陸地の影響を除去した BT_WP_Ave (2003-2006 年のデータ)を用いた結果を示す)

- (1) ベストトラックの最大風速と BT_WP_Ave の相関係数は 0.83 と高い相関を示した。この傾向は年別の検証でも同様で、従属資料、独立資料を問わず同程度の高い相関を示した。
- (2) ベストトラック最大風速と BT_WP_Ave に関して、様々な観点から精度検証した結果を以下に示す。
 - ① 台風のライフステージ(発達期・最盛期・衰弱期)別に比較すると発達期はベストトラック最大風速値に比べ、BT_WP_Ave が強めに算出され、ドボラック法による雲パターンでは、Cb Cluster や Curved Band であることが多い。最盛期はベストトラック最大風速値と BT_WP_Ave の対応は良いが、ドボラック法による雲パターンでは、Eye の場合に弱めに算出される場合がある。衰弱期は発達期、最盛期と比べると誤差が小さくなる傾向がありドボラック法による雲パターンでは、Shear や Curved Band であることが多い。
 - ② マイクロ波画像の台風雲パターン別に精度を比較すると、BT_WP_Ave は MW EYE や MW TEYE のときに相関が最も高く、次に MW SHEAR が高い。MW BAND の時は最も相関が低い。
 - ③ 3.10 節から台風が急発達や急衰弱しているときの BT_WP_Ave はやや相関が悪くなる傾向がある。
 - ④-(1) 算出された BT_WP_Ave で正のバイアスが大きい事例(20KT 以上過大に算出)はベストトラック最大風速が 55KT 以下の発達期に現れており、マイクロ波画像の台風雲パターンが MW EYE、MW TEYE または MW BAND、ドボラック法による雲パターンで Curved Band または Cb Cluster の事例が 8 割を超える。正のバイアスが大きい事例の約半数は「ベストトラックの

最大風速が 55KT 以下の発達期で、かつマイクロ波画像の台風雲パターンが MW TEYE または MW EYE、ドボラック法による雲パターンで Curved Band または Cb Cluster パターン」であり、同じ条件でバイアスが小さい事例(バイアス±5.0KT 以下を抽出)と比較を行った結果、正のバイアスが大きい事例はいずれも AREA110_C10 が 1.0 度円内をほぼ半分以上覆っていた。一方、正のバイアスが小さい事例は AREA110_C10 が正のバイアスが大きい事例の半分程度に小さくなっている。

- ④-(2) 算出された BT_WP_Ave で負のバイアスが大きい事例(20KT 以上過小に算出)はマイクロ波画像の台風雲パターンが MW EYE または MW TEYE、ドボラック法による雲パターンで Eye の事例がほとんどを占めており(全 11 事例中 9 事例)、すべて最盛期に現れ、ベストトラック最大風速が④-(1)の正のバイアスが大きい事例に比べて強いのが特徴であり、負のバイアスが大きい 11 事例中 10 事例でベストトラック最大風速が 90KT 以上であった。ベストトラック最大風速が 90KT 以上の事例でバイアスが小さい 10 事例との比較を行った結果、バイアスが小さいすべての事例は AREA110_C10 が 100%なのに対し、負のバイアスが大きい事例はいずれも AREA110_C10 が 1.0 度の同心円内をすべて覆っておらず、その平均値は 65%であることがわかった。また、AREA110_C10 が小さいほど BT_WP_Ave の風速が小さく見積もられ、負のバイアスが大きくなる傾向がみられた。

4. 考察

- (1) マイクロ波画像の台風雲パターン別の精度検証で、MW BAND の相関が最も低い原因を考察する。表 12 にあるようにマイクロ波画像の台風雲パターンが MW BAND の場合は、ドボラック法の雲パターンの Curved Band または Cb Cluster の出現頻度が 7 割近くとなる。表 4 のようにドボラック

法の雲パターンの Curved Band または Cb Cluster は発生期や発達期に現れることが多く、明瞭に中心を示唆する眼や下層雲渦を持たない。このような場合の中心位置の決定は複数考えられる中心を指向する対流雲列の曲率中心や併合点を中心位置とするため中心位置精度が悪い。このことが他のマイクロ波画像の台風雲パターンより中心位置の決定精度が低く、誤差を大きくする要因のひとつと考えられる。また、風速が強くなくても対流雲が中心付近に存在していれば BT_WP 算出値が大きくなる可能性があるため誤差が大きくなったと考えられる。

台風の発生期や発達期にマイクロ波画像の台風雲パターンで MW BAND が多く現れ、BT_WP 算出値が大きくなるということは「ベストトラック最大風速が弱い場合(ドボラック法の台風発生期や発達期)には BT_WP_Ave が強めに算出される」という検証結果とも一致する。

- (2) 台風の衰弱期に精度が良いことから、衰弱期と判断した場合でドボラック法による台風雲パターンが不明瞭である場合は、BT_WP_Ave を参考にすることにより、より客観的な解析結果が得られると考えられる。
- (3) BT_WP_Ave で正のバイアスが大きい事例(ベストトラック値より 20KT 以上過大に算出)や負のバイアスが大きい事例(ベストトラック値より 20KT 以上過小に算出)の検証結果から、TB07H_

AREA110_C10(7GHz 帯チャンネルの水平偏波で、中心から半径 1.0 度の同心円領域での輝度温度が 110K 以上のピクセルの割合)が大はずれ事例の一つの判断材料として有効であると考えられる。

「10 個の最大風速の候補値」を計算するために様々なパラメータの組み合わせから回帰式を作成しており、TB07H_AREA110_C10 のみから大はずれ事例の要因を確定するのは難しいが、一つの判断要因が得られたといえる。

- (4) 検証結果から、現業での利用法を考えてみる。

台風の強度解析ではドボラック法による解析結果が重視されることから、表 13 に示したドボラック法の CI 数と最大風速の関係を用いて、台風のライフステージを考慮してフローチャートを図 16 のように作成した。前述したようにドボラック法の CI 数は、台風が発達中の場合は T 数=CI 数である。

このように、ドボラック法による強度解析に、マイクロ波画像による強度推定を加えることにより、より確かな台風強度の推定が可能になると考えられる。

表 12 ドボラック法による可視赤外(IRVIS)の雲パターンとマイクロ波(MW)解析雲パターンの出現頻度 (西村ら(2007)より)(MW EYE の区分には、本調査の MW TEYE を含んでいる)

	IRVIS Curved Band	IRVIS Banding Eye	IRVIS Embedded	IRVIS Eye	IRVIS Shear	IRVIS Cb Cluster
MW SHEAR	3.5	4.8	0.0	0.0	71.4	22.7
MW EYE	64.9	95.2	100.0	100.0	14.3	40.9
MW BAND	31.6	0.0	0.0	0.0	14.3	36.4

(単位 %)

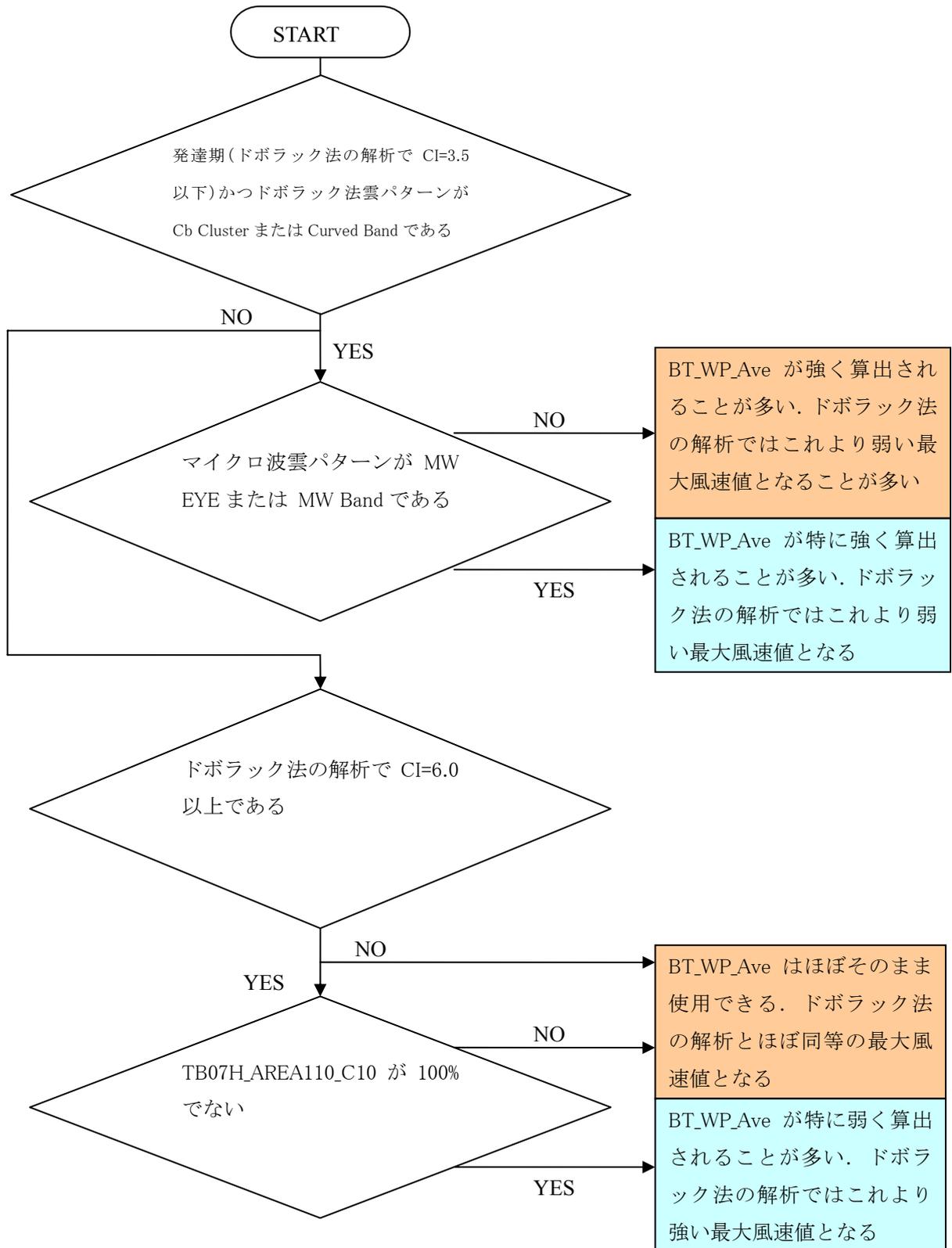


図 16 現業利用のためのフローチャート

表 13 北西太平洋における Dvorak 法の CI 数と最大風速の関係 (木場ほか 1990)

CI 数	最大風速 (KT)
1.0	22
1.5	29
2.0	36
2.5	43
3.0	50
3.5	57
4.0	64
4.5	71
5.0	78
5.5	85
6.0	93
6.5	100
7.0	107
7.5	115
8.0	122

5. まとめ

Hoshino and Nakazawa (2007) の手法による台風強度推定の Aqua/AMSR-E 版を用いて「10 個の最大風速の候補値」の平均値とベストトラック最大風速値と比較した。その結果、独立資料でも従属資料とほぼ同様の高い相関が得られた。

台風の一生涯で見ると、台風の発達期(ドボラック法の発生期～発達期に相当)では BT_WP_Ave はベストトラック最大風速より強めに算出される傾向があり、ドボラック法による雲パターンで Cb Cluster や Curved Band が現れることが多い。さらにマイクロ波画像の台風雲パターンが MW EYE、MW TEYE または MW BAND の場合には、BT_WP_Ave は特に強めに算出されることがある。最盛期では RMSE や平均

誤差が小さくベストトラックとの対応は良くなるが、マイクロ波画像の台風雲パターンが MW EYE または MW TEYE の場合は BT_WP_Ave が弱めに算出されることがある。このため、最大風速 90KT を超えるような台風に対しては負のバイアスが特に大きくなる傾向がある。このような負のバイアスが特に大きな事例を見極める一つの判断要因として「TB07H_AREA110_C10 が 1.0 度円内を全て覆っているか否か」は有効であり、TB07H_AREA110_C10 が 1.0 度円内をすべて覆っていない場合は負のバイアスが顕著になる可能性が大きい。衰弱期の場合はドボラック法による雲パターンで Shear や Curved Band が現れることが多く、ほぼベストトラックと同様の値が算出されることが多い。このことから、衰弱期と判断された場合で特にドボラック法による台風雲パターンが不明瞭となった場合には、BT_WP_Ave を参考にすることにより、より客観的な解析結果が得られるといえる。

これらの結果から、現業利用に向けてのドボラック法とマイクロ波による台風強度推定を用いたフローチャートを考案した。

Hoshino and Nakazawa (2007) の手法による台風強度推定法はドボラック法による台風強度解析を補正し、より正確で客観的な強度解析を可能にすると考えられる。

6. 謝辞

気象研究所 星野研究官には、Aqua/AMSR-E センサ用にパラメータを作成していただいた。また、気象庁予報課 佐々木予報官には、衛星画像表示解析ソフト GMSLPM を本調査で利用できるように改良していただいた。本報告の内容を精査して下さった関係者の皆様を含め、ここに感謝の意を表す。

参考文献

Dvorak, V. F., 1975:

Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery, Mon. Wea. Rev., 103, 420-430.

Dvorak, V. F., 1984:

Tropical cyclone intensity analysis using satellite data, NOAA Technical Report NESDIS 11, 47pp.

Kumabe, R., 2000:

CAL development in Meteorological Satellite Center, Geophysical Magazine, 3, 109-121

Shunsuke HOSHINO, Tetsuo NAKAZAWA, 2007:

Estimation of Tropical Cyclone's Intensity Using TRMM/TMI Brightness Temperature Data, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol.85, No.4, pp.437-454, Meteorological Society of Japan

気象衛星センター, 1999:気象衛星センターにおける CAL 開発, 測候時報, 66(2), 43-50

気象衛星センター, 2004:気象衛星画像の解析と利用ー熱帯低気圧編ー, 気象衛星センター, 50-63, 72-87

隈部良司, 2001:日本気象学会 2000 年秋季大会シンポジウム「人工衛星から大気観測ーその歴史的展開ー」の報告, 26-30

木場博之, 萩原武士, 小佐野慎悟, 明石秀平, 1990:台風の CI 数と中心気圧および最大風速の関係, 研究時報, 42(2), 59-67

西村修司, 吉田資朗, 遠藤剛, 大坪康平, 毛利浩樹, 斉藤貞夫, 加藤浩司, 小山亮, 志水菊広, 浅野準一, 2007:マイクロ波衛星画像を利用した熱帯擾乱解析, 気象衛星センター技術報告第 49 号, 気象衛星センター, 91-125