

## 1999年11月5日に熱帯太平洋域で発生した竜巻について

習 田 恵 三<sup>\*1</sup>・齋 藤 忠 博<sup>\*2</sup>・水 野 孝 則<sup>\*3</sup>  
前 平 岳 男<sup>\*4</sup>・奈 良 税<sup>\*5</sup>

## 1. はじめに

気象庁の海洋気象観測船「啓風丸 I」(1969年から2000年まで就航)は、1999年11月5日15時30分(日本時間)から15時40分にかけて、北緯5.8度、東経134.6度の熱帯太平洋上で2つの竜巻を観測した。本報告では、啓風丸観測員による目撃証言、写真、および啓風丸の海上気象観測データ、気象レーダー観測データをもとに、観測した竜巻とその環境場について報告する。

藤田(1973)によれば、地球上で1年間に報告される竜巻の数は1000個程度で、そのうちの5分の4にあたる約800個がアメリカ大陸で発生している。1990年代になると、アメリカでは NEXRAD(NEXt generation weather RADar)と呼ばれたドップラーレーダー観測網の展開により、竜巻を産み出す積乱雲内のメソサイクロンの検出率が高まり、事後調査も熱心に行われるようになったため、1年あたりの竜巻発生数はアメリカだけで1000個を超えるようになっている(NOAAの Storm Prediction Center のホームページによる)。また、竜巻の発生地域については、Fujita(1973)による竜巻の分布図によると、中緯度で多く、熱帯域での発生はほとんど見られない。

また、海岸付近で発生する海上竜巻(waterspout)についての研究は、アメリカでは Golden(1968, 1973,

1974a, b, 1977)によって詳しく行われている。日本では、裁ほか(1989)が紀伊半島沖の竜巻について、小林ほか(1997)が土佐湾海上で発生した竜巻について報告している例などがある。しかし、熱帯域の陸地から離れた海洋上での竜巻の報告例は、日本だけでなく世界的に見ても非常に少ない。GATEの期間に大西洋の北緯10度、西経20度付近で観測された例(Simpson *et al.*, 1986)があるくらいであり、太平洋熱帯域での報告は筆者の知る限りでは存在しない。本報告は、この点において貴重なものと言える。

## 2. 竜巻の発生状況

竜巻を観測したとき、啓風丸の位置は北緯5.8度、東経134.6度であり、北西に14ノット(時速26 km)で航行していた。当時、啓風丸では目視および測器による海上気象観測と気象レーダーの連続観測を実施していたが、高層気象観測は行っていなかった。

竜巻が発生した1999年11月5日は10時以降たびたびしゅう雨を観測しており、竜巻発生前後も15時30分～15時40分および15時50分～17時20分にかけてしゅう雨を観測した。特に15時55分～16時10分にかけては視程障害(視程1 km 以下)を伴う強いしゅう雨を観測し、15時50分～16時10分の20分間の雨量は14.0 mm を記録した。

1 つめの竜巻は、15時30分に啓風丸の北北西4～5 km 付近に発生した。第1図は啓風丸から撮影した1 つめの竜巻の写真である。細いローブ状の漏斗雲が雲底から海面まで達し、海面上に飛沫が生じているのが目視でも確認できた。発生時には、漏斗雲は上空から海面に伸びていき、ほぼ垂直であった。しかし、漏斗雲は徐々に変形し、撮影時には漏斗雲は雲底と海面の中間よりやや下で若干屈曲していた。Golden(1974a)

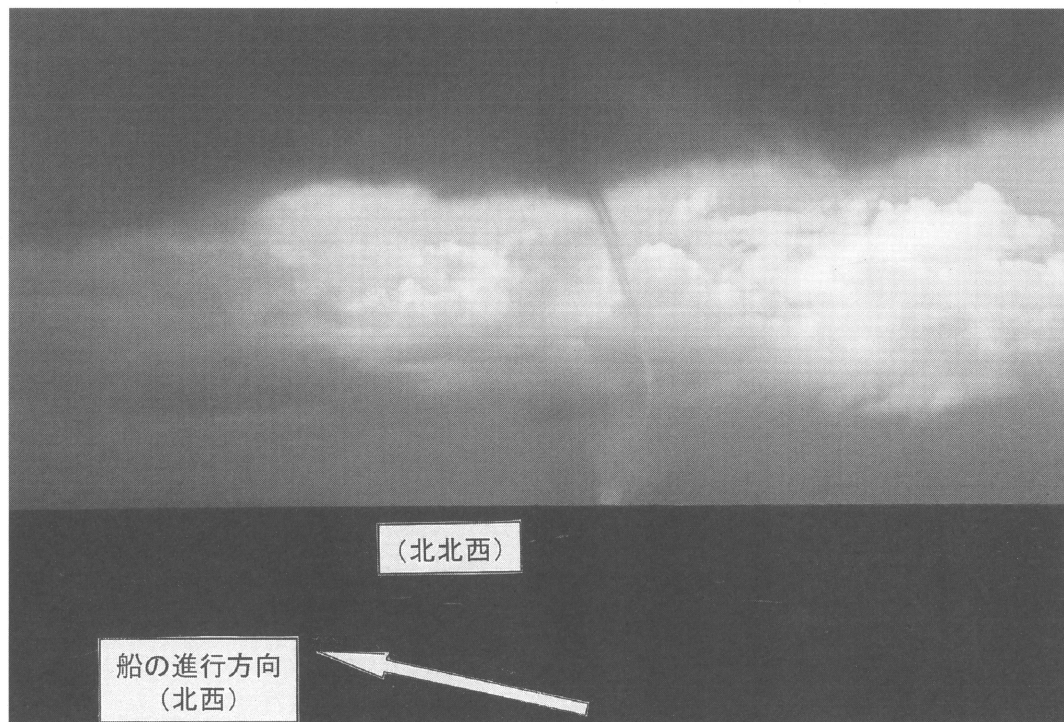
<sup>\*1</sup> 気象庁気候・海洋気象部海上気象課(現:神戸海洋気象台)。

<sup>\*2</sup> 気象庁気候・海洋気象部海上気象課(現:函館海洋気象台)。

<sup>\*3</sup> 気象庁気候・海洋気象部海上気象課(現:内閣官房)。

<sup>\*4</sup> 気象庁気候・海洋気象部海上気象課(現:フリー)。

<sup>\*5</sup> 気象庁気候・海洋気象部海上気象課(現:環境省)。  
—2001年11月6日受領—  
—2002年4月10日受理—



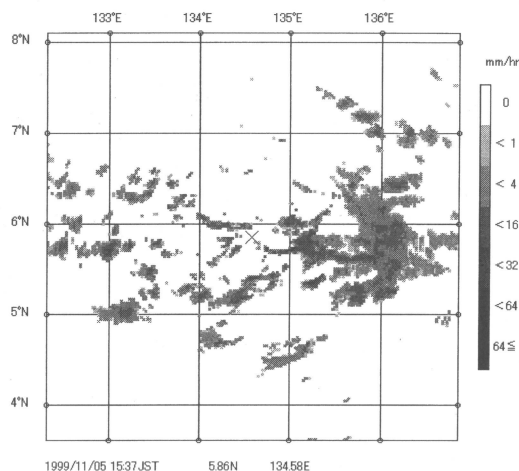
第1図 1999年11月5日15時30分に北緯5.8度，東経134.6度で観測した竜巻.

は，衰弱期の水上竜巻の中には漏斗雲が屈曲するものがあると報告している．漏斗雲の上部は周囲が濃い灰色で，中央部が半透明であった．また，竜巻の回転方向は反時計周りであった．この竜巻はあまり移動せず，約4分で海面付近から徐々に消滅した．

2つめの竜巻は，1つめの竜巻の消滅と同時にそのすぐ東側に発生した．この竜巻も反時計周りであり，漏斗雲の大きさは1つめの竜巻とほぼ同じであった．1つ目の竜巻と同様に，漏斗雲は上空から海面に伸びていき，その後徐々に変形して，屈曲していった．竜巻は東方向に移動し，寿命は約5分であった．

2つの竜巻とも，海上で比較対象となるような建造物などがいないため，漏斗雲の直径は推定できなかった．また，ビデオ撮影もないため，その風速の推定は行えなかった．

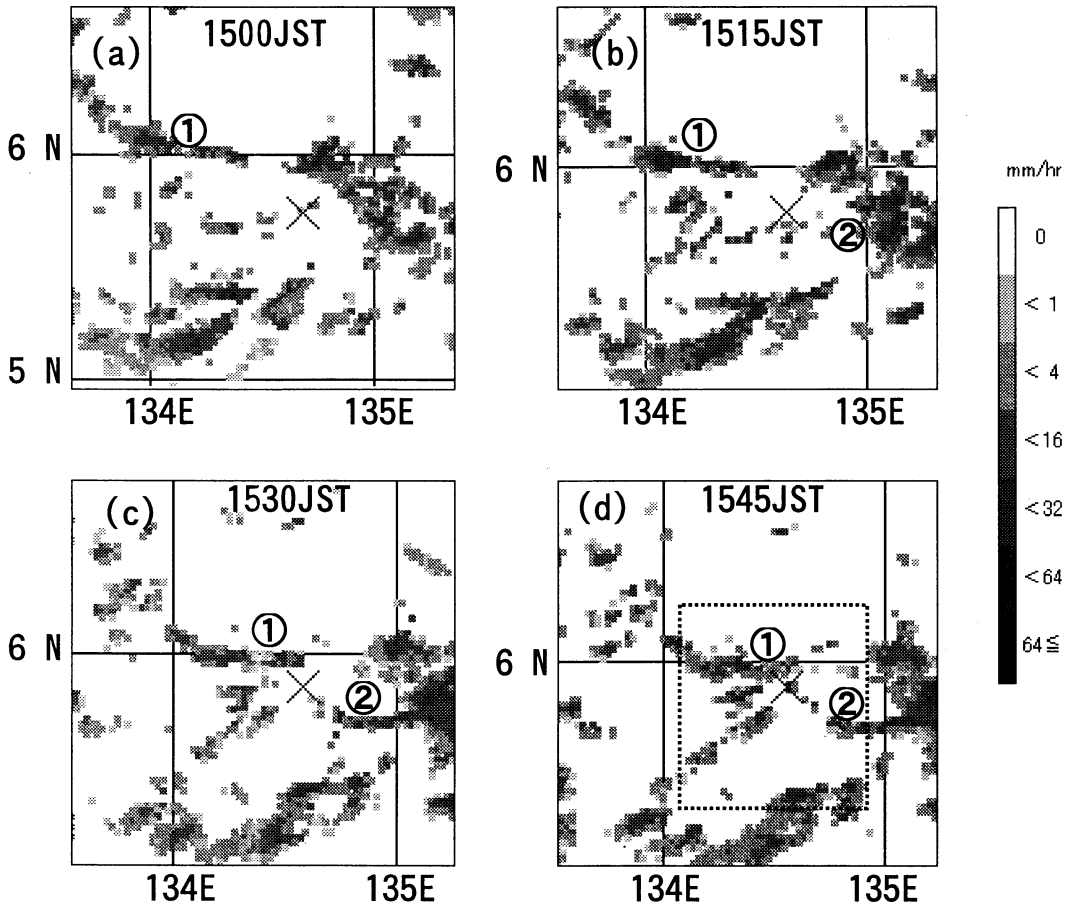
水上竜巻 (waterspout) の場合，収束線の存在を示すような線状の模様が海面に現れることが多いとされるが(新野, 1993)，今回の竜巻ではそのような海上の変化は確認できなかった．



第2図 1999年11月5日15時37分の啓風丸気象レーダーエコー図(高度2 km, CAPPI). 啓風丸の位置 (×印) は北緯5.86度，東経134.58度.

### 3. 竜巻発生前後のレーダー気象観測および海上気象観測

第2図は15時37分の啓風丸気象レーダーエコー図



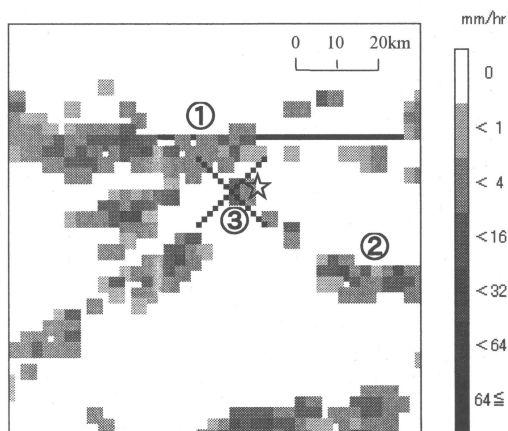
第3図 竜巻発生地点付近の啓風丸気象レーダーエコー図(高度2 km, CAPPI). ×印は啓風丸の位置を示す.  
(a) 1999年11月5日15時00分, (b) 15時15分, (c) 15時30分, (d) 15時45分.

(高度2 km, CAPPI)である。啓風丸周辺には様々な大きさのエコー域が多数存在している。啓風丸の東には、東西約150 km, 南北約150 kmの範囲で組織化されたクラウドクラスターがある。このクラウドクラスターは、10時に北緯5.2度、東経136度付近と北緯6.2度、東経136度付近に点在していた東西20～40 km, 南北10 km程度の大きさのエコー域が、その後それぞれが大きくなりながら北緯5.8度、東経136度付近に集まるように移動し、15時前後には1つにまとまるようにして形成された。一方、啓風丸の北西には北緯6度に沿って東経134度から134.6度にかけて東西に伸びる線状エコーがある。啓風丸から目視観測で見た竜巻の距離と方向から、竜巻はこの線状エコーの東端付近から約5 kmほど南の場所で発生したと考えられる。

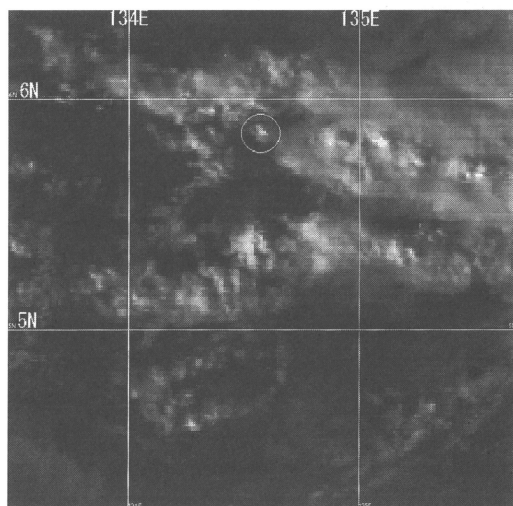
第3図は竜巻の発生地点付近を拡大し、15時00分～15時45分まで15分おきに示したレーダーエコー図で

ある。15時00分に北緯6度、東経134.4度付近から北緯6度、東経134度付近を通りさらに北西に伸びているエコー域①は、その後約30 km/hの速さで東進して、15時30分には北緯6度に沿って東西50 km以上、南北10 km程度の線状のびるエコー域となった。一方、北緯6度、東経135度付近にあるエコー域からは北緯5.7度付近に沿って西向きに線状のエコー域②が伸び、15時45分にはエコー域①とつながった。

第4図は15時45分のレーダーエコー図をさらに拡大したものである。啓風丸のほぼ真上に約5 km四方のエコー域③がある。このエコー域③は15時37分のレーダーエコー図ではとらえられていないものである。静止気象衛星GMS-5が15時42分に撮影した可視画像(第5図)を見ると、ほぼ同じ場所に白く輝く雲(図中の白い円内)が撮影されており、このことからエコー域③はこの積乱雲に伴うエコーであると考えられる。



第4図 第3図(d)の竜巻発生地点付近をさらに拡大した図。×印は啓風丸の位置を示す。☆印は竜巻が発生したと推定される位置を示す。

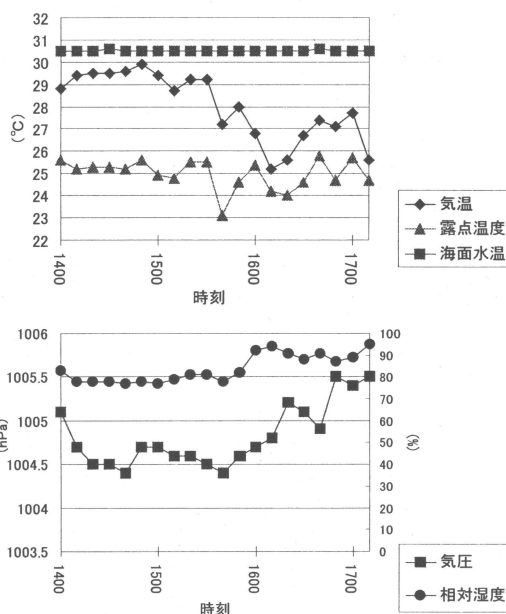


第5図 1999年11月5日15時42分に撮影された静止気象衛星GMS-5の可視画像(気象衛星センター提供)。

このエコー域③の位置は竜巻の発生位置とほぼ一致している。

なお、啓風丸では15時50分～16時10分の20分間に14.0 mmの雨量を観測したが、これはエコー域①と②を結ぶ線状エコーの下を啓風丸が通過したためと考えられる。

第6図は竜巻の発生前後にあたる1999年11月5日14～17時の10分毎の気温、露点温度、海面水温、海面気圧、相対湿度の時系列図である。また、第7図は風



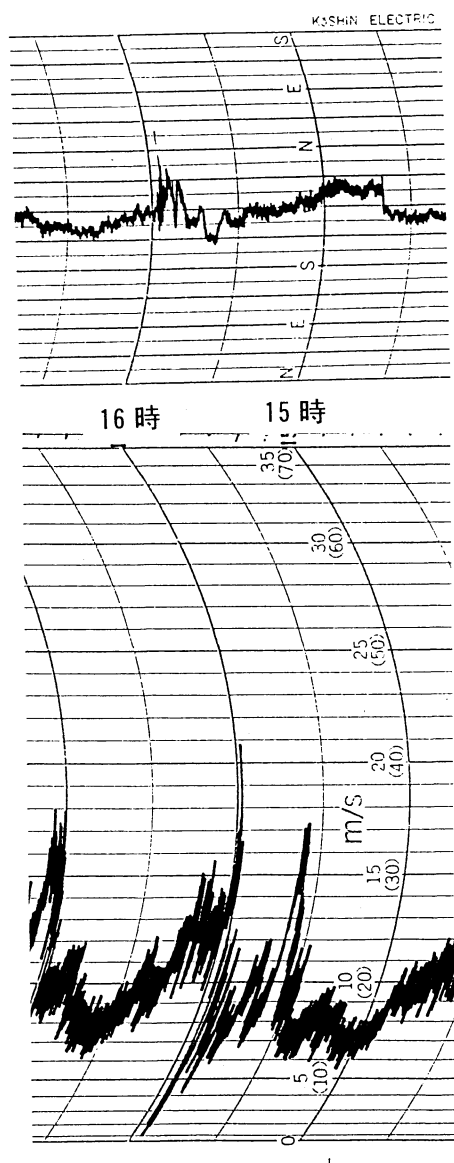
第6図 啓風丸で観測した10分毎の気温、露点温度、海面水温、海面気圧、相対湿度の時系列図(1999年11月5日14時～17時)。

向風速計の自記紙記録である。啓風丸が線状エコー①の南側にあった竜巻発生前～発生時には、気温が28.7～29.9℃、湿度が77～83%で推移した。海面気圧は14時00分に1005.1 hPaだったのが15時30分には1004.4 hPaと緩やかに下降している。風は14時00～40分では10 m/s以上の西南西の風が吹いていたが、15時20分には7.8 m/sの西風と少し弱くなった。

竜巻発生時の15時30～40分には気温が2℃下降し、15時35分に瞬間風速17.1 m/sの西風を観測したが、海面気圧はほとんど変化しなかった。第7図によると15時35分以降風向が南西に変化し、15時40分には約9 m/sの南西の風となった。その後再び15時47分には西風となり、15時55分には約7 m/sの北西の風となった。このことから、線状エコー域付近には $1.8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以上の水平収束があったことがわかる。

線状エコー域の下を通過した15時50分～16時10分には、気温がさらに下降する一方、湿度は上昇し、16時10分に気温25.2℃、湿度94%となった。風は、15時59分に最大瞬間風速20.6 m/sの西風を記録した。海面気圧は15時40分以降上昇しはじめ、線状エコー域の北側に入った16時20分には1005.2 hPaまで上昇した。風は16時20分以降、西南西から南西の風になった。

なお、海面水温は14～17時では30.5～30.6℃でほと



第7図 風速計の自記紙記録 (1999年11月5日14時30分～16時30分)。

んど変化が無かった。

#### 4. 考察

##### 4.1 観測した竜巻の特徴と過去の水上竜巻との比較

Golden (1974a)によれば、水上竜巻の95%は線状の積雲群の下に存在するシアライン付近において、シア不安定によって発生した渦を積雲(積乱雲)の上

風  
向

風  
速

昇流で引き伸ばすことによって発生するとされ、複数の竜巻が発生することが少なくないとされている。

今回観測された竜巻については、目視で2個の竜巻を観測し、レーダー観測において竜巻の発地点付近に線状のエコーを観測しており、Golden (1974a)の記述と一致する。

また、啓風丸で観測された風を見ると、15時40分に南西風、15時47分頃に西風、15時55分に北西風と変化している。このことから、啓風丸はシアラインを15時47分頃に横切っていることがわかる。15時47分の啓風丸の位置は、竜巻発生時刻の15時30分の位置から見ると約7 km 北西にあたる。目視観測による竜巻の発生位置は啓風丸の北北西4～5 km であるから、シアラインと竜巻の発生位置はほぼ同じであると言える。さらに、静止気象衛星 GMS-5とレーダー観測から、竜巻の発生位置付近には発達中もしくは発達した積乱雲があったと考えられる。

以上のことから、今回観測された竜巻は Golden (1974a) による水上竜巻の特徴をよく備えていると言える。

なお、陸上の強い竜巻(トルネード)を発生させるスーパーセルの場合、竜巻の発地点付近にフック状エコーが気象レーダーで観測されることが多いが、今回の啓風丸の気象レーダーではフック状のエコーは確認されなかった。

##### 4.2 沖合い海上での竜巻は少ないのか?

今回観測した竜巻は、熱帯域の陸上から遠く離れた沖合い海上で発生したものである。藤田 (1973) は、水上竜巻の親雲は大洋の真っ只中よりも気流の乱れの多い海岸近くに発生することが多いと述べているが、啓風丸では1988年7月20日に紀伊半島の沖合い約30～50 km で4個の竜巻(裁ほか, 1989)を、1999年7月1日に九州や南西諸島から150～200 km 離れた東シナ海上で1個の竜巻(水野ほか, 1999)を観測している。また、1998年11月～1999年11月までの13か月間で計5回(本報告を含む)竜巻を目視で観測しており、そのうち3回は北緯10度以南の熱帯太平洋域である。啓風丸の平均視程を30 km と仮定し(観測できる面積は $30 \times 30 \times 3.14 = 2826$ 平方 km)、この13か月間(この期間で海上にいた日数は193日間)について、竜巻の発生率を計算してみると、 $5 \text{ 回} / (193/395) / (2826/10000) = 36.2 \text{ 個} / 10000 \text{ 平方 km} / \text{年}$ となる。この値はアメリカで最も竜巻の発生確率の高いオクラホマ州中部の10倍以上、日本で最も発生確率の高い沖縄県(新野、

1993) の約6倍にもなる値である。啓風丸は北西太平洋の広い範囲を航行しているという点で陸上の発生確率とは同じ意味ではないことや、統計期間が短いこと、平均視程を30 kmと仮定していることなどの問題はあがあるが、この値は非常に高い値と言える。このように、沖合い海上は決して竜巻が少ない場所ではないと考えられる。それにもかかわらず、沖合い海上の竜巻の報告が今まで少なかったのは、陸上ならば竜巻が発生すれば人的な被害はなくても物的には何らかの被害が生じるが、海上では船などが直接竜巻に巻き込まれない限り被害が発生するわけではないため (Niino *et al.* (1997) の33年間 (1961~1993年) の竜巻のデータベースによると、沖合い海上の竜巻で船に被害があった報告は、1978年9月29日に鹿児島県トカラ列島南部の横当島の西方約75 kmの海上で漁船 (16トン) が竜巻に遭い航行不能になった件 (福岡管区気象台, 1978) と、1980年8月19日に千葉県勝浦市の南東25 kmの海上で漁船2隻が竜巻により転覆した件 (東京管区気象台, 1980) の2件)、報告する必要性がほとんど無かったからであろう。

## 5. まとめ

1999年11月5日15時30分から15時40分にかけて熱帯太平洋上で発生した竜巻を海洋気象観測船「啓風丸Ⅰ」で観測した。今回の竜巻の主な特徴は下記のとおりであった。

1) 過去ほとんど報告例がない北緯5.8度という低緯度で発生した竜巻であった。

2) 竜巻は2個発生し、寿命は約4分と約5分であった。回転方向はともに反時計回りだった。

3) 竜巻の漏斗雲は雲底から海面まで達し、発生時はほぼ垂直だったのが、徐々に雲底と海面の中間よりやや下で屈曲していった。漏斗雲の上部は周囲が濃い灰色で、中央部が半透明だった。

4) レーダー気象観測によれば、竜巻発生時には様々な大きさのエコー域が多数存在し、竜巻の発生地点付近には線状エコーが存在した。

5) 線状エコー付近を啓風丸が通過した際、南側で南西の風、北側で北西の風となる風向の変化を観測した。これは風のシアラインを通過したためと考えられる。

竜巻の強度や規模などの情報は得られなかったが、海上気象観測とレーダー気象観測の結果から、今回観測した竜巻は、風のシアラインと線状エコーを伴う

積乱雲によって発生した水上竜巻と考えられる。

## 謝 辞

安全な運行により啓風丸の海上気象観測を常時支えていただいた啓風丸乗組員の皆様に感謝いたします。また、東京大学海洋研究所の新野 宏助教授と気象庁気候・海洋気象部の金田技官、気象衛星センター (現：気象庁気候・海洋気象部) の三河調査官には有益な助言を頂いた。

## 参 考 文 献

- Fujita, T. T., 1973: Tornadoes around the world, *Weatherwise*, **26**, 56-62, 78-83.
- 藤田哲也, 1973: たつまき (上) — 渦の驚異 —, 共立出版, 228pp.
- 福岡管区気象台, 1978: 福岡管区異常気象報告, (64), 21.
- Golden, J. H., 1968: Waterspouts at Lower Metacumbe Key, Florida, September 2, 1967, *Weather*, **23**, 103-114.
- Golden, J. H., 1973: Some statistical aspects of waterspout formation, *Weatherwise*, **26**, 108-117.
- Golden, J. H., 1974a: The life cycle of Florida Keys' waterspouts. I, *J. Appl. Meteor.*, **13**, 676-692.
- Golden, J. H., 1974b: Scale-interaction implications for the waterspout life cycle II, *J. Appl. Meteor.*, **13**, 693-709.
- Golden, J. H., 1977: An assessment of waterspout frequencies along the United States east and gulf coasts, *J. Appl. Meteor.*, **16**, 231-236.
- 小林文明, 千葉 修, 松村 哲, 1997: 1994年10月4日土佐湾上で発生した竜巻群の形態と構造, *天気*, **44**, 19-34.
- 水野孝則, 奈良 税, 啓風丸観測員, 新野 宏, 1999: 1999年7月1日東シナ海上で発生した竜巻とその親雲について, 日本気象学会1999年秋季大会講演予稿集, 284.
- 新野 宏, 1993: 第4章, 気象庁技術報告, (113), 105-144.
- Niino, H., T. Fujitani and N. Watanabe, 1997: A statistical study of tornadoes and waterspouts in Japan from 1961 to 1993, *J. Climate*, **10**, 1730-1752.
- 裁 吉信, 小幡紀一, 瀬掘パトリック, 中村信一, 1989: 1988年7月20日紀伊半島沖で発生した「たつまき」について, *研究時報*, **41**, 113-120.
- Simpson, J., B. R. Morton, M. C. McCumber and R. S. Penc, 1986: Observations and mechanisms of GATE waterspouts, *J. Atmos. Sci.*, **43**, 753-782.
- 東京管区気象台, 1980: 東京管区異常気象報告, 21(3), 5.

## Waterspouts Occurred over the Tropical Pacific on 5 November 1999

Keizo SHUTTA<sup>\*1</sup>, Tadahiro SAITO<sup>\*2</sup>, Takanori MIZUNO<sup>\*3</sup>  
Takeo MAEHIRA<sup>\*4</sup> and Chikara NARA<sup>\*5</sup>

<sup>\*1</sup> Maritime Meteorological Division, Climate and Marine Department, Japan Meteorological Agency.  
(Present affiliation : Kobe Marine Observatory)

<sup>\*2</sup> Maritime Meteorological Division, Climate and Marine Department, Japan Meteorological Agency.  
(Present affiliation : Hakodate Marine Observatory)

<sup>\*3</sup> (Corresponding author) Maritime Meteorological Division, Climate and Marine Department,  
Japan Meteorological Agency, 1-3-4 Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-8122, Japan.  
(Present affiliation : Cabinet Secretariat, 1-6-1 Nagatachou, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-8968, Japan)

<sup>\*4</sup> Maritime Meteorological Division, Climate and Marine Department, Japan Meteorological Agency.  
(Present affiliation : Free lance)

<sup>\*5</sup> Maritime Meteorological Division, Climate and Marine Department, Japan Meteorological Agency.  
(Present affiliation : Ministry of the Environment)

(Received 6 November 2001 : Accepted 10 April 2002)

## 気象技術講習会開催のお知らせ

(社)日本気象学会は、(財)気象業務支援センターと共催で、初心者を対象とした講習会を以下の要領で実施する。

1. 講習会名称：気象技術講習会「気象学の基礎」課程（第6回）
2. 講習内容：気象技術習得のための気象学とそれに関する数学・物理の基礎を解説する入門講座
3. 期 間：平成14年8月21日（水）～10月16日（水）までの毎週水曜日（全9回）  
（講習終了後、レポートを提出して頂き（希望者のみ）、合格者に「修了証」を発行する）
4. 時 間：14時～17時
5. 受講料：1人36,000円（教材費込み、税別）
6. 講習会場：(財)気象業務支援センター4F 会議室  
東京都千代田区神田錦町3-17 東ネンビル  
（地下鉄東西線竹橋駅下車徒歩3分）
7. 定 員：40名（定員になり次第締切）

8. 申込締切：平成14年8月14日（水）当日消印有効
9. 申込方法：「気象学の基礎課程」受講希望と明記し、必要事項（住所、氏名（ふりがな付き）、電話番号、勤務先または学校名、年齢）を書いて、以下の申込先にハガキまたは Fax あるいは E-mail で申し込んでください。

10. 申込先：  
〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-17 東ネンビル  
(財)気象業務支援センター「基礎課程講習会」係  
Fax. : 03-5281-0443  
E-mail : methiroba@jmbasc.or.jp

詳細は(財)気象業務支援センター (<http://www.jmbasc.or.jp/>) 及び(社)日本気象学会ホームページ (<http://www.soc.nii.ac.jp/msj/>) に掲載しています。案内書は上記申込先にハガキまたは Fax で請求してください。