

# 18 平成 16 年 9 月 27 日に名護市豊原及び今帰仁村古宇利島で発生した突風（竜巻）

玉城和男・玉城貞人・當間豊（石垣島地方气象台）

野嵩樹・竹之内正俊・比嘉芳也・東里正明（与那国島測候所）

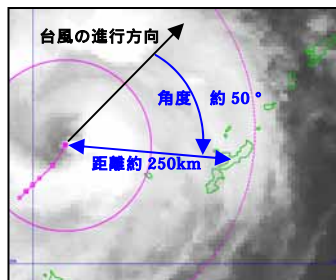
## 1 はじめに

2004 年 9 月 27 日 20 時から 21 時にかけて台風第 21 号が接近中に、竜巻による突風被害が沖縄本島の名護市豊原と今帰仁村古宇利島で発生した。

本調査では、竜巻発生時の対流セルについて気象観測データによる解析を行うと共に、JMANHM を用いて対流セルの再現を試み、その発達環境や構造、特徴などについて解析を行った。なお、本調査は平成 19 年度沖縄管内共同調査の一環として実施したものである。また、突風や竜巻は航空機の安全運航に影響が大きい大気現象であり、この調査は航空気象業務にも資するものである。

## 2 竜巻発生時の気象状況

竜巻の発生した 9 月 27 日 21 時頃には、台風は久米島の西北西の海上にあって北東に毎時約 10km/h で進んでおり、沖縄本島地方の全域が強風域にあり、久米島が暴風域に入った。



第 1 図 9 月 27 日 21 時の衛星赤外画像と台風の強風域（点線）と暴風域（実線）及び竜巻発生場所の台風の進行方向との角度

台風時の竜巻は、台風の進行方向の北東象限に多いことがこれまでの調査で分かっている。この事例も台風の進行方向に対して約 50° に位置し台風の中心からの距離は約 250km であった（第 1 図）。

また、竜巻の発生した時刻には、沖縄本島は輝度の高いバンド状の発達した雲域に覆われており、特に本島北部の雲頂温度は -50 以下で、雲頂高度は約 200hPa に達していた。

## 3 高層気象観測資料による解析

27 日 21 時の那覇の高層気象資料によると、600hPa より下層で対流不安定で、各種安定指数も SSI = -0.1、K-index = 34、CAPE = 1307 と不安定であった。また台風の強風域に入っていない名瀬でも、上記安定指数は那覇とほぼ同程度であるが、スーパーセルの発生の目安を表す SReH は、名瀬の 92 に比較して那覇では 164 と大きく、スーパーセルが発達する下限の 150 を超えている。

## 4 レーダー画像による解析

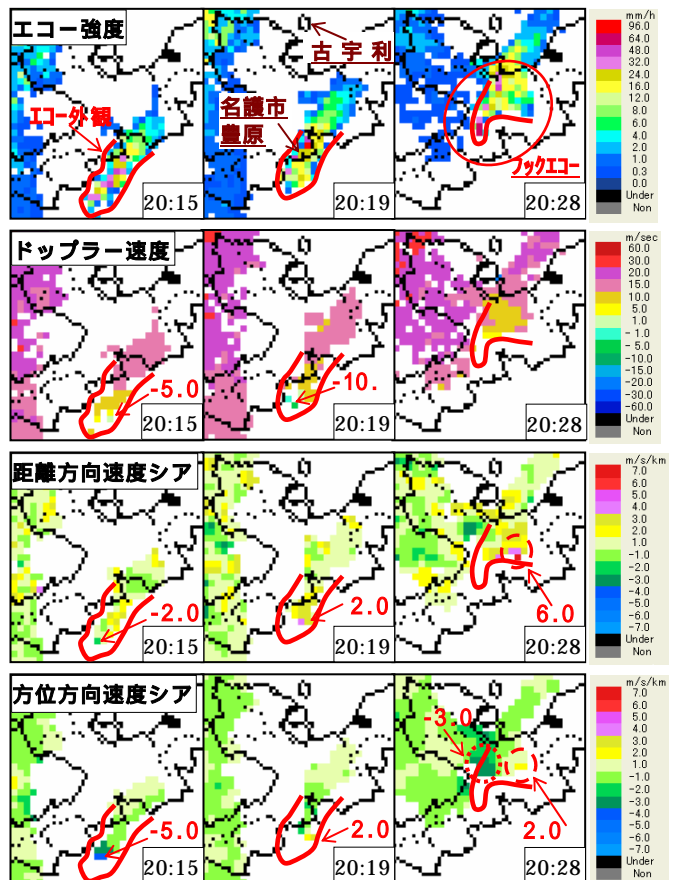
台風が宮古島の北海上から久米島の西海上を北上するのに伴い、沖縄本島には台風に伴うレイン

バンドが 27 日 19 時頃からかかり始め、そのレインバンドの東側では孤立する対流セルが発生・発達して北上し、本島北部を通過時にはレインバンドは合流している。竜巻はこの対流セルの通過時に発生している。

那覇空港気象ドップラーレーダーの時系列を第 2 図に示す（観測高度は豊原付近で約 1 km）。

エコー強度図によると、名護市豊原に 20 時 19 分頃からエコーがかかり始め、20 時 27 分には北へ通過している。竜巻が発生した 20 時 30 分頃には豊原付近にエコーは見られないが、強度 64.0mm/h 以上に発達したエコーが豊原方向に伸びている。また、竜巻発生時のエコーはフックの形をしている。

ドップラー速度では、エコーが豊原付近にかかる直前の 20 時 15 分から負の領域 (-5.0m/s) が出現し、豊原に達した後消滅している。



第 2 図 那覇空港気象ドップラーレーダー時系列(9 月 27 日)

(飛行場モード、200km レンジ、仰角 0.7°)

(上段から、エコー強度、ドップラー速度、距離方向速度シア、方位方向速度シア)なお、背景と地図の色を変更

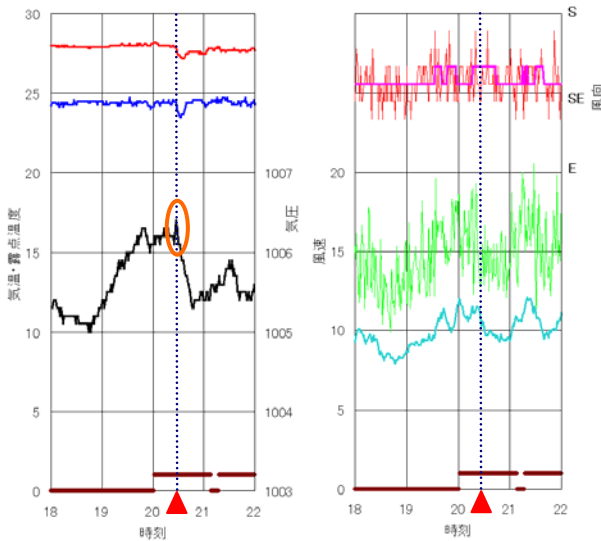
距離方向速度シア及び方位方向速度シアでは、ともに豊原付近にかかる直前からエコーの南端付近で正と負の領域が出現しており、20時28分では負の領域（点線円）はエコー強度の比較的強い領域に、正の領域（破線円）はエコー強度の比較的弱い領域に対応している。

竜巻発生時はフックエコー（「エコー強度」円内）をしており、メソサイクロンの可能性が考えられる。

### 5 地上気象観測資料による解析

名護特別地域気象観測所の地上気象観測資料によると、名護市豊原で竜巻が発生した時刻に近い20時30分前後に気温・露点温度や海面気圧、風速などの変化が大きい（第3図）。

気温と露点温度の下降時に海面気圧も一時的に上昇しており、この頃は名護市豊原で竜巻をもたらした対流セルが名護の東を通過中であつた。このことから、地上気象観測資料に見られる特徴は竜巻を起こした対流セルからの冷気外出流による可能性が考えられる。ところが、これに伴う風の強まりは見られず、かえって弱くなっている。一方、海面気圧と風速の変化が良く対応していることから、何らかの関連があるものと思われる。



第3図 名護の地上気象観測値の時系列（9月27日）  
左：上から気温、露点温度、海面気圧、降水有無  
右：上から風向、最大瞬間風速、平均風速、降水有無  
は気温が下降した時刻、○は気圧上昇部分

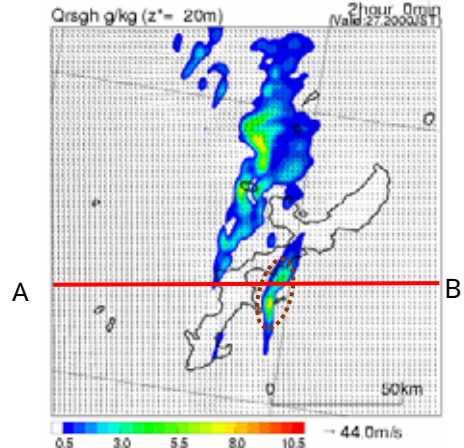
### 6 JMANHM 実験

実験では初期値に2004年9月27日06UTCを用いて、5km格子 2km格子 1km格子とネスティングを行なった。

### 7 JMANHM の再現性

第4図に27日20時の1kmNHMでの高度20mにおける雨水混合比を示す。勝連半島東側にある対

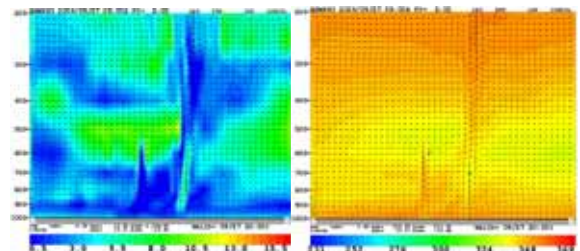
流セルは、19時に勝連半島南海上に現れ、20時に対流活動がピークとなるが、21時には金武町から本部半島付近に達し衰弱した。この対流セルは、実況で竜巻を伴った対流セルと位置や時刻はずれているが発達・盛衰はほぼ再現していると思う。更に、20時の降水分布にはフック状の形状も見られた。



第4図 1kmNHM 高度20mにおける雨水混合比（9月27日20時）○はフック状、A-Bは第5、7、9図の鉛直断面の位置

### 8 レインバンド及び対流セル発達環境

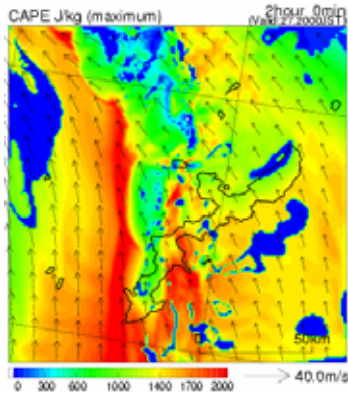
湿数（T-TD）の分布では、下層はレインバンドに対応して南から湿潤空気が流入しており、500hPa付近には台風を回り込む乾燥域が本島の西側にあり、600hPa付近にも本島東海上からの乾燥域がある。また、対流セルの東側に沈降の乾燥域が見られる（第5図の左）。また、相当温位（EPT）の分布では、下層でレインバンドに対応して南から高相当温位（ $\theta > 355\text{K}$ ）の空気が流入しており、対流セル付近では高相当温位が上層まで流入している。対流セルの、西側と東側の600~500hPa付近は相当温位の低い層が解析される（第5図の右）。これらのことから、対流セル付近では対流不安定な大気の状態であることがわかる。



第5図 1kmNHMのA-B鉛直断面図（9月27日20時）  
左：湿数（T-TD） 右：相当温位（EPT）

レインバンドの下層には南から非常に暖かい空気が流入し、勝連半島南海上から伊江島付近にかけて1500J/kg以上の非常に大きなCAPEとなっている（第6図）。

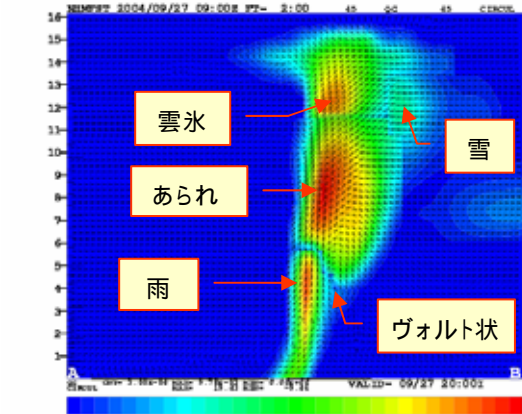




第6図 1kmNHM 下層 (~800hPa) の最大相当温位気塊から計算した CAPE (9月27日20時)

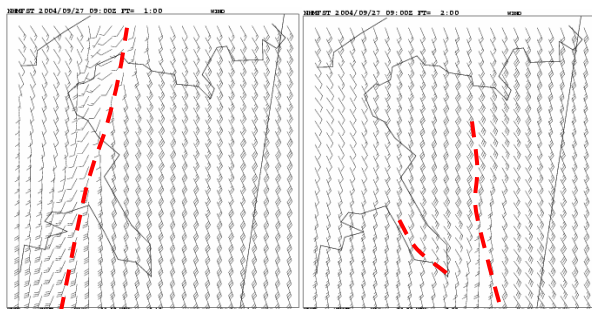
### 9 対流セルの特徴

第7図の鉛直断面図は、対流セルの下層から雨、あられ、雪、雲氷の混合比をそれぞれ示した図を合成したものである。対流セルの下層には雨、中層にはあられ、上層には雲氷と雪がそれぞれ分布している。雨とあられの境目にはへこみがあり、その上にあられ域が前面にせり出していてヴォルトに見える。



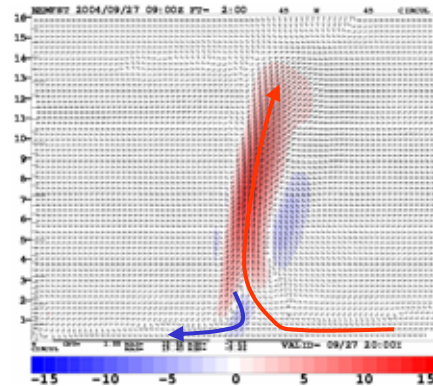
第7図 1kmNHM 対流セルの雨、あられ、雪、雲氷の混合比と鉛直流 (9月27日20時)

第8図に地上風を示す。19時及び20時には対流セルの前面(東側)で風向シアーがあり、20時にも勝連半島南側で風向シアーがある。ところが、21時には地上風の風向シアーは解消した。



第8図 1kmNHM 地上風シアー (波線) (9月27日 左:19時、右:20時)

第9図に鉛直流と鉛直方向の速度を示す。対流セルの下層には下降流があり、降水に対応していると思われる。一方、上層の対流セルの中心には強い上昇流があって、上昇流域はやや東に傾斜しており、対流セルの最盛期を示唆している。一方、強い上昇流の東側 4km~8km の層には下降流があり、あられ落下によるものと思われる。

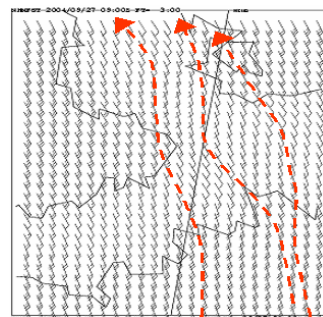


第9図 1kmNHM 対流セルの鉛直流と鉛直方向の速度 (9月27日20時)

対流セルの大きさは、東西に約 10km程度であり、降水分布はフック状になっている。中心の高度 5km~10km付近には上昇流の最大層があり 19m/sと強い。水平風は上昇流の中心に向かって収束しており、最大上昇流付近では  $50 \times 10^{-4}/s$  を超える大きな正渦度がある。

### 10 JMANHM 感度実験

ドライモデル実験(第10図)との比較から、降水により下層の収束が強まっていることや地形が



第10図 ドライモデル実験での地上風(9月27日21時)

与える影響として、名護岳を回り込む風が屋我地島付近で収束していることが確認できた。この下層収束は、古宇利島で発生した竜巻発生の渦度強化に寄与している事が考えられる。

### 11 まとめ

気象観測データによる解析と NHM 実験解析から、竜巻を起こした対流セルはメソサイクロンを伴っている可能性があることが分かった。また、NHM 実験では伊江島の北海上にも顕著な対流セルが再現されている。今後の課題は、事例解析の他、NHM 実験などを通して、竜巻の発生の仕組みを解明することで、竜巻をもたらす対流セル発生域の気象現象等の有効な監視手法を見つけることである。