

21 平成 18 年 11 月 22 日に東村付近で発生した突風について

南雅晃・山崎洋治・親富祖努・小山克人（沖縄气象台）

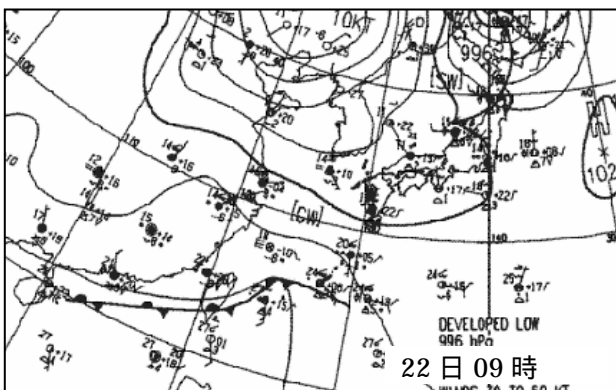
1 はじめに

平成 18 年 11 月 22 日 13 時ごろ、沖縄本島の東村宮城魚泊で突風現象によりプレハブ小屋の窓ガラスが割れるなどの被害が発生した。後の被害調査で竜巻（藤田スケール F1 クラス）の発生が確認された。この事例について JMANHM を利用して解析を行い、突風の予測可能性について調査し、突風災害の軽減や航空気象業務の向上をはかる。

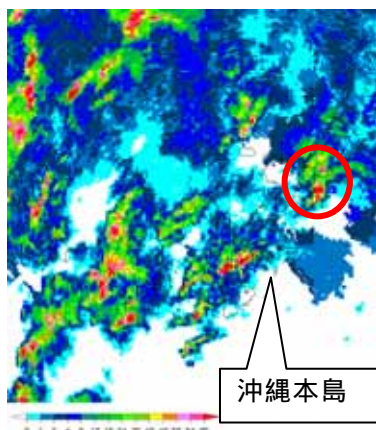
なお、本調査は平成 19 年度沖縄管内共同調査「竜巻やダウンバースト等の突風現象の監視技術及び予測可能性について」の一環として実施した。

2 気象概況

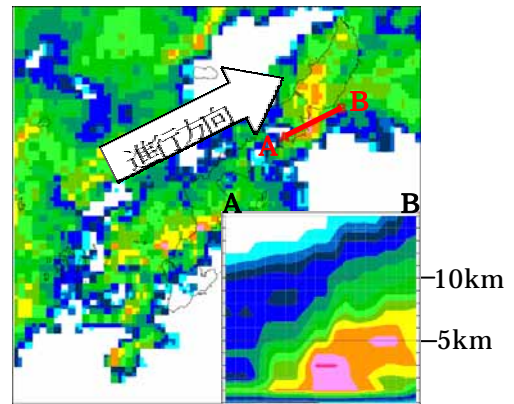
11 月 22 日の地上天気図 09 時 JST（第 1 図）では、東シナ海にある停滞前線上に低気圧が発生し、発達しながら 20km/h の速さで東北東へ進んだ。この低気圧の東北東進に伴い、沖縄本島地方は前線に向かって南からの暖かく湿った空気が流入する場となり、前線の活動が活発となって、沖縄本島地方は積乱雲が発生しやすい場であった。



第 1 図 地上天気図 2006/11/22 09 時



第 2 図 レーダー画像 2006/11/22 12:50

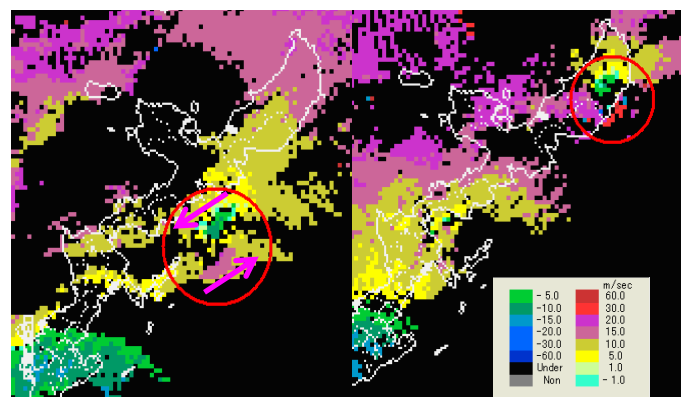


第 3 図 レーダー画像 2006/11/22 12:50

3 積乱雲の気象レーダー解析

気象レーダー観測（第 2 図）によると、発達した強い降雨域が沖縄本島金武町の東海上沖から北東に進み東村宮城付近で（部分）降水強度 80 ミリ以上、積乱雲の雲頂高度も 14km に発達した。この積乱雲の A-B 点での断面図（第 3 図）を見ると、進行方向にオーバーハングしている様子が見える。この後オーバーハングは不明瞭となる。この積乱雲の寿命については、12 時 30 分頃から急発達、13 時 20 分頃から東進してきた別の積乱雲と合流、吸収され不明瞭となる。

ドップラー気象レーダーで解析すると、12 時 18 分（第 4 図）のドップラー速度 200km レンジでは金武町の東海上で反時計回りのシアーが確認できる。このシアーは時間とともに北東進し 13 時 04 分には国頭村まで移動し、そのときにはドップラーから遠ざかる成分が 30～60m/s の領域も確認できる。この時の渦度は $1.2 \times 10^{-2}/S$ から $2.7 \times 10^{-2}/S$ 程度である。しかし、この 12 時 30 分から 12 時 55 分頃まではドップラー速度 200km レンジでは不明瞭となっている。

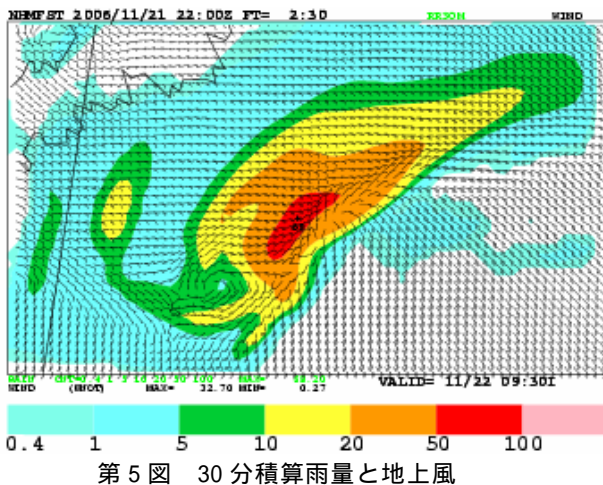


第 4 図 ドップラー速度 2006/11/22 12:18 と 13:04

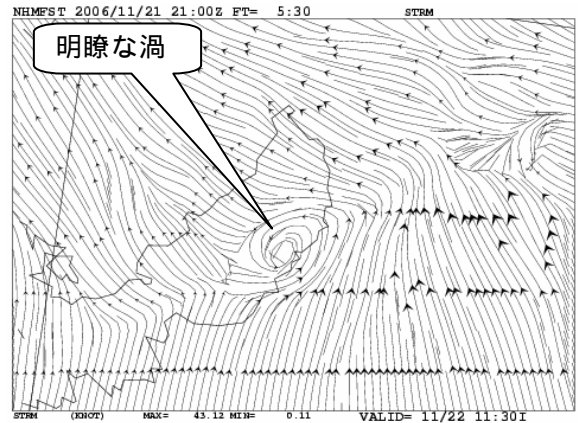
4 . JMANHM 再現実験の結果

今回は JMANHM を用いた再現実験を複数回行った。初期値は全て 2006 年 11 月 22 日 06(JST)のものを用い、5km 2km 1km メッシュの順でネストした。そのときのパラメータは全てデフォルトで用意されているものを用いている。第 5 図は 1km メッシュでパラメータは MF2km(後述の設定 8)を用いた計算結果で、これを実況と比較すると積乱雲の中心は、竜巻の発生位置より南に約 30km 地点に表現され、発生時刻も 3 時間程度のずれがある。また、実際には後面にあるはずの前線に対応したレインバンドが再現されていない。さらに南東側に雨の弱い部分とフック状にのびた雨域があり、風についても積乱雲の中心付近で南東風と北東風の収束場となっており低気圧性循環が表現されている。設定 5 の地上の流線図(第 6 図)では、地上の循環がはっきりと確認できる、この時の渦の大きさは半径 5km 前後、渦度は各種パラメータ等の条件によっても変わる(後述)が、最大で 1km メッシュでの渦度で $1.1 \times 10^{-2}/s$ 程度である。

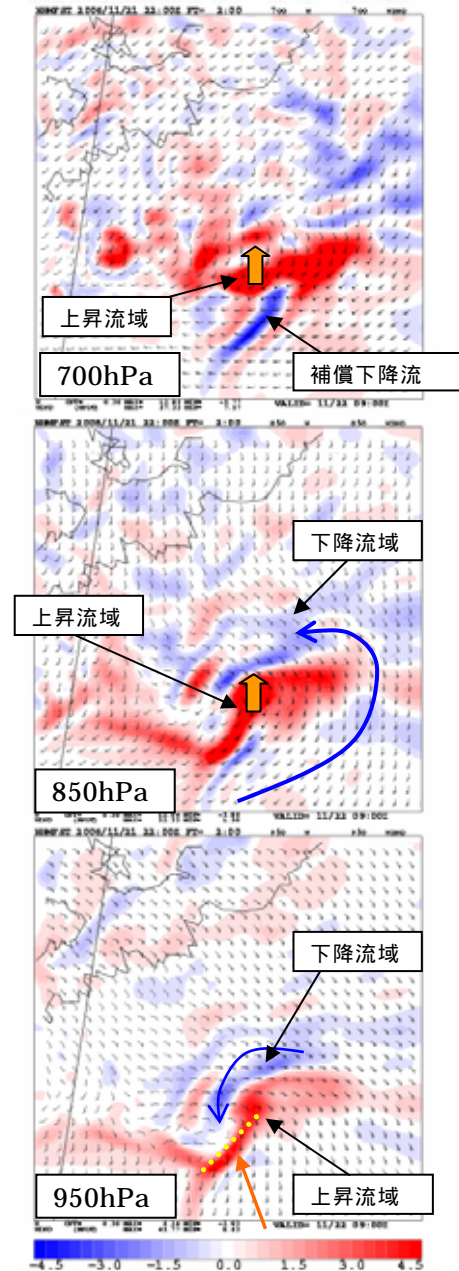
第 7 図は等圧面別の風向風速と鉛直方向の速度を表しており、濃く細い線の領域は下降流、ストームの中心付近、太く薄い線の領域は上昇流である。この時の下層の風は南東又は南から吹き込みストームの中心付近で急上昇し、そのまま上層まで昇り、西風となる。中層の風は南西から吹き込み、ストームの中心を回り込むように下降しながら進みストームの中心付近で地表面付近まで下降し、下層で南からの暖湿な空気とぶつかりガストフロントを形成している。また図は省略するが、上層の風は西風一様で、強い上昇流、下降流は存在しない。700hPa 面に見える中心南側の下降流は補償下降流と考える。次に 950hPa 面では、地上の低気圧性循環と対応した渦が確認でき、850hPa 面の渦は北西側に傾き、700hPa 面では渦は不明瞭となる。これらはスーパーセルの三次元構造の特徴とよく合致する。



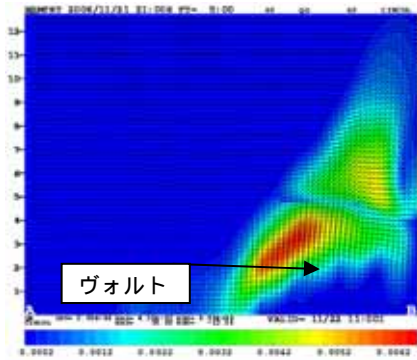
第 5 図 30 分積算雨量と地上風



第 6 図 地上の流線図



第 7 図 700hPa 850hPa 950hPa
鉛直速度と風向風速
950 面の点線はガストフロント



第 8 図 雨, 霰の混合比合成

第 8 図はあられと雨の混合比を合成した図である。明瞭なヴォルトとオーバーハングが見られ、また雨粒から直接霰に成長していることから、急激な上昇流があることが分かる。今回の実験での上昇流の上端は最も高いところでは 14km 程度で、上昇流は最大で 25m/s、気圧偏差の最大値は 3hPa 程度である。

以上より、今回の渦は大きさや渦度等からメソサイクロンであり、また各層の風の三次元的構造や雲内の水物質の分布、さらにメソサイクロンを持つということから、この積乱雲はスーパーセルであったと言える。

5 地形の効果

今回は地形の効果を見るために第 1 表のようにパラメータ、標高、海陸比を変えて 13 例試した。循環とは第 6 図のような循環が見えたかを表している。また親モデルは ko0, ko1, ko2 の 3 種類を用意した。ko1 は ko0, ko2 よりも陸地の近くにストームが表現されており、ko1 は実際のものと同時間、距離共にずれが一番小さく、ko1 は陸上、もしくは陸から 10km 程度の海上で渦が発生し、ko0, ko2 は陸から 30~40km 程度の海上で渦が発生している。渦度は 1km メッシュの地表面の 30 分値の最大値をとっているため注意が必要である。

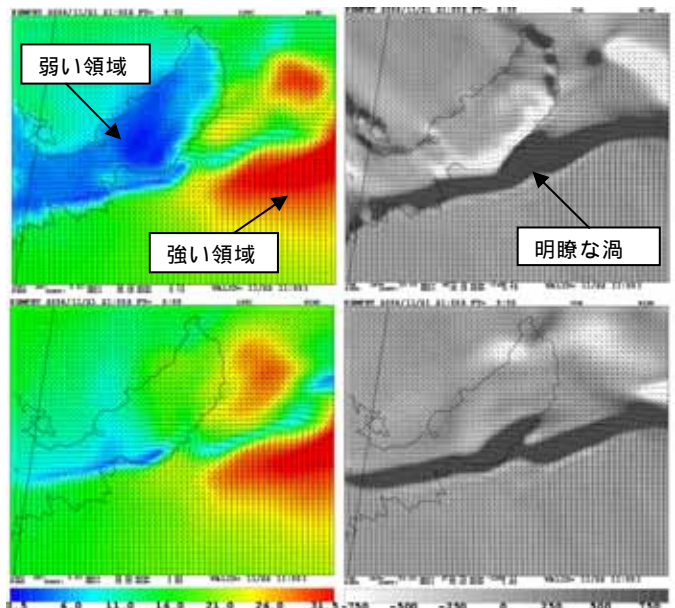
まず言えることは、渦度が、メソサイクロンの基準とされる渦度 $1.0 \times 10^{-2}/s$ 程度あれば、海上では常に渦は出来る。またそれ以下の場合(設定 2~7)、明らかな地形の影響が見られる。設定 6 と 7 の地表面の風向風速、渦度を比較したものが第 9 図であるが、この図からは、本島上に風速の弱い領域があり、陸面粗度による陸上と海上での風速差によるシア強化が渦の形成に寄与している事が分かる。また設定 2, 3 を比較した場合、図は省略するがドライモデルの感度実験により、山の影響による降水の強化に起因する潜熱の放出による渦度強化の影響が強いと思われる。

まとめると基準 ($1.0 \times 10^{-2}/s$) 以上の渦度があれば地形に関係なく渦はでき、基準以下の場合でも地形の効果で渦ができる場合がある。その効果は標高、陸面粗度共に影響が見られ、それぞれ降水強度差による潜熱による渦度強化、風速差によるシア強化が原因であると考えられる。さらに地形により渦度は上

下し、陸面粗度での影響は、陸上以外では影響が少なく、標高による影響は陸から離れている海上でも数十 km 程度まで渦度に影響をもたらす。また積雲対流パラメタリゼーションの違いによる降水の変化に起因する潜熱の放出によつての渦度強化の影響も見られる。竜巻の元となる渦についても、ガストフロント付近の水平シアによる鉛直渦度が引き伸ばされたのではないかと考えるが、竜巻発生現場付近は数百 m 程度の大きさで高さ 50m 程の崖がラッパ状に南に開口している特異な地形をしており、その地形による鉛直渦が引き伸ばされ竜巻になった可能性も考えられる。

第 1 表 条件比較

設定	親モデル 2kmメッシュ	パラメータ 1kmメッシュ	標高	海陸	渦度(地表面) ($10^{-2}/s$)	循環
1	ko0	MF5km	標準	標準	1.09	有
2	ko1	MF2km	標準	標準	0.706	有
3	ko1	MF2km	全て0	標準	0.713	無し
4	ko1	MF2km	全て0	全て海	0.78	無し
5	ko1	MF2kmC	標準	標準	0.732	有
6	ko1	MF2kmC	全て0	標準	0.914	有
7	ko1	MF2kmC	全て0	全て海	0.858	無し
8	ko2	MF2km	標準	標準	1.14	有
9	ko2	MF2km	全て0	標準	1.17	有
10	ko2	MF2km	全て0	全て海	1.17	有
11	ko2	MF2kmC	標準	標準	1.22	有
12	ko2	MF2kmC	全て0	標準	1.06	有
13	ko2	MF2kmC	全て0	全て海	1.02	有



第 9 図 設定 6(上), 7(下)の地表面の風向風速(左), 渦度(右)

6 まとめ

以上のように多少のずれはあるものの、沖縄本島の東村で起きた突風について、竜巻の親雲となるスーパーセル、メソサイクロンを JMANHM を用いて確認できた。またメソサイクロン形成における地形の影響、積雲対流パラメタリゼーションの影響が見えた。つまり 1km のメッシュではメソサイクロンは表現可能で有り、それ以上のメッシュにおいても対応する積乱雲を把握することによって、竜巻発生のポテンシャルの把握に役立てることが出来ると思える。