

報 文

2010年10月15日新潟県胎内市に被害を与えた竜巻の親雲の特徴

塩野 勉*

Characteristics of a Parent Storm of Tornadoes in Tainai City,
Niigata Prefecture, on October 15th, 2010

Tsutomu SHIONO

要 旨

2010年10月15日、新潟県胎内市で藤田スケールF1及びF0と推定される二つの竜巻がほぼ同時に発生し、家屋損壊等の被害をもたらした。この竜巻の親雲の発生環境や構造について、竜巻等の激しい突風に関する予測や監視技術の向上に資することを目的として解析を行った。その結果、竜巻の親雲はメソβスケールの小低気圧の進行方向から見て後方で発生したスーパーセルであり、伴うメソサイクロンの存在高度が低下した後に竜巻が発生していることが分かった。EHI や TVP 等の突風関連指数は竜巻の発生可能性が大きいと判断できるほどの高い値ではなかった。

1. はじめに

2010年10月15日17時過ぎ、新潟県胎内市で突風により家屋損壊や自動車が飛ばされるなどの被害が発生した。新潟地方気象台では、翌16日にJMA-MOT(気象庁機動調査班)による現地調査を実施し、この突風は竜巻によるものと確認した(新

潟地方気象台・東京管区気象台, 2010)。

新潟地方気象台では、15日04時08分に竜巻のキーワードを用いた雷注意報、05時20分に「雷と突風に関する新潟県気象情報」を発表し、当日の朝から竜巻等の激しい突風に対する注意を呼び掛けていた。さらに、突風発生直前の16時56分には、

* 新潟地方気象台(現 予報部予報課)

(2011年6月21日受領, 2012年1月20日受理)

新潟空港出張所から空港の北の海上約5kmで漏斗雲(Funnel Cloud)を観測したとの連絡を受け、竜巻注意情報を発表している。

本調査では、竜巻等の激しい突風に対する予測や監視技術の向上に資することを目的に、竜巻の親雲の発生環境や構造を解析した。

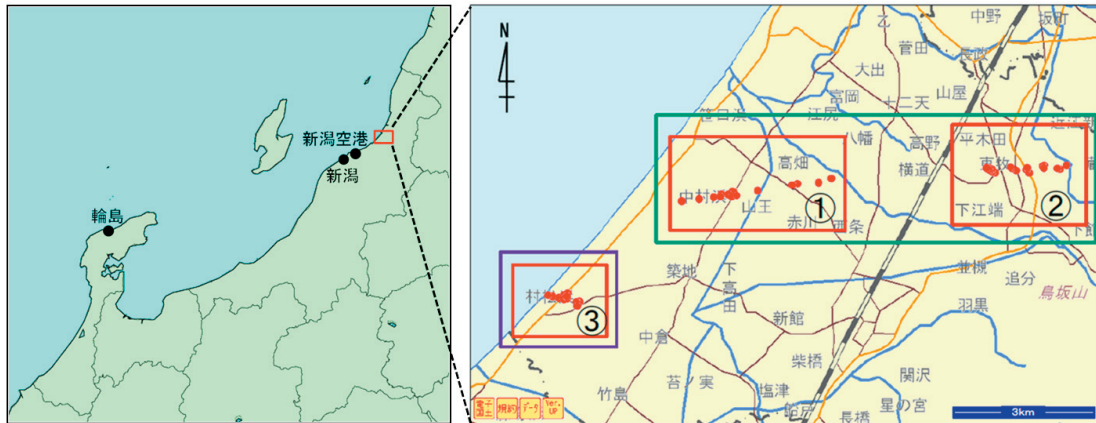
2. 竜巻の概要

第1図は現地調査から得られた竜巻の被害地点分布図である。被害は胎内市の①中村浜から清水地区②東牧から塩沢地区③村松浜に発生し、①+②(幅120m,長さ8.7km)と③(幅約160m長さ約0.7km)の2つの地域に大別される。被害の痕跡

が細い帯状に分布していたことや被害地域付近で2本の竜巻が同時に発生している様子が撮影された写真が根拠となり、二つの竜巻がほぼ同時に発生し、それぞれの地域に被害をもたらしたことが確認された。また、被害の状況から、竜巻の強さ(藤田スケール)は①+②に被害を及ぼした竜巻についてF1,③の竜巻についてF0と推定された。なお、被害の痕跡や目撃情報からは竜巻の回転方向に関する情報は得られていない。

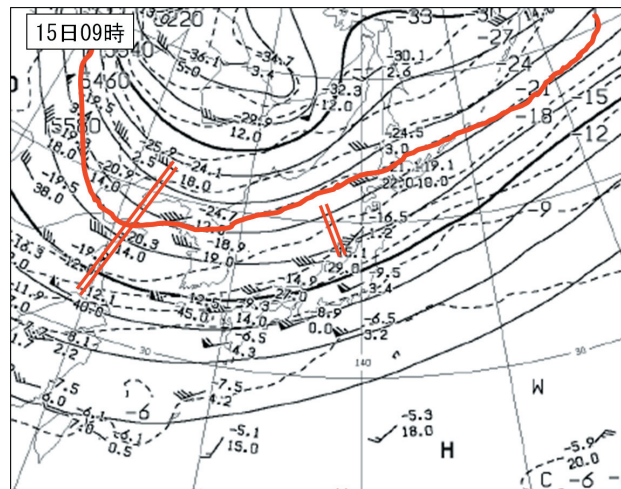
3. 総観場の特徴

第2図は15日09時の500hPa天気図である。図中では渦度が $90 \times 10^{-6} s^{-1}$ 以上となる領域を目安と



第1図 被害分布図

赤丸が被害地点を示す。



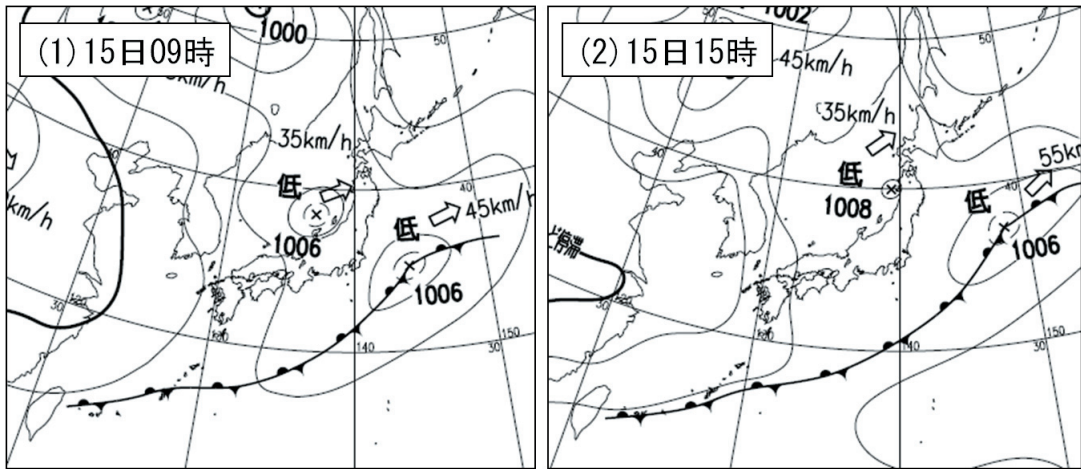
第2図 500hPa天気図 15日09時

赤線は-21℃, 赤の二重線はトラフの推定位置。

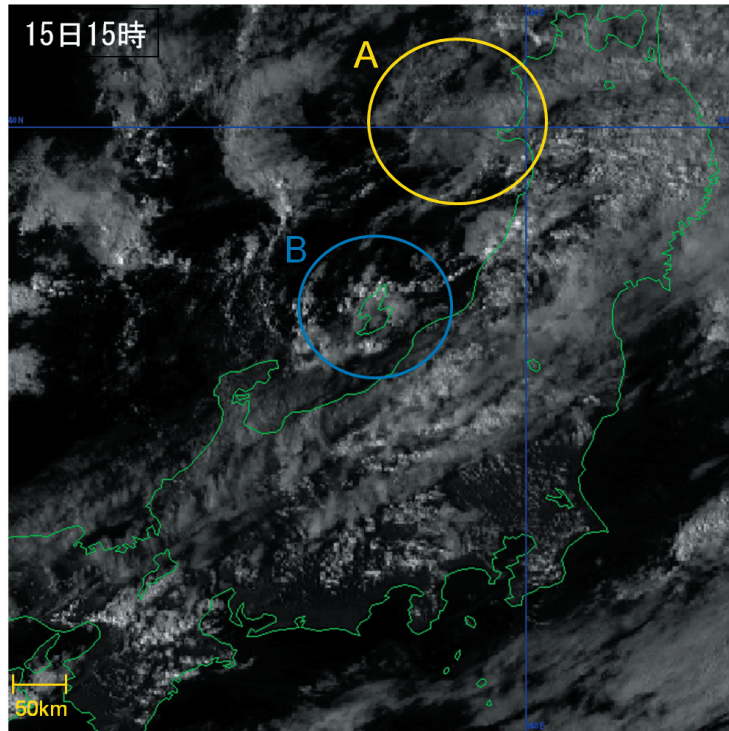
して求めたトラフの位置を赤二重線で示している。日本海中部にはトラフがあるものの伴う寒気が弱く、また、図は略すが下層の暖湿気移流も弱いことから、09時及び21時のSSIは秋田で+2℃とやや不安定だが、輪島で約+6℃と不安定な状況ではなかった。

第3図は15日09時と15時の地上天気図を示す。

15日09時には能登半島の北に先述のトラフに対応する低気圧があり、15時には秋田県付近に進んでいる。第4図の15時の衛星画像によると、秋田県付近に低気圧に対応する雲域Aが、それとは別に佐渡付近には渦状に組織化した対流雲域Bがある。渦状の対流雲域Bはこの後、新潟県下越地方に進み、その通過時に竜巻をもたらした。



第3図 地上天気図 (1)15日09時 (2)15日15時



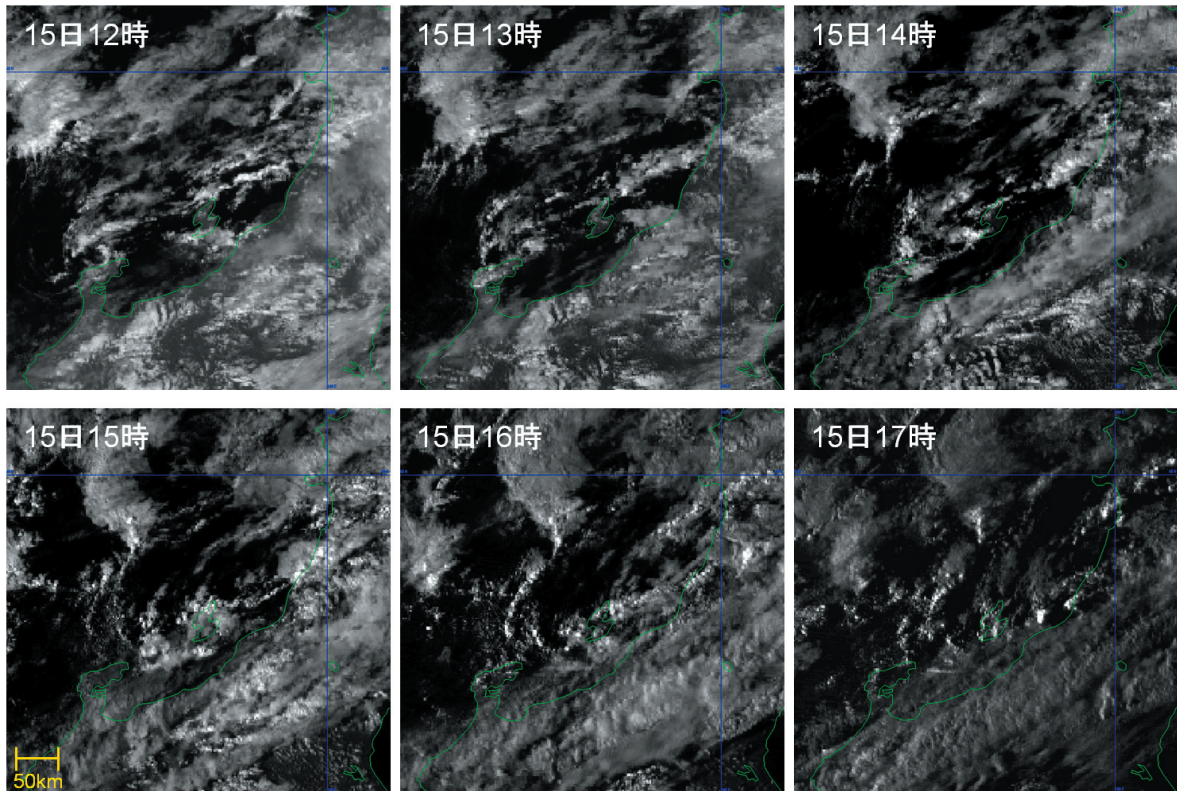
第4図 衛星可視画像 15日15時

4. 渦状の対流雲域の動向

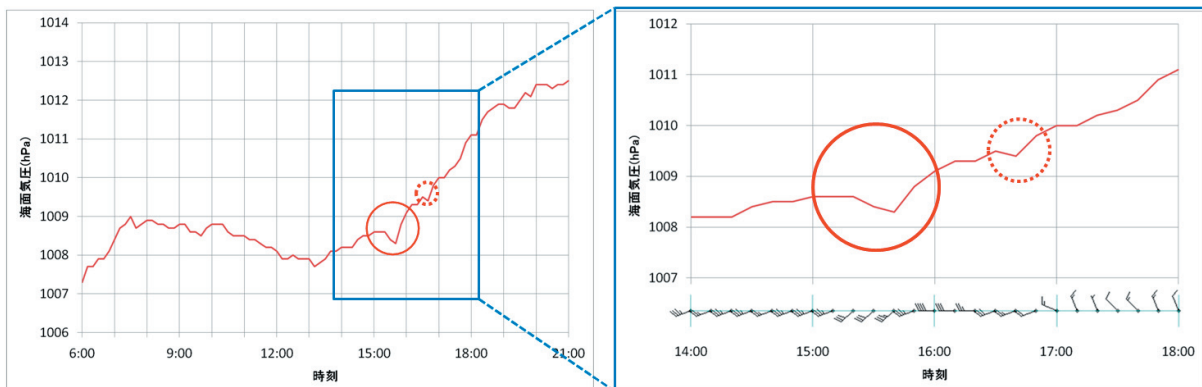
第5図は12時から17時の衛星可視画像を示す。第3項で述べた渦状の対流雲域は、12時には能登半島付近にあるが、15時には佐渡付近に進み、16時頃に新潟市に接近している。

第6図に新潟地方気象台で観測された海面気圧と風向風速の時間変化を示す。これによると8時

頃から13時頃にかけてゆるやかに気圧が下降し、その後20時頃にかけてゆるやかに気圧が上昇している。これは9時に能登半島の北、15時に秋田県付近に進んだ総観規模の低気圧に対応する気圧変化と考えられる。そのような気圧変化の中で15時から16時にかけて1hPa程度の気圧変動と南西から西へ低気圧性の風向変化が観測されている。これ



第5図 衛星可視画像 15日12時～17時



第6図 新潟の海面気圧及び風向風速時系列図

風はm/s単位(長矢羽根2m/s, 短矢羽根1m/s).

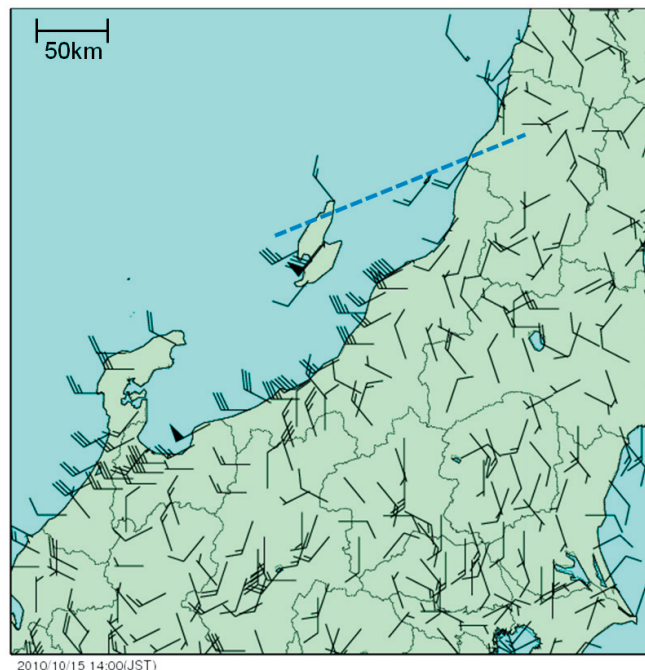
は渦状の対流雲域が通過した時刻とほぼ一致する。図は略するが12時頃に渦状の対流雲域が通過している輪島でも同様に変化が観測されている。このことから、総観規模の低気圧とは別に小低気圧が存在し、渦状の対流雲域はこの小低気圧に対応していると考えられる。渦状の対流雲域について、移動の速度(約50km/h)と新潟地方気象台における気圧変化時間(60分間)から計算される水平スケール(約50km)は、衛星画像から確認できる雲域の水平スケール(50km)とほぼ一致している。このことから、小低気圧は水平スケール約50kmのメソβスケールといえる。

なお、第5図の衛星画像の12時に注目すると、山形県庄内から佐渡の北部にかけて線状に組織化した対流雲域が見える。この雲域はゆっくりと南下して17時には山形・新潟県境から新潟市沖の海上にみられる。第7図に14時のアメダスで観測された風向風速分布を示す。点線で示すように線状の対流雲域に対応する位置に北西風と南西風の風向シアーがある。図は略するが線状対流雲の南下に伴い通過したアメダス観測点では風向変化が観測され

ている。このことから、総観規模の低気圧の南側にシアーラインがあり、線状の対流雲域はこのシアーラインに対応していると考えられる。衛星画像を見ると、先に述べたメソβスケールの小低気圧に対応する渦状の対流雲域はこの線状の対流雲域の延長線上に位置することが分かる。このことからメソβスケールの小低気圧は総観スケールの低気圧の南側に形成されたシアーラインの影響を受けて発生した可能性がある。しかしながら、海上で観測値が不足しているためそれ以上のことは分からなかった。これらの考察については今後の課題としたい。

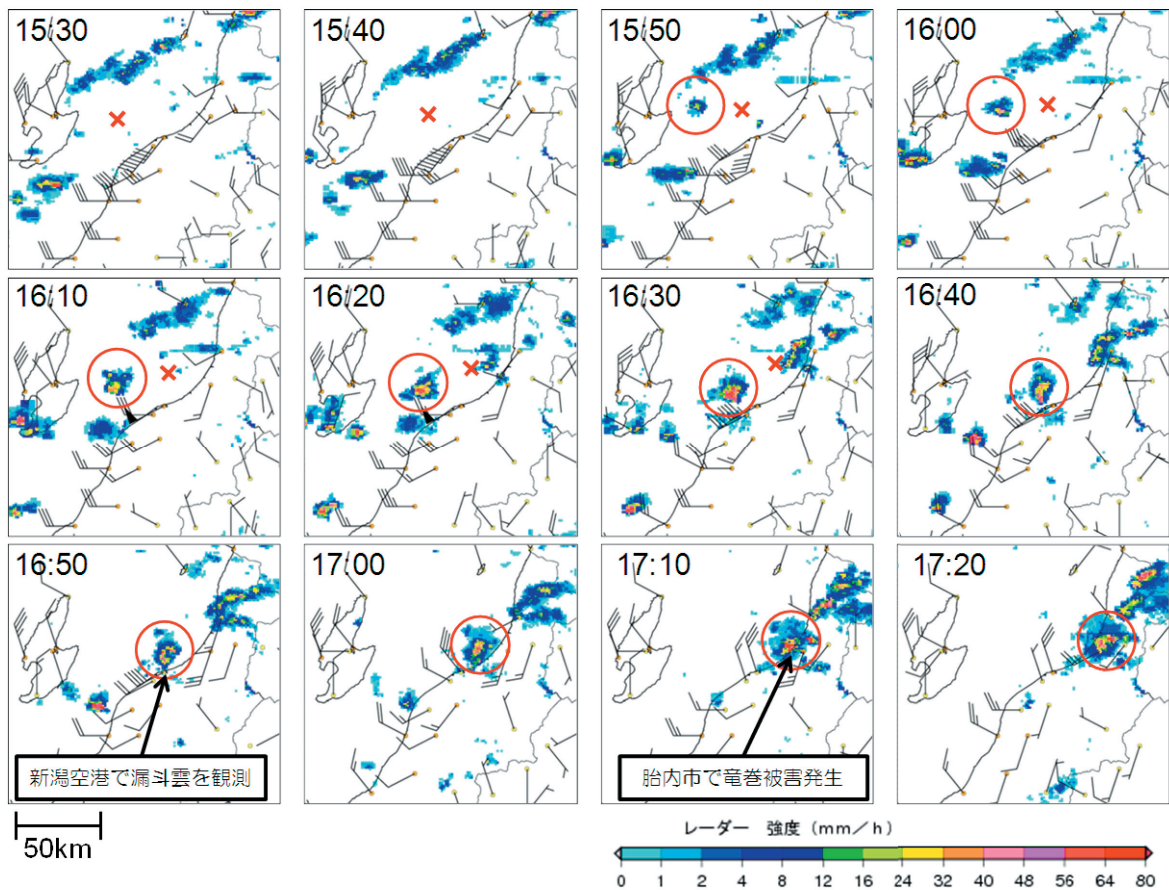
5. メソβスケールの小低気圧と竜巻の親雲の関係

第8図は竜巻による被害が発生するまでのレーダーエコーの動向とアメダスの風向風速を10分間隔で示したものである。衛星画像及び個々のレーダーエコーセルの動きから推定した小低気圧の中心位置を×で入れてある。(16時30分以降は渦状の形状が崩れてしまい推定することができなかった)。第8図によると、小低気圧の進行方向の後面



第7図 アメダス風向風速 15日14時

風はm/s単位(長矢羽根2m/s, 短矢羽根1m/s).



第8図 レーダーエコー強度及びアメダス風向風速 15日15時30分～17時20分
 風はm/s単位(長矢羽根2m/s, 短矢羽根1m/s)。

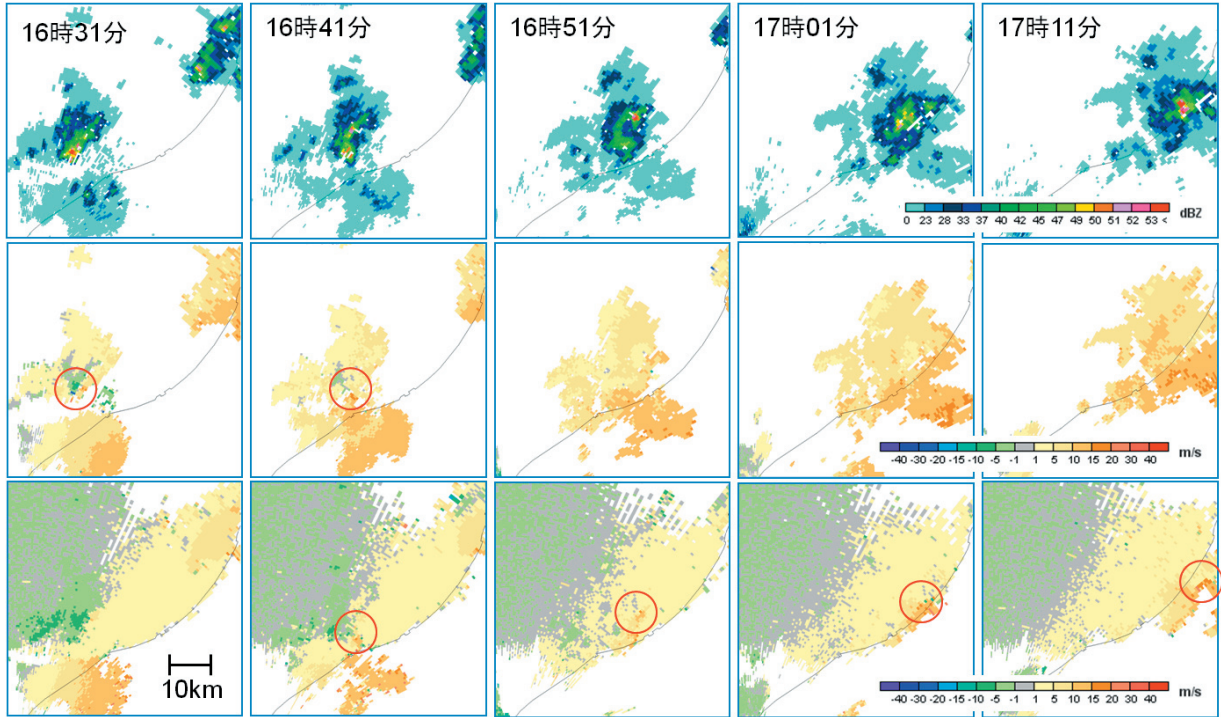
を東進し、17時10分頃に胎内市付近に進んでいる○印で囲むエコーがある。このエコーは16時16分にはメソサイクロンが自動検出され、16時50分頃には新潟空港の沖合で漏斗雲が観測されている。竜巻による被害発生時刻に、発生地点上空に位置していたことから、このエコーが竜巻をもたらした親雲である。これらの結果から、竜巻の親雲はメソβスケールの小低気圧の進行方向の後面で発生したことが分かった。

なお、メソサイクロンの自動検出はドップラーレーダーによる観測を基に、局地的な領域内でドップラー速度の極大値と極小値を求め、2点の中間地点をメソサイクロン候補の推定中心、距離を直径として、極大値と極小値から渦度と発散を計算し、Rankine複合渦パターンに対する当てはめの良さからメソサイクロン候補を抽出する。抽出されたメ

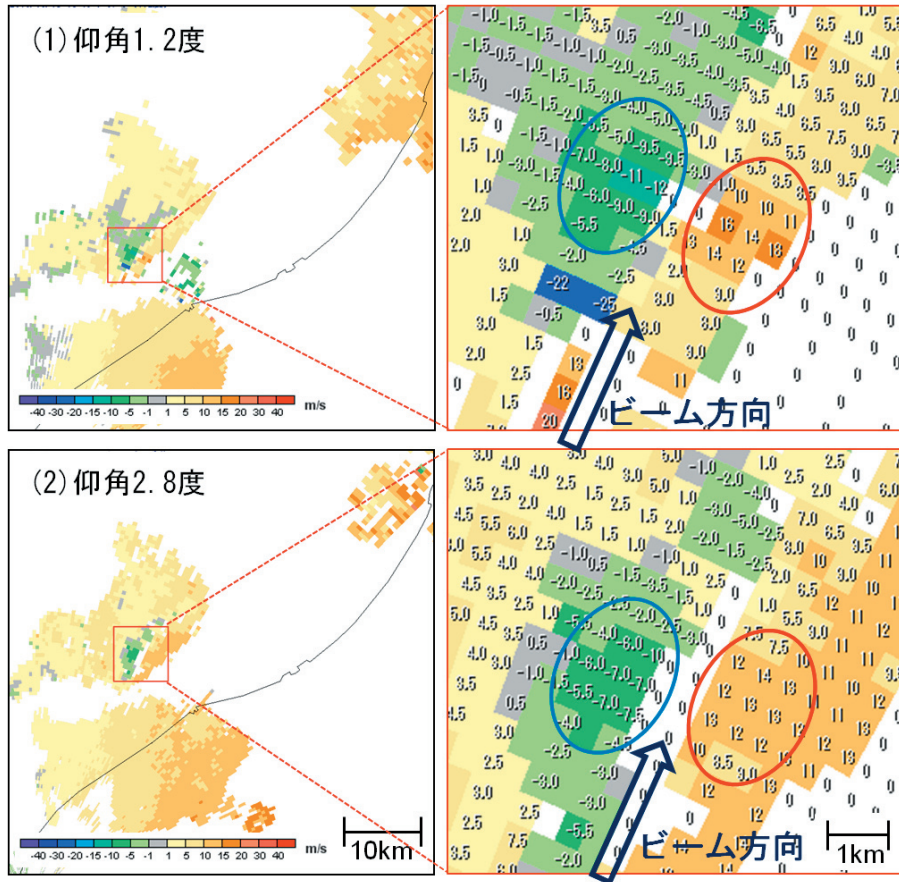
ソサイクロン候補について、鉛直渦度、検出高度、半径、レーダーサイトからの距離、レーダーエコー強度、20分以内の時間連続性などの品質管理を行い、最終的にメソサイクロンとして検出している(瀧下, 2011)。

6. 竜巻の親雲の特徴

竜巻の親雲と考えたエコー周辺を拡大したのが第9図である。反射強度に加えドップラー速度も示してある。反射強度の画像から、フックパターンやBWER(バウンデッドウィークエコーリージョン)など特徴のある形状はみられない。しかし、中段の仰角1.2度のドップラー速度画像では、16時31分と16時41分に○で囲んだドップラー速度が周囲と異なる領域がある。この付近を拡大したのが第10図である。16時31分の仰角1.2度と



第9図 上段：反射強度（仰角1.2度），中段：ドップラー速度（仰角1.2度），下段：ドップラー速度（仰角-0.3度）



第10図 16時31分のドップラー速度 (1)仰角1.2度 (2)仰角2.8度

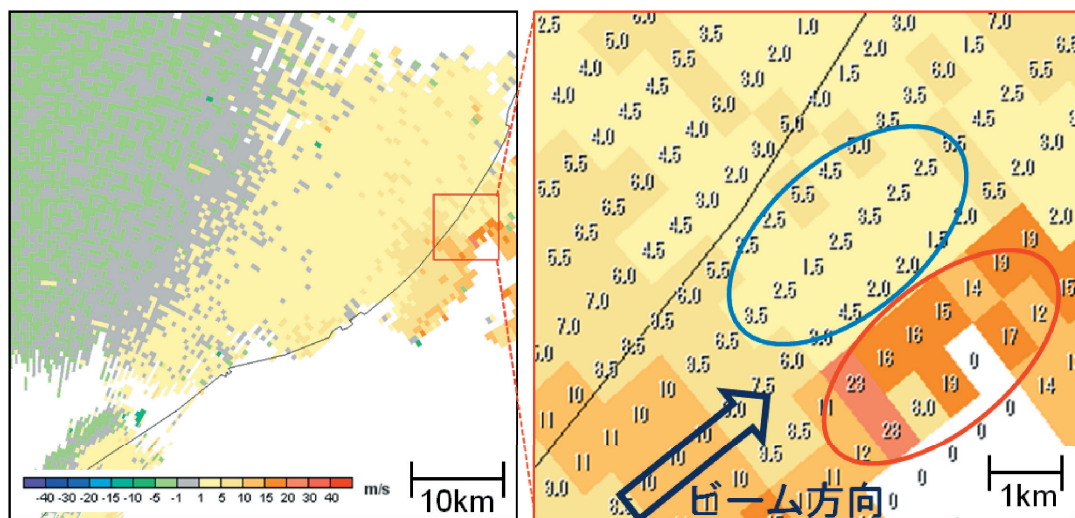
左：ドップラー速度分布，右：赤枠内のドップラー速度数値.

仰角 2.8 度のドップラー速度分布を示した。第 10 図によると、反射強度の強い領域では、ビーム方向にほぼ直交する強弱一対のピークがみられ、ピーク間の速度差 (dV) は 30m/s、ピーク間の距離 (dL) は約 2500m である。これらから計算される鉛直渦度 ($\zeta = 2 \times dV/dL$) は $2.4 \times 10^{-2} s^{-1}$ であった。もう 1 層上の仰角 2.8 度でも同様の状況がみられ、計算される鉛直渦度は $2.4 \times 10^{-2} s^{-1}$ であった。これらの状況は Donaldson (1970) や Suzuki *et al.* (2000) の示すメソサイクロンの条件 (①ドップラー速度分布で強弱一対のピークがある, ②ピークを結ぶ線に直交する線とビーム方向とのなす角が 45° 未満, ③渦度が $1 \times 10^{-2} s^{-1}$ 以上, ④上の層でも同じ状態を示す) を満たしている。第 9 図では 16 時 30 分以前の図を略しているが、メソサイクロンが自動検出された 16 時 16 分から同様の状況が続いている。このことから、16 時 16 分から親雲がメソサイクロンを伴っていたと考えられる。なお、第 6 図の破線丸印で示すように、親雲が近くを通過した時間帯に新潟でごくわずかではあるが一時的な気圧低下と西南西から北西への低気圧性の風向変化を観測している。このことも、親雲がメソサイクロンを伴っていたという考えを補強している。これらのことから、竜巻の親雲はメソサ

イクロンを伴っておりスーパーセルであると考えられる。

次にメソサイクロンの存在高度の変化について述べる。第 9 図によると、16 時 51 分からは仰角 1.2 度のドップラー速度では渦パターンを示す強弱一対のピークは見られなくなる。しかし、第 9 図下段で示す仰角 -0.3 度のドップラー速度では、16 時 41 分から○で囲んだ領域に渦パターンを示すドップラー速度の分布が現れる。第 11 図にこの付近を拡大した 17 時 11 分の仰角 -0.3 度のドップラー速度分布を示す。ビーム方向に直交する強弱の分布がみられ、ピーク間の速度差 (dV) は 26.5m/s、ピーク間の距離 (dL) は約 2500m である。これらから計算される鉛直渦度 ($\zeta = 2 \times dV/dL$) は $2.1 \times 10^{-2} s^{-1}$ である。先に述べたとおり、この時刻における 1 層上の仰角 1.2 度では明瞭なドップラー速度のピークはみられない。本事例で解析した地域における新潟レーダーの観測高度は、仰角 1.2 度は高度約 2000m、仰角 -0.3 度は高度約 500m に相当する。したがって、初め 2000m 付近であったメソサイクロンの存在高度が竜巻発生時刻にかけて 500m 付近まで低下したことになる。

大野 (2001) は、メソサイクロンが当初地上 2 ~ 3km に中心が存在し、竜巻の発生する時刻にかけ



第 11 図 17 時 11 分のドップラー速度 (仰角 -0.3 度)

左: ドップラー速度分布, 右: 赤枠内のドップラー速度数値。

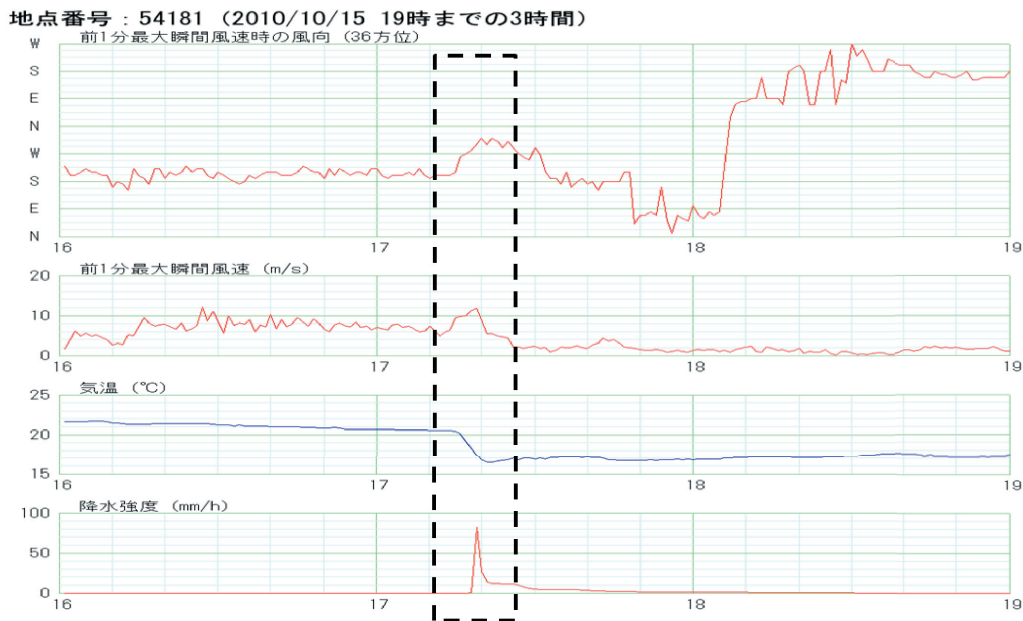
て地上 1km 付近まで降下した事例を紹介している。また、大久保ほか (2003) は 2002 年 7 月に群馬・埼玉県境付近で発生した竜巻を解析し、高度約 1500 m のメソサイクロンの渦度がピークを過ぎて弱まり始めた時に竜巻が発生したことを示し、メソサイクロンがこの面よりも降下した結果、竜巻が発生したとしている。メソサイクロンの存在高度の低下と竜巻発生の因果関係はわからないものの、今回の事例もこれらの事例と同様であったと考えることができる。

第 12 図にアメダス中条観測所のデータを示す。竜巻をもたらしたエコーがすぐ北側を通過した中条観測所では、第 12 図に示すようにエコー通過後に約 4°C の気温低下と一時的な風速の上昇、南南西から北西への風向変化を観測しており、約 10 分後にエコーが通過した下関観測所でも気温低下や一時的な風速上昇を観測している。このことはガストフロントの通過を示していると思われる。

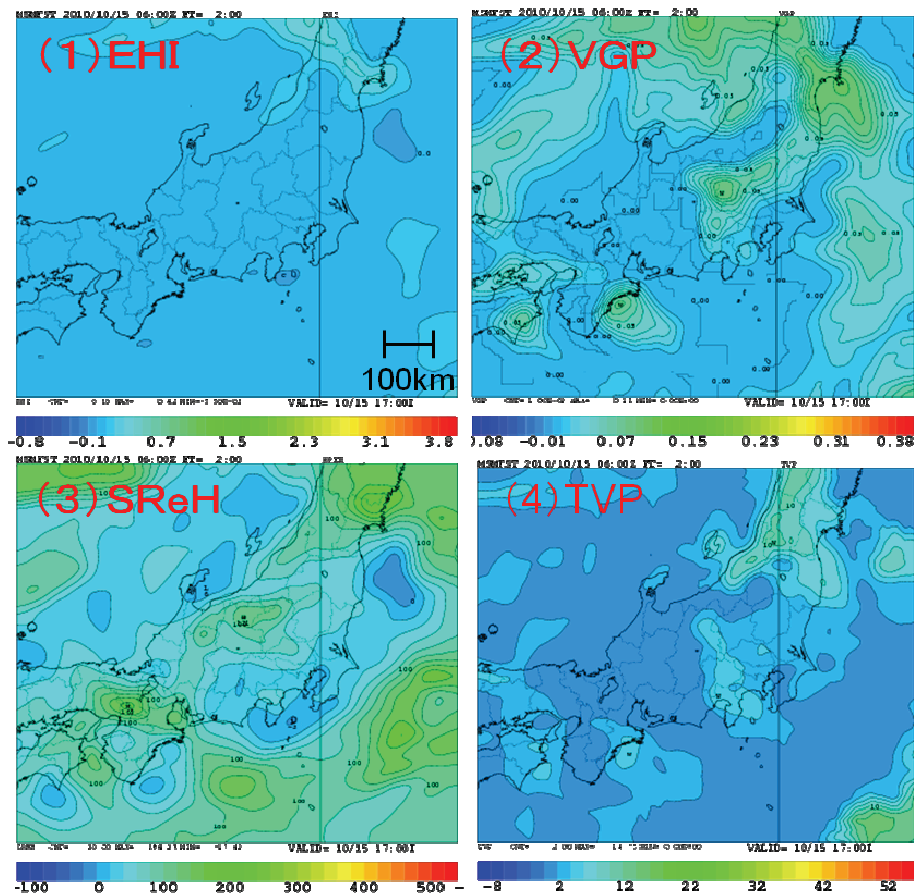
以上をまとめると、竜巻の親雲がスーパーセルであると考えられること、メソサイクロンの存在高度が竜巻発生時刻にかけて低下していること、親雲がガストフロントを伴っていたことがわかった。

7. 突風関連指数による予測可能性

新潟地方気象台では、北野ほか (2009) の調査に基づき SReH (ストーム相対ヘリシティ)、EHI (エネルギー・ヘリシティ・インデックス) 及び VGP (渦生成パラメータ) の各指数を用いて竜巻等の激しい突風に対する予告的気象情報の発表判断を行っている。これらの指数については瀧下 (2011) に詳しい。図は略するが、当日の予報作業に利用できるイニシャルの GSM 及び MSM では、竜巻発生時刻付近で一部基準 (SReH>300, EHI>0.2, VGP>0.07) を超過する指数はあるものの、総合的に基準を満たすものではなかった。第 13 図では予報作業には利用することはできないが、竜巻発生時刻に最も近い MSM (15 日 06UTC 初期値) における 17 時 (FT=2) の各指数及び気象庁の竜巻注意情報で主要な役割を果たしている TVP (竜巻風速パラメータ) の分布を示す。竜巻発現地域における指数は、SReH= 82.82, EHI= 0.20, VGP= 0.06, TVP=2.41 であった。各指数とも平常値に比べて相対的に高い領域は今回積乱雲が発達した地域や竜巻発生地域とよく対応しているものの、竜巻の発生可能性が大きいと判断できるほど高い値ではない。このため、



第 12 図 アメダス中条観測所時系列グラフ 15 日 16 時～19 時



第13図 突風関連指数 (1)EHI (2)VGP (3)SReH (4)TVP

MSM15日06UTC初期値 FT=2 (15日17時)。

突風関連指数からは「突風が発生しやすい」と判断することが困難な事例であったと言える。

8. まとめ

2010年10月15日に新潟県胎内市において被害を発生させた竜巻について、竜巻等の激しい突風に対する予測や監視技術の向上に資することを目的に、竜巻をもたらしたエコー発達過程や構造について考察した。得られた結果は次のとおりである。

(1)当日は総観規模の低気圧が能登半島の北から秋田県付近に進んだが、それとは別のメソβスケールの小低気圧が新潟県の沿岸を東進した。

(2)竜巻はメソβスケールの小低気圧の進行方向の後面で発生していた。

(3)竜巻の親雲は、メソサイクロンを持つことからスーパーセルと考えられる。また、メソサイクロ

ンの存在高度は竜巻発生時刻にかけて低下しており、親雲はガストフロントを伴っていた。

(4)メソβスケールの小低気圧は総観スケールの低気圧やその南側に形成されたシアラインの影響を受けて発生した可能性があるが、海上であるため観測データが不足し、原因の究明までには至らなかった。

(5)EHIやVGP、SReH、TVPといった突風関連指数が平常値に比べ相対的に高い値を示す領域は、今回竜巻の発生した地域と良く対応しているものの、それらの値は竜巻の発生可能性が大きいと判断できるほど高い値ではなかった。本事例では、突風関連指数から「突風が発生しやすい」と判断することが困難であった。

謝辞

新潟地方気象台の大久保篤観測予報課長（現東京管区気象台気象防災情報調整官）には、解析手法や原稿作成において多くの御助言をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- Donaldson, D. J., Jr. (1970) : Vortex signature recognition by a Doppler radar. *J. Appl. Meteor.*, **9**, 661-670.
- 北野芳仁・岩倉充・高橋英則・横木保則 (2009) : 突風に関する北陸地方の予告的気象情報「発表基準」に関する調査. 平成 21 年度東京管区調査研究会誌, 42
- 新潟地方気象台・東京管区気象台 (2010) : 平成 22 年 10 月 15 日に新潟県胎内市で発生した突風について. 現地災害調査速報, 1-13. 新潟地方気象台ホームページ内「気象速報・現地災害調査速報」. (http://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/bosai/disaster/20101016/20101016.html 2012 年 6 月 11 日参照)
- 大久保篤・柴田のり子・川上正志・小泉友延・本田耕平 (2003) : ドップラーレーダーがとらえたメソ低気圧の盛衰と竜巻発生の関係. *気象庁研究時報*, **55**, 153-160.
- 大野久雄 (2001) : 雷雨とメソ気象. 初版, 東京堂出版, 東京, 236-245.
- Suzuki, O., H. Niino, H. Ohno and H. Nirasawa (2000) : Tornadoproducing mini supercells associated with Typhoon 9019. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1868-1882
- 瀧下洋一 (2011) : 竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について－突風に関する防災気象情報の改善－. *測候時報*, **78**, 57-93.