



《 特集 》 東北地方で行われている研究プロジェクト(Ⅱ)

「高精度センシング技術を用いた列車運行判断のための 災害気象の監視・予測手法の開発」平成21年度～23年度

楠 研一 (気象庁 気象研究所)

1. はじめに一研究の目的と背景一

この研究は、災害につながる激しい大気現象のうち鉄道の安全運行に支障をもたらす突風を探知・予測するシステムの開発を目指しています。突風に対する鉄道輸送の安全性の確保は社会的に重要視されており、実効性のある突風対策がより強く求められていることが背景にあります。

突風を探知・予測するシステムを開発するためには、これまで未解明の部分が多かった突風の実態を把握することが必要です。並行して、ある程度把握されたそれらの特性に基づいてシステムの開発を行なっています。

ここでは、私たちの進めている研究のうち、主に冬季の突風や関連する気象じょう乱の実態を把握する気象学的な取り組みについて紹介します。

2. 現象のスケールとアプローチ

一般に、気象じょう乱はそれぞれ特定の空間・時間スケールを持っていることは良く知られています。数千kmの惑星／総観スケールより小さく数kmより大きいスケールをメソスケールといい、突風の一つであるダウンバーストはメソスケール(2-20km)の気象じょう乱です。メソスケールより小さいスケール(マイクロスケール)には数10～数100mの竜巻が含まれています。空間スケールの大きい現象は時間スケールが長く、空間スケールの小さい現象は時間スケールが短いことが知られており、総観スケールの温帯低気圧の時間スケールは数日～1週間程度である反面、メソスケールのダウン

バースト、マイクロスケールの竜巻は数分程度と大変短いことがわかっています。

2.1 高密度観測網

このように、激しい大気現象は時間空間スケールが小さいため、突風やそれをもたらす気象じょう乱を観測する際には以下のような問題があります。

- ①通常の気象観測では、観測そのものが難しい。
- ②そのため被害を起こすような少数事例を被害調査な

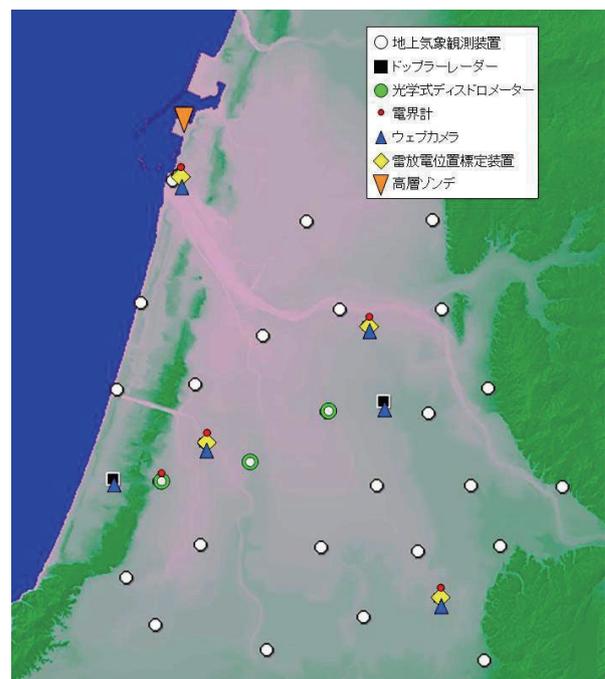


図1：高密度観測網（山形県庄内平野）

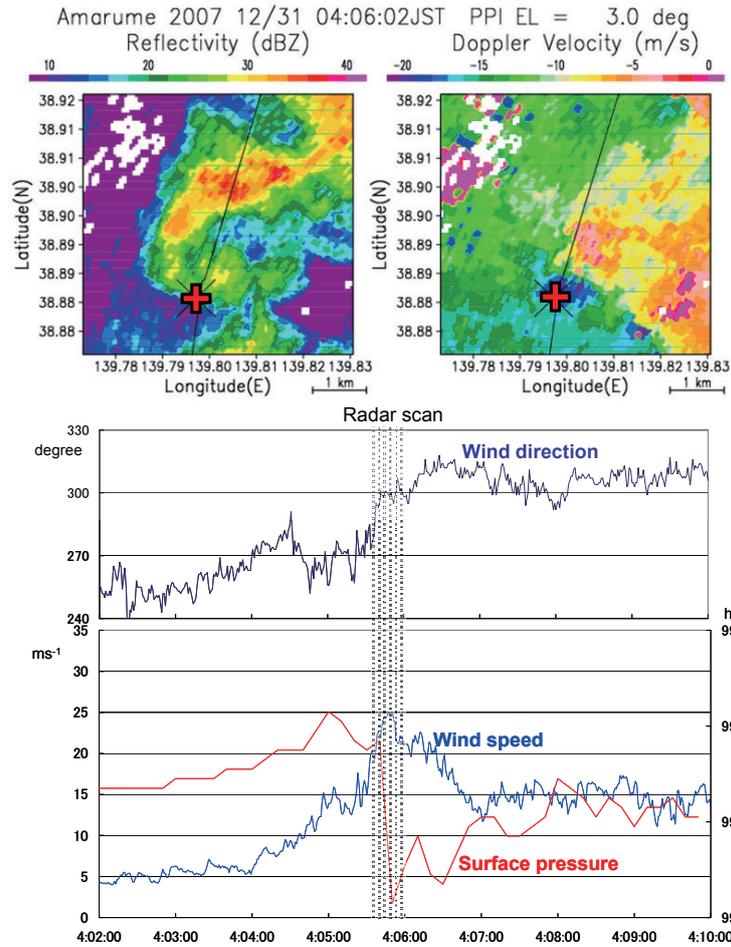


図2：観測された突風の風向風速と気圧（下段）およびその時間におけるドップラーレーダーの画像（上段）。レーダー画像内のプラス印は突風を観測した地上気象観測地点の位置。地上データにおける灰色のハッチはその上段のレーダースキャン時間帯を示す。

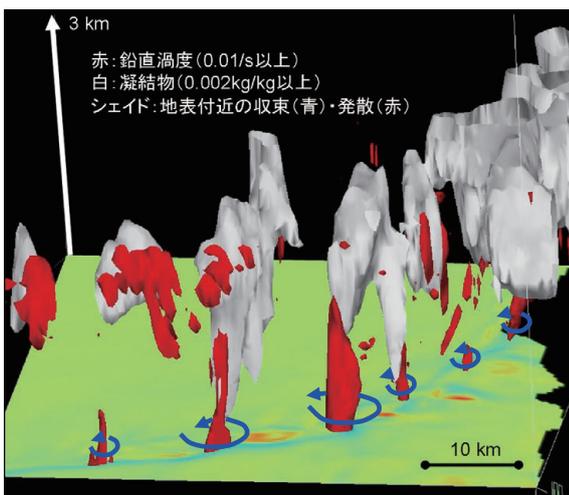


図3：シミュレーションで再現された気象じょう乱の立体構造。ライン状降水システムに渦が列状に分布している様子を示す。

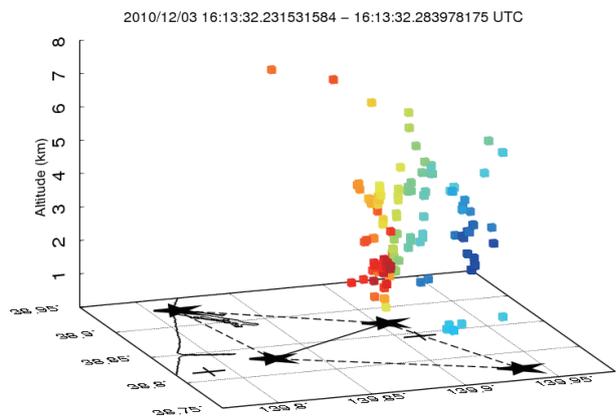


図4：2010年12月4日01:13 JSTに観測された雷放電の3次元標定結果。雷放電の継続時間は約52msecであり、その時間進展を寒色系→暖色系で示す。

どを通じて散発的に扱わざるをえないため、系統的な知見として蓄積されにくい。

そこで私たちは、山形県庄内平野一帯（20×20km程度）に、大規模な高密度観測網を立ち上げ、突風の観測を続けています。高密度で幾何学状に配置され通信ネットワークで結ばれた数多くの地上気象測器、観測エリアの上流側から高頻度に放球する高層ゾンデ、エリアおよびその付近の日本海上をカバーする2台の小型レーダーなどから構成されています（図1）。

なかでも地上気象の測器は約4km間隔で26機展開し、風 [1sec] /湿度/気温/気圧 [10sec] データを収集しています。この地上気象観測とレーダー観測から得られたデータを解析した結果、家屋などに被害を伴わない程度の強さの突風が複数観測され、以下のことがわかりました。

- ①突風は基本的に降水を伴う。
- ②顕著な突風のほとんどは上空渦を伴い、その渦の水平スケールは数km以下と小さい。
- ③渦のほとんどは日本海上で発生し季節風により内陸へ移流する。

突風とそれに伴う上空の渦の例を図2に示します。上記①②③からドップラー気象レーダーで捉えられる渦を自動探知し、突風をもたらす可能性のあるものについてその移動方向などをモニターすることが突風探知システムの鍵であることが示されました。

2.2 数値実験

観測で捉えられるのは突風やそれをもたらす気象じょう乱の一面であり、さまざまな物理量を含め、3次元の全体像の把握はできません。そのため私たちは高解像度シミュレーションを実施しています。モデル設定の詳細は省きますが、気象庁非静力学モデル（JMANHM）を用い、例えば水平解像度を5km-1km-250m-50mにしたものを1-way 4重ネストして、実験を行っています。

突風が観測された事例について計算した結果の1例を図3に示します。水平シア不安定に起因して下層で発生し上層へ向けて成長する渦が再現され、非スーパーセル型竜巻を引き起こすじょう乱と類似していること、上陸直後に渦管が進行方向に傾斜するなどの特徴がわかりました。

2.3 新たな取り組み—雷観測—

雷は積乱雲内の降水粒子の運動に起因するため、積乱雲の発達と顕著な突風の発生は同様の気象条件下で生ず

ると考えられ、雷と突風の関連性は非常に高いといわれています。そのため雷放電は突風を予測するための有用な指標が得られると考えられます。その調査のため、私たちは3つのVHF帯センサーと1つのLF帯センサーで構成される雷監視システムを開発し、4か所の観測点を庄内地域に設置し、雷放電の3次元マッピングを行い、冬季雷の放電が積乱雲のどの位置で生じ、突風などと時空間的にどのような関係にあるのかを調べています（図4）。

3. まとめ 一期待される気象学的な意義—

(1) 高密度観測網

高密度で幾何学状に配置され通信ネットワークで結ばれた数多くの地上気象測器と、高層ゾンデ、小型レーダーなどとの組み合わせを基本とした観測網は、これまであまり知られていない日本海側の冬季の突風やそれをもたらす気象じょう乱、雷放電などの様相を知るのに有効なことが示されたと思っています。高密度観測網は、庄内平野以外の場所でいろいろなシビア現象の研究をするのにも有効と考えられます。現在、東京都の杉並区を中心としたエリアに約3km間隔で設置した12機の地上観測装置で構成される高密度ネットワークを構築し、局地的大雨を観測しています。

(2) 冬季日本海のシビア現象のメカニズム解明

20×20kmという狭い領域ながら、高密度観測によって様々な突風事例が観測されました。渦を伴う突風のうち、家屋などに被害を伴わない程度のものは、これまで被害調査を中心に認識されていた頻度に比べ1オーダー以上高い頻度で発生していると思われること、非スーパーセルタイプの様相を示唆するものが複数見られることなどが明らかになってきています。また冬季積乱雲内の雷放電の実態の糸口となるようなデータが得られつつあります。今後も観測データの解析に加え、さらに高解像度シミュレーションの知見と組み合わせることで、メカニズム解明につながることが期待されます。

参考文献

- 楠研一ほか、2010：小型ドップラー気象レーダーを用いた突風探知システムの開発へ向けて、2010年度日本気象学会春季大会予稿集A405
- 下瀬健一ほか、2010：2008年12月11日庄内平野に突風をもたらした気象じょう乱—高解像度シミュレーション—、2010年度日本気象学会春季大会予稿集A407
- 西橋政秀ほか、2011：庄内平野で観測された冬季雷の3次元標定、2011年度日本気象学会春季大会予稿集A307

平成23年度日本気象学会東北支部気象研究会

平成23年度の日本気象学会東北支部気象研究会を2011年12月16日に仙台管区気象台会議室で開催した。東北大学、岩手大学、弘前大学、農研機構 東北農業研究センター、気象台から8件の発表があった。約40名が聴講し、活発な質疑応答が行われた。

第1部では、「学校気象台」と名付けられた地域連携ネットワークシステムの構築についての発表に始まり、その他アンサンブルダウンスケールによるヤマセの予報実験や、二酸化炭素のデータ同化実験、そして熱帯対流圏界層における水平移流にともなう脱水過程についての発表があった。また、第2部では、台風発達期における降水強度と風速の関係について衛星観測データを用いた研究についての発表や、全球気候モデルMIROC5による将来のヤマセの再現性についての発表、2011年5月8日に秋田・岩手県で突風被害をもたらした親雲の特性についての発表、そしてNHMを用いた帯状雲の構造と冷気層の形成が降雪に与える影響についての発表があった。

様々な機関や分野からの聴講者が参加していたこともあり、多様な視点からの質問や意見が出され、活発な研究会となった。

【日本気象学会東北支部事務局】

気象研究会の発表演題、著者と要旨（発表者に○）

「学校気象台」地域連携ネットワークシステムの構築

○名越利幸・梶原昌五・藤崎聡美・井上祥史・中西貴裕・田中吉兵衛・那須川徳博・野田賢（岩手大学）、黄川田泰幸・高室敬・尾崎尚子（岩手大学教育学部附属小）、及川敏（盛岡市立仙北小）、石川浩治（東京大学大気海洋研究所）

近年、「地球環境」の変化は急激な気候変動として捉えられ、科学者だけでなく国民の中でも正確な科学データに基づいた予測情報公開への要求が高まってきた。本事業は、地域の学校と大学との連携事業として、大学が盛岡地域のいくつかの地点における局地気象情報をリアルタイムで提供しながら継続的に記録することにより、

急激な気象変化の要因を探るデータを提供し、地域社会構築のためのセンター的役割を果たすことを目標としている。また、データは各学校の教育課程でも使用することが可能となり、大気環境に対する実証的な教育効果を高めていくことも目標としている。

アンサンブルダウンスケールによるヤマセの予報実験

○福井真（東北大学）

高解像度気象情報を得る手法の一つに力学的ダウンスケールがある。また、長期間の力学的ダウンスケールに大きく影響する側面境界の誤差を考慮するためにアンサンブル手法導入が有用と考える。そこで、水平解像度1.25°の1ヶ月アンサンブル予報に対し、水平解像度25km、5.0km、1.0kmへと力学的ダウンスケールを行い、高解像度化による効果とアンサンブル導入の効果について調べた。

二酸化炭素のデータ同化実験

○横尾好朗（東北大学）

地球温暖化問題については、気候変動や気象現象などに与える影響が大きいことから、近年大きく注目されるようになり、温暖化の原因物質とされる二酸化炭素の収支が盛んに研究されるようになった。本研究では、LETKF（Local Ensemble Transform Kalman Filter）と呼ばれるデータ同化手法を用いて衛星観測データと数値モデルのデータ同化実験を行う。得られた結果をもとに、より効果的な二酸化炭素データ同化システムの構築を目指すと共に、GOSAT観測データの有意性について検証する。

熱帯対流圏界層における水平移流にともなう脱水

○稲飯洋一（東北大学）、長谷部文雄・藤原正智（北海道大学）、塩谷雅人・西憲敬（京都大学）、荻野慎也（JAMSTEC）、岩崎杉紀（防衛大学校）、Holger Voemel（GRUAN Lead Center DWD ドイツ）

対流圏から成層圏に流入できる水蒸気量は熱帯対流圏界層（TTL）における脱水過程により制限されている。

このTTLにおける脱水を、西部太平洋域における水蒸気・オゾンゾンデ観測キャンペーンデータに対して同一大気塊が複数回観測された事例 (match) を同定する事で評価した。解析の結果、温位350-360Kの高度域において脱水を示すmatchが見出され、さらにその脱水の時間スケールは2、3時間程度であることが示された。

台風発達期における降水強度と風速の関係—衛星観測データを用いた研究

○野村佳祐・児玉安正 (弘前大学)

台風のエネルギーの源は潜熱の解放であることから、降水と台風の発達率や風のエネルギーの間に相関が期待され、近年の衛星観測技術の発達により台風内部の降水や風の定量的な解析が可能となった。本研究ではGSMaP降水データとQuikSACT海上風データを用いて台風の降水強度と風速、中心気圧降下率との関係を調べた。

最初はゆるやかに気圧が下がり(フェーズ1)、その後、急に下がる(フェーズ2)発達過程を示す台風を解析した。フェーズ1に比べてフェーズ2では相関が低下した。フェーズ2でも、目の壁雲における降水と中心気圧低下の関係、およびインナーレインバンドにおける降水と風速の関係には有意な相関が維持された。

MIROC5による将来のヤマセの再現性について

○菅野洋光 (東北農業研究センター)、渡部雅浩 (東京大学大気海洋研究所)

東大AORI/国立環境研/JAMSTEC共同開発の全球気候モデル「MIROC5」によるヤマセの再現性について検討した。MIROC5では稚内と仙台の気圧差指数(PDWS)と八戸気温の関係が、現在の実測値と同様に明瞭に再現されている。また、海面気圧データに主成分分析を行ったところ、ヤマセ型の気圧配置及び気温の東西コントラストを再現している2成分が抽出できた。これらの2成分は将来も頻出しており、ヤマセ型の気圧配置は将来も出現することが予想される。

2011年5月8日に秋田、岩手で突風被害をもたらした親雲の特性

○梅原章仁 (仙台管区气象台)



2011年5月8日1300JST頃、秋田県東成瀬村で、1330JST頃、岩手県奥州市でそれぞれ突風被害が発生した。現地調査の結果、東成瀬村の突風については「不明」、奥州市の突風については「竜巻(F0)」であると判明した。この親雲について、仙台管区气象台ドップラーレーダーデータ、及び気象庁非静力学モデルを用いて詳細に特性を調べたところ、スーパーセルであることが分かった。また、竜巻発生地点は、メソサイクロン外縁の南側、Rear-Flank Gustfront上である可能性が高いことが見出された。

NHMを用いた帯状雲の構造と冷氣層の形成が降雪に与える影響についての考察

○阿曾知子・長谷川栄治 (山形地方气象台)

2008年1月15日、日本付近は西高東低の弱い冬型の気圧配置であった。日本海上には日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)に伴う帯状降雪雲が形成され、その先端部分が東北地方の日本海沿岸部にかかっていた。庄内沿岸部の酒田では、気温が低下し東寄りの風が卓越した15日21時頃から継続的な降雪となり16日朝までに32cmの大雪となった。沿岸部の降雪雲を強化させる要因として、平野部の冷氣層形成による陸風前線が指摘されている。気象庁非静力学モデル(NHM)を用いた数値実験結果から、帯状降雪雲の構造と庄内平野の冷氣層の形成が降雪に与える影響について考察を行い、本事例の大雪についての特徴を調査した。

気象サイエンスカフェ東北

日本気象学会東北支部では、気象知識の一般市民への普及・啓発活動の一環として、同支部が主催し、日本気象予報士会、仙台管区气象台、日本気象協会および仙台市天文台が共催となり、2011年11月12日（土）の午後に仙台市天文台にて第2回気象サイエンスカフェ東北を開催しました。交通の便があまり良くない場所ながら、10代から60代以上の幅広い年齢層から約35名の参加者がありました。気象サイエンスカフェは、これまで気象学会が気象講演会などを通して行ってきた専門家から非専門家への講義・教育という形式をとらず、むしろそうした境界をなくして、お互いが対等の立場で議論し、相互に刺激しあえるような形式をとるものです。今回のテーマは「二酸化炭素はどこから来てどこに行くのか？—地球温暖化とのかかわりについて考えてみよう—」とし、まず東北大学の青木周司が話題提供し、その後参加者が4つのテーブルに分かれて、各テーブルにて進行役（ファシリテーター）を中心に意見交換を行いました。意見交換は非常に活発で、二酸化炭素の地球規模循環についてより詳しく知ろうとする質問や、省エネについての意見が多く出されました。終了後のアンケート調査でも、内



講演をする東北大学の青木周司

容については好意的な意見が大部分でした。一方、「英国型の（オリジナルな）サイエンスカフェを期待しましたが、日本でよくある「講義とQ&A」型だったので残念でした」との意見もあり、今後の運営の仕方について工夫する必要があると反省しました。この会を開催するにあたり、仙台市天文台のスタッフや気象サイエンスカフェ実行委員の皆様、東北大学の院生に多大なご助力を頂きました。ここにお礼申し上げます。

気象サイエンスカフェ実行委員会委員長 青木 周司



会場の様子



ファシリテーターとして参加した池田地球温暖化情報官を中心に議論する参加者

編集後記

前号より開始した連載記事「東北地方で行われている研究プロジェクト」では、東北各地で行われているユニークな研究プロジェクトを、規模の大小を問わず紹介していきたいと思っております。自薦・他薦をお待ちしております。

児玉