

近年日本に水害・突風災害をもたらした対流システム Convective systems causing heavy rainfall and severe wind damage in Japan in recent years

石原 正仁^{1*}
Masahito Ishihara^{1*}

¹ 京都大学 極端気象適応社会教育ユニット

¹ Education Unit for Adaptation to Extreme Weather Conditions and Resilient Society, Kyoto University

わが国では台風・梅雨前線・低気圧など総観規模擾乱を原因とする比較的規模の大きな大雨により甚大な被害がほぼ毎年発生している。また単独ないしは数個の積乱雲をもたらす数 10km² 以下の領域での数時間以内の大雨（局地的大雨）による水害が発生し、特に都市域で問題となっている。さらに竜巻をはじめとする突風も局所的であるが大きな被害をもたらしている。それらは監視・予測、防災、情報伝達の分野で大きな課題となっている。

本発表では 2006～2012 年の 7 年間にわが国で発生した水害及び突風災害を対象に、気象場、大雨・突風の特性、被害の規模・特徴によって分類する。次に、各事例について大雨・突風をもたらした対流システムとその構成要素である積乱雲に焦点をあて、降水システムの振舞い、降水システムのタイプ分け、大雨発生に至るメカニズムについて我々の理解度を整理する。これによって、今後、わが国に水害・突風災害をもたらす現象について、気象学的に何に着目して研究し、どのような課題を解決していくべきかについて考察する。

キーワード: 極端気象, 水害, 突風災害, 対流システム

Keywords: extreme weather conditions, flooding damage, severe wind damage, convective system

Xバンドレーダによる定量的降雨量推定の歴史 A review on X-band radar for quantitative precipitation estimate

真木 雅之^{1*}
Masayuki Maki^{1*}

¹ 鹿児島大学
¹Kagoshima University

Xバンド波長のレーダについて第二次世界大戦後から現在までの発展を述べた。Xバンド波長は減衰のために降雨観測には不向きと言われていたが偏波技術の実用化よりその評価は180°変わった。設置の容易さや高い時空間分解能の情報を提供することからギャップを埋めるレーダとしてあるいは都市域を対象としたレーダネットワークとして重要な位置を占め始めている。情報のより有効な活用を目指して、多分野間の連携のもとで社会実験が進められており、従来の全国規模のレーダネットワークの得られない気象情報の提供が可能となってきている。

キーワード: Xバンドレーダ, 偏波レーダ, 定量的降雨量推定, X-NET, XRAIN
Keywords: X-band radar, polarimetric radar, QPE, X-NET, XRAIN

フェーズドアレイレーダの開発と観測 Development and Observation of the Phased Array Radar

牛尾 知雄^{1*}, 円尾 晃一¹, 嶋村 重治¹, 吉田 智¹, 水谷 文彦², 佐藤 晋介³

Tomoo Ushio^{1*}, Koichi Maruo¹, Shigeharu Shimamura¹, Satoru Yoshida¹, Fumihiko Mizutani², Shinsuke Satoh³

¹ 大阪大学, ² 東芝, ³ 情報通信研究機構

¹Osaka University, ²Toshiba, ³NICT

A new phased array radar system for meteorological application has been developed by Toshiba Corporation and Osaka University under the grant of NICT. It is now well known that the rapidly evolving severe weather phenomena (e.g., microbursts, severe thunderstorms, tornadoes) is a threat to our lives particularly in densely populated area and the number of the phenomena tends to increase as the result of the global warming. Over the past decade, mechanically rotating radar systems at C-band or S-band have been proved to be effective for weather surveillance especially in wide area more than 100 km in range. However, the rapidly evolving weather phenomena has the temporal and spatial scales comparable to the resolution limit (-10 min. and -500m) of the S-band or C-band radar systems, and cannot be fully resolved with these radar systems. In order to understand the fundamental process and dynamics of such fast changing weather phenomena, volumetric observation with both high temporal and spatial resolution are required.

The phased array radar system developed has the unique capability of scanning the whole sky with 100m and 10 or 30 second resolution up to 60 km in a cost effective manner. The system adopts the digital beam forming technique for elevation scanning and mechanically rotates the array antenna in azimuth direction within 10 or 30 seconds. The radar transmits a broad beam of several degrees with 24 elements and receives the back scattered signal with 128 elements digitizing at each elements. Then by digitally forming the beam in signal processor, the fast scanning is realized.

The system was installed at the top of the building in Osaka University in May 2012, and has been operated continuously since then. In this presentation, the system and the initial observation results will be talked.

キーワード: レーダ, フェーズドアレイ

Keywords: RADAR, Phase Array

Ku バンドレーダーで観測した降水コアの特性 Characteristics of reflectivity cores observed by Ku-band radar

佐藤 英一^{1*}, 藤原忠誠¹, 楠研一¹
Eiichi Sato^{1*}, FUJIWARA, Chusei¹, KUSUNOKI, Kenichi¹

¹ 気象研究所

¹Meteorological Research Institute

都市域における局地的大雨などの極端気象のメカニズム解明・予測のため、我々は2011年に東京都武蔵野市にKuバンドレーダーを展開した。本研究における我々のターゲットは上空の降水コアであり、それは降水コアの動きが積乱雲自身の動きに影響するはずだからである。

2012年9月1日は、地上天気図では目立った擾乱は解析されていないものの、下層の暖かく湿った空気や上空の寒冷低気圧の影響で、全国的に小規模な積乱雲が複数発生した。このような条件では、積乱雲の移動を予測することが難しい。本事例について、降水コアの高度や移動特性について示す。

キーワード: Ku バンドレーダー, 積乱雲, 降水コア

Keywords: Ku-band radar, cumulonimbus, reflectivity core

夏季積乱雲における降水コアの挙動と地上降雨との対応

Precipitation core behavior and surface rainfall variation in cumulonimbus clouds in the Kanto region, on 18 August 2011

出世 ゆかり^{1*}, 真木雅之¹, 岩波越¹, 三隅良平¹, 鈴木真一¹, 前坂剛¹, 清水慎吾¹, 櫻井南海子¹

Yukari Shusse^{1*}, Masayuki Maki¹, Koyuru Iwanami¹, Ryohei Misumi¹, Shin-ichi Suzuki¹, Takeshi Maesaka¹, Shingo Shimizu¹, Namiko Sakurai¹

¹ (独) 防災科学技術研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

局地的大雨をもたらす積乱雲では、これまでも上空に形成された降水コア（以下、コアとする）の降下が報告されており、上空におけるコアの監視による大雨の直前予測が期待されている。またコアの詳細な挙動と地上降雨との対応を調べることは、積乱雲の発達維持過程を明らかにする上でも重要である。防災科学技術研究所は、神奈川県海老名市に設置した X バンド偏波レーダーで、2011 年 8 月 18 日に奥多摩地方で発生した積乱雲について 2 分間隔の 3 次元データを取得した。本研究ではこれらの積乱雲内のコアの挙動と地上降雨との対応を報告する。

本研究では、降水コアを「レーダー反射強度 (Zh) の閾値を 60dBZ から 10dBZ まで 1dB ずつ変化させて、等値閉曲面が他の閉曲面と結合する直前の閉曲面領域」と定義して自動検出を行った。コアの検出に用いたデータは、2 分間隔の 3 次元格子点データ (dx=1km, dy=1km, dz=0.25km) である。またここではコア内で最大 Zh が検出された高度をコア高度とする。この方法で各時刻においてコアを自動検出した後、主観解析により追跡した。このコア自動検出手法を 8 月 18 日に発生した 3 つの降水セル A1、B1、C1 に適応した。

降水セル A1 と C1 は単一のコアで構成されていた。降水セル A1 では地上降雨ピークの 12 分前に、C1 では 16 分前に上空のコアが検出され、コア高度の降下に伴う降雨ピークがそれぞれ 1 回観測された。一方、降水セル B1 は 5 個のコアで構成され、地上では 5 回の降雨ピークが観測された。1 回目の降雨ピークは上空のコア検出から 18 分後に観測されたが、この時コア高度は 5km と上空に維持された状態であった。その後の 4 回の降雨ピークはいずれもコアの降下に伴い観測された。

8 月 18 日に発生した 3 つの降水セルについてコアの挙動と地上降雨の対応を調べた。各降水セルの最初の降雨ピークが観測されたのは、上空のコア検出から 12 分から 18 分後であった。また 3 つの降水セルにみられた 7 回の降雨ピークのうち、6 回がコアの降下に伴い観測された。

キーワード: 局地的大雨, 降水コア, 偏波レーダー

Keywords: Localized heavy rainfall, precipitation core, Polarimetric radar

都市の極端気象観測に向けた地上気象モニタリング(1): 夏季における東京都内の気象特性

Surface Meteorological Monitoring Network for Observation of Extreme Weather (1): Meteorological Characteristics in Tokyo

横山 仁^{1*}, 安藤晴夫¹, 瀬戸芳一², 廣井慧³, 中山雅哉⁴, 楠研一⁵, 真木雅之⁷, 斎藤勇人⁶, 高橋日出男⁶
Hitoshi Yokoyama^{1*}, Haruo Ando¹, Yoshihito Seto², Kei Hiroi³, Masaya Nakayama⁴, Ken-ichi Kusunoki⁵, Masayuki Maki⁷, Yuto Saitoh⁶, Hideo Takahashi⁶

¹ 東京都環境科学研究所, ² 東京都環境科学研究所 / 首都大学東京, ³ 東京都環境科学研究所 / 慶應義塾大学, ⁴ 東京大学, ⁵ 気象庁気象研究所, ⁶ 防災科学技術研究所, ⁷ 首都大学東京

¹Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection, ²Tokyo Met. Research Institute/TMU, ³Tokyo Met. Research Institute/Keio Univ., ⁴University of Tokyo, ⁵Meteorological Research Institute, ⁶National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ⁷Tokyo Metropolitan University

夏季の短時間強雨や高温といった都市における極端気象現象の観測を目的に、東京都内に高密度な地上気象モニタリング網を展開した。これにより得られたデータを用いて、夏季における東京都内の気象特性を調べた。本研究は環境省環境研究総合推進費（S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究）、ならびに、文部科学省科学技術戦略推進費（気候変動に伴う極端気象に強い都市創り）により実施されている観測結果の一部をとりまとめたものである。

キーワード: 極端気象, 地上気象モニタリング, 夏季, 東京都内, 気象特性

Keywords: Extreme Weather, Surface Meteorological Monitoring, Summer Season, Tokyo Metropolitan Area, Meteorological Characteristics

都市の極端気象観測に向けた地上気象モニタリング(2):都区部で発生する夏季の短時間強雨時における降水量分布と地上風系との関係
Relationship between rainfall distribution and surface wind during heavy rainfall occurred in central Tokyo in summer

瀬戸 芳一^{1*}, 横山仁², 安藤晴夫², 廣井慧³, 中山雅哉⁴, 楠研一⁵, 真木雅之⁶, 斎藤勇人⁷, 高橋日出男⁷
Yoshihito Seto^{1*}, YOKOYAMA, Hitoshi², ANDO, Haruo², HIROI, Kei³, NAKAYAMA, Masaya⁴, KUSUNOKI, Kenichi⁵, MAKI, Masayuki⁶, SAITOH, Yuto⁷, TAKAHASHI, Hideo⁷

¹ 東京都環境科学研究所 / 首都大学東京, ² 東京都環境科学研究所, ³ 東京都環境科学研究所 / 慶應義塾大学, ⁴ 東京大学, ⁵ 気象庁気象研究所, ⁶ 防災科学技術研究所, ⁷ 首都大学東京

¹Tokyo Met. Research Institute/TMU, ²Tokyo Metropolitan Research Institute, ³Tokyo Met. Research Institute/Keio Univ., ⁴Tokyo University, ⁵Meteorological Research Institute, ⁶NIED, ⁷Tokyo Metropolitan University

近年、夏季に発生する短時間強雨が増加傾向にあることが指摘されている。本研究は、明瞭な地域性が認められる強雨発生 の事前予測に向けた、短時間強雨の実態把握を目的としている。東京都区部を中心に観測された高密度な気象データをもとに、2011年と2012年に発生した短時間強雨事例を抽出し、強雨域と地上風の収束・発散場との関係に着目して解析を行った。

2011年8月26日の事例においては、強雨の発生に先立って、数十分前から収束量が大きくなる傾向が認められた。また、抽出された事例のうち、およそ半数の事例において同様の傾向がみられた。これらのことから、地上風を高密度な観測網でとらえることにより、強雨の発生をある程度事前に予測できる可能性が期待される。

なお、本研究は環境省環境研究総合推進費（S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究）、ならびに、文部科学省科学技術戦略推進費（気候変動に伴う極端気象に強い都市創り）により実施されている観測結果の一部をとりまとめたものである。

キーワード: 短時間強雨, 収束・発散場, 高密度観測網, 東京都区部

Keywords: heavy rainfall, convergence field, high-density observation network, central Tokyo

GPSを用いた水蒸気の非一様性解析、及び対流性降水との関係 Retrieval of Water Vapor Anisotropy from GPS and it's Relation with Convective Precipitation

小司 禎教^{1*}

Yoshinori Shoji^{1*}

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

GPS 搬送波を利用し、水蒸気の非一様性の度合いを示す二つの指標の導出を行い、手法の説明を行う。一つは空間スケール 60km 程度の水蒸気の集中の度合いを表し、もう一つは空間スケール 2-3km 程度のより高次の非一様性を示す。

GPS 可降水量に、上記二つの指標を加え、2011 年 8 月、日本における水蒸気の時・空間変動の特徴を考察した。全ての指標が、山地において顕著な日変化を示した。変動の周期変化の特徴は降水頻度の周期変化と良く一致していた。

GPS から得られる 3 つの水蒸気関連の指標について、降水との関連を統計的に考察した。その結果、水蒸気の非一様性を示す二つの指標は前 1 時間 10mm 以上の降水と強く関連を示していた。一方、可降水量は前 1 時間 10mm 未満の降水との対応が良い。前 1 時間降水が 1mm 未満の場合のみを抽出し、上記二つの指標と後 1 時間降水量との関係を調べた結果、同様の特徴が見出された。

2012 年 5 月 6 日午後、東海から関東、東北にかけ対流雲が発達し、つくば市周辺では F3 スケールの竜巻が発生した他、各地で突風や雹等の被害が発生した。つくば周辺の竜巻を含め幾つかの事例では、顕著現象の発生前から可降水量の特徴的な時間変化と、水蒸気の非一様性の増加が起きていたことが分かった。

これらの結果は、GPS で得られる非一様性の指標が対流性降水と関連し、強雨の予測に利用できる可能性を有することを示唆している。

キーワード: 極端気象, GPS, 水蒸気, 非一様性, 対流性降水

Keywords: Extreme weather, GPS, Water vapor, inhomogeneity, convective precipitation

非静力学モデルを用いた集中豪雨時のGPS可降水量変動特性に関する研究 Numerical study on precipitable water vapor variation associated with heavy rainfall using a non-hydrostatic model

大井川 正憲^{1*}, 津田 敏隆¹, 佐藤 一敏², Realini Eugenio¹, 岩城 悠也¹, 瀬古 弘³, 小司 禎教³, 川畑拓矢³
Masanori Oigawa^{1*}, Toshitaka Tsuda¹, Kazutoshi Sato², Eugenio Realini¹, Yuya Iwaki¹, Hiromu Seko³, Yoshinori Shoji³, Takuya Kawabata³

¹ 京都大学生存圏研究所, ² 京都大学学際融合教育研究推進センター極端気象適応社会教育ユニット, ³ 気象研究所
¹Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, ²Center for the Promotion of Interdisciplinary Education and Research, Kyoto University, ³Meteorological Research Institute

局地的豪雨は急速に発達する積乱雲等で発生するため、早期警戒システムの開発が望まれている。早期警戒システムの開発には、雲レーダーや気象衛星のラピッドスキャン観測による雲域の把握に加え、降雨の予兆とされる水蒸気変動の時間・空間的に高分解能な把握が重要である。水蒸気変動を把握する手法として、近年、衛星測位誤差を観測データとして捉えた新しい手法であるGPS気象学が開発され、水平約20 km間隔に展開された受信機で構成されるGEONETから得られた可降水量(PWV)データが気象庁でメソ数値予報解析に用いられている。我々はさらに、水平スケールが数km~20 km(メソスケール)の積乱雲にGPS気象学を適用すべく、京大宇治キャンパス西方の京都府南部地域に1-2km間隔でGPS受信機17台を配置し、時間間隔1秒で観測を行った。この観測により、時間・空間的に高分解能なPWV分布を得た。

本報告では、この稠密GPS観測の結果をよく理解するために、非静力学モデルの格子間隔を250 mに細かくして豪雨の再現実験を行い、両者の出力を用いて、メソスケールの豪雨現象に伴う水蒸気変動を解析する。再現実験には、気象庁非静力学モデル(JMANHM)を使用し、気象庁で解析されたメソ解析値を初期値、境界値とした水平格子間隔2 kmでの再現実験を行い、さらに水平格子間隔250 mのダウンスケーリング実験を行った。適用した事例は、2011年7月28日と2012年8月14日の京都府南部地域の豪雨事例である。

格子間隔250mのJMANHMで再現された2012年8月14日の事例では、降水帯の幅が実況に比べて小さく、降水域の位置も北にずれていたが、豪雨をもたらした停滞する降水帯をほぼ再現できていた。数値モデルで再現したPWVは、降水が始まる前に増加し、そこでは雲水量と上昇流が大きくなっていた。これは、湿潤な下層の気塊が上昇流で持ち上げられ、PWVが増加したためと考えられる。GPS観測でも、宇治キャンパスのGPS観測点上空をモデル結果と類似した降水雲が通過した際に、地上降水に先行してGPS-PWVが増加する様子が確認されている。これらは、PWV変動が降雨に伴う予兆現象の監視に有効なデータになる可能性を示唆している。

キーワード: 集中豪雨, GPS気象学, 非静力学モデル

Keywords: heavy rainfall, GPS meteorology, non-hydrostatic model

2011年8月26日首都圏豪雨のアンサンブル実験

Cloud resolving ensemble prediction of a local heavy rainfall event on 26 August 2011 observed by TOMACS

斉藤 和雄^{1*}, 国井 勝¹, 斉藤 貞夫¹

Kazuo Saito^{1*}, Masaru Kunii¹, Sadao Saito¹

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

2011年8月26日夕方、関東地方南部や東海地方では雷を伴った猛烈な雨が降り、東京都や神奈川県で床上・床下浸水の被害が多数発生したほか、道路冠水による交通障害、交通機関にも影響が出た。不安定な大気の状態が発生した豪雨で、気象庁MSMでの予報はどの初期値においても思わしくなかった。

2011年8月25日21時を初期値とする気象庁NHMによる11メンバー10km(50層)のメソアンサンブル予報、およびその6時間予報を初期値とする2kmダウンスケールを行った。10kmモデルの領域はMSMと同じで、2kmモデルの設定は局地モデル(LFM)とほぼ同じ、ただし領域は700km四方とした。10kmメソアンサンブルの摂動としては、これまでの気象庁週間アンサンブル予報からの摂動(WEP)に加え、評価時間15時間、解像度40kmの本州中部域をターゲットとするメソ特異ベクトル(MSV)を用いた。境界摂動はWEPから与えている。

2kmダウンスケールでは、強雨が表現されているものの、MSMの降水域に対応して強雨域が西側にずれていた。このコントロールランに対する週間アンサンブル予報からの摂動によるアンサンブルおよびそのダウンスケール予報では、首都圏の降水を強めるメンバーがれたたてが、同時に実況には見られない雨が北陸で卓越するなど不自然な点も見られた。LFMにおいては、放射雲量の評価に用いられるMYNN3部分凝結における分散の最小値の係数が大き過ぎて雲量が過大評価される傾向があることが数値予報課から報告されており、このケースで比較したところその修正のインパクトがかなり大きいことが分かった。特異ベクトル法による摂動を加えた計算では、強い降水域が東京神奈川県に広がる一方、北関東の過剰な降水が抑制されるメンバーが得られ、海風前線の衝突をトリガーとする低気圧性回転を伴うメソ対流系システム再現された。

キーワード: 局地豪雨, メソアンサンブル, 特異ベクトル, TOMACS

Keywords: local heavy rainfall, mesoscale ensemble prediction, singular vector, TOMACS

LETKF ネストシステムを用いた 2012 年 5 月 6 日のつくばの竜巻のアンサンブル予報実験

Ensemble forecast experiments of tornadoes occurred on 6th May 2012 using a nested-LETKF system

瀬古 弘^{1*}, 斉藤 和雄¹, 國井 勝², 露木 義², 三好 建正³

Hiromu Seko^{1*}, Kazuo Saito¹, KUNII, Masaru², TSUYUKI, Tadashi², MIYOSHI, Takemasa³

¹ 気象研究所/JAMSTEC, ² 気象研究所, ³ 理化学研究所

¹Meteorological Research Institute/JAMSTEC, ²Meteorological Research Institute, ³RIKEN

これまで、2012 年 5 月 6 日に関東平野北部で発生した竜巻について、ドップラーレーダ等を用いた解析や高分解能な数値モデルを用いた決定論的な数値実験により、竜巻がスーパーセル型の降水系により発生したこと、発生時に下層に湿った気流が南西から流れ込んでいたこと、後面からの強い下降流が竜巻の直接のトリガーになったこと等が報告されている(たとえば、「天気」の 2013 年 1 月号)。この事例に、アンサンブル予報を適用することができれば、竜巻や竜巻を発生させたスーパーセル型の降水系の発生確率の他に、複数のアンサンブルメンバーの出力を用いると、竜巻の発生・寿命を決める要因を探ることができる。これまでに、アンサンブル予報を用いた報告として、延岡やサロマの竜巻について、竜巻の発生した地点で、竜巻の形成されやすい環境の発生確率が高かったことが示されているが、渦度についてまで言及した報告はない。ここでは、ネストした局所アンサンブル変換カルマンフィルター (LETKF ネストシステム) を竜巻の事例に適用し、得られた解析値からダウンスケール予報した結果について報告する。

謝辞: 本研究の一部は、文部科学省 HPCI 戦略プログラムの助成を受けた。計算結果の一部は理化学研究所のスパコン「京」を利用して得られた。ここに記して感謝します。

キーワード: アンサンブル予報, データ同化, 竜巻

Keywords: Ensemble forecast, Data assimilation, Tornado