

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
¹ Kagoshima 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20km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~20km(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250m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2kmでの再現実験を行い、さらに水平格子間隔250m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

台風の通過に伴う内陸盆地を囲む山岳斜面上の豪雨形成 Formation of Heavy Rainfall over Mountain Slopes Surrounding an Inner Basin Associated with the Passage of a Typhoon

佐野 哲也^{1*}, 大石 哲², 砂田 憲吾³, 末次忠司¹
Tetsuya Sano^{1*}, Satoru Oishi², Kengo Sunada³, Tadashi Suetsugu¹

¹ 山梨大学大学院 国際流域環境研究センター, ² 神戸大学 都市安全研究センター, ³ 山梨大学

¹International Research Center for River Basin Environment, University of Yamanashi, ²Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, ³University of Yamanashi

Heavy rainfall over mountainous regions is often associated with a typhoon (e.g. Misumi 1996 and Yu and Cheng 2008). However, the formation process of such heavy rainfall has not been known enough. On 21 September 2011, heavy rainfall occurred over the inner mountain slopes surrounding Kofu Basin with the passage of Typhoon Roke (2011) (hereafter, T1115), which was observed by the X-band multi-parameter radar installed in Kofu Campus of University of Yamanashi on Kofu Basin (hereafter, the UYR). In the present study, from a case study of the particular event, we investigated the formation process of heavy rainfall over the inner mountain slopes associated with the passage of a typhoon.

T1115 moving toward northeast made landfall near Hamamatsu about 100 km southwest of Kofu Basin at 1400 LST (Local Standard Time = UTC + 9 hours). The center of T1115 moved to Kofu Basin from 1400 LST to 1600 LST; it passed on the south part of Kofu Basin from 1600 LST to 1800 LST.

When the center of T1115 was approaching to Kofu Basin from 1400 LST to 1600 LST, rainfall amount, derived by the UYR observation at 1.5 km above the mean sea level, was large over the inner slopes of Mts. Koma. Many precipitating cells (hereafter, cells) existed continuously over the slope of Mts. Koma on the west side of Kofu Basin. The heights of cells were lower than the altitude of the melting layer in the stratiformed precipitating system associated with T1115. On Kofu Basin, positive Doppler velocity (DV) appeared at the lower elevation angle with surface wind toward Mts. Koma, namely toward the center of T1115. At that time, surface equivalent potential temperature at Kofu was high with east-northeasterly wind. We consider that the air with high equivalent potential temperature transported by the lower wind toward the center of T1115 and was lifted over the slope of Mts. Koma.

Then, rainfall amount was largest over Mts. Misaka on the south side of Kofu Basin when the center of T1115 was passing on the south part of Kofu Basin from 1600 LST to 1800 LST. The heights of cells were also lower than the altitude of the melting layer. On Kofu Basin, DV increasing from northwest to southeast appeared at the lower elevation angles with surface wind toward Mts. Misaka, namely toward the center of T1115. At that time, surface equivalent potential temperature at Kofu decreased with northwesterly wind. We consider that the air with high equivalent potential temperature over the slope was lifted when the lower wind with the air with low equivalent potential temperature arrived at the slope of Mts. Misaka.

The appearance distribution of the cells was varied with the variation of the surface wind associated with the pass of T1115, which contributed to the distribution shift of the heavy rainfall. It is mentioned that the appearance and development of precipitating cells over the mountain slopes controlled by the lower wind blowing to the center of T1115 contributed to the formation of the heavy rainfall.

Acknowledgement: This study is supported by the Global COE Program of University of Yamanashi directed by MEXT, Social System Reformation Program for Adaption to Climate Change of NIED under the Strategic Funds for the Promotion of Science and Technology of JST/MEXT and Grants-in-Aid for Scientific Research of JSPS.

キーワード: 豪雨, 台風, 山岳斜面, X-MP レーダー

Keywords: Heavy rainfall, Typhoon, Mountain slopes, X-MP radar

自動セル検出・追跡アルゴリズム (AITCC) の精度検証 Validation of Algorithm for the Identification and Tracking of Convective Cell (AITCC)

清水 慎吾^{1*}
shingo shimizu^{1*}

¹ (独) 防災科学技術研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

本研究では、高度 3 km のレーダ反射強度の水平分布を用いて対流セルを自動的に検出し、追跡するアルゴリズム (Algorithm for the Identification and Tracking Convective Cell: AITCC, Shimizu and Uyeda, 2012, JMSJ) の精度評価をおこなった。

AITCC は対流セルを 1 つの反射強度のピークを持つ 30 dBZ 以上の閉曲線で囲まれる領域と定義し、対流セルを検出する。対流セルの移動ベクトルの第一推定値を作成するために、対流セル群 (30 dBZ の反射強度の閉曲線) の追跡を行う。得られた移動ベクトルの第一推定値から、次時刻に同定する対流セルの候補を絞る。さらに、それぞれの候補に対して、当該セルとの重複面積が最も大きくなる移動ベクトルを求める。候補が存在しない場合には、当該セルは消滅したと見なされる。候補が 1 つの場合には当該セルの同定が完了する。候補が複数の場合には、以下の項目について、当該セルと候補の類似性を数値化し、候補に順位をつける: (1) 面積 (2) 移動速度 (3) 平均反射強度 (4) 最大反射強度 (5) 反射強度の相互相関係数。順位が高い順に候補のセルの面積を積算し、当該セルの面積を超えた場合には、それ以降の順位の候補は削除される。複数の候補が認められた場合には、当該セルの分離が起こったと見なされる。同様に、時間方向を逆にし、セルの併合を判定する。上記のペア同定判定を逐次的に繰り返すことで、対流セルの寿命を決定する。

2001 年と 2002 年に長江下流域で梅雨期に観測された 2004 個の対流セル (30-40 dBZ) に対して、1268 ペアが主観解析によって同定された。AITCC は 1083 ペアを同定することができた。観測データは 6 分間隔で得られた。Critical Success Index (CSI) は 71.4%, False Alarm Rate (FAR) は 9.6%, Probability Of Detection (POD) は 85.4% であった。セルの面積保存を考慮しない場合には、CSI は 52.1% まで低下した。主観解析のペアよりも 1.8 倍多いペアを同定した。

2001 年 6 月 23 日 19 UTC から 24 日 1 UTC までの 6 時間に長江下流域で観測された梅雨前線帯を雲解像数値モデル CReSS で再現させ、再現された対流セルを AITCC で追跡した。様々な時間分解能で出力したデータセット (1 分, 5 分, 10 分) を利用して、主観解析結果と比較を行った。時間分解能が上がるほど CSI, FAR, POD は向上した。すべての時間で BIAS は 100% 以下となっており、AITCC はペアを主観解析よりも若干過小に検出した。AITCC は、弱い対流 (30-40 dBZ) に対しても FAR を 10% 以下、また BIAS も 100% 以下に抑えて追跡を行えることから、対流セルの寿命の調査において過大評価を与えないことが期待される。また対流セルの追跡精度が観測データの時間分解能の向上によって大きく向上されることが予想できる。

キーワード: 対流セル, 自動検出・追跡アルゴリズム
Keywords: Convective cell, cell-tracking

稠密 GPS 受信ネットワークによる集中豪雨監視システムに関する基礎研究 Basic research of now-casting system for severe storms by using a dense GPS network

岩城 悠也^{1*}, 津田 敏隆¹, 佐藤 一敏², Realini Eugenio¹, 大井川 正憲¹
Yuya Iwaki^{1*}, Toshitaka Tsuda¹, Kazutoshi Sato², Eugenio Realini¹, Masanori Oigawa¹

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

¹Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, ²Center for the Promotion of Interdisciplinary Education and Research, Kyoto University

突発的かつ局所的な集中豪雨が近年増加傾向にある。雲の発生から数十分程度で数 km の狭い範囲に強い雨をもたらすこのような大気現象に対し、現業の気象予報システムでは前兆として起こる数 km スケールの急激な水蒸気量変動を捉えることが難しく、予測が困難である。

水蒸気量観測には、GPS の衛星測位電波に生じる大気による伝搬遅延から天頂方向の大気中の水蒸気積算量 (PWV: Precipitable Water Vapor, 可降水量) を推定する手法がある (GPS 気象学)。天候に依存せず、高い時間分解能を持つという利点を持つ。しかし局所的な水蒸気量変動を GPS 可降水量の観測によって捉えるには日本全国に約 20km 間隔で設置されている定常 GPS 観測網 (GEONET) では水平分解能が不十分である。そこで数 km 間隔の稠密な GPS 受信機網を新設することで 1-2 km の水平分解能、2-3 分の時間分解能、そして 1 mm 程度の可降水量分解能を持つリアルタイムの集中豪雨監視システムの構築を提案する。

我々はこの実験用に京都大学宇治キャンパス周辺に 1~2 km 間隔で 2 周波 GPS 受信機と気象計を設置し、独自の GPS 観測網を構築した。観測網で推定された可降水量の精度検証実験を 2011 年 7、8 月および 2012 年 7 月にラジオゾンデ、マイクロ波放射計等との比較によって行った。GPS 可降水量はラジオゾンデ及びマイクロ波放射計と調和的な変動を捉え、差は RMS で 2.0 mm 程度であった。

この独自観測網を用いた水蒸気量変動監視システムの基本的な構成要素として天頂方向の大気遅延 (ZTD: Zenith Total Delay) を GPS 解析ソフト RTNet により計算し、気象計のデータから可降水量を推定、空間内挿、可視化するためのツールを構築した。

このシステムを実用化するために稠密な観測網を構築する際には 2 周波 GPS 受信機ではなく 1 周波 GPS 受信機を設置することによってコストを大幅に削減できる。しかし 1 周波解析では電離層における電波伝搬遅延を単独で補正することができない。電離層遅延は一般には 2 周波受信機による周波数の線形結合によって補正されるため、1 周波受信機網の周囲にある 2 周波受信機によって電離層遅延を推定し、内挿するための補正モデルを生成、適用する必要がある。RTNet には観測点間の電離層遅延の差から空間的な勾配を 1 次もしくは 2 次式で推定する電離層補正モデルが実装されている。独自観測網を用いた数 km スケールの電離層補正モデルを生成し、2 周波での解析結果とモデルを適用した 1 周波解析の結果を比較することで精度検証を行った。2012 年 2 月 22 日から 28 日までのデータの解析より、各 GPS 衛星について遅延勾配を推定するモデル (衛星依存モデル) での ZTD 誤差は RMS で 17mm 以下となった。PWV に変換すると 3mm 程度になるため集中豪雨監視システムに用いるにはより高精度な電離層補正手法が必要であると考えられる。この RMS の 1 次勾配モデルと 2 次勾配モデル間の差は 0.05mm 程度であり有意な差は見られなかった。

また、ZTD 誤差の長期的なトレンドを 2012 年 2 月 22 日から約 200 日間のデータにより解析した。PDOP の変化トレンドと同様の傾向を持つことからこの誤差が衛星配置の影響を受けていることが示唆された。

キーワード: 極端気象, GPS 気象学, 可降水量, 稠密 GPS 観測網, 電離層遅延

Keywords: Extreme weather, GPS meteorology, Precipitable Water Vapor, Dense GPS network, Ionosphere-induced delay

インドネシアのGPS観測網を利用した可降水量精度検証実験 An Observation Campaign for Precipitable Water Vapor in Indonesia using a GPS Network

佐藤 一敏^{1*}, 津田 敏隆², Susilo Susilo³, Manik Timbul⁴
Kazutoshi Sato^{1*}, Toshitaka Tsuda², Susilo Susilo³, Timbul Manik⁴

¹ 京大国際融合, ² 京大生存研, ³ インドネシア測量地図庁, ⁴ インドネシア航空宇宙庁
¹ CPIER, Kyoto Univ., ² RISH, Kyoto Univ., ³ BIG, Indonesia, ⁴ LAPAN, Indonesia

我々は2010年7月23日から8月2日まで、インドネシアのジャカルタ・ボゴール周辺に展開したGPS観測点4点を使った可降水量の精度検証実験を実施した。比較要素として、6時間間隔でラジオゾンデ観測も同地域で実施している。

湿潤遅延量(ZWD)から可降水量(PWV)を算出するときに、地表の気圧と加重平均気温(T_m)の関係を事前に推定しておく必要がある。ラジオゾンデ21個の観測結果より、夜間に地表の境界層付近に温度の逆転層が現れることが分かった。今まではBevis et al. (1992)が北米の気候値から求めた経験式によって T_m が定義されていた。この影響を可降水量に変換すると0.5mm程度であることを確かめた。

地表気圧と地表気温はGPS観測点4点のうち1点で継続観測されていた。他の観測点の気圧については、静水圧平衡をもとにして推定を行った。観測領域での気象観測局における気圧測定は3時間値として提供されているが、この値とも調和的であった。熱帯域では半日周期の気圧変動があることがいわれており、本実験の観測においても3?5hPaの振幅で発生していることが確かめられた。これを可降水量に変換すると、0.3-0.5mm程度の影響が考えられる。

実験期間中の2010年7月26日から29日にかけて、赤道付近からインド洋に向かって南西方向に前線が観測点周辺を通過する気象現象が起こった。このことは衛星画像データからも確かめられている。27日には20?30mm程度の降水もジャカルタ周辺の気象観測局で観測されている。GPS可降水量の時間変化は衛星画像データと調和的であることが分かった。また27日にはGPS可降水量の極大値(60?65mm)として降水の直前に現れた。GPS観測点4点による可降水量の空間分布も降水の直前にばらつきが最大となった。これらの要素より、我々は可降水量の空間不均一性が降水現象の直前予測のインデックスとして使えるのではないかと考えている。

キーワード: 可降水量, GPS, ラジオゾンデ, 熱帯域, 逆転層, 半日周期の気圧変動

Keywords: Water vapor, GPS, radiosonde, tropical area, inversion layer, semi-diurnal pressure oscillation

Spatial analysis of GNSS tropospheric slant delays using a dense network of receivers Spatial analysis of GNSS tropospheric slant delays using a dense network of receivers

Eugenio Realini^{1*}, Toshitaka Tsuda¹, Kazutoshi Sato¹, Masanori Ohigawa¹, Yuya Iwaki¹
Eugenio Realini^{1*}, Toshitaka Tsuda¹, Kazutoshi Sato¹, Masanori Ohigawa¹, Yuya Iwaki¹

¹RISH, Kyoto University, Japan

¹RISH, Kyoto University, Japan

Urban areas are facing increasing threats due to the sudden development of localized thunderstorms and torrential rain, which can cause floods, trigger landslides and damage crucial infrastructures. While such local heavy rain events are difficult to be forecasted by current numerical weather prediction models, short-term predictions at local scales could potentially benefit from reliable measurements of the temporal and spatial variability of water vapor in the atmosphere. In order to support the nowcasting and forecasting of these phenomena and to improve the resilience of local communities against rain-related threats, it is needed to improve the horizontal resolution of water vapor observation sites by deploying sufficiently dense networks of monitoring stations.

Fixed receivers of known coordinates tracking GPS satellites can be used for water vapor monitoring, since the GPS signal delay induced by tropospheric refractivity is related to the amount of water vapor along the slant path between each satellite and the receiver antenna (GPS meteorology). Indeed each receiver-satellite pair can be seen as a device that scans the troposphere along a continuously varying direction as the satellite moves with respect to the position of the receiver. The traditional approach to GPS meteorology sees the averaging of all slant delays above low elevation thresholds, after having mapped them to the zenith direction. When using very dense networks of receivers, however, the averaging cones defined by low elevation thresholds overlap significantly and produce a horizontal smoothing effect. It is thus necessary to select high elevation slant delays for each station in order to preserve the high resolution observation capability of a dense network of receivers.

GPS satellites alone do not provide continuous coverage at sufficiently high elevation angles (e.g. higher than 70 degrees), therefore the integration of GPS with other Global Navigation Satellite Systems (GNSS) is required. The fast development of new GNSS constellations will soon provide the means to increase the number of receiver-satellite pairs, and consequently to increase the capability of each receiver to continuously observe the troposphere along directions close to the zenith. In addition, the particular geometry of the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS), once the constellation is completed, will provide a means to monitor the amount of water vapor along slant paths continuously close to the zenith direction in Japan, without the need to switch between different systems.

In this work we analyze the spatial distribution of GNSS tropospheric slant delays observed by a dense network of receivers deployed near Kyoto, Japan. Slant delays estimated from QZSS observations by the first launched satellite are included in the analysis, comparing them with those estimated using high-elevation GPS satellites and analyzing their azimuthal dependency. The current status of new GNSS constellations and their potential benefits for meteorology are also briefly discussed.

キーワード: GNSS, troposphere, slant delays, water vapor

Keywords: GNSS, troposphere, slant delays, water vapor

ALOS/PALSAR データから検出された日本国内での局所的水蒸気遅延シグナル Localized water vapor signals detected by ALOS/PALSAR data in Japan

木下 陽平^{1*}, 古屋 正人¹

Youhei Kinoshita^{1*}, Masato Furuya¹

¹ 北海道大学理学院自然史科学専攻

¹ Natural History Sci., Hokkaido University

高空間分解能で面的な観測が出来る合成開口レーダー干渉法 (InSAR) は、その位相差に GPS と同様の地球大気中の水蒸気による電波伝搬遅延効果が含まれるため、地殻変動や電離層擾乱等による位相変化から水蒸気遅延効果を分離出来れば詳細な水蒸気分布を検出することが出来る。Hanssen et al.(1999) は InSAR で捉えた水蒸気遅延シグナルと気象レーダーによる降水エコーの空間分布が良く一致することを示し、水蒸気センサーとしての InSAR の可能性を報告したが、この報告の他には InSAR の水蒸気遅延シグナルを気象学的な応用に積極的に活用した研究は皆無であった。我々はこれまでの発表で、InSAR による発達した対流現象に伴った局所的水蒸気遅延シグナルの検出事例を 2 例報告し (木下ほか、第 116 回日本測地学会講演会)、これら水蒸気遅延シグナルに基づいた 3 次元水蒸気分布の推定及び高分解能数値気象モデルによる水蒸気遅延シグナルの再現実験を行った (木下ほか、第 118 回日本測地学会講演会)。しかし、これまでの我々の検出事例を合わせても、今なお InSAR による局所的水蒸気遅延シグナルの検出事例は非常に少ない。InSAR を用いて水蒸気変動のメカニズム解明を目指すためにも、さらなる検出事例の蓄積が必要である。

そこで我々は全国合成レーダーエコーデータを利用して、2011 年 4 月に運用が終了した ALOS/PALSAR のアーカイブデータから日本国内での局所的水蒸気遅延シグナルを含むデータを検索し、その結果局所的水蒸気遅延シグナルを含んだ可能性のある SAR データを複数見出した。これまでのアーカイブデータの中にも局在化した水蒸気分布を示す InSAR データは探せば意外にも数多く存在する。本予稿投稿時において、我々は電離層擾乱の影響が少ないと考えられている Descending 軌道の PALSAR データを用いて新潟、京都、佐賀、大分における 4 事例の InSAR 解析を実施し、そのいずれからも気象レーダーエコーの極大域に対応する局所的水蒸気遅延シグナルを検出することに成功した。検出したシグナルの中にはその周囲と比較して衛星視線方向に約 200mm の変位量に相当するものもあり、これまでに我々が報告した 2 事例における水蒸気遅延シグナルの振幅を上回っている。また、新潟の事例については寒冷前線に伴う集中豪雨の最中の水蒸気分布を検出したものであり、前線付近で発達した対流による水蒸気遅延シグナルが複数存在している様子が捉えられている。

講演当日は、これら水蒸気遅延シグナル検出を報告し、また 3 次元水蒸気分布の推定や数値気象モデルによるシミュレーション等を行う予定であるので、その報告も行う予定である。

キーワード: InSAR, 水蒸気, 気象レーダー, 対流現象

Keywords: InSAR, water vapor, weather radar, convective system

気象庁現業ドップラーレーダで求めた屈折率分布（局地豪雨の予報改善を目指したデータ同化に向けて）

Refractivity distribution observed by an operational Doppler Radar

瀬古 弘^{1*}, 木俣 昌久², 津田 敏隆³

Hirou Seko^{1*}, KIMATA, Yoshihisa², Toshitaka Tsuda³

¹ 気象研究所/JAMSTEC, ² 気象庁, ³ 京都大学 生存圏研究所

¹Meteorological Research Institute/JAMSTEC, ²Japan Meteorological Agency, ³Research Institute for Sustainable Humanosphere

ドップラーレーダから送出した電波で、送電鉄塔などの固定物で反射して戻ってきたものは、経路上の水蒸気等により遅延する。電波の位相情報から遅延量を算出することができれば、経路上の屈折率、すなわち水蒸気量や気温の情報を取り出すことができる。これまで、例えば、練馬豪雨等について、下層の湿った気流の収束により対流が発生し、収束量が降水量と関係していることが報告されている。この水蒸気情報を同化して、数値モデルの初期値の下層における水蒸気量分布を改善できれば、局地的豪雨を引き起こす夏季の積乱雲の発生等の予報の精度向上が期待できる。また、気象研究所レーダで観測された位相情報から、屈折率の時間変化を推定した報告もあり、気象庁で全国に展開しているドップラーレーダに応用することができれば、多くの地域で下層の水蒸気分布の改善が期待できる。ここでは、現業で使用されているドップラーレーダを用いて、屈折率の時間変化を求め、地上の観測データや数値モデルの出力と比較を行った結果について報告する。

謝辞： 本研究の一部は、科研費「固定反射物からのレーダーエコー位相情報を用いた水蒸気情報の抽出手法の確立」の成果です。レーダーデータは気象庁観測部から提供を受けました。ここに記して感謝します。

キーワード: ドップラーレーダー, 屈折率, 水蒸気

Keywords: Doppler radar, Refractivity, Water vapor

産学連携に基づく比良おろしの実態解明に向けた観測データベースの構築 Academic-Industrial collaboration study on the observational database for elucidation of the localized katabatic wind

阪本 洋人^{1*}, 東 邦昭¹, 古本 淳一¹, 橋口 浩之¹
Hiroto Sakamoto^{1*}, Kuniaki Higashi¹, Jun-ichi Furumoto¹, Hiroyuki Hashiguchi¹

¹ 京都大学生存圏研究所

¹ Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Localized meteorological phenomena often cause severe disasters. The dynamics of these severe phenomena has not fully elucidated, because of their small temporal and spatial scale. This thesis focuses on localized katabatic wind called as Hira-Oroshi seen in the region between Hira mountain range and Biwako lake on October-May. Conventional knowledge of the katabatic wind is not enough to fully explain the mechanism of the narrow width and the rapid migration of the strong wind region.

Comprehensive observation for monitoring the horizontal structure of Hira-Oroshi is very useful to solve the puzzle of Hira-Oroshi phenomena.

The Kyoto University started academic-industrial collaboration research for the elucidation of Hira-Oroshi phenomena throughout the dense surface meteorological observation distributed in the whole of Hira-Oroshi area.

NTT DOCOMO environmental sensor network started surface weather observation at nineteen metrological stations from October, 2012. Due to the regulation of observation height, the observed data included the effect of height variations. The excellent cross-correlation coefficient among the neighboring data were confirmed. The wind velocity difference due to the difference of observation height were compensated by using logarithmic raw of wind velocity in the frictional atmospheric boundary layer. After the QC of the data, the comprehensive database of surface wind velocity in Hira-Oroshi area was successfully constructed.

The availability of the database was clearly demonstrated by unveiling the detailed two-dimensional structure of four Hira-Oroshi events occurred on October-December, 2012.

キーワード: 産学連携, 稠密地上観測

Keywords: academic-industrial collaboration, the dense surface meteorological observation

発生場所が移動するおろし風の数値シミュレーション Numerical study of moving strong downslope wind Hira-oroshi in Japan

東 邦昭^{1*}, 古本淳一¹, 橋口浩之¹
Kuniaki Higashi^{1*}, Jun-ichi Furumoto¹, Hiroyuki Hashiguchi¹

¹ 京都大学生存圏研究所

¹Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Strong migrating downslope wind was elucidated using high-resolution non-hydrostatic numerical model. The strong downslope wind appeared at the west side of Lake Biwa is called as Hira-Oroshi. In the Hira-Oroshi region, mountain range over 1000 m-altitude exists in the west side of the lake. The low altitude area exists over the north of mountain range. Hira-oroshi has quite unique characteristics that the strong (-50m/s) wind region with the narrow (-1 km) width migrates within 10 km width in every case.

In authors knowledge, the dynamics of the migrating downslope wind has not been studied yet, although the researchers researched the mechanism of downslope wind in the foot of mountain range through the observations and numerical forecast model. The characteristics of Hira-Oroshi were successfully represented in the high-resolution non-hydrostatic forecast model in this research. The results strongly suggest the synergy effects of the breaking of mountain wave seen at 1 km height and the micro-scale patch of high potential temperature at the surface causes the formation of narrow downslope wind.

キーワード: おろし風, 数値シミュレーション
Keywords: downslope wind, numerical model

周波数の有効利用を可能とする協調制御型気象レーダシステムの検討 Study of cooperative weather radar system for radio resource enhancement

川村 誠治^{1*}, 花土 弘¹, 佐藤 晋介¹, 浦塚 清峰¹

Seiji Kawamura^{1*}, Hiroshi Hanado¹, Shinsuke Satoh¹, Seiho Uratsuka¹

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communications Technology

近年都市域を中心に局地的大雨に代表されるような時間空間スケールの小さな現象による被害が増加している。このような災害に対応するため、複数の X バンド帯 (9GHz 帯) 気象レーダによる観測網の展開が進んでいる。近年の気象レーダはドップラー、二重偏波などマルチパラメータ化による情報の高度化が進んでおり、このようなマルチパラメータレーダを密に配置した観測網は今後ますます重要になると考えられている。ビーム走査が完全機械駆動の従来型レーダに対し時間分解能を飛躍的に高めるべく、情報通信研究機構では、1次元フェーズドアレイ気象レーダの開発を行った。このレーダは最短 10 秒で 3 次元の降水分布を 100 m の分解能での観測可能であり、時間変化の激しい現象の解明に期待されている。

本研究では、さらにその次の世代の気象レーダ観測システムを目指し、2次元デジタルビームフォーミングの機能を有する新しい気象レーダと、それらを同期・協調制御する観測システムの検討を行っている。目指すシステムでは、高性能レーダ(送受信局)、受信専用局などを複数展開し、それらを協調制御してマルチスタティック観測を積極的に利用し、電波干渉を避けつつ効率の良い観測を行う。本発表では複数局の最適配置・協調制御方法(ビーム走査等)に関する検討結果を報告する。

謝辞

本研究は総務省との委託契約「周波数の有効利用を可能とする協調制御型レーダシステムの研究開発」により実施された。

キーワード: 気象レーダ, 観測システム

Keywords: weather radar, observation system

一体型地上気象観測機器 (CWS) の性能評価 An evaluation of compact weather sensors

吉田 大紀^{1*}, 林 泰一², 気象測器研究会³

Daiki Yoshida^{1*}, Taiichi Hayashi², Weather Sensor Working Group³

¹ 気象情報通信株式会社, ² 京都大学防災研究所, ³ 気象測器研究会

¹Weather Information & Communications Service LTD, ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ³Weather Sensor Working Group

ゲリラ豪雨や猛暑、突風などの極端気象現象の中には、現象の空間スケールが小さい、また寿命が短いため、従来の地上気象観測網において現象を捉えることは困難なものがある。したがって、ドップラー気象レーダーや人工衛星による観測等のリモートセンシングによる、広範囲にわたる面的な観測が主要な観測手段となる。地上気象観測点に於いて直接観測されたデータを用いて、リモートセンシングによる観測データの評価を充分に実施するためには、空間的により密な観測を実施するため多数の観測点を設けることが必要と考えられる。

一方、近年特に海外の気象測器メーカーを中心として、複数の気象観測センサーを小型の筐体に収めた、一体型気象センサー (Compact Weather Sensor、以下 CWS) が、数多く販売されている。CWS は、従来の一般地上気象観測機器に比べて、取り付けに広い場所を必要とせず、省電力で、より少ないコストで多くの気象要素を連続観測できるなどの長所がある。前述の様な、より多数の地点での同時観測を実施する場合には、特に有用であると期待できる。現在、すでに様々な CWS が利用されているが、それらを総合的に比較評価した例はない。そこで筆者らは、5 台の異なる CWS を入手し、その動作特性を確認するため、風洞実験による風向風速特性の評価、および野外における比較観測を実施した。

風洞実験は、2011 年 4 月、7 月、9 月の 3 度にわたり、京都大学防災研究所風洞実験室において実施した。CWS の特徴である、小型化された筐体や、計測部の形状等、構造上生じる気流の乱れが計測値へ与える影響を評価するため、1 台ずつ風洞内に設置し一様風の計測を行った。また筐体を水平面で 5 度刻み (一部区間については 15 度刻み) で回転しながら計測を行い、風向特性を調査した。1 秒毎に収録した CWS からの出力とピトー管で計測した風洞の風速について、約 1 分間のデータについて平均と標準偏差の算出を行い、比較した。風向特性については、2 つの器種で支柱の位置と対応した対称なパターンが見られた。風速特性については、1 つの器種で、弱風時には基準よりやや強い値 (過大評価)、強風時には基準よりやや弱い値 (過小評価) を計測した。また別の器種では、全体を通して約 5% 程度過大評価となった。

野外観測は、2011 年 7 月 28 日より 9 月 27 日までの約 2 ヶ月間、京都大学防災研究所潮岬風力実験所において実施した。5 台の CWS に加えて、基準になる機器として、検定付きの風車型風向風速計、自然通風型温湿度計、転倒ます雨量計、および超音波風向風速計を設置し、同時観測を行った。観測期間中、台風 12 号と 15 号が紀伊半島に接近し、強風や強雨時のデータも含む幅広い観測データを得た。全観測期間のデータについて、10 分平均値 (雨量については前 10 分間雨量) や最大値、最小値を算出し、相互比較を行った。明らかに不調となった 1 つの器種を除き、どの CWS もほとんどの要素について、基準値と良く一致し、機器仕様の範囲内で動作した。前述した風洞実験の際に風速が過大評価になった器種については、野外観測では風速が 10% 程度の過大評価となった。2 台の CWS が雨量計を備えていたが、特に強雨時に、何れも大きく基準値から外れる結果となった。以上の結果は、CWS の特徴である筐体の小型化や、計測原理の違い、および機器の個体差などに因ると考えられる。

講演時には解析結果の詳細を報告する。

キーワード: 一体型地上気象測器, CWS, 地上気象観測, 気象測器

Keywords: compact weather sensor, CWS, ground-based meteorological measurements, meteorological instrument