平成 31~令和 3 年度 科学研究費補助金

基盤研究 (A)

最先端解析手法を用いた多様な地表面上での

シビア現象発生機構の解明と予測

(課題番号:19H00815)

成果報告書

2022年(令和4年)3月

研究代表者 山田 芳則 (叡啓大学 教授)

3. 個別成果

- 3-1 多様な地表面上でのデュアル・フェーズドアレイレーダーによる3次元風解析システムの構築 (山田芳則、牛尾知雄、佐藤晋介)・・・・・・・・・・・・・・・・・6
 - (i)フェーズドアレイレーダーデータのデコードとファイル変換ツール
 - (ii) 地形データ作成ツールと地形データ可視化ツール
 - (iii) フェーズドアレイレーダーデータ品質管理支援ソフトウェア
 - (iv) マルチドップラーレーダー解析結果の可視化ツール (水平断面図)
 - (v) マルチドップラーレーダー解析結果の可視化ツール(鉛直断面図)

付録:プログラムの説明資料(本報告書作成時点で、(v)は作成中)・・・・・・9

3-2 デュアル・フェーズドアレイレーダー解析による対流雲の時間発展の解析、マルチド ップラーレーダー解析による台風に伴う強風と局地的大雨の解析、複雑地形上での反射強 度の新しい解析方法の提案 (山田芳則) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37

- a. 対流活動が比較的活発な事例
- b. 対流活動が比較的弱い事例
- c. 2018年台風 21 号による関西地方の強風と局地的大雨の解析
- d. デュアル・フェーズドアレイレーダー解析と数値モデルによる鉛直流の相互比較
- e. 複雑地形上での反射強度の新しい解析方法の提案:新しい "CAPPI"
- 付録:a-e に関する資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
- 3-3 シビア現象をもたらす積乱雲の内部構造の特徴 (林 修吾)・・・・・・・76
- 3-4 高解像度数値実験による短時間降水量の再現性 (林 修吾)・・・・・・・86

3-5 数値モデルによる鉛直流の再現の検討 (伊藤純至)・・・・・・・・・・92

3-7	新規手法による時系列予測の改善(平田祥人)・・・・・・・・・・・・・・10	9
3-8	降水粒子観測(山田芳則)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11	2
4.	成果リスト ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11	3

1. 研究と成果の概要

本研究課題は、平成 31~令和 3 年度の科学研究費補助金基盤研究(A)として平成 30 年度 に複合領域の分野(中区分:社会システム工学、安全工学、防災工学およびその関連分野)に 申請し、平成31年4月に採択された.本研究では、最先端解析手法を用いて多様な地表面 上における大雨や短時間強雨などのシビア現象の発生機構を解明し、これらの現象の予測 を目指している、シビア現象は活発な対流雲に伴って発生することが多く、したがって対流 雲の構造の時間発展を解明することがシビア現象の発生機構解明にとって重要である.し かし、対流雲の構造の時間発展は非常に速く、現時点では対流雲の実態、つまり3次元構造 の時間発展が十分に解明されているとは言えない.近年、フェーズドアレイレーダー(以降、 PAWR と略記)と呼ばれる最先端の高速レーダーが日本国内に数台配置されている. この レーダーは、30秒という非常に短い時間で3次元走査を完了することができるため、対流 雲のような時間発展の激しい現象を観測する上で非常に有効である.特に関西地方では神 戸と吹田にそれぞれ1台設置されている PAWR を組み合わせて、デュアル・フェーズドア レイレーダー解析によって対流雲内の3次元構造の時間発展を気流構造も含めて30秒とい う高い時間解像度で解析することが可能であり、対流雲の実態の解明に大きく寄与する.ま た、研究代表者が「超高解像度観測と数値モデルによる大雪や突風をもたらす降雪雲の動態 に関する研究(科研費:基盤研究 A:平成 26~28 年度)|において開発した手法によって、 山地のような複雑な地表面上においても3次元風解析が可能である.このため、デュアル・ フェーズドアレイレーダー解析によって、多様な地表面上においてシビア現象をもたらす ような対流雲の構造やその特徴、及びシビア現象の発生機構が解明できると考える. ただし、 最先端の PAWR を用いても、従来型のレーダーと同様に、レーダーでは降水粒子が雲内で 形成された以降でないと雲の構造を観測できない.

対流雲の構造解明には、高解像度の数値実験も重要である.数値実験によって、雲の発達 初期からの構造や力学的な場などの解析、感度実験などを行うことが可能である.大型計算 機や数値モデルの発展によって高い空間解像度のシミュレーションが実施できるようにな ってきている.対流雲の空間スケールは比較的小さいので、高解像度シミュレーションが欠 かせない.対流雲の実態解明やシビア現象発生機構の解明には、少なくともデュアル・フェ ーズドアレイレーダー解析や従来のドップラーレーダーを複数用いるマルチドップラーレ ーダー解析、高解像度の数値実験を相互補完的に組み合わせて研究を進めることが必要で ある.

気象要素の1~2時間先までの短時間予測は、多方面での需要が数多くあると考えられる. 特に、降水量やシビア現象の短時間予測は防災の観点から非常に重要である.しかし、これ らを1~2時間先まで予測することは、現在でも依然として難しい課題である.短時間予測 の分野では、新しい予測手法である非線形時系列解析(Hirata et al. 2015; Hirata 2017)が近 年盛んに利用されるようになり、再生可能エネルギー分野での気象予測データに基づく電 力出力予測等にも利用されるようになっている.この最新の予測方法を降水量などの気象 要素にも応用して、短時間予測システムを構築できる可能性がある.

本研究では、目指していた目標がおおむね達成できたと考えている. 大きな成果の一つと して、デュアル・フェーズドアレイレーダー解析から対流雲の3次元構造の時間発展に関 する新たな知見が得られた。特に 30 秒という非常に高い時間解像度で、雲内の反射強度の 構造や上昇流・下降流の時間変化が明らかになった。このようなデータは従来の X-バンド や C-バンドレーダーでは捉えられない貴重な結果であり、対流雲の実態解明やシビア現象 発生機構の解明に向けて非常に重要である. 鉛直流の時間変化から、対流雲の観測では時間 解像度はおよそ 2 分以下が必要であろう. また、対流活動が活発な降水システム内では対 流活動が比較的弱い場合に比べて、大きさが 15 m s⁻¹ にも達するような強い上昇流や下降 流が存在する傾向がみられた. さらに、後者の場合に同じ水平解像度の数値モデル実験結果 を用いて鉛直流(大きさは数 m s⁻¹)やその出現頻度分布を相互比較した結果、同様である ことが示された.この事例に関する限り、鉛直流の見積もりはほぼ妥当と判断できる.大気 中の現象に大きな影響を及ぼすと考えられる鉛直流の実態についても未解明なことが多く、 鉛直流の実態解明にもレーダー解析とモデルとの相互比較は非常に重要であり、デュアル・ フェーズドアレイレーダー解析は鉛直流の解析にも非常に有益であろう.また、デュアル・ フェーズドアレイレーダー解析から算出された 3 次元気流構造は、反射強度の時間変化と も整合していることも確認できている. 比較的強い反射強度をもつ丸い領域 (降水コアと考 えられる) が上昇流の強い雲の上部や中層にも出現して、降水となって地表に落下する様子 が見事に解析できている.降水コア内の反射強度が大きくなるにつれてこのコアは下方に 落下するようになり、この落下に伴って上昇流の大きさも小さくなって、下降流が形成され る様子も解析できている。雲の上部に形成される降水コアは下層から雲の上部まで伸びる 上昇流コアに対応して形成され、中層での降水コアの形成は雲と周囲の気流との相互作用 によるものであった.このような雲内での降水コアを探知することが降水(特に強い降水) の短時間予測には重要であろう.

代表者が継続して開発に取り組んできたマルチドップラーレーダー解析による高精度な 3 次元風解析システム(世界的にもトップレベルの水準)を PAWR へも適用可能とさせた ことで、本システムは日本国内で稼働しているほとんどのレーダーに適用できるようにな った.解析結果の可視化についても、現在広く用いられている Python による可視化プロ グラムを整備した.この3次元風解析システムは、気象学や防災の分野で広く活用できる 技術であり、各種レーダーへの適用性を向上させたシステムが整備できたことは本課題で の重要な目的の一つが達成されたと考えている.

デュアル・フェーズドアレイレーダー解析やマルチドップラーレーダー解析から、対流雲 と地形との相互作用が存在して、場合によっては局地的大雨のようなシビア現象が発生す ることが明らかになった.国土面積の約70%を山地が占める日本においては、対流雲と地 形との相互作用は学術及び防災の 2 つにとって重要であるので、継続して取り組むべき重要な課題の一つである.

シビア現象の一つである雷についても、早期探知のための技術の向上や発生予測が望ま れる.主として偏波レーダー観測データの解析によって、雷に関わる積乱雲の内部構造の特 徴が明らかになった(Hayashi et al. 2021).

数値実験の分野では、線状降水帯の事例について積乱雲が発生するバックビルディング 型豪雨のラージ・エディ・シミュレーションを行った. この実験では実際の環境場を一様な 初期値・境界値とし、理想化した計算設定で気象庁非静力学モデルを実行させ、線状に組織 化するメカニズムを解明した(Ito et al. 2021). この成果のように、現在では空間的に高い 空間解像度での数値実験が可能であるので、このような実験は対流雲の構造や組織化など の研究に今後も重要である. 組織化に関する実験の他に、令和2年7月豪雨を対象に数値 モデル NHM と asuca (現在、気象庁で現業的に用いられている数値モデルの一つ) による サブ km まで水平解像度を向上させた大雨の再現性を調査した. その結果, 総降水量でみる とモデル間・解像度間の再現性の違いは小さかった.ただし、降水強度出現頻度では、水平 解像度 2km の NHM と asuca は強雨が過剰傾向であった. 解析領域全体の平均降水量の時 系列は概ね観測を再現していたものの,最大 1 時間雨量の時系列では豪雨時のピーク降水 量はモデルが観測を上回っており,時間スケールの短い豪雨の再現性にはまだ課題がある ことが明らかとなった.したがって、数値モデルによる降水量の再現性向上も依然として必 要である.降水予測や降水システムの再現性に大きな影響を及ぼす雲の微物理過程モデル については、平地と山地のそれぞれ 1 地点で実施した降水粒子観測によるデータを参考に しつつ、改良・高度化に向けて検討中である.

大雨については、2006 年から 2020 年までの九州地方における梅雨期における前線の降 雨量への寄与を調べ,前線が九州地方に 8 日以上停滞していた 4 イベント全てにおいて 豪雨災害が発生していたことを明らかにした(宮本真希,山田 朋人 2021).このことは、 前線の構造や水蒸気の輸送などが豪雨発生に大きく影響していることを示唆する.また、気 象庁の解析雨量を用いて、線状降水帯の特徴(継続時間、形状、降水量)の解析を行った.

1~2 時間先までの気象要素の短時間予測は、現時点でも難しい課題である.短時間予測 の精度を向上させる取り組みとして、本課題では非線形時系列解析を東京で観測された1 分間の降水量に適用した.その結果、従来型の手法に比較して2時間先までの降水量予測 の精度が向上することがわかった.この成果をまとめた論文は、Nonlinear Processes in Geophysics Discussions に投稿して査読中である (Hirata and Yamada 2022).降水量だけ でなく気象要素の短時間予測の精度向上には、数学に基礎を置く新しい手法が必要であろう.

本課題では、査読付き論文(受理:4編、査読中:3編)も含めて、学会発表など非常に 多くの成果をあげることができた(「4.成果リスト」に研究成果を掲載).

対流雲の実態解明及びシビア現象の発生機構の解明と予測のためには、取り組まなけれ ばならない課題が今も山積しており、本研究で得られた成果は課題の一部を解決したに過 ぎない.また、新たな問題点が見出されたり、十分に取り組めなかったりした課題もある. 特に、シビア現象の発生機構については、デュアル・フェーズドアレイレーダー解析が適用 できるような現象が解析可能な領域内に発生しなかったため、十分な解析ができなかった. 発生機構は、対流雲の研究と合わせて観測とモデルの両面を中心として継続して取り組ん でいかなければならない. 今後、PAWR のような高速レーダーが日本全国に展開されてい くことが予測される. このような高速レーダーによるデータを利用する際に最も重要で多 くの労力をさかなければならないことは、ドップラー速度と反射高度の品質管理である.速 度データの品質は、従来型のドップラーレーダーに比べて低下していることが多い. この点 は高速レーダーの宿命ともいえる. デュアル・フェーズドアレイレーダー解析で最も困難で あった点がドップラー速度データの品質管理である。PAWR や従来型のドップラーレーダ ーから精度よく風の場を解析するためには、適切な品質管理が不可欠である. ドップラー速 度データの品質管理には、現時点では「完璧な | 方法は存在しないので、品質管理方法の開 発には継続して取り組んでいくことが必要である。反射強度データにも地形に起因すると 考えられるデータが特に下層に多くみられる. 本課題で開発したプログラムも含めて、多様 な地表面上での高精度 3 次元風解析システムは、将来的に気象学の研究や防災の分野で広 く活用できるようにしていく計画である.

本研究を遂行するにあたり、課題に参加いただいた方やご協力いただいた方全てに深く 感謝いたします.地上降水粒子観測では、箕面市環境クリーンセンター(大阪府箕面市)と 明星ビル(大阪府大阪市西区)からは機器の設置や観測の面で多大なるご支援とご協力をい ただきました.研究協力者を引き受けて下さった藤吉康志先生(北海道大学名誉教授)と上 田博先生(名古屋大学名誉教授)、小西啓之先生(大阪教育大学教授)からも有益なご助言 やご協力をいただきました.ここに厚くお礼申し上げます.

(研究代表者)

2. 研究目的と研究体制(応募内容ファイルから抜粋)

研究目的は、多様な地形上に出現して短時間強雨や突風などをもたらす積乱雲の時 間発展をレーダーデータ解析と高解像度数値モデル実験とによって対流スケールで明 らかにすることで、これらのシビア現象の発生機構の解明と短時間予測の高度化を行う ことである.発生機構は、シビア現象を発生させる雲に共通する特徴やシビア現象が発 生しない雲との違いに着目して解明する.このために、最新鋭レーダー網のデータから 降水強度や先端的解析システムによって3次元気流場を非常に高い時間解像度で解析 する他、雲内の力学・熱力学構造や降水以外の水・氷粒子の空間分布までも明らかにす る.一方、数値モデルによる再現実験では、雲の特徴についての観測との対比及び2つ の型の雲の違いについて解析する.シビア現象の短時間予測の高度化は、観測からの雲 の顕著な特徴を用いて、斬新的な非線形時系列解析によって行い、高度化された雨量予 測が中小河川の流出予測に及ぼす効果も評価する.

研究グループ

・代表者

山田芳則(気象研究所、令和3年度から叡啓大学)

・分担者(50音順)

伊藤純至(東京大学、令和2年度から東北大学)、牛尾知雄(大阪大学)、

佐藤晋介(情報通信研究機構)、林 修吾(気象研究所)、平田祥人(筑波大学)、山田朋人 (北海道大学)

・研究協力者(50音順)

上田 博 (名古屋大学名誉教授)、小西啓之 (大阪教育大学)、

藤吉康志(北海道大学名誉教授)



3. 個別成果

3-1 多様な地表面上でのデュアル・フェーズドアレイレーダーによる
 3次元風解析システムの構築
 山田芳則、牛尾知雄、佐藤晋介

- 1.1 多様な地表面上で、デュアル・フェーズドアレイレーダー解析を行うための環境整備 新たに必要となる下記の環境を整備した.
 - (i)フェーズドアレイレーダーデータのファイル変換プログラム

フェーズドアレイレーダーのデータフォーマットをファイル変換して、いわゆる draft 形式または netCDF 形式として保存できるようにプログラムを整備した. このプ ログラムは Python で書かれている.フェーズドアレイレーダーデータは、鉛直面内の 走査面の集合体であり、これを一般的なレーダーで採用されている PPI 形式に変換す る. PPI 形式にする理由は、代表者が開発した 3 次元風解析システムが多仰角 PPI デー タに対応しているためである.

(ii) 地形データ作成プログラム

国土地理院作成の「数値標高モデル 10m メッシュ」を用いて、デュアル・フェーズ ドアレイレーダー解析で用いる水平解像度と同じ解像度の地形を作成するプログラム を開発した. このプログラムは Python で書かれている.

(iii) ドップラー速度データ品質管理支援プログラム

3次元の気流構造を精度よく算出するためには、ドップラー速度データの品質管理が きわめて重要である.このため、GUI インターフェースでドップラー速度データを可視 化して、画面上でノイズや地形によるデータなどを簡単に除去できるプログラムを開発 した.プログラムは Linux 上で動作する.

(iv) 3 次元風解析結果の可視化(水平断面図)

解析結果の風や反射強度の場を可視化できるようなプログラムを Python で開発した.

(v)3次元風解析結果の可視化(鉛直断面図)

指定した任意の鉛直断面内での反射強度や風(水平風は、断面に平行あるいは直交を 選択可)を可視化できるようなプログラムを Python で開発した. 多様な地表面上に適用可能な高精度の3次元風解析システムでは、ファイル形式をdraft 形式に変換すれば、フェーズドアレイレーダーだけでなく、国内で稼働しているほとん どのレーダー(気象庁レーダー、空港レーダー、Xバンド MP レーダー、Kuバンドレ ーダー、ドップラーライダーなど)に適用可能である.フェーズドアレイレーダーへの 適用が完了して、代表者が開発してきた世界的にもトップレベルの水準にあると考えら れる高精度な3次元風解析システムは、気象学や防災などの分野で広く利用できるよう になった.

1.2 ドップラー速度データの品質管理

観測されるドップラー速度データには、ノイズや地形の影響を受けたデータ、不適切な ナイキスト数を割り当てられたデータなど、質の悪いデータが必ずといっていいほど含ま れている. 質の悪いデータは、たとえば PPI 画像上において不自然な大きさの速度の水平 勾配から容易に認識できる. このような品質の悪いデータを何の処理もせずに複数のドッ プラーレーダーを組み合わせたマルチドップラーレーダー解析に用いた場合、このような データによって解析される風の精度が大きく低下する. 一般的に、マルチドップラーレーダ ー解析においては、各ドップラーレーダーのドップラー速度データの品質が、解析される風 速成分の精度にきわめて大きな影響を及ぼす. このため、マルチドップラーレーダー解析で は、ドップラー速度の品質管理を適切に行わなければならない. 品質管理とは、ノイズの除 去や適切なナイキスト数の再割り当てなどの処理によって、ドップラー速度データの品質 を向上させ、ドップラー速度の場を「滑らかに」する処理のことである.

フェーズドアレイレーダーによって観測されるドップラー速度データにも品質の悪い データが含まれている.1回の3次元走査に要する時間がわずか30秒という高速レーダー ということもあって、一般のドップラーレーダーよりも質の悪いデータが多く存在する.特 にアンテナの仰角がおよそ10°以下の場合に質の悪いデータの存在が顕著である.この仰 角よりも高い仰角では、下層よりも質の悪いデータ数は減少する傾向にある.フェーズドア レイレーダーのドップラー速度データをいかに効率よく適切に行うかが、デュアル・フェー ズドアレイレーダー解析の鍵である.

フェーズドアレイレーダーのドップラー速度の品質管理を行うことは決して容易では ない.その理由には、高速レーダーの宿命として(1)品質の悪いデータが多くなってしま うということ(ビーム幅が広いことも一因)、(2)地形の影響を受けたデータが多いこと、 (3)質の悪いデータが PPI上において広い面積を占めている場合があること、があげられ る.特に、(3)のデータに対しては Yamada (2021)のアルゴリズムが適用できず、データの 品質管理にかなりの時間を要する結果となっている.<u>1つの3次元走査(一般に98個の</u> PPIデータから構成される)の処理に1~1.5時間を要することが多い.

現時点では、フェーズドアレイレーダーのドップラー速度データの品質管理には下記の

4 つの方法を組み合わせて実施している. 最終的には、削除あるいは修正できなかった品質の悪いデータを GUI プログラムで表示させて手作業で消去している.

- a. Yamada and Chong (1999) のアルゴリズムを dual-PRF 用にも適用可能とした方法
- b. 山田ほか (2009)の方法
- c. Yamada (2021)の方法
- d. 近傍の PPI 面のデータを用いた、速度データの鉛直方向の連続性

これまでの品質管理では、上記の b, c の順に処理を行い、最終的には GUI で PPI ごとの 速度データを表示させて、不要なデータを手動で削除して品質管理を完了させている.場 合によっては d の方法も利用している.ドップラー速度の品質や実際の処理などは「3-2 デュアル・フェーズドアレイレーダー解析による対流雲の時間発展の解析」を参照いただ きたい.

どのような処理方法や手順が最適化であるかは事例ごとに異なるので、解析する場合に はある程度の試行錯誤は覚悟しなければならない.デュアル・フェーズドアレイレーダー解 析によって効率よく高精度の風解析を実行するためには、ドップラー速度データの品質管 理手法の高度化が必須である. 3-1 (i) フェーズドアレイレーダーデータのデコードとファイル形式変換ツール

目次

1.	はじめに	1
2.	プログラムの一覧	1
3.	動作環境	1
3.1.	動作環境の構築	1
4.	フェーズドアレイレーダーデータのデコードとファイル形式変換	2
4.1.	入力データの準備	2
4.2.	プログラムの実行	2
4.3.	NetCDF 形式	3
4.4.	draft 形式	4

1. はじめに

本書は、平成 31 年 5 月から令和元年 8 月に実施した「フェーズドアレイレーダーデ ータのデコードとファイル形式変換のためのツールの作成」において開発したプログラ ム「フェーズドアレイレーダーデータのデコードとファイル形式変換ツール」の説明書 である。本プログラムでは、フェーズドアレイレーダーで観測された生データ(1 セッ トの三次元走査データ)をデコードして、指定したファイル形式(draft 形式または netCDF 形式)に変換する。

2. プログラムの一覧

プログラムのソースコード一覧を表 2-1 に示す。

表 2-1. プログラムの一覧

ソースコード	説明
pawr_converter.py	フェーズドアレイレーダーデータの変換プログラム

3. 動作環境

本プログラムは Python3.6 で開発されている。Python の導入後にインストールする ライブラリを表 3-1 に示す。

表 3-1. Python ライブラリの一覧

ライブラリ名	バージョン	
numpy	1.14.2	数値計算ライブラリ
netCDF4	1.4.3	可視化ライブラリ

3.1. 動作環境の構築

本プログラムは Windows 、Linux で動作する。まず Python 本体を次の手順でイン ストールする。

基本的な開発環境を apt-get を使ってインストールする。

apt-get install zlib1g-dev openssl libssl-dev

Python 本体をインストールする。

```
wget https://www.python.org/ftp/python/3.6.7/Python-3.6.7.tgz
tar zxvf Python-3.6.7.tgz
cd Python-3.6.7/
./configure --prefix=/home/xxx/local xxx は自分のアカウント名
make
```

vi .bashrc export PATH=/home/atmark/local/bin:\${PATH}

source .bashrc

Python 本体をインストール後、pip コマンドを使って必要な Python ライブラリをインストールする (Windows、Linux)。

pip install numpy pip install netCDF4

4. フェーズドアレイレーダーデータのデコードとファイル形式変換

4.1. 入力データの準備

プログラムの入力ファイルは、フェーズドアレイレーダーデータである。ファイル形 式は、「次世代ドップラーレーダー RAW データフォーマット 東芝電波システムエ ンジニアリング(株)」を参照。

例えば、下記のようなファイルが対象となる。

ファイル例)

kobe_20180904135000_A06_pawr_vr.dat kobe_20180904135000_A06_pawr_ze.dat

4.2. プログラムの実行

本プログラムでは出力形式を NetCDF と draft の 2 種類選択することができる。プロ グラム実行時に-n オプションをつけると NetCDF に変換し、-d オプションをつけると draft 形式に変換される。NetCDF は 1 ファイルになるが draft は仰角毎に 1 ファイル出 力される。

【NetCDF 形式の場合】 (-n オプションをつける)

python pawr_converter.py kobe_20180904135000_A06_pawr_vr.dat -n test.nc VE

それぞれ指定できるオプションは次の通りである。 第一引数:フェーズドアレイレーダーデータのファイルパス 第二引数:出力するファイルパス 第三引数:変数名

【draft 形式の場合】 (-d をつける)

python pawr_converter.py kobe_20180904135000_A06_pawr_vr.dat -d test###.rt VE kobe

それぞれ指定できるオプションは次の通りである。 第一引数:フェーズドアレイレーダーデータのファイルパス 第二引数:出力するファイルパス(ただし、###をどこかにつける。仰角ごとの通し 番号になる。) 第三引数:変数名(VE、ZE、WDのどれか) 第四引数:サイト名(8文字以内)

4.3. NetCDF 形式

NetCDF形式に変換したデータの内容を表 4-1 に示す。

•			
Global Attributes			
Dimensions			
elevation_angle			
range			
sectors			
Variables			
aloustion angle	Dimensions = elevation_angle	们在	
elevation_angle	Datatype = double	F1 F1	
1000 000	Dimensions = range	RAY 方向レンジ	
range	Datatype = int	の bin	
aaataaa	Dimensions = sectors	方位角の bin	
sectors	Datatype = int		
	Dimensions = elevation_angle, sectors, range		
	Datatype = float	データ部 (変数名	
data	_FillValue = -327.68f	はユーザが指定	
	long_name = "data"	したもの"	
	units = "-"		

表 4-1. NetCDF に変換後のデータの内容

NetCDFに変換したデータの可視化例を図 4-1 に示す。



図 4-1. 変換した NetCDF 形式の可視化例

4.4. draft 形式

No	Name	length	type	start	end	Example	unit(meaning)
1	file format id	5	С	1	5	FRT01	
2	byte of data	1	1	7	7	1	
3	byte order	1	1	9	9	0	
4	header length	4	1	11	14	256	
5	file name	20	С	16	35	Vg75kxe4.rt	
6	radar site	8	С	37	44	Narita-D	
7	scan mode	5	С	46	50	PPI	
8	date observed	6	1	52	57	960705	96/7/5
9	time observed	6	1	59	64	150404	15:04:04
10	time interval	6		66	71	000020	00:00:20
11	data type	4	С	73	76	VE	
12	unit of data	8	С	78	85	m/s	
13	fixed angle	5	1	87	91	125	0.1deg
14	file name orig	20	С	93	112	test.txt	
15	date generated	6	1	114	119	961016	96/10/16
16	time generated	6	1	121	126	202442	20:24:42
17	r min(100m)	5	1	128	132	-200	100m
18	azimuth min	5	1	134	138	-200	0.1deg
19	elevation min	4	1	140	143	9999	0.1deg
20	r max(100m)	5	1	145	149	100	100m
21	azimuth max	5	1	151	155	100	0.1deg
22	elevation max	4	1	157	160	9999	0.1deg
23	number of r	4	1	162	165	400	
24	number az/el	4	1	167	170	400	
25	true north	5	1	172	176	680	0.01deg
26	palette fmt id	4	С	178	181		
27	frequency(MHz)	5		183	187	5290	MHz
28	number of PRFs	1	1	189	189	2	
29	PRF 1(Hz)	4	1	191	194	1120	Hz
30	PRF 2(Hz)	4	1	196	199	840	Hz
31	range reso.(m)	4	1	201	204	150	m
32	azimuth reso.	4	1	206	209	703	0.001deg
33	data reso.	4	1	211	214	50	0.01m/s(*2)
34	MTI filter	1	1	216	216	1	see not 3 in TIFF
35	polarity	1	С	218	218	Н	
36	Process info.	6	С	220	225		see note4
37	longitude	8	I	227	234	1403853	0.0001deg
38	latitude	7		236	242	357686	0.0001deg
39	height(m)	5		244	248	50	m
40	comment	7	С	250	256		

(*1)

dataが欠損している場合には、特別な値を埋め込むことにし、

ドップラー速度、強度、スペクトル幅、time、vnyq等:

0x7f(1バイト)、0x7fff(2バイト)など、正の値で、表現可能な最大値 az、el: 符号付き2バイト整数なので、16進表示で(0, 0x8000)の組で表す。

(*2)

但し、実際には常にあるはずではある(無いとデータとして利用できない)

[、]生データでdBZの場合は、0.01dBZとする。スペクトル幅の場合は、ドップラー速度 と同じとする。なお、上記の場合は、0.5m/s単位 でデータが格納されていることを意 味します。

3-1 (ii) 地形データ作成ツールと地形データ可視化ツール

目次

1.	はじめに	. 1
2.	プログラムの一覧	. 1
3.	動作環境	. 1
3.1.	動作環境の構築	.1
4.	地形データ作成ツール	. 2
4.1.	入力データの準備	2
4.2.	プログラムの設定(入力ファイルのディレクトリ指定)	.3
4.3.	プログラムの実行	.4
4.4.	地形データの可視化ツール	.5
4.5.	プログラムの設定(カラーテーブル、カラースケールの指定)	6
4.6.	プログラムの実行	.7

1. はじめに

本書は、平成 31 年 5 月から令和元年 7 月に実施した「地形データ作成と可視化ツー ルの作成」において開発したプログラム「地形データ作成ツール」および「地形データ 可視化ツール」の説明書である。本プラグラムは、複数のドップラーレーダデータを用 いて平坦および複雑地表面上での積乱雲内の 3 次元気流構造を解析するために必要とな る地形データを作成するものである。

2. プログラムの一覧

プログラムのソースコード一覧を表 2-1 に示す。

ソースコード	説明
extract_grid.py util.py	地形データ作成ツール (util.py は extract_grid.py から参照される。メッシュコードに関 する自作ライブラリ)
display.py	地形データ可視化ツール

表 2-1. プログラムの一覧

3. 動作環境

「地形データ作成ツール」および「地形データ可視化ツール」はいずれも Python3.6 で開発されている。Python の導入後にインストールするライブラリを表 3-1 に示す。

ライブラリ名	バージョン			
numpy	1.14.2	数値計算ライブラリ		
matplotlib	3.0.0	可視化ライブラリ		
lxml	4.2.1	XML パーサー		
MetPy	0.10.2	気象データ処理ライブラリ		

表 3-1. Python ライブラリの一覧

3.1. 動作環境の構築

本プログラムは Windows、Linux で動作する。まず Python 本体を次の手順でインストールする。

【Windows の場合】

Python3.6 のインストーラーを以下の URL からダウンロードし、実行して Python 本体をインストールする。インストール後はコマンドラインから Python が実行でき るように、Python をインストールしたディレクトリに Path を通す。

https://www.python.org/downloads/

【Linux (Debian)の場合】

基本的な開発環境を apt-get を使ってインストールする。

apt-get install zlib1g-dev openssl libssl-dev

Python 本体をインストールする。

wget https://www.python.org/ftp/python/3.6.7/Python-3.6.7.tgz tar zxvf Python-3.6.7.tgz cd Python-3.6.7/ ./configure --prefix=/home/xxx/local xxx は自分のアカウント名 make

Python の Path を通す。

vi .bashrc

export PATH=/home/atmark/local/bin:\${PATH}

source .bashrc

Python 本体をインストール後、pip コマンドを使って必要な Python ライブラリをインストールする (Windows、Linux)。

pip install numpy pip install matplotlib pip install lxml pip install MetPy

4. 地形データ作成ツール

4.1. 入力データの準備

地形データ作成ツールは、国土地理院が提供している基盤地図情報(数値標高モデル 10m)を入力とする。別途準備している HDD には全国分のデータが保存されている。 もし、ユーザが別途自分で準備する場合は、下記の URL からアクセスしデータをダウ ンロードする。

国土地理院 基盤地図情報 ⇒ https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php

データのダウンロード手順を図 4-1 に示す。



図 4-1. 10 メッシュ標高データのダウンロード手順

ダウンロードしたデータは、解凍したあとの.xmlの拡張子のファイル群を一つのディレクトリにまとめる。ファイルは例えば FG-GML-5135-00-dem10b-20161001.xml 等である。

4.2. プログラムの設定(入力ファイルのディレクトリ指定)

地形データ作成プログラムは、以下の2ファイルのソースコードで構成されている。

extract_grid.py ・・・ 地形データ作成プログラム本体 util.py ・・・ メッシュコードに関する自作ライブラリ

実行前に、extract_grid.py で定義されている入力データまでのパスを変更する。 extract_grid.py をテキストエディタで開き、図 4-2 の部分を編集する。



図 4-2. extract_grid.py の冒頭部分

11 行目に PATH が定義されているので、この部分を自身の環境の 10m メッシュ標高 データ (.xml) があるディレクトリまでのパスに変更する。

4.3. プログラムの実行

extract_grid.py はコマンドラインから次のように実行する。

python extract_grid.py -l 34.4431,135.2594 -c 0.004497,0.005465 -g 401,401 -i 201,201 -f test.out

それぞれ指定できるオプションは次の通りである。

-1: レーダの座標を緯度、経度の順で指定。

- -c:東西南北の分解能を緯度、経度の順で指定。単位は度。
- -g:出力する格子数を整数で指定。順番は東西方向、南北方向。
- ·i: レーダの格子番号を整数で指定。順番は東西方向、南北方向。
- -f:出力ファイルパスを指定。

-f オプションで指定したファイルの結果がテキスト形式で出力される。このとき、レーダの中心位置と変数を図 4-3 で定義する。



図 4-3. レーダの位置関係と変数の定義

出力されるテキストデータのフォーマットは以下のようになる。

- ・第1 ν コード: na, nb, ma, mb, delx, dely, xlon, xlat
- ・第2レコード~第nb+1レコード:格子内の平均標高のデータを北から南に1行
 ずつ(1行あたり na 個のデータ)記録する。
- ・第 nb+2 レコード~第 2 nb+1 レコード: 格子内の最大標高のデータを北から南に 1 行ずつ (1 行あたり na 個のデータ)記録する。

出力例を図 4-4 に示す。

図 4-4. 地形データの出力例

4.4. 地形データの可視化ツール

地形データ作成ツールによって出力されたデータを入力として、可視化することがで きる。出力する画像形式は指定する出力ファイルの拡張子で自動的に決定される。例え ば、png や eps が指定可能である。プログラムのソースコードは以下の1つから構成さ れる。 display.py ・・・ 出力した地形データを可視化するプログラム

4.5. プログラムの設定(カラーテーブル、カラースケールの指定)

実行前に、display.py で定義されている入力データまでのパスを変更する。 extract_grid.py をテキストエディタで開き、図 4-2 の部分を編集する。



図 4-5. extract_grid.py の冒頭部分

19 行目に CMAP が定義されているので、この部分を編集してカラーテーブルを選択 することができる。Python ライブラリの matplotlib で選択できるカラーテーブルの種 類は多いので、詳細は https://matplotlib.org/examples/color/colormaps_reference.html を参照。(標高で推奨できそうなものは、terrain、gist_earth、rgb、rainbow)

また、カラースケールは図 4-6 の部分で変数することができる。



図 4-6. extract_grid.py の中盤部分

37 行目と 38 行目の norm の定義のコメントアウトを入れ替えることによって、リニアスケールもしくはログスケールを切り替えることができる。対象が標高であるのため ログスケールの方が見やすい場合が多い。

4.6. プログラムの実行

display.py はコマンドラインから次のように引数を2つ与えて実行する。

python display.py test.out test.png

ここで、test.out は地形データ作成プログラムによって出力されたデータである。 test.png は出力ファイルであり、拡張子によって保存形式が決まる。png や eps などを 指定することができる。出力例を次に示す。左側に平均値、右側に最大値が表示される。



図 4-7. 地形データの可視化例(terrain)



図 4-8. 地形データの可視化例(gist_earth)





3-1 (iii) フェーズドアレイレーダーデータ品質管理支援ソフトウェア

目次

1. 1	はじめに	.1
2.	プログラムの一覧	.1
3.	動作環境	.1
3.1.	動作環境の構築	.1
3.1	.1. Debian でのコンパイル	.1
3.1	.2. Open SUSE Leap でのコンパイル	.2
4. 1	使用方法	.2
4.1.	ソフトウェアの実行	.2
4.2.	ファイル操作	.4
4.3.	画像の拡大・縮小	.4
4.4.	画像の色合いの変更	.4
4.5.	ポリゴンの作成	.5
4.6.	ポリゴンの編集・削除	.5
4.7.	ポリゴン領域に対する処理	.6
4.8.	ヘルプメニュー	.6

1. はじめに

本書は、令和元年 11 月から令和元年 12 月に実施した「フェーズドアレイレーダーデ ータ品質管理支援ソフトウェアの作成」業務において開発したプログラムの説明書であ る。本プログラムでは、draft 形式で保存されているレーダの観測生データを可視化した 状態でデータの編集ができるソフトウェアである。

2. プログラムの一覧

本ソフトウェアは C++で開発しており、GUI は Qt5 を利用している。プログラムの ソースコードを表 2-1 に示す。

フェーズドアレイレーダーデータ品質管理支援ソフトウェア

ソースコード		
フォルダ	記明	

主 9-1 プロガラムの一階

3. 動作環境

raded

動作環境は Linux (openSUSE Leap、Debian 等) である。C++のコンパイラーの他、 Qt5 関連のライブラリが必要である。

3.1. 動作環境の構築

3.1.1. Debian でのコンパイル

コンパイルに基本的なライブラリをインストールする。

apt install vim build-essential qt5-default qttools5-dev-tools

ソースコードのある raded フォルダに移動して、以下の通り実行する。

cd raded #プログラムソースコードのディレクトリまで移動 qmake -project

上記を実行すると、raded.pro というファイルが生成される。このファイルを vi 等で 開いて、「QT += widgets」を追加する。



その後、以下のコマンドを実行すると実行ファイル「raded」が生成される。

qiiiaiio	
make	

3.1.2. Open SUSE Leap でのコンパイル

コンパイルに基本的なライブラリをインストールする。

zypper install vim zypper install --type pattern devel_basis zypper install libqt5-qtbase libqt5-qtbase-devel

ソースコードのある raded フォルダに移動して、以下の通り実行する。

cd raded #プログラムソースコードのディレクトリまで移動 qmake-qt5-project

上記を実行すると、raded.pro というファイルが生成される。このファイルを vi 等で 開いて、「QT += widgets」を追加する。



その後、以下のコマンドを実行すると実行ファイル「raded」が生成される。

```
qmake-qt5
make
```

4. 使用方法

4.1. ソフトウェアの実行

3 章で説明した手順でコンパイルに成功していれば、以下のコマンドを実行すること でソフトウェアを起動することができる。

./raded

起動後、draft 形式のファイルを読み込んだ画面を図 4-2 に示す。



図 4-1. 品質管理支援ソフトウェアの画面(draft データ読み込み後)



表示される画像の概要は図 4-2 の通りである。

図 4-2. 表示される画像の概要

4.2. ファイル操作

ファイルのオープンやクローズ等の操作は、左上の「File メニュー」から実行できる。 ここから、PPI の切り替えも可能である。

<u>F</u> ile	<u>P</u> olygons	<u>A</u> ctions <u>H</u> elp		
	open	Ctrl+0		
	save	Ctrl+S		
!	next PPI	Ctrl+N		
1	previous PPI	Ctrl+P		
	quit	Ctrl+Q		

図 4-3. ファイルに関係する操作メニュー

4.3. 画像の拡大・縮小

Ctlと+キーを同時に押すことで表示されている画像を拡大することができる。縮小は Ctlとーキーを同時に押す。



PPI: 0

図 4-4. 拡大表示した画像(Ctl と+キーを同時に押す)

4.4. 画像の色合いの変更

画像の色合いは、画面右上にあるメニューから編集することができる。値の最小値・ 最大値を設定し、それぞれの色合いをカラーキャンパスから選択することができる(図 4-5)。最小値から最大値までは線形にグラデーションがかかる。



図 4-5. 色合いの変更(画面右上のメニュー)

4.5. ポリゴンの作成

画像内のデータを編集するためには、まずは編集箇所をポリゴンで指定する必要がある。画像の中で適当な位置から左クリックしてポリゴンのポイントをマークし、閉じる場合は右クリックを押す(図 4-6)。



図 4-6. ポリゴンの作成方法

4.6. ポリゴンの編集・削除

トップメニューの「Polygons」から、作成したポリゴンの編集や削除を実行できる(図 4-7)。編集や削除では、メニューで選んだ後、対象のポリゴンを選択する。

<u>F</u> ile	<u>P</u> olygons	<u>A</u> ctions	<u>H</u> elp)				
	<u>r</u> emov	e last poly	gon			Ctrl+	R	
	<u>u</u> ndo l	Ctrl+	υ					
	erase polygon (click on polygon to erase)				Ctrl+			
	re <u>s</u> tore last polygon				Ctrl+	A		
	toggle edit polygon (experimental)					Ctrl+	·Ε	

図 4-7. ポリゴンの編集・削除メニュー

4.7. ポリゴン領域に対する処理

トップメニューの「Actions」から、作成したポリゴン内にあるデータに対して様々な 処理を実行することができる(図 4-8)。

<u>A</u> ctions	<u>H</u> elp				
<u>n</u> yquist adjust					
<u>v</u> it adjust					
vit <u>d</u> elete					
vit <u>a</u> utoadjust					
vit di	is <u>p</u> lay	Ctrl+D			
<u>u</u> ndo	b				
		•			

図 4-8. ポリゴン内の処理メニュー

4.8. ヘルプメニュー

主要な処理には作業効率を上げるために、ショートカットが設定されている。これら はトップメニューの「Help」から確認することができる。

_			
	I/O 		
	- open file - save file - next PPI	Ctrl+O Ctrl+S Ctrl+N	
	- previous PPI	Ctrl+P	
	POINTS		
	- add point - add final point - undo last point	left-click right-click ESC, Ctrl+U	
	POLYGONS =======		
	- remove last polygon	Ctrl-R Ctrl-A	
	- erase polygon - edit polygon(experimental)	Ctrl-X (then click on polygon) Ctrl-E (then click on polygon) left-click adds point right click removes point	
	REGIONS ======		
	modify selected region using	the action menu	
	IMAGE		
	rotate left	·\'	
	rotate right	'/' Ctrl++	
	decrease size	Ctrl+-	
			ОК

図 4-9. ショートカットメニュー

3-1 (iv) マルチドップラーレーダー解析結果の可視化ツール

目次

1. 1	はじめに	1
2.	プログラムの一覧	1
3. 1	動作環境	1
3.1.	動作環境の構築	.1
3.1	.1. Windows 10	. 1
3.1	L.2. Linux(Debian 系、RedHat 系)	2
4. r	r2map の使用方法	2
4.1.	- 実行コマンド引数	.3
4.2.	色調オプション	.3
4.3.	出力サンプル	5

1. はじめに

本書は、令和2年2月から令和2年3月に実施した「マルチドップラーレーダー解析 結果の可視化ツールの作成」において開発した可視化プログラム(r2map.py)のプログ ラム説明書である。本プログラムは Python によって開発されている。

2. プログラムの一覧

プログラムのソースコード一覧を表 2-1 に示す。

表 2-1. プログラムの一覧

ソースコード	説明
r2map.py	ドップラーレーダーデータ可視化プログラム

3. 動作環境

可視化プログラム(以下、「r2map)という。)は、Python3.6.5 によって作成されている。使用者は、Python3.6 系の本体と表 3-1 に示すライブラリをインストールする必要がある。OS は Windows、Linux、Mac で動作可能である。

201. I Juli							
Python ライブラリ	バージョン	インストール方法					
numpy	1.18.1	pip					
scipy	1.4.1	pip					
matplotlib	3.2.0	pip					

表 3-1. Python ライブラリとバージョン

3.1. 動作環境の構築

3.1.1. Windows 10

Python 本家(https://www.python.org/downloads/windows/)の HP からインストー ラをダウンロードする。ダウンロードリンクは次の通り。

Note that Python 3.6.8 <i>cannot</i> be used on Windows XP or earlier.	Download Windows x86-64 executable installer			
 Download Windows help file Download Windows x86-64 embeddable zip file Download Windows x86-64 executable installer Download Windows x86-64 web-based installer Download Windows x86 embeddable zip file Download Windows x86 executable installer Pownload Windows x86 web-based installer Python 3.7.1 - Oct. 20, 2018 Note that Python 3.7.1 cannot be used on Windows XP or earlier. 	 Download Windows x86-64 web-based installer Download Windows x86 embeddable zip file Download Windows x86 executable installer Download Windows x86 web-based installer Python 3.6.9rc1 - June 18, 2019 No files for this release. Python 3.7.4rc1 - June 18, 2019 Download Windows help file Download Windows k86-64 embeddable zip file Download Windows x86-64 executable installer 			
 Download Windows help file 	 Download Windows x86-64 web-based installer 			
 Download Windows x86-64 embeddable zip file 	 Download Windows x86 embeddable zip file 			

インストーラを実行し(インストール先はどこでもよい)、Pythonの導入が完了した ら、コマンドプロンプトから以下を実行して必要なライブラリをインストールする。

pip install numpy pip install scipy pip install matplotlib

3.1.2. Linux (Debian 系、RedHat 系)

もし、使用 PC の管理者権限がありパッケージマネージャーで Python3 系をインスト ールできる場合は以下の手順は不要である。ここでは一般ユーザ権限しかなく、さらに Python3 系がシステムにインストールされていない場合の手順を説明する。

まず、Pythonの本体をインストールする。

wget https://www.python.org/ftp/python/3.6.7/Python-3.6.7.tgz tar zxvf Python-3.6.7.tgz cd Python-3.6.7/ ./configure --prefix=/home/xxx/local #xxx は自分のアカウント名 make

インストールした Python3 までの Path を通す。

vi .bashrc export PATH=\${PATH}:/home/xxx/local/bin

source .bashrc

上記まで完了できていれば、pip3 コマンドが使用できるようになっている。必要なラ イブラリを以下のように実行してインストールする。

pip install numpy pip install scipy pip install matplotlib

4. r2map の使用方法

r2map はコマンドラインから複数の引数を指定して実行する。必須引数とオプション 引数がある。必須引数には、入力データ、出力ファイル名、出力データ種類(ze または w)であり、オプション引数を指定しない場合は以下のようにして実行する。

python3 r2map.py uvw_cnt_mu2_4_mu3_4 out.png ze

4.1. 実行コマンド引数

引数には、次の種類がある。

必須引数

第一引数:入力するドップラーレーダーデータ。第二引数:出力する図のファイル名。第三引数:出力する種類。w(鉛直流)またはze(反射強度)。

<u>オプション引数</u>

引数	説明	指定型	デフォルト
-lev	高度番号(最下層は1)	整数	1
-xs	水平 X 軸方向のインデックス開始番号	整数	0
-xe	水平X軸方向のインデックス終端番号	整数	データの最大値
-ys	Y軸方向のインデックス開始番号	整数	0
-ye	Y軸方向のインデックス終端番号	整数	データの最大値
-th	閾値(この値以下は no data)	実数	-999
-vw	風の矢印の太さ	実数	0.002
-vl	風の矢印の長さ	実数	200
-vint	風の矢印の間引きする格子間	整数	1
-cbar	色調の文字列	文字列	rainbow

オプション引数は順不同で指定可能である。指定する数値または文字列はオプション 引数の後に続いて指定する。

例)高度を10、閾値を10以下に指定する場合

python	r2map.py	uvw cnt m	u2 4 mu3 4	out.png	ze	-lev	10	-th	10
0,011011	1 = 11 (() () ()	on	- <u>-</u>			101	- 0		

4.2. 色調オプション

色調オプションでは、文字列を指定する(デフォルト rainbow)。指定できる文字列 は次を参照。

・matplotlib における指定可能なカラーマップリスト

https://matplotlib.org/examples/color/colormaps_reference.html

カラーマップの例を次に示す。




Sequential colormaps

Greys			
Purples			
Blues			
Greens			
Oranges			
Reds			
YlOrBr			
YlOrRd			
OrRd			
PuRd			
RdPu			
BuPu			
GnBu			
PuBu			
YlGnBu			
PuBuGn			
BuGn			
YlGn			









4.3. 出力サンプル

例) ZE、高度 3、風速間引き 2、カラーマップ gist_rainbow_r

python r2map.py uvw_cnt_mu2_4_mu3_4 out.png ze -lev 3 -vint 2 -cbar gist_rainbow_r



例)ZE、高度3、閾値20dBZ、風速間引き2





例)W、高度5、X開始位置10、X終端位置50、Y開始位置10、Y終端位置50、風
 速太さ0.003、風速長さ150



 例)W、高度 5、X 開始位置 10、X 終端位置 50、Y 開始位置 10、Y 終端位置 50、風 速太さ 0.003、風速長さ 150、カラーマップ jet



3-2 デュアル・フェーズドアレイレーダー解析による対流雲の時間発展の解 析、マルチドップラーレーダー解析による台風に伴う強風と局地的大雨の解 析、複雑地形上での反射強度の新しい解析方法の提案

山田芳則

a. 対流活動が比較的活発な事例

2019 年 8 月 29 日に大阪湾上に出現した、対流活動がやや活発な降水内の 3 次元構造の 時間発展をデュアル・フェーズドアレイレーダー解析によって明らかにした. 解析で用いた 空間解像度は、水平(鉛直)方向に 0.5 km, 0.3 km とし、最低の解析高度は神戸レーダー 上空 0.3 km とした. 神戸(吹田)レーダーの標高は、0.106 (0.119) km である. また、解 析で用いた Cartesian 座標系は、神戸レーダーを原点として、x (y)軸は、東西(南北)方向, z 軸は鉛直上方にとった. 解析は地上に固定した座標系で行った. また、3 次元走査に要す る時間が 30 秒と非常に短いので、系の移動補正は必要ないと考えて行っていない.

雲内の上昇流と下降流のコア内の平均鉛直流を各高度に算出して、30 秒ごとの時間発展 を解析した.平均値は、上昇流と下降流ともに、絶対値が最も大きい値から5番目までの値 の単純平均を用いた.雲内の鉛直流の時間変化は大きく、また上昇流と下降流では大きさが およそ 15-20 m s⁻¹の値が解析されている.このような強い下降流の発生メカニズムは未 解明である.仮にこの事例のような強い下降流が雲内に存在する場合、降水粒子は落下速度 よりも大きな速さで地表に到達することになる.

30 秒間隔で解析された反射強度と気流の構造から、比較的強い反射強度(降水のコアと 見なせる)は雲の上部や中層で形成され、落下速度が上昇流よりも大きくなると地表に落下 している様子が明らかである.反射強度の強まりや下方への落下と鉛直流とは非常によく 整合しており、気流構造が良好に解析されていることを示唆する.つまり、反射強度が大き くなると上昇流が次第に弱まり、反射強度の大きな領域が地表に到達するようになると、そ こでは上昇流から下降流に変化している.雲の上部だけでなく、雲の中層付近でも降水コア が形成されている様子が、反射強度の大きな丸い領域の形成からも推察できる.このような 降水コアは、雲と周囲の気流との相互作用で形成されていると考えられる.このような解析 から、降水コアは必ずしも雲の上部で形成されているとは限らないことがわかった.

b. 対流活動が比較的弱い事例

2019 年 7 月 10 日に大阪湾上に出現した、対流活動が比較的弱い降水システムについて デュアル・フェーズドアレイレーダー解析を行った.解析で用いた座標系は前述の a. の事 例と同じである.

対流活動が活発であった事例における、大きさが 15 m s⁻¹ にも達するような鉛直流と比 較すると、この事例での鉛直流の大きさは総じてたかだか数 m s⁻¹ と弱い. つまり、鉛直流 (特に上昇流)の大きさは、対流活動の活発さを示す一つの指標と考えられる. 海岸に近い海上や陸上付近では、比較的強い上昇流が形成されている.このような上昇流 は、海面と陸面との粗度の違いによるものと考えられる.

c. 2018年台風 21 号による関西地方の風の解析

2018 年 9 月 4 日、台風 21 号によって関西地方では強風や大雨によって大きな被害が発 生した. この時の風の場を、関西地方で現業運用されている 5 台のドップラーレーダーを 組み合わせて quintuple-Doppler 解析を行った. 用いたレーダーは、C-バンドの空港レー ダー (伊丹と関西空港)、X バンド MP レーダー (六甲、葛城、田口) である. 観測時刻の 差が 3 分以内のデータを用いて風解析を行った. 水平解像度は 0.5 km, 鉛直解像度は 0.4 km で、最低の解析高度は関西レーダー上空の 0.4 km と設定した. この解析では、それぞ れのレーダーの 1 回の 3 次元走査に要する時間は数分と長いので、系の移動補正を行って いる (Yamada 2013).

解析された水平風の場から、50 m s⁻¹ に達するような強い風が大阪平野の下層で吹いて いたことがわかる.実際、アメダスの風の分布をみても、大阪平野の南部で強い風となって いた.このような強風がもたらされた原因は、鉛直断面内の気流から推察できる.和泉山脈 を越えた気流が下降流となって、上空の大きな運動量を地表面付近に輸送している様子が うかがえる.

この台風の影響で、神戸市で大雨となり洪水が発生している.実際、AMeDAS でも神戸 市において1時間降水量が59 mm にもなっている.降水量は神戸と西宮で特に多く、局 地的な大雨であったことがわかる.この局地的大雨をもたらした原因は、台風に伴う下層の 気流と六甲山との相互作用である.六甲山の風上側の海岸付近で強い水平収束が生じてい る.この下層収束が六甲山の風上側で強い対流雲が発生させ、雲内では約20 m s⁻¹の大き な上昇流が解析されている.このような強い上昇流によって神戸では局地的大雨が発生し たと考えられる.

d. デュアル・フェーズドアレイレーダー解析と数値モデルによる鉛直流の相互比較

大気中の鉛直流は、大気中で発生する大気現象に対して支配的な役割を担っていると考 えられる.しかし、大気中での鉛直流の実態は十分に明らかにされていない.この原因の一 つには、大気中の鉛直流を様々な空間スケールで「直接」観測することが非常に困難である という背景がある.一方、数値モデルでも鉛直流は計算されているとはいえ、モデル内の鉛 直流の妥当性を判断することは難しい.

今回は、上述 b. で示した事例(対流活動が比較的弱い降水雲)について、デュアル・フ ェーズドアレイレーダー解析と同じ水平解像度の数値モデル結果を用いて、鉛直流の相対 的な出現頻度や大きさを比較した.数値モデルによる現象の再現性が良好であったためで ある.数値モデル実験は、気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)を用いて、大阪湾を中心と する領域で水平解像度 5 km モデルの実行後に 2 km 解像度モデルを実行し、最終的に水 平解像度 0.5 km モデルを走らせた. 5 km モデルの初期値は 2019 年 7 月 10 日 00UTC, 2 km モデルの初期値は同日 03UTC, 0.5 km モデルの初期値は同日 08UTC とした. 0.5 km モデルの領域の広さは 600 km x 600 km, 鉛直層数は 60 とした.

デュアル・フェーズドアレイレーダー解析での高度とモデル面の高度とは一般に一致していないので、レーダー解析からの鉛直流は、その高度と最も近いモデル面上の鉛直流と比較した.相互比較では、海面上のデータだけを用いた.また、モデルでは降水の混合比 5 x 10⁻⁵ kg kg⁻¹ 以上の格子点の値を用いた.

各高度での鉛直流の相対的な出現分布と最大・最小値は、いずれもレーダーとモデルとで 同様であった.したがって、この事例に関しては、鉛直流は降水システム内妥当な値見積も りではないかと考えられる.

対流活動が活発で大きな鉛直流が存在すると考えられる事例についても、レーダーとモ デルとの相互比較が必要である.ただし、このような比較を行うことができるのは、モデル による現象の再現性が高い場合である.2019 年 8 月 29 日の事例(上述の a.)では、降水シ ステムがモデルで適切に再現できなかったため、今回のような相互比較を行うことができ なかった.鉛直流の妥当性を調べるためには、レーダーとモデルとの相互比較の事例解析を 積み重ねていくことが必要であろう.

e. 複雑地形上での反射強度の新しい解析方法の提案:新しい "CAPPI"

現状では、3 次元走査の反射強度は、一定の高度面上での値に変換されて用いられるこ とがほとんどである. たとえば、気象庁が作成している解析雨量も等高度面上(高度 2km) での反射強度を利用している. この解析方法は、山地を含むような複雑な地表面上では問題 がある. 高度が一定であるために、平坦な地表面と山地上とでは、反射強度の持つ意味が異 なってくるためである. 平地上では、たとえば高度 2km での反射強度は地表からは遠い 上空にあり、これに対して標高がたとえば 1.5km の山地上では、地表から高度 0.5km 上 空の反射強度になる. つまり、この場合には山地での反射強度は地表面での降水強度と近い 値であり、平地での反射強度は地表までに落下する間に降水粒子の成長や蒸発などによっ て大きく変化する場合があるので山地上の反射強度と直接比較することには難があると考 える. このため、地形に沿った(数値モデルでのの面と同様)面上での反射強度を計算でき る手法を新規に開発した. 3-2 デュアル・フェーズドアレイレーダー解析による対流雲の時間発展の解析 a. 対流活動が比較的活発な事例



































	まとめ	
•	Dual-PAWR 解析によって30秒の高時間解像度で対流雲内の器量構造の時間 発展を解析した。	
•	鉛直流の時間変化は大きい	
	 上昇流や下降流の時間変化は速い(時間解像度は少なくとも1分以下が 理想的) 	ř
•	強い上昇流をもつセル内には強い下降流が存在した	
•	降水粒子の成長を示唆する雲内の反射強度(降水強度)と鉛直流の時間変 化とは、非常によく整合している。	
•	気流と雲との相互作用によって、中層において繰り返して降水粒子が成長 する様子が解析された。	
	• 降水コアは、常に雲の上部で形成されるとは限らない	
•	雲の上部で降水コアが形成される場合もある	
	謝辞:本研究は、科研費「最先端解析手法を用いた多様な地表面上でのシビア現 象発生機構の解明と予測(基盤研究 A: JSPS 19H00815):研究代表者 山田芳則」 の支援を受けて実施しています。	
		19

3-2 デュアル・フェーズドアレイレーダー解析による対流雲の時間発展の解析 b. 対流活動が比較的弱い事例





















3-2 マルチドップラーレーダー解析による台風に伴う強風と局地的大雨の解析 c. 2018年台風21号による関西地方の強風と局地的大雨の解析







	Band	Elevations (deg.)	Number of PPIs in 3D-scan	Extended Nyquist Vel. (m/s)	Azimuthal resolution (deg.)	Max. Range (km)	Altitude (m)
Kansai	С	0.7 - 17	11	58.20	0.7	120	41
				(elv < 10 deg.)			
				76.40			
				(elv > 10 deg.)			
Itami	С	0.7 - 49.5	14	47.61	0.7	120	51
Tanokuchi	Х	0.8 - 15	12	55.55	1.2	80	96
Rokko	Х	0.0 - 15	12	55.12	1.2	80	903
Katsuragi	Х	0.0 - 15	12	55.40	1.2	80	874
Katsulagi	Rac Eac	lial resol	ution (co repeats 3	ommon to all D-scanning a	radars)	: 150 r al min	n ute.

伊丹レーダーを除くレーダーでは、走査仰角の最大が 20°以下と低いので、高い高度までは風は解析できない。

各レーダーの Extended Nyquist Velocity

	最大走查仰角	Extended Nyquist	仰角	標高
	(度)	Vel. (m/s)	(度)	(m)
関西空港	17.0	58.20	< 10	41
		76.40	> 10	
伊丹空港	49.5	47.61		51
田口	15.0	<mark>55.55</mark>		96
六甲	15.0	55.12		903
葛城	15.0	55.40		874

ほとんどのレーダーデータでは、Extended Nyquist Velocity を越えるような強風のために、Extended Nyquist Aliasing が生じている。

精度良い**3**次元風解析のためには、このような速度データやエラーの補正、及び質の悪いデータの除去が是非とも必要。

58

































3-2 デュアル・フェーズドアレイレーダー解析による対流雲の時間発展の解析 d. デュアル・フェーズドアレイレーダー解析と数値モデルによる鉛直流の相互比較

> 日本気象学会2021年度秋季大会:ポスター 講演番号:OB-28 セッション番号(オンラインポスター):P2A 2021年12月3日 09:30 - 11:30

Dual-PAWR解析と数値モデル結果に 基づく鉛直流の相互比較

山田 芳則 (叡啓大学)

1

1. はじめに

大気中の鉛直流は擾乱の発達や構造などに重要な役 割を果たしているとはいえ、上昇流や下降流の「真 の大きさ」を知ることは現時点でも非常に困難なこ とである。

本講演では、対流活動が比較的穏やかな降水システムについて、dual-PAWR(デュアル・フェーズドアレイレーダー)解析と高解像度の数値モデルの結果に基づいて、鉛直流の大きさを相互比較した結果を紹介する。






























- 9. まとめ
- Dual-PAWR 解析と同じ水平解像度の数値モデルによる鉛直流を比較した。
- 対象:対流活動が比較的穏やかな降水雲

結果

- 全く異なる手法ではあっても、鉛直流の大きさや出現頻度分布は、ほぼ 同様であった。
- モデルのほうが、やや大きい上昇流が存在していた

今後の課題

- 他の予報時間における同様の解析
- 対流活動が活発な事例についての解析(可能かどうかは、モデルの再現 性に依存する)

謝辞:本研究は、科研費「最先端解析手法を用いた多様な地表面上でのシビア現 象発生機構の解明と予測(基盤研究 A: JSPS 19H00815):研究代表者 山田芳則」 の支援を受けて実施しています。









3-3 シビア現象をもたらす積乱雲の内部構造の特徴(Hayashi et al. 2021)林 修吾

1. はじめに

シビア現象の早期の探知や発生予測に繋げるために、雷を伴う積乱雲の内部構造をレー ダー観測により詳細に調査し、その特徴を把握した.

ここでは、成田空港に2017年に導入された気象庁二重偏波空港気象ドップラーレーダー (NRT-DP-DRAW)による積乱雲の観測および気象庁雷センサーネットワーク(LIDEN) による雷観測を用いて、雷雲が持つ特徴をレーダー観測で把握することを目的とする.二重 偏波レーダー観測情報を用いて雷雲内の降水粒子分布の特性を把握することは、雷等のシ ビア現象の直前予測に利用可能な新たな知見を提供し、航空機を含む交通機関の被害の低 減に資することが期待される.

2. データと手法

空港周辺のシビア現象監視のために導入された NRT-DP-DRAW は二重偏波観測機能を 持ち, 5.3GHz の C 帯を使用し, 探知距離 120km, レンジ方向の分解能 150m, ビーム幅 0.7 度, ボリュームスキャンは5分である. 本研究では, 5分ごとのボリュームスキャンの うち, 天頂観測および重複する最低仰角観測を除く 11ppi スキャンデータを使用した. また 雷活動を監視するシステムとして, 気象庁は LIDEN を運用しており, 全国の対地放電(CG) や雲放電(IC)の位置を検出できる.CG または IC の位置誤差は、いずれも数キロメート ルである.本研究の対象とした関東平野は,夏期に日本で最も活発な雷活動の地域であるこ とが知られている(Ishii et al. 2014). 図1のNRT-DP-DRAWの観測範囲内において、CG を伴う孤立積乱雲が発生から衰弱まで全期間を観測された事例を手動で選択した、範囲外 から移動してくる積乱雲と,発達中に範囲外に流出する積乱雲は対象外である. 2017 年お よび 2018 年の夏季において、10 事例が選択された. この 10 事例は孤立した熱雷または小 規模な上空トラフの通過に伴う熱的界雷であった.総観規模の前線や台風に伴うような広 領域で移動する雷活動は含まれていない.積乱雲の発生から衰弱までの追跡は手動で行い, 周辺の他の積乱雲とは明確に分離し解析の対象とした.5分ごとの二重偏波レーダー観測デ ータにより、合計 351 ボリュームスキャンデータを使用した(表 1). それぞれの積乱雲の その寿命における合計雷放電数は事例によって大きく異なり 35~1536 [flash]と広く分布 した. 最大 flash rate は 5 [5min⁻¹] から 190 [5min⁻¹] と広く分布した. 近接した時刻の館 野のゾンデ観測による CAPE の大きさと CG 数はリンクしていない.LFC と EL も事例に よって大きく異なる. LCL は 860h~960Pa の範囲内にあり, 下層が wet で低い雲底をもつ ことが共通している.



図 1. NRT-DP-DRAW の観測範囲と館野のゾンデ観測点

表1. 選択された10事例のまとめ.

対象期間,レーダーボリュームスキャン数,CG,CG+(正極性落雷),IC, 正極性落雷割合,最大CG頻度,館野ゾンデ観測によるCAPE,LCL,LFC,EL

Case	Date	stara time	end time	number of scans	CG	CG+	IC	Positive CG ratio [%]	Max. CG Rate [/ 5 min.]	CAPE [J/kg]	LCL[hPa]	LFC[hPa]	EL[hPa]
1	2017-08-18	1400	1640	33	40	7	110	18	8	1016	957	872	205
2	2017-08-22	0830	1100	31	1427	169	3537	12	190	546	950	657	224
3	2017-09-25	0830	1320	59	1316	134	3878	10	52	183	922	792	340
4	2018-07-11	1040	1640	73	1536	99	3306	6	57	31	915	703	386
5	2018-07-22	1400	1530	19	120	37	149	31	. 32	1250	875	793	141
6	2018-08-03	0900	1100	25	169	16	399	9	27	-	866	-	-
7	2018-08-10	0545	0720	20	41	2	55	5	7	678	916	785	184
8	2018-08-11	0440	0700	29	105	46	832	44	34	42	917	561	311
9	2018-08-26	0900	1020	17	155	6	163	4	- 25	490	895	672	231
10	2018-09-17	0840	1220	45	125	19	812	15	14	-	919	-	-
Sum.				351	5034	535	13241						

3. 結果

Case3 におけるレーダーアメダス解析雨量(JMA-RA)および CG 放電位置をプロットし たものを示す(図 2a). このマルチセルストームは領域の北側で 0830UTC に発生し, 南側 に進展し, 1320UTC に消滅した. 最大サイズは東西 50km, 南北 70km であった. JMA-RA によるこの5時間の最大積算降水量は89mmであった。地上雨量計による1時間最大降水 量は 46 mm hour¹を記録し,激しい降水を伴う積乱雲であった.期間内の合計 CG 数は 1316, IC 数は 3878, 両社の合計(TTL)は 5194 であり, これらは本研究の 10 cases 中で 最大値であった.この積乱雲について,NRT-DP-DRAWの二重偏波観測に気象庁で開発中 の粒子判別手法(HCA)を適用し、得られた粒子種別のうち35dBZを超える固体(氷)粒 子体積と判定された体積(V35IC)を 500m 高度分解能で分布を示した(図 2b).また CG, IC, CGp の 5 分毎の放電頻度の時間変化を線で表示した. 加えて, 図 2b には, 0000UTC の館野ゾンデ観測から得られた気温を10度毎に0度から-30度までプロットしている.こ の解析によると、CG と IC は同時に開始し、終了は IC が 15 分遅かった. CG 開始と同時 に、0Cより低温域に各高度で 50km³を超える V35IC 領域が出現し、0900 から 1200UTC の成熟期には高度 3.5km~8km に広く分布していた. この高度は雷発生の着氷電荷分離理 論で重要とされている 0 度から-30 度高度と一致しており、この領域に大量に graupel or hail 領域が存在することは雷活動が活発なことと整合的である. 1140UTC の IC ピークか ら 1300UTC にかけて IC,CG の放電頻度がともに低下した. 同時に V35IC の存在上端高度 は 10km から 7km に低下し GHV の値も減少していた. V35IC の 20km³の上端高度はより 明確に高度 8km から 4km まで低下していた.この結果から,GHV の減少と雷活動の減少 が同期していることが示唆される.CGp は V35IC がもっとも高くまで存在した 1000UTC から 1050UTC の期間に多く観測されたが、それ以外の期間ではほとんど観測されなかっ た. この時系列データを用いて, 放電種別に5分ごとの放電頻度と V35IC の散布図および 線形回帰式をプロットした(図2 cdef). V35IC はCG との相関が高く(correlation coefficient, r=0.82), 次いで TTL (r=0.74), IC(r=0.70)と低下した. CGp は最も相関が低く(r=0.47) 関係が明瞭ではなかった. CGp を除く放電種別では、よく似た散布図を示し、体積指数が 大きな値の領域ほど雷放電頻度のばらつきが大きい.



図 2. Case3 の(a)積算雨量と雷放電位置,(b) 粒子判別により固体粒子領域とされた 35dBZ を超える領域の体積(V35IC)の時間高度変化と雷放電頻度,(c)CG と V35IC の散布図,(d)IC と V35IC,(e)CG+と V35IC,(f)TTL と V35IC

前述の方法同様に、10 事例 351 ボリュームスキャンデータすべてを用いて相関係数を算 出した(図3). ここでは先行研究を参考に以下の指標を使用した. Deierling and Petersen (2008)で指摘されている graupel volume (GV) を使用した. hail, graupel と hail 合計の体 積(GHV), すべての ice volume (ALICV, including cloud ice, snow, graupel and hail)を使用 した. さらに、Carey and Rutledge (2000) に基づき反射強度から ice mass に換算し、ALICV の ice mass (ALICMS), graupel と hail の和の mass (GHMS) を求めた. また雷指標とし て先行研究で利用されている凍結高度より上層の 35dBZ, 40dBZ を指標とする体積(それ ぞれ、V35F、V40F)も求めた. 雷雲内の電荷生成の着氷電荷理論には氷の存在が強く影響 することから、ice (including cloud ice, snow, graupel and hail) に分類された 35dBZ およ び 40dBZ の体積(V35IC, V40IC)も使用した. これら複数の指標を雷放電頻度と比較し、 有用性を検証した.

粒子種別体積では、どの放電種別に対しても、graupel volume と GHV (Graupel or Hail Volume)が最も高い相関を示す. ここでは示されていないが, そのほかの粒子種別毎の単 独の体積と各放電種別との相関係数は、GHV を下回っていた.反射強度を加味した指標で は、粒子種別が固体(氷)粒子カテゴリであることも使用した V35IC、V40IC が、0℃高度 を超える領域だけを考慮した V35F, V40F よりも高い相関を示している. Liu et al. (2015) および Basarab et al. (2015) は mixed-phased volume of radar reflectivity greater than 35 dBZ (VOL35)を導入し、VOL35と TTL 頻度の間に高い相関がえられることを示した.か れらの手法と比較すると,本研究では mixed phase の固体粒子体積を求める際に,HCA を 利用して 0 度より低温域に存在する雨滴と雲粒を除去している. その結果, 温度だけを考 慮した反射強度体積よりも良い相関が得られていることから、着氷電荷理論に関与しない 雨滴と雲粒を除去することが雷放電との関係に重要である可能性を示唆している. ALICMS は ALICV よりも高い相関を示している.氷粒子と判定されたグリッドの反射強度には広い 幅があるため,これに反射強度を用いて質量に換算することで,より反射強度の強い体積の 存在が強調され、雷放電との相関が高まったと考えられる. Basarab et al. (2015) は、 precipitating ice mass (PIM) が雷放電頻度と高い相関を持つことを示しており、本研究の 結果と似た結果が得られている.一方で,GHMS は GHV よりわずかに相関が悪かった理 由は, graupel or hail グリッドは強い反射強度しか持たないため反射強度の差の影響は小さ く,質量換算の不確実性がより強く現れたのかもしれない.



図 3. 全 351 ボリュームスキャンから算出した各体積指標と雷放電頻度の相関係数

図3で示された相関係数の高かった GHV, V35IC, ALIMS について, 全351 ボリューム スキャンデータと全放電種別の雷放電頻度との関係を詳細に調査した(図4,表3). GHV は, CG で NRMSE が9.4%, IC, TTL の NRMSE は8.5%と小さい.線形回帰式の傾 きは CGp が 0.0076 と最も小さく, TTL が 0.27 と最も大きかった(表3). Basarab et al. (2015) は Graupel Echo Volume (GEV, similar to GHV) と LMA による flash rate (similar to TTL) の関係を調査し,線形回帰の傾きが 0.070, NRMSE が 13.6%であることを示し た.彼らは毎分の flash rate を対象としているため,本研究と同じく5分単位とすると回帰 式の傾きは 0.35 となり,本研究の 0.27 と近い値であった. Carey et al. (2019) による graupel volume (GV)と LMA flash rate (min-1) の回帰式の傾きは 0.055 であり, これは 5 倍する と本研究とほぼ同じであった.彼らの研究の NRMSE は 13.1%であった.本研究の TTL に 対する GHV の NRMSE は, Basarab et al. (2015) および Carey et al. (2019) より小さな値 を示した.

V35IC はどの雷種別でも GHV よりも高い相関を示している. 線形回帰の傾きは CG に 対して 0.066, IC に対して 0.18, CGp に対して 0.0071, TTL に対して 0.25 と, どの雷放 電種別に対しても, GHV のそれらに比べてわずかに小さい. V35IC の NRMSE はいずれ の flash type でも, GHV や ALICMS より小さく, 最小である. Basarab et al. (2015) の VOL35 は線形回帰の傾きは 0.072 で NRMSE は 12.4%である. 彼らの結果と同じ単位で TTL を比べると, 線形回帰の傾きはより小さく, NRMSE はより良い値である. ALICMS の線形相関係数は GHV と V35IC の間の値を示している. ALICMS の NRMSE も, GHV と V35IC の間の値である.



150

CG [/5min] 001

50

0

0.0E+00

1.0E+09

2.0E+09

Ice mass [kg]

3.0E+09



図 4. 全 351 ボリュームスキャンの (a)CG と GHV, (b)CG と V35IC, (c)CG と ALICMS の散布図と回帰式

	GHV	Correlation coefficient	RMSE [flash / 5min]	NRMSE [%]	
CG	0.068 x GHV - 0.53	0.67	17.8	9.4	
IC	0.20 x GHV - 6.05	0.65	54.2	8.5	
CGp	0.0076 x GHV - 0.14	0.50	3.0	10.1	
TTL	0.27 x GHV - 6.58	0.67	70.1	8.5	
	V35IC	Correlation	RMSE	NRMSE [%]	
		coefficient	[flash / 5min]		
CG	0.066 x V35IC - 2.66	0.75	15.8	8.3	
IC	0.18 x V35IC- 9.61	0.69	51.6	8.1	
CGp	0.0071 x V35IC - 0.31	0.55	2.9	9.8	
TTL	0.25 x V35IC - 12.26	0.72 65.5		7.9	
	4110140	Correlation	RMSE	NRMSE [%]	
	ALICMS	coefficient	[flash / 5min]		
CG	2.22 x 10^-8 x ALICMS - 3.22	0.72	16.6	8.7	
IC	6.08 x 10^-8 x ALICMS - 10.39	0.65	54.1	8.5	
CGp	0.23 x 10^-8 x ALICMS - 0.32	0.51	3.0	10.1	
TTL	8.29 x 10^-8 x ALICMS - 13.62	0.68	68.9	8.3	

表 3.	各指数の雷放電種別毎の線形回帰式.	相関係数.	RMSE
1, 0.			14.101

4.0E+09

以上の結果から,GHV は先行研究同様の結果を示す.V35IC は最も高い相関,GHV よ り小さな NRMSE を示す.ALICMS は両者の中間の結果を示す.Carey et al. (2019) は graupel volume が best だと述べ,Basarab et al. (2015) VOL35 が best だと述べた.本研究 では,VOL35 に似ているが,HCA を適用し ice, snow, graupel, hail を含みつつ,rain と cloud water を除外した V35IC が best であった.この結果は,着氷電荷理論に関与しない 雨滴と雲粒を除去することが雷放電と雲内粒子分布の関係により重要である可能性を示唆 している.

最後に、本研究で提案した各指標について nowcast への利用可能性を調査した. 高い相関 を示した GHV,V35IC,ALICMS について、5 分ごとに 0 分から 30 分前までの time-lag 相関 を計算した(図 5).

GHV は 15 分まで急速に相関係数が低下する.特に IC と TTL は CG よりも低下が明瞭 である. V35IC に対する CG は GHV よりも相関係数の低下が緩やかである.V35IC に対 する IC と TTL は,GHV 同様に 15 分までの相関係数の低下が速い.ALICMS はどの雷種 別に対しても相関係数の低下が緩やかである.TTL が指標として CG よりも先行しスキル が高いという研究 (e.g.,Goodman et al. 1988,Schultz et al. 2011) に反して,本研究では TTL は CG より相関係数が低く,CG と同様に時間経過とともに相関係数が低下している. 事例および地域性の違いが影響しているかもしれない.GHV の増減は積乱雲内で変動の大 きいコア領域の上昇流の増減に関係しているが (e.g., Tessendorf et al. 2005,Lerach et al. 2010,Barnes and Houze,2014),ALICMS は graupel と hail だけでなく積乱雲全体の上昇 流で生成される snow や ice が含まれており,より timescale が長いため time-lag 相関が良 い時間が長くなっているのかもしれない.この仮説の検証には、上昇流と HCA を併せて解 析する必要があり、今後の課題である.この結果は V35IC や ALICMS の nowcast への利用 可能性に期待を示すものである.



図 5. 5 分ごとに 0 分から 30 分前までの time-lag 相関. それぞれ, (a)GHV, (b)V35IC, (c)ALICMS を示す.

4. まとめ

NRT-DP-DRAW に HCA を適用した粒子種別情報と, LIDEN による雷放電種別毎の放 電頻度との関係を調査した.10事例を対象として、5分ごとのボリュームスキャン観測351 データおよび放電頻度(5min⁻¹)を使用した. 選択された 10 事例は, 日本の関東平野の夏季 にその発生から衰弱まで、レーダーの探知範囲内で観測された孤立積乱雲である. これらの 孤立積乱雲は周囲のレーダーエコーや雷活動とは明確に分離されており、その一生が追跡 された.このデータセットに対して、先行研究を参考に、放電頻度に関係したさまざまなレ ーダー体積指標を評価した. GHV は, Carley et al. (2019)の GV と同様に高い相関を示し たが、best ではなかった.本研究では、V35IC が最も高い相関をしめし、NRMSE も最小で あった. V35IC は粒子種別を考慮しない V35F よりも高い相関を示した. V35IC は, Liu et al. (2012) および Basarab et al. (2015)で使用された VOL35 と似ているが,HCA の結果を 用いて 0 度より低温域に存在する雨滴と雲粒を除去していることが異なる. その結果, 温 度だけを考慮した反射強度体積 VOL35 よりも良い相関が得られていることから, 着氷電荷 理論に関与しない雨滴と雲粒を除去することが雷放電との関係に重要である可能性を示唆 している. ALICMS は二番目に高い相関を示した. これは Basarab et al. (2015)において PIM が VOL35 に次いで高い相関を示したことと同様である. GHV と V35IC の flash rate に対する傾き係数は, Basarab et al. (2015)および Carley et al. (2019)と同等な値が得られて おり, 地域の違いなく陸上では普遍的な値であるかもしれない. 最後に nowcast 指標として の可能性を調査するために時系列で time-lag 相関をとると、GHV は 15 分まで急速に相関 係数が低下する一方で、V35IC や ALICMS は時間による相関の低下が緩やかであり、予測 指標として適切であった.両者の snow や ice が含まれる指標の検証には、積乱雲全体の上 昇気流と粒子生成を併せて解析する必要があり、今後の課題である.

参考文献

- Basarab, B. M., S. A. Rutledge, and B. R. Fuchs, 2015: An improved lightning flash rate parameterization developed from Colorado DC3 thunderstorm data for use in cloudresolving chemical transport models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120, 9481-9499, https://doi.org/10.1002/2015JD023470
- Barnes, H. C., and R. A. Houze, 2014: Precipitation hydrometeor type relative to the mesoscale airflow in mature oceanic deep convection of the Madden–Julian Oscillation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **119**, 13990-14014, https://doi.org/10.1002/2014JD022241
- Carey, L. D., and S. A. Rutledge, 2000: The relationship between precipitation and lightning in tropical island convection: a c-band polarimetric radar study. *Monthly Weather Review*,

- Carey, L. D., E. V. Schultz, C. J. Schultz, W. Deierling, W. A. Petersen, A. L. Bain, and K. E. Pickering, 2019: An evaluation of relationships between radar-inferred kinematic and microphysical parameters and lightning flash rates in Alabama storms. *Atmosphere*, 10, 796, https://doi.org/10.3390/atmos10120796
- Deierling, W., and W. A. Petersen, 2008: Total lightning activity as an indicator of updraft characteristics. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **113**, D16210, https://doi.org/10.1029/2007JD009598
- Goodman, S. J., D. E. Buechler, P. D. Wright, and W. D. Rust, 1988: Lightning and precipitation history of a microburst-producing storm. *Geophysical Research Letters*, **15**, 1185-1188, https://doi.org/10.1029/GL015i011p01185
- Hayashi, S., A. Umehara, N. Nagumo, and T. Ushio, 2021: The relationship between lightning flash rate and ice-related volume derived from dual-polarization radar. Atmospheric Research. 248, 105166, https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105166
- Ishii, K., S. Hayashi, and F. Fujibe, 2014: Statistical analysis of temporal and spatial distributions of cloud-to-ground lightning in Japan from 2002 to 2008. *Journal of Atmospheric Electricity*, 34, 79-86, https://doi.org/10.1541/jae.34.79
- Lerach, D. G., S. A. Rutledge, C. R. Williams, and R. Cifelli, 2010: Vertical structure of convective systems during NAME 2004. *Monthly Weather Review*, 138, 1695-1714, https://doi.org/10.1175/2009MWR3053.1
- Liu, C., D. J. Cecil, E. J. Zipser, K. Kronfeld, and R. Robertson, 2012: Relationships between lightning flash rates and radar reflectivity vertical structures in thunderstorms over the tropics and subtropics. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **117**, D06212, https://doi.org/10.1029/2011JD017123
- Schultz, C. J., W. A. Petersen, and L. D. Carey, 2011: Lightning and severe weather: a comparison between total and cloud-to-ground lightning trends. *Weather and Forecasting*, 26, 744-755, https://doi.org/10.1175/WAF-D-10-05026.1
- Tessendorf, S. A., L. J. Miller, K. C. Wiens, and S. A. Rutledge, 2005: The 29 June 2000 supercell observed during STEPS. Part I: kinematics and microphysics. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 62, 4127-4150, https://doi.org/10.1175/JAS3585.1

3-4 高解像度数値実験による短時間降水量の再現性

林 修吾

1. はじめに

サブ km の数値モデルによる大きな被害をもたらした極端豪雨の再現実験をおこない, モ デルや解像度による大雨の再現性について検証を行った.

2. データと手法

用いたモデルは現業用メソスケール数値予報モデルとして使用されている asuca(気象庁, 2014)および以前から研究用途で広く使用されている NHM(Saito et al. 2006)である. NHM と asuca それぞれについて 2km, 1km, 500m, 250m の解像度で再現実験を実施した. 対象とした期間は,西日本を中心に多くの雨をもたらした「令和 2 年 7 月豪雨」を対象として 2020 年 7 月 2 日から 9 日の九州地方の再現実験を行った. 図 1 にその計算領域を示す.水平解像度 2km と 1km の実験では,初期値境界値に気象庁メソ解析を使用し,06UTC および 18UTC 初期値の 18 時間積分を 14 回実施し,それぞれの後半 12 時間を解析対象時刻とする. 500m 以下の解像度実験では,NHM-1km の FT3hr を初期値,FT4-18hr を境界値 として与え,15 時間積分を行い,後半 12 時間(x 14 回=168 時間)を解析対象時刻とした.



図 1. (左図)水平解像度 2km および 1km の計算領域, (右図)水平解像度 500m および 250m の計算領域, 左図の青枠に同じ. 赤枠は解析対象領域を示す.

3. 結果

水平解像度 2km および 1km の再現実験の積算降水量と同期間のレーダーアメダス解析 雨量を図 2 に示す.いずれのモデルの結果も九州の大雨を再現しており,積算雨量分布は モデルと観測の違いは明瞭ではない.特に被害が大きく発生した熊本付近(球磨川流域)の 800mm を超える大雨の領域は NHM1km が観測の分布に近く,ほかのモデルでは 800mm を超える領域が観測よりも広がりすぎている.四国・紀伊半島の地形に影響されたと思われ る大雨の領域はいずれのモデルもよく再現している.

図3にNHM1kmを親モデルとしてネスティングした500m,250m 解像度のモデルの期間総降水量を示す.ここでも図2同様に各モデル間および解像度間の違いは小さいが,親 モデルNHM1kmより,総降水量800mmの領域は広がっており,実況よりもやや過剰な降 水を再現している.降水分布は親モデルNHM1kmとほぼ同様であり,積算降水量分布には 高解像度化の影響は小さい.

図4に本実験の対解析雨量1時間・1km 格子でのスレットスコアと1時間降水強度の出 現頻度分布を示す.スレットスコアでは NHM1km は NHM2km から大きく改善しており, どの雨量強度でもスコアが上回っている.500m,250m 解像度の結果も NHM1km を下回 っており,高解像度化によるスコアの改善は見られなかった.しかしながら,本検証では位 置ずれ考慮していないため,Fraction Skill Score などによる検証が今後必要である.強度別 頻度分布では,30mm/h を超えるような強雨は観測に比べモデル側がやや過剰傾向であっ た.特に NHM2km および asuca は極端な強雨で出現頻度が過剰な傾向が続いた.ここでは NHM1km や NHM500m,NHM250m は観測との差は小さかった.

図 5 に解析領域で平均したレーダーアメダス解析雨量とモデル降水量の 1 時間毎の時系 列の変化および同領域の最大雨量の時系列変化を示す.検証領域平均で見た場合,モデル結 果は解析雨量の時間変動と強度・位相ともよく一致している.しかし,検証領域内での 1 時 間雨量最大値 (グリッドポイント値)で見ると,激しい雨の時間(80h, 120h, 160h 付近)で は,モデル側がかなり過剰であった.この傾向は解像度やモデルによらず同じであり,モデ ルの水蒸気量や降水プロセスのさらなる検証が必要である.また,図 4 下図の強度別頻度 分布同様に,ここでも NHM-2km と asuca は強い雨をやや過剰に出現させていることが示 された.



図 2. 期間合計 168 時間積算雨量. 観測および 2km, 1km 解像度モデル結果



図 3. 水平解像度 500m, 250m の 168 時間積算雨量および同領域における親モデル NHM1km の積算雨量



図 4. (上図)対レーダーアメダス解析雨量 1 時間降水量のスレットスコア, (下図) 1 時間降水量の強度別出現頻度の観測およびモデルの比較



図 5. (上図)解析領域で平均したレーダーアメダス解析雨量とモデル降水量の1時間毎の 変化,(下図)解析領域内での1時間毎の最大1時間雨量の時間変化

4. まとめ

令和2年7月豪雨を対象に数値モデル NHM と asuca によるサブ km まで水平解像度を 向上させた大雨の再現性を調査した.その結果,総降水量でみるとモデル間・解像度間の再 現性の違いは小さかった.降水強度出現頻度では,NHM2km および asuca は強雨が過剰傾 向であった.解析領域全体の平均降水量の時系列は概ね観測を再現していたが,最大1時 間雨量の時系列で見ると,豪雨時のピーク降水量はモデルが観測を上回っており,時間スケ ールの短い豪雨の再現性にはまだ課題があることが明らかとなった.

この傾向はモデルの高解像度化でも改善されておらず,数値モデルにおける短時間強雨 を再現する降水プロセスにさらなる検証が必要である.

参考文献

林修吾, 渡邉俊一, 橋本明弘, 藤田匡, 2021: NHM と asuca によるモデル間相互比較実験, 日本気象学会 2021 年秋季大会, PosterWF-26, 津市, 日本.

気象庁, 2014: 次世代非静力学モデル asuca, 数値予報課報告別冊第 60 号, 151pp.

Saito, K., Fujita, T., Yamada, Y., Ishida, J., Kumagai, Y., Aranami, K., Ohmori, S., Nagasawa, R., Kumagai, S., Muroi, C., Kato, T., Eito, H., & Yamazaki, Y. (2006). The Operational JMA Nonhydrostatic Mesoscale Model, *Monthly Weather Review*, **134**, 1266-1298, https://doi.org/10.1175/MWR3120.1.

3-5 数値モデルによる鉛直流の再現の検討

伊藤 純至

湿潤過程を表現できる気象庁非静力学モデルを利用して、継続して積乱雲が発生するバ ックビルディング型豪雨のラージ・エディ・シミュレーションを行った。この計算では実際 の線状降水帯事例の環境場を一様な初期値・境界値とし、理想化した計算設定で、気象庁非 静力学モデルの計算を行った(資料1は2021年第3回先進的ながれ研究会の招待講演、資 料2は査読付き論文)。

上述の計算や、気象研究所の予報第1研究室(当時)で行われた系統的なモデル実験で得 られた鉛直風の特徴をまとめ、2021年春の気象学会の専門分科会で発表している(資料3)。 水平解像度1km程度のいわゆるグレーゾーンとよばれる解像度においては、数値モデルの 鉛直風の解像度依存性は依然として顕著である。ただし、鉛直流のスケールも小さくなるた め、鉛直輸送量自体はあまり解像度依存性がみられないため、降水などへの影響は限定的で あるかもしれない。しかし、解像度100m程度まで向上させると、鉛直流の上限は対流の熱 力学的な条件によって制約が顕著であり、鉛直流の強さは収束する傾向が見え始める。



はじめに 2017年九州北部豪雨 • 積乱雲が定在的に発生・発達 →非常に局在した線状降水帯 34N • 停滞のメカニズム→地形やコー ルドプールの寄与? 33.5N 国内事例では無関係の場合多い 33N 32.5N Х 131E 129.5E 130.5E 131.5E 132E 130E 600 (mm) 2017/7/5 12時~18時の積算雨量 (解析雨量より) 集中豪雨 Wikipediaより



















サブkm解像度の数値気象モデル における 鉛直流の解像度依存性とその特徴 ^{伊藤純至(東北大/気象研究所)}







実験設定と解析期間							
水平解像度dx	5km	2km	1km	500m			
格子数	$220 \times 180 \times 60$	550 × 450 × 60	$1100\times900\times60$	$2200 \times 1800 \times 60$			
予報時間	18時間(夏)/ 12時間 (冬)						
時間ステップ	15 s	10 s	5 s	3 s			
乱流		MYN	MYNN2.5				
雲物理	3ice, 2moment						
積雲Parm.	なし						
初期値、境界値は 3h ごとのメソ解析							
夏実験:2015/7/1~8/31							
冬実験:2016/1/12~2/18							
























3-6 北海道で発生した線状降水帯の解析と九州地方の梅雨期における 前線の降雨量への寄与

山田朋人

北海道で発生した線状降水帯を客観的な指標による抽出を試みた.気象庁の方法を踏襲し ながら降雨量を含むパラメータを調整することで線状降水帯の事例を調査した.今後,線状 降水帯による危険度をさらに高精度で分析・予測するために,解像度の細かい観測(XRAIN など)を用いる事による線状降水帯の構造を含めた抽出方法や,地形性による雨域の除去が 課題である.大量アンサンブルデータに適用した結果を現在論文として投稿準備中である.

d4PDF の 4 度上昇実験, 2 度上昇実験, 過去実験それぞれにおいて準季節平均した環境 場を分類し,線状降水帯の多発年と似た気象場を示すデータ群を抽出し,相対的に線状降水 帯の発生数が多い傾向を示した.一方で,多発年傾向に類似せず降雨が増加するデータ群が 存在したが,これらは北海道台風の接近数が多い傾向を示し,その発生数は将来減少するこ とが示された.こうした結果は,大量アンサンブルデータの超高解像度化を限られた資源内 で行うためのデータ群の効果的な選定に寄与するものである.

2006 年から 2020 年の九州地方の梅雨期における前線の降雨量への寄与を調べ,前線が 九州地方に 8 日以上停滞していた 4 イベント全てにおいて豪雨災害が発生していたこと を明らかにした.また,物理的指標による前線の抽出は,前線の将来変化の予測において有 用な数値手法であり,手法の検証が重要である.数値手法の一つである F 判定により大気デ ータから抽出した前線と天気図に示された前線を比較することで,F 判定で用いる物理的 指標が前線を伴う温帯低気圧の発達とともに大きい値をとることを示した.

知識と経験を有する気象庁の予報官が推定した前線の位置が記録されている過去 43 年間の天気図から前線のグリッドデータを作成した.各月における前線の存在頻度分布では、 梅雨前線に対応すると推測される高頻度領域の北上が顕著であり、秋雨前線が現れる時期 に南下した.北海道周辺に梅雨前線が存在する可能性のある梅雨末期においては、6 月平均 に比べ、北海道周辺における前線の存在頻度が高くなっていた.

3-7 新規手法による時系列予測の改善 平田祥人

2019年4月からの基盤Aの期間で、大きく分けて次の2つの成果を出した。

1. 2週間間隔で過去のデータを条件付けすることで、降水量の時系列予測が改善。

気象の曜日効果は、1990年代、2000年代に議論されていたが、結局、Ball (2007)に よって、大きな気象の曜日効果はないという議論で落ち着いた。その後、Fujibe (2010) によって、東京では、週末は気温が低く、金曜日になるに従って気温が高くなっていく 傾向にあることが明らかにされた。しかし、気象の曜日効果を考慮に入れることで、時 系列予測が改善するかどうかは、明らかにされていなかった。

そこで、気象の曜日効果を考慮することで、降水量の時系列予測が改善するかどうか を調べた。方法としては、過去のデータを、現在の日から何日前かによって、条件付け する。その日数が、Dの約数であるとする。予測は、過去のデータで無限次元の遅れ座 標の意味で、過去の変化が似ている日で、かつ、その日までの日数が、Dの約数である ような日を距離が近い方から 20 点選び、p 時間先の重みつき平均を求めることで、時 系列予測を求める。

結果を図1に示す。



図 1: 曜日効果を考慮した場合の降水量の時系列予測の予測誤差(2時間先まで)。

D=7 の場合は、D=6 や D=8 の場合に比べて、良いということはない。そこで、1 週間 の周期性はなさそうだということが、わかる。一方、D=14 の場合は、D=13 と D=15 の場合に比べて、比較的、良い予測結果になっている。つまり、2 週間の周期性があり そうである。

この結果は、Nonlinear Processes in Geophysics に投稿中である。

Y. Hirata and Y. Yamada, Fortnight conditioning of historical data to improve short-term precipitation predictions

2. Local cross sections を使うことで、降水量が多い時の時系列予測を改善。

決定論的な対象の時系列予測を行う場合には、普通、遅れ座標により限られた観測か ら背後の状態を再構成し、時系列予測を行う必要がある。しかし、通常の遅れ座標では、 極大値の予測に弱いことが知られている(Okuno et al., 2017)。



図 2: local cross sections の概念図

そこで、local cross sections を使って、状態の再構成をすることを考える。状態空間 が、m 次元の多様体の時、local cross section は、(m-1)次元の部分多様体、つまり、m 次元多様体の中の"板"である。この local cross section を通った時刻を記録していく。2 つの local cross sections を通った時間がわかると、現在の状態が、(m-2)次元の部分多 様体に拘束される。つまり、local cross section を通った時間が1つわかると、存在する 空間の次元が、1つ下がる。m 回の local cross sections と軌道の交差により、現在の状 態が0次元の部分空間、つまり、複数の点に限られる。(m+1)回の local cross sections との交差がわかれば、可能性としては、1 点に絞られる。

このような local cross sections を極大値付近で、用意すると、極大値の予測に強い時 系列予測が作れる。

東京の降水量の2時間先の時系列予測は、図3のように強い降水量で、より正しく予 測できた。通常の遅れ座標での時系列予測では、2時間先の予測誤差と実際の値の間の 相関係数が0.91、一方、local cross sections を使った場合の2時間先の予測誤差と実際 の値の間の相関係数は、0.15 であった。

この結果は、Physical Review Letters に投稿予定である。英文校正まで終わっている

が、論文の修正を助言されました(2022/3/1)。ここのところを進めています。

Y. Hirata and M. Shiro, Times crossing at local cross sections improve prediction accuracy for maxima of a flow (タイトルの修正を検討中)

1.と 2.のアイデアを通して、新しい数理的なアプローチで、降水量の短時間の時系列予測を 改善する道筋を示した。



図 3:2 時間先降水量予測と、実際の値の比較。実際の降水量が強い部分で、提案手法 である local cross sections の時系列予測が良い予測を与えていることがわかる。

3-8 降水粒子観測

山田芳則

平地と山地での降水粒子分布や降水強度の違いを解明し、雲の微物理モデルの検証や開 発に資することを目的として、降水粒子観測を実施した.観測では、CTC-LPM というデ ィスドロメーター (Disdrometer:レーザー式降水粒径速度分布測定装置)を用いた.平 地の観測点は大阪市内の明星ビル (大阪市西区:標高 1 m)の屋上、山地の観測点は箕面 市環境クリーンセンター (標高 340m)の屋上を選定した.山地での適切な観測点がなか なか見つからなかったこともあり、観測は 2020 年 7 月末から 2022 年 3 月末まで実施し た.

2 地点の標高差が小さいため、クイックルックでは降水強度などに極端な違いはないようにみえる。今後は様々な観点からデータ解析を行うことが必要である。

観測に際して、明星ビルと箕面市環境クリーンセンターからは、機器の設置や観測について多大なるご支援とご協力をいただきました。また、機器の設置と撤収にあたっては、 小西教授(大阪教育大学)から有益なご助言やご協力をいただきました。深く感謝いたします.



明星ビル屋上での観測



箕面市環境クリーンセンター屋上 での観測

4. 成果リスト

(2022年3月11日現在)

1. 論文(査読付き)

令和2年度(2020年度)

- Hayashi, S., A. Umehara, N. Nagumo, and T. Ushio, 2020: The relationship between lightning flash rate and ice-related volume derived from dual-polarization radar. *Atmospheric Research*, Vol. 248 105166 [2021/1]. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105166
- Ito, J., H. Tsuguchi, S. Hayashi, and H. Niino, 2021: Idealized high-resolution simulations of a backbuilding convective system that causes torrential rain. J. Atmos. Sci., 78, 117-132. DOI: 10.1175/JAS-D-19-0150.1.

令和3年度(2021年度)

- Banerjee1, A., B. Goswami, Y. Hirata, D. Eroglu, B. Merz, J. Kurths, and N. Marwan1, 2021: Recurrence analysis of extreme event-like data. *Nonlin. Processes Geophys.*, 28, 213–229, https://doi.org/10.5194/npg-28-213-2021.
- Hirata, Y., and Y. Yamada, 2022: Fortnight conditioning of historical data to improve short-term precipitation predictions. Submitted to *Nonlinear Processes in Geophysics Discussions*.
- Miyamoto, M. and T. J. Yamada: Identification of the atmospheric fronts depicted on weather maps, 14th International Conference on Hydroinformatic HIC 2022, in revision.
- Ohya, Y. and T. J. Yamada: Characteristics of line-shaped rainbands regarding duration, shape, and rainfall intensity in northern Japan using the radar/raingauge-analyzed precipitation product, 14th International Conference on Hydroinformatic HIC 2022, in revision.
- 宮本真希,山田 朋人,2021:九州地方を対象とした梅雨期における前線および周辺環境場の年々特性,土木学会論文集 B1(水工学).

<u>2. 学会発表</u>

・平成 31 (令和元年)年度 (2019 年度)

- Junshi Ito, Hiroshige Tsuguti, Syugo Hayashi, and Hiroshi Niino, 2019: Idealized High Resolution Simulations of a Back-Building Convective System with an Extreme Precipitation, AMS 18th Conference on Mesoscale Processes (The Desoto Savannah, United States, 7/29/2019)
- Satoh, S., T. Sano, H. Hanado, Y. Maejima, S. Otsuka, and T. Miyoshi, 2019: Convective Echoes Embedded in Widespread Stratiform Echoes Observed by Kobe PAWR in July 2018, 16th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS2019, AS12-A007), Singapore (7/29/2019).
- Satoh, S., H. Hanado, Y. Maejima, S. Otsuka, and T. Miyoshi, 2019: Development of Convective Cells Embedded in Widespread Rainfall Observed by Kobe PAWR in July 2018, 39th International Conference on Radar Meteorology (12A-03), Nara, Japan (09/19/2019).

- Yamada, Y., 2019: Damaging wind fields assocaited with typhoon Jebi in the Kansai region in Japan on the 4th September 2018 from multiple wind synthesis over complex terrain. 39th In ternational Conference on Radar Meteorology (11B-05), Nara, Japan (09/19/2019).
- 伊藤純至、林修吾,2019: 肱川あらしのアンサンブル予報、2019 年度第2回高解像度豪雨 予測とアンサンブル同化摂動手法に関する研究会(大洲市民会館、大洲、2019/12/05)
- 佐藤晋介、佐野哲也、花土弘、前島康光、大塚成徳、三好建正、2019: 2018 年 7 月に神戸 PAWR で観測された層状性エコーに埋め込まれた対流性エコー、 日本気象学会 2019 年度春季大会、A153.
- 山田芳則 (気象研究所)、牛尾知雄(大阪大学)、佐藤晋介(情報通信研究機構), 2020: 複雑地 形上で^{*}の Dual-PAWR による降水システム内の 3 次元風解析。日本気象学会 2020 年度春季大会 D356 (口頭)
- 山田 芳則,2020:多様な地表面上に適用可能な先端的マルチドップラーレーダー解析シ ステムの構築。土木学会 令和2年度全国大会。

・令和2年度(2020年度)

- Ito, J, H. Tsuguti, S. Hayashi, and H. Niino: Idealized numerical experiments for a back-building convective system, International Workshop Convection-Permitting Modeling for climate Research Current and Future Challenges (Online, 9/2/2020), Invited. (招待講演).
- 伊藤純至、津口裕茂、林修吾、新野宏:線状降水帯の高解像度理想実験、日本気象学会東 北支部研究会(仙台管区気象台、仙台、2020/12/07).
- 伊藤純至:高解像度気象モデルが再現する海上風、日本海洋学会秋季大会(オンライン、 2020/11/27).
- 佐藤晋介、磯田総子、岩井宏徳、花土弘、中川勝広(NICT)、大塚成徳、三好建正(理研)、 前坂剛、清水慎吾(防災科研), 2020: さいたま MP-PAWR で観測された 2019 年台風 15 号 の強風域の3次元構造.日本気象学会 2020 年度春季大会、(2020 年 05 月 19 日).
- 林 修吾,梅原章仁,南雲信宏二重偏波レーダによる粒子判別を用いた雷雲内の粒子分布 と雷活動の関係. 2020-05-19 雲・降水研究会(第三回)/日本/Web 開催. 2020-05-19 雲・降水研究会(第三回)/日本/Web 開催.
- 山田芳則 (気象研究所)、牛尾知雄(大阪大学)、佐藤晋介(情報通信研究機構)、2020:複 雑地形上での Dual-PAWR による降水システム内の3次元風解析. 日本気象学会2020 年度春季大会、(2020年05月19日).

・令和3年度(2021年度)

- Hashimoto, D., and T. J. Yamada: The Spatial Relationship between Precipitable Water
 Vapor Derived from Consideration of Delay effects in GPS and Streaky Clouds in
 Downstream of the Ishikari River Basin in Hokkaido, The Fifth Convection-Permitting
 Modeling Workshop 2021 (CPM2021), , online, 7-10, 14 September 2021.
- Miyamoto, M., and T. J. Yamada: An Identification of Atmospheric Fronts by Image Analysis of Surface Weather Maps, The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021 (CPM2021), , online, 7-10, 14 September 2021.

- Ohya, Y., and T. J. Yamada: Frequency of Line-Shaped Rainbands around Northern Japan by Machine Learning Classification Using Large Ensemble Data, The Fifth Convection-Permitting Modeling Workshop 2021 (CPM2021), , Online, 7-10, 14 September 2021.
- 伊藤純至:線状降水帯の理想化実験、先端的ながれ研究会(オンライン、2021/05/22)招 待講演
- 伊藤純至:サブ km 解像度の数値気象モデルにおける鉛直流の解像度依存性とその特徴、 日本気象学会春季大会(オンライン、2021/05/18)
- 大屋祐太, 星野剛, 山田朋人, 2021: 将来気候における北海道周辺域の台風接近数の海面 水温依存性, 水文・水資源学会/日本水文科学会 2021 年度研究発表会要旨集, PP-A-04.
- 大屋祐太,山田朋人,2021:大屋祐太,山田朋人:北海道周辺域で線状降水帯が発生しや すい準季節平均場の将来変化,第1回日本気象学会北海道支部オンライン研究発表会 (細氷 67),4,オンライン,2021年07月15日.
- 大屋祐太,山田朋人,2021:大量アンサンブルデータを用いた準季節環境場の分類による 北海道周辺域の降雨量の海面水温依存性,日本気象学会2021年度秋季大会講演予稿 集,120,124.
- 大屋祐太,山田朋人,2022:過去の災害事例を基準とした北海道における線状降水帯の客 観的抽出,令和3年度土木学会北海道支部論文報告集,78,C-05.
- 大屋祐太,山田朋人,2022: 観測及び d4PDF を用いた線状降水帯の特定,細氷,68. 佐藤晋介、磯田総子、花土弘、中川勝広、柳瀬茉那美、星絵里香、小池佳奈(エムティーア イ)、大塚成徳、三好建正(理研)、さいたま MP-PAWR のデータ品質管理 ~様々な非
 - 降水エコーの特徴~. 日本気象学会 2021 年度春季大会, OB-09+(P3J,A1H), 2021 年 05 月 18 日.
- 佐藤晋介、磯田総子、花土弘、中川勝広、内野進、山下恒平、村永和哉(セック)、
- フェーズドアレイ気象レーダーのデータ品質管理とデータ公開. JpGU2021, M-GI34-06, 2021 年 06 月 03 日.
- 佐藤晋介、磯田総子、岩井宏徳、花土弘、中川勝広、大塚成徳、三好建正(理研)、前坂 剛、清水慎吾(防災科研)、Near-surface Strong Winds in Typhoon Faxai Observed by Saitama MP-PAWR in 2019. AOGS2021, AS20-A005, 2021 年 08 月 02 日.
- 橋本弾,山田朋人,2021:衛星測位情報の遅延効果より推定した可降水量と冬季筋状雲の 空間特性の関係,水文・水資源学会/日本水文科学会 2021 年度研究発表会要旨集, PP-B-07.
- 橋本弾,山田朋人,2022:石狩湾近郊における筋状雲の出現特性とGPS 可降水量の関係,令和3年度土木学会北海道支部論文報告集,78,B-38.
- 橋本弾,山田朋人,2022:石狩湾に流入する冬季筋状雲の収束・発散域下における GPS 可降水量の空間分布,日本気象学会北海道支部研究発表会(細氷 68),18,オンライン,2021 年 12 月 21 日-22 日.
- 林修吾,渡邉俊一,橋本明弘,藤田匡,2021:NHMと asuca によるモデル間相互比較実 験,日本気象学会 2021 年秋季大会,PosterWF-26,津市,日本.

- 平田祥人,山田芳則,2021:東京の気象の1分値データにおける曜日効果、日本気象学会 2021 秋季大会,オンラインポスター発表,2021 年 12 月 3 日.
- 宮本真希,山田朋人,2021:梅雨期の九州地方における前線の停滞と降雨特性,水文・水 資源学会/日本水文科学会 2021 年度研究発表会要旨集, PP-A-07.
- 宮本真希,山田朋人,2021: 道央地域における秋季の前線とそれに起因する降雨特性,第 1回日本気象学会北海道支部オンライン研究発表会(細氷 67),5,オンライン,2021 年07月15日.
- 宮本真希,山田朋人,2021:北海道における前線特性の変化,日本気象学会2021年度秋季大会講演予稿集,120,173.
- 宮本真希,山田朋人,2022:北海道の暖候期における前線の特徴,令和3年度土木学会北 海道支部論文報告集,78,B-39.
- 宮本真希,山田朋人,2022:過去43年間の日本周辺における前線の気候特性,日本気象学会北海道支部研究発表会(細氷 68),17,オンライン,2021年12月21日-22日.
- 山田芳則(叡啓大学)、牛尾知雄(大阪大学)、佐藤晋介(情報通信研究機構),2021:高 時間解像度 dual-PAWR 解析による対流雲の時間発展の解析.日本気象学会2021年度 春季大会(オンライン).
- 山田芳則(叡啓大学)、2021: Dual-PAWR 解析と数値モデル結果に基づく鉛直流の相互比 較.日本気象学会 2021 年度秋季大会:ポスター:講演番号:OB-28.

令和4年度(発表確定分)

Yamada, Y., Vertical winds recovered from high time-resolution multiple-Doppler wind synthesis. Japan Geoscience Union Meeting 2022(幕張メッセ). Poster.

<u>4. 受賞</u>

北海道支部発表賞・日本気象学会/大屋祐太・山田朋人,北海道周辺域で線状降水帯が発生 しやすい準季節平均場の将来変化,2021年7月26日

北海道支部奨励賞・土木学会/大屋祐太・山田朋人,過去の災害事例を基準とした北海道に おける線状降水帯の客観的抽出,2022年2月16日(内定)