

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05765

研究課題名（和文）ストームジェネシスを捉えるための先端フィールド観測と豪雨災害軽減に向けた総合研究

研究課題名（英文）Integrated Research on State-of-the-art Multi-sensors In-situ Observation of Storm Genesis and Reduction of Serious Disaster due to Heavy Rainfall

研究代表者

中北 英一（Nakakita, Eiichi）

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：70183506

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 159,500,000円

研究成果の概要（和文）：集中豪雨やゲリラ豪雨による水災害軽減のための総合的基礎研究を実施した。最新の気象レーダーを含むマルチセンサーを京阪神と沖縄に集結させた大規模フィールド実験を行い、積乱雲の生成過程と発達過程をシームレスに高時空間解像度で捉えることに成功しただけでなく、将来の観測技術の発展にも貢献した。その観測を土台として、発達過程の詳細な振る舞いの発見、生成過程においても渦管の正負のペア構造とスケール間階層構造の存在を発見するとともに、より早期でのゲリラ豪雨の危険性予測への道を開いた。また、新たな降雨予測情報による洪水・土砂災害軽減手法も開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

降雨、雲、気流を測るマルチセンサーを集結させた最先端観測、および、渦と都市効果を適切に表現するためのLESモデル開発、といった最先端の観測とモデルの両アプローチという世界的に類を見ない先端的研究を実現した。結果、これまで誰も解き明かすことのできなかつた積乱雲の生成過程とその発達過程への影響の解明という課題に挑戦し、渦管の振る舞いにその科学的な解を発見した。このことは、これまでに国で現業化してきた豪雨危険予測システムの高精度化・定量化へのポテンシャルを大きく高めるといふ社会的貢献も果たしたことになる。

研究成果の概要（英文）：An integrated research has been conducted to mitigate water related disasters caused by localized heavy rainfall and “guerrilla-heavy rainfall”. Multi-sensors observation toward the understanding of storm-genesis and its development was carried out at Kieihanshin region and Okinawa. We have identified the structure of pairs of positive/negative vertical vortex tubes at the storm-genesis, and discovered a developing storm possesses a hierarchical structure of the vertical vortex tubes in a sense of spatial scale. Our new findings have activated a new way for the earlier risk prediction system by enhancing its practical utilization, which is one of our great contributions to the society as well as the related research area.

研究分野：水文気象学

キーワード：ゲリラ豪雨 集中豪雨 マルチセンサー観測 レーダー 降水予測 LES

## 1. 研究開始当初の背景

昨今においてもなお、ゲリラ豪雨、梅雨前線、台風がもたらす豪雨によって、鉄砲水、斜面崩壊、内水・越水氾濫による災害が生じており、社会があまり経験してこなかった規模や形態の豪雨や出水が生じている。本研究は“梅雨期の線状対流系型集中豪雨”と“夏季の熱雷によってもたらされるゲリラ豪雨”について、それらの生成・発達過程という科学的にも社会的にも重要な現象を研究対象とした。

本研究に至る一連の研究を図1に示す。最新型偏波ドップラーレーダーの豪雨観測や予測への高度利用(基盤研究(B):2004~2006)を皮切りに、世界で初めて実現させた

偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測により、上空の降水粒子の識別手法を構築するとともに、上空でのみ形成されるファーストエコー(ゲリラ豪雨のタマゴ)を利用したレーダーによるゲリラ豪雨の早期探知手法を開発した(基盤研究(A):2007~2009)。前・基盤研究(S)(2010~2014)ではさらに進化し、ビデオゾンデの汎用化と連続放球の実現を果たすとともに、温帯都市域を対象に、偏波レーダー(MP降水レーダー)のみならず、雲粒を観測する雲レーダー、熱的上昇流(サーマル)を観測するドップラーライダーを試験的に導入し、降水レーダーによるファーストエコーより前の過程(ゲリラ豪雨の生成過程)の観測を試みた。また、国交省XRAINによる現業情報をも利用し、単独積乱雲における発達するゲリラ豪雨のタマゴは早期探知された時点で渦度(初期渦、タマゴ渦)を持つことを明らかにするとともに、渦度の存在を利用したゲリラ豪雨の危険性予測手法へ発展させ、国土交通省により実時間システムとして現業運用が始まった。このようにタマゴ渦の発見は科学的・社会的に新たな視点を創造してきた一方で、その生成メカニズムと積乱雲の発達過程とのさらなる関係解明が求められていた。

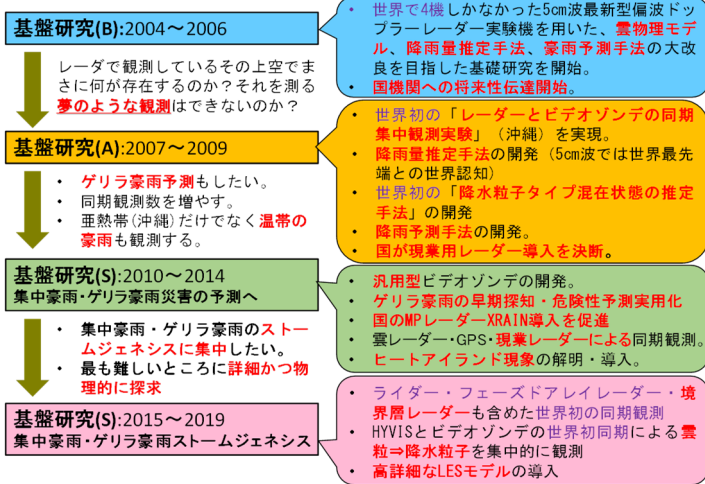


図1: 一連の研究の経緯と本研究の位置づけ。

## 2. 研究の目的

(1) 豪雨のタマゴの生成過程(境界層内の上昇流~タマゴ渦生成)の観測手段・プロトタイプモデルの開発による解明:

これまでの雲レーダーやライダー観測に加えて導入する境界層レーダー(図2)により、境界層の発達やその中で街区レベルの熱的上昇流が発生し境界層を突き抜けて積雲に発達する過程を高時間・高鉛直空間分解能で捉える。その結果に基づく独自開発のLES(Large Eddy Simulation)によるモデル化、雲物理過程・陸面過程・メソ大気各モデルとの結合により、積雲発生~積乱雲タマゴ渦生成までのメカニズムを明らかにするとともにさらなる早期探知化を実現し、これらレーダーを用いた観測が将来の現業観測となるよう橋渡しをする。



図2: 京阪神都市域に展開したマルチセンサー網。

(2) 豪雨の発達過程(タマゴ渦~発達過程)のより精緻な解明と最大降雨強度予測の定量化:

これまでのMP降水レーダー、雲レーダーによる観測に加え、電子的にレーダービーム操作することでほぼ瞬時(30秒間隔;従来は5分間隔)に立体観測できる、当時開発されたばかりのフェーズドアレイレーダーを導入する(図2)。同時に、ビデオゾンデ観測のモバイル化との連携をはかり、ファーストエコー(ゲリラ豪雨のタマゴ)・タマゴ渦~発達過程を詳細に観測して渦管の実態とメカニズムを科学的に明らかにする。実践的にはタマゴ渦度をパラメータとして成長後の最大降雨強度の予測手法を構築する。また、より実践的な幅を広めるために、これまで単独の積乱雲のみを対象としてきたゲリラ豪雨の早期探知・予測手法を積乱雲群へ拡張し、社会のニーズにより近づける。

(3) 水災害予防への応用:

早期探知・危険性予測手法を現場の実務担当者へわかりやすく提示する早期避難情報システムの構築、スマートフォンを活用した身近な降雨情報提供手法開発、出水予測・水位上昇予測・土砂災害危険情報の高度化を行い、実用化に向けた検証実験を実施する。

### 3. 研究の方法

これまでの基盤研究(B), (A), 前基盤研究(S)の成果を土台として、フィールド観測・モデル化・応用手法の開発という研究ステージを意識しながら、上述した3つの目的に対応させるように図3に示す研究の枠組みを構築し、23名の研究者によって進めた。特に本研究では、特徴の異なる様々な最新測器によるマルチセンサーを京阪神域および沖縄に集結させることで、積乱雲の各発達ステージを連続的に捉える、世界をリードする観測を実現した。年3回の全体研究会の開催に加え、集中観測中の現場での深い議論など、有機的連携を保つようにした。

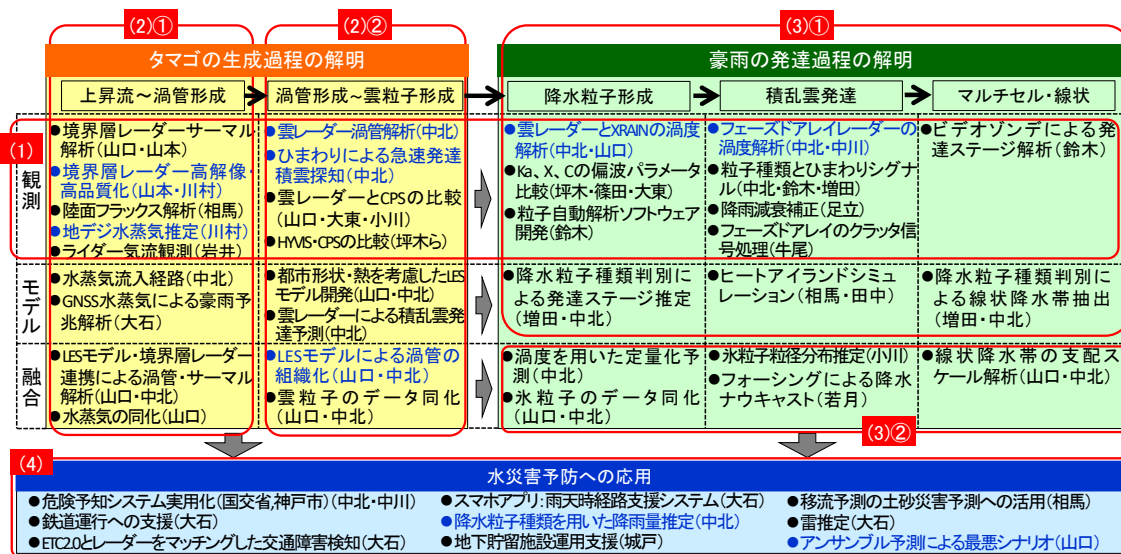


図3: 全体像と各トピック。(赤字は「4. 研究成果」の番号に対応。青字は計画以上に進めた部分。)

### 4. 研究成果

概要: 鉛直渦管構造の解明が見込みより深まり、現業手法の高度化および定量予測手法を提案することができた。すなわち、より深化した鉛直渦管構造の解明とは、i) 正負渦管構造存在の多事例による普遍化、ii) 正負渦管の間という概念モデル化した想定位置で上昇流を確認、iii) 雲レーダーでより初期にも正負渦管構造を確認、iv) LESモデルで都市の影響が伴った正負の渦管生成プロセスを確認、v) 積乱雲の発達ステージに伴って渦管のスケール間階層構造を新発見、vi) LESモデルで渦管併合プロセスの階層構造への寄与を確認、vii) 早期探知・危険性予測手法でも渦指標が他の指標に比してなくてはならない重要指標であることが判明、viii) フェーズドアレイレーダー観測に適用した早期探知・危険性予測手法においてマイクロな渦管の密度が空振りにならない重要情報であることが判明、といったこれまでに未知で科学的には極めて重要な現象に関する知見を得た。社会的意義としては、ix) 国土交通省河川管理システムの高度化と神戸市と新システムを構築、x) 既に現業化されている渦度を用いたゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測システムの定量予測手法化へのポテンシャルをその実現寸前まで高めた。

#### (1) 豪雨の生成・発達過程を捉えるマルチセンサー観測の実現と将来観測への橋渡し

これまでの偏波レーダー、雲レーダー、ドップラーライダーに加えて、i) 豪雨のタマゴの生成や鉛直渦管形成に寄与する熱的上昇流を捉えるための境界層レーダー、および、ii) 発達過程の渦管詳細構造を捉えるためのフェーズドアレイレーダーを新たに導入したことで、積乱雲の生成・発達過程の各ステージを連続的に捉えるための夢のマルチセンサー観測を世界をリードする形で実現した(図2)(中北ら, 2015)。境界層レーダーについて、当初計画していた30mという高解像度化に加えて地面からの反射波によるノイズを取り除く技術を開発したことで熱的上昇流を細かくクリアに捉えることができた(山本ら, 2019)。また、雲内の降水・雲粒子を直接計測するゾンデ観測(以降、粒子ゾンデ観測)に関して、より細かな粒径を測ることができる粒子ゾンデを新たに開発導入して観測可能な粒径対象が増えただけでなく、粒径対象の異なる3種類の粒子ゾンデを連結させて同時に計測する手法を確立し、幅広い粒径を持つ雲微物理プロセスを一度に測ることのできる粒子ゾンデ観測を実現した。その他、地デジ放送波による水蒸気量観測について、これまで困難であった時刻同期手法への新たな概念を打ち出して観測精度を向上させ、実検証レベルでも高い性能を示した(Kawamura et al., 2017)。以上によって、試行錯誤で始めた基盤研究(A)での観測が前・基盤研究(S)で開花し、ようやく本・基盤研究(S)において完成しただけでなく、次への大きな道を開いた。すなわち、直近の現業観測への貢献だけではなく、基礎研究においても将来の躍進をもたらす観測技術進歩に貢献する場をもたらした。

#### (2) 豪雨のタマゴの生成過程(境界層内の上昇流～タマゴ渦生成)の解明

##### ① 境界層内で生成した熱的上昇流の成長過程の解明

●境界層レーダーを用いて、2017年8月に図4(a)に示す境界層を突破する上昇流を捉えることに成功した。Wavelet解析により、夏季の都市上空における熱的上昇流の周期特性や発生頻度を明らかにし、雲レーダー観測と比較することで都市が起因となる熱的上昇流によって雲が発達する様子を捉えた。



- 水平気流を測るドップラーライダーによって、先行する積乱雲からの外出流が新しい対流雲を生成した事例を捉えた。
- タマゴの生成過程を解明するために都市気象 LES モデルを独自開発した。雲物理過程を導入し、陸面過程を考慮したメソ気象モデル CReSiBUC と連結して都市の熱効果を精緻に表現した。水平格子間隔 60m の超高解像度積雲シミュレーションを行い、図 4 (b) に示す都市効果が起因となる積雲群の再現に成功した (山口ら, 2016)。マルチセンサー観測で得られた境界層の発達度合い、上昇流・下降流、乱流強度、それぞれを検証し、妥当性を確認した。境界層を突破する要因を解析し、上昇流が連続して近い場所に発生することによって、徐々に境界層上端の安定層を解消していく過程を明らかにした (山口ら, 2019)。

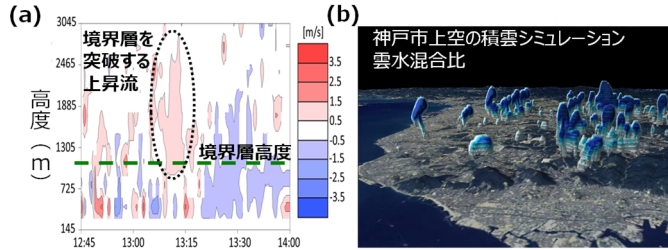


図 4: (a)境界層レーダーで捉えた境界層を突破する上昇流、(b)60m 解像度 LES モデルで再現した積雲群。

### ② タマゴ渦の生成過程の解明

本研究において最もキーとなる鉛直渦管構造に対して見込みよりもかなり深く理解が進んだ。

- 降水レーダーよりも早期のステージを探知することができる雲レーダー観測を、当初計画していた夏季の神戸観測だけでなく梅雨期の沖縄でも実施した。鉛直渦管構造を解析したところ、図 5 (b) に示すように積雲や積乱雲初期において正負ペアの渦管構造を捉えることに成功した。加えて、雲レーダーは降水レーダーよりも 10~20 分ほど早期にファーストエコーを捉えることを示し、対流性雲と層状性雲で鉛直渦度に明確な差があることを発見した。これはゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測システムの定量予測化を通して、防災利用へのさらなる貢献の可能性を強く示唆する結果であった (中北ら, 2018)。

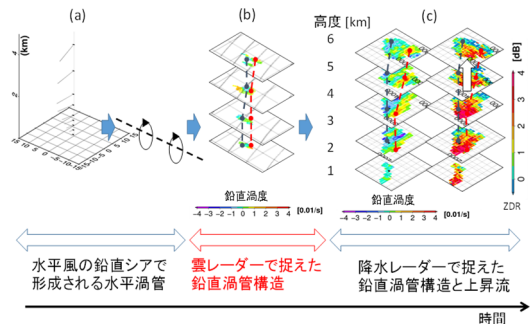


図 5: 積乱雲内部で渦管が形成される様子。

- LES モデルシミュレーションにより正負ペアの渦管構造を再現し、雲レーダー観測結果を支持する結果を得た。鉛直渦管の発生要因は建物群の風下側上空における鉛直シアの強化による水平渦管の形成と、建物群の風下側低高度における水平風の収束によって持ち上げられた熱の上昇流であることを示した。また、鉛直渦管の組織化に関するシミュレーションを行い、渦管が密集することで隣り合う渦管同士の相互作用によって渦管が併合して大きなスケールの渦管になるメカニズムを明らかにした。境界層内での積雲生成による潜熱放出効果が想定より大きく、地球温暖化で推定されている下層水蒸気増加時にはこの鉛直渦管の組織化の豪雨発達メカニズムを反映させたモデル化が必要であることを示唆する成果であった。

### (3) 豪雨の発達過程 (タマゴ渦~発達過程) のより精緻な解明と最大降雨強度予測の定量化

#### ① タマゴ渦の発達過程のより精緻な解明

- 従来は降水レーダーを用いて「発達する積乱雲はその初期タマゴの渦度が必ず高い」という発見を基に危険性予測手法を開発したが、さらなる精度向上と定量予測に向けて渦度が高くなる物理プロセスの解明を進めた。XRAIN を用いた解析により、図 5 (c) に示すような発達する積乱雲には高い鉛直渦度が鉛直方向に連なる鉛直渦管の存在がみられ、特に発達する多くの事例で正負ペアの鉛直渦管が存在することを発見した。ZDR 法およびデュアルドップラー法を用いた上昇流推定を行い、正負ペアの鉛直渦管の間に上昇流があることを示した (Nakakita et al., 2017)。
- 生成過程で述べたように、雲レーダー解析からもより初期の段階から正負ペアの鉛直渦管の存在が新たに発見され、降水レーダー観測と合わせて鉛直渦管の時間発展を捉えた図 5 (b-c)。大気下層の弱い鉛直シアにより水平渦管が形成される概念と合わせて、鉛直渦管が形成されるシームレス (連続的) な過程を明らかにした (図 5(a-c)) (中北ら, 2018)。

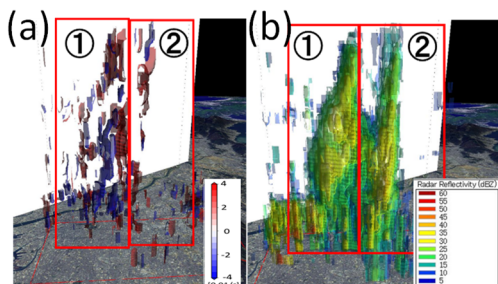


図 6: タレット内の (a) 渦度と (b) 反射強度。

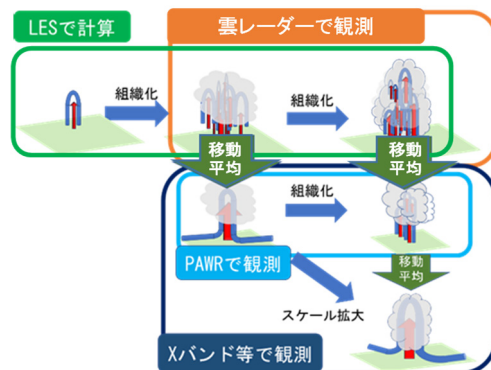


図 7: 渦管の階層構造。

- 高時間分解能および高鉛直分解能をもつフェーズドアレイドレーダー（図中では PAWR と表記）解析によって、単一の積乱雲内部にもタレットと呼ばれる房構造があり、発達するタレットには過度の大きな渦管構造があることを明らかにした（図 6 の①のタレット）。さらに、生成過程の研究と合わせたマルチセンサー観測の解析によって、積乱雲（群）の重要な詳細構造を明らかにした（図 7）。すなわち、発達初期以降のエコーや鉛直過度の時空間構造に階層構造があることが明らかになった。たとえば、XRAIN 観測結果からでは一房であるかのように見える積乱雲も実は幾つかの房によって構成されること、逆に、高詳細観測で観測ノイズのように見られる鉛直渦管の水平分布は物理的に有意な水平分布であることを LES による詳細数値シミュレーション結果との比較から明らかにした。（中北ら, 2019）（このことが(4)で記すように、既に現業化されている過度を用いたゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測システムの定量予測化へのポテンシャルをその実現寸前まで高めた。）
- 降水粒子判別による積乱雲の発達ステージ推定を線状降水帯事例に適用し、各発達ステージの積乱雲の位置関係によって、線状降水帯のリアルタイム探知手法を開発した（増田ら, 2016）。
- ビデオゾンデ観測によって降水粒子の形状特性に関して比較を行い、積乱雲発達初期に丸い形状の霰が存在することを示した（Suzuki *et al.*, 2018）。また、偏波レーダーとビデオゾンデ観測の比較から固体粒子の粒径を推定する手法を開発し（Ogawa *et al.*, 2015）、さらに梅雨事例において融解層高度直上の固体粒子の高い数濃度が地上での強雨を促進するメカニズムを明らかにした（Oue *et al.*, 2015）。
- 静止気象衛星 Himawari-8 の急速発達積雲探知手法を改良し、積乱雲の発達ステージとの整合性を確認しただけでなく、改良手法がより早期の探知に利用できることを示すとともに（Harjupa *et al.*, 2019）、メソ大気モデルへの雲観測情報の同化の効果を示した（山口ら, 2017）。衛星データをも活用して雲ステージの解明が進んだことは想定以上の成果である。

## ②最大降雨強度予測の定量化

- 積乱雲内部の過度最大値とその先の降雨強度の最大値の時間変化をみると、事例によっては時間ずれを与えることで高い相関があることがわかった。特に、タマゴ発生時の過度だけでなく、その5分後の過度がより強くなっている事例において、80mm/h超の豪雨が生成しやすいことを明らかにした。現業化に向けて、国土交通省と議論を進めている。
- XRAINを用いて強い上昇流の存在を意味するZ<sub>DR</sub>カラムとK<sub>DP</sub>カラムの存在を発見し、K<sub>DP</sub>カラムと15分後の降雨強度に相関関係があることを明らかにした（増田ら, 2016）。
- 重要なこととしてフェーズドアレイドレーダーで捉えたミクロな鉛直渦管の空間密度が危険性予測の空振りにならない重要情報であることも明らかにした（中川ら, 2018）。
- XRAINから推定した固体降水粒子情報をメソモデルにデータ同化し、上空の気温場を正確に表現できたことによって、これまでレーダーデータ同化は2時間先予測が限界とされてきたが、事例によっては5時間先の降水予測精度の向上を示した（山口ら, 2017）。

## (4)水災害予防への応用

- 渦管解明を土台とする早期探知・危険性予測手法を用いた早期避難システムに関して、国土交通省近畿地方整備局の現業システムの対象エリアを拡大した。そのためXRAINのみならずCバンドレーダーを組み合わせた実用化手法を開発し、XRAINのみの手法よりも精度が向上することを示した。その際、

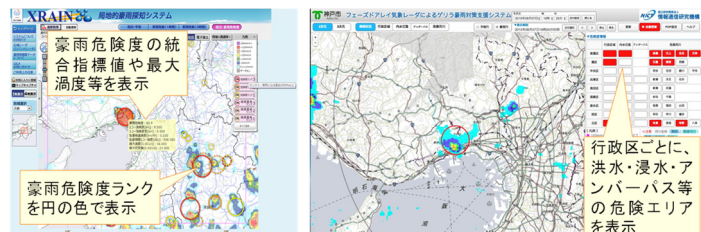


図 8：国土交通省と神戸市で実現した現業システム。

- 渦管指標が他の指標と比べてなくてはならない重要指標であることが判明した。また、神戸市危機管理室と連携してフェーズドアレイドレーダーを用いた手法へと改良し、行政区ごとに河川氾濫・浸水・アンダーパス等の危険箇所を表示するシステムを開発した（図8）（中川ら, 2018）。
- (3)でも述べたように既に現業化されている過度を用いたゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測システムの定量予測手法化へのポテンシャルをその実現寸前まで高めた。
- 上空の降水粒子種類の違いによって、地上降雨強度にどのような影響を与えるのかに関する新たな概念を示した。詳細雲微物理モデルを用いて、上空の霰が落下する際に雹へと変化し最終的に粒径と落下速度の大きな雨滴を形成することを明らかにした。
- 逐次更新されるアンサンブル降水予報の洪水管理への利用手法として、最新の予報値だけを用いるのではなく過去からの予報値の更新履歴に着目し、予測が更新されたときにアンサンブルスプレッド（予測の幅）がなお大きくなるという兆候を示すときに極端な豪雨となる可能性があることを示した。すなわち“予測が外れること”を予測する手法を開発し、リアルタイムでの最悪シナリオを提示することを可能とした。国土交通省と実利用に向けた手法へ拡張しているところである（山口ら, 2019）。また別の洪水予測活用方法として、レーダー予測やメソモデル予測など複数のアンサンブル降水予報情報を重み付き平均して用いるハイブリッド降水予報を作成し、工学的に予測雨域の位置ずれを考慮する方法を開発した（Yu *et al.*, 2016）。
- その他、ゲリラ豪雨の早期探知システムを海外へ適用した実用研究（Yoon *et al.*, 2015）、レーダー予測雨量を用いた土砂災害援用システム（Ratih *et al.*, 2016; 渡邊ら, 2018）、鉄道運行への支援システム（Oishi *et al.*, 2015）、スマートフォン向け避難アプリ、等の実践利用を意識した応用手法を開発した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計102件（うち査読付論文 66件 / うち国際共著 22件 / うちオープンアクセス 90件）

1. 著者名 Harjupa Wendi, Eiichi Nakakita, Yasuhiko Sumida, Aritoshi Masuda	4. 巻 75
2. 論文標題 RDCA INDEX BASED UPDRAFT AREA AND ITS VERIFICATION USING POLARIMETRIC DOPPLER RADAR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers	6. 最初と最後の頁 127-132
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 山口弘誠・黒田奈那・中北英一	4. 巻 75
2. 論文標題 線状降水帯豪雨予測に向けた水蒸気のアンサンブル予測情報の更新履歴解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集 B1（水工学）	6. 最初と最後の頁 1153-1158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 中北英一・高尾充政・新保友啓・山口弘誠・中川勝広	4. 巻 75
2. 論文標題 Kaバンドレーダとフェーズドアレイレーダを用いたゲリラ豪雨発達初期の積乱雲詳細解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集 B1（水工学）	6. 最初と最後の頁 1171-1176
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 山本真之, 川村誠治, 西村耕司, 今井克之, 斎藤浩二, 浜田隆行, 山口博史, 中北英一, 山口弘誠	4. 巻 65(1)
2. 論文標題 次世代ウィンドプロファイラの研究開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報通信研究機構研究報告	6. 最初と最後の頁 27-42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hapsari, R.I., Aponno, G., Asmara R.A., Oishi, S.	4. 巻 7(4.44)
2. 論文標題 Rainfall Information System Based on Weather Radar for Debris Flow Disaster Mitigation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Engineering & Technology	6. 最初と最後の頁 165-171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14419/ijet.v7i4.44.26976	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 山口弘誠, 小西大, 土橋知紘, 中北英一, 山本真之, 川村誠治, 雨谷純, 杉谷茂夫, 大東忠保, 小川まり子	4. 巻 第61号B
2. 論文標題 都市気象LES モデルと境界層レーダーを用いた大気境界層を突破する熱の上昇流の発見	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 448-478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中川勝広, 片山勝之, 増田有俊, 是津耕司, 中北英一	4. 巻 Vo.74, No.5
2. 論文標題 渦管を用いた局地的豪雨探知手法に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 265-270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki, K., K. Nakagawa, T. Kawano, S. Mori, M. Katsumata, F. Syamsudin and K. Yoneyama	4. 巻 14
2. 論文標題 Videosonde-observed graupel in different rain systems during Pre-YMC project	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 148-152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.2151/sola.2018-026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 渡邊彩花, 相馬一義, 大石哲, 佐野哲也, 柿澤一弘, 馬籠純, 石平博, 市川温, 末次忠司, 砂田憲吾	4. 巻 37 (3)
2. 論文標題 単一のXバンドMPレーダーとCバンドレーダーを活用した山地域における土砂災害危険度推定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 295-311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中北英一・新保友啓・佐藤悠人・山口弘誠・大東忠保	4. 巻 第74巻, No.4
2. 論文標題 Kaバンドレーダーを利用した積乱雲生成段階に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集, B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 pp.55-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 山口弘誠・上嶋一樹・堀池洋祐・中北英一	4. 巻 第74巻, No.4
2. 論文標題 雲情報観測を想定したデータ同化によるゲリラ豪雨予測	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集, B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 pp.61-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakakita, Eiichi, Hiroto Sato, Ryuta Nishiwaki, Hiroyuki Yamabe, and Kosei Yamaguchi	4. 巻 -
2. 論文標題 Early Detection of Baby-Rain-Cell Aloft in a Severe Storm and Risk Projection for Urban Flash Flood	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advances in Meteorology	6. 最初と最後の頁 15pp. ID5962356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 山口弘誠・古田康平・中北英一	4. 巻 第73巻
2. 論文標題 XRAINを用いたアンサンブル同化による線状降水帯の維持と発生の予測	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 土木学会論文集, B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 pp.211-216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Oue, Mariko, Kazuhisa Tsuboki and Eiichi Nakakita	4. 巻 120
2. 論文標題 Vertical distribution of precipitation particles in Baiu frontal stratiform intense rainfall around Okinawa Island	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research Atmospheres	6. 最初と最後の頁 pp.5622-5237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2014JD022712	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoon, Seongsim and Eiichi Nakakita	4. 巻 -
2. 論文標題 Application of an X-Band Multi-Parameter Radar Network for Rain-Based Urban Flood Forecasting	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of Hydrologic Engineering, ASCE	6. 最初と最後の頁 11pp.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001281	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 増田有俊・中北英一	4. 巻 60
2. 論文標題 Xバンド偏波レーダを用いた発達する降水セルの検出に関する研究	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 土木学会論文集, B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 pp.193-198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 山口弘誠・高見和弥・井上 実・中北英一	4. 巻 60
2. 論文標題 豪雨の「種」を捉えるための都市効果を考慮するLES気象モデルの開発	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 土木学会論文集, B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 pp.205-210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中北英一・山口弘誠・大石 哲・大東忠保・橋口浩之・岩井宏徳・中川勝広・相馬一義・増田有俊・小川まり子・坪木和久・鈴木賢士・川村誠治・鈴木善晴	4. 巻 第58号B
2. 論文標題 積乱雲の生成・発達を捉えるためのマルチセンサーによるRHI同期観測実験	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 pp.232-236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計291件(うち招待講演 106件/うち国際学会 93件)

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 ゲリラ豪雨のタマゴ早期探知・危険性予測と渦管構造の解明
3. 学会等名 令和元年度河川情報シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 ゲリラ豪雨と線状降水帯の予兆を探る
3. 学会等名 京都大学第19回市民防災講座 - 災害リスクを考える - 「豪雨・土砂災害に備える」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 最新型気象レーダーによる豪雨の観測と早期探知・予測 - 鉄道の安全運行に向けて -
3. 学会等名 日本鉄道施設協会中部支部総会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 気象レーダーを用いたゲリラ豪雨の早期探知と危険性予測
3. 学会等名 日本気象学会2018年度夏季大学（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 豪雨のしくみを理解して豪雨災害に備える? - ゲリラ豪雨の早期探知と危険性予測を交えて -
3. 学会等名 建築物防災講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 豪雨災害を知る - ゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測から温暖化による影響まで -
3. 学会等名 科学技術に関する調査プロジェクト（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 最新型気象レーダーを用いたゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測とメカニズムの解明
3. 学会等名 土木学会水工学に関する夏期研修会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 豪雨の予兆を捉える
3. 学会等名 河川財団研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Oishi, S.
2. 発表標題 Keynote speech “Practical application of weather radar information in Japan”
3. 学会等名 International conference on weather forecast and hydrological application（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Eiichi Nakakita
2. 発表標題 Overview of fundamental and practical researches on generation and development of baby-rain-cell aloft in a severe storm for urban flash flood risk reduction
3. 学会等名 International Symposium on Weather Radar and Hydrology (WRaH2017), Korea University, Seoul, Republic of Korea（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 「沖縄が実現してくれた夢の豪雨観測 - 雲の中を探る - 」
3. 学会等名 水シンポジウム2017 in 沖縄、タイムスホール、那覇（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 「最新型気象レーダーによる豪雨の観測と早期探知・予測 - 鉄道の安全運行に向けて - 」
3. 学会等名 第30回鉄道総研講演会、有楽町朝日ホール（有楽町マリオン11階）、東京（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 「ゲリラ豪雨の予兆を探る」
3. 学会等名 京都大学第13回市民防災講座 - 災害リスクを考える - 「豪雨・土砂災害に備える」、松江テルサ、鳥根県松江市（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 X-バンド偏波レーダーによる降水観測技術の開発及び社会実装
3. 学会等名 日本気象学会2016年春季大会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 X-バンド偏波レーダーによる降水観測技術の開発及び社会実装(3)
3. 学会等名 第22回レーダ活用による河川情報高度化検討会(国交省本省)(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 レーダ雨量計とともに
3. 学会等名 シンポジウム「我が国のレーダ雨量計研究開発50年の歩み」(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 沖縄が実現してくれた夢の豪雨観測基礎実験 - 世界がうらやむ土木工学・気象学・電波工学の融合とその意義 -
3. 学会等名 土木学会西部支部・沖縄会、特別講演会(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 ゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測とこれから - 実践研究と基礎研究 -
3. 学会等名 平成28年度 建設電気技術研究発表会(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 MPレーダー情報の降雨・出水予測への利用-実践研究と基礎研究-
3. 学会等名 本州JR3社意見交換会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 ゲリラ豪雨のタマゴとタネを捉える
3. 学会等名 平成28年度災害に強いまちづくり講座 「水災害から身を守る正しい知識と行動」, 京都市防災協会・京都市消防局主催（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 ゲリラ豪雨災害、ゲリラ豪雨の早期探知と危険性予測 -実践研究と基礎研究-
3. 学会等名 京都大学サロントークin弥生月（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中北英一
2. 発表標題 ゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測と共同基礎観測実験
3. 学会等名 京都地方気象台（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 ゲリラ豪雨の“タマゴとタネ”を捉える
3. 学会等名 大阪能率協会第153回OMAテクノフォーラム（招待講演）
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計11件

1. 著者名 中北英一	4. 発行年 2016年
2. 出版社 土木学会	5. 総ページ数 -
3. 書名 土木学会誌「土木における気象予測技術の必要性」、特集「気象予測と土木 - 気象予測技術の最前線 -」	

1. 著者名 中北英一	4. 発行年 2016年
2. 出版社 (社)日本河川協会	5. 総ページ数 122
3. 書名 河川 レーダ雨量計への思い	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<ul style="list-style-type: none"> <li>・ホームページ等 <a href="http://hmd.dpri.kyoto-u.ac.jp/nakakita/nakakita.html">http://hmd.dpri.kyoto-u.ac.jp/nakakita/nakakita.html</a></li> <li>・社会・国民への発信（新聞掲載、メディア出演、等）（計54件） 中北英一：webコラム「第1回 豪雨災害からの“早期避難”実現に向けて「XRAIN」を活用した早期予報への取り組み」、NHKそなえる防災、2017. <a href="http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20170943.html">http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20170943.html</a></li> <li>中北英一：テレビ出演「東京の上空にマルチセル現象、積乱雲が次々に“マルチセル”の脅威 急激な雷雨の背景に・・・」、おはよう日本、NHK総合テレビ（全国版）、2017年8月24日。</li> <li>中北英一：テレビ出演「九州北部豪雨、記録的豪雨はなぜ」、NHKスペシャル、NHK総合テレビ（全国版）、2017年7月9日。</li> <li>中北英一：新聞記事「局地豪雨 前兆つかみ減災」、読売新聞朝刊（西日本版）、サイエンスBOX、2016年7月29日。</li> <li>中北英一：新聞記事「豪雨30分前予測研究 19年度まで 雨雲兆候を解明」、読売新聞朝刊（全国版、第1面）、2015年8月18日。</li> <li>山口弘誠：テレビ出演「Tomorrow by Japan」、Discovery Channel、2019年2月28日。</li> <li>山口弘誠：新聞記事「豪雨・土石流 最新の知見 大規模災害に備えて急務」、中国新聞、2019年7月26日。</li> <li>・主な公開イベント等 全員：Asia Oceania Geosciences Society Annual Meeting 2018にて本プロジェクトの公開セッション“Multi-sensor Observations of Severe Storms and Disaster Reduction”実施、2018年6月4-8日。 中北英一、山口弘誠：京都大学アカデミックデイ「豪雨の謎に挑む」、2017年9月30日、参加者1000人。</li> </ul>
--



## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	坪木 和久  (Tsuboki Kazuhisa)  (90222140)	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授    (13901)	
研究分担者	鈴木 賢士  (Suzuki Kenji)  (30304497)	山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授    (15501)	
研究分担者	大石 哲  (Oishi Satoru)  (30252521)	神戸大学・都市安全研究センター・教授    (14501)	
研究分担者	中川 勝広  (Nakagawa Katsuhiro)  (80359009)	国立研究開発法人情報通信研究機構・経営企画部企画戦略室・プランニングマネージャー    (82636)	
研究分担者	川村 誠治  (Kawamura Seiji)  (10435795)	国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所リモートセンシング研究室・主任研究員    (82636)	
研究分担者	山本 真之  (Yamamoto Masayuki)  (90346073)	国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所リモートセンシング研究室・主任研究員    (82636)	
研究分担者	橋口 浩之  (Hashiguchi Hiroyuki)  (90293943)	京都大学・生存圏研究所・教授    (14301)	
研究分担者	牛尾 知雄  (Ushio Tomoo)  (50332961)	大阪大学・工学研究科 ・教授    (14401)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	山口 弘誠  (Yamaguchi Kosei)  (90551383)	京都大学・防災研究所・准教授   (14301)	
研究 協力者	城戸 由能  (Kido Yoshinobu)		
研究 協力者	田中 賢治  (Tanaka Kenji)		
研究 協力者	鈴木 善晴  (Suzuki Yoshiharu)		
研究 協力者	若月 泰孝  (Wakazuki Yasutaka)		
研究 協力者	篠田 太郎  (Shinoda Taro)		
研究 協力者	大東 忠保  (Ohigashi Tadayasu)		
研究 協力者	岩井 宏徳  (Iwai Hironori)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	相馬 一義  (Sohma Kazuyoshi)		
研究協力者	小川 まり子  (Ogawa Mariko)		
研究協力者	増田 有俊  (Masuda Aritoshi)		
研究協力者	足立 アホロ  (Adachi Ahoro)		
研究協力者	吉川 栄一  (Yoshikawa Eiichi)		
研究協力者	梶川 義幸  (Kajikawa Yoshiyuki)		
研究協力者	吉田 龍二  (Yoshida Ryuji)		