



京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute

Kyoto University

一般研究集会

2022K-03

豪雨学研究会（降水系研究と河川流域系研究の融合）

Disaster-Hydrometeorology Study Meeting

– Fusion of Researches on Heavy Rain and River

Basin Runoff and Flooding

令和5年5月

May, 2023

研究代表者

大東忠保

Principal Investigator

Tadayasu OHIGASHI

目次

1. 目的	1
2. 第1回研究集会	1
2.1 開催日	1
2.2 開催場所	1
2.3 プログラム	2
2.4 参加人数	2
2.5 概要と感想	2
2.6 発表資料について	3
3. 第2回研究集会	4
3.1 開催日	4
3.2 開催場所	4
3.3 プログラム	4
3.4 参加人数	5
3.5 概要と感想	5
3.6 発表資料について	7
4. まとめ	7
付録 発表資料	8

1. 目的

日本における豪雨は、梅雨期・秋雨期に線状降水帯等が引き起こす豪雨、夏季晴天日に日射による地面の加熱によって生じた積乱雲が引き起こす豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）、台風に伴う豪雨などがある。本研究集会では、台風以外の比較的時空間スケールの小さな気象現象に伴って生じる豪雨について対象としている。

豪雨に関する科学的な調査は、1968年から1972年まで気象庁・気象研究所が中心となって行った「梅雨末期集中豪雨特別観測」をはじめとしてこれまで数多く実施されており、豪雨の実態、豪雨を引き起こす雲・降水システムの構造や発生・発達メカニズムの解明について取り組みがなされてきた。研究代表者らも、京都大学防災研究所・中北英一教授のプロジェクト等に参加し、レーダーや、粒子画像を撮影する粒子ゾンデなどの機器を用いた観測と、数値シミュレーションによるアプローチを行ってきた。

これら気象学的アプローチによって豪雨を理解する取り組み（本報告では「降水系研究」とよぶ）がある一方で、豪雨災害という観点に立つと、土砂崩れ、低地の浸水、河川の氾濫などがより災害に直結した現象となり、そちらの側からの科学的理解（本報告では「河川流域系研究」とよぶ）も進められている。豪雨災害を考える場合、降水系研究者と河川流域系研究者は相互に情報を交換し、共同で研究を進めるべきであるが、それはいまだ十分ではない。

近年の人為起源による地球温暖化に伴い、降水は極端化しつつあると考えられている。このため、梅雨豪雨やゲリラ豪雨などの豪雨が頻発していると考えられるようになってきた。この現状において、次世代の安全・安心な社会を築くためには、降水系研究者と河川流域系研究者が一つの会に集まり、それぞれの基礎研究や気候変動予測に関する研究の成果を共有する必要性が感じられた。そこで、本研究集会では、水蒸気から雨、豪雨、さらに河川へとつながる全ての科学と、豪雨に伴う災害の全体を統合的に理解することを目的とする。

2. 第1回研究集会

2.1 開催日

令和4（2022）年9月29日（木）

2.2 開催場所

京都大学宇治キャンパス（S-519）およびオンライン

2.3 プログラム

- 13:30～14:00 中北英一（京都大）：豪雨学全体構想とフィールド豪雨学の構想
14:00～14:40 フィールド豪雨学についてのコメント：大東忠保（防災科研）、川村誠治（情報通信研究機構）、岩井宏徳（情報通信研究機構）、児島正一郎（情報通信研究機構）
14:40～15:10 佐山敬洋（京都大）：偶然・必然豪雨学の構想

15:30～16:00 相馬一義（山梨大）：価値観変革豪雨学の構想
16:00～16:30 竹之内健介（香川大）：自然・人社会相互作用豪雨学の構想
16:30～17:00 中村晋一郎（名古屋大）：歴史豪雨学の構想
17:00～17:30 全体議論

2.4 参加人数

合計 21 名（現地参加 14 名、オンライン参加 7 名）
学生参加者なし

2.5 概要と感想

関係する研究者によるメールと、オンライン会議を経て、議論内容を決定し第 1 回研究集会を開催した。当日は、まず**中北（京都大）**から豪雨学の全体構想が示された。目的（1 節）でも書いたとおり、中北氏は 2007 年から沖縄本島に既に設置されていた情報通信研究機構の C バンド偏波降水レーダー COBRA と、雲内部の粒子の画像を撮影できる特殊ゾンデを用いた豪雨観測を開始した。関係諸機関と協力しながら、当時の先端機器を導入して豪雨の気象学的な観測をベースとしたメカニズム解明、レーダーによる降水量推定を実施してきた。この観測を河川流域に拡大することによって、豪雨とその災害の科学を創生する考えであったが、先のメールとオンライン会議の議論を経て、さらに豪雨災害時の人の行動までも観測し、それらを統合的に理解する重要性を説いた。このような観測はこれまでに無いものであり、したがって、新しいフィールド豪雨学の構築によって豪雨と災害の理解が進むことが期待される。

こういった観測をもとに構築される数値モデルは、（最終的にはアンサンブルをとるものであったとしても）基本的には決定論的な予測を行うものである。しかしながら、気象についてはカオス性が強く、初期値の微少な違いが、時間とともに大きな差となって現れる。このことが、長時間の数値予測が当たらない一因となっている。一方で、そのような初期値依存性によって豪雨域の位置がずれたとしても、河川の流域面積内であればメインの河川の最終的な流量にはあまり影響を及ぼさないはずである。**佐山（京都大）**の偶然・必然豪雨学の構想の中では、予測毎の豪雨の変動とそれに伴って生じる結果（河川流域、人

の行動の変動など)の必然性・偶然性について、現象(大気、河川、土砂等)と時間、空間スケールを意識しながら整理する必要があることが述べられた。

相馬(山梨大)が述べた価値観変革豪雨学の構想の中では、例えば富士山レーダーの導入や、新しい数値モデルの導入など、既存の技術を飛躍的に向上させる方法について考え、その技術が存在する新しい世の中を考えていく必要性のあることが述べられた。全く原理の無い夢のような技術は想像することすらなかなか難しいが、例えば、まだ現業で用いられていない先端的観測機器による現業観測が開始された場合に、どの程度の変化が起こり、どのような新しい豪雨・災害情報が提供されうるかを考えていくことは重要と思われる。

竹之内(香川大)の自然・人社会相互作用豪雨学の構想では、人社会は自然からどのように影響を受けるかという視点だけでなく、自然をどう見るかという視点も通して自然・人社会相互作用を考えている。豪雨の自然現象自体は、通常人の存在によって短期的に大きく変わるものではないが、豪雨によって引き起こされる災害については人の意識によって大きく異なってくるものである。被災するのは専門家ばかりではないため、専門家以外の人々がどのように豪雨を理解し捉え、その結果行動するかが、豪雨災害にとっては重要である。

このような豪雨の捉え方は時代とともに大きく変動している可能性もあるのではないかと考えるのが、**中村(名古屋大)**が考える歴史豪雨学である。災害の直後から時間がたつにつれて人の防災に対する意識は薄れる。このことから、災害は一定程度、周期的に生じると考えることができる。一方で、戦後10年は被災者の多い豪雨災害が頻発した。この原因が自然起源であるのか、人社会起源であるかはよくわかっていない。こういった歴史上の災害の原因を調べ、人社会に起因する原因を明らかにすることができれば、人社会の意識や枠組みを変えることで将来的な減災・防災を期待することが可能である。

全体を終えてみて、自然科学系研究者のみならず社会科学系研究者が参加したことによって、学術の広がりは大きくなったが、逆に相互の言葉や概念を理解することは難しくなり、議論がまだ抽象的であるように感じられた。ただ、豪雨災害の軽減と防止のためにこれまで異分野として各自で研究を行ってきた降水系、河川流域系、豪雨社会系の研究者が一緒になって研究を行っていくという方向性は、全ての参加者が良い方向であるという認識だったのではないかと思われる。研究として共同作業に入るためには、今後も相互理解と議論を重ね、もう少し具体的な個別の目標設定・問題設定と、それに対する具体的なアプローチ方法を練り上げていく必要性がまだあるように感じられた。

2.6 発表資料について

第1回研究集会は議論中心であり、発表資料は本報告には収録していない。

3. 第2回研究集会

3.1 開催日

令和5（2023）年1月5日（木）

3.2 開催場所

京都大学宇治キャンパス（S-519）およびオンライン

3.3 プログラム

13:00～13:15

中北英一（京都大）：あいさつ

13:15～14:55

足立アホロ（気象大）：Cバンド二重偏波レーダーによる雨滴粒径分布の推定

大坪愛奈（気象大）：二重偏波レーダーを用いた豪雨の直前予測手法の開発

前川智寧（京都大）：ライフサイクル概念に基づいた豪雨システムにおける渦管挙動の解析

中澤利恵（名古屋大）：Kaバンド雲レーダを用いた発達する対流雲の早期識別手法の検討

神谷太雅（京都大）：地形に沿った水蒸気の流入過程と大気の安定度の関係

河谷能幸（京都大）：豪雨発生の偶然性評価を目的とした数値モデルの改良

佐藤未笛（茨城大）：仮想大気環境での積乱雲生成法の改良と組織化に関する数値実験

15:10～16:50

村瀬公崇（京都大）：地デジ観測と気象モデルによる追跡解析を用いた積乱雲の発達に影響を与える水蒸気構造

篠田太郎（名古屋大）：航空機を用いた鉛直水蒸気プロファイルの観測

大石 哲（神戸大）：境界層レーダー関連の話題提供

相馬一義（山梨大）：神戸での地デジ・陸面関連研究の現状

原優里佳（山口大）：Rainscopeを用いた固体降水形成プロセスに関する観測研究

高見和弥（鉄道総研／京都大）：塩沢での降雪観測の紹介

菅野湧貴（電力中央研）：冬季日本海のビデオゾンデ観測とWRFの比較

17:05～18:00

総合討論

3.4 参加人数

合計 37 名（現地参加 33 名、オンライン参加 4 名）

うち 大学院生 10 名、学部生 6 名

（発表者 大学院生 6 名、学部生 2 名）

3.5 概要と感想

第 2 回研究集会は個別の研究について募集し、14 件（うち学生 8 件）の発表と総合討論を行った。**足立（気象大）**は C バンド二重偏波レーダーの偏波パラメータから雨滴粒径分布を推定する方法を紹介した。粒径分布を修正ガンマ分布関数で近似した場合に、3 つあるパラメータ全てを偏波パラメータから推定する方法で、形状パラメータ (μ) をその他 2 つのパラメータから推定するなどの従来の方法とは異なる。粒径分布（関数）の正しい推定により、降雨強度推定の改善が期待される。**大坪（気象大）**は、ZDR カラムを用いた強雨の直前予測手法を紹介した。ZDR は偏波パラメータの 1 つで、融解層よりも上部に伸びる ZDR が大きな領域を ZDR カラムとよぶ。ZDR カラムは強い上昇流の存在を示唆すると考えられている。ZDR カラムの特徴量を抽出すると、地上強雨を 10 分程度先行して予測できることを示唆する結果が得られた。**前川（京都大）**は、積乱雲（セル）の発達ステージが地上降水強度と関係することから、発達ステージを定量化する研究を行った。そのための 1 つとして渦管に着目した。一定値以上の渦度をもつ領域を渦管として抽出すると、セルがもたらす最大地上降水強度の大小によって、渦管の広がり異なることが示された。今後、孤立積乱雲よりもスケールの大きな豪雨システム内部における渦管構造と、豪雨システム全体の発達の関係性について研究が継続される。**中澤（名古屋大）**は、Ka バンド雲レーダーによるボリュームスキャン観測で得たデータから、発達する対流雲を可能な限り早く見つける方法について発表した。発達する対流雲は、レーダー反射強度の最大値や面積の時間増加率が大きい傾向があり、このことにより発達する対流雲を早期に見分けられる可能性がある。今後、事例を増やし定量的な精度を高める必要があることが課題として述べられた。**神谷（京都大）**は、地球温暖化によって大気温度の鉛直プロファイルが安定化するという結果から、起伏のある地形周辺における水蒸気の流れが変わると推測し、大気安定度と水蒸気の流入過程について調べた。2 つのベル型の山を置いた理想実験では、大気安定度の増大に伴って山を迂回する気流が支配的となった。地形、安定度、水蒸気プロファイルには多様性があるため、今後も多くの設定を変えた実験がなされる予定である。**河谷（京都大）**は、数値モデル内にてパラメタライズされている高波数帯（小スケール）の乱流について、そのエネルギーを大スケールへ逆輸送する LES モデルを構築し、豪雨の事例に適用した。新しいスキームを導入したモデルでは、高波数のエネルギーが減少、低波数が増大

した結果が得られ雨域の分布に変化があった。新スキームを使った場合に、豪雨等激しい現象に対して系統的にどのような影響があるのか明らかにされることを期待したい。**佐藤（茨城大）**は、複数の積乱雲を発生させることによって組織化した準停滞性の線状降水系を形成する理想化数値実験を行った。外力による収束がある場合だけでなく、先行する対流自体がスケールの大きな収束域をつくる場合には長時間維持される降水システムが形成されることが示された。

後半に入り**村瀬（京都大）**は、水蒸気の鉛直プロファイルが積乱雲の発達に与える影響を調べた。最下層の水蒸気的重要性は既存の研究により示されているが、それよりもやや上空（高度2~3km）の大きな水蒸気量が積乱雲の発達に影響を与える可能性のあることを示した。同高度の大きな水蒸気は先行する積乱雲によって供給されている可能性が示された。**篠田（名古屋大）**は、梅雨期の航空機ドロップゾンデによる水蒸気鉛直プロファイル観測について報告した。数値シミュレーション結果と比較すると、ほぼ一致した部分とドロップゾンデ観測の方が乾燥している部分とが存在した。気象庁の通常のゾンデ観測との比較において差が小さいことから、ドロップゾンデの観測は一定程度現実を示していると考えられたが、ドロップゾンデによって得られる水蒸気の定量的検証と、補正の必要性やその方法については今後の課題とされた。**大石（神戸大）**は神戸に設置した境界層レーダーの鉛直流をウェーブレット解析した結果を示した。盛夏期の晴天日3日間の観測では昼間の高度300mで60秒周期の変動が、高度1200mで1時間の周期の変動の卓越が観測された。この周期の鉛直流が卓越するメカニズムが明らかにされることを期待したい。**相馬（山梨大）**は神戸で行っている地デジ伝送波遅延による水蒸気観測と、地上における陸面関連の観測の現状について報告した。地デジ放送波による水蒸気観測では、地デジ放送波の建物等からの反射波の遅延時間を利用するが、反射波のパワーの大きな部分をあらかじめ決めて水蒸気量算出に利用していた。到達電波の細かい時系列データを利用することによって、あらかじめ決めたピーク以外にも明瞭なピークがあることがわかった。これを利用することで、より水平分解能の高い水蒸気分布を導出できる可能性がある。**原（山口大）**は気球に取り付けて雲内の粒子画像を撮影する rainscope ゾンデを用いて行った梅雨期および冬期の降水雲の観測結果を示した。これまで用いられていたいわゆるビデオゾンデと比較して画像が鮮明となり、霰と凍結粒子の判別が可能になった。rainscope ゾンデでは粒子の落下速度を測定することが可能になったが、この情報を使うと、同様の霰でも落下速度、すなわち密度が異なることを示すことができ、生成起源の異なる霰粒子の存在があることがわかった。また、霰について、円形からのずれの指標である円形度を梅雨期と冬期で比較すると特徴が異なっていた。新しい rainscope ゾンデの画像の鮮明さと、落下速度測定機能によって新たな研究の展開が期待される。**高見（鉄道総研／京都大）**は、レーダーによる新

雪密度の推定を目指して行っている塩沢における降雪観測の結果を示した。地上の粒子観測と偏波レーダー観測から、複数の偏波パラメータを用いることによって着氷（ライミング）度合いを一定程度推定でき、新雪密度の推定精度を向上できる可能性を示した。0℃付近における融解、凝集による粒子の変化は非常に大きいため、ビームが上空とならざるを得ないレーダー観測と、地上に降る雪との差が生じる。この間の過程を詳細に明らかにするための新しい観測に取り組んでいることが紹介された。**菅野（電力中央研）**は冬季降雪雲を対象に、**WRF**に導入されている6つの雲物理スキームを用いた実験を行い、ビデオゾンデによる粒子観測との比較を行った。全スキームの傾向として雪と霰の数の比は、数値シミュレーションとビデオゾンデ観測で整合的であったが、質量密度については不整合な傾向にあった。ビデオゾンデ観測の粒子捕捉率の問題も認識され観測側にも誤差要因が含まれていることから、その他の観測も含めさらなる比較検証が期待される。

3.6 発表資料について

一部の発表を除き、発表資料を付録として本報告に収録した。

4. まとめ

「雨（降水系）」研究者と「洪水（河川流域系）」研究者が一緒に議論することによって、水蒸気の流れ、その先で生じる豪雨、豪雨を受ける河川流域という場を一体的に考えることを目的として2022年9月29日（第1回）と2023年1月5日（第2回）に研究集会を開催した。

特に第1回研究集会においては、社会科学系の研究者の参加も多数得られたことによって視野が広がり、豪雨の自然科学的側面の理解だけでは災害までは理解できないことを再認識し、人社会の豪雨の捉え方が災害の大きさを決めるという視点などが得られた。したがって、降水系、河川流域系に加えて、豪雨社会系も包含した視点で研究を進める必要があるように感じられた。今後も相互理解と議論を深め、問題とアプローチを具体化していくことが必要である。2回目の研究集会は、個別の研究の議論が中心となった。複数の大学から学生の参加も多数得られ、発表の半数以上は学生によるものであった。各個人の発表に応じた深い議論ができたこともあり、教育的な波及効果も期待される。

付録 発表資料

- pp. 9-11: 前川智寧 (京都大) : ライフサイクル概念に基づいた豪雨システムにおける渦管挙動の解析
- pp. 12-21: 中澤利恵 (名古屋大) : Ka バンド雲レーダを用いた発達する対流雲の早期識別手法の検討
- pp. 22-25: 神谷太雅 (京都大) : 地形に沿った水蒸気の流入過程と大気の安定度の関係
- pp. 26-27: 河谷能幸 (京都大) : 豪雨発生の偶然性評価を目的とした数値モデルの改良
- pp. 28-30: 佐藤未笛 (茨城大) : 仮想大気環境での積乱雲生成法の改良と組織化に関する数値実験
- pp. 31-34: 村瀬公崇 (京都大) : 地デジ観測と気象モデルによる追跡解析を用いた積乱雲の発達に影響を与える水蒸気構造
- pp. 35-37: 篠田太郎 (名古屋大) : 航空機を用いた鉛直水蒸気プロファイルの観測
- pp. 38-41: 大石 哲 (神戸大) : 境界層レーダー関連の話題提供
- p. 42: 相馬一義 (山梨大) : 神戸での地デジ・陸面関連研究の現状
- pp. 43-44: 原優里佳 (山口大) : Rainscope を用いた固体降水形成プロセスに関する観測研究
- pp. 45-46: 高見和弥 (鉄道総研/京都大) : 塩沢での降雪観測の紹介
- pp. 47-49: 菅野湧貴 (電力中央研) : 冬季日本海のビデオゾンデ観測と WRF の比較