様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　２９　年　　６　月　２７　日現在

機関番号：　１４３０１
研究種目：　挑戦的萌芽研究
研究期間：　2014～2016
課題番号：　２６６３０２２７

研究課題名（和文）「雨の音色の科学」の創出と防災情報としての活用

研究課題名（英文）Science of rain sound and its application for disaster prevention

研究代表者
山口　弘誠（Yamaguchi, Kosei）

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：９０５５１３８３

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,900,000円

研究成果の概要（和文）：雨の音色を工学的に計測し、雨の音色と従来の降雨情報の関係性を明らかにした。１）雨の音色、および従来の降雨情報の観測：　京都大学防災研究所屋上に機器を設置して、雨滴一粒ごとの粒径と落下速度、風速、降雨強度をそれぞれ計測した。さらに、運転する車の中で集音器を設置し、計測を行い、周囲の環境が雨音とどのように関係するかに関しても解析を進めた。２）雨の音色と従来の降雨情報との関係性の解明：　上記の観測データを用いて、従来の降雨情報の関係性の何が周波数に影響するかについて、基礎解析を行った。その結果、雨滴の粒径の代表粒径（中心値）と雨音の強度に強い相関が見られた。

研究成果の概要（英文）：The relationship between sound of rainfall and conventional many rainfall information was analyzed. 1) Observation: terminal velocity of raindrop, wind, rainfall intensity, drop size distribution, and sound information were measured. Additionally, the sensors were set in a driving car, and the effects of noise sound was observed. 2) Understanding of sound of rainfall and conventional many rainfall information: the mean diameter of raindrops are strongly related with the sound intensity of rainfall. This kind of information can be utilized for disaster prevention. The results of this study can imagine the creation on science of rainfall sound.

研究分野：　水文気象学

キーワード：　雨の音色　音響解析　防災情報

１．研究開始当初の背景

ざーざー、ぽつぽつ、しとしと、…、これらの擬音語を聴くだけで、見てもない雨の様子を手に取るように想像することができる。例えば、屋内で過ごしているときに激しい雨が降ってきたら、人はまず、聴覚、すなわち雨音によって豪雨の存在を感じ、窓の外を見て改めて雨を確認するであろう。さて、2012年８月の京都・宇治豪雨（集中豪雨）と2013年９月の台風18号と二つの事例を比べると、いずれも記録的な浸水被害をもたらした豪雨にもかかわらず、申請者が聴いた雨音は大きく異なっていた。宇治豪雨は“どぉーー”、台風18号は“ざぁーー”、であり、宇治豪雨がより騒がしく恐怖感を感じた。その理由の一つとして、宇治豪雨の方がより大粒の雨滴が積乱雲による下降気流によって強く打ちつけられたためと考えている（雨滴の大きさに関しては解析済みであり、下降気流は現在解析中である）。一方で、一般的に豪雨の音は騒音となりかねないので、音を出さない屋根を作るかといった研究も進められている（柴山，2005）が、この豪雨の音こそが貴重な防災情報になり得るのではないかと認識し始めた。

雨音の正体は、一粒一粒の雨滴が地面などに落下する際に発する音の集合であると考えられる。そしてその一粒の雨滴の落下音は、雨滴の大きさ・雨滴の落ちる対象物の種類や状態、雨滴の落下速度を主な要因として決まるとされている。さらに、雨の空間分布や音波の減衰を加味して、集合としての音を普段我々は聴いていることになる。岡野ら（1997）はそれらのモデル化に試みており、雨音と感じるレベルまで成功したと述べている。ただし、一粒の雨の音を作り出すところに難があり、雨音の完全なモデル化には至っておらず、結局のところ、どのような物理量が支配的に働いて雨音を創り出しているのか不明である。

２．研究の目的

1)　雨の音色と、降雨強度・雨滴粒径・雨滴落下速度・落下対象物の種類や状態との関係性を明らかにし、雨の音色をモデル化する。
2)　どのような雨の音色が心地よいのか、もしくは心地わるいのかを明らかにする。
3)　豪雨の音色を防災情報として活用する手法を構築する。

以上３点によって、雨の音色の科学を萌芽的に創出する。

騒音とも捉えられかねない豪雨の音を逆手にとって、豪雨の音色を防災情報として活用したいと考えている点が挑戦的であり、豪雨減災に関する全く新しいアプローチである。人間と雨の付き合い方を考える哲学的な意義を見いだす可能性があるといった観点からも独創的研究である。

３．研究の方法

３．１　雨の音色と従来の降雨情報との関係性の解明、およびモデル化

a）雨の音色、および従来の降雨情報の観測

雨の音色を工学的に計測する。図１に観測サイトである京都大学防災研究所屋上に既存の測器群､表１に観測項目をそれぞれ示す。本研究経費で購入予定の音響計で、音の周波数ごとの音圧を測る。同時に、既存の測器を用いて、雨滴一粒ごとの粒径と落下速度、風速、降雨強度（以降、これらを従来の降雨情報とする）をそれぞれ計測する。また、都市や森林といった場所の異なり、加えて、日中や夜間といった時間の異なりなど、条件の異なるいくつかの場所でも雨の音色の音響観測を行う。条件を変える理由は、周囲の雨以外のノイズ音がどのような影響するかを見積もるためである。

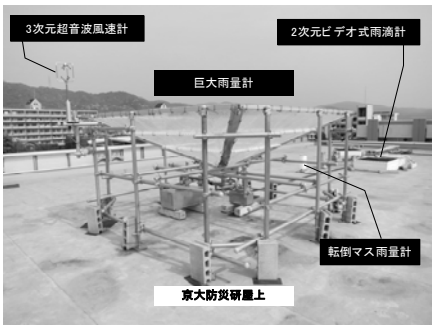

図１　観測サイトと測器

表１　測器名称とそれぞれの観測項目

測器名称	観測項目
音響計	音の周波数ごとの音圧
２次元ビデオ式雨滴計（既存利用）	雨滴一粒ごとの粒径、および落下速度
３次元超音波風速計（既存利用）	３次元風速
巨大雨量計（既存利用）	降雨強度、兼、屋根面としての役割
降雨レーダー（国交省 XRAIN）	高時間空間分解能降雨強度

b）雨の音色と従来の降雨情報との関係性の解明、およびモデル化

上記の観測データを用いて、従来の降雨情報の関係性の何が周波数に影響し、何が音圧に影響するかについて、基礎解析する。その際に、岡野ら（1998）が構築した雨音のモデル化において表現しきれなかった一粒の雨の音に関しては、物理的なモデルの高度化に加えて、一粒の雨の音を周囲のノイズのない環境でサンプリングして、現実の値を代用することも試みる。構築したモデルを観測データによって検証し、雨の音色の再現精度を明らかにする。

３．２　心地よい雨の音色・心地わるい雨の音色の探究

雨の音色の種類によっては、リラクゼーションの効果があることが指摘されており、波の音や小川のせせらぎと同様に、“1/f ゆらぎ”と呼ばれる「ランダムな音と規則性のあ

る音が混ざったサウンド」が癒しの効果を持つと言われている（小松，1991）。そこで、実際に観測された雨の音色や、モデルシミュレーションによって創り出した様々な種類の雨の音色に関して、スペクトル解析から1/f ゆらぎの有無を確認し、さらにアンケート調査によって心地よい音の特徴を探究する。一方で、心地わるい音に関しても、次に述べる防災情報としての反利用価値を考慮して調べておく。

３．３　豪雨の音色を防災情報として活用する手法の構築

研究コンセプトは、「これは豪雨の音色だ！」と容易に気がつくような豪雨の音色を創り出すことで、実際の豪雨時に屋内にいる人が聴覚のみで、いち早く家の外が豪雨で危険な状態であることを探知し、例えばテレビをつけるといった行動を起こしてもらえるかどうかということである。豪雨は降雨強度が大きく、雨滴粒径も一般的には大きい。つまり、音圧を高めるだけのポテンシャルはいうまでもなく持っている。そのため、雨滴の落下対象物、ここでは屋根や窓の素材や形状を条件に合うものを選ぶことで、実際の豪雨に我々の意図する豪雨の音を奏でてもらう。豪雨の音色を創り出す手法は、様々な条件下で実際に観測された音、および、構築する音色モデルのシミュレーションから理想的に数多くのパターンの音を作成し、最適な豪雨の音色がどのような音になるかを絞っていく。その際に、心地よい音、かつ、すぐに気がつく音を探究する。心地わるい音の方がすぐに気がつくと考えることもできるが、豪雨が降り続いている間中ずっと不快な音に我慢するのでは上手な雨との付き合い方とはいえないため、できるだけ心地よい音で豪雨の音色を創ることをキープしたい。本応募研究では、豪雨の音色を創ることに焦点をあてて、本研究の次のステップとして、実際の豪雨に素敵な豪雨の音色を奏でてもらえるような、屋根や窓の落下対象物を開発していきたい。

４．研究成果

雨の音色を工学的に計測し、雨の音色と従来の降雨情報の関係性を明らかにした。

４．１　雨の音色、および従来の降雨情報の観測

京都大学防災研究所屋上に機器を設置して、雨滴一粒ごとの粒径と落下速度、風速、降雨強度をそれぞれ計測した。さらに、図 2 に示す運転する車の中で集音器を設置し、雨音の計測を行い、周囲の環境が雨音とどのように関係するかに関しても解析を進めた。

４．２　雨の音色と従来の降雨情報との関係性の解明

上記の観測データを用いて、従来の降雨情報の関係性の何が周波数に影響するかについて、基礎解析を行った。その結果、雨滴の粒径の代表粒径（中心値）と雨音の強度に強い相関が見られた。(図 2) また、高齢化社会における防災情報の一つとして、車載機への情報提供を目指しています。

図 2　集音器を設置した車とその車内

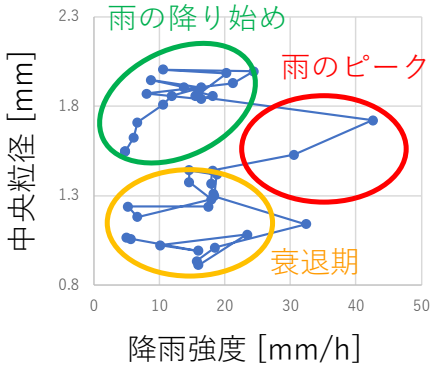

図 3　雨の段階と中央粒径の関係

４．３　豪雨の音色の防災情報としての活用

雨音を防災上へ利用するべく研究を進めてきた結果、雨音としての機械的な利用は部分的には可能であると考えられる。ただし、「豪雨の音色」を奏でるという上質な利用手法の創出においては、人間の雨への向き合い方を含めて、より詳細な検討を続けていく必要がある。

４．４　「雨の音色の科学」の創出

以上ここまで、1）雨の音色と従来の降雨情報との関係性の解明、2）防災情報としての利用、3）豪雨の音色の創作、の 3 段階を踏んで雨の音色についての研究開発項目を述べてきた。頻発するゲリラ豪雨等、雨の降り方に異変がある今日、雨との付き合い方を究めるための一つの観点として雨の音色に着目し、雨ときちんと向き合い、上手につきあっていくことで、暮らしの安全性を高めるという「雨の音色の科学」を萌芽的に創出できるものと期待して、研究を取りまとめる。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計６件）

① 山口弘誠, 古田康平, 中北英一, 2017: 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, *土木学会論文集 B1（水工学）*, 第 73 巻, pp.I_211-I_216.査読有

② 山口弘誠, 高見和弥, 井上実, 中北英一, 2016: 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, *土木学会論文集 B1（水工学）*, 第 72 巻, pp.I_205-I_210. 査読有

③ 山口弘誠, 金原知穂, 中北英一, 2014: X バンド偏波レーダーを用いて推定した雨滴粒径分布の時空間構造, *京都大学防災研究所年報*, 第 57 号 B, pp.314-327. 査読無

④ 山口弘誠, 高見和弥, 井上 実, 須崎純一, 相馬一義, 中北英一, 2016: 豪雨の「種」を捉えるための都市気象 LES モデルの開発と積雲の生成に関する研究, *京都大学防災研究所年報*, 第 59 号 B, pp.256-297. 査読無

⑤ 山口弘誠, 古田康平, 中北英一, 2016: 偏波ドップラーレーダの同化によるメソ対流系の降水予測精度向上に関する研究, *京都大学防災研究所年報*, 第 59 号 B, pp.298-322. 査読無

⑥ 山口弘誠, 2016: 「豪雨を測る、予測するー最新・次世代のレーダー技術による積乱雲の生成・発達メカニズムの解明ー」, 連載企画「強靭化―強くしなやかな社会―」, *測量*, 第 66 巻 7 号, pp.8-13. 査読無

〔学会発表〕（計１１件）

① セミナー：「豪雨の発生・発達を捉えるためのフィールド観測と豪雨予測の未来」, 研究会「寄付成果の実社会への利用に向けて 2」, 京都大学東京オフィス, 東京都港区, 2014 年 4 月 24 日.

② 講演：「豪雨の「発生」を捉えるための新たな挑戦」, 一般公開シンポジウム, 豪雨災害軽減のための基礎研究の魅力と利用技術創出の使命（科研費基盤研究(S)成果発表）, 三宮センタープラザ, 神戸市, 2014 年 8 月 31 日.

③ 講演：「ゲリラ豪雨の“タマゴ”を捉える！」, 平成 27 年度春学期関西大学高槻ミューズキャンパス公開講座ゲリラ豪雨をつかまえろ！, 関西大学高槻ミューズキャンパス, 高槻市, 2015 年 6 月 19 日.

④ セミナー：「積乱雲生成に関するリスク情報創出のためのフィールド観測」, 第 2 回気象水文リスク情報研究分野成果報告会, 京都大学防災研究所, 宇治市, 2015 年 9 月 1 日.

⑤ 講演:「ゲリラ豪雨の“タマゴとタネ”を捉える」, 大阪能率協会第 153 回 OMA テクノフォーラム, 大阪産業創造館, 大阪市, 2015 年 11 月 30 日.

⑥ 講演：「ゲリラ豪雨の種を捉えるための都市効果を考慮に入れた気象 LES モデルの開発とフィールド観測」, 日本気象協会平成 28 年度第 1 回技術研究会, 日本気象協会, 東京都豊島区, 2016 年 4 月 11 日.

⑦ 講演：「ゲリラ豪雨のタマゴとタネを捉える」, 平成 28 年度災害に強いまちづくり講座 I「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, 京都市市民防災センター, 京都市, 2016 年 7 月 3 日.

⑧ 講演：「マルチセンサーを用いた豪雨のフィールド観測と予測」, 第 22 回京都大学宇治キャンパス産学交流会, 京都大学宇治キャンパス, 宇治市, 2016 年 12 月 6 日.

⑨ Yamaguchi, K., K. Furuta, E. Nakakita: Data Assimilation of Ice-Water Mixing Ratios Estimated from Polarimetric Radar Observation, International Symposium on Weather Radar and Hydrology 2014, Washington DC Metropolitan Area, April 07-10, 2014. <poster>

⑩ Yamaguchi, K., K. Furuta, E. Nakakita: Data Assimilation of Ice-Water Mixing Ratios Estimated from Polarimetric Radar Observation, The 8th European Conference on Severe Storms, Wiener Neustadt, Austria, September 14-18, 2015. <oral>

⑪ Yamaguchi, K., K. Takami, E. Nakakita: Basic Development of Urban Meteorological Model Based on Large-Eddy Simulation for Investigation on Convection Genesis, International Symposium on Earth Science 2015, National Weather Center, Norman, OK, USA, September 20-23, 2015. <oral>

〔その他〕（計　２件）

① ラジオ出演: ぼうさい夢トーク, 「Next Generations!」, NHK 大阪放送局, 2016 年 2 月 28 日.

② 新聞記事: 「豪雨予兆 意識を」, 京都新聞朝刊, 2016 年 7 月 4 日.

６．研究組織

(1)研究代表者

山口　弘誠　（YAMAGUCHI, Kosei）
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：　90551383

(2)研究分担者

井上　実　（INOUE, Minoru）
京都大学・防災研究所・特定准教授
研究者番号：　60578954

本間　基寛　（HONMA, Motohiro）
京都大学・防災研究所・特定助教
研究者番号：　80643212