

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02258

研究課題名（和文）都市気象LESモデルによるゲリラ豪雨の「種」の解明と気候変動下の将来変化予測

研究課題名（英文）Understanding of the genesis of guerrilla rainstorms using urban-meteorological LES model and its prediction under climate change

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） 12,000,000円

研究成果の概要（和文）：ゲリラ豪雨を引き起こす単発積乱雲の発生を誘発するサーマルに着目し、サーマルの発生・発達に支配的な要因やメカニズムについて定量的に調査し、気候変動がサーマル自体に及ぼす影響を評価することを目的とした。その結果、熱の発生に関して、サーマルは高い山の裏側や建物が密集している場所で発生しやすいことがわかった。次に、サーマルの発達に関して、雲が発生するサーマルは、雲が発生しないサーマルに比べて上昇流が大きくなることが明らかになった。これは地表付近で暖かい空気が大量に保持され、サーマルが局所的な環境場を変化させるためである。さらに、将来の気候の下では、サーマルや雲の発生数は若干減少することが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

LESモデルが次世代の気象モデルの基礎となることは確実視されており、都市効果を詳細に表現し、かつ、水蒸気や雲物理を計算できる“湿潤LES”の構築は、気象関連分野において疑うことなくパラダイムシフトとなる。ゲリラ豪雨の種のメカニズムを解明することは科学的知見としての貢献はもちろんのこと、5～10年後の“現業観測システムのひな形”としてその現象を監視することができるようになり、リアルタイム防災の意味で極めて有益である。また、気候変動下における豪雨の将来変化を提示することは豪雨の将来変化に適応した水災害対策ハードウェアの整備だけでなく、豪雨そのものを起こしにくい街づくり手法の提案が期待できる。

研究成果の概要（英文）：This study focuses on thermal, which triggers the formation of single cumulonimbus that cause guerrilla-heavy rainfall. The objectives of this study are to quantitatively investigate on the dominant factors and mechanisms of thermal generation and development, and to evaluate the effects of climate change on thermal itself. First, we focused our analysis on the generation of thermal. As a result, it was also found that thermal tends to occur behind high mountains and in densely built areas. Next, we focus on how the thermal develops. Then it was quantitatively clarified that the vertical wind speed and size of the thermal that produces clouds are larger than those of the thermal that does not produce clouds. This is due to the fact that a large amount of warm air is retained near the ground surface and that the thermal changes the local environmental field. Furthermore it was confirmed that under the future climate, the number of thermal and cloud formations would decrease slightly.

研究分野：水文気象学

キーワード：ゲリラ豪雨 LES 渦管 気候変動

### 1. 研究開始当初の背景

ゲリラ豪雨(孤立積乱雲)の発生の予測精度は極めて低い。大気環境場としてのポテンシャルはわかっているが、発生のきっかけがわかっていないということに他ならない。また、ゲリラ豪雨が都市部で顕著に増加していることが統計的に示されており、都市のヒートアイランド効果が指摘されているが、豪雨発生のきっかけとヒートアイランド効果の因果関係を定量的に評価した研究はない。それは定量的に評価するための手段、すなわちモデルや理論が構築されてこなかったためである。積乱雲の発生のきっかけの本質は何か?都市こそがその要因ではないのか?気候変動によってその要因が起こりやすくなっているのではないのか?これが本研究課題の学術的問いである。

さて、積乱雲の生成・発達過程を図1に示し、本研究の対象について述べる。まず、降水レーダーを用いた観測アプローチにより、発達する積乱雲はその生成段階の気流構造において高い鉛直渦度を持つことを明らかにしてきた。これがゲリラ豪雨の「卵」である。その鉛直渦度は鉛直方向に延びた管状をなしており(渦管)、正值と負値のペアの渦管の存在も明らかになっている。最新の研究では、降水粒子よりもサイズの小さい雲粒子に感度のある雲レーダーを用いた解析により、降水粒子が形成されるより前の積雲においては渦管の空間スケールが小さいこと(渦糸)も分かってきた。しかしながら、レーダーの3次元スキャン観測に要する時間間隔は5分間であり、離散的データでは渦糸・渦管の挙動を詳細に追うことができない。

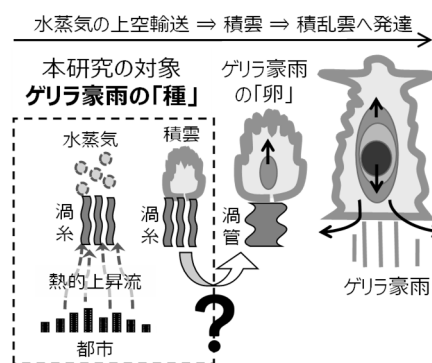


図1 積乱雲の生成・発達過程

一方、レーダーを用いた観測アプローチとは別に、ゲリラ豪雨の卵より前の“水蒸気が上空へ輸送されて積雲ができる過程”を解明するため、数値モデルアプローチを進めてきた。一般のメソ気象数値モデルでは水平空間解像度は高いものでも1km程度であるのに対して、渦糸・渦管を適切に評価するために、乱流を直接的に解くことのできるLES(Large-Eddy-Simulation)に基づき、かつ、数10m程度の解像度で解くことをコンセプトとした都市気象LESモデルの開発をスタートした。プロトタイプモデルを用いた解析によって、i)都市の建物の形状効果によって都市に流入してきた風速にブレーキがかかり、鉛直シア(水平風速が鉛直方向に異なること)が起こって水平方向に軸を持つ渦糸が生まれ、ii)都市の熱効果で発生した熱の上昇流がその水平渦糸を立たせて鉛直渦糸となり、iii)そうして形成された多数の渦糸の内、強い浮力を持つ熱の上昇流に持ち上げられたものが大気境界層を突き抜けて上昇していくことを示してきた。しかしながら、大気境界層を突き抜けた渦糸が組織化して渦管へ成長するプロセスを全く明らかにできておらず、加えて、検証に乏しく現実とのギャップが明らかになっていない。ゲリラ豪雨のメカニズム解明において、渦糸の組織化は間違いなくキーとなるプロセスである。なぜならば、これまでの研究と合わせて、都市の建物によって発生する風の乱れが都市の熱や水蒸気を上空に輸送し、積雲・積乱雲へと成長させる一連の過程を切れ目無く完全に繋ぐことが可能となるからである。

### 2. 研究の目的

積乱雲の発生のきっかけとなる“水蒸気が上空へ輸送されて積雲ができる過程”をゲリラ豪雨の「種」と呼び、以下の2つの目的を設定し、種の本質や特性を明らかにしていく。

- A) 開発してきた都市気象LESモデルにおいて、渦糸形成に大きく影響する都市の熱的空間情報の表現を精緻化するとともに、集中観測によってモデルの妥当性を検証しながら、境界層を突き抜ける渦糸が組織化して渦管へと成長するメカニズムを解明する。
- B) 気候変動下における21世紀末の将来変化の特徴として、「温暖化により大気の大気構造は安定化してゲリラ豪雨が起こりにくい場となる一方で、大気下層の水蒸気量は増える」ことが指摘されている。すなわち、回数は減るが巨大化するかもしれない、と想定されるが科学的な答えは出ていない。明らかにするゲリラ豪雨の種の本質と特性を用いた応用研究として、ゲリラ豪雨の将来変化問題に取り組む。

### 3. 研究の方法

- (1) A. 都市気象LESモデルの精緻化による渦糸の組織化プロセスの解明

#### A1. 渦糸の組織化を捉える集中観測およびモデル検証：2020～2021年度

上昇流を計測できる境界層レーダー、水平気流を計測できるドップラーライダー、雲底の気流渦度を計測できるステレオカメラ撮影、都市の風上側と都市中心の大気環境場を計測できるゾンデ、積雲内の雲粒子数と粒径を計測できる雲粒子ゾンデによる集中観測を現象の発生しやすい神戸市で夏季に実施した(図2)。積雲・積乱雲に関するこれだけ多視的で密な観測網を神戸に設営することはまさに夢の集中観測である。都市気象LESモデルと比較し、単に開発するモデ

ルを検証するだけでなく、ゲリラ豪雨の種となりうる渦糸・渦管の空間・時間スケールを明らかにする。

A2. 都市の熱的空間情報の表現の精緻化と動的リンク化：2020～2021年度

地表面からの顕熱・潜熱の算定に関しては、建物の屋根面等の地表面温度を計算する必要があり、プロトタイプのLESモデルでは陸面過程の事前計算による入力値を固定して与えてしまっている。そこで、太陽光や雲の有無によって変化する日向や日陰の効果と、雲生成による日射量低下の効果モデルに新たに開発導入する。さらに、LESモデルと陸面過程モデルを動的にリンクさせ、陸面過程を直接的にLESモデル内で表現することの有効性を明らかにする。加えて、「B.気候変動下実験」における地表面温度の不確実性を排除するため、気候変動予測に関するアンサンブル情報を用いて詳細な建物分布等を考慮した陸面過程モデルによる事前計算を行い、大気場・海面水温等と同様に地表面温度についてもアンサンブルLES気候予測で使用可能な初期値を作成する。

A3. 他のLESモデルとの相互比較実験：2021～2022年度

都市の形状・熱情報を詳細に表現する本研究の都市気象LESモデルを、同じくLESモデルの一つで雲微物理過程を詳細に表現できる理化学研究所の開発したSCALE (Nishizawa et al., 2015)を比較する。ここでは、豪雨の種を解析するために必要となる都市の解像度要件を明らかにするだけでなく、当該分野におけるLESモデルの将来発展のための礎として貢献する。

A4. 豪雨の種のキーマカニズムの解明と豪雨との関わりの解明：2021～2022年度

渦糸が大気境界層を突破した後の組織化において、渦糸の空間密度や渦糸の強度変化に着目しながら、渦管への成長過程を解明する。単に渦糸が多い方が組織化しやすいのか、それともコアとなりうる強力な渦糸の存在が必要なのかを緻密に解析していく。加えて、組織化とは渦糸の集合体なのか、それとも複数の渦糸が合成した巨大渦糸なのかにも着目する。

さらに、豪雨まで発達するための渦糸・渦管の必要条件を探究していく。以上によって、豪雨の種のキーマカニズムを普遍化する。

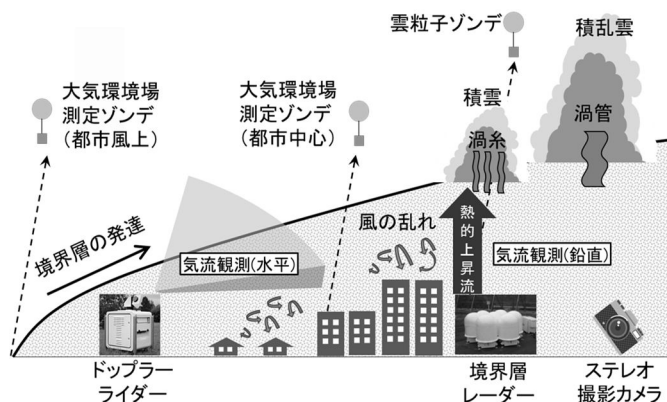


図2 ゲリラ豪雨の種を解明する集中観測

(2) B. 気候変動下における21世紀末のゲリラ豪雨に関する将来変化解析

気候変動下における渦糸・渦管解析を行い、将来変化を防災情報として出力する。

B1. ゲリラ豪雨の生起頻度解析：2021～2022年度

21世紀末における気候変動予測に関するアンサンブル情報を外部境界値として、開発する都市気象LESモデルへダウンスケール計算を行う。海面水温・初期値・シナリオ・モデルの各アンサンブルによる計算情報を入力することで、渦糸・渦管解析を通じたゲリラ豪雨の生起頻度の将来変化を確率情報として明らかにする。ゲリラ豪雨の種が発生しやすい場所と発生しにくい場所が必ず出現すると考えており、防災情報としての利用を検討する。さらに、建物形状や熱分布をどのように操作すれば種が発生しにくくなるのかを挑戦的に示す。

B2. ゲリラ豪雨の強力化・巨大化解析：2022年度

将来、ゲリラ豪雨が孤立積乱雲として、どこまで強力化・巨大化するのかを明らかにする。B1と同様の手法で、最大降雨強度の強化、積乱雲の時間・空間スケールの増大に注視した解析を行う。将来日本においても、米国で発生するような竜巻を伴うスーパーセルが発生しうるかどうかを明らかにする。都市河川計画に有用となるだけでなく、ゲリラ豪雨災害の様相が変化するということを覚悟するという意味において極めて大きな意義を持つ。

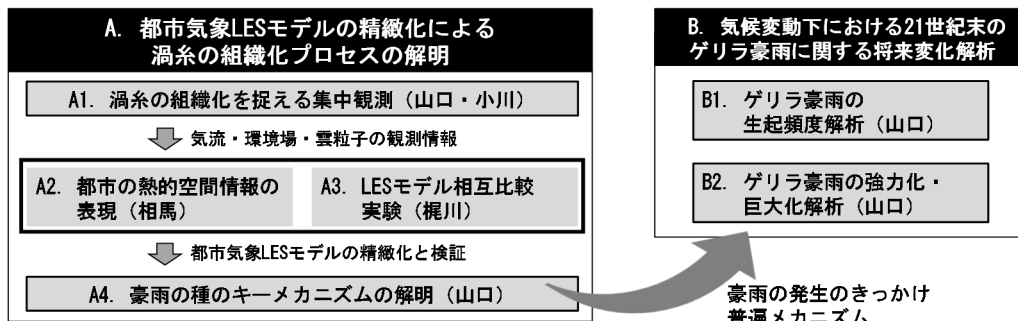


図3 本研究全体のフレームワークと役割



#### 4. 研究成果

##### (1) 熱的上昇流の発生に関する解析

熱的上昇流の発生に着目した解析を行う。最初に、熱的上昇流の発生メカニズムを確認する。山地では、標高の高い山を回り込んだ流入風の山背後の収束によって、都市では、建物手前での流入風の強制上昇や建物を回り込んだ流入風の建物背後での収束や、地表面からの大きな顕熱放出量によって発生する。熱的上昇流の発生においては、上昇流域が地表面付近の暖かい空気を保持するというプロセスこそが最も重要である。

以上のような発生メカニズムに基づいて、熱的上昇流の発生場所を明らかにする。図 4 に現在気候実験における熱的上昇流発生数分布を示す。このように、山地では標高の高い山の背後で多く発生している。都市では、建蔽率が非常に大きいことで顕熱放出量が突出して大きいエリアと、高い建物が密集しているエリアで多く発生している。将来気候でも発生数分布は同様であり、山地背後と建物が密集しているエリアで熱的上昇流は発生しやすい。

そして、熱的上昇流の発生と環境場の関係を探る。その結果、図 - 3 に示すように地表面付近の流入風が弱いほど、熱的上昇流発生数が増えることを示した。これは、流入風が弱い場合、地表面付近の暖かい空気が拡散されず、上昇流域にまとまって輸送されやすいためである。また、流入風が強くて、高い建物が密集しているエリアでは、熱的上昇流が良く発生することを確認した。これは、高い建物が密集しているようなエリアでは、局所的に流入風が弱まるため、熱が溜みやすいためである。総じて、熱的上昇流の発生には、建物の密集こそ重要であると考えられる。

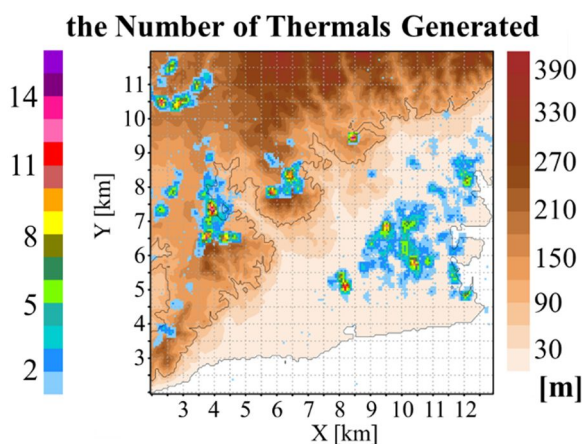


図 4 熱的上昇流発生数分布

右のカラーバーが標高を、左のカラーバーが発生数

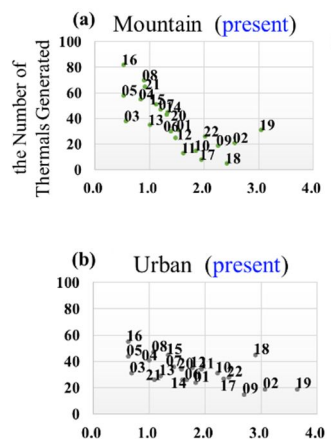


図 5 現在気候実験における(a)山地と (b)都市での熱的上昇流発生数と地表面付近の南風の強さ（横軸）の散布図。数字はアンサンブルメンバー番号。

##### (2) 熱的上昇流の発達に関する解析

熱的上昇流が発生し、その後どう発達するかに着目した解析を行う。最初に、熱的上昇流の発達による雲発生割合と環境場の関係を探る。その結果、大気下層の相対湿度と CIN が大きく影響することを示した。次いで、雲を生成する熱的上昇流と雲を生成しない熱的上昇流の性質の違いを確認したところ、雲を生成する熱的上昇流の最大鉛直風速と、熱的上昇流の保持する浮力が明らかに大きく、雲を生成しない熱的上昇流より強い勢力を保持していることを示した。この要因として、2つ考えられる。

1つ目は、図 6 に示すように「熱的上昇流の発生時点もしくはその直後において、地表面付近で保持する暖かい空気の量が多いため」である。実際、雲を生成する熱的上昇流は、顕熱放出量突出して大きいエリアで多く発生している。すなわち、大きな顕熱放出量の原因である建物の密集によって、熱的上昇流は多くの暖かい空気を保持しやすく、発達しやすいと考える。2つ目は、「熱的上昇流が同じ場所で多く発生することにより、熱的上昇流が発達しやすいような環境場へ局所的に変化するため」である。熱的上昇流の良く発生する場所の水蒸気混合比と、大気の安定度を示す温位鉛直勾配を調べたところ、鉛直方向に 400 m ほど、東西方向と南北方向に 1 km 以上というスケールで、ほとんど定常状態の、局所的な水蒸気量の増加、大気不安定化が確認された。実際、雲を生成する熱的上昇流の発生場所では、多くの熱的上昇流が発生しており、水蒸気量の増加や大気不安定化という局所的な環境場の変化により、熱的上昇流が発達しやすく、結果的に雲を生成しやすいと考える。いずれの要因も、熱的上昇流の発生に深く関わることであり、熱的上昇流の発生が熱的上昇流の発達に大きく影響すると考える。

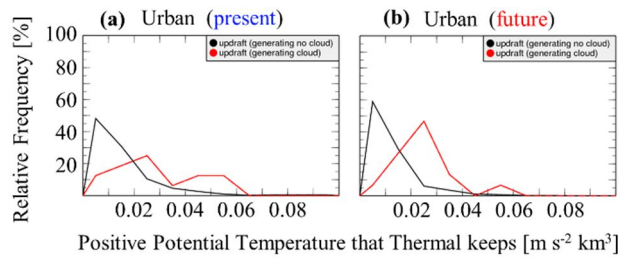


図 6 (a)現在気候と(b)将来気候の都市における，雲を生成する熱的上昇流（赤線）と雲を生成しない熱的上昇流（黒線）それぞれが保持する正の温位偏差の積算値の頻度分布．

### (3) 気候変動影響評価

熱的上昇流自体への気候変動の影響を評価した。その結果、将来気候下において、大気下層が安定化するために熱的上昇流の発生数はやや減少することを示した。

表 1 に示すように、大きな顕熱放出量によって発生する数が、建物による収束によって発生する数に比べて非常に多い。特に、東側の海沿いの顕熱放出量が突出して大きいエリアで雲を生成する熱的上昇流が多く発生していた。また、この顕熱放出量の大きいエリアが環境風の流入方向に広がっているため、このエリアで発生する熱的上昇流は南風によって北側に移動する際に地表面付近から暖かい空気を多く得ることができる。したがって、雲を生成する熱的上昇流が地表面付近で多くの暖かい空気を保持していたのは、大きな顕熱放出量と、環境風の流入方向に顕熱放出量の大きいエリアが広がっていることが要因であると考えられる。すなわち、大きな顕熱放出量の原因である建物の密集によって、熱的上昇流は多くの暖かい空気を保持しやすいのである。

表 1 雲を生成する熱的上昇流における発生要因別の頻度

	建物による収束	大きな顕熱放出量	組み合わせ
現在気候	16	23	3
将来気候	1	11	7
計	17	34	10

また、大気下層の相対湿度の低下と安定化により、都市において雲発生数がやや減少することを示した。しかしながら、これまで述べたように、熱的上昇流の発生は建物の密集こそ重要であり、熱的上昇流の発達には熱的上昇流の発生の方や発生場所に大きく影響されるため、必ずしも気候変動による環境場の変化のみでは熱的上昇流が発生・発達しにくくなるとは言えないと考える。

雲を生成する以前における熱的上昇流に着目した解析により、気候変動による環境場の変化のみによっては、地表面に近い大気下層が安定化するため、「熱的上昇流は発生しにくく、発達しにくくなる」ことを示した。

以上の解析結果から将来気候下でのゲリラ豪雨の様相の変化を考察する。将来気候下では、地表面に近い大気下層の安定化によって、熱的上昇流は発生しにくく、また熱的上昇流の発達は抑えられる。しかし、将来気候下では水蒸気量が増加するため、熱的上昇流が一度雲を生成すれば、多量の水蒸気の凝結によって多量の潜熱が放出され、雲のコアの浮力が増すことで上昇流が強化される。また、上昇流の強化に伴って水蒸気の吸い込み量も増加し、水蒸気の単位時間当たりの凝結量が増加する。そのため、現在気候に比べてより雲が発達しやすい。さらに、SSI の減少に見られるように大気の潜在不安定度が増加するため、大気の安定度の観点からも現在気候に比べてより雲が発達しやすい。これらの結果、ゲリラ豪雨の生起頻度が増加すると考える。したがって、将来気候では現在気候に比べて、雲の発達が非常に促進されやすいと考える。

以上のように、熱的上昇流の発生・発達には、建物の密集が非常に重要である。また、気候変動による環境場の変化よりも建物の高さや配置といった都市の在り方の変化の影響の方が大きいと考えている。しかし、感度実験などによる具体的な建物についての精緻な解析は行っていない。建物の高さや配置と熱的上昇流の発生・発達の関係を明らかにするために、定量的な解析が求められる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 山口弘誠, 河谷能幸, 中北英一	4. 巻 78
2. 論文標題 山岳波がもたらす温位変動に着目したLESによる線状対流系の勃発メカニズムの解明	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_361-I_366
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 大野哲之, 山口弘誠, 中北英一	4. 巻 78
2. 論文標題 線状対流系における水蒸気フラックス・降水粒子のマルチフラクタル特性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_319-I_324
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 Fauziana Ahmad, Kosei Yamaguchi, Eiichi Nakakita	4. 巻 78
2. 論文標題 Polarimetric characteristics of transition from a single-cell to multicell thunderstorms with vertical vorticity analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_343-I_348
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 KIM Hwayeon, 前川智寧, 中北英一	4. 巻 78
2. 論文標題 ゲリラ豪雨の定量的リスク予測に向けた ライフサイクル概念の利用可能性の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_331-I_336
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・河谷能幸・中北英一	4. 巻 65B
2. 論文標題 LESを用いた波動が生起する 線状対流系の勃発メカニズムの解明	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 157-172
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 大野哲之・山口弘誠・中北英一	4. 巻 65B
2. 論文標題 線状対流系の発生・発達におけるマルチフラクタル特性 - 水蒸気フラックスと降水粒子分布の観点から -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 298-306
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 平野 英孝, 相馬 一義, 宮本 崇, 石平 博, 馬籠 純, 黒田 晴, 倉上 健	4. 巻 3(J2)
2. 論文標題 富士川周辺地域における素因と誘因を考慮した土砂災害危険度現況推定手法の構築	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 339-345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.3.J2_339	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, 村瀬公崇, 中北英一	4. 巻 77
2. 論文標題 積乱雲周辺の大気圏中層水蒸気が降雨強化へ及ぼす影響と指標化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 1141-1146
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ginaldi Ari Nugroho, Kosei Yamaguchi, Hironori Iwai, Tadayasu Ohigashi, Taro Shinoda, Kazuhisa Tsuboki, Eiichi Nakakita	4. 巻 77
2. 論文標題 Convective Initiation Characteristics by Doppler Lidar Observation during Ka-band Radar First Echo: A Case Study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 1303-1308
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大野哲之, 山口弘誠, 中北英一	4. 巻 77
2. 論文標題 集中豪雨発生の早期探知に向けた熱力学的効果を伴う渦度場のスケール解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 1129-1134
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高尾充政・中北英一・山口弘誠	4. 巻 64B
2. 論文標題 マルチパラメータレーダ群を用いたグリラ豪雨ライフサイクルと渦管の統合的解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 154-180
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山口弘誠・村瀬公崇・花土 弘・金丸佳矢・川村誠治・相馬一義・中北英一	4. 巻 64B
2. 論文標題 地デジ放送波とGNSSを用いた積乱雲における対流圏中層水蒸気が降水増幅に与える影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 187-207
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Fauziana AHMAD, Kosei YAMAGUCHI and Eiichi NAKAKITA	4. 巻 64B
2. 論文標題 Predicting the Risk Level of Guerrilla Heavy Rainfall by Using the Quantitative Risk Prediction Method with Multiple Doppler Radar Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 208-216
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山口弘誠・黒田奈那・中北英一	4. 巻 64B
2. 論文標題 アンサンブル予測の更新に伴う不確実性の増幅を考慮したリアルタイム線状降水帯予測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 237-276
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大野哲之・山口弘誠・中北英一	4. 巻 64B
2. 論文標題 熱的勾配が駆動する渦度場の解明とデータ同化実験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 277-293
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小川まり子, 山中大学, 甲山治ほか	4. 巻 -
2. 論文標題 スマトラ東部沿岸地域における X バンド気象レーダー観測 - 降雨日周期 の統計的分析 -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第15回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウムプロシーディングス	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ogawa, M., M. D. Yamanaka, A. Awaluddin, O. Kozan, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on diurnal variation of rainfall observed by X-band polarimetric radar in peatlands over Bengkalis Island, eastern Sumatra, Indonesia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of LAPAN-Kyoto University International Symposium for Equatorial Atmosphere and The 6th Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山口弘誠, 大野哲之, 中北英一	4. 巻 76
2. 論文標題 温位勾配に着目した鉛直渦度データ同化手法の提案と理想実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_259-I_264
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 Fauziana Binti Ahamad, Kosei Yamaguchi, Eiichi Nakakita	4. 巻 76
2. 論文標題 Investigation of single cell to multicell in the cluster thunderstorms using vorticity analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_205-I_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 Ginaldi Ari Nugroho, Kosei Yamaguchi, Eiichi Nakakita, Masayuki K. Yamamoto, and Seiji Kawamura	4. 巻 17
2. 論文標題 Utilization of high-resolution boundary layer radar and wavelet to detect microscale downdraft-updraft combination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA)	6. 最初と最後の頁 63-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2021-010	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 Takayabu, I., R. Rasmussen, E. Nakakita, A. Prein, H. Kawase, S. Watanabe, S.A. Adachi, T. Takeni, K. Yamaguchi, Y. Osakada, and Y.H. Wu	4. 巻 31(1)
2. 論文標題 Summary of the 4th International Convection-Permitting Modeling Workshop for Climate Research	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 GEWEX quarterly	6. 最初と最後の頁 14-16
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, 千賀幹太, 中北英一	4. 巻 63B
2. 論文標題 都市気象LESモデルを用いた豪雨の種となる熱的上昇流と渦管の組織化の解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 190-204
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 Ginaldi Ari NUGROHO, Kosei YAMAGUCHI, Eiichi NAKAKITA, Masayuki YAMAMOTO and Seiji KAWAMURA	4. 巻 63B
2. 論文標題 High Thermal and Interaction with Convective Cloud Based from Boundary Layer Radar, Himawari-8 and Time Lapse Camera Observation (Case Study: 11 September 2018)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報	6. 最初と最後の頁 209-216
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 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 倉上健, 相馬一義, 宮本崇, 古屋貴彦, 馬籠純, 石平博	4. 巻 76(5)
2. 論文標題 ショートカット接続を含む深層学習による数値気象モデル降水量予測補正の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 I_471-I_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 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 -

〔学会発表〕 計37件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 豪雨のタマゴとタネを捉える
3. 学会等名 クリアウォーター-OSAKA社内大学特別講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 Forecasting Line-Shaped Mesoscale Convective Systems by Data Assimilation of Polarimetric Radar Data, Understanding of Convection Genesis & Heavy rainfall control
3. 学会等名 JICA研修（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河谷 能幸, 山口 弘誠, 中北 英一
2. 発表標題 LESによる地形と乱れに関する温位変動に着目した線状対流系の勃発メカニズムの解明
3. 学会等名 水文・水資源学会/日本水科学会2022年度研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野 哲之, 山口 弘誠, 中北 英一
2. 発表標題 Xバンドレーダ立体観測に基づいた線状対流系内の降水粒子分布のマルチフラクタル特性
3. 学会等名 水文・水資源学会/日本水科学会2022年度研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河谷 能幸, 山口 弘誠, 中北 英一
2. 発表標題 LESを用いた山岳波が生成する温位変動に着目した線状対流系の勃発メカニズムの解明
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野 哲之, 山口 弘誠, 中北 英一
2. 発表標題 メソスケール降水系における水蒸気フラックスのマルチフラクタル特性の比較
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野 哲之, 山口 弘誠, 中北 英一
2. 発表標題 線状対流系における水蒸気フラックス・降水粒子分布のマルチフラクタル特性
3. 学会等名 第67回水工学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河谷 能幸, 山口 弘誠, 中北 英一
2. 発表標題 山岳波がもたらす温位変動に着目したLESによる線状対流系の勃発メカニズムの解明
3. 学会等名 第67回水工学講演会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 KIM Hwayeon, 前川智寧, 中北英一
2. 発表標題 ゲリラ豪雨の定量的リスク予測に向けた ライフサイクル概念の利用可能性の検討
3. 学会等名 第67回水工学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野 哲之, 山口 弘誠, 中北 英一
2. 発表標題 メソ対流系の組織化における水蒸気輸送・乱流・降水粒子分布のマルチフラクタル特性
3. 学会等名 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村瀬公崇・山口弘誠・花土弘・川村誠治・金丸佳矢・相馬一義・中北英一
2. 発表標題 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
3. 学会等名 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河谷 能幸, 山口 弘誠, 中北 英一
2. 発表標題 豪雨発生の偶然性評価を目的としたスケール相似則モデルのLESへの適用
3. 学会等名 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口弘誠・西村太一・中北英一
2. 発表標題 2008年神戸都賀川豪雨のLES実験と風速場操作による気象制御
3. 学会等名 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩井宏徳、青木誠、相馬一義、山口弘誠
2. 発表標題 ドップラーライダーにより神戸都市域で観測された鉛直渦
3. 学会等名 第25回大気ライダー研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hidetaka Hirano, Kazuyoshi Souma, Takashi Miyamoto, Hiroshi Ishidaira, Jun Magome, Sei Kuroda, Takeru Kurakami
2. 発表標題 Estimation and validation of sediment disaster risk around the Fuji River Basin using deep learning that considers trigger and inherent factors
3. 学会等名 19th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ogawa M.
2. 発表標題 Utilization of hydro-meteorological disaster prevention information for tropical peatlands based on X-band polarimetric radar
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Radioscience, Equatorial Atmospheric Science and Environment (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 豪雨の予兆を捉える 豪雨のタマゴとタネ
3. 学会等名 2021年度日本写真測量学会関西支部特別講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 豪雨のタネとタマゴを捉える
3. 学会等名 豪雨による災害回避に向けた第2回ワークショップ，全日本科学技術協会（招待講演）
4. 発表年 2021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 - 豪雨のタマゴとタネ -
3. 学会等名 第32回京都大学防災研究所公開講座「激甚化し頻発する災害に備える」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 気候変動による豪雨の将来変化，都市が起因する豪雨とその制御の道筋
3. 学会等名 第29回都市住宅学会全国大会メインシンポジウム「気候変動がもたらす都市・住宅の未来」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村瀬 公崇、山口 弘誠、花土 弘、川村 誠治、金丸 佳矢、相馬 一義、中北 英一
2. 発表標題 地デジ放送波とGNSSを用いた積乱雲における大気中層水蒸気が降水増幅に与える影響解析
3. 学会等名 水文・水資源学会/日本水科学会2021年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 FAUZIANA AHMAD、Kosei Yamaguchi、Eiichi Nakakita
2. 発表標題 Analysis of Vorticity Signature on the Merging Cell in the Multicell Thunderstorm from Dual-Doppler Analysis in Kinki Region, Japan
3. 学会等名 水文・水資源学会/日本水科学会2021年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 哲之、山口 弘誠、中北 英一
2. 発表標題 梅雨期集中豪雨における大気下層水蒸気フラックスのフラクタル解析
3. 学会等名 水文・水資源学会/日本水科学会2021年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nugroho Ginaldi Ari、山口 弘誠、岩井 宏徳、中北 英一
2. 発表標題 DOPPLER LIDAR ANALYSIS AT THE EARLY STAGE OF ISOLATED CONVECTIVE CUMULUS CLOUD
3. 学会等名 水文・水資源学会/日本水科学会2021年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村瀬 公崇、山口 弘誠、中北 英一、花土 弘、川村 誠治
2. 発表標題 地デジ放送波とGNSSを用いた積乱雲における大気中層水蒸気が降水増幅に与える影響解析
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 哲之、山口 弘誠、中北 英一
2. 発表標題 発達期の積乱雲における熱力学的効果を考慮した渦度場のスケール解析
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 哲之、山口 弘誠、中北 英一
2. 発表標題 集中豪雨発生の早期探知に向けた熱力学的効果を伴う渦度場のスケール解析
3. 学会等名 第66回水工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口 弘誠、村瀬 公崇、中北 英一
2. 発表標題 積乱雲周辺の大気中層水蒸気が降雨強化へ及ぼす影響と指標化
3. 学会等名 第66回水工学講演会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名	Ginaldi Ari Nugroho, Kosei Yamaguchi, Hironori Iwai, Tadayasu Ohigashi, Taro Shinoda, Kazuhisa Tsuboki, Eiichi Nakakita
2. 発表標題	CONVECTIVE INITIATION CHARACTERISTICS BY DOPPLER LIDAR OBSERVATION DURING KA-BAND RADAR FIRST ECHO : A CASE STUDY
3. 学会等名	第66回水工学講演会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Yuuki Myo, Kazuyoshi Souma, Hiroshi Ishidaira, Jun Magome, Kosei Yamaguchi, Kenji Tanaka
2. 発表標題	Development of a Detailed Land Surface State Estimation Method for Weather Prediction
3. 学会等名	18th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2021) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	小川まり子, 山中大学, 甲山治ほか
2. 発表標題	スマトラ東部沿岸地域における X バンド気象レーダー観測 -降雨日周期 の統計的分析-
3. 学会等名	第15回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Ogawa, M., M. D. Yamanaka, A. Awaluddin, O. Kozan, et al.
2. 発表標題	Study on diurnal variation of rainfall observed by X-band polarimetric radar in peatlands over Bengkalis Island, eastern Sumatra, Indonesia
3. 学会等名	LAPAN-Kyoto University International Symposium for Equatorial Atmosphere and The 6th Asia Research Node Symposium on Humanosphere Science (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 Kosei Yamaguchi
2. 発表標題 Collaboration of CPM, LES, and observation in high-resolution
3. 学会等名 International Workshop on Convection-Permitting Modeling for Climate Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口弘誠
2. 発表標題 ダム操作の高度化へ向けたアンサンブル予測情報の活用方法
3. 学会等名 京都大学防災研究所特定研究集会「降雨予測情報を用いたダムの多面的な操作の高度化」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千賀幹太, 山口弘誠, 中北英一
2. 発表標題 都市気象LESモデルを用いた豪雨の種となる熱的上昇流と渦管の組織化の解明
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会 第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 名生有希
2. 発表標題 気象予測への活用に向けた詳細な地表面状態量予測手法の構築に関する検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川まり子・山中大学・Awaluddin・Arief Darmawan・Albertus Sulaiman・甲山治
2. 発表標題 スマトラ東部沿岸部における降雨日変化 -泥炭地域レーダー観測結果-
3. 学会等名 第14回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム（第428回生存圏シンポジウム）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	相馬 一義  (Soma Kazuyoshi)  (40452320)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授   (13501)	
研究分担者	梶川 義幸  (Kajikawa Yoshiyuki)  (20572431)	国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・上級研究員   (82401)	
研究分担者	小川 まり子  (Ogawa Mariko)  (00785719)	京都大学・東南アジア地域研究研究所・助教   (14301)	
研究分担者	岩井 宏徳  (Iwai Hironori)  (10359028)	国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所電磁波伝搬研究センター・主任研究員   (82636)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------