

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月20日現在

機関番号： 14301

研究種目： 挑戦的萌芽研究

研究期間： 2011~2012

課題番号： 23656305

研究課題名（和文）

豪雨をもたらす積乱雲の卵の早期探知－成長する卵とそうでない卵の違い－

研究課題名（英文）

Early Detection of the Baby Cell Which Develops into Heavy Rain Cell

研究代表者

山口 弘誠 (YAMAGUCHI KOSEI)

京都大学・防災研究所・特定助教

研究者番号：90551383

研究成果の概要（和文）：ゲリラ豪雨災害に対する防災気象情報の高度化が火急に求められている中、地上での降水に先行して大気上空に存在する積乱雲の“卵”の早期探知が至極大切であるが、その卵が豪雨をもたらす積乱雲へ成長するかどうかの判断をする手法を開発した。Xバンド偏波レーダー観測情報から推定する、降水粒子判別・雨滴粒径分布・気流渦度の情報から、ゲリラ豪雨の卵が発達するのかどうかについて解析した。

研究成果の概要（英文）：Localized torrential rainfall causes heavy rainfall disasters, which is produced by an isolated cumulonimbus clouds that grow rapidly. To prevent these disasters, some criteria, hydrometeor classification, raindrop size distribution, vortex index, are developed using X-band polarimetric Doppler radars.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 土木工学・水工学

キーワード： ゲリラ豪雨、偏波レーダー

## 1. 研究開始当初の背景

2008年の神戸市都賀川事例に代表されるゲリラ豪雨災害では、5~10分先降雨予測が極めて重要、かつ困難であり、ゲリラ豪雨災害に対する防災気象情報の高度化が火急に求められている。地上での降水に先行して大気上空に存在する積乱雲の“卵”の早期探知が至極大切であるが、その卵が豪雨をもたらす積乱雲へ成長するかどうかの判断に関して、現状では手立てが存在しない。

豪雨は、発達期～成熟期～衰退期といったライフステージが異なる積乱雲が組織化されて併存する積乱雲群の中の、主に成熟期と衰退期の雲からもたらされる。個々の積乱雲の寿命は1時間未満であるが、繰り返し発生するという自己組織化の様相を呈するので、群としては1時間より遙かに長い寿命を持つ

ことになる。

さて、2008年7月の神戸市の都賀川川辺でリクレーションを楽しんでいた人たちが急激な出水によって押し流されるという悲惨な事故が生じた。これは、レーダーで雨域が探知され出した極めて直後にもたらされた豪雨によって出水が生じた事例で、集中豪雨よりも突然にもたらされる、すなわちレーダーで見えていなかったのに突然現れるという意味で、ゲリラ豪雨とメディアで呼ばれており（気象庁では局地的大雨と呼ぶ）、申請者は、5~10分先降雨予測の重要さと難しさを強烈に認識させられた。気象レーダーでは、降水粒子が上空で多く蓄積され始める発生・発達期のステージ（ここでは積乱雲の“卵”と呼ぶ）で探知することがレーダー性能的には可能であるが、現業用には地上降水

量を高精度に観測することを目的として低仰角ビーム高度を観測していることから、成熟期のステージで初めて探知される。そこで、申請者らの研究グループではビーム仰角を可変させるボリュームスキャン観測（立体観測）の重要性を提唱し続けた結果（中北ら、2010 など）、国土交通省が平成 22 年 7 月に導入した X バンド MP レーダーネットワークではボリュームスキャン観測を試験的に運用開始している。ゆえに、レーダーで卵の状態を探知できる状態であるが、一方で果たしてその卵が豪雨をもたらすような積乱雲へと成長するのかどうかは不明である。

## 2. 研究の目的

国土交通省が平成 22 年 7 月に導入した X バンド MP レーダーネットワークによる観測データを軸として、豪雨をもたらす積乱雲へ成長する卵かどうかの判断基準を多面的に作成することを萌芽的に開発する。ここで、本研究ではゲリラ豪雨の卵に着目している点が独創的であり、卵が成長するかどうかという社会からも極めて有用かつ応用を意識した研究である。

## 3. 研究の方法

国土交通省 X バンド MP レーダーネットワークによる観測情報を用いて、ゲリラ豪雨の卵（図 1 の②もしくは③）の発達に着目しながら、下記の解析を行う。

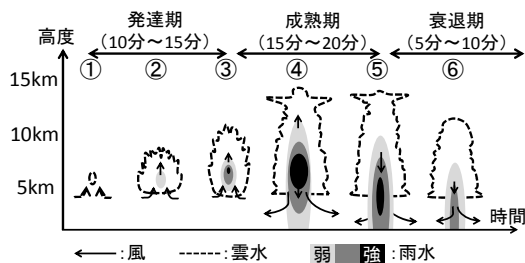


図-1：積乱雲の成長ステージと降水の様子を表す概念図

### (1) 降水粒子種類解析

MP レーダーによって観測される様々な偏波観測値（レーダー反射因子、偏波間位相差変化率、レーダー反射因子差、偏波間相関係数）を入力データとして、ファジー理論によるメンバーシップ関数を用いることで、雨滴、あられ、氷晶、雪片、それぞれの混ざり合い状態のいずれかに分類することができる（図 2 に一例を示す）。あられ粒子が上昇流によって上空へ持ち上げられると卵の危険度が增大するため、図 1 の③のステージにおけるあられ粒子の存在に着目する。

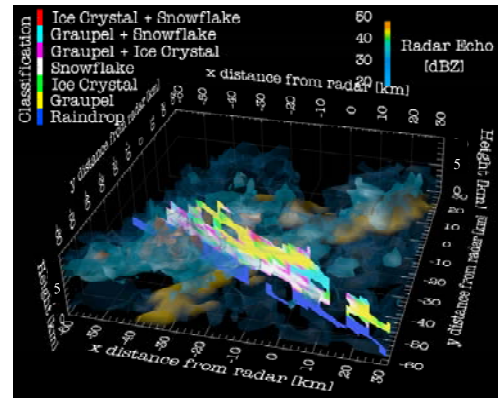


図-2：沖縄本島を南東上空から見たレーダーエコーの 3 次元図、および、ある鉛直断面における降水粒子の混在状態を示す。

### (2) 雨滴粒径分布解析

MP レーダーによって観測される様々な偏波観測値から雨滴粒子に関して、粒径分布を推定することができる。ここでは、Constrained method (Zhang et al, 2001) を用いて、X バンドレーダー（小型）に利用できるように減衰補正の工夫を施した手法を開発する。図 3 に C バンドレーダー（中型）に適用した一例を示しているが、白色点線で囲んでいる部分には大きい粒径の雨滴が存在していることがわかる。図 1 の④のステージに対応しており、この大きい雨滴粒子が大気上空に存在していれば、卵の危険度が增大する。

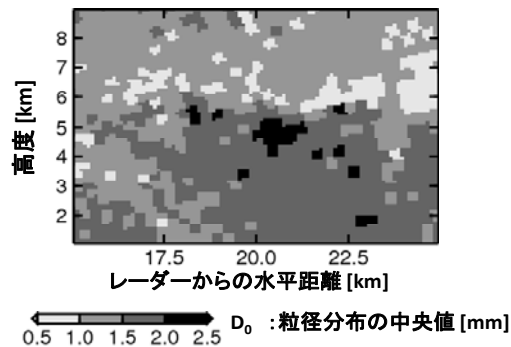


図-3：MP レーダーから推定した雨滴粒径分布の中央値

### (3) ドップラー風速を用いた気流渦度解析

大気には鉛直シアによって水平方向に軸をもつ水平渦が形成されていることがある。ここに積乱雲の形成に伴う上昇気流が存在するとこの水平渦が立ち上がり積乱雲内に鉛直方向に軸を持つ鉛直渦が形成され空気塊は回転しながら上昇していく。水蒸気の凝結熱による加熱が上昇流の加速に大きく寄与していることがわかっており、渦は積乱雲の周囲の水蒸気を積乱雲内に取り込む役

割を果たす。このことから、上昇流によって鉛直渦が形成され、その渦が周囲の水蒸気を取り込み積乱雲内の水蒸気量を増やし、上昇気流を加速させることによってさらに渦を強くするという正のフィードバック効果が見えてくる。従って積乱雲内の渦の存在は積乱雲の発達と深く関連していると考えられることができる。よって、国土交通省 X バンド MP レーダーで観測されるドップラー速度から、渦度を求めてゲリラ豪雨の卵の発達との関係性を調べる。ただし、ドップラー風速はレーダービーム視線方向の風速のみを観測することから、レーダービーム方向と法線方向の風速には仮定を設けて渦度を算出する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 降水粒子種類解析

C バンドレーダーで開発してきた粒子判別手法を X バンドレーダーに適用して降水粒子判別を行った (図-4)。C バンドレーダーで解析した際には霰粒子や霰と他の粒子の混在状態が多く確認できていたが、X バンドレーダーでは必ずしも一致しなかった。例えば、雪片に判別されるケースが多く存在していた。これは、いろいろな形状の粒子が混在していると現状の手法では雪片に判別されてしまうからであり、今後検討の必要がある。別途研究で、発達中の霰の形状は球状に近いということがわかりつつあり、このあたりを考慮した粒子判別手法を今後開発していくことで、ゲリラ豪雨の卵との関連性がより強く見えてくると考えられる。

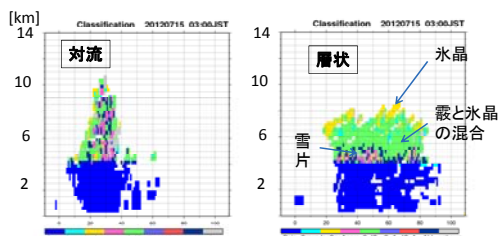


図-4 対流性雲と層状性雲における粒子判別の鉛直断面図

##### (2) 雨滴粒径分布解析

独自に開発した雨滴粒径分布推定手法を用いてゲリラ豪雨の卵を解析した。粒径分布の中央値と傾きのパラメータは卵の時点から高値を示していたが、切片パラメータは小さな値を示した (図 5)。その後積乱雲の発達段階では、DSD の傾向を見ると風下側が小さい雨滴が多く観測されたのち、ともに大きくなり、同時に非常に強い雨が観測された。この時おそらく、小さい雨滴が多数風に流されたのち、風に流されにくい大きな粒子や、落下しながら併合した粒子が観測されたも

のと考えられる (図-6)。今後統計サンプルの数を増やしていくことで、対流性雲における詳細な DSD パラメータの特徴を捉えていきたい。

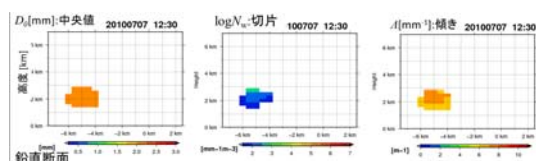


図-5 対流性雲の卵における粒径分布パラメータの鉛直断面図

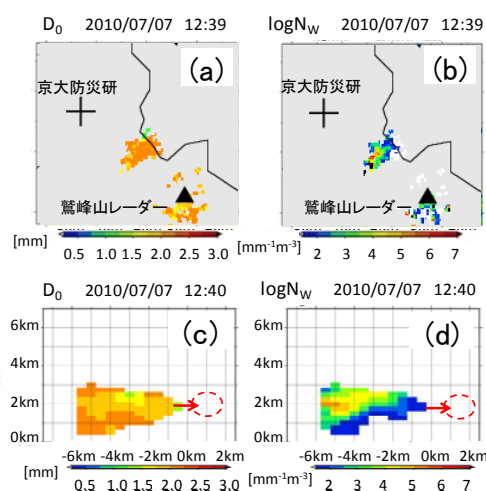


図-6 (a), (b) 積乱雲発達期での DSD パラメータの水平分布. (c), (d) 積乱雲発達期での DSD パラメータの鉛直分布.

##### (3) ドップラー風速を用いた気流渦度解析

渦は豪雨事例 19 のうち、全てでその存在が確認できた。また全ての事例で、渦度が  $0.05 \text{ s}^{-1}$  以上の渦が確認でき、渦度  $0.05 \text{ s}^{-1}$  以上の渦が存在する状態が 5 分以上続いた。

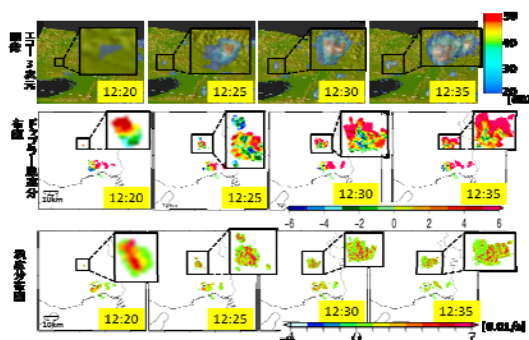


図-7 2010年8月14日(発達事例)の例. 上から順に、XバンドMPレーダによって観測された反射強度の3次元画像、ドップラー風速分布図並びに渦度分布図. 高度は5000mである.

一方、発達しなかった 5 事例に関しても、2010 年 8 月 21 日を除く他 4 事例で渦度が  $0.05s^{-1}$  以上の渦が確認できた。しかし、発達しなかったが初期段階で渦が確認できた事例では、2010 年 8 月 14 日を除き他 3 事例では渦度が  $0.05s^{-1}$  以上の状態が 5 分も続かなかった。このことから、卵の時点および、その 5 分後を解析することで発達する卵かどうかを判別することが可能であることを明らかにした。

#### (4) まとめ

降水粒子判別、および、雨滴粒径分布の解析からは、ゲリラ豪雨の卵の発達傾向が捉えられた。加えて、ドップラー風速による気流渦度解析から、統計的にも有効なゲリラ豪雨の卵の発達に関する指標を作成することができた。今後は大気の安定性など数値予報情報なども加味して精緻な判断基準を作成することが望まれる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- (1) 山口弘誠, 中北英一, 野中理伸, 2013: 9m2 巨大雨量計の開発による地上雨量計の捕捉率の評価, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 69 巻 4 号, pp. I\_307-I\_312, 査読有. Web 公開は後日の予定.
- (2) 中北英一, 西脇隆太, 山邊洋之, 山口弘誠, 2013: ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 69 巻 4 号, pp. I\_325-I\_330, 査読有. Web 公開は後日の予定.
- (3) 中北英一・西脇隆太・山口弘誠, 2012: ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第 55 号 B, pp. 319-330, 査読無.  
<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no55/ronbunB/a55b0p37.pdf>
- (4) 山口弘誠, 金原知穂, 中北英一, 2012: X バンド偏波レーダーを用いた雨滴粒径分布とその時空間構造及び降水量の推定手法の開発, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 68 巻 4 号, pp. I\_367-I\_372, 査読有. Web 公開は後日の予定.
- (5) 中北英一・山邊洋之・山口弘誠, 2011: X バンド MP レーダーを用いたゲリラ豪雨の早期探知と追跡, 京都大学防災研究所年報, 第 54 号 B, pp. 381-396, 査読無.  
<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no54/ronbunB/a54b0p42.pdf>

[学会発表] (計 8 件)

- (1) 山口弘誠, 中北英一: ゲリラ豪雨のタマゴの早期探知とその追跡、および危険性予測, 水文水資源学会平成 23 年度研究会「ゲリラ豪雨対策の社会実装」第 1 回研究会, 崇城大学, 熊本市, 2011 年 12 月 12 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・特定助教  
研究者番号: 90551383

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

中北 英一 (NAKAKITA EIICHI)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号: 70183506