

RCM5を用いたゲリラ豪雨をもたらす大気場の 出現頻度の将来変化の推定

Estimation of Future Change in Appearance Frequency of Atmosphere Causing Guerrilla-Heavy Rainfall using RCM5

中北英一・森元啓太郎⁽¹⁾・峠嘉哉⁽²⁾・草野晴香⁽³⁾・佐藤悠人⁽¹⁾

Eiichi NAKAKITA, Keitaro MORIMOTO⁽¹⁾, Yoshiya TOUGE⁽²⁾, Haruka KUSANO⁽³⁾ and Hiroto SATO⁽¹⁾

(1) 京都大学大学院工学研究科

(2) 東北大学大学院工学研究科

(3) 日立製作所

(1) Graduate School of Engineering, Kyoto University

(2) Graduate School of Engineering, Tohoku University

(3) Hitachi Ltd.

Synopsis

In recent years, there have been flush flood damages caused by localized heavy rainfall, called ‘Guerrilla-heavy rainfall’ in urban areas in Japan. It has been pointed out that increasing rainfall events today can be due to global warming. Therefore, it is necessary to project the future changes of the frequency of such kind of rainfall events. In this study, we implemented some fundamental analysis in August in the Kinki Region, from the view point of both the rainfall distribution and the unstable atmospheric condition. First, we picked up guerrilla heavy rainfall events with visual judgement of rainfall distribution. Then, we analyzed the atmospheric stability of the events that was picked up, using a parameter SSI (Showalter Stability Index). As a result of T-test on the future changes, the trend of future change in the number of guerrilla-heavy rainfall events is similar to that of the number of unstable events.

キーワード: ゲリラ豪雨, 気候変動, 領域気候モデル, T検定

Keywords: Guerrilla-heavy rainfall, climate change, regional climate model, T-test

1. 研究の背景と目的

2014 年 8 月の広島における大規模な土砂災害, 2015 年 9 月の関東・東北地方における浸水被害など, 近年豪雨による災害が毎年のように報告されている。豪雨災害をもたらす気象現象には様々なスケールが存在するが, 我が国においてよく取り上げられる例としては台風, 梅雨期の集中豪雨のほかにゲリラ豪雨が挙げられる。2008 年 7 月兵庫県の都賀川において, 局地的な豪雨による突然の出水で約 50 名が流され, 5 名の尊い命が奪われるという水難事故が発生

した。この事故をきっかけとして「ゲリラ豪雨」という現象が世間で注目されるようになった。ゲリラ豪雨とは「突如発生・発達する積乱雲によってもたらされる局地的な豪雨」をさし, 予測が難しく人命にかかわる被害をもたらす危険性がある。この現象を一刻も早く探知し危険性を予測することを目的として, レーダー等を用いたゲリラ豪雨のリアルタイム予測に関する研究が近年さかに行われている。

一方で近年, 世界各国の経済成長に伴う CO₂ など温室効果ガスの排出量の増加により地球温暖化が進行していると指摘されており, その影響は単なる気

温の上昇にとどまらず、大気循環にも影響を与え降水特性にも変化をもたらす可能性がある。温暖化に伴う気候変動と豪雨との関連には注目が集まっており、気候モデルを用いた研究がさかに行われている。現在、気候変動の研究には全球気候モデル(GCM)が広く用いられ、気象庁気象研究所のMRI系においては、全世界のAOGCMから将来推測される海面水温(SST)を既知の境界条件として、高分解能大気気候モデル(AGCM: Atmospheric Global Climate Model)による将来推定が行われている。AGCMには60kmメッシュのAGCM60と20kmメッシュAGCM20がある。このうちAGCM20は台風や梅雨前線帯のような総観規模の現象はよく再現できるが、梅雨前線のようなメソβスケールの現象の再現は困難である。そこでAGCM20のネスティングにより開発されたのが5kmメッシュの非静力学領域気候モデルNHRCM05(以下、RCM5と記す)である。

これまで、上記の気候モデルの出力データを用いて、災害をもたらす気象現象に対する気候変動の影響評価研究がさかに行われてきた。先に挙げた気象現象の3つの例のうち台風と梅雨期の集中豪雨については、AGCM20やRCM5を用いた影響評価研究が行われ、将来気候における有意な変化が示されている。特に梅雨期の集中豪雨に関しては、7月上旬と8月に増加傾向が見られ、東北地方など過去に豪雨がほとんど発生していない地域でも増加することが報告されている(Kanada et al. 2012)。また、中北ら(2015)はAGCM60によるアンサンブル情報を用いて、梅雨期集中豪雨が生起する際の特徴的な水蒸気フラックスと海面更正気圧に着目し、将来気候において特徴的な大気場の出現頻度が有意に増加することを示した。一方で最近では、ゲリラ豪雨に関しても影響評価研究が行われている。Takemi et al. (2012)は、AGCM20を用いて関東平野を対象に局地降水の環境場の将来変化を診断し、将来気候において降水日の大気が気温成層は安定化する一方で、下層の水蒸気量が増大することを示した。

大きさ数kmでライフタイム1時間程度のゲリラ豪雨に関して、その個々の降雨分布を再現することは5km解像度のRCM5をもってしても困難である。現在、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」(文部科学省, 2015)の中で都市キャノピーを考慮した2kmメッシュの非静力学領域気候モデルNHRCM02(以下、RCM2と記す)による出力が予定されており、都市域で発生するゲリラ豪雨のより精緻な表現が期待される。ただし現状ではまだ利用できない。しかし、そうした再現性の高い気候モデル出力の有無にかかわらず、ゲリラ豪雨に対する気候

変動の影響評価は防災上の観点からも必要不可欠である。

2. 研究の方針

本研究では、ゲリラ豪雨という個々の降雨現象に着目して、ゲリラ豪雨の生起頻度の将来変化を推定することを目的としている。今回は、RCM2に対する予備解析として、解析には現在利用可能な気候モデルの中で最も解像度の高いRCM5による出力を使用することとした。ゲリラ豪雨を台風や梅雨期集中豪雨とは区別したうえで、その出現頻度の将来変化について、降雨と大気場の双方の観点から推定を試みる。具体的には現在気候(1981~2000年)および将来気候(2077~2096年)の各20年について、近畿地方周辺で8月に生起するゲリラ豪雨を対象に、降雨自身とそれをもたらす大気場の双方の観点から解析を行う。ここで「近畿地方周辺」とは、[Fig. 1]に示すように、北緯32.5~36.5度、東経132.5~137.5度という近畿地方を含む領域を指し、これが本研究の対象領域である。

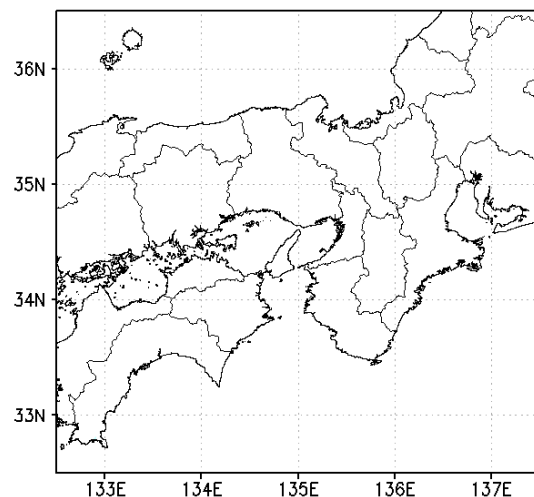


Fig. 1 Study area (the Kinki Region)

研究の流れとしては、はじめに2012~2014年8月に実際に起きたゲリラ豪雨事例を複数事例選ぶ。選んだ事例のレーダーによる250mメッシュの降雨分布情報に対して空間移動平均による平滑化を行うことにより、5kmメッシュ・30分積算で表現されるゲリラ豪雨を把握する。またゲリラ豪雨の特徴的な大気場の推定を目的として、各事例に対応するメソ客観解析データを用いてSSI等の大気場指標を算出する。これらの結果を踏まえ、RCM5を用いた将来変化の推定を行う。降雨の観点では、平滑化操作により得られたゲリラ豪雨の降雨分布に基づき、RCM5による降雨分布出力から目視でゲリラ豪雨を抽出し

その生起日数の将来変化を検討する．一方で大気場の観点では，大気安定度指標 SSI を用いて大気不安定となる日の日数の将来変化を検討し，ゲリラ豪雨事例の将来変化と比較する．

3. 実際のゲリラ豪雨事例の解析

3.1 ゲリラ豪雨事例の抽出

本研究ではRCM5の降雨出力から，数kmの大きさでライフタイムが1時間程度であるゲリラ豪雨の抽出を試みる．しかし，RCM5の時間空間分解能である5kmメッシュ・30分積算で，時間空間スケールの小さいゲリラ豪雨がどのように表現されるかは明らかでない．そこで，実際に生起したゲリラ豪雨について5kmメッシュ・30分積算で表現される降雨分布を把握するため，XRAINによる降雨分布情報を使用した．XRAINにより得られる地上降水強度データは250mメッシュ・1分ごとの出力である．この空間・時間的解像度の高い情報により，ゲリラ豪雨さえもとらえることが可能である．

対象は2012～2014年8月に近畿地方において実際に生起したゲリラ豪雨とした．XRAINによる降雨分布を目視し，ゲリラ豪雨事例として12事例このレーダー降雨分布においてゲリラ豪雨を抽出する際には，「降水強度50mm/hr以上で突発的に発生する局地的な豪雨」をゲリラ豪雨の定義とした．

3.2 レーダー降雨分布の平滑化

RCM5による降雨分布情報は5kmメッシュ・30分積算の出力であり，XRAINによる出力と比較すると，時間的にも空間的にも解像度が大きく異なる．本来5km格子で表現できる現象は波長が20km以上のスケールのものである．5kmメッシュのモデルでは，ゲリラ豪雨のような波長数km～10数km程度の現象を精緻に表現するのは不可能であり，モデルではノイズとして出力されてしまう．

そこで5kmメッシュ・30分積算で表現されるゲリラ豪雨を把握することを目的として，レーダーによる降雨出力を時間平均と空間移動平均を用いて平滑化した．平滑化の手順は以下に示す3段階の手順で行った．今回の平滑化操作の手順を[Fig. 2]に示す．

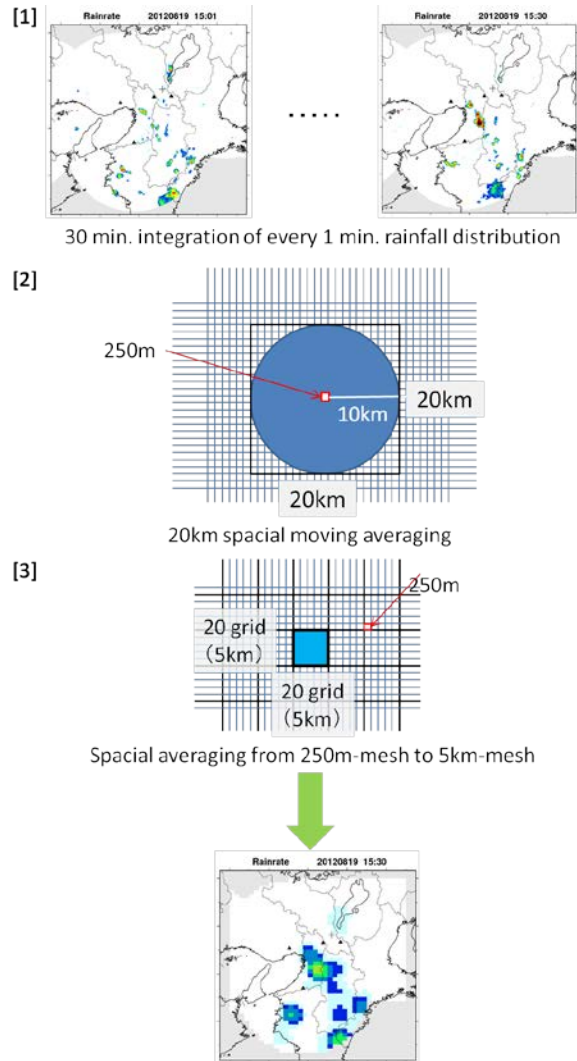


Fig. 2 The flow chart of smoothing the rainfall distribution by X-MP Radar

- [1] まず，1分ごとのレーダーの降雨分布を30個積算して平均することにより，30分時間平均値($r_1(x, y)$ とする)を算出した．例えば15:30における時間平均値を求める場合，15:01から15:30までの30個の降雨分布出力を積算して平均した．
- [2] つぎに，[1]で得られた時間平均値 $r_1(x, y)$ について20kmの空間移動平均を行うことにより，移動平均値($r_2(x, y)$ とする)を算出した．今回の操作では，あるメッシュaから半径10km以内にあるメッシュの値を足して平均したものを中心のグリッドaの移動平均値として与えた．
- [3] 最後に，[2]で得られた250mメッシュの移動平均値 $r_2(x, y)$ を領域平均し，5kmメッシュにした．すなわち，20グリッド×20グリッドの移動平均値 $r_2(x, y)$ を平均して1グリッドの5kmメッシュ領域平均値とした．この領域平均値の分布が，今回目標とするゲリラ豪雨の平滑化された降雨分布となる．

これらの平滑化操作によって得られた降雨分布と元のレーダー降雨分布を比較したものを[Fig. 3]に示す。[Fig. 3]より、単独の積乱雲による豪雨域（図の赤丸）は1.0mm/hr程度の降水強度として平滑化され、発達しない積雲による雨域（図の緑丸）は0.1mm/hr程度の降水強度として平滑化されることが分かった。また空間的にも広がりをもった滑らかな出力となることがわかった。したがって5km メッシュ・30 分積算の降雨出力においてゲリラ豪雨を解析する際には、「降水強度 50mm/hr 以上」というレーダー降雨出力におけるゲリラ豪雨の基準をそのまま適用することはできないと考えられる。そこで本研究では、RCM5 による降雨出力においては 1mm/hr 程度であってもゲリラ豪雨として扱うこととした。このような降水強度の基準および降雨分布を踏まえ、第 4 章では RCM5 の降雨分布を用いた解析を行う。

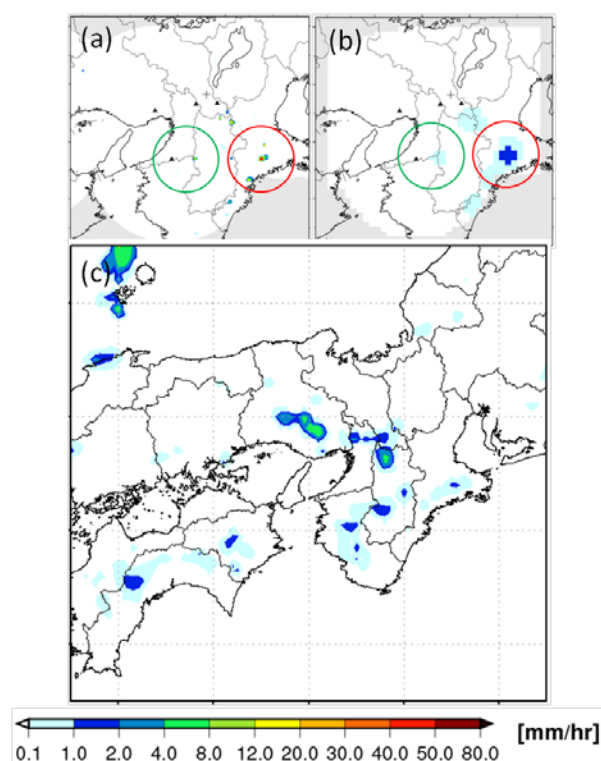


Fig. 3 The comparison of rainfall distribution
([a]the original, [b]the smoothed, [c]the one by RCM5)

4. RCM5を用いた降雨分布の解析

4.1 抽出の条件と流れ

以下では、RCM5 を用いた解析を行う。第 4 章では降雨の観点から解析を行う。まず、RCM5 による降雨出力情報から目視によりゲリラ豪雨事例を抽出する。すでに述べたように本研究では、ゲリラ豪雨を「突如発生・発達する積乱雲によってもたらされる局地的な豪雨」と定義し、第 3 章ではレーダー観

測の降水強度 50mm/hr 以上という条件のもとで実際のゲリラ豪雨事例の抽出を行った。しかし、RCM5 の 5km メッシュ・30 分積算の降雨出力ではゲリラ豪雨の精緻な表現は困難であり、ゲリラ豪雨に対応する雨域の降水強度は 50mm/hr よりも弱く出力されることが考えられる。実際に、3 節の平滑化操作で得られた降雨分布によって、単独の積乱雲による豪雨の降水強度は 1.0mm/hr 程度に表現されることが分かった。したがって、RCM5 出力の降雨分布の目視による解析においては、降水強度の値を基準に加えてゲリラ豪雨の特徴を表現する基準を設け、以下に示す計 6 つの基準に従って抽出を行った。

- [1] 降水強度 1mm/hr 以上
- [2] 雨域の発生、発達が突発的・局所的
- [3] 午後の時間帯（12:00～21:00）に発生
- [4] 団塊状で大きさが数 10km 以内
- [5] ライフタイムが数時間以内
- [6] 生起する場所の付近に降水システム（前線や低気圧等）がないこと

抽出の流れは次のようなものである。まず、近畿地方を含む広域（北緯 31.0 度～38.5 度，東経 129.5 度～142.0 度）における降雨分布を見て、前線や低気圧等の降水システム（以下、降水システムと記す）の存在を確認し、近畿地方周辺の領域（北緯 32.5 度～36.5 度，東経 132.5 度～137.5 度）に対して影響があると判断される日は「降水システム事例」として除外した。つづいて、近畿地方周辺における降雨分布情報から、先に述べた 6 つの基準に基づいて目視によりゲリラ豪雨を抽出し、現在気候（1981～2000 年）と将来気候（2077～2096 年）の各 20 年についてその生起日数をカウントした。1 日にゲリラ豪雨の生起が 2 つ以上確認された場合も、同じ 1 事例日としてカウントした。抽出の流れを[Fig. 4]に示す。また、目視により抽出したゲリラ豪雨の降雨分布の例のうちの 6 個を[Fig. 6]に示す。

このような流れでゲリラ豪雨事例の抽出を行い、先に述べた基準を満たす日を「ゲリラ豪雨事例」、雨が少ないと判断した日を「晴れ事例」、降水システムの影響があると判断した日を「降水システム事例」と分類し、これらに当てはまらないものは「その他」とした。また、8 月を上旬（1～10 日）・中旬（11～20 日）・下旬（21～31 日）のように分けて旬ごとの生起日数の将来変化も検討した。

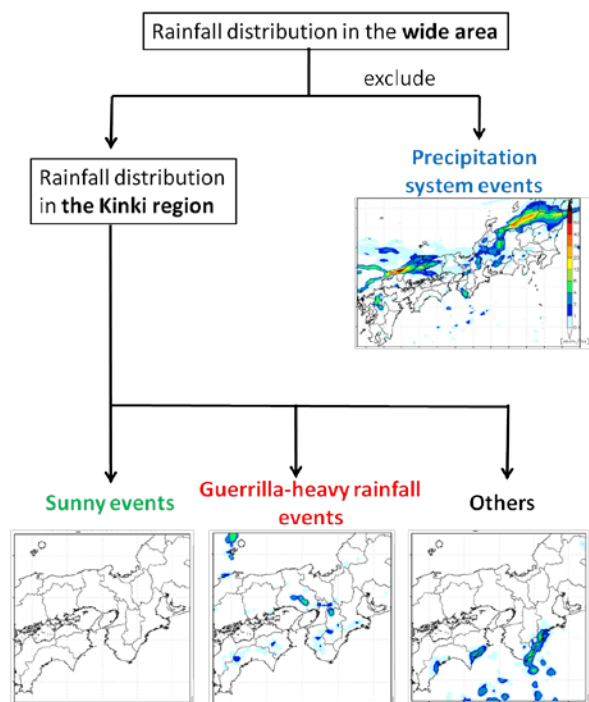


Fig. 4 The flow chart of picking up rainfall events

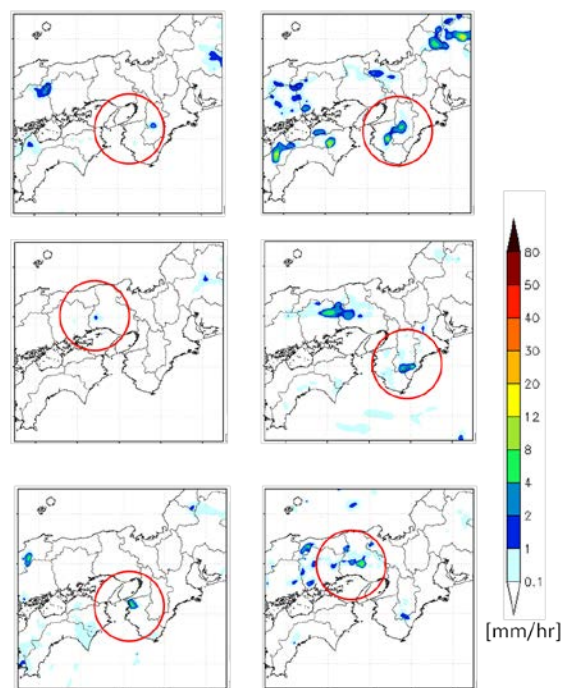


Fig. 5 Six samples of that was picked up on guerrilla-heavy rainfall distribution

4.2 抽出の結果と有意性に関する検定

上で述べたような基準のもとで降雨分布の目視を行った結果、現在気候と将来気候の各 20 年における 8 月全体・8 月上旬・8 月中旬・8 月下旬のゲリラ豪雨の生起日数は[Fig. 6]のようになった。括弧内の数値は 1 年あたりに平均した生起日数を表す。ここで、8 月上旬と中旬は 10 日間であるのに対し 8 月下旬は

11 日間であるため、下旬に関しては 10 日あたりの値に換算している。[Fig. 6]より、どの期間でも将来気候において生起日数が増加していることがわかる。

しかし、これが有意な変化であるかを検証する必要がある。本研究では、T 検定による統計的仮説検定を行って有意性を検討した。ここで統計学的仮説検定とは、ある命題に対して帰無仮説を立て、検定統計量が棄却域を超えるとときに帰無仮説を棄却することによってもとの命題を証明する統計的検定のことである。T 検定とは、帰無仮説を正しいとした場合に検定統計量 T が t 分布に従うことを利用した統計学的検定法である（上田，2000）。 T が棄却域を超えれば有意，超えなければ有意でないと判断する。

ここで検定の手順を簡単に説明する。まず、T 検定を行う前に、2 組の標本の母分散が等しいかどうかを評価するため、F 検定を行う。F 検定では、2 つの標本分散 s_1^2 と s_2^2 をもとに母分散が異なるかどうかについて F 分布を用いて判定する。検定統計量は以下の F である。ただし、サンプルサイズは $n(n_1=n_2)$ とする。

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (1)$$

F 検定の結果、母分散が等しい場合は以下のような式で定義される T を検定統計量として、T 検定を行う。T 検定では 2 つの母集団の平均値が異なるかどうかについて t 分布を用いて判定する。ここで標本平均を $\bar{x}_1$ ， $\bar{x}_2$ とし、サンプルサイズを n_1 ， n_2 とする。検定統計量は以下の T である。

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 1}}} \quad (2)$$

一方 F 検定の結果、母分散が等しくない場合は以下のような検定統計量 T を用いる。

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (3)$$

今回は現在気候と比較して、将来気候のゲリラ豪雨事例日数が年々変動のばらつきを超えて増加しているかどうかを検討するため、片側検定を行った。帰無仮説として「現在気候と将来気候でゲリラ豪雨の生起日数の平均値に差がない」という仮説を立て

た。つまり、「現在気候と将来気候が同一の母集団から抽出された事例である」という仮説を立て、現在気候と将来気候のゲリラ豪雨事例日数から求められる標本平均を比較することで、この仮説が棄却されるかどうかを検定する。

このような条件で上記の4つの期間についてT検定を行った結果も[Fig. 6]に示している。黄色、緑色の枠はそれぞれ5%、10%の有意水準で有意な差があることを表し、枠無しは10%の有意水準でも有意性が無いことを表す。[Fig. 6]から、8月全体において10%有意水準で有意に増加したことがわかる。旬別では上旬と中旬においては有意な差がみられなかったものの、下旬においては5%の有意水準で有意な増加がみられた。したがって、ゲリラ豪雨の生起日数は将来気候の8月において増加すること、特に8月下旬において有意に増加することが示された。

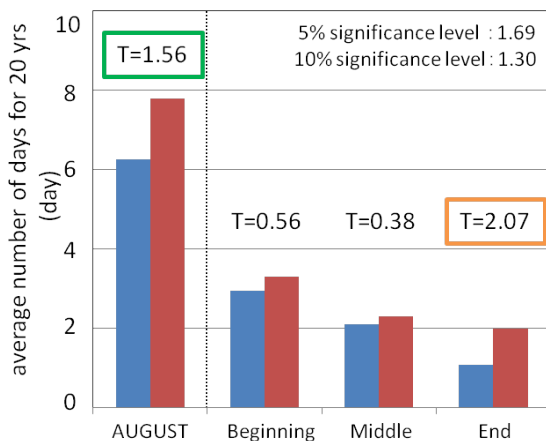


Fig.6 The future change in the number of events guerrilla-heavy rainfall in August
(BLUE bar: present climate, RED bar: future climate / yellow: 5% significant, green: 10% significant)

5. RCM5 を用いた大気場指標の解析

5.1 大気場指標の分布

大気場指標を用いた将来変化の検討を行った。本研究では大気安定度指数として、SSI (Showalter Stability Index: ショワルターの安定指数) を用いた。SSI は大気成層の静力学的安定度の指標の一つである。850hPa の空気塊をまず乾燥断熱的に凝結高度まで持ち上げ、その後湿潤断熱的に 500hPa まで持ち上げる。SSI はこのとき空気塊が示す気温 T_{a850} を 500hPa における気温 T_{s500} から引いた値であり、以下の式で定義される。

$$SSI = T_{s500} - T_{a850} \quad (4)$$

SSI は値が小さいほど大気成層が不安定であることを表す。地域や季節により差があるものの、目安として夏期は SSI が -3 以下のとき雷雨の可能性があるとされている (新田, 2009)。

まず、RCM5 の気圧面データを用いて、850hPa 相当温位、500hPa 気温および SSI の 3 つの指標について、現在気候と将来気候の各 20 年について 8 月のデータを算出し分布を比較した。その結果、上空の寒気 (-5 度以下の気温の分布域) は現在気候においては流入が多くみられたが、将来気候においてはほとんど見られなかった。また、850hPa 相当温位の分布より、将来気候では現在気候と比較して下層の相当温位が増加することが確認された。これは、温暖化により全層にわたって気温が上昇し大気が安定化する一方で、下層においては水蒸気量が増加するという、Takemi et al. (2012) の解析結果と整合的である。一方 SSI については、分布の目視では明確な差を確認できなかった。

5.2 SSI 領域 1%ile 値という指標

これまでの解析は目視による定性的なものであったが、ここで客観的な解析を行った。5.1 項で述べたように、SSI の分布に関しては明確な将来変化が確認することができなかった。そこで、大気安定度指標の SSI に関して将来変化を検討してみることとした。「15JST の近畿地方周辺における、領域の SSI メッシュ値の 1 パーセンタイル値」を SSI 領域 1%ile 値と定義する。すなわち、近畿地方周辺の SSI のメッシュ値を大きい順に並べ、小さい方から数えて 1 パーセンタイルとなる SSI の値 (より不安定側) を、この領域の代表値とみなしている。このような指標を用いたのは、領域の最小値を用いる場合よりもサンプルとしての安定性を保つことができるためである。

5.3 SSI 領域 1%ile 値の将来変化

上で検証した SSI 領域 1%ile 値という指標に関して将来変化を検討した。現在気候と将来気候を合わせたゲリラ豪雨事例と晴れ事例について SSI 領域 1%ile 値に関するヒストグラムを作成したところ、[Fig. 7] のようになった。[Fig. 7] より、SSI 領域 1%ile 値が -1.0 より小さくなると、ゲリラ豪雨事例が急激に増加し、晴れ事例が減少に転じることが分かった。したがって本研究では、SSI 領域 1%ile 値が -1.0 以下であることをゲリラ豪雨が生起しやすい大気不安定日の条件として設定した。以下では SSI 領域 1%ile 値が -1.0 以下となる日を「大気不安定日」と記す。

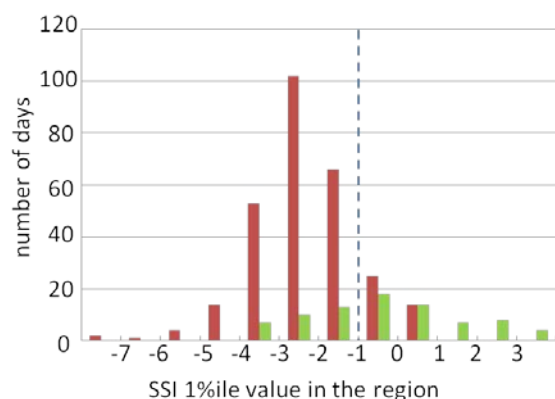


Fig. 7 Histogram of SSI 1%ile value in the region
(RED: guerrilla-heavy rainfall, GREEN: sunny)

そこで、この SSI 領域 1%ile 値によって決まる大気不安定日の日数が将来気候において有意に変化するかどうかに関する評価を行った。ここで、4.1 節の降雨分布の目視において「降水システム事例」に分類された日を除外した。これは、SSI の小さい大気不安定日のうちで、台風や前線といった大きな降水システムと関連する日を除外し、ゲリラ豪雨と関連が強い日のみを対象とするためである。4.1 節で述べたゲリラ豪雨事例の将来変化の評価と同様に、現在気候と将来気候それぞれについて 8 月全体と旬別の期間ごとに、大気不安定日の日数を求めた。各 20 年について 1 年あたりの平均日数を[Fig. 8]に示す。8 月のどの期間においても大気不安定日の日数が増加するという結果となった。

次に、この増加が有意な変化であるかを評価するため、4.2 節と同様に T 検定（片側検定）を行った。その結果を[Fig. 8]に示す。[Fig. 8]より、8 月全体では大気不安定日の日数が 5%の有意水準で有意に増加していることがわかる。また、旬別では上旬と中旬においては有意な差がみられなかったものの、下旬においては 10%の有意水準で大気不安定日の日数が有意に増加するという結果となった。したがって、SSI 領域 1%ile 値が-1.0 以下となる大気不安定日の日数は将来気候の 8 月において、特に 8 月下旬において有意に増加することが示された。

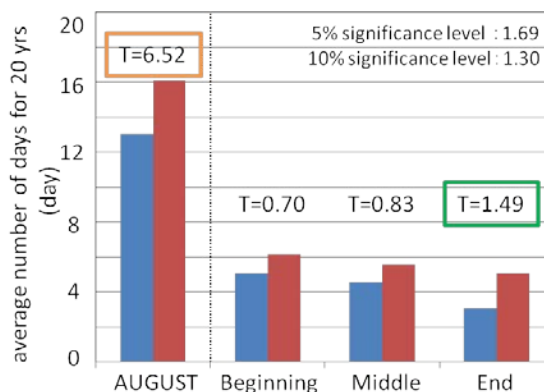


Fig. 8 The future change in the number of unsteady atmosphere events in August
(BLUE bar: present climate, RED bar: future climate / yellow: 5% significant, green: 10% significant)

5.4 結果と考察

以上の RCM5 出力を用いた検討により、ゲリラ豪雨の事例日数が将来気候の 8 月において有意に増加し、大気不安定日が 8 月において有意に増加するという結果が得られた。ここで、ゲリラ豪雨事例日の日数と大気不安定日の日数の将来変化を比較してみる。[Fig. 6]と[Fig. 8]から、8 月上旬と中旬に関してはいずれの将来変化も有意性がみられなかったが、8 月全体と 8 月下旬に関して将来変化の有意性に対応がみられた。したがって、上記の 2 つの将来変化は対応があるといえる。すなわち将来気候の 8 月において、SSI の小さい大気不安定日の日数の増加に伴ってゲリラ豪雨の生起日数が増加する可能性が示唆される。これは、将来気候において降水日の大気が不安定化するという Takemi et al.(2012)の解析結果と整合的である。

今後は、CAPE や収発散といった対流に関する他の大気場指標を用いることで、ゲリラ豪雨事例をより厳密に抽出することができると考えられる。

6. まとめ

本研究ではゲリラ豪雨の生起頻度の将来変化を予測することを目的とし、5km 解像度の非静力学領域気候モデル RCM5 による出力を用いて、8 月のゲリラ豪雨に関して降雨と大気場の将来変化を解析した。

第 3 章では、XRAIN を用いて実際のゲリラ豪雨事例に対応する降雨分布について検討を行った際の手法と結果について述べた。まず、XRAIN によるレーダー降雨分布に対して、30 分時間平均および 20km 空間移動平均による平滑化を行い、5km メッシュ・30 分積算値で表現される RCM5 によるゲリラ豪雨の降雨分布について考察した。5km 解像度では単独の

積乱雲による豪雨の降水強度が 1mm/hr 程度まで平滑化されており、その結果に基づいて RCM5 でゲリラ豪雨を抽出する際の基準を設けた。

第 4 章では、RCM5 による出力を用いて降雨と大気場の解析を行った際の手法と結果について述べた。まず降雨の観点では、5km メッシュ・30 分積算の降雨分布からゲリラ豪雨事例を抽出し、生起日数に関して将来変化を推定した。その結果、8 月全体と下旬においてゲリラ豪雨事例日数が有意に増加することが示された。一方大気場の観点では、大気安定度指標 SSI について SSI 領域 1%ile 値という指標を定義し、その指標に関する検討を行った。SSI 領域 1%ile 値が -1.0 以下であることを大気不安定日の条件に設定し、大気不安定日の日数の将来変化を検討したところ、ゲリラ豪雨事例日数の場合と類似した傾向がみられた。この結果により、大気的不安定化に伴ってゲリラ豪雨の生起日数が増加することが示唆された。この大気場指標 SSI の不安定化は、南からの水蒸気の流入により将来気候において下層の水蒸気量が増大することに起因するのではないかと考えられる。

本研究ではゲリラ豪雨と大気場について別々に将来変化を検討したが、その対応は明らかでない。今回抽出した各ゲリラ豪雨事例に対応する大気場を広い視点から調べる必要がある。

また、梅雨明けの遅れに伴い 8 月において複数の降水システムが同時に生起するような気象状況が多くなると考えられている。本研究では広域の降雨分布の目視によって降水システムの影響のある日を除外したが、このような状況ではゲリラ豪雨を梅雨前線に伴う集中豪雨と区別することが困難になると予想される。今後は、RCM5 出力の降雨分布から、雨域の空間スケールやライフタイムについて閾値を設定したうえで、ゲリラ豪雨に対応する対流性の降水セルの客観的な抽出を試みる。また、都市キャノピーモデルを取り入れた RCM2 出力が利用可能になれば、同様の解析を行い、RCM5 による解析と結果を比較する予定である。

謝 辞

本研究は文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラムの協力のもと、気象庁気象研究所開発の気候モデルを利用して行いました。データ利用の際には、岡田靖子特定研究員に適切なご助言と多大なるご協力を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 上田拓治 (2000): 44 の例題で学ぶ統計的検定と推定の解き方, オーム社会, pp. 210.
- 中北英一・草野晴香・KIM Sunmin (2015): 梅雨期集中豪雨発生要因となる大気場特性の気候変動に伴う出現頻度の将来変化予測, 土木学会論文集 B1 (水工学), 71.4: I_373-I_378.
- 新田尚 (2009): 気象予報士のための最新天気予報用語集, 東京堂出版, pp. 123-124.
- 文部科学省(2015), 気候変動リスク情報創生プログラム: 影響評価のための気候モデルデータの利用.
- Kanada, S., Nakano, M., and Kato, T. (2012): Projections of future changes in precipitation and the vertical structure of the frontal zone during the Baiu season in the vicinity of Japan using a 5-km-mesh regional climate model, *Journal of Meteorological Society of Japan*, Vol.90A, pp. 65-86
- Takemi, T., Nomura, S., Oku, Y. and Ishikawa, H. (2012): A regional-scale evaluation of changes in environmental stability for summertime afternoon precipitation under global warming from super-high-resolution GCM simulations: A study for the case in the Kanto Plain, *Journal of Meteorological Society of Japan*, Vol.90A, pp. 189-212.

(論文受理日: 2016年6月13日)