

42. 日本列島の降水特性の検証と アジア領域の降雨特性分類に関する検討

新垣 和¹・伊藤 圭祐²・川越 清樹^{1*}

¹福島大学共生システム理工学類環境システムマネジメント専攻（〒960-1296福島県福島市金谷川1）

²福島大学大学院環境システム理工学研究科（〒960-1296福島県福島市金谷川1）

* E-mail: kawagoe@sss.fukushima-u.ac.jp

本研究では、地球温暖化に対する適応策を検討する上で、事前のリスク影響評価を行い、率先した将来的な水管理体制を誘導していく目的から、既往の降雨量データを利用し「日本列島が亜熱帯化」を数値的、定式で示すことを試みた。また、今後の地球温暖化影響評価や適応策に資することのできる降雨特性、および気候変動指標になりうる基礎資料を作成することに取り組んだ。

結果として、2000年期から2010年に推移することで日本領域での24時間降雨量の増加と降雨現象の極端化が進んでいることを定量的に示すと同時に、アジア領域における気候に依存した降雨特性を分析し中緯度領域での降雨量増加傾向と甚大な災害の北上傾向を明らかにした。

Key Words : *Global warming, extreme rainfall, water disaster, return period*

1. はじめに

世界各国の研究機関で開発された数値気候モデルにより、人為起源の温室効果ガス排出量増加に伴う気候システムの温暖化が明らかにされつつあり、気温上昇の他、極端な降雨事象の出現が予測されている。IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptationでは、21世紀中に強い降雨の発生頻度あるいは総降水量に占める強い降雨の割合が世界の多くの地域で増加する可能性を説明するとともに「人の生活やその他の社会経済活動等が極端現象により悪影響を受ける可能性がある場所に存在すること」を報告している¹⁾。極端な降雨事象の中に含まれる降雨量増大に関しては、社会の安全を担う治水の設計基準量に大きな影響を与えるものであり、災害のリスクの効率的な運用等の今後の水分野の課題を顕在化させる現象になる。そのため、事前の影響評価を行い、率先した将来的な水管理体制を誘導していくことが必要になる。こうした背景を踏まえ、日本列島を対象に、温暖化に対する水管理体制を提言するための適応策を検討する研究が取り組まれている²⁾。影響評価や適応策の研究を進めるアプロー

チとして、増大の見込まれる降雨の特性を現在から将来にかけて求めることは、より着実な対策、施策を誘導できる基礎的なデータになりうる。また、気候に関連付けた情報として降雨特性を表示することができた場合、例えば気候の異なる他国の水災害、水資源課題を自国に反映させて、今後波及しうる課題を時系列的、空間的に要領よく整理することができ、可能性もある。降雨特性を気候条件に応じて分類することは、今後の水に関わる対策、施策の計画設計を行う上で大きな効用をもつ取り組みと解釈できる。こうした降雨特性を求めるための先行研究として、川越ら³⁾は牛山ら⁴⁾の求めた降雨極値と暖候期降水量の比例的なアルゴリズムを利用し、気候に応じた日本列島の降雨特性を降雨極値変換式より求めることを試みた。この変換式を利用しながら斜面災害に関する危険度を求めている。また、土屋ら⁵⁾は地球温暖化に伴う日本の気候区分の変化を降水状況も踏まえて見積もっている。また、Utsumiら⁶⁾は、気温上昇と飽和水上気圧との関係による関係から水蒸気量が降水量極値を決定付ける可能性を明らかにし、日本列島域における気温上昇の降雨量変化の可能性を地域的に報告している。ただし、こうした降雨特性を気候条件に整理するための取り組みは、日

本列島だけではなく、日本周辺の諸国の気候状況とも比較し、降雨状況を検証していくことが必要である。温暖化を含む気候変動を説明する上で「日本列島が亜熱帯化する」ことをいう説明が多くなされている⁷⁾が、こうした過程を気象データ関連を利用して数値的、定式的に示すことは、今後の課題と必要とされる対応に大きな貢献をもたらすと考えられる。

本研究では、降雨量データを利用し「日本列島が亜熱帯化」を数値的、定式で示すことを試み、今後の地球温暖化影響評価や適応策に資することのできる降雨特性、および気候変動指標になりうる基礎資料を作成することを目論む。本論に示す内容は、以下の1)から3)に示すとおりである。

- 1) 日本列島の降雨データを利用し、現在と過去の降水状況を数値的に明らかにする。
- 2) 現在取得されている世界各国の降雨量データより、日最大降雨量データを整理し、気候との関係性を明らかにするためにケッペン・ガイガーによる気候区分と日最大降雨量出現の関係を求め、気候帯に応じた日最大降雨量の特徴を明らかにする。
- 3) 気候帯に応じた水災害の履歴と比較検証することで日最大降雨量の特徴による災害発生の検証を行う。

2. 日本列島の降雨極値変化の検討

(1) 検討概要

日本列島における降雨極値変化は、川越らによる先行研究の検討手法³⁾を用いて検討された。データセットとして AMeDAS 観測所における 1980 年から 2010 年までのデータを利用し、過去を 1980 年から 2000 年(以下 2000 年期)、現在を 1990 年から 2010 年(以下 2010 年期)に設定して現在と過去の降水状況を数値的に明らかにすることを試みた。検討方法は以下の通りである。

- 1) AMeDAS 観測所毎に経年の最大 24 時間降雨量を頻度解析し、再現期間に対する 24 時間雨量の極値を求める。
- 2) 現期間毎の降雨極値と AMeDAS 観測所の位置するメッシュ気候値の関係を気候タイプ毎の回帰式で示す。
- 3) 2000 年期と 2100 年期の回帰式を比較し、定量的な降雨極値(24 時間降雨量)を比較検証する。

AMeDAS 観測所に対する降雨極値の頻度解析に、確率分布型として極値分布である GEV(Generalized Extreme Value)分布、母数推定法として PWM(Probability Weight Moment)

法を用いる。極値分布は、母集団に対する最大値および最小値の漸近分布である。そのため、降雨や洪水流量の最大値抽出に有効な確率分布である。GEV 分布関数は式(1)から式(3)で求められる。PWM 法は式(4)から式(7)で求められる。GEV 分布による降雨極値は全国各地の AMeDAS 観測所 825 箇所のデータから求められた。

$$F(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\left[1 - \frac{k(x-c)}{a}\right]^{\frac{1}{k}}\right\} & (k \neq 0) \\ \exp\left\{-\exp\left[-\left[\frac{x-c}{a}\right]\right]\right\} & (k = 0) \end{cases} \quad (1)$$

$$F(x) = \exp\{-\exp(-s)\} \quad (2)$$

$$s = \begin{cases} -\frac{1}{k} \ln\left\{1 - \frac{k(x-c)}{a}\right\} & (k \neq 0) \\ \frac{x-c}{a} & (k = 0) \end{cases} \quad (3)$$

$$\beta_r = E\{X[F(X)]^r\} = \int_0^1 x F^r dF \quad (4)$$

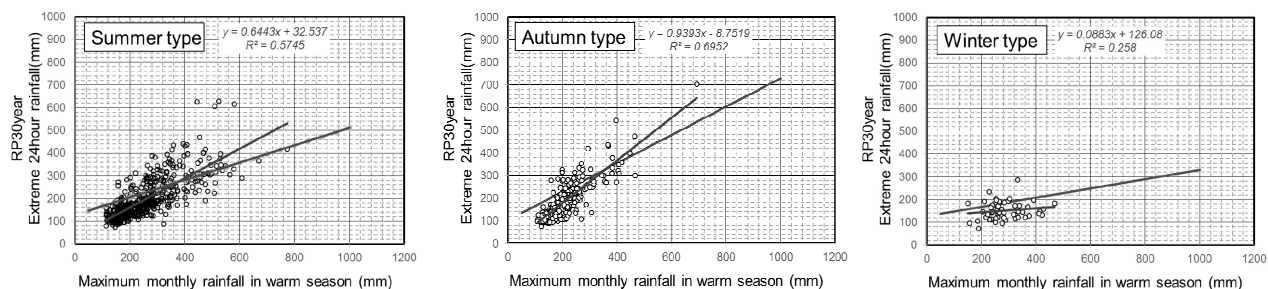
$$\beta_{r+1} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{(j)} \{F(x_{(j)})\}^r \quad (r = 0, 1, 2) \quad (5)$$

$$\begin{cases} \lambda_1 = \beta_0 \\ \lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \\ \lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \end{cases} \quad (6)$$

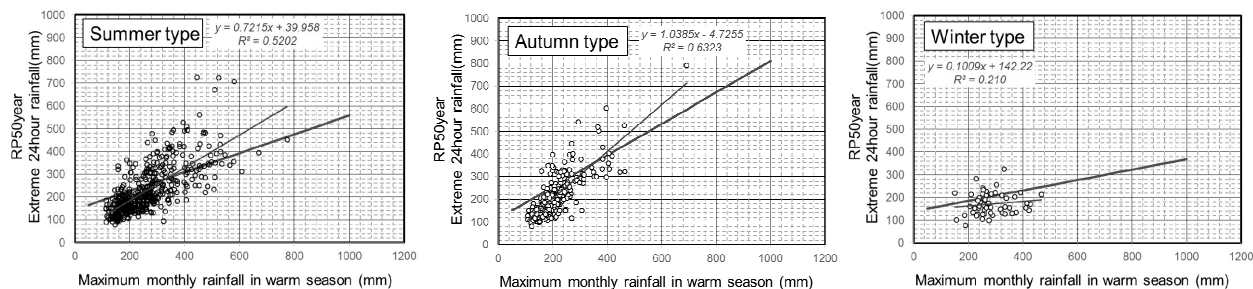
$$\begin{cases} \lambda_1 = c + \left(\frac{a}{k}\right)[1 - \Gamma(1+k)] \\ \lambda_2 = \left(\frac{a}{k}\right)(1 - 2^{-k})\Gamma(1+k) \\ \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} = \frac{1 - 2^{-k}}{1 - 3^{-k}} \end{cases} \quad (7)$$

ここで、 S :標準変数、 β_r :確率重み付積率(PWM)、 $E\{\cdot\}$:期待値演算子、 $F(X)$:確率変数 X の分布関数、 $x_{(j)}$: N 個の標本を大きさ順に並べ換えたときの小さいほうより j 番目の値、 $x_{(j)}$:標本による PWM の推定値、 $x_{(j)}$: のプロットイングポディション、 L :積率、 $\Gamma(\cdot)$:ガンマ関数、 c, a, k は母数パラメータである。

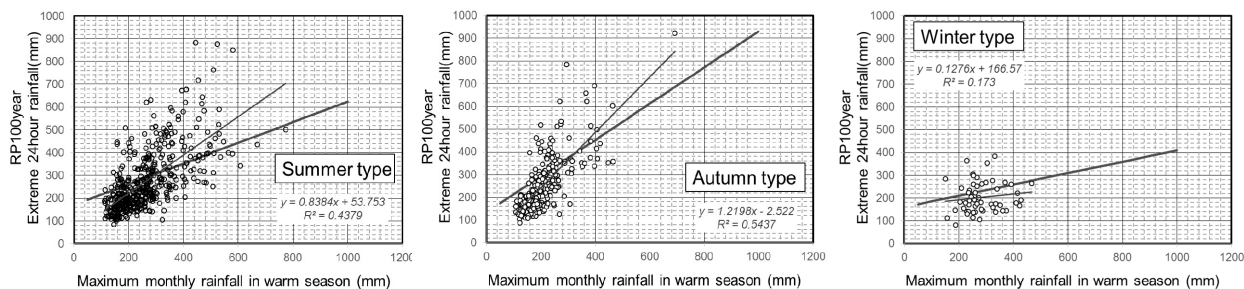
1), 2)の解析により日本列島を降雨を基に気候特性を踏まえた区分することを試みる。なお、 λ_r 気候区分に関しては、四季別に降雨特性を捕らえることで気候依存した分類を行う条件にした。気候依存した降雨イベントを台風を例に説明すると、日本列島の北側ほど勢力が弱まり、降雨分布の地域格差が生じる。こうした事例に示される地域的な特徴、そしてこの地域に関わる気候特性を四季別にするこ



(1) 再現期間 30 年の降雨極値(24 時間降雨量)



(2) 再現期間 50 年の降雨極値(24 時間降雨量)



(3) 再現期間 100 年の降雨極値(24 時間降雨量)

図-1 気候区分における日本列島の降雨極値変化結果 (赤：2000 年期，青：2010 年期)

とで理解しやすく示すことを試みている。

春型は 3 月から 5 月，夏型は 6 月から 8 月，秋型は 9 月から 11 月，冬型は 12 月から 2 月と区分し，春と夏型，秋型，冬型毎の暖候期中の最大月降水量と，AMeDAS 観測所の再現期間に対する降雨極値を用い，気候に応じた回帰式をもとめた。春季に最大降雨量を示す地域は，薩南諸島以南のみであること，この地域の夏季と春季はほとんど降雨差がないことの原因から夏型に統合した。

表-1 日本列島の降雨極値変換式の係数

再現期間	季節型	2000 年期		2010 年期	
		係数 a	切片 b	係数 a	切片 b
30 年	夏型	0.38	127.53	0.64	32.53
	秋型	0.62	104.25	0.94	-8.75
	冬型	0.20	125.75	0.08	126.08
50 年	夏型	0.41	144.3	0.72	39.95
	秋型	0.69	116.12	1.03	-4.72
	冬型	0.22	139.16	0.10	142.22
100 年	夏型	0.45	170.17	0.83	53.75
	秋型	0.79	133.86	1.21	-2.52
	冬型	0.24	160.15	0.12	166.57

(2) 検討結果

日本列島における降雨極値変化の結果として，再現期間 30 年，50 年，100 年を図-1 に示した。また，各変換式(回帰式)の係数の関係を表-1 に示した。切片の傾向は 2010 年期のほうが小さな値を示す傾向を示す一方で，傾き係数は 2010 年期のほうが大きな値を示すことが明らかにされた。この数値情報は，切片について気候的な潜在の 24 時間降雨量が小さくなって

いることを示している。その一方で，傾きついて気候帯の中で多雨になりやすい地域については降雨量増加していることが示されている。そのため，同じ気候帯の地域の中で降雨量の増減が大きく認められていることを示唆している。つまり，IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change

Adaptation に記載された総降水量に占める強い降雨の割合が大きくなる地域と小さくなる地域が日本国内の気候区でも分かれていることが明らかにされている。こうした結果は、降雨現象から求めることのできる地域別の災害リスクの違いを誘導させるべき指標になるため、適応策の具体的誘導に資することのできる資料になりうる。

3. アジア領域の降雨特性分析

(1) 検討概要

人口増加と気候変動の影響が同時的に生じており、“Too much water（水災害）”，“Too little water（渇水）”の問題が顕在化している。また、日本の周辺国であるアジア領域の降雨特性分析を行った。アジア領域の降雨特性分析は、現在取得されている世界各国の降雨量データより日最大降雨量データを取得し、ケッペン・ガイガーによる気候区分と比較することで日最大降雨量出現の関係を求めた。詳細は以下の 1) から 3) に示すとおりである。

- 1) 現在取得されている世界各国の降雨量データより、日最大降雨量データを整理した。
- 2) 気候との関係性を明らかにするためにケッペン・ガイガーによる気候区分と日最大降雨量出現の関係を求め、気候帯に応じた日最大降雨量の特徴を明らかにすることに取り組んだ。
- 3) また、参考情報として、気候帯に応じた水災害の履歴と比較検証した。日最大降雨量の特徴による災害分析の基礎データを整理した。

降雨分析の具体的な解析方法は以下の 1) から 4) に示すとおりである。

- 1) NOAA Satellite and Information Service, NNDC CLIMATE DATA Online(<http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo>)よりアジアモンスーン地域の 1982 年から 2011 年の日降雨量データを取得し、日最大値降雨量などのデータ整備を行った。
- 2) Hijmans, R.J. et al⁸⁾ により開発された高解像度 (1km×1km) の月平均気温、月平均降雨量データを利用し、ケッペン・ガイガーの気候区分を行った。
- 3) 1), 2) データを利用して、気候帯に応じた日最大降雨量の特徴を明らかにした。
- 4) アジア防災センターが整理した災害データベース (http://www.adrc.asia/latest_j/index.php) を利用し、気候帯の災害状況を整理し、気候帯、降雨量との比較検討を行った。

(2) 検討結果

解析結果の一例として、図-2 に Hijmans らの解析結果(気候値データ)を基に分類したケッ

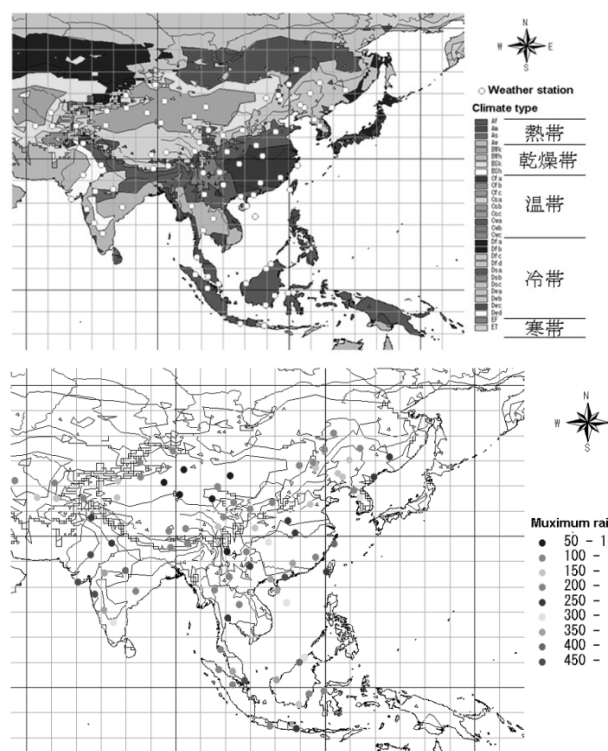


図-2 ケッペンの気候区分と日最大降雨量の分布

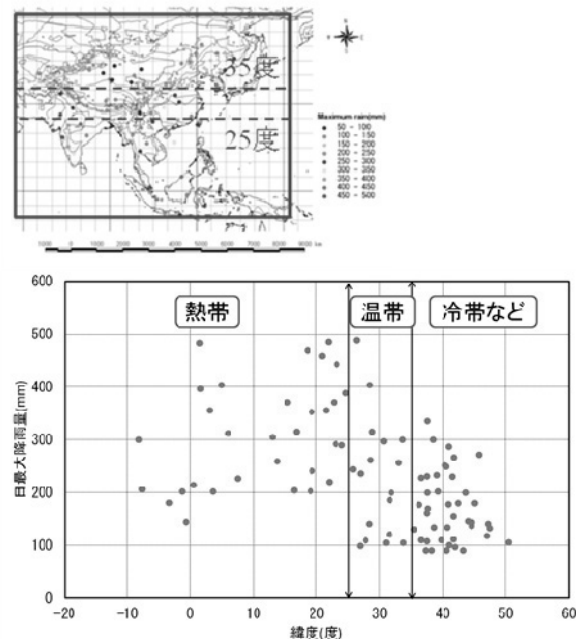


図-3 緯度と日最大降雨量の関係

ペン・ガイガーの気候区分と、降雨データによる日最大降雨量の分布を示す。この 2 つの図を比較すると、高緯度になるにつれて日最大降雨量が小さくなる傾向と、空間的に気候帯と降雨極値の間に強い関係の傾向が見てとれる。図-3 は、緯度に応じた日最大降雨量の関係図である。この図より、ある特定の緯度で

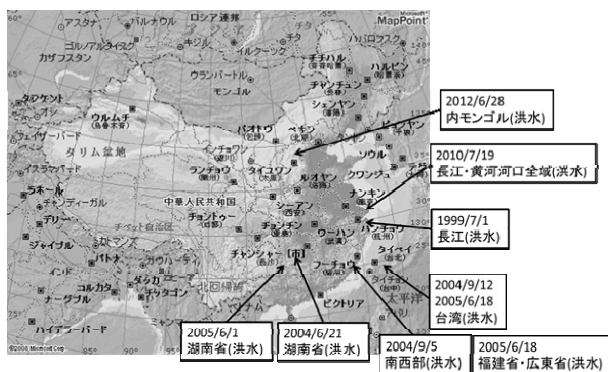


図-4 アジア各国の水災害の事例

極端に日最大降雨量が変化する．例えば熱帯と温帯の境（ここでは大局的に約北緯 25 度とする）で日最大降雨量は，熱帯で 200mm から 500mm の範囲，温帯以北で 100mm から 300mm の範囲に集約されていることが見てとれる．このように，気候帯に応じて日最大降雨量の変化は大きく異なる傾向が示されており，温暖化が生じて気候帯が変化した場合は，降雨極値量の変化も極端に生じると推測され，熱帯と温帯の境が将来的に北上した場合，気候帯が遷移した地域の日最大降雨量がどの程度大きくなるのかを説明する要素になりうる．以下に得られた結果の詳細を列挙する．

- 1) 気候帯と日最大降雨量は強い関係性を示す．
- 2) 温暖化に伴う気候遷移により中緯度地域で日最大降雨量が将来的に増大する可能性がある．
- 3) ヒマラヤ・チベット地域や，インダス川，長江などの大河川流域はこの傾向と異なる固有性を持っている可能性が高い．

(3) 災害状況との比較検討

図-4 に熱帯温帯境界・温帯で起こった甚大な水災害の位置関係を示す．図より，中国の長江流域，黄河流域などの大河川周辺で甚大な災害が増加傾向にあることがわかる．これは気候変動の影響も考えられるが，これらの地域では近年特に人口が集中してきていることから，人口増加による影響も大きいと推測される．また，発生年月日を見てみると，近年甚大な災害が北上している可能性も考えられる．

4. まとめ

日本領域における再現期間 24 時間降雨量の地域および気候特性の検証を試みた．また，気候変動状況を捉えるため日本周辺に位置するアジア領域まで包括した降雨極値の傾向を空間的に検討することに取り組んだ．

結果として，2000 年期から 2010 年に推移す

ることで日本領域での 24 時間降雨量の増加と降雨現象の極端化が進んでいることを定量的に示すと同時に，アジア領域における気候に依存した降雨特性を分析して中緯度領域での降雨量増加傾向を甚大な災害の北上傾向を明らかにした．日本列島を中心とした中小規模スケール，アジア領域を対象とした大規模スケールの双方から降雨極値が極端な傾向になることが求められ，増大の傾向を示すことが明らかにされた．そのため，降雨量増大に対する適応策を順次計画することが必要と解釈できる．

ただし，現段階の結論は，特にアジア領域について，いまだ定量的な段階まで達していない．そのため，日本で実施した気候に応じた定量的な解析を加えて，より効果的な気候特性を明らかにするための結論を求め，地球温暖化に伴う降雨量増大に対する適応策を検討する意向である．

謝辞：本研究は環境省地球環境研究総合推進費（S-8）の研究助成によって行われた．ここに記して謝意を示す次第である．

参考文献

- 1) IPCC : Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, <http://ipcc-wg2.gov/SREX/>, 2011
- 2) 手塚翔也・小野桂介・風間聡・小森大輔：極値降雨，流出量に基づく洪水被害推定およびその将来変化，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.70，No.4，I_1501-I_1506，2014．
- 3) 川越清樹・風間聡・沢本正樹：数値地理情報と降雨極値データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築，自然災害科学，Vol.27，Issue 1，pp.69-83，2008．
- 4) 牛山素行・寶馨：AMeDAS データによる暖候期降水量と最大 1 時間・日降水量の関係，水文・水資源学会誌，Vol.16，No.4，pp368-374，2003．
- 5) 土屋十圓・沼山翔：地球温暖化にともなう日本の気候区分の変化，地球環境研究論文集，Vol.18，p45-p.51，2010．
- 6) Utsumi N, Seto S, Kanae S, Maeda EE, Oki T. Does higher surface temperature intensify extreme precipitation? Geophysical Research Letters. 2011;38(16):L16708.
- 7) Hijmans,R.j.,S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A.Jarvis : Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas.International Journal of Climatology 25:pp.1965-1978,2005.