

高知県中部の日降水量頻度分布に現れる 気候データ解像度の標高依存性

横山 正樹*, 西森 基貴*

**Elevation dependency of spatial resolution of climate data in daily precipitation distribution
in the middle area of Kochi**

Masaki YOKOYAMA and Motoki NISHIMORI

*National Institute for Agro-Environmental Sciences, 3-1-3 Kannondai, Tsukuba, 305-8604, Japan

Abstract

Recently, climate models have been developed on spatial resolution. Although it is getting possible to analyze on river basin scale, we should understand model characteristics because of uncertainties of climate models. We analyzed the relationship between extreme daily precipitations and elevation by using daily precipitation data taken from observations and climate models. The results show as follows: (1) Daily precipitation distributions of data set with higher spatial resolution would approach to observational value. (2) Relationship between data set resolution and extreme daily precipitations has elevation dependency. (3) In case of higher resolution, extreme daily precipitations have a tendency to be suppressed more strongly at higher elevation.

Key words : Climate model, Spatial resolution, Extreme daily precipitation

1. 背景

台風が常襲する高知県は全国的にも年間降水量が多い地域であり、豪雨による気象災害、降雨特性など雨に関連する様々な研究が行われてきた。高知県内を襲った豪雨により過去幾度となく大規模水害に直面した経験上、地元住民にとって気象現象の中でも降水に対する関心は特に高い。一方、過去1世紀にわたる日本国内の降水量観測データでは強い降水の発生頻度が近年増加していることが報告されており¹⁾、世界各地で見られる類似の現象は地球温暖化に伴う大気中の水蒸気量の増加が原因として指摘されている²⁾。今後さらに温暖化が進行すれば、局所的に発生する降水量は今後も変化する可能性がある。例えば、佐藤ら(2013)³⁾や井芹・鼎(2014)⁴⁾では将来の温暖化を仮定して確率台風モデルを使用し、高知県における降雨の将来変化と県内の河川流量との関係を論じており、高知県内の河川流域に焦点を当てた流量の将来予測を行っている。

一般的に、地球温暖化による降水量の将来予測は気候モデルを使用して行われるが、予測情報における重要な問題として、1. 雲や降水に関わる物理プロセスが気候モデルに十分に反映されていない、2. 気候モデルの空間解像度が粗い、などの理由により気候モデルの出力値には常に不確実性を伴う。しかし、複数の気候モデルを使用したアンサンブルを取ることで、将来予測に関する全体的な傾向を把握することは可能であると考えられており、日本列島のうち比較的広い範囲をとって降水特性に関する研究が行われている。道弘ら(2012a)⁵⁾の研究では、29におよぶ全球気候モデル(General Circulation Model: GCM)の出力データを使用し、複

* 独立行政法人農業環境技術研究所 〒305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3

数モデルの選別による 1980～1999 年までの流域スケールでの月別平均降水量とアメダス観測降水量との相関関係を調べたところ相関係数が 0.8 を超え、マルチモデルアンサンブルによる現在気候の再現性の向上および有効性を示している。同時に、近年では、領域気候モデル(Regional Climate Model: RCM)など空間解像度の高い気候モデルが登場し、不確実性は依然として残っているものの気候モデルによって空間詳細な予測情報を取得することが可能になってきた⁹⁾。このように生活圏での活用が期待できる空間スケールへと徐々に近づいてきた。

一方、現在の降水量将来予測は空間解像度の低い全球気候モデルから高い地域気候モデルまで複数の異なる解像度のモデルを使用しているため、流域スケールで気候モデルの空間解像度の差異が降水量出力値の振る舞いにどのような影響を与えるのか的確に把握することが重要である。特に高知県は県北に山脈がそびえ南方には太平洋が広がり、我が国有数の多雨地帯となっている。こういった高知県の持つ特徴的な地形と、それによる降水量への影響に関する代表的な研究として、例えば二宮(1977)⁷⁾では、台風が四国西側を通過した際の高知県での降水量を調べ、台風の進行にともなう風向の変化に対応して降水量の極大域が脊梁山脈の南縁に沿って移動すること、風上地点での弱い降水に対して山地で著しく増幅するといった地形的な特徴による降水パターンへの影響を詳しく報告している。また、一(2013)⁸⁾の研究では、高知県南西部で発生する大雨に注目し、地形が及ぼす影響について地形と風向との観点から調べ、南寄りの風を強制上昇させる地形の作用が降水分布に強く反映することを示した。

このように、高知県は年間降水量が多く複雑な地形を有していること、それによる降水量の変化もまた著しく、気候モデル出力値の中にも地形－降水量の相互関係を見出す国内代表的な地域となる可能性があるとの理由から、本研究は高知県を対象として地形のうち特に標高に着目し、気候データの空間解像度の違いが標高と降水量との関係に与える影響を明らかにすることを目的とする。

2. 使用データ

2.1 地点観測データ

高知県では 1970 年代以降、気象庁、国土交通省、自治体および民間企業が主管となり各地に雨量計を設置し⁹⁾、以前に比べて空間的に密な降水量観測が行われるようになってきている。本研究では、高知県内に設置された AMeDAS、気象官署、国土交通省の水文・水質データベース等、公的機関が所管する日降水量データを使用した。Table 1 に観測地点の緯度・経度・標高など地点観測データに関連する情報をまとめた。地点観測データがカバーする期間は 1981 年から 2000 年までの 20 年間である。なるべく確実なデータを抽出するため、日降水量が 1mm を超えるデータのみを降水のあった日として解析に使用し、1mm 以下の降水については無降水日として解析対象から除外した。

観測地点に関する緯度・経度・標高の数値情報は原則的に各観測所を所管する機関による公表値を使用した。が、標高が公表されていない観測地点については、公表済みの観測地点の緯度・経度の情報から Google Earth の標高表示機能を利用することにより観測地点の標高を推定した。Fig.1 は、本研究の解析で使用した観測地点の位置を表している。各観測地点は高知県中部域を中心に、沿岸部、中山間地、山間部と標高の低い地点から高い地点まで幅広く網羅している。高知県中部域を解析対象とした理由は、この地域に高知県の人口が比較的密集していること、農業やダムなど水資源との関わりが深い地域性を持っていることなど、降水量の将来予測の重要性が他の地域より比較的高いことなどの理由に基づいている。

2.2 グリッド化データ

Table 2 に本研究で使用したグリッド化データセットの一覧を示す。使用したグリッド化データセットのうち気候モデルについては CMIP5 に含まれている 11 種類の全球気候モデル(GCM)と空間解像度の高い 4 種類の領域気候モデル(RCM)を使用した。APHRO-JP¹⁰⁾は観測データから再構成された降水量のデータセットであるが、他の気候モデルと同様にグリッド化データであるため本節に組み入れた。

Table 1 Information about observational stations used in this study. Left side numbers correspond to numbers shown in Fig.1.

No.	Station name	Lon.	Lat.	Elevation (m)	Data period	Data reference*
1	Funato	E133.0883	N33.4167	426.0	1981 - 2000	AMeDAS
2	Sakawa	E133.2717	N33.5117	80.0	1981 - 2000	AMeDAS
3	Tsubayama	E133.1422	N33.6753	580.0	1981 - 2000	WIS
4	Kashiyama	E133.1831	N33.6728	610.0	1981 - 2000	WIS
5	Terakawa	E133.1825	N33.7503	1085.0	1981 - 2000	JWA
6	Kuwase	E133.2669	N33.7997	1078.0	1981 - 2000	JWA
7	Nagasawa	E133.3003	N33.7128	810.0	1981 - 2000	JWA
8	Hongawa	E133.3383	N33.7650	550.0	1981 - 2000	AMeDAS
9	Kokitagawa	E133.3611	N33.8036	692.0	1981 - 2000	JWA
10	Kuromaru	E133.4119	N33.7236	713.0	1981 - 2000	JWA
11	Kakinomata	E133.4172	N33.6311	380.0	1981 - 2000	Kochi Prefecture
12	Asemigawa	E133.5525	N33.8186	420.0	1981 - 2000	WIS
13	Motoyama	E133.5750	N33.7533	252.0	1981 - 2000	AMeDAS
14	Hiraishi	E133.5289	N33.6356	180.0	1981 - 2000	Kochi Prefecture
15	Kochi	E133.5483	N33.5667	1.0	1981 - 2000	KMO
16	Gomen	E133.6433	N33.5900	12.0	1981 - 2000	AMeDAS
17	Shigetou	E133.6850	N33.6783	346.0	1981 - 2000	AMeDAS
18	Kahoku	E133.7606	N33.7197	190.0	1981 - 2000	WIS
19	Osunago	E133.7742	N33.8228	375.0	1981 - 2000	WIS

*AMeDAS: Automated Meteorological Data Acquisition System (Japan Meteorological Agency)

*WIS: Water Information System (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan)

*JWA: Japan Water Agency (Incorporated Administrative Agency)

*KMO: Kochi Meteorological Office (Japan Meteorological Agency)

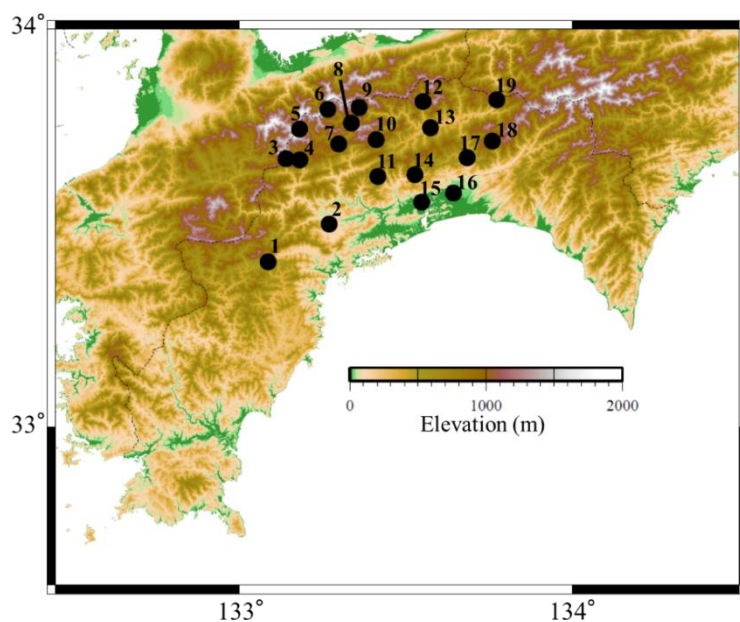


Fig.1 Spatial distribution of observational stations for precipitation. Black circles indicate locations of observational stations used in this study. Numbers attached to black circles correspond to the numbers listed in Table 1.

Table 2 Specification of grid data set used in this study.

Data set type	Data set name	Mean horizontal resolution(km)	Data period
GCM	CMCC-CM	83	1981 - 2000
	MRI-CGCM3	125	1981 - 2000
	MIROC5	156	1981 - 2000
	CNRM-CM5	156	1981 - 2000
	CSIRO-Mk3-6-0	208	1981 - 2000
	IPSL-CM5A-MR	209	1981 - 2000
	NorESM1-M	244	1981 - 2000
	GFDL-ESM2M	250	1981 - 2000
	GFDL-ESM2G	250	1981 - 2000
	MIROC-ESM-CHEM	311	1981 - 2000
	IPSL-CM5A-LR	313	1981 - 2000
RCM	GWP8-A	5	1981 - 1999
	MRI-NHM	20	1981 - 2000
	NIED-RAMS	20	1981 - 2000
	WRF	20	1985 - 2000
Obs.	APHRO-JP	5	1981 - 2000

各気候モデルの解像度については、GCM については Sillmann ら(2013)¹¹⁾がまとめた気候モデルとその解像度の一覧表をもとに平均水平解像度(km)を算出し、RCM および APHRO-JP の平均水平解像度については公称値を使用した。使用した気候モデルのデータがカバーする期間は 1981 年から 2000 年までの期間とし、一部 20 年に満たないデータセットがあるものの概ね 20 年となっている。また、グリッド化データについても地点観測データの場合と同様に、日降水量が 1mm を超えるデータのみを降水のあった日として解析に使用し、1mm 以下の降水については無降水日として解析対象から除外した。

出力される日降水量の格子点上の値から、Table 1 の観測地点位置に合わせた値に補間するため、観測地点を囲む 4 点の格子点上の値を使用し観測地点との間で距離逆数重み付け線形内挿を行い、観測地点位置での降水量を算出した。内挿にあたり、各格子点位置から観測地点までの距離については、一般的によく知られたヒュベニの公式(例えば、日本は山だらけ～(2008)¹²⁾に詳しくまとめられている)を使用することにより観測地点位置情報(経度・緯度)から地点間距離を算出した。

3. 結果

3.1 空間解像度と日降水量出現頻度分布

高知県内の降水量の地点観測データとグリッド化データの両者がカバーする期間の日降水量データを使用し、各観測地点での日降水量出現頻度分布に適切な分布関数を当てはめ、その分布関数の特徴を観測地点の標高との関係から論じる。以下、気象官署「高知」地点を例に具体的な解析フローを示す。

Fig.2 のヒストグラムは、1981 年～2000 年までのグリッド化データおよび地点観測データから得られた「高知」地点における日降水量データのうち 1mm を超えるデータだけを集め、度数幅を 10mm としたときの出現頻度分布である。一般的に日降水量の出現頻度分布は指数分布となることがよく知られている。それは、平野・大楽(2014)¹³⁾が日降水量の出現頻度分布に対して複数の関数でフィッティングし、指数関数が最もよく対応することを示したことから裏付けられている。そこで、本研究においても日降水量の出現頻度分布へのフィッ

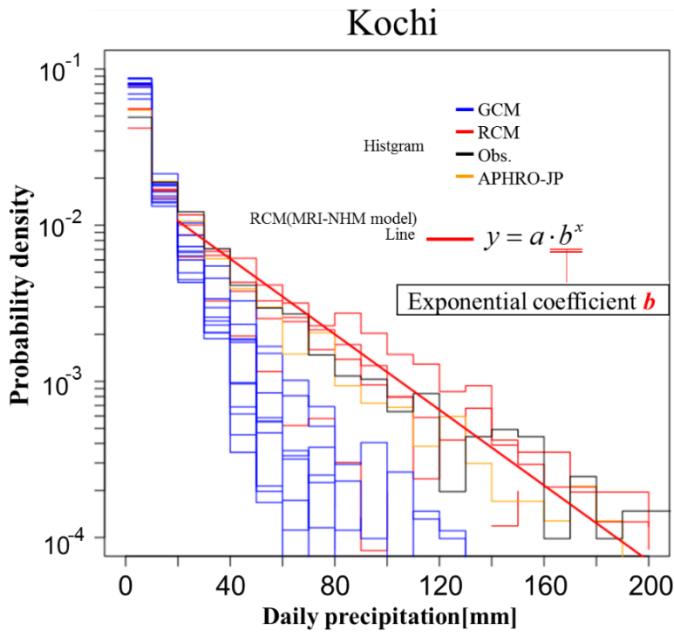


Fig.2 Histogram of probability density distribution of daily precipitation obtained from climate models and observations at Kochi site. Blue, red, black, and orange histogram represent GCM, RCM, observation and APHRO-JP, respectively. Red line indicates a fitting line to the RCM (MRI-NHM) histogram by an exponential function.

フィッティングに指数関数を適用し、観測地点毎にグリッド化データおよび地点観測データから得られる日降水量の特性を評価することにした。指数関数を出現頻度分布にフィッティングするとき、相対的に出現頻度の高い(日降水量が小さい)データに過度に引きずられてしまうことを避けるため、フィッティングには度数 20mm 以上のデータを使用した。

フィッティングの一例を挙げると、**Fig.2** 中の赤色の直線は、RCM(MRI-NHM モデル)の規格化した出現頻度分布に指数関数 $y = a \cdot b^x$ でフィッティングしたときの直線で、この式から直線の傾きを決定する指数関数係数 b を取得する。他のグリッド化データおよび地点観測データに関しても同様に「高知」地点の日降水量の出現頻度分布を求め、指数関数でフィッティングする。データセットの数として 17 個(地点観測データ 1 セット + グリッド化データ 16 セット)であるので、計 17 個の指数関数係数 b を取得できる。以上の方法で得られた計 17 個の指数関数係数 b に対してグリッド化データおよび地点観測データの解像度との関係を示したのが **Fig.3(A)** である。ただし、地点観測データの水平解像度を便宜上 1km としている。

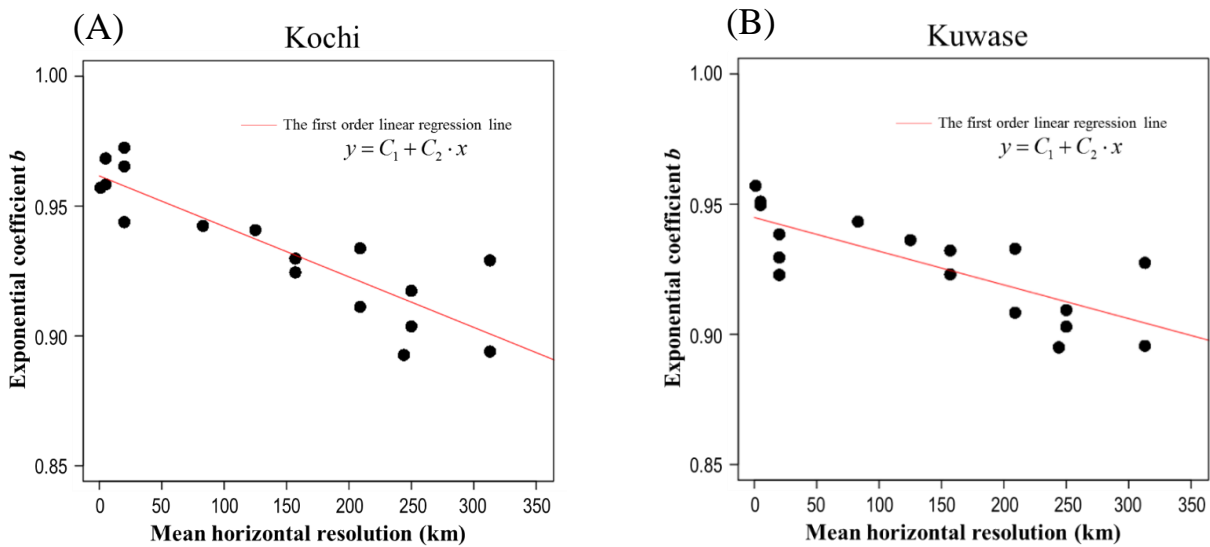


Fig.3 Relationship between mean horizontal resolution of the dataset and exponential coefficients b . (A): Kochi station. (B): Kuwase station. Exponential coefficients b are obtained from histogram analyses as explained in Fig.2. Red lines indicate the first order linear regression lines.

Fig.3(A)のプロットに一次の線形回帰式 $y = C_1 + C_2 \cdot x$ でフィッティングすると Fig.3(A)の赤色の直線が引かれ、直線の勾配を決める回帰係数 C_2 が得られる。比較のため、Fig.3(B)に「高知」地点より標高の高い「桑瀬」地点について同様の手法で行った解析結果を示す。

本研究で使用した観測地点数は Table 1 および Fig.1 で示した通り全部で 19 点あるので、19 点すべてについて同様の解析を行うことにより、最終的に 19 個の回帰係数 C_2 を取得する。

3.2 日降水量頻度分布の相違とその標高依存性

Table 1 および Fig.1 で見たように本研究の解析対象とした各地点の位置は海岸近くから中山間地、高地にかけて幅広い標高で分布している。これらの地点(全 19 地点)について 2.3 節で示した解析手法を適用し、その結果最終的に得られる計 19 個の回帰係数 C_2 について観測地点の標高に対する振る舞いを調べた。Fig.4 は各観測地点標高に対する回帰係数 C_2 の散布図である。

Fig.4 の散布図には多少のばらつきがあることや、標高 850~1050m に若干の空白域が見られるものの全体的に標高の高い観測地点ほど回帰係数 C_2 が大きく、標高が低い地点ほど回帰係数 C_2 が小さくなる傾向を示している。回帰係数 C_2 と標高の関係を表した散布図に一次の線形回帰式でフィッティングすると、Fig.4 の赤い直線で示されるように右肩上がりの直線となること、また、回帰係数 C_2 と標高との間の相関係数は 0.73 となっていることから、回帰係数 C_2 は標高依存性を持っていると見なして良いだろう。

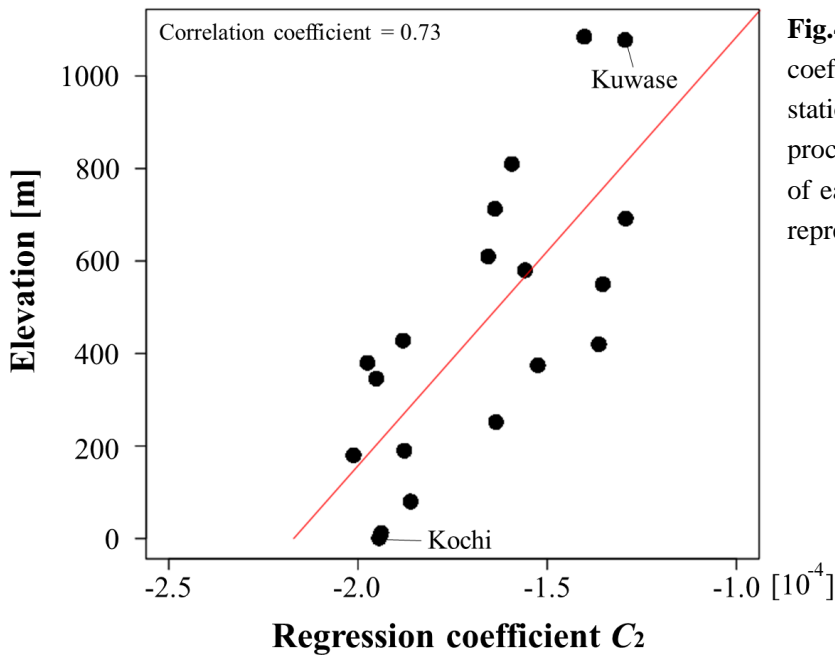


Fig.4 Correlation between regression coefficients C_2 and elevation of observational stations. C_2 data are obtained by same procedures as explained in Fig.3. Elevation data of each stations are listed in Table 1. Red line represents the first order regression line of C_2 .

4. 議論

本節では、Fig.4 で示した回帰係数 C_2 はなぜ標高依存性を持つのかについて議論する。回帰係数 C_2 は Fig.3 で例示したように、各観測地点での一次の線形回帰直線の傾きのことであった。この傾きが観測地点毎に異なる。例えば、Fig.3(B)の「高知」地点より標高が高い「桑瀬」地点では、「高知」地点と比較して一次の線形回帰直線の勾配が緩やかである。その原因として高解像度のデータの寄与が大きい。縦軸の b はもともと Fig.2 において日降水量の出現頻度分布の勾配を決める指数関数係数であるから、回帰係数 C_2 が大きい(あるいは回帰直線の勾配が緩やか)であるということは日降水量の出現頻度分布の幅が狭い、つまり降水量の極値が抑えられていることを示唆している。一方、観測的には高知県の降水量の特徴として、例えば国土交通省四国地方整備局(2011)¹⁴⁾などの報告にあるように標高の高い地点で降水量が多くなる傾向と矛盾しているように思われるかもしれない。しかし、Fig.4 で、標高の高い「桑瀬」地点の方が標高の低い「高知」地点より降水量の極

値が抑えられているのは総降水量ではなく、あくまで日降水量の規格化された出現頻度分布の中で現れる傾向にすぎず、総降水量の減少を意味しているわけではない。

また、一般的に解像度が低い気候モデルでは日降水量が過小評価される傾向があり、解像度が高くなると降水量の再現性が向上することが知られている(例えば、道広ら(2012b)¹⁵⁾)。本研究の解析結果(Fig.4)は、日降水量の出現頻度分布はデータセットの解像度によって異なること以外に、解像度に対する日降水量極値の振る舞いとして標高をパラメータとする依存性があることを示している。

鬼頭ら(2010)¹⁶⁾は水平解像度が 20~180km の複数の気候モデルを使用し、アジアモンスーン域(65E-130E, 5N-35N)の 6~8 月の平均降水量および積算降水量を解析し、水平解像度の粗い気候モデルほど高標高帯において平均降水量が過大評価される傾向があることを示した。その理由として、気候モデルの水平解像度が向上すると表現できる地形の空間分布も向上し、地形に関係して生じる降水現象を現実的に表現できるようになったことを指摘している(鬼頭ら(2010)¹⁶⁾)。本研究で解析対象とした領域は鬼頭ら(2010)¹⁶⁾の研究とは対象地域が異なり、空間的にも大きなスケール差があり、本研究結果と必ずしも共通しているわけではないが、高解像度の気候モデルにおいて標高の高い地点で日降水量の極値が抑えられる傾向については、モデルが再現する地形が現実の地形に近いことと密接に関係していると思われる。

5. まとめ

気候モデル出力・観測値由来のグリッド化データ(16 セット)、ならびに高知県の沿岸部から中山間地、山間部にわたる多地点観測降水量データ(1 セット)を使用し、データセットの水平解像度の違いによって現れる日降水量特性を、標高との関係から調べた。その結果、(1) データセットの解像度が高くなるとより観測値に近い日降水量を再現できる、(2) データセットの解像度と日降水量の極値との間に標高依存性がある、(3) 高解像度になると、標高が高い地点の方が低い地点よりも日降水量の極値が抑えられる傾向を持つことが分かった。

本研究では高知県中部域を対象に解析を行ったが、高知県内には他にも多数の観測地点があるので、観測地点数をさらに増やし、解像度の異なる他の気候モデルを加え、サンプル数を増やして同様の解析を行うことが可能である。気候モデルを使用して高知県の任意の地点で日降水量の極値を推定するためには解像度が異なる複数の気候モデルによるマルチモデルアンサンブルを活用すること、なおかつその場所の標高をパラメータとした適切な補正を適用することにより、より正確な日降水量極値を推定できると考えられる。本研究では特徴的な地形を有する高知県を対象に集中的な解析を行い日降水量極値—解像度—標高の関係を見出した。他の都道府県でもこの関係が成り立つのか、また、その関係に基づいた補正の具体的な適用手法については今後の課題とするところである。

謝辞

本研究は、文部科学省気候変動適応研究推進プログラム「流域圏にダウンスケーリングした気候変動シナリオと高知県の適応策」の援助を受けました。ここに謝意を表します。

(原稿受付 2014 年 11 月 26 日, 原稿受理 2015 年 3 月 30 日)

参考・引用文献

- 1) Fujibe, F., Yamazaki, N., and Kobayashi, K. (2006): Long-term changes of heavy precipitation and dry weather in Japan (1901-2004), Journal of Meteorological Society of Japan, Vol. 84, No.6, pp.1033-1046.
- 2) IPCC (2007): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.).Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p.262.

- 3) 左藤智子, 楠原啓右, 今田由紀子, 内海信幸, 鼎信次郎 (2013): 台風に伴う将来の降水量極値の推定 —高知市鏡川の治水計画への利用—, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, I_379-I_384.
- 4) 井芹慶彦, 鼎信次郎 (2014): 熱帯低気圧による降雨の将来変化が高知県鏡川流域の年最大流量に与える影響, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.70, No.4, I_385-I_390.
- 5) 道広有理, 佐藤嘉展, 鈴木靖 (2012a): 流域スケールの水文解析に向けた GCM 出力の活用手法の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.3, pp.125-135.
- 6) 気象庁 (2013): 地球温暖化予測情報第 8 巻 IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1B を用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, pp.9-10.
- 7) 二宮洗三 (1977): 四国南部の強雨の事例, 天気, 24 巻, 2 号, pp.105-112.
- 8) 一広志 (2013): 高知県南西部で発生する大雨に地形が及ぼす影響について, 天気, 61 巻, 12 号, pp.1051-1056.
- 9) 牛山素行 (2001): 都道府県による雨量観測, 水文・水資源学会誌, Vol.14, No.4, pp.317-322.
- 10) Kamiguchi, K., Arakawa, O., Kitoh, A., Yatagai, A., Hamada, A., and Yasutomi, N. (2010): Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years, Hydrological Research Letters, Vol.4, pp.60–64.
- 11) Sillmann, J., Kharin, V. V., Zhang, X., Zwiers, F. W., and Bronaugh, D. (2013): Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol.118, pp.1716–1733.
- 12) 日本は山だらけ～ (2008): 二地点の緯度・経度からその距離を計算する, 日本は山だらけ～技術研究本部報告書, 第一号, <http://yamadarake.jp/trdi/report000001.html> (参照: 2013/12/27)
- 13) 平野淳平, 大楽浩司 (2014): 東京 23 区における降水変動を考慮した水害リスク評価手法の開発, 防災科学技術研究所研究報告, 第 81 号, pp.7-14.
- 14) 国土交通省四国地方整備局 (2011): 四国地方の気候変動レポート 2010, p.6.
- 15) 道広有理, 佐藤嘉展, 鈴木靖 (2012b): GCM データによる日本における降水特性の再現性を将来変化について, 京都大学防災研究所年報, 第 55 号 B, pp.529-536.
- 16) 鬼頭昭雄, 上口賢治 (2010): 平成 22 年度環境研究総合推進費終了成果報告集 アジアの水資源への温暖化影響評価のための日降水量グリッドデータの作成 (2)高解像度気候モデルの検証, 及びそのための観測降水グリッドデータ内挿手法の改良に関する研究, pp.57-59.