

梅雨と秋雨の過去 120 年間の長期変動

遠藤洋和（気象研究所）

1. はじめに

人間活動による温室効果ガス排出により地球温暖化は進行しており、日本の平均気温は 1898 年～2019 年の間に $1.24^{\circ}\text{C}/100$ 年の割合で上昇している（文部科学省・気象庁，2020）。気温上昇に伴う大気中の水蒸気量増加は、降水現象の極端化をもたらすとされており、実際に国内で観測された短時間強雨や大雨は有意に増加している（文部科学省・気象庁，2020）。一方で温暖化に伴う平均降水量変化は、水蒸気量変化とともに大気循環変化の影響を大きく受けるために複雑で、増加する地域/季節もあれば減少する地域/季節もある。20 世紀の平均降水量変動は、温室効果ガス増加影響に加えて人為起源エアロゾル変動による寄与も無視できないため変動要因が複雑であり、長期観測データから有意なトレンドを検出できる地域は少ない（IPCC，2013）。

気候モデルによる温暖化予測では、モンスーン地域の雨季降水量は、水蒸気量増加の影響で全般的に増加し（Kitoh et al. 2013）、日本を含む東アジア平均でも増加傾向が予測されているが（Ito et al. 2020）、日本域等のさらに詳細な地域では大気循環変化が水蒸気増加の効果を打ち消して降水量減少が生じることが指摘されている（Ose，2019）。

Endo (2011) は、1901 年～2009 年の東日本・西日本の梅雨期の平均降水量を解析し、梅雨初期に減少傾向、梅雨末期に日本海側地域で増加傾向が見られること、梅雨初期には 20 世紀前半に数十年規模の降水量変動が卓越したことを示した。先行研究に引き続いて本研究では、日本の雨季である梅雨と秋雨に解析対象を広げ、大雨頻度の解析も加え、1901～2020 年に期間延長して長期変動の実態を調べた。

2. 観測データ

1901 年以降において継続的に観測が行われ、

移転などによる統計切断のない東日本・西日本の 44 気象官署の日別/旬別降水量データを解析した。解析期間は 1901 年～2020 年の 120 年間とした。

図 1 に解析対象とした観測地点の分布を示す。地域区分は気象庁（2007）による広域区分（全国を 7 地域に区分）の定義に従い、東日本日本海側（EJ、5 地点）、東日本太平洋側（EP、16 地点）、西日本日本海側（WJ、10 地点）、西日本太平洋側（WP、13 地点）の 4 地域に分類した。さらにこれら地域を組み合わせて、日本海側（EJWJ）、太平洋側（EPWP）、東日本（EJEP）、西日本（WJWP）、全域（ALL）を定義した。

3. 平均降水量の長期変動

梅雨期を含む 5 月下旬～8 月中旬の地域平均旬合計降水量について、20 世紀前半（1901～1950 年平均）と 21 世紀初頭（2001～2020 年平均）の比較を図 2 左に示す。6 月から 7 月にかけて梅雨に伴う降水量極大があり、特に西日本でこの特徴が明瞭である。2 つの期間における変化を見ると、6 月上旬は減少の一方で、6 月下旬～7 月下旬は増加しており、WJ 地域と EJ 地域では 7 月上旬と中旬に有意に増加している。平均降水量が極大となる旬は、WJ 地域、WP 地域、EP 地域では 6 月下旬から 7 月上旬にシフトし、極大値は増加している。

秋雨期を含む 8 月中旬～11 月上旬の地域平均旬合計降水量を図 2 右に示す。秋雨に伴う降水量極大は、20 世紀前半は 9 月から 10 月にかけて確認できるが、21 世紀初頭では不明瞭化している。すなわち、秋雨期の降水量はピーク時期を中心に減少しており、梅雨期とは異なる特徴を示す。

過去 120 年間の降水量の長期トレンドを表 1 に示す。ここでは、6 月～7 月を梅雨期、8 月を盛夏期、9 月～10 月を秋雨期と定義し、梅雨期と秋雨期については、季節進行にも着目する

ため、初期、中期、末期の各ステージに分割した値も示す。地域平均基準比の計算では、気象庁（2007）では各地点の基準比を計算した上で地域平均値を算出しているが、ここでは各地点の生値を地域平均した後で基準比を計算している。後述する大雨頻度のトレンド解析において、前者の計算方法では地域平均値が極端に大きな値をもつ地点の影響を受けやすいためである。

降水量の長期トレンドは、図2における特徴と同様に、梅雨初期は減少、梅雨中期～末期は日本海側地域を中心に増加の傾向を示す。梅雨期全体ではEP地域を除いて増加傾向である。続く盛夏期においても、日本海側地域は増加傾向で太平洋側地域の減少傾向とはコントラストをなす。一方、秋雨期の降水量は中期に減少傾向が見られ、多くの地域で統計的有意である。秋雨末期は有意ではないが増加傾向である。秋雨期全体の降水量は減少傾向で(WJ地域とEJWJ地域で有意)、梅雨期全体の増加傾向とは反対の傾向である。

4. 大雨頻度の長期変動

日降水量100mm以上を大雨と定義し、大雨頻度の長期変動を調べた。梅雨期の地域平均大雨頻度について、20世紀前半と21世紀初頭の比較を図3左に示す。梅雨期の大雨頻度はEP地域を除いて大幅に増加しており特にWJ地域の増加が顕著である。また平均降水量と同様、大雨頻度の極大旬の季節的遅れ（例えばWJ地域では6月下旬から7月上旬にシフト）や極大値の増加も見られる。秋雨期については（図3右）、初期と末期は増加する地域が多いが、中期は全般的に減少している。WJ地域では20世紀前半に見られる9月上旬～10月上旬の頻度極大は21世紀初頭では不明瞭化している。

大雨頻度の長期トレンドを表2に示す。梅雨期の大雨頻度は、EP地域を除きいずれのステージでも増加傾向で、中期～末期は有意に増加している地域が多い。梅雨期のALL地域の100年あたり増加率は+48%で、平均降水量の増加率(+5%)と比べて大幅に大きい。秋雨期では、全体、初期、末期は有意な増加を示す地域が多い

一方で、中期は減少傾向である。WJ地域では秋雨期全体、初期、中期において有意に減少している。秋雨期のALL地域の100年あたり増加率は+27%で、梅雨期(+48%)の半分程度である。なお、秋雨末期の増加率は非常に大きな値だが、これは基準値が小さいためであり、頻度の単位(回/100年)ではとりわけ顕著な増加ではない(表3)。

梅雨期と秋雨期における地域平均大雨頻度の時系列を図4に示す。大雨頻度は全般的に増加傾向であるが、季節間と地域間の違いが大きい。WJ地域では梅雨期の大幅増加(+75%)に対して秋雨期に減少(-37%)、EP地域では梅雨期の減少(-25%)に対して秋雨期は増加(+58%)している。

5. まとめと議論

過去120年間に東日本と西日本の44地点で観測された降水量データを用いて、梅雨期～秋雨期の平均降水量と大雨頻度の長期変動を調べた結果、以下のことが分かった。

平均降水量は、梅雨初期は減少傾向、梅雨中期～末期は日本海側地域を中心に増加傾向である。このため、降水量の極大時期は季節的に遅れる傾向を示す。梅雨期全体では多くの地域で増加傾向である。盛夏期のトレンドは、日本海側地域(増加)と太平洋側地域(減少)でコントラストをなす。秋雨期は、中期に明瞭な減少傾向、末期は増加傾向、秋雨期全体では減少傾向である。このように、梅雨期と秋雨期では長期トレンドの様相が異なる。

大雨頻度は、梅雨期、秋雨期ともに有意に増加する地域が多いが、季節間や地域間の違いが大きい。例えば、東日本・西日本平均の増加率は、秋雨期(+27%)では梅雨期(+48%)の約半分である。また、西日本日本海側地域では梅雨期の大幅増加(+75%)に対して秋雨期に減少(-37%)、東日本太平洋側地域では梅雨期の減少(-25%)に対して秋雨期は増加(+58%)している。

観測された降水量の長期トレンドは、温暖化等の人為起源要因の影響を受けたものか否かについては大きな関心事項である。これを解明するには気候モデルで20世紀気候の再現実験

や要因分析実験を実施して解析する必要があるが、ここでは既に多くの知見がある 21 世紀末予測との類似性について触れたい。梅雨の将来変化については、初夏の梅雨降水帯は強化して季節的な北上が遅れる傾向が予測されている (Hirahara et al. 2012; Okada et al. 2017; Kusunoki, 2018; Horinouchi et al. 2019; Endo et al. 2021)。他方で、晩夏～初秋の日本付近の降水量変化は小さく、梅雨と秋雨では上層偏西風の変化の違いを介して温暖化応答が異なる可能性が示唆されている (Endo et al. 2021)。また、盛夏期の降水量変化は日本海側地域 (増加) と太平洋側地域 (減少) で符号が異なることも指摘されている (Ose 2019)。このように、観測された平均降水量の長期トレンドは、必ずしも統計的有意性は高くないが、気候モデル予測による温暖化応答の特徴と多くの点で類似しており、温暖化影響を受けている可能性がある。今後、20 世紀気候再現実験や要因分析実験等の解析から因果関係を詳しく調べる必要がある。また、大雨頻度の全般的な増加トレンドについては、気候モデル予測による温暖化応答 (Kimoto 2005) と一致しており、気温上昇に伴う水蒸気量増加の影響として解釈できる。ただし、Ito et al. (2020) が指摘しているように、日本の大雨は台風影響を大きく受けることから、大雨頻度トレンドの季節間・地域間の違いを理解するには台風活動を考慮した議論が必要である。

引用文献

- Endo, H., 2011: Long-term changes of Seasonal Progress in Baiu rainfall using 109 years (1901-2009) daily station data. SOLA, 7, 5-8.
- Endo, H., A. Kitoh, R. Mizuta, and T. Ose, 2021: Different future changes between early and late summer monsoon precipitation in East Asia. 投稿中.
- Hirahara, S., H. Ohno, Y. Oikawa, and S. Maeda, 2012: Strengthening of the southern side of the jet stream and delayed withdrawal of Baiu season in future climate. J. Meteor. Soc. Japan, 90, 663-671.
- Horinouchi, T., S. Matsumura, T. Ose, and Y. N. Takayabu, 2019: Jet-precipitation relation and future change of the Mei-Yu-Baiu rainband and subtropical jet in CMIP5 coupled GCM simulations. J. Climate, 32, 2247-2259.
- IPCC, 2013: Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 1535 pp.
- Ito, R., T. Ose, H. Endo, R. Mizuta, K. Yoshida, A. Kitoh and T. Nakaegawa, 2020: Seasonal characteristics of future climate change over Japan and the associated atmospheric circulation anomalies in global model experiments. Hydrol. Res. Lett., 14, 130-135.
- Kimoto, M., N. Yasutomi, C. Yokoyama, and S. Emori, 2005: Projected changes in precipitation characteristics around Japan under the global warming. SOLA, 1, 85-88.
- 気象庁, 2007: 気候系監視報告 2007 年 1 月号. 48 pp.
- Kitoh, A., H. Endo, K. Krishna Kumar, I. F. A. Cavalcanti, P. Goswami, and T. Zhou, 2013: Monsoons in a changing world: a regional perspective in a global context. J. Geophys. Res. Atmos., 118, 3053-3065.
- Kusunoki, S., 2018: Future changes in precipitation over East Asia projected by the global atmospheric model MRI-AGCM3.2. Climate Dyn., 51, 4601-4617.
- 文部科学省・気象庁, 2020: 日本の気候変動 2020 一大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書一. 49 pp.
- Okada, Y., T. Takemi, H. Ishikawa, S. Kusunoki and R. Mizuta, 2017: Future changes in atmospheric conditions for the seasonal evolution of the Baiu as revealed from projected AGCM experiments. J. Meteor. Soc. Japan, 95, 239 - 260.
- Ose, T., 2019: Characteristics of future

changes in summertime East Asian monthly precipitation in MRI-AGCM global warming experiments. J. Meteor. Soc. Japan, 97,

317-335.

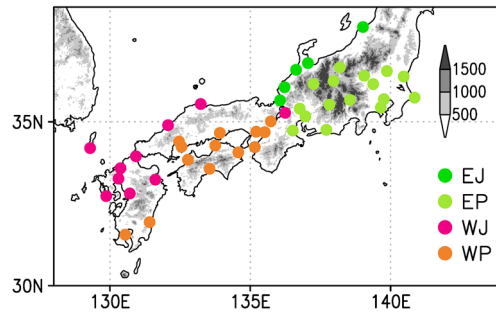


図1 観測地点分布および地域区分。WJ：西日本日本海側、EJ：東日本日本海側、WP：西日本太平洋側、EP：東日本太平洋側。陰影は地形 (m)。

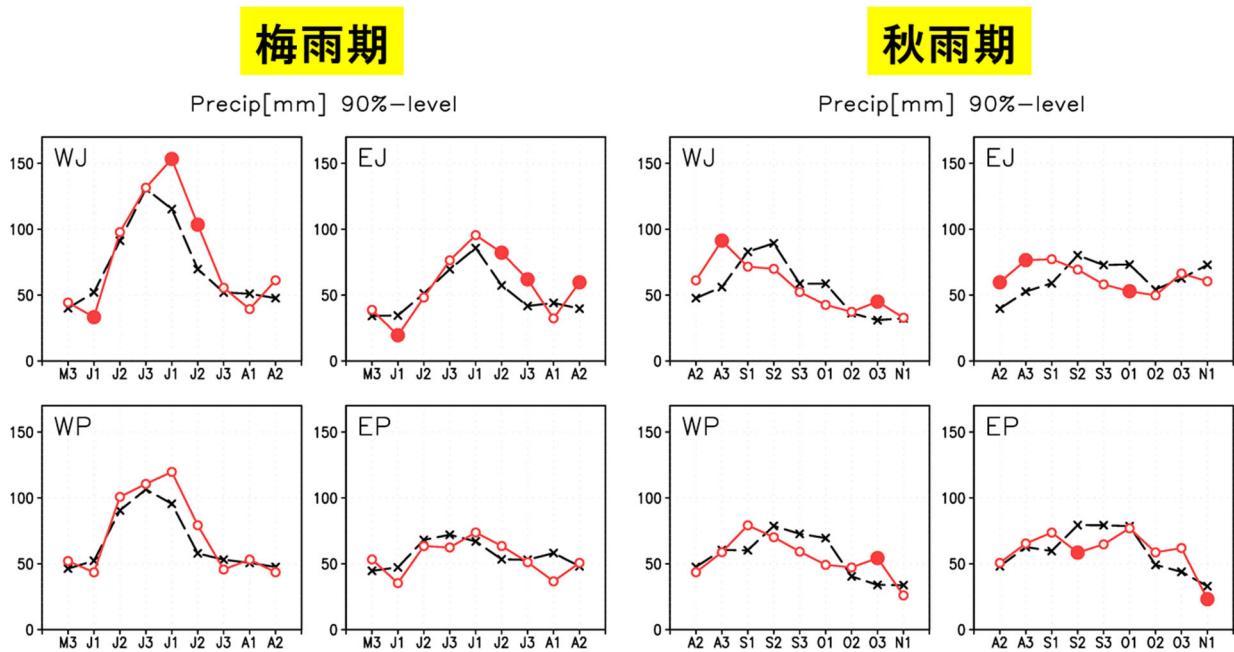


図2 (左) 梅雨期および (右) 秋雨期における地域平均旬合計降水量 (単位: mm)。黒破線は 20 世紀前半 (1901~1950 年平均)、赤実線は 21 世紀初頭 (2001~2020 年平均)。平均値の差の検定 (t 検定) で有意 (信頼度 90%以上) な場合、塗りつぶし丸でプロットした。

梅雨期

秋雨期

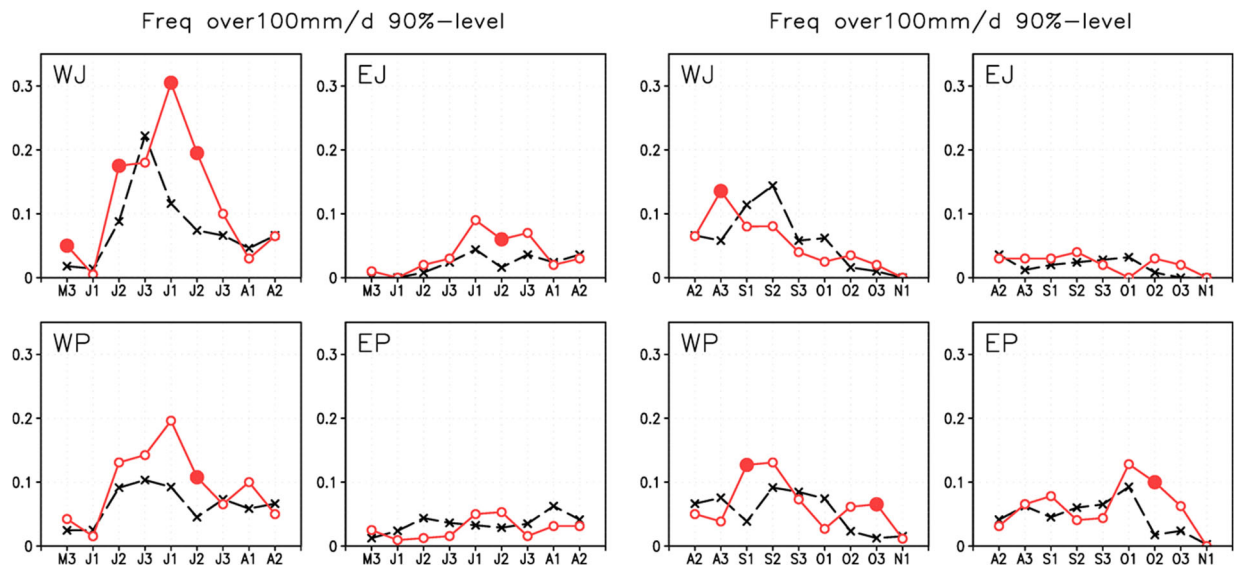


図3 地域平均大雨（日降水量 100mm 以上）頻度（単位：回/地点）の他は図2と同じ。

梅雨期

秋雨期

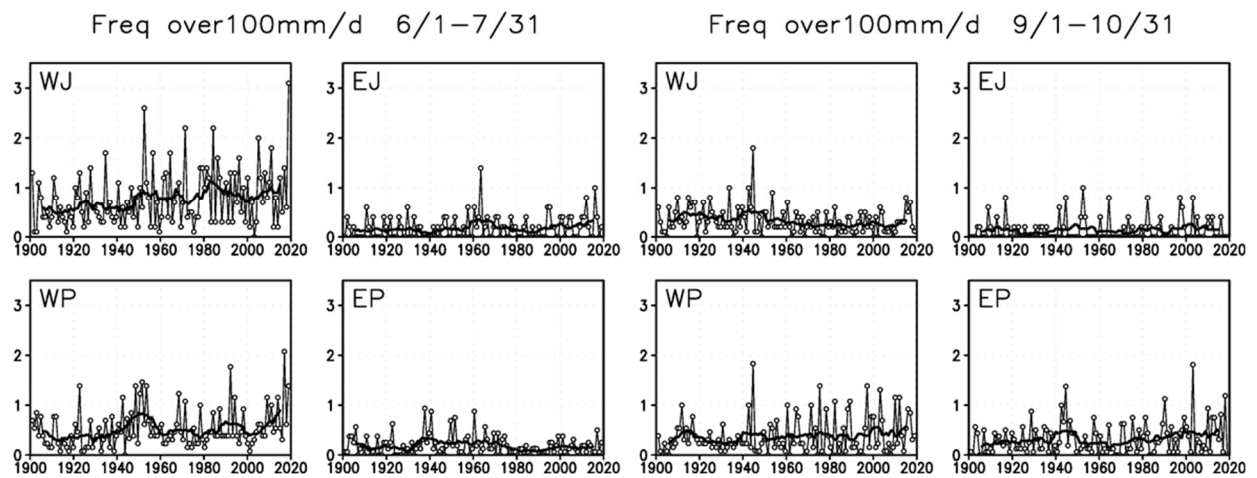


図4 （左）梅雨期および（右）秋雨期における地域平均大雨（日降水量 100mm 以上）頻度の長期変動（単位：回/地点）。細線は年々の値、太線は 11 年移動平均値。

表1 地域平均降水量の線形回帰トレンド（単位：%/100年）。正符号のトレンドを赤字で示し、最小二乗法に基づくt検定で有意（信頼度90%以上）な場合に太字で示す。トレンド計算期間は1901～2020年、変化率の基準は1901～1950年平均値。

地域	梅雨期				盛夏期	秋雨期			
	初期 6/1-6/20	中期 6/21-7/10	末期 7/11-7/31	全体 6/1-7/31	全体 8/1-8/31	初期 9/1-9/20	中期 9/21-10/10	末期 10/11-10/31	全体 9/1-10/31
EJ	-21	9	42	11	16	8	-28	-1	-8
EP	-14	-3	4	-4	-18	1	-17	11	-4
WJ	-11	15	32	12	28	-19	-19	6	-14
WP	-3	10	13	7	-5	8	-25	20	-3
EJWJ	-14	14	35	12	24	-11	-22	3	-12
EPWP	-8	4	8	1	-12	4	-21	15	-3
EJEP	-15	0	13	-1	-11	2	-20	8	-5
WJWP	-6	13	22	9	9	-5	-23	14	-8
ALL	-10	8	18	5	-1	-2	-21	11	-6

表2 地域平均大雨（日降水量100mm以上）頻度の線形回帰トレンド（単位：%/100年）の他は表1と同じ

地域	梅雨期				盛夏期	秋雨期			
	初期 6/1-6/20	中期 6/21-7/10	末期 7/11-7/31	全体 6/1-7/31	全体 8/1-8/31	初期 9/1-9/20	中期 9/21-10/10	末期 10/11-10/31	全体 9/1-10/31
EJ	160	71	102	89	-10	55	-29	413	35
EP	-49	-20	-3	-25	-33	83	0	219	58
WJ	70	58	120	75	50	-37	-60	63	-37
WP	28	75	56	57	-2	116	-44	250	53
EJWJ	72	60	117	77	39	-30	-54	110	-29
EPWP	-4	46	33	27	-18	99	-20	232	56
EJEP	-41	1	19	-6	-31	80	-3	230	56
WJWP	45	65	87	66	19	23	-50	183	8
ALL	18	53	66	48	-2	41	-28	206	27

表3 単位：0.01回/100年の他は表2と同じ

地域	梅雨期				盛夏期	秋雨期			
	初期 6/1-6/20	中期 6/21-7/10	末期 7/11-7/31	全体 6/1-7/31	全体 8/1-8/31	初期 9/1-9/20	中期 9/21-10/10	末期 10/11-10/31	全体 9/1-10/31
EJ	1	5	5	1	-1	2	-2	3	4
EP	-3	-1	0	-3	-6	9	0	9	18
WJ	7	20	17	7	9	-9	-7	2	-15
WP	3	15	7	3	0	15	-7	9	17
EJWJ	5	15	13	5	5	-5	-5	2	-9
EPWP	0	6	3	0	-3	12	-3	9	17
EJEP	-2	0	1	-2	-4	7	0	8	14
WJWP	5	17	11	5	3	4	-7	6	3
ALL	1	9	6	1	0	6	-4	7	9