

2. 世界における最近の降水現象の特徴

松本 淳*・山本 奈美**

1. はじめに

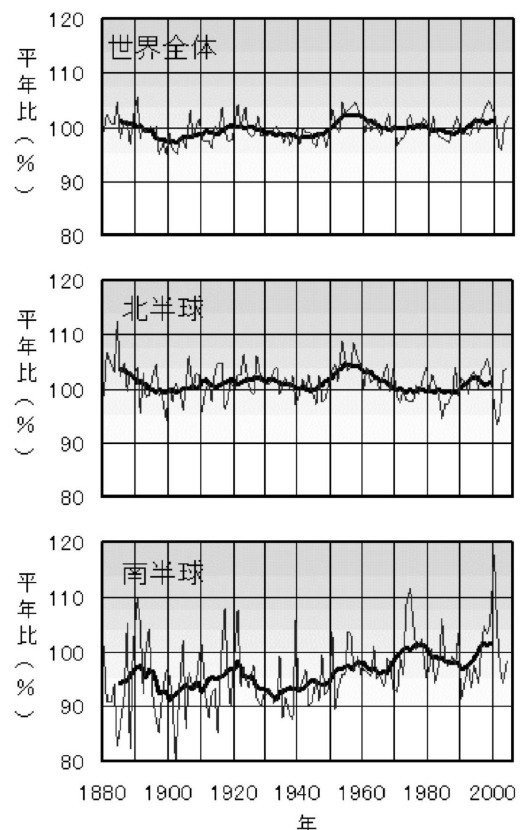
多くの気候モデルの結果で地球温暖化時には気温の上昇により大気中の水蒸気量が増加し、また海水温の上昇により蒸発量が増加するため、降水量が増加するとされる (IPCC, 2001など)。いっぽう気象庁 (2005) などによる観測降水量の解析結果では、1970年以降にみられる急激な気温上昇に対応するような降水量の変化は認められず、降水量に対する地球温暖化の影響は、明瞭にはあらわれていない。本報告では、過去の観測結果から得られる世界各地における最近の降水現象の特徴を、主に豪雨の発生傾向に着目して概観する。

2. 降水量の変化

気象庁 (2005) によると、1880~2004年の陸上における年降水量は、世界全体や北半球では統計的に有意な増加傾向はなく、南半球では6.01%とやや大きい増加傾向を示す (第1図)。しかしながら、近年の急激な気温上昇に対応するような変化は認められない。ピークも1950年代に出現しており、全体として数十年スケールでの変動が卓越している。

降水量の長期変化傾向を地域別に見ると、高緯度地域での増加、特にユーラシア・北アメリカ・ヨーロッパ北部での冬季の増加傾向が顕著である。逆に南ヨーロッパと北アフリカから東南アジアにかけての熱帯地域では減少傾向にある。また中央アメリカ・南アメリカ・オセアニアでは、一貫した変化傾向はみられない (IPCC, 2001)。アフリカサヘル地方の降水量は、1960

年代以降顕著な減少傾向にあったが、1990年代は1980年代に比べて降水量が若干回復した (Nicholson *et al.*, 2000)。また、降水量には長期的な変化傾向のほか、10年ないし数十年スケールでの変動もみられる。Kripalani and Kulkarni (1997) によると、東南アジアにおいては、赤道に近い所では10年程度で多雨期と小雨期が入れ替わるが、赤道からやや離れた地域で



第1図 陸上における年降水量の年平均比の長期変化 (1880~2004年)。(気象庁, 2005)

* 東京大学大学院理学系研究科 (現所属: 首都大学東京大学院都市環境科学研究科)・海洋研究開発機構地球環境観測研究センター。

** 東京大学大学院新領域創成科学研究科。

© 2007 日本気象学会

は、多雨期・少雨期はそれぞれ30年ほど継続する傾向がある。一般に長期的傾向の変化量に比べ、10年～数十年スケールでの変動のほうの変動幅は大きく、長期変化傾向の解析を難しくしている。

地球温暖化の降水量への影響は、月や年単位以上の長期間での平均値だけでなく、平均値から大きくはずれた極端な値の出現、すなわち異常多雨や異常少雨の頻発としてあらわれる可能性がある。気象庁（2005）によると、1901～2004年における月単位での異常多雨（上位1～3位）と異常少雨（下位1～3位）は、異常多雨がヨーロッパ・北アメリカ・南アメリカ南部地域で増加する傾向にあり、異常少雨が南アメリカ南部やオーストラリア東部域で減少する傾向にある。いっぽうインド域では異常多雨・異常少雨ともにめだつた傾向はみられない。

3. 豪雨発生の変化

地球温暖化の影響はまた、数日以下の短い時間スケールでの降水強度にもあらわれ、豪雨など極端な現象が増えることが予想されている（Trenberth, 1999；IPCC, 2001など）。Iwashima and Yamamoto (1993) は、日本とアメリカ合衆国の豪雨の増加傾向を指摘してこの種の研究の先鞭をつけた。Eastering *et al.* (2000) は、その後の世界各地での研究を総括して豪雨発生の傾向の分布を世界地図上にまとめ、Groisman *et al.* (2005) は、それを改訂した図を示した（第2図）。多くの地域で増加傾向がめだつものの、地域的にみると傾向は一様ではない。

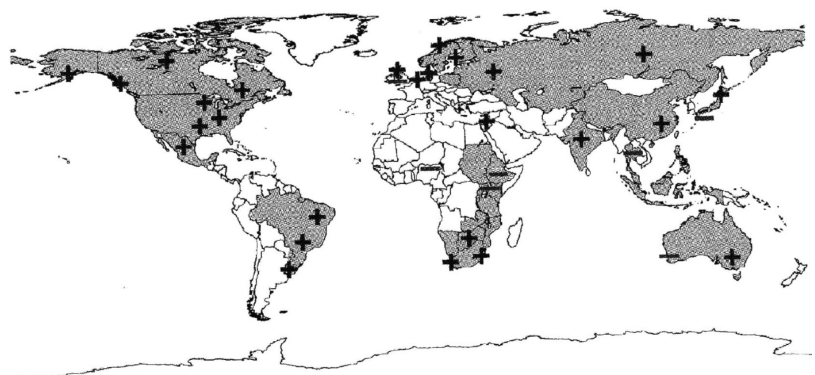
ヨーロッパ全域の研究（Klein Tank and Konnen, 2003）では、中部ヨーロッパや旧ソ連のヨーロッパ域を中心に1946～99年の期間に豪雨日の降水量が年降水量に占める割合が増加している地点が多い。またヨーロッパロシアやスカンジナビア諸国でも年降水量・豪雨頻度ともに増加傾向にある（Groisman *et al.* 2005）。イタリアでも、1951年以降、季節を問わず豪雨頻度が増加している（Brunetti *et al.*, 2001；Alpert *et al.*, 2002）。一方、イギリスでは冬季には強い降水が増加する傾向、夏季には

強い降水が1930年代以降1960年代までは増加傾向、それ以降は減少傾向にある（Osborn *et al.* 2000）。イスラエルやキプロスでは豪雨の明瞭な変化傾向はみられていない（Alpert *et al.*, 2002）。

アフリカ大陸では、データの不十分さから研究が立ち遅れている。ナイジェリアでは総降水量・豪雨頻度ともに減少傾向がみられ（Tarhule and Woo, 1998）、熱帯東アフリカでも同様の傾向が指摘されている（Eastering *et al.*, 2000）。

アメリカ合衆国では1910年以降、年間を通じて強い降水が増加する傾向にある（Karl and Knight, 1998）。Groisman *et al.* (2005) でも、北アメリカ大陸東部では1910年以降、アラスカ・カナダ域では1950年以降に豪雨発生の増加傾向が確認されている。一方、豪雨増加傾向が顕著な中部諸州における1893年以降の長期変化では、全期間での増加トレンドが認められるものの、増加傾向は最近30年間に著しいことも指摘されている。Kunkel *et al.* (2003) は、1895年からのデータを解析し、同様に近年の豪雨頻度の増加を指摘する一方、1900年前後の豪雨頻度が1990年代と同程度高いことを指摘し、自然変動の重要性を示唆している。1940年代以降のデータが得られるメキシコ中部では、夏の降水量や中程度の豪雨は近年減少傾向にあるものの、強い豪雨は逆に増加傾向にある（Groisman *et al.*, 2005）。南アメリカでは、過去70年間の良好なデータが得られるようになり、ここでも豪雨発生頻度に増加傾向がみられる（Groisman *et al.*, 2005）。ただしブラジル北東部における増加傾向は前世紀前半に顕著で、近年にはあまり変化はみられない。

オーストラリアでは、1910～1990年に東部では年降



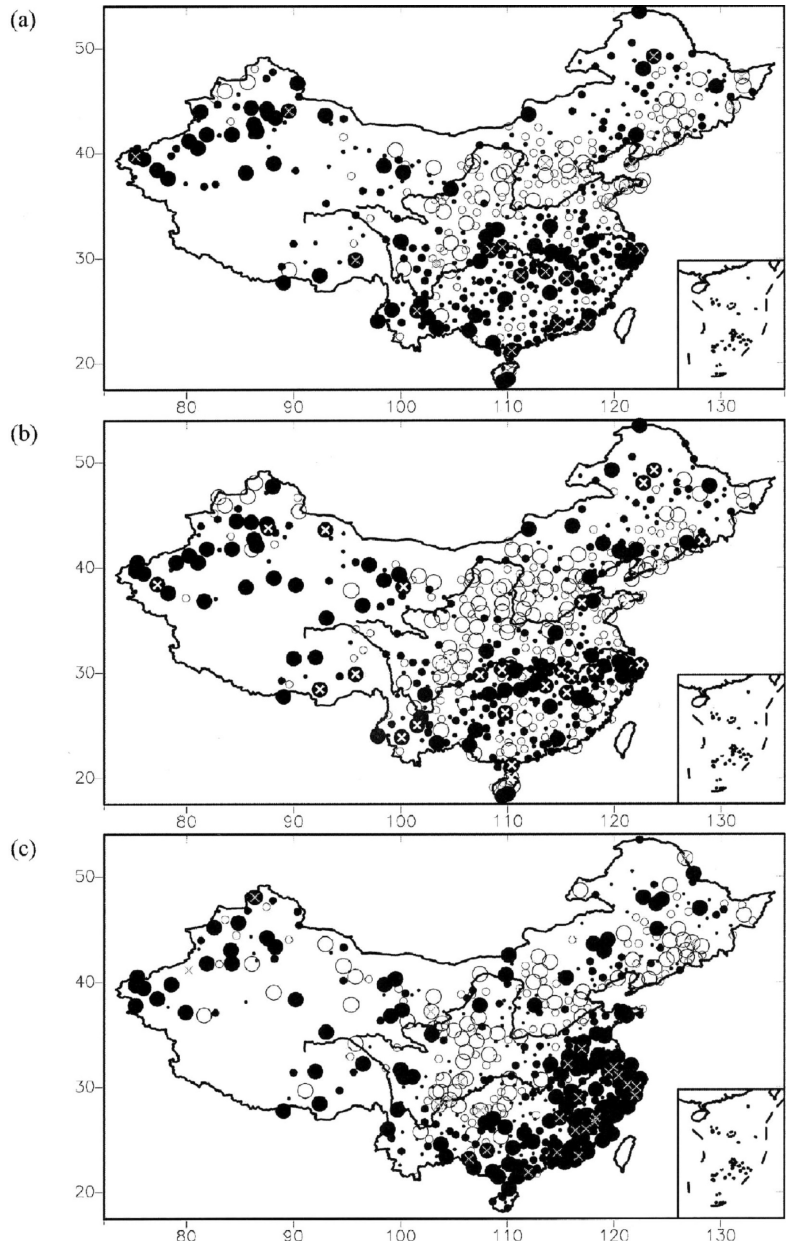
第2図 世界の陸上における観測データによる最近数十年間以上の期間における豪雨の長期変化傾向の分布。アミかけをした国がデータのある国で、+は増加傾向を-は減少傾向を示す。（Groisman *et al.*, 2005）

水量・降水強度ともに増加傾向、南西部では降水強度は減少傾向にあった (Suppiah and Hennessy, 1998). 1998年まで期間を延長した研究でも、南東部での豪雨増加傾向、南西部での減少傾向が認められている (Haylock and Nicholls, 2000 ; Groisman, 2005). 一方ニュージーランドでは、1951~1998年の期間に豪雨頻度の減少が報告されている (Salinger and Griffiths, 2001).

アジアに目を転じると、中国では1951~2000年において、上位5%以上の日降水量の出現頻度が南部・北西部で増加、北部では減少という、地域ごとに異なった変化がみられる (Zhai *et al.*, 2005, 第3図). 夏の降雨について地域別にみた研究 (Endo *et al.*, 2005) によると、特に揚子江域と北西部で強い降雨が増加する傾向が顕著である。一方、降水量が減少している東北部や北部では、強い降水が減少しているものの弱い降水はそれ以上に減少し、相対的に強い降水が降水量全体に占める割合は中国全域で増加している。またモンゴルでは、南部や東部では中国と同様に豪雨の増加がみられるのに対し、北部では減少傾向を示す地域もある (Endo *et al.*, 2006). 気象庁 (2005) は、日本や韓国も含めた東アジア域での1951~2000年における変化を示し、西日本や韓国東部では、日降水量50ミリ以上の日数に減少傾向がみられるなど、中国の同じ緯度帯と必ずしも同じ傾向にはないことを指摘している。熱帯アジアでは、インドにおいては1910年以降、東部を除いて全体的には豪雨が増加傾向にある (Sen Roy and Balling Jr., 2004). また、東南アジア域では、1960年以降では、インドシナ半島東部で豪

雨が増加傾向にある他、フィリピンやインドネシア・インドシナ半島西部でいずれも減少傾向にある (Manton *et al.*, 2001).

日本における豪雨発生 の長期変化については、Iwashima and Yamamoto (1993) が、過去の上位1位~3位の日降水量出現の長期変化を示し、近年の増加



第3図 中国における1951~2000年における豪雨発生 の長期変化傾向の分布。(a) 年間 (b) 暖候季 (c) 寒候季. 黒丸は増加、白丸は減少を示す。(Zhai *et al.*, 2005)

傾向を指摘した。他方、松本・井上 (2005) は、1位の出現は1950年代後半にもっとも多いことや、1～5位の出現には、1930年代後半以降にはめだつた増加傾向はみられないことを示し、単純な増加傾向ではないことを示唆した。気象庁 (2005) では、1901年以降2004年に至る全国51地点における日降水量データを整備し、上位1位～3位の出現にはきわだつた長期変化傾向はみられないこと、2004年は過去最大の出現年であったことを示した。季節別には秋に増加傾向が認められている。日降水量100ミリ以上、200ミリ以上の豪雨の発生頻度にはいずれも全期間では増加傾向が認められるものの、1990年代の出現頻度と1940年代の出現頻度は同程度である。また、東京における時間降水量データによって、1890年～1999年における豪雨発生の長期変化を解析した Kanae *et al.* (2004) でも、1940年代と1990年代の豪雨は同程度の強さである。これらの結果から、1970年代以降の日本における豪雨の増加傾向が、地球温暖化のような長期的変化を反映したものなのか、あるいは数十年スケールでの自然変動を反映したものであるのか、現状での判断は困難である。また、地域的にみると、東京など首都圏で豪雨が増加している可能性があり (藤部, 1998; 佐藤・高橋, 2000; 沖ほか, 2000)、降水強度の増加には、地球規模での温暖化だけでなく都市化の影響も考えられる。1976年以降のアメダスデータを用いた山本 (2006) によると、夏季の北太平洋高気圧におおわれた日における日最大1時間降水量は、関東平野中央部や東京の都心部で有意な増加傾向を示すなど、対流性降雨への都市の影響が現れている可能性がある。他方、気象庁が整備した観測開始以来のデジタルデータを用い、1898年～2003年のデータで日・4時間および1時間降水量の強度別変化傾向を調べた Fujibe *et al.* (2005) では、いずれの時間スケールでも強い豪雨の増加傾向がみられた一方、都市にその傾向が強い事実は認められていない。

4. おわりに

近年の世界の降水の変化傾向を、主に豪雨発生の長期変化に着目して概観した。中高緯度地方においては、一部の例外を除いて豪雨の増加傾向が顕著である一方、アフリカや東南アジア地域ではむしろ減少傾向がみられた。多くの従来の研究がデータ利用の制約から、前世紀後半のみを対象としている。しかし、アメリカ合衆国や日本などでの100年以上の期間での結果

は、50年程度の期間での結果と一致しない場合もあり、より長期間での解析が望まれる。

都市化やエアロゾルの増加など、地球温暖化以外の局地的要因や、大気循環や熱帯低気圧の経路の変化などの大規模場の自然変動によっても豪雨発生の変化は起こる。多くの気候モデルでの結果が地球温暖化に伴う豪雨の増加を示唆しているものの、過去における変化が、はたしてどの程度まで温暖化によっているのか、さらに詳しいデータやモデルを用いて、より定量的に検討していくことが必要である。

日本においても、日より細かい時間スケールでの観測データは、近年まで1960年以降のデータしかデジタル化されていなかった。気象庁による最近の全観測データのデジタル化は、100年以上の時間スケールでの気候変化の検討に重要で、すでに気象庁 (2005) などに成果の一部が発表されている。世界的な視野からみると、グローバルなデータセットへのデータ提供が少ない東南アジアやアフリカにおける研究が立ち遅れており、より長期におけるデータセットの作成を含めて取組んでいく必要がある。

参考文献

- Alpert, P., T. Ben-Gai, A. Baharad, Y. Benjamini, D. Yekutieli, M. Colacino, L. Diodato, C. Ramis, V. Homar, R. Romero, S. Michaelides and A. Manes, 2002: The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, doi: 10.1029/2001GL013554.
- Brunetti, M., M. Colacino, M. Maugeri and T. Nanni, 2001: Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996, *Int. J. Climatol.*, **21**, 299-316.
- Easterling, D. R., J. Evans, P. Groisman, T. Karl, K. Kunkel and P. Ambenje, 2000: Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 417-425.
- Endo, N., B. Ailikon and T. Yasunari, 2005: Trends in precipitation amounts and the number of rainy days and heavy rainfall events during summer in China from 1961 to 2000, *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 621-631.
- Endo, N., T. Kadota, J. Matsumoto, B. Ailikon and T. Yasunari, 2006: Climatology and trends in summer precipitation characteristics in Mongolia for the period 1960-98, *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 621-631.
- Fujibe, F., N. Yamazaki, M. Katsuyama and K. Kobayashi, 2005: The increasing trend of intense precipita-

- tion in Japan based on four-hourly data for a hundred years, *SOLA*, **1**, 41-44.
- 藤部文昭, 1998: 東京における降水の空間偏差と経年変化の実態—都市効果についての検討—, *天気*, **45**, 7-18.
- Groisman P. Y., R. Knight, D. Easterling, T. Karl, G. Hegerl and V. Razuvaev, 2005: Trends in intense precipitation in the climate record, *J. climate*, **18**, 1326-1350.
- Haylock, M. and N. Nicholls, 2000: Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998, *Int. J. Climatol.*, **20**, 1533-1541.
- IPCC, 2001: *Climatic Change 2001: The scientific basis*, Cambridge University Press, 881pp.
- Iwashima, T. and R. Yamamoto, 1993: A statistical analysis of the extreme events: Long-term trend of heavy daily precipitation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **71**, 637-640.
- Kanae S., T. Oki and A. Kashida, 2004: Changes in hourly heavy precipitation at Tokyo from 1890 to 1999, *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 241-247.
- Karl, T. R. and R. W. Knight, 1998: Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 231-242.
- 気象庁, 2005: 異常気象レポート2005, 大蔵省印刷局, 383pp.
- Klein Tank A. M. G. and G. P. Konnen, 2003: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99, *J. Climate*, **16**, 3665-3680.
- Kripalani, R. H. and A. Kulkarni, 1997: Rainfall variability over South-East Asia—connections with Indian Monsoon and ENSO extremes: New perspectives, *Int. J. Climatol.*, **17**, 1155-1168.
- Kunkel K. E., D. R. Easterling, K. Redmond and K. Hubbard, 2003: Temporal variations of extreme precipitation events in the United States: 1895-2000, *Geophys. Res. Letts.*, **17**, 10.1029/2003GL018052.
- Manton, M., P. della-Marta, M. Haylock, K. Hennessy, N. Nicholls, L. Chambers, D. Collins, G. Daw, A. Finet, D. Gunawan, K. Inape, H. Isobe, T. Kestin, P. Lefale, C. Leyu, T. Lwin, L. Maitrepierre, N. Ou-prasitwong, C. Page, J. Pahalad, N. Plummer, M. Salinger, R. Suppiah, V. Tran, B. Trewin, I. Tibig and D. Yee, 2001: Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998, *Int. J. Climatol.*, **21**, 269-284.
- 松本 淳, 井上知栄, 2005: 異常気象と地球温暖化, *科学*, **75**, 1142-1145.
- Nicholson, S. E., B. Some and B. Kone, 2000: An analysis of recent rainfall conditions in West Africa, including the rainy seasons of the 1997 El Niño and the 1998 La Niña years, *J. Climate*, **13**, 2628-2640.
- 沖 大幹, 西元正明, 鼎 信次郎, 2000: 長期間の日降水量記録に基づく東京の大雨の経年変化に関する研究, 日本気象学会2000年秋季大会講演予稿集, (78), 159.
- Osborn, T. J., M. Hulme, P. D. Jones and T. A. Basnett, 2000: Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation, *Int. J. Climatol.*, **20**, 347-364.
- Salinger, M. J. and G. M. Griffiths, 2001: Trends in New Zealand daily temperature and rainfall extremes, *Int. J. Climatol.*, **21**, 1437-1452.
- 佐藤尚毅, 高橋正明, 2000: 首都圏における夏期の降水特性の経年変化, *天気*, **47**, 643-648.
- Sen Roy, S. and R. C. Balling Jr., 2004: Trends in extreme daily precipitation indices in India, *Int. J. Climatol.*, **24**, 457-466.
- Suppiah, R. and K. J. Hennessy, 1998: Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910-1990, *Int. J. Climatol.*, **18**, 1141-1164.
- Tarhule, A. and M. K. Woo, 1998: Changes in rainfall characteristics in northern Nigeria, *Int. J. Climatol.*, **18**, 1261-1271.
- Trenberth, K. E., 1999: Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change, *Climatic Change*, **42**, 327-339.
- 山本奈美, 2006: 中部日本域における夏季対流性降雨の降雨日数と時間降水量の経年変化, 日本地理学会発表要旨集, (69), 125.
- Zhai P., X. Zhang, H. Wan and X. Pan, 2005: Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China, *J. Climate*, **18**, 1096-1108.