

要約

以下は、「豪雨の原因は地球温暖化か？」という疑問への回答を得るための研究ノートである。

結論を述べると、日本において「短時間(=1時間以下)豪雨については、原因の殆どは自然変動であり、地球温暖化の寄与はごく一部である」、「大規模水害をもたらす日降水量の多いまとまった豪雨については、原因は自然変動であり、地球温暖化の寄与は今のところ認められない」、となる。

「気温が上昇するほど飽和水蒸気量が増加し、そのために降水量が増える」という関係(クラウジウス・クラペイロン関係)は、短時間豪雨については観測されたが、まとまった豪雨については、梅雨・台風などの総観気象の影響が卓越するため、観測されなかった。

目次

研究ノート 豪雨の原因は地球温暖化か？	1
1 問題意識 豪雨は増えているのか？ 地球温暖化のせいなのか？	2
2 長期降水量データの均質性について (藤部文昭, 2015)	3
3 1950年以降の Clausius-Clapeyron 関係 (Fujibe, 2013)	5
4 1901年以降の豪雨(日降水量)の変化 (Fujibe et al., 2006)	7
5 大気汚染の改善による霧と微雨の減少、都市の乾燥化	12
6 1981年以降の時間降水量の気温および海水温との相関 (Fujibe, 2015)	13
7 都市の気候変動と異常気象(藤部文昭, 2012)	16
8 筆者による総合的分析	17
1950年以降のデータから、以下が分かった(3章)。	17
1901年以降のデータから、以下が分かった(4章)。	18
大気汚染による霧と微雨の減少(5章)	18
1981年以降のデータから、以下が分かった(6章)。	18
結論	18
文献	21

1 問題意識 豪雨は増えているのか？ 地球温暖化のせいなのか？

まず問題意識を確認するために、アゴラ言論プラットフォームホームページ <http://agora-web.jp/archives/2047114.html> に書いた拙稿を以下に抜粋する。

・環境白書を見ると、豪雨が強くなっており、その背景には地球温暖化がある、としている。だが根拠として示されている統計データは図1だけである。

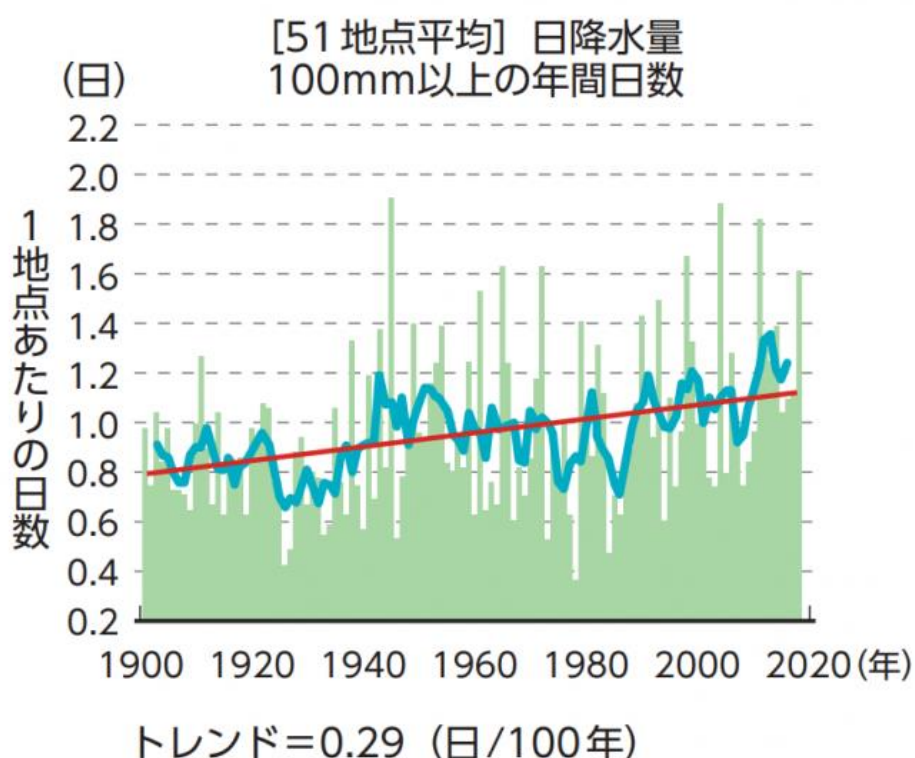


図1 観測地点1か所当たり100ミリ以上の降水量の日の数。(出所: [環境白書令和2年版](#))

環境白書は、この赤い直線に基づいて「日本では豪雨が増えてきた」としている。

だがここで、じっと目を凝らして図1を見る。たしかに全体としては右肩上がりだが、よく見ると、1901年-1940年までは低く、1940年-1970年までは高く、1970年-1990年は低く、1990年-2018年は高い、というように振動しているようにも見える。¹

¹ この振動は(藤部文昭, 2012)も指摘している。

特に、1940年-1970年ごろは、最近とあまり変わらないぐらい豪雨の日数が多い年が幾つもあった。図中で、特に豪雨の多かった年として、年1.5日を超えている年を挙げると、1998年以降に合計4回あるが、他方で1945年、1961年、1965年、1972年にも合計4回あった。

1940年-1970年のころは、まだ人間によるCO2排出は少なかったし、それによるとされる地球温暖化も殆ど起きていなかったから、この間の豪雨の増加はCO2排出によるものではない。だとすると、近年の豪雨の増加も、CO2排出によるものとは限らないのではないか？あるいはCO2排出の寄与があったとしても、それ以外の理由による変動、例えば数十年規模の気候の自然変動による影響も大きかったのではないか？このように、豪雨が近年になって増えているといっても、それが地球温暖化と因果関係があるとは言い切れない。

のみならず、じつは近年に豪雨が本当に多いのかもよく分からない。というのは、この図が右肩上がりになっている理由には、あと2つが考えられるからだ。

第1は、都市化の影響である。東京やその周辺では、都市があることによって降水量が1~2割増えた、という試算もある。都市化によって降水が増加するメカニズムとしては、1) ヒートアイランドによって上昇気流が生じ、都市上空へ水蒸気が入りこみ、雲が発達すること、更には、2) 高層建築物が障壁になって上昇気流を作り出し雲ができること、等が指摘されている。

第2は、計測の誤差である。雨量観測の装置が時代によって変更されてきたので、1970年以前の降水量は少なめに観測されている、との指摘がある。

本当に豪雨が増えたか否かを知るためには、以上も合わせて検討する必要がある。それをせずに、大雑把に直線を引いて豪雨が増えたとするのは不適切である。

2 長期降水量データの均質性について (藤部文昭, 2015)

以下、幾つかの文献についてノートを記す。まずは(藤部文昭, 2015)から。(参考: なおこの文献に類似内容の動画がある: 「統計からみた気象の世界」
<https://www.youtube.com/watch?v=jE1oj50ogk>)

- ・長期降水量データには均質性の問題がある。

長期降水量データの均質性に関わる問題

- ・雨量計の変更
- ・蒸発損失
- ・雨量計の捕捉率の問題
- ・観測所周囲の建物・樹木による遮断
- ・受水器・貯水器内壁の濡れによる損失
- ・受水器での跳ね返り (splashing) による損失
- ・観測時刻の変更

この多くは、本稿で調べる文献 (Fujibe, 2013) (Fujibe, Yamazaki, & Kobayashi, 2006) (Fujibe, 2015) では、長期統計に反映されていない。

これら文献では、長期統計のデータの品質管理としては、1) データの欠損値がある場合に、それを棄却したり、あるいは推定する、2) 雨量計の測定単位が何ミリかという精度の変更に伴う誤差に対して平均操作で補正している、といったことが述べられている。

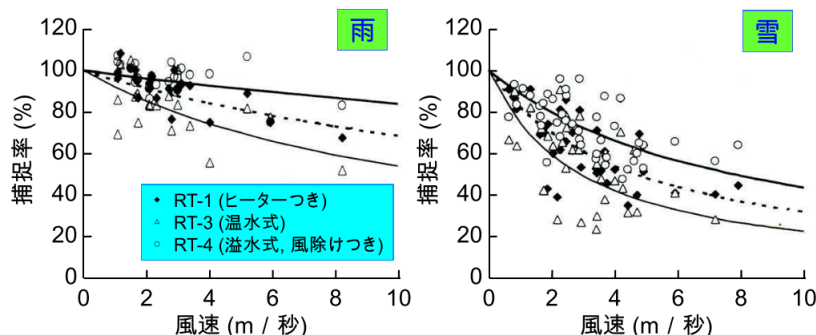
(Fujibe et al., 2006) では雨量計の捕捉率の問題、受水器の濡れ・跳ね返り損失に言及があるが補正は困難であり行っていない、としている。

なおデータの品質管理についてはまとまった説明は(藤部文昭, 2012) p126にある。

・本稿のテーマである豪雨に関して、上記のリストの中で特に重要に見えるのは、雨量計の補足率が風速に伴って大きく変わることである(横山, 2003) :

雨量計の捕捉率と風速との関係

3種類の転倒ます雨量計による捕捉率



真値は二重柵基準降水量計による観測値に補正を加えたもの

横山宏太郎ほか, 2003: 冬期における降水量計の捕捉特性. 雪氷, 65, 303-316.

豪雨・豪雪の場合は風速も強い場合が多いであろうから、この誤差は大きくなりそうだ。またこれが雨量計の種類によっても風速依存性が異なることも、長期統計への誤差を生みそうだ。

・豪雪については雨量計への着雪によっても捕捉率が下がる。(中井, 2009)

・なお藤部氏は誤差を積極的に開示すべきであるとしている：

品質情報についての考え方

週刊「エコノミスト」2013年6月4日号

不確実なものを予測するときには誤差はつきもの。そう考えれば、**誤差を明らかにすることは、むしろその値の確からしさを証明する品質表示になる。**(略)

だが一般には「**誤差 = 正しくない、間違い**」のイメージが根強いいためか、日本では公的統計でも誤差が開示されないことが多い。(略)

政府や日銀は誤差を理解し、それを織り込んで政策を策定したとしても、国民との間には情報のギャップが生まれていることになる。国民の誤差への理解、統計リテラシーの向上のためにも、**公的統計が積極的に誤差や推計方法を公表し、透明性を高めることが必要だ。**

・雨量計の設置の仕方によっても観測値は変わるという指摘がある。

「昔の雨量計は雨量小屋の上に取り付けられ、記録装置は小屋の中に置かれていた。受水口に入る降水粒子の捕集率は風速によって変化し、強風時の降水量は少なめに観測される。特に降雪の場合の捕集率は風速とともに急激に小さくなる…雨量計受水口が小屋の上に設置されていた1970年代以前の降水量は少なめに観測されたことになる」

出所： 近藤純正ホームページ K48. 日本の都市における熱汚染量の経年変化

<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke48.html>

3 1950年以降の Clausius-Clapeyron 関係 (Fujibe, 2013)

・ Clausius-Clapeyron (CC) 式とは温度と飽和水蒸気量の関係式。5°Cでは 7%/°C、25°Cでは

6%/°C。

・豪雨がこの関係に従って増えるかどうか確認した標記論文を検討する。

・10分間雨量 (P_10m)、1時間雨量 (P_hour)、一日雨量 (P_day) の年最大値と年95パーセンタイルを検討(95パーセンタイルは降水量あり(0.5mm以上)の場合のみを対象に勘定する)。期間は1951–2010年にかけての92観測所の平均:

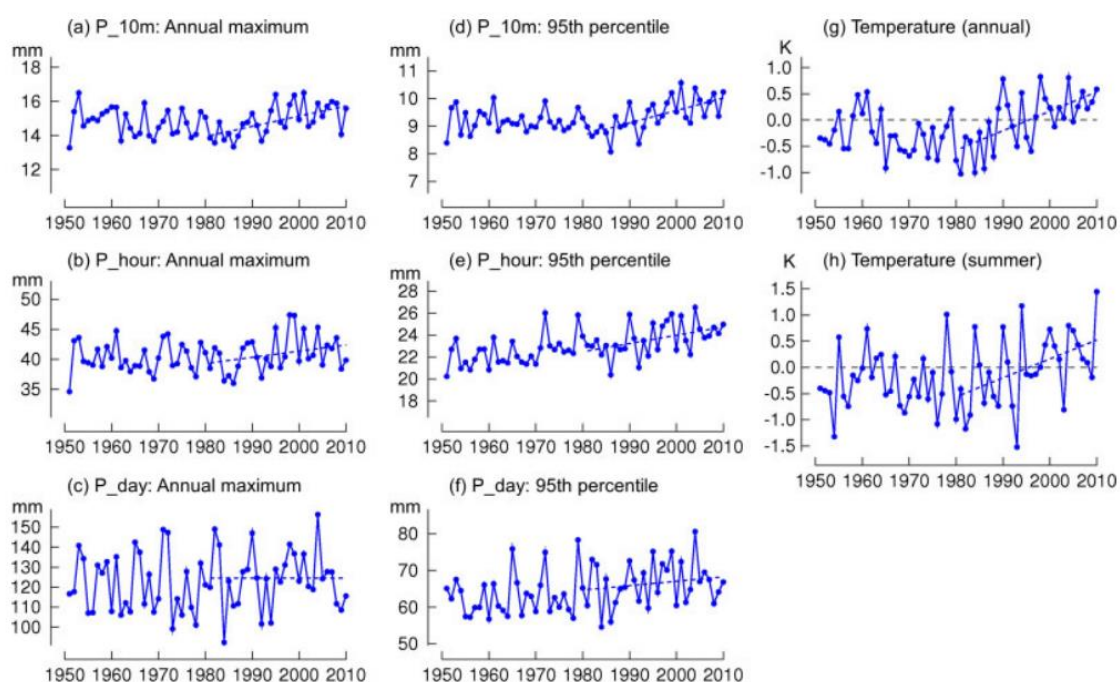


Figure 2. Time series of precipitation indices (a–f) and temperature (g, h). Temperature is shown in deviation from the 1981–2010 average. Dashed lines indicate linear regression for 1981–2010.

Table I. Average and trend of each index for 1981–2010.

	P_10m		P_hour		P_day	
	Average (mm)	Trend (% per decade)	Average (mm)	Trend (% per decade)	Average (mm)	Trend (% per decade)
Annual maximum	14.0	4.5 ± 2.3*	39.3	2.7 ± 3.2***	124.5	0.0 ± 5.1
Annual tenth	5.0	5.0 ± 3.8**	12.5	3.1 ± 4.1	33.8	1.0 ± 5.8
95th percentile	8.7	5.4 ± 2.3*	22.5	3.4 ± 2.5*	64.7	1.9 ± 4.0
90th percentile	6.1	6.1 ± 2.3*	15.5	3.6 ± 2.6**	43.0	1.8 ± 4.0

*1% significant.

**5% significant.

***10% significant.

・1981年以降、上のTable 1より、P_10mとP_hourは有意に増加。だがP_dayは増加していない(有意な増加無し)。

・なお上の Table 1 で P_day の Annual maximum の平均値は 124.5mm となっているので、1 章で言及した環境白書の「100mm 以上の雨の日数」のトレンドと比較するには、4 つの指標のうち、Annual maximum を見ればだいたいよさそうである。

Table II. Correlation coefficient and $\Delta P/\Delta T$ between temperature and each precipitation index.

Precipitation extremes		Temperature	P_10m		P_hour		P_day	
			Correlation	$\Delta P/\Delta T$ (%/K)	Correlation	$\Delta P/\Delta T$ (%/K)	Correlation	$\Delta P/\Delta T$ (%/K)
Five-year averages	Annual maximum	Annual	0.86*	8.6 ± 3.6*	0.71*	6.7 ± 4.6*	0.21	2.8 ± 9.1
		Summer	0.63**	6.4 ± 5.6**	0.67*	6.3 ± 5.0**	0.32	4.3 ± 8.9
	Annual tenth	Annual	0.81*	11.1 ± 5.6*	0.75*	8.6 ± 5.3*	0.26	3.1 ± 7.9
		Summer	0.75*	10.3 ± 6.4*	0.69**	7.9 ± 5.9**	0.06	0.7 ± 8.3
95th percentile	Annual	0.86*	9.7 ± 4.1*	0.60**	8.8 ± 8.3**	0.48	6.4 ± 8.2	
	Summer	0.87*	9.9 ± 3.9*	0.76*	11.1 ± 6.8*	0.66**	8.8 ± 7.1**	
90th percentile	Annual	0.84*	11.1 ± 5.0*	0.62**	9.9 ± 8.8**	0.49	5.7 ± 7.3	
	Summer	0.90*	12.0 ± 4.0*	0.75*	12.1 ± 7.4*	0.60**	7.2 ± 6.7**	
Annual values	95th percentile	Annual	0.61*	7.1 ± 2.4*	0.48*	6.6 ± 3.2*	0.31**	6.0 ± 4.9**
	Summer	0.60*	5.2 ± 1.8*	0.33**	3.4 ± 2.6**	-0.04	-0.5 ± 3.9	
Deviation from 5-year running mean	95th percentile	Annual	0.47*	5.8 ± 3.3*	0.38*	5.4 ± 4.1**	0.27**	6.6 ± 7.3***
		Summer	0.56*	4.2 ± 2.0*	0.19	1.7 ± 2.7	-0.24***	-3.6 ± 4.6

*1% significant.
 **5% significant.
 ***10% significant.

・上記 Table 2 を見ると、短時間雨量 (P_10m と P_hour) は概ね CC に沿った雨量増大が有意に見られる。

・一日雨量 (P_day) には CC に沿った雨量増大はあまり見られない (上図 Table II で一部有意に出ているものもあるが、だいたいは有意でない)。この理由として、「P_day は、短時間雨量に比べて、総観気象 (梅雨前線の活動や台風等) の偶発的な変化に強く影響されるため、高い年々の変動があるからかもしれない」、としている。

4 1901 年以降の豪雨 (日降水量) の変化 (Fujibe et al., 2006)

・1901 年以降、日降水量の多い日数の増大が見られる

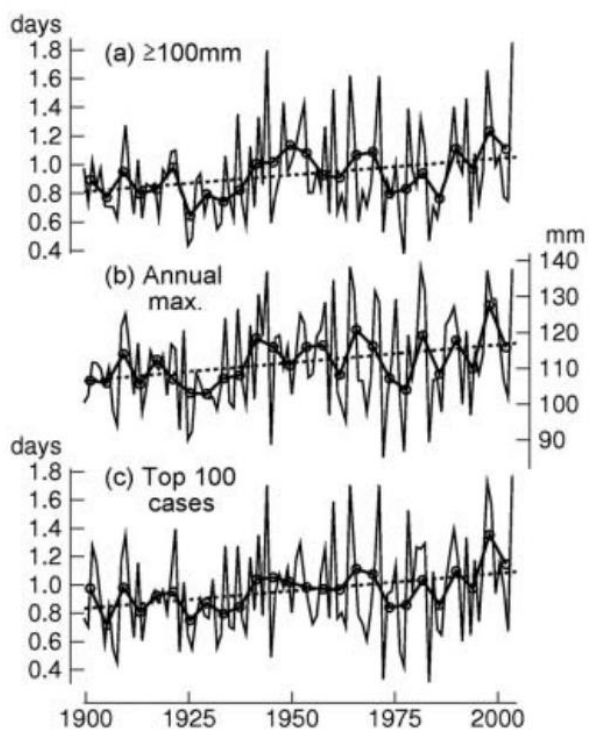


Fig. 11. Time series of ≥ 100 mm days, annual maximum precipitation, and the frequency of the top 100 cases of daily precipitation.

- ・ どのような基準で豪雨とするかによって傾向はやや異なるが全体としては増加傾向。

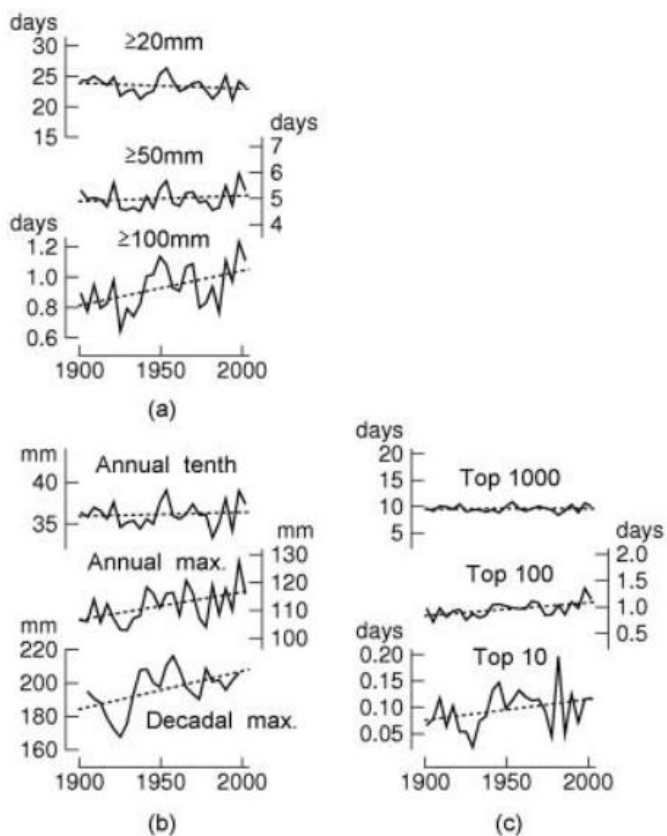


Fig. 13. Time series of each index in daily precipitation. The graphs of ≥ 100 mm days, annual maximum precipitation, and the top 100 cases are the same as those shown in Fig. 11.

なお以上は全国平均としているが、豪雨は西日本に多いので、例えば 100mm 以上の豪雨の日数というデータは、事実上西日本のデータになっている（下図参照）。なおこの事情は（藤部文昭，2012）p131 に説明がある。

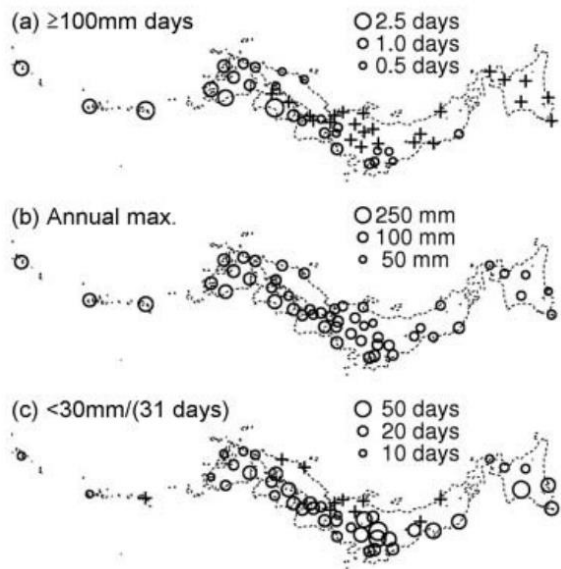


Fig. 5. Distribution of each index averaged over the 104 years. Crosses indicate values less than the smallest value in each legend (<0.5 day for (a), for example).

- ・また少ない降雨の日は減少している。

- ・筆者が思うに、このように 1901 年以降だと日降水量は増大しているが、1901 年以降での日降水量の増大は、じつは 1901 年から 1950 年までの降水量が少なかったことに起因しているのではないかと。というのは、Fig 11 と 13 のいずれをみるとそう見えるからである。1950 年までは降水量が少なく、それ以後はほぼフラットである。

- ・1950 年以降だと 3 章の (Fujibe, 2013) で述べたように、1981-では P_day Annual Maximum および 95 パーセンタイルは有意に増加していない。1951-1980 については P_day Annual Maximum および 95 パーセンタイルは何れもおおむね横ばいに見える (論文ではなぜか分析されていない)

- ・なお、この論文の押しは、日降水量の多さを 10 のカテゴリーに分けた時、強い雨の日が増えて弱い雨の日が減った、というもの :

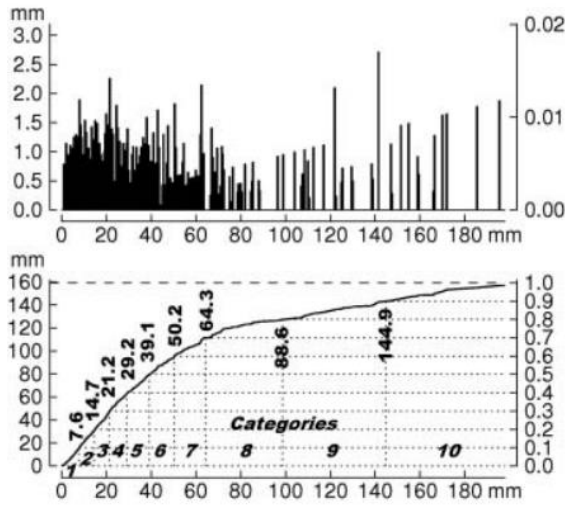


Fig. 2. Definition of intensity categories, for daily precipitation at Tokyo in August as an example. The upper panel shows the precipitation amount per month for each 0.5 mm interval (average for 1901–2004), and the lower panel shows its integration, namely the cumulative precipitation amount. In both panels, scales on the left give precipitation amount, and those on the right indicate relative amount with respect to the total.

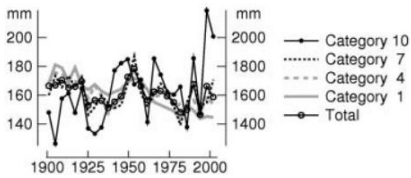


Fig. 7. Time series of precipitation for categories 1, 4, 7 and 10 (left scale) and the total precipitation (right scale). In this and the following figures of the same style, averages over the stations for each four years are shown with a linear regression line. The graph of the total precipitation is the same as that shown in Fig. 6.

- ・ただし超長期トレンドは、1900-1950年の降水量がすくないことによりかなりひっぱられているように見える。ここにはデータの問題があるだろう。
- ・他方で1980年以降だけをとれば有意にP_{day}が増えていないことは3章で確認済み。

(Fujibe, 2005)も同様の分析をして同様の結果を得ている。ただし4時間雨量を対象としている。またデータにも問題があったことが(Fujibe et al., 2006)の冒頭で指摘されている

5 大気汚染の改善による霧と微雨の減少、都市の乾燥化

昔の日本では霧が多く発生し、また微雨の日が多かった。今ではこれは大幅に減った。昔は大気汚染がひどかったことから霧粒や雨粒の形成が促進されたのではないかと見られている。

霧の日数のデータ：

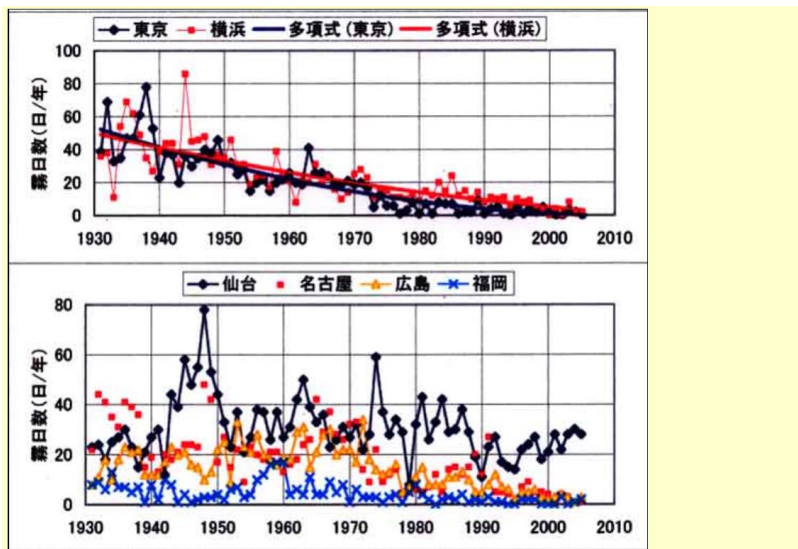


図21.1 大都市における霧日数の経年変化
(上) 東京、横浜、(下) 仙台、名古屋、広島、福岡

出典： 近藤純正ホームページ

<https://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke21.html>

東京で微雨が多かったことは(藤部文昭, 2012)p146でも言及されている。

筆者が思うに、長期統計で雨量の少ない日が減っているとされ(そして相対的に雨の降り方が極端になっていて豪雨が増えているという意見も散見され)るが、大気汚染の改善はその要因の1つと思われる。ただし、その定量的な寄与の試算は寡聞にして知らない。

また都市が乾燥化をもたらしている側面もあり(藤部文昭, 2012) (p54)、これも弱い雨の減少に関係しているかもしれない。

6 1981年以降の時間降水量の気温および海水温との相関 (Fujibe, 2015)

日本の時間降水量の年間最大値 P_{max} 、同 95 パーセンタイル P_{95} 、および気温 AT、海面温度 SST はいずれも 1980 年以降増加している。

ただし筆者が思うに、一貫した傾向というよりは、80 年代前半に低い値をとった後、80 年代終盤にジャンプがあり、後はフラットになっているようにも見える：

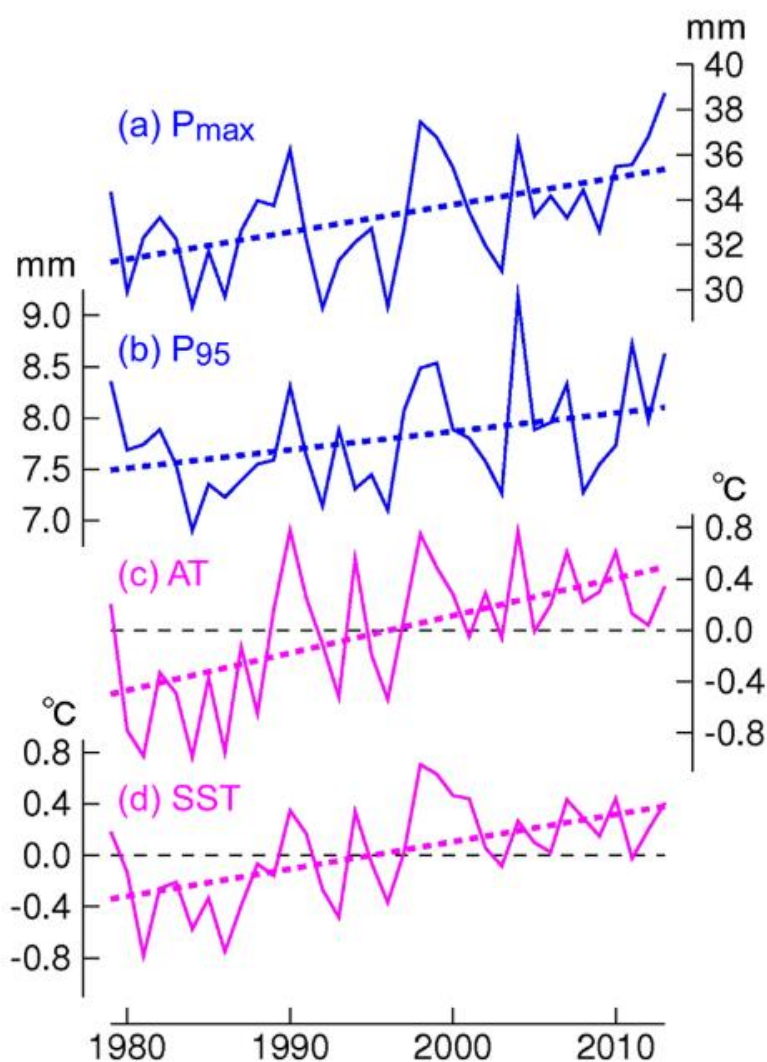


Fig. 2. Year-to-year variations of P_{max} (annual maximum) and P_{95} (based on annual data) for hourly precipitation, and of AT and SST (annual mean of deviation from the 1981–2010 average), each averaged over the whole country. Dashed lines indicate linear trends.

以上は 1 時間降水量だったが、他方で、6 時間降水量および 1 日降水量は、それほど顕著に

増加していない。6時間降水量について、下記のトレンドは危険率10%レベルで有意である。1日降水量は、下記のトレンドは危険率10%レベルでも有意ではない。また6時間降水量および1日降水量は、年々の変動が1時間降水量に比べて大きい。

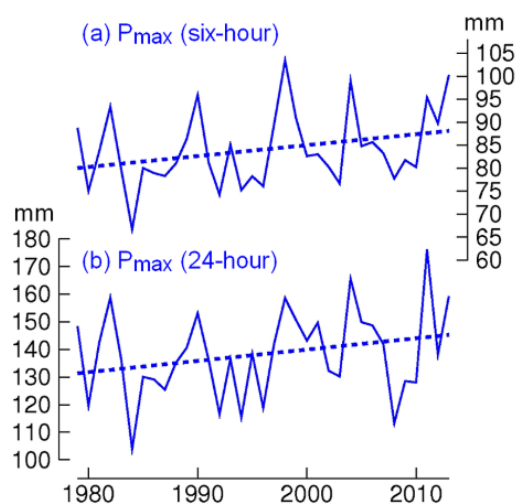


Fig. 4. Same as Fig. 2, but for Pmax for six-hour and 24-hour precipitation.

・ AT および SST は、1時間雨量とは相関関係があり、CC 関係が見て取れる（下図左、いずれも危険率1%で有意）。

・ AT および SST は、6時間雨量と1日雨量とも弱い相関がある（下図右）。相関係数は0.3と0.6の間であり、6時間雨量は危険率5%で有意、1日雨量は危険率10%で有意。

（なお回帰線は概ねCC関係になっているが、論文ではCC関係への言及は無い）

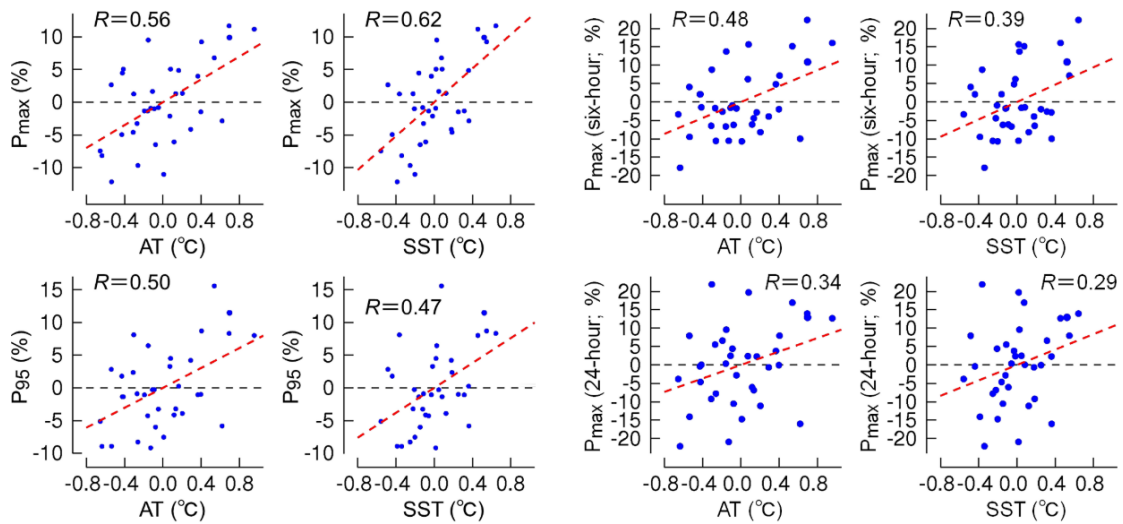


Fig. 5. Scatter diagram of extreme precipitation index (P_{\max} or P_{95} for hourly precipitation) and temperature (AT or SST) on the annual statistics for the whole area. Each dot indicates an annual value. The red dashed line indicates the linear regression, and R is the correlation coefficient.

Fig. 7. Same as Fig. 5, but for P_{\max} for six-hour and 24-hour precipitation.

・全国的に、気温、海面温度、降水量の何れも増加傾向にある。

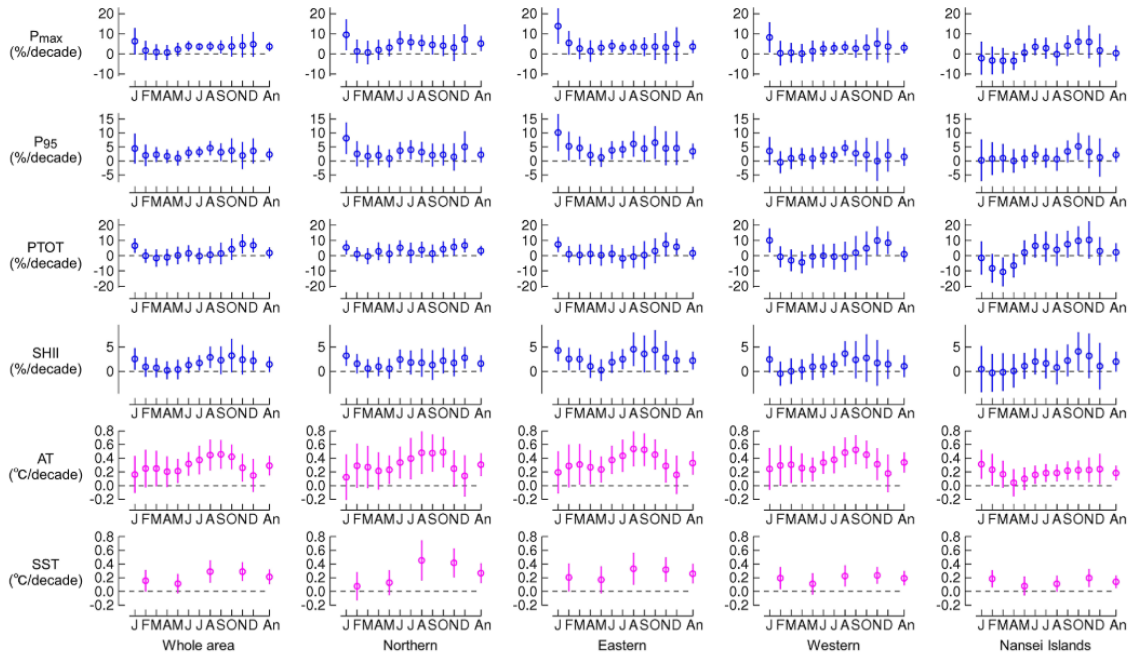


Fig. 3. Linear trends of each parameter for each region and month. The value based on the annual statistics is shown as 'An' on the right of each panel. Vertical bars indicate the 95% confidence range.

・降水量変化には地域差がある。下記、PTOT は総降水量 (SHII は説明略)。

- 全国的には、だいたい図中でプラスの値になっており、気温と降水量に正の相関が見取れる。

- ただし、西日本と南西諸島では、下記（June July August）にかけて、気温と海面温度に対して、Pmax P95 PTOT のいずれも相関が負になる傾向がある。これは、暑い夏には、高気圧が張り出して、雨が少なくなることに対応している。

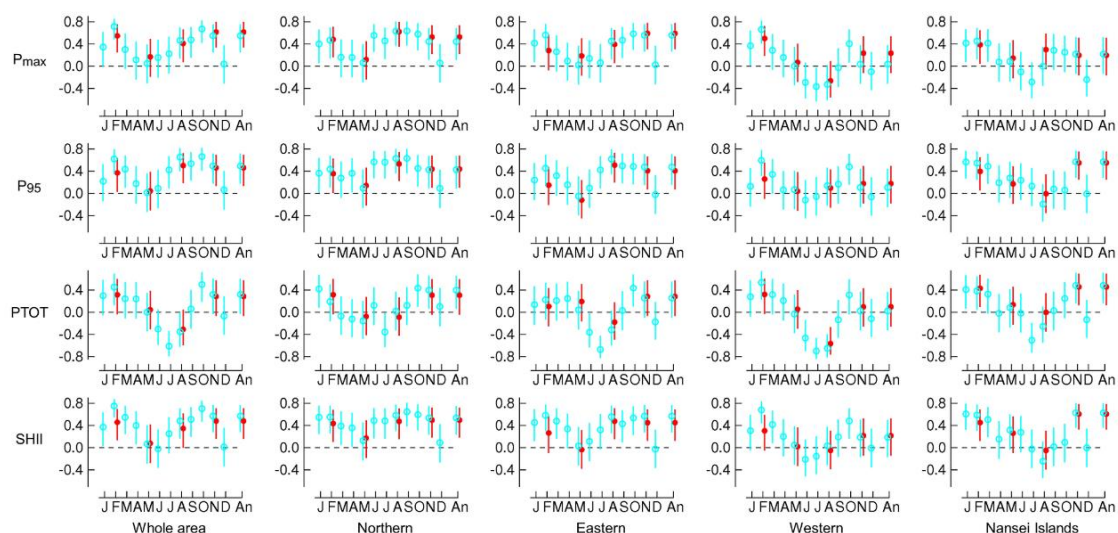


Fig. 6. Correlation coefficients between each parameter and AT (blue open circles), and SST (red closed circles) for each region and month. Symbols have been shifted left or right to avoid overlapping. The meanings of 'An' and vertical bars are the same as in Fig. 3.

- ・1時間のPmaxは局所的な温度との相関が高く、それより長い時間スケールの1日Pmaxなどは相関が弱くなる。理由は、短時間の降水量に比べて、1日降水量は、総観気象（梅雨前線の活動や台風など）の影響を受けるからと見られる。

- ・Pmaxは自然変動の一部である太平洋10年規模振動Pacific Decadal Oscillation index (PDO)との相関がある。

- ・この期間、年間の1時間最大降水Pmaxおよび95パーセントイル降水P_95は2-4%/decadeでふえており、ATとSSTは0.2-0.3°C/decadeで増えた。

7 都市の気候変動と異常気象(藤部文昭, 2012)

- ・都市化による降水への影響はまだよく分かっていない。p132

なお一般向けの解説として以下がある。

都市の気候変動と異常気象 <https://gendai.ismedia.jp/list/author/fumiakifujibe>

- ・ 東京では1時間雨量が1890年以降の超長期にわたってとられている：

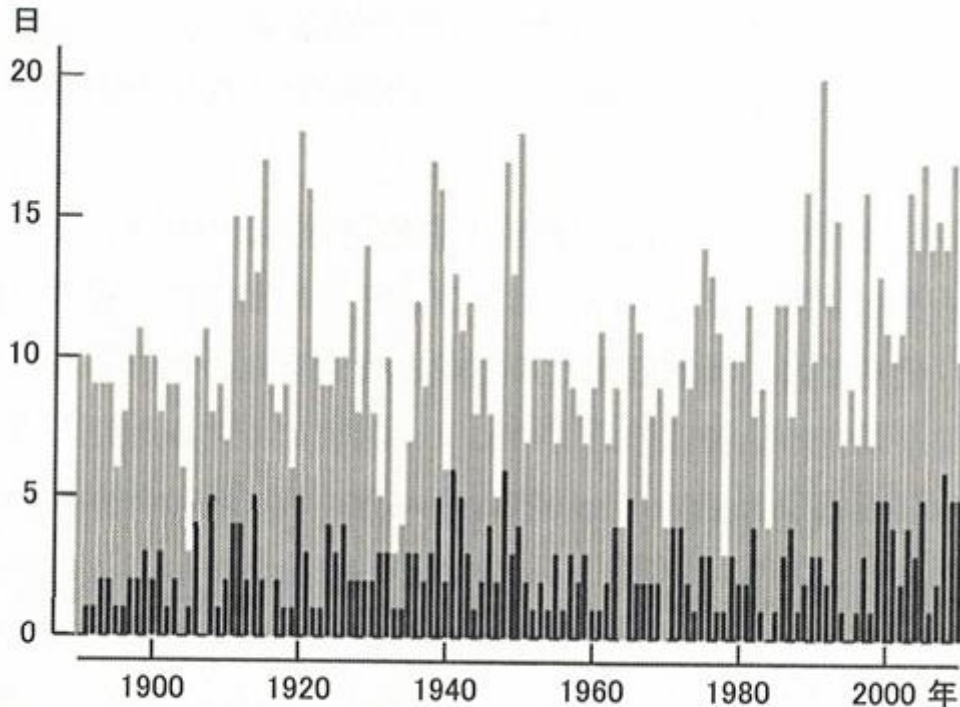


図 9.6 東京で1時間に10 mm 以上（灰色）および20 mm 以上（黒）の降水が観測された日数の経年変化（1890～2010年）

- ・ この東京での降水日数は有意に増大している。p144
- ・ 降水データの品質管理についてはまとまった説明が p126 にある。
- ・ 全国の豪雨データ、特に日降水量が100mm 以上のデータは、実質は西日本のデータであることは p131 にある。

8 筆者による総合的分析

1950年以降のデータから、以下が分かった（3章）。

- ・ 1981年以降、P_{10m} と P_{hour} の年最大値および95パーセンタイル値は有意に増加。
- ・ 1981年以降、短時間雨量（P_{10m} と P_{hour}）の年最大値および95パーセンタイル値は概

ね CC に沿った雨量増大が有意に見られる。

- ・ 1981 年以降、P_day は有意に増加していない。一日雨量 (P_day) には CC に沿った雨量増大はあまり有意に見られない (少数の指標では見られる)。

1901 年以降のデータから、以下が分かった (4 章)。

- ・ 1901 年以降だと日降水量は増大している。

(だが、1950 年以降だと 3 章で述べた様に増大していないように見えるから、1901 年以降の日降水量の増大傾向は、じつは 1901 年から 1950 年までの降水量が少なかったことに起因していることになる。)

大気汚染による霧と微雨の減少 (5 章)

- ・ 日本の都市で、大気汚染が理由と思われる霧と微雨は減少した。
- ・ 1901 年以降で観察された雨の弱い日の減少に効果があると思われるが定量化されていない。
- ・ 大気汚染と豪雨の関係も分析されていない。理論的には大気汚染は豪雨を増やすかもしれないし減らすかもしれない。

1981 年以降のデータから、以下が分かった (6 章)。

- ・ AT および SST は、1 時間雨量の最大値 95 パーセンタイルとは相関関係があり、CC 関係が見て取れる (下図左、いずれも危険率 1%で有意)。

- ・ AT および SST は、6 時間雨量と 1 日雨量とも弱い相関がある。相関係数は 0.3 と 0.6 の間で、6 時間雨量は危険率 5%で有意、1 日雨量は危険率 10%で有意。

(回帰線は概ね CC 関係になっているが、論文では CC 関係への言及は無い)

ただし上述のように 3 章の 1981 年以降の分析では 1 日雨量は気温との相関があまり見出されていない。このこともあって、この 6 章の論文では CC 関係への言及が無いと推察される。

結論

A) 1981 年以降、短時間雨量 (P_10m と P_hour) の年最大値および 95 パーセンタイル値は概ね CC に沿った雨量増大が有意に見られる。

この雨量増大の気温上昇によるもので、かつ、その気温上昇の一部は地球温暖化によるものかもしれない。

ただし、以下について更に検討が必要である：

- 長期降水量データの均質性についての検討。特に豪雨の時は風速が強いので、捕捉率は大きく下がる。この捕捉率の変化は、観測機器によって異なる。
- 都市化の影響（都市の存在による降雨の増加）
- 大気汚染の減少の影響

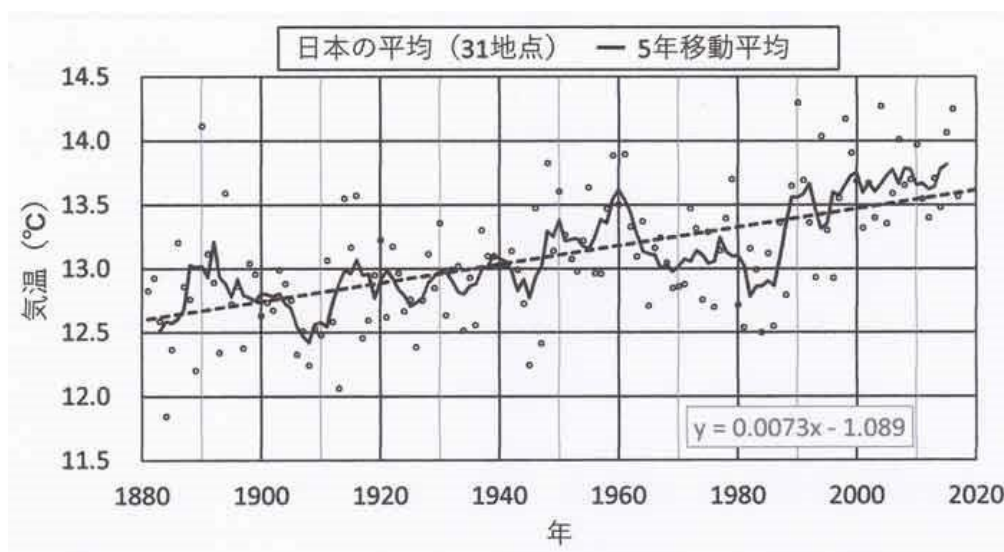
B) 1981 年以降、日降水量(P_day)の年最大値および 95 パーセンタイル値は有意に増加していない(3 章、6 章)。CC 関係は有意ではない(3 章)(ただし 6 章ではかろうじて有意水準 10%で CC 関係が見られるが、論文ではあまりとりあげていない)。

理由として、日降水量は、短時間雨量に比べて、総観気象(梅雨前線の活動や台風等)の偶発的な変化に強く影響されるため、年々の変動が大きいことが挙げられている。

ただし、特に 1950 年以前のデータを中心に、以下について更に検討が必要である：

- 長期降水量データの均質性についての検討。特に豪雨の時は風速が強いので、捕捉率は大きく下がる。この捕捉率の変化は、観測機器によって異なる。
- 都市化の影響（都市の存在による降雨の増加）
- 大気汚染の減少の影響

なおしばしば分析対象となっていた 1981 年以降は日本の気温上昇が特に進んだ時期と一致している。(下図)



1881年～2017年の日本平均のバックグラウンド気温(都市化等の影響を除き補正したもの)の経年変化、1881年～2017年(137年間) K173. 日本の地球温暖化量、再評価 2018 近藤純正ホームページ

<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke173.html>

C) 残ったナゾ

1901-1950年は随分と豪雨がすくないが、理由は何だろうか？

- 長期降水量データの均質性についての検討。観測器、観測方法、観測周囲環境等の影響。特に豪雨の時は風速が強いので、捕捉率は大きく下がる。この捕捉率の変化は、観測機器によって異なる。
- 都市化の影響(都市の存在による降雨の増加)
- 大気汚染の減少の影響
- 数十年規模振動等の自然変動の影響
- 地球が寒かったからかもしれない

D) 政策への示唆

- 短時間豪雨(P_{10m}とP_{hour}の年最大値や95パーセンタイル値)はいわゆる都市型ゲリラ豪雨災害をもたらすような雨に相当するであろう。これはCC関係によって強くなったかもしれない。仮に地球が30年間で0.2℃温暖化したとすると、CC関係ならば6倍して1.2%の降水量増大となる。気候の自然変動がこれに加わって30年間で0.4℃気温が上昇したとすると、2.4%の降水量増大である。1時間に50mmの雨が51.2mmになる、ということになる。
- 大規模な水害をもたらすのは、「日降水量が100mm以上」といったまとまった雨である。これには上記では日降水量の最大値や95パーセンタイルの分析が相当する。1981年以降のデータの既往の分析では、増加傾向も無ければ、CC関係もはっきりとは見出されていない。だがもしも仮に既往の分析が誤りで、CC関係が成立するとなればどうか。地球が30年間で0.2℃温暖化したとすると、CC関係ならば6倍して1.2%の降水量増大となる。(なお気候の自然変動がこれに加わって30年間で0.4℃気温が上昇したとすると、2.4%の降水量増大である。)100mmの雨であれば101.2mmになるということである。

以上のように、豪雨は温暖化のせいか？と言えば、「ゲリラ豪雨をもたらすような短時間豪雨については、原因の殆どは自然変動であり、地球温暖化の寄与はごく一部であった」、「大規模な水害をもたらす日降水量が多い豪雨については、原因の殆どは自然変動であり、地球温暖化の寄与は今のところはっきりとは認められない」となるだろう。

E) 今後について

政府は環境省、気象庁を中心に、本稿のような分析を実施し、また過去のデータの均質性についても検討を深め、透明性のある形でデータと分析結果を公開すべきである。

- 超長期降水量データ (P_day, P_hour, P_10m) の観測値の整備
- 上記観測値に伴うメタデータの整備 (観測法、観測器、周辺環境の変化、とくにそれによる計測器周辺の風速変化、都市化、大気汚染)
- 上記メタデータによる降水量観測データの誤差推計および補正

文献

- Fujibe, F. (2005). The Increasing Trend of Intense Precipitation in Japan Based on Four-hourly Data for a Hundred Years. *Sola*, 1.
<https://doi.org/10.2151/sola.2005-012>
- Fujibe, F. (2013). Clausius-Clapeyron-like relationship in multidecadal changes of extreme short-term precipitation and temperature in Japan. *Atmospheric Science Letters*, 14(3), 127-132. <https://doi.org/10.1002/asl2.428>
- Fujibe, F. (2015). Relationship between interannual variations of extreme hourly precipitation and air/sea-surface temperature in Japan. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 11(1), 5-9. <https://doi.org/10.2151/sola.2015-002>
- Fujibe, F., Yamazaki, N., & Kobayashi, K. (2006). Long-term changes of heavy precipitation and dry weather in Japan (1901-2004). *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 84(6), 1033-1046.
<https://doi.org/10.2151/jmsj.84.1033>
- 中井横山. (2009). 降水量計の捕捉損失補正の重要性. *天気*, 56.
- 横山他. (2003). 冬期における降水量計の捕捉特性. *氷雪*, 65(3).
- 藤部文昭. (2012). 都市の気候変動と異常気象. 朝倉書店.
- 藤部文昭. (2015). 日本における大雨の長期変動. 異常気象分析検討会.