

我が国での降水の変遷に及ぼす気温上昇の影響

大分高専 正会員 東野 誠
五洋建設 非会員 林 照将

1. まえがき

著者は、我が国の最近約 100 年間での気温や降水量の変動について検討を行っている^{1), 2)}。温暖化が降水に何らかの影響を及ぼすことが懸念されている。気温の上昇が降水に及ぼすインパクトを表現するために日最大降水量や時間最大降水量等が用いられることが多い。これらは、instantaneous な水文学量であるが、代替する integrated な水文学量として Precipitation Concentration Index (CI) が考えられる。本研究では、我が国の 1901~2020 年(120 年間)における降水の変遷に着目して、都市化の影響が無視し得ると考えられる 10 地点を選定し、前述の 120 年間(1901-2020)での CI の経年変化を求めるとともに、気温の上昇との関係を考察した。

2. 調査対象地点

気象庁が定期観測を行っており、上述の 120 年間(1901-2020)に亘る観測データが整備されている 10 地点(網走, 根室, 寿都, 伏木, 銚子, 堺, 浜田, 厳原, 名瀬, 石垣)を調査対象地点として選定した。これらの 10 地点における年平均気温, 月毎の日平均気温, 年降水量, 日降水量等の観測結果を気象庁の HP (www.jma.go.jp) より入手し、解析に供した。

3. 解析方法

時系列データにおける経年変動のトレンドを捉えるために、Sen's slope estimator を用いた。これにより年平均気温, 月毎の日平均気温, 年降水量, および CI のトレンド β を計算した。

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right), \quad j > i \quad (1)$$

このようにして得られたトレンドの統計的有意性は Mann-Kendall 検定により検討した。Mann-Kendall 検定は前述の Sen's slope estimator と同様、ノンパラメトリックな方法であり、気象学や水文学等において時系列データのトレンドを分析する際に広く用いられる統計的手法である。これによって得られる Z_{MK} と p -value が、トレンドの特徴とその統計的有意性を表わす。

Precipitation Concentration Index (CI), すなわち、ジニ係数はデータの不均一さを表す指標であり、本研究では、降水の不均一さを調べるために用いた。各地点における年毎の日降水量の累積度数 ($\Sigma P_i=1$) と降水日数の累積度数 ($\Sigma N_i=1$) を計算した。それに際して、降水の閾値は 0.1mm とした。このようにして得られた結果について、1918 年の寿都を一例として図-1 に示す。図中には次式で表される Lorenz 曲線も併示されている。

$$Y = aX \exp(bX) \quad (2)$$

ここに、 a と b は定数であり、観測データにあてはまるよう、最小二乗法により決定した。なお、図中の直線 ($y=x$) は、年間を通して均等な降水を想定した場合であり、この直線と Lorenz 曲線に囲まれた領域の面積を A とすれば、ジニ係数、すなわち、CI は次式で与えられる。

$$CI = \frac{A}{5000} \quad (3)$$

ここに、

$$A = 5000 - \int_0^{100} ax \exp(bx) dx \quad (4)$$

降水が年間を通して均等であれば、Lorenz 曲線は直線 ($y=x$) に接近し、ジニ係数は 0 に近い値となる。一方、少ない日数に降水が集中すれば、Lorenz 曲線と直線 ($y=x$) の間の領域の面積 A は大きくなり、ジニ係数は 1 に近づく。

4. 結果と考察

前述(2.)の調査対象 10 地点での、120 年間(1901-2020)における年平均気温のトレンドは、 $0.083 \sim 0.143^\circ\text{C}/\text{decade}$ である。これらは何れも $p < 0.01$ であり、統計的に有意(1%)である。一方、年降水量に関しては、全 10 地点においてトレンドの統計的有意性は認められない ($p > 0.01$)。すなわち、120 年間で気温の上昇は疑いないが、年降水量に大きな変化はなく、従来の研究と同様の結果²⁾が得られた。

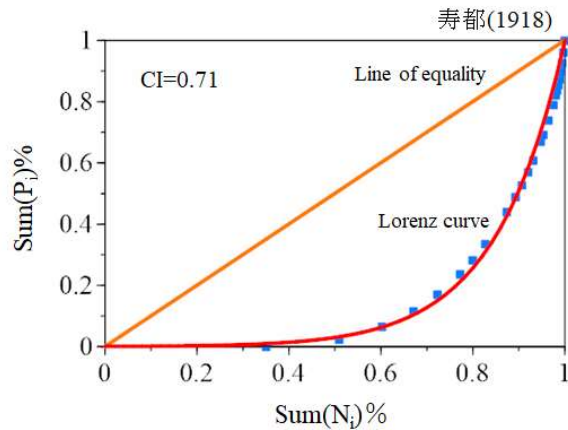


図-1 寿都における年降水量の分布(1918 年)

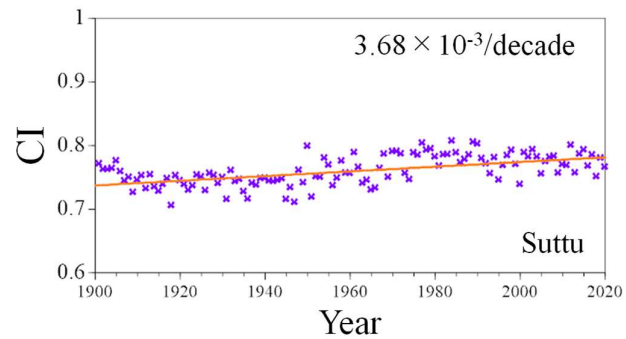


図-2 PCI の経年変化(寿都)

図-2 は、寿都における、式(2)～(4)によって得られたジニ係数 CI の 1901～2020 年での経年変化を示したものである。この図より、プロットは小刻みに変動しつつ、右上がりに上昇している様子が見て取れる。図中の直線は、式(1)で求めたトレンドであり、統計的に有意(1%)である。同様にして得られた、各調査地点での CI の経年変化、およびトレンドの解析結果を表-1 に纏める。得られた各調査地点のトレンドは $1.67 \times 10^{-3} \sim 4.95 \times 10^{-3}$ であり、何れも統計的に有意(1%)である。すなわち、全国的に年降水量に大きな変化は見られないが、降水がより少ない日数に集中する傾向が年々強まっているといえる。

以上のようにして得られた CI トレンドと月毎の日平均気温トレンドとの相関性は Spearman の順位相関係数 ρ_s によって表される。全 10 調査地点について月毎に ρ_s を求めた。図-3 は 6～9 月について示したものである。なお、1～5 月、および 10～12 月は、CI トレンドと月毎の日平均気温トレンドとの間に明確な相関性は認められなかった。この図より、7月と8月は $\rho_s = 0.78$ 、および 0.72 と相関は高い。これより、夏期の気温上昇が、降水の短期間への集中、すなわち、雨量強度の増大を引き起こし、この傾向が年々強まっていることが示唆される。これは近年、全国各地で頻発している、あるいは増加傾向にある集中豪雨とそれに伴う豪雨災害とも関連しており、今後、より詳細な検討が必要である。

参考文献

- 1) Higashino, M., Hayashi, T. and Aso, D. (2022). Temporal variability of daily precipitation concentration in Japan for century: Effects of air temperature rises on extreme rainfall events, *Urban Climate*, 46 (2022), 101323 (DOI: 10.1016/j.uclim.2022.101323).
- 2) Higashino, M. and Stefan, H.G. (2020). Trends and correlations in recent air temperature and precipitation observations across Japan (1906-2005), *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 517-531 (DOI: 10.1007/s00704-020-03097-4).

表-1 各調査地点での CI の分析結果(1901-2020)

No.	地点名	Trend ($\times 10^{-3}/\text{decade}$)	Z _{MK}	p-value	Significance (1%)
1	網走	1.67	3.36	<0.01	Yes
2	根室	2.68	5.61	<0.01	Yes
3	寿都	3.68	5.87	<0.01	Yes
4	伏木	3.41	7.87	<0.01	Yes
5	銚子	2.87	5.85	<0.01	Yes
6	境	4.22	8.32	<0.01	Yes
7	浜田	4.27	8.02	<0.01	Yes
8	巖原	1.97	0.09	<0.01	Yes
9	名瀬	4.09	7.77	<0.01	Yes
10	石垣	4.95	6.97	<0.01	Yes

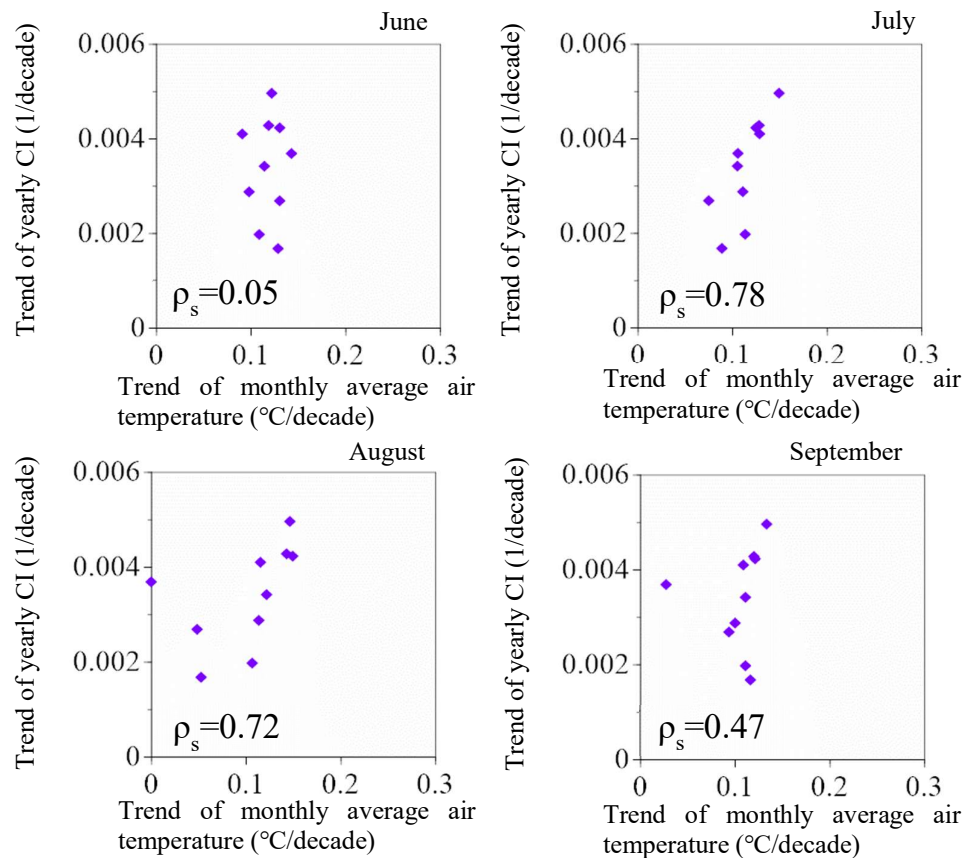


図-3 CI トレンドと月毎の日平均気温のトレンドの相関関係