

### 日本全国月降水量分布の長期トレンドおよび周期解析

首都大学東京大学院都市環境科学研究科	正会員	井芹 慶彦
九州大学大学院工学研究院	正会員	神野 健二
九州大学大学院工学研究院	正会員	西山 浩司
首都大学東京大学院都市環境科学研究科	正会員	河村 明

#### 1. はじめに

渇水や豪雨の頻発といった降水パターン変動が世界各地で報告されており、日本域においても降水パターンの変動が懸念されている。実際、平成 20 年度版「日本の水資源<sup>1)</sup>」では、近年は少雨年と多雨年の年降水量の変動幅が大きくなっており、渇水年における水資源賦存量が減少する傾向にあると指摘されている。したがって、安定的な水資源確保が今後より困難になる可能性があり、将来にわたり信頼のおける水資源確保を行うためには、水供給の要である降水の変動特性を調べる事が重要である。また、特に近年みられるような降水の変動傾向を正しく把握するには、過去の長期にわたる降水データを用いた解析を行う必要がある。

そこで本研究ではまず、長期の降水データが存在する日本の 51 地点を解析対象地点とし、1901 年 1 月から 2004 年 12 月までの計 1248 か月間を解析対象期間とした。次に、解析対象とした 51 地点の月降水量を各地点各月毎に、Jin et al.<sup>2)</sup>が提案した非超過確率を用いた方法で基準化した。上記の方法で得た月降水量の非超過確率分布に対して自己組織化マップを適用し、日本全国の月降水量分布パターンを抽出した。更に、南方振動指数(SOI)、太平洋十年規模振動指数(PDOI)といった、気候変動や異常気象の発生を示す指標の時系列と月降水量分布の発生頻度時系列との関連について、統計解析を基に検討した。

#### 2. 用いたデータ

本研究では、気象庁管轄の日本全国 51 地点における気象台および測候所を解析対象地点とし、1901 年 1 月～2004 年 12 月までの 104 年間(計 1248 ヶ月)における全国 51 地点の月降水量データをまず作成した。解析対象とした 51 地点を図 - 1 に示す。なお月降水量データの作成には、財団法人・気象業務支援センター発行の 1901 年 1 月 1 日～2004 年 12 月 31 日における全国 51 地点の日降水量データを用いた。また、月に 10 日以上欠測がある月は、その地点の該当月における 1901 年～2004 年の月平均雨量を用いて補間した。

次に気候指標について述べる。SOI はタヒチ(西経 149.6 度、南緯 17.5 度)及びダーウィン(東経 130.9 度、南緯 12.4 度)における月平均海面気圧より算出され、SOI の値が負であればエルニーニョ現象、正であればラニニャ現象が起こっていると大まかに判断される<sup>3)</sup>。PDOI は、北太平洋上の北緯 20 度より北側の月平均海面水温から全球平均海面水温を除いたデータについて主成分分析を行い、その第 1 主成分として算出される<sup>4)</sup>。PDOI が正の値を示しているとき、海面水温は北太平洋中央部では通常より低く、赤道太平洋からアメリカ西部沿岸では通常より高くなっている。また、PDOI が負の値を示している時は、そのほぼ反対の海面水温分布となっている。なお、SOI と PDOI はともに月データであるが、各指標を年平均した値を SOI、PDOI の各年の値として解析に用いた。

#### 3. 用いた手法

##### 3.1. 非超過確率

本研究ではまず、1901 年 1 月～2004 年 12 月までの計 104 年間(1248 か月)における日本全国 51 地点の

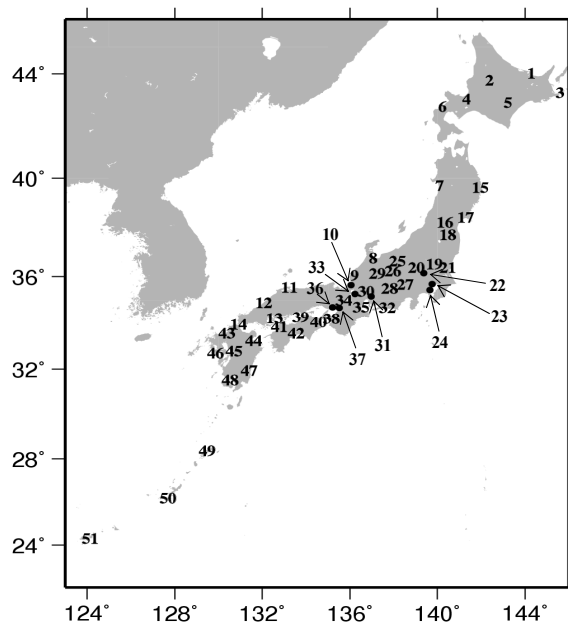


図 - 1 解析に用いた 51 地点の気象台または測候所。数字は地点番号を表す。

キーワード 日本, 月降水量, ティレンド, 周期, 気候指標

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 E-mail: iseri@tmu.ac.jp

月降水量を各地点各月毎に、*Jin et al.*<sup>2)</sup>が提案した非超過確率を用いた方法で基準化した。この方法により、各地点における月降水量の平均値の差異や季節変動が除去されるとともに、外れ値が多く存在する月降水量データが順位統計量へと変換され、月降水量そのものを用いた場合よりもパターン抽出が容易になることを期待できる。なお、非超過確率の計算には下式で表わされるワイブルプロット (Weibull plot) を用いた。

$$F(x_i) = \frac{i}{N+1} \quad (1)$$

(1) 式において、 $N$ はサンプル数、 $x_i$ は小さいほうから数えて  $i$  番目に位置する  $i$  番目順序統計量であり、 $F(x_i)$  は  $x_i$  が非超過確率に変換された値である。

各地点の月降水量を非超過確率へ変換すると、各地点の各月毎に 1901 年から 2004 年までの 104 個のデータの内、最小の月が  $1/105=0.0095$ ，最大の月が  $104/105=0.9905$  となる。即ち、非超過確率が 0 に近い場合、過去 104 年間でみるとその月はその地点において極めて少雨であり、1 に近い場合は極めて多雨であったことになる。

### 3.2 . SOM

本研究ではパターン抽出手法として、自己組織化マップ<sup>5),6)</sup>を用いた。通常の自己組織化マップ (SOM; Self-Organizing Maps) は、入力層と競合層から成る 2 層構造のニューラルネットワークで構成される。SOM アルゴリズムでは、入力層から取り出した入力ベクトル (分類したいデータ) を基に反復学習することで、入力ベクトルのパターンを学習する。抽出されたパターンは低次元上 (通常は二次元平面) に敷き詰められているノード上に配置されている。各ノード上に配置されたパターンは、参照ベクトルという多次元ベクトルで表現されており、各ノードには一つの参照ベクトルが対応している。参照ベクトルは、SOM マップ上での距離が互いに近いもの程似ており、距離が遠いもの程互いに異なるという性質がある。また、反復学習により入力データのパターンが参照ベクトルへと学習された後、各入力ベクトルは自分と最もよく似た参照ベクトル (ユークリッド距離の最も小さな参照ベクトル) の属するノードへと分類される。

即ち、SOM アルゴリズムを適用すると、反復学習による一般化されたパターンの抽出、抽出されたパターンの 2 次元平面上での相互比較、抽出されたパターンを基にした入力データの分類、等を行うことができる。

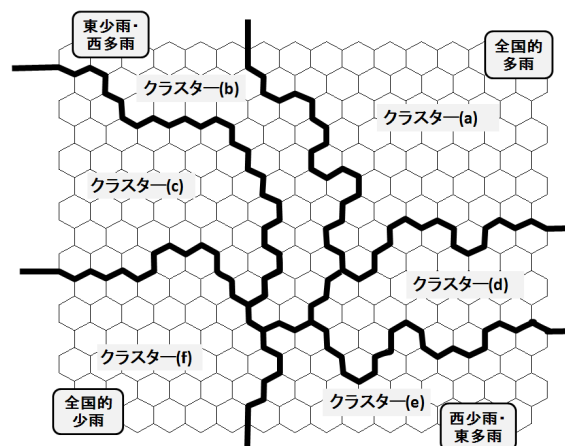


図 - 2 降水マップを 6 つのクラスターに分割した結果。6 つのクラスター(a)~(f)の境界を太線で示す。

## 4 . 全国 51 地点における月降水量分布の時系列解析

### 4.1 . SOM による月降水量分布パターンの抽出

まず、1901 年 1 月から 2004 年 12 月までの計 1248 ヶ月間における 51 地点の月降水量の非超過確率分布を SOM へ入力した。それら 1248 個の入力ベクトル (各入力ベクトルは 51 次元) を以下に示す。なお、各地点名の添え字は年・月を表す。

$input\ 1 = (\text{網走 } 1901.1, \text{ 旭川 } 1901.1, \dots, \text{ 石垣島 } 1901.1)$

$input\ 2 = (\text{網走 } 1901.2, \text{ 旭川 } 1901.2, \dots, \text{ 石垣島 } 1901.2)$

⋮

$input\ 1248 = (\text{網走 } 2004.12, \text{ 旭川 } 2004.12, \dots, \text{ 石垣島 } 2004.12)$

これら 1248 個の入力ベクトルをノード数  $15 \times 15$  (計 225 ノード) の SOM で分類した (以降、ここでえた SOM マップを降水マップとよぶ)。なお入力ベクトルに用いた各地点・各月の降水量は、3.1 節で述べた方法で各地点各月毎に非超過確率へと変換している。

次に、降水マップに抽出された降水分布の特徴を把握するため、ウォード法を用いて、降水マップを 6 つのクラスターに分割した。図 - 2 には、6 つに分割した降水マップを示す。また、各クラスター内の参照ベクトルを平均して得た、クラスター(a)~(f)がそれぞれ表す降水分布パターンを図 - 3 に示す。なお、降水マップを 12 のクラスターに分割した場合の、より詳細な降水分布パターンについては、文献<sup>7)</sup>を参照されたい。

クラスター(a)が表す分布パターンは「北海道・沖縄を除き全国的に多雨、特に西日本で強い多雨」である。クラスター(b)は「中国地方・九州地方でやや多雨、東北地方太平洋側・関東地方でやや少雨」、クラスター(c)は「全国的に少雨より、特に関東地方で少雨」である。

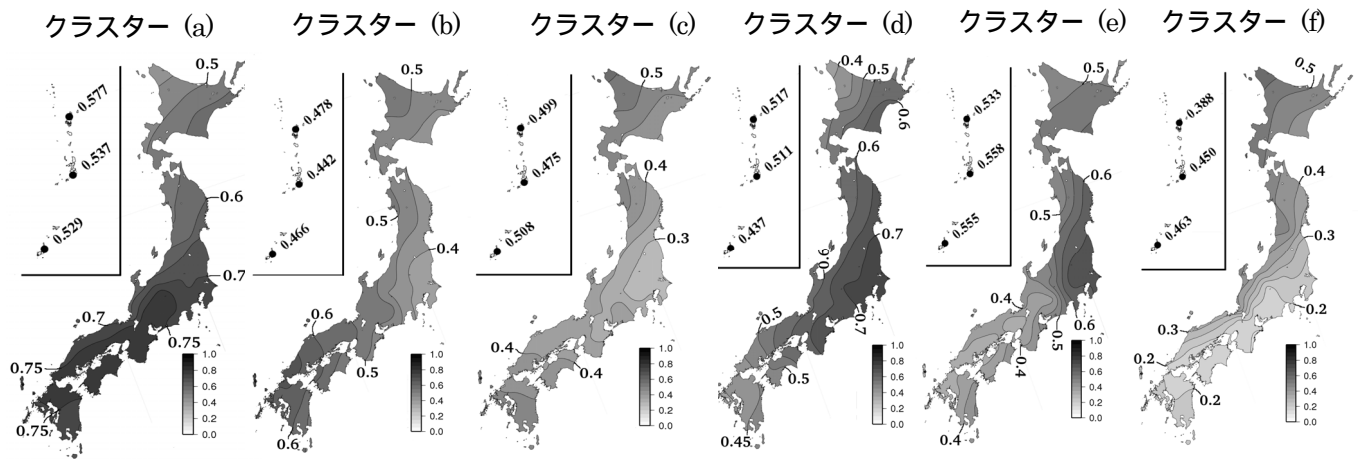


図 - 3 クラスタ(a)~(f)が表す月降水量の非超過確率分布

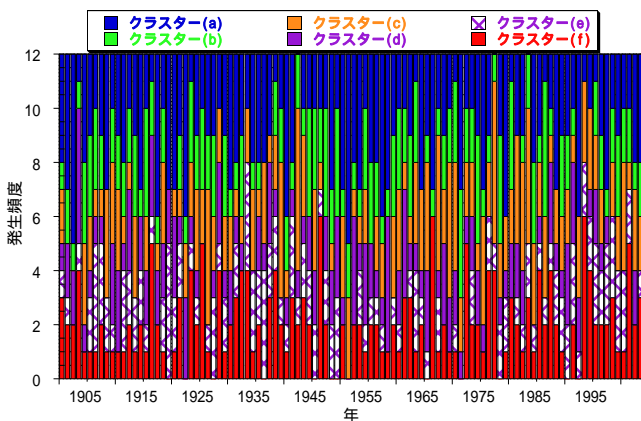


図 - 4 クラスタ(a)~(f)の年発生頻度時系列

クラスタ(d)は「東日本(特に太平洋側)を中心とした多雨,九州地方でやや少雨より」,クラスタ(e)は「東北地方太平洋側・関東地方で多雨,沖縄を除く西日本でやや少雨」であり,クラスタ(f)は「北海道を除き全国的に少雨,特に西日本で厳しい少雨」を示している。なお,クラスタ(f)の特徴から,全国規模で厳しい少雨となる場合,特に西日本を中心とした厳しい少雨になる傾向にあることが窺える。これらより,SOM マップの右上の領域が多雨の降水分布,左下が少雨の降水分布にほぼ相当することが分かる。但し,上記の分布パターンはあくまで降水マップを6つのクラスタに分類した場合に抽出されるものであり,各クラスタに分類された全てのデータが,必ずしもその分布パターンとよく似た形をしているわけではないことに注意されたい。

4.2. SOI, PDOI 時系列と各クラスタの年発生頻度時系列のトレンド解析

ここではまず,1901年から2004年の各年における,6つの各クラスタの年発生頻度を求め,各クラスタの年発生頻度を表す時系列を作成した(図-4)。図-4より例えば,列島渇水年の発生した1994年は,全国的に厳しい少雨を表すクラスタ(f)が6回発生して

いたことが分かる。

次に,6つの降水分布発生頻度時系列とSOI, PDOI 時系列それぞれに対して,帰無仮説  $H_0$  「 $n$ 個のデータ  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ はそれぞれ独立であり,同一の確率分布に従う」をMann-Kendall 検定<sup>8)</sup>を用いて両側検定した結果を,表-1に示す。表-1より,クラスタ(c)は5%有意で上昇トレンドがある。その他のクラスタは有意性はないが,マップ右上の多雨域に属するクラスタ(a), (b), (d)は減少トレンド,左下の少雨域に属するクラスタ(e), (f)は上昇トレンドにある。即ち,全国的な多雨に当たる降水分布は減少傾向にある一方で,全国的な少雨にあたる降水分布の発生月数は増加傾向にあることが示唆される。なお,年平均SOI 時系列と年平均PDOI 時系列には有意なトレンドはなかった。

4.3. SOI, PDOI 時系列と各クラスタの年発生頻度時系列のスペクトル解析

6つの各降水クラスタの年発生頻度時系列および,年平均SOI 時系列,年平均PDOI 時系列に対して,最大エントロピー法(MEM)によるスペクトル解析を行った結果を図-5に示す。図-5より,全国的な少雨にあたるクラスタ(c), (f)の発生頻度は4.29年の周期成分が卓越している。マップ右下に位置するクラスタ(d), (e)の発生頻度はともに,51.5年と6.87年の周期成分が卓越している。更に, PDOI 時系列は51.5年の周期成分が卓越していることから,主に東日本多雨・西日本少雨となる降水量分布の発生頻度の周期は, PDO の周期と一致する成分があることが分かる。また,全国的な多雨を表すクラスタ(a)は,3.43年,2.57年と他のクラスタに比べて短い周期成分が卓越している。全国的に厳しい少雨を表すクラスタ(f)の発生頻度も,卓越した周期成分は7.36年と4.29年であり,比較的短い周期成分が卓越している。

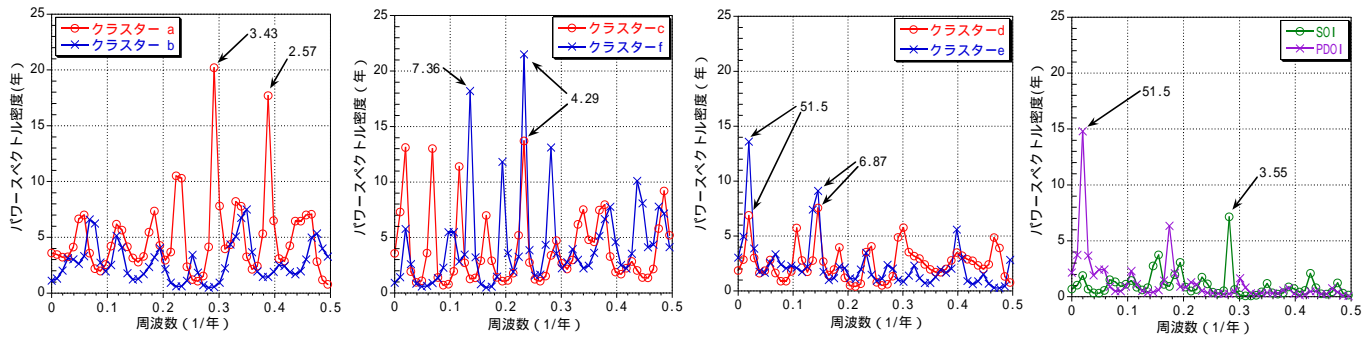


図 - 5 クラスタ(a) ~ (f)および SOI , PDOI のスペクトル

表 - 1 クラスタ(a) ~ (f)のトレンド検定結果

降水クラスター	$\tau$	$p$ 値
(a)	-0.095	0.18864
(b)	-0.021	0.77168
(c)	0.169	0.01940
(d)	-0.139	0.06045
(e)	0.023	0.75468
(f)	0.061	0.40314

表 - 2 クラスタ(a) ~ (f)と SOI, PDOI との

Kendall の順位相関係数  $\tau$  とその有意確率  $p$

降水クラスタ -	SOI		PDOI	
	$\tau$	$p$ 値	$\tau$	$p$ 値
(a)	-0.13738	0.05592	0.05335	0.45897
(b)	0.09234	0.20790	-0.19554	0.00759
(c)	-0.17579	0.01533	0.08425	0.24594
(d)	0.14861	0.04422	-0.14605	0.04805
(e)	0.04764	0.52057	0.04182	0.57301
(f)	0.07003	0.33539	0.13150	0.07015

4.4 . SOI , PDOI 時系列と各クラスターの年発生頻度時系列との相関解析

6 つの各クラスターの年発生頻度時系列と、年平均 SOI 時系列および年平均 PDOI 時系列とで Kendall の順位相関係数を計算した結果を表 - 2 に示す。表 - 2 より、クラスター(b)の年発生頻度と PDOI は有意水準 1% で有意な相関 ( $\tau=-0.19554$ ) があり、クラスター(c)は SOI と有意水準 5% で相関 ( $\tau=-0.17579$ ) がある。更に、クラスター(d)は SOI, PDOI の双方と有意水準 5% で有意な相関(それぞれ  $\tau=0.14861$ ,  $\tau=-0.14605$ ) があることから、東日本 (特に東日本太平洋側) を中心とした多雨となる降水分布の発生は、熱帯太平洋から北太平洋にかけての気候状態 (海面気圧や海面水温変動) と関連がある可能性が考えられる。

5 . むすび

本研究では、日本全国 51 地点における月降水量の空間分布パターンを SOM を用いて抽出した。また、抽出された空間分布パターンをもとに、日本の月降水量分布の長期トレンド、周期成分を解析した。その結果、全国的に少雨にあたる降水分布の発生頻度は増加傾向にあった。また、東日本多雨・西日本少雨となる降水分布の発生周期は、PDO の周期と一致する成分があることが示唆された。また、東日本太平洋側を中心とした多雨の発生頻度と、熱帯太平洋から北太平洋にかけ

ての気候状態には有意な相関が見られた。

[参考文献]

- 1) 国土交通省 土地・水資源局水資源部：日本の水資源，317pp., 2008.
- 2) Jin, Y.H., Kawamura, A., Jinno, K. and Berndtsson R. : Quantitative relationship between SOI and observed precipitation in southern Korea and Japan by nonparametric approaches, *Journal of Hydrology*, Vol.301, pp.54-65. 2005.
- 3) 江口聡一郎, 河村 明, 神野健二：南方振動(SOI)およびその気圧データの統計的特性について, *水工学論文集*, 第 45 巻, pp.169-174, 2001.
- 4) Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M. and Francis, R.C. : A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.78, pp.1069-1079, 1997.
- 5) Kohonen, T., Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps, *Biological cybernetics*, Vol.43, pp.59-69, 1982.
- 6) Nishiyama, K., Endo, S., Jinno, K., Uvo. C.B., Olsson, J. and Berndtsson, R. : Identification of typical synoptic patterns causing heavy rainfall in the rainy season in Japan by a self-organizing map, *Atmospheric Research*, Vol.83, No.2-4, pp.185-200, 2007.
- 7) 井芹慶彦, 水本真輝, 神野健二, 西山浩司：自己組織化マップを用いた日本全国月降水量分布の変動特性解析, *水文水資源学会誌*, Vol.22, No. 6, pp.466-478, 2009.
- 8) 徐宗学, 竹内邦良, 石平博：日本の平均気温・降水量時系列におけるジャンプ及びトレンドに関する研究, *水工学論文集*, 第 46 巻, pp.121-126, 2002.