

# ベンガル地域の気象水文量の長期変化と 地球規模現象との相関・因果関係の解明

長瀬 永遠

富山県立大学 情報基盤工学講座

February 7, 2023

## 背景

近年、世界規模で土砂災害、高潮、洪水などの水災害が甚大化している。その原因の一つとして、地球温暖化による気候変化の影響が指摘されている。また、南アジア・ベンガル地域では国土の約8割が洪水氾濫原であり、2004年6月には3600万人を超える被災者が発生している。一方で、発展途上国では水文観測データ収集に多くの困難が伴うため、効果的な国際協力のためにもそれらのデータの収集・分析が重要である。

## 目的

降水量、河川水位流量等の気象水文データとエルニーニョ/ラニーニャの指標であるSOI、インド洋ダイポールモード現象の指数DMI等の気候変動指数を用いて、気候の長期変化傾向と変動の特徴分析をおこなうとともに、降水量に影響を与えている要因を定量的に明らかにする。

## 気象水文データ

今回はバングラディッシュとインドからそれぞれ雨量や水位に関する観測データを入手した。ただし、入手コストの都合上、バングラディッシュのものは各観測地からの生データを、インドからは研究所から公開されている観測値を統計処理した加工済みデータを取り寄せた。分析に用いる気象水文データのデータセットを表1に示す。

Table 1: 気象水文データセット

データの種類		国	観測所数 (地域)	データ期間 (欠測期間含む)	観測所数 (地域)	分析対象 データ期間	Data Source
気象	日雨量	Bangladesh	35	32年(1985～2016)	35	32年(1985～2016)	BMD
		Bangladesh	268	31年(1987～2017)	※BMDデータの欠測補填に利用		
	月雨量	India	1	116年(1901～2016)	1	116年(1901～2016)	IMD
		India	(27)	146年(1871～2016)	(7)	116年(1901～2016)	IMD
水文	水位	Bangladesh	216	31年(1987～2017)	4	30年(1987～2016)	BWDB
気候変動	SOI	—	1	153年(1866～2018)	1	116年(1901～2016)	NOAA ESRL
	DMI	—	1	149年(1870～2018)	1	116年(1901～2016)	JAMSTEC

BMD: Bangladesh Meteorological Department, BWDB: Bangladesh Water Development Board

IMD: Indian Meteorological Department, JAMSTEC: 国立研究開発法人海洋研究開発機構, ESRL: Earth Systems Research Laboratory

## SOI と DMI

### SOI

南太平洋上のタヒチとオーストラリアのダーウィンの地上気圧偏差の差。エルニーニョ現象発生時には負の値をとることが多い。

### DMI

東経 50 度から 70 度，南緯 10 度から北緯 10 度の範囲において領域平均した海面水温の基準値と東経 90 度から 110 度，南緯 10 度から赤道において領域平均した海面水温の基準値との差。インド洋ダイポールモード現象の基準となる。

## Mann-Kendall 検定

以下の帰無仮説  $H_0$  と対立仮説  $H_1$  によって任意の有意水準でのトレンドの有無を判定し、統計量  $S$  および Sen'S Slope を用いてその傾向の特徴を判断する手法.

$H_0$  :

$n$  個のデータ  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  が独立で同一の確率分布にしたがう.

$H_1$  :

$n$  個のデータ  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  が独立で同一の確率分布にしたがわない.

(統計量  $S$ )

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(X_j - X_k) \quad (1)$$

$$\operatorname{sgn}(x) = \{1 \text{ (if } x > 0), 0 \text{ (if } x = 0), -1 \text{ (if } x < 0)\} \quad (2)$$

(統計量  $S$  の分散  $\sigma^2$ )

$$\sigma^2 = \frac{\{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)\}}{18} \quad (3)$$

$t_j : (x_1, x_2, \dots, x_n)$  を大きさ順に並べ替えたときに同じ数が連続して出現する個数

$p : t_j$  での値の組数

(標準統計量  $Z$ )

$$Z = \left\{ \frac{S-1}{\sigma} \text{ (if } S > 0), 0 \text{ (if } S = 0), \frac{S+1}{\sigma} \text{ (if } S < 0) \right\} \quad (4)$$

ここで、有意水準を  $\alpha$  としたとき、 $Z$  が  $|Z| \leq Z_{\frac{\alpha}{2}}$  (ただし、 $\phi(Z_{\frac{\alpha}{2}}) = \frac{\alpha}{2}$ ,  $\phi(\cdot)$ : 標準正規分布) を満たすとき、帰無仮説  $H_0$  は採択される。

## 分析対象

表 1 のデータをもとにバングラディッシュの 35 地点とインド 1 地点における 1985 年から 2016 年の 32 年間の月間降水量について有意水準 1 % と 5 % で MK 検定を行った. ただし, 季節による変動の影響を除去するために前処理として Seasonal and Trend decomposition using Loess を用いたフィルタリングをおこなった.

# ベンガル地域の降水量変化傾向 2

8/12

## 分析結果

有意といえない地点を N, 5 %水準で有意を＊, 1 %水準で有意を＊  
＊とした。

Station	MK-Test (STL)			
	有意な傾向	Sens.Slope	S	Z
1 Dhaka	** (-)	-0.126	-17856	-7.10
2 Tangail	** (-)	-0.0888	-15210	-6.67
3 Mymensingh	** (-)	-0.135	-18964	-7.55
4 Faridpur	** (-)	-0.0886	-19658	-7.82
5 Madaripur	** (-)	-0.126	-23086	-9.19
6 Srimangal	* (+)	0.0334	5278	-0.165
7 Sylhet	** (-)	-0.115	-11734	-4.67
8 Bogra	** (-)	-0.142	-24014	-9.55
9 Dinajpur	** (-)	-0.111	-18984	-7.55
10 Ishwardi	** (-)	-0.0469	-10528	-4.19
11 Rajshahi	** (-)	-0.0519	-14554	-5.79
12 Rangpur	** (-)	-0.108	-17612	-7.01
13 Syedpur	** (-)	-0.129	-15348	-6.73
14 Chuadanga	** (-)	-0.0569	-11170	-4.90
15 Jessore	** (-)	-0.0362	-6622	-2.63
16 Khulna	** (+)	0.0491	9784	3.89
17 Mongla	N	-0.0255	-4078	-1.79
18 Satkhira	** (-)	-0.0376	-8630	-3.43

図 1: MK の分析結果 1

19 Barisal	** (-)	-0.0361	-6584	-2.62
20 Bhola	** (-)	-0.0486	-7974	-3.17
21 Khcuppara	N	0.00346	624	0.248
22 Patuakhali	* (-)	-0.0285	-5624	-2.24
23 Chandpur	N	0.0207	3212	1.28
24 Teknaf	** (+)	0.106	14576	5.80
25 Chittagong(AP)	N	0.0307	3522	1.40
26 Comilla	* (-)	-0.0313	-5924	-2.36
27 Cox's Bazar	N	0.0104	1128	0.448
28 Feni	** (-)	-0.0865	-11008	-4.38
29 Hatiya	** (+)	0.168	21816	8.68
30 Kutubdia	* (+)	0.0524	5708	2.27
31 Maijide Court	** (-)	-0.0285	-5464	-2.17
32 Rangamati	** (-)	-0.0853	-9830	-3.91
33 Sandwip	** (+)	0.153	16056	6.39
34 Chittagong(City)	** (+)	0.102	11178	4.90
35 Sitakunda	N	0.0173	1812	0.721
36 Cherrapunjee	** (-)	-0.452	-12638	-5.27

図 2: MK の分析結果 2



## SOI と DMI の因果推論

現象同士の因果関係を分析するために SOI と DMI との間の因果関係を分析した。結果、SOI と DMI の間には有意な因果関係が存在したが、お互いの影響は小さく、過去の自己からの因果が大きかった。

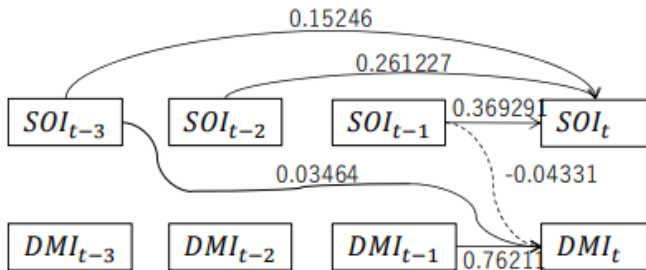


図 3: SOI と DMI の因果関係

## 気候変動指数と降水量の因果推論

図 1, 2 より MK 検定の結果, 有意な上昇傾向があった 1 地点 (Teknaf), 有意な減少傾向があった 3 地点 (Dhaka, Sylhet, Mymensingh), 有意な変化がみられなかった (Chandpur) について SOI, DMI と降水量との因果関係を分析した.

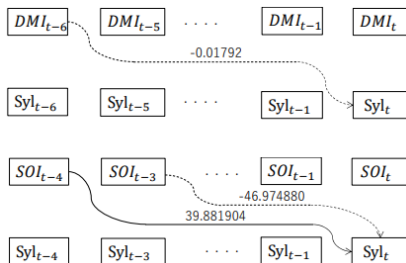


図 4: SOI, DMI と Sylhet の降水量との因果関係

## 分析結果から分かる事実

- Dhaka, Sylhet, Mymensingh では降水量に対し 5～6 期前の DMI から有意な影響が出力された
- Sylhet では 3～4 期前の SOI から有意な影響が出力された
- Sylhet の降水量は Dhaka, Mymensingh の約 2 倍
- Teknaf では DMI からの影響は出力されず、5 期前の SOI から強い影響が出力された
- Teknaf の降水量も Dhaka, Mymensingh の約 2 倍
- Chandpur では DMI, SOI どちらからも有意な影響は出力されなかった

## 考察

降水量が多い地点では SOI, 降水量が有意な減少傾向にある地点では DMI からの影響がある. 降水量に有意な変化が見られない地点では SOI, DMI どちらの影響もない.

## まとめ

時系列データを用いて降水量の変化傾向や降水量と気候変動指標との関係性を分析した。降水量の変化傾向や気候変動指標との間の関係性にいくつか有意な結果が得られた。

## 自分の研究について

分析に時系列データを用いている点や時系列データを分析するにあたり、一度データ内のトレンドを分析して因果探索の対象を絞り込んでいる点は私の研究でも参考にできるアイデアであるかもしれない。