

日本の降雨極値データに見る長期変化傾向 [II]

～ $R_{0.01}$ の未来予測を目的とする～

唐沢 好男

発表の概要

本発表は同タイトルで発表した本年4月AP研発表の続きである。近年、地球温暖化問題が言われ、世界の気温は百年で 0.73°C の、我が国でも 1.21°C 上昇が指摘されている。このような長期的な変化が降雨特性にも現れれば、これまで、無線通信の回線設計に利用されている降雨強度データベースも、いずれは見直しが必要になろう。前回発表では、我が国の降水量に着目し、年間最大値データ(極値データ)の統計的性質を信頼区間推定により調べ、およそ百年間のスケールで10%強の増加傾向が有意であることを示した。本発表では、さらにその傾向をより詳細に分析し、その妥当性をAIC(赤池情報量基準)で判定している。最後に、本解析結果を無線回線の降雨減衰推定に用いる $R_{0.01}$ (1分間降雨強度の累積確率0.01%値)に関連付け、その未来予測を行う。

発表の内容

1. 目的

2. 降水量データ

3. 降雨特性極値データの長期的傾向

- ・多地点データを回帰直線で見ると 【前回発表】

（95%信頼区間評価で回帰直線の有意性を見る）

- ・多地点データを多項式近似曲線で見ると 【今回発表】

- ・モデル選択の判断手法：AIC（赤池情報量規準）

4. 解析結果と $R_{0.01}$ の未来予測

目的： 将来における降雨減衰推定法 ($R_{0.01}$) の見直しの是非

降雨減衰推定の基本式 （衛星回線： ITU-R P. 618、 地上回線： ITU-R P. 530）

$$A_{0.01} = k R_{0.01}^{\alpha} L_e$$

雨域の等価通路長 (km)

年間時間率0.01%の
降雨減衰量 (dB)

年間時間率0.01%の
1分間降雨強度 (mm/h)

$R_{0.01}$ のデータベース

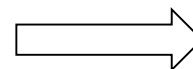
- 世界全体： ITU-R P. 837
- 日本： 総務省電波法関係審査基準
(出典は小野等(2008))

地球温暖化問題
(気温の長期的上昇)



降雨統計への
影響は？

if 影響あり



将来における
 $R_{0.01}$ データベース
の見直し

本研究の解析に用いた降水量データ(気象庁のHPより)

日本各地の降水量年間最大値

日降水量 45地点 100年間 (1924 - 2023)

時間降水量 45地点 80年間 (1944 - 2023)

10分間降水量 47地点 70年間 (1954 - 2023)

降水量の年間最大値は全て降雨によるものなので
降雨量と読み替えられる

時間降水量や10分間降水量は、降雨減衰推定に使われる
1分間降雨強度 $R_{0.01}$ の推定に役立つ量

年ごとの値

一覧表

グラフ

主な要素

詳細(気圧・降水量)

詳細(気温・蒸気圧・湿度)

詳細(風)

詳細(日照・雪・その他)

地点

降水量(最大)

東京 年ごとの値 主な要素

年	気圧(hPa)		合計	降水量(mm)			気温(℃)					湿度(%)		平均 風速	最 風速
	現地 平均	海面 平均		最大			平均			最高	最低	平均	最小		
				日	1時間	10分間	日平均	日最高	日最低						
1875			1219.2]	94.0]			17.0]	21.9]	12.2]	35.1]	-3.6]				
1876		1014.7	1755.5	76.2			13.6	18.7	8.3	35.6	-9.2	78			
1877		1015.2	1317.3	79.9			14.2	19.1	8.9	34.9	-4.8	77			
1878		1015.2	1764.2	150.9			13.8	18.3	9.6	35.1	-7.6	79			
1879		1014.5	1492.7	99.8			14.6	19.4	10.0	33.9	-5.5	77			
1880		1015.0	1685.7	116.7			14.1	19.2	9.1	33.2	-6.8	76			
1881		1015.1	1444.4	86.4			13.8	18.8	8.5	34.2	-8.4	78			
1882		1015.2	1478.3	109.7			14.0	18.6	9.0	34.2	-6.3	77			
1883		1015.0	1552.6	125.6			13.3	17.8	9.1	32.8	-7.8	76			
1884		1014.9	1314.8	72.2			12.9	17.7	8.6	33.3	-7.7	76			
1885		1014.9	1531.7	149.5			13.1	17.5	9.1	31.8	-9.1	77			
1886		1014.5	1290.3	64.5	12.8]		13.9	18.7	9.9	36.6	-7.7	75			
1887		1013.6	1250.0	77.8	20.5]		13.8	18.6	9.7	32.6	-7.9	76			
1888		1013.7	1378.5	78.9	19.2]		13.5	18.5	9.3	32.8	-7.5	75			
1889		1014.0	1319.3	162.0	22.0]		13.3	18.0	9.3	33.3	-8.1	74			
1890		1013.8	1958.2	123.8	×		15.0	19.4	11.0	33.9	-5.8	77			
1891		1014.1	1220.8	109.0	23.2]		14.4	19.3	10.0	34.4	-6.7	72			
1892		1013.7	1715.1	84.5	20.5]		14.0	18.6	10.0	34.4	-6.8	73			
1893		1014.0	1161.3	56.3	28.1]		13.8	18.8	9.4	34.4	-7.2	71			
1894		1014.4	1320.8	132.8	52.9]		14.8	19.6	10.6	35.1	-5.3	73			
1895		1013.8	1397.8	133.0	22.6]		13.8	18.7	9.8	33.0	-5.7	74			
1896		1014.4	1373.9	74.0	22.2]		14.0	18.7	10.1	34.3	-5.6	74			
1897		1014.6	1497.2	73.2	34.1]		13.2	17.7	9.2	34.0	-7.0	75			

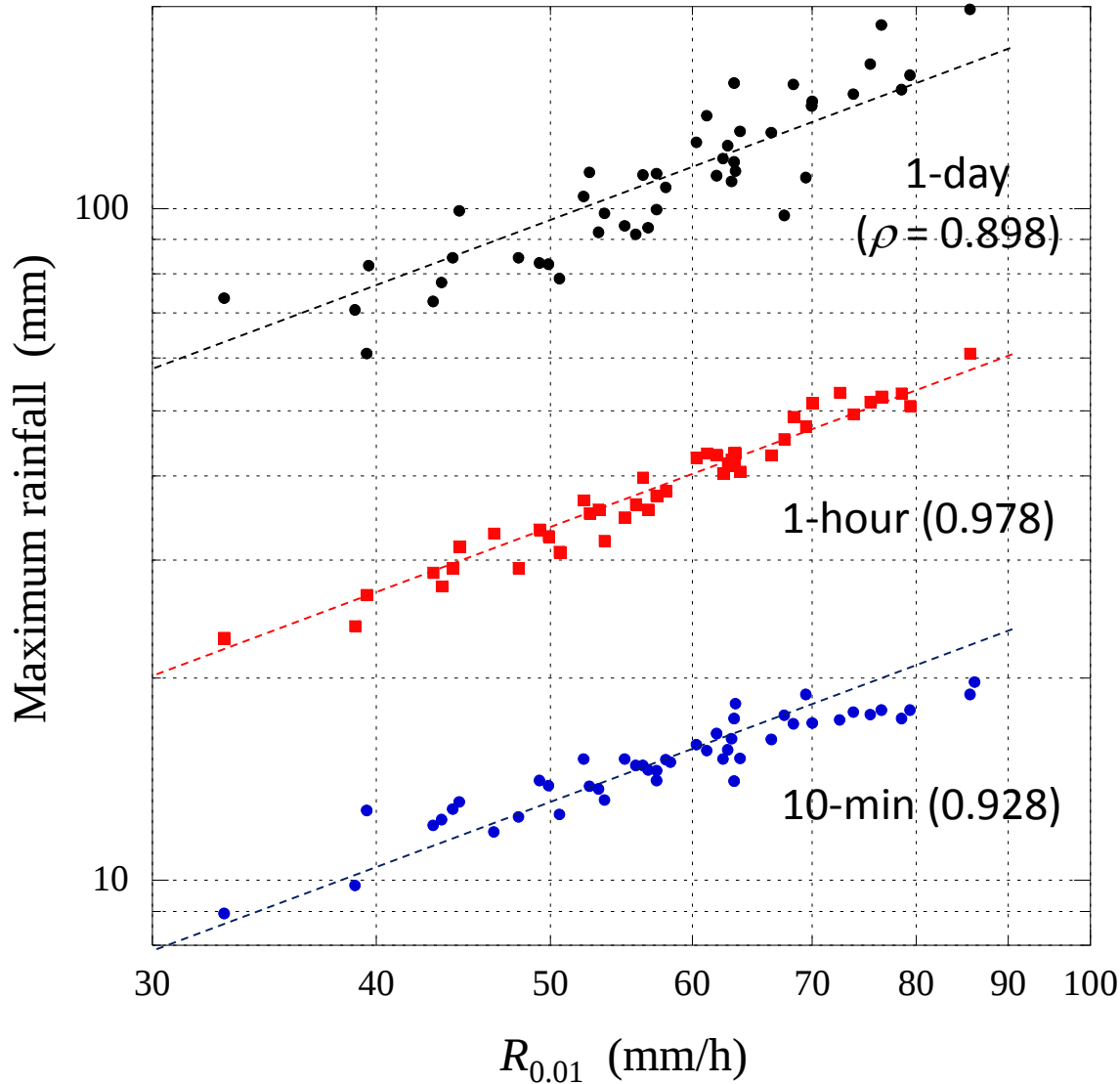
解析に用いた雨量データ(地点と年間最大値の平均)

No.	Site	Region	1-day	1-hour	10-min	$R_{0.01}$
1	Sapporo	A	73.65	23.01	8.93	32.9
2	Aomori	A	70.81	23.93	9.84	38.9
3	Morioka	A	77.79	27.40	12.33	43.5
4	Akita	A	83.13	33.31	14.10	49.3
5-1	Ishinomaki	A	82.39	-	-	36.9
5-2	Sendai	A	-	32.89	11.80	46.5
6	Yamagata	A	72.80	28.77	12.08	43.0
7	Fukushima	A	84.61	29.22	12.76	44.1
8	Mito	B	107.68	38.06	15.15	58.0
9	Utsunomiya	B	111.36	47.39	18.93	69.4
10	Maebashi	B	97.75	45.41	17.63	67.5
11	Kumagaya	B	113.89	43.33	18.32	63.4
12	Katsuura	B	144.50	51.43	17.15	70.0
13	Tokyo	B	125.66	42.61	15.95	60.3
14	Yokohama	B	130.57	40.60	15.20	63.8
15	Niigata	B	78.80	30.88	12.56	50.6
16	Fushiki	B	91.65	36.39	14.83	55.8
17	Kanazawa	B	99.88	37.40	14.09	57.3
18	Fukui	B	92.37	35.67	13.67	53.2
19	Kofu	B	99.32	31.43	13.09	44.5
20	Nagano	B	60.97	26.63	12.71	39.5

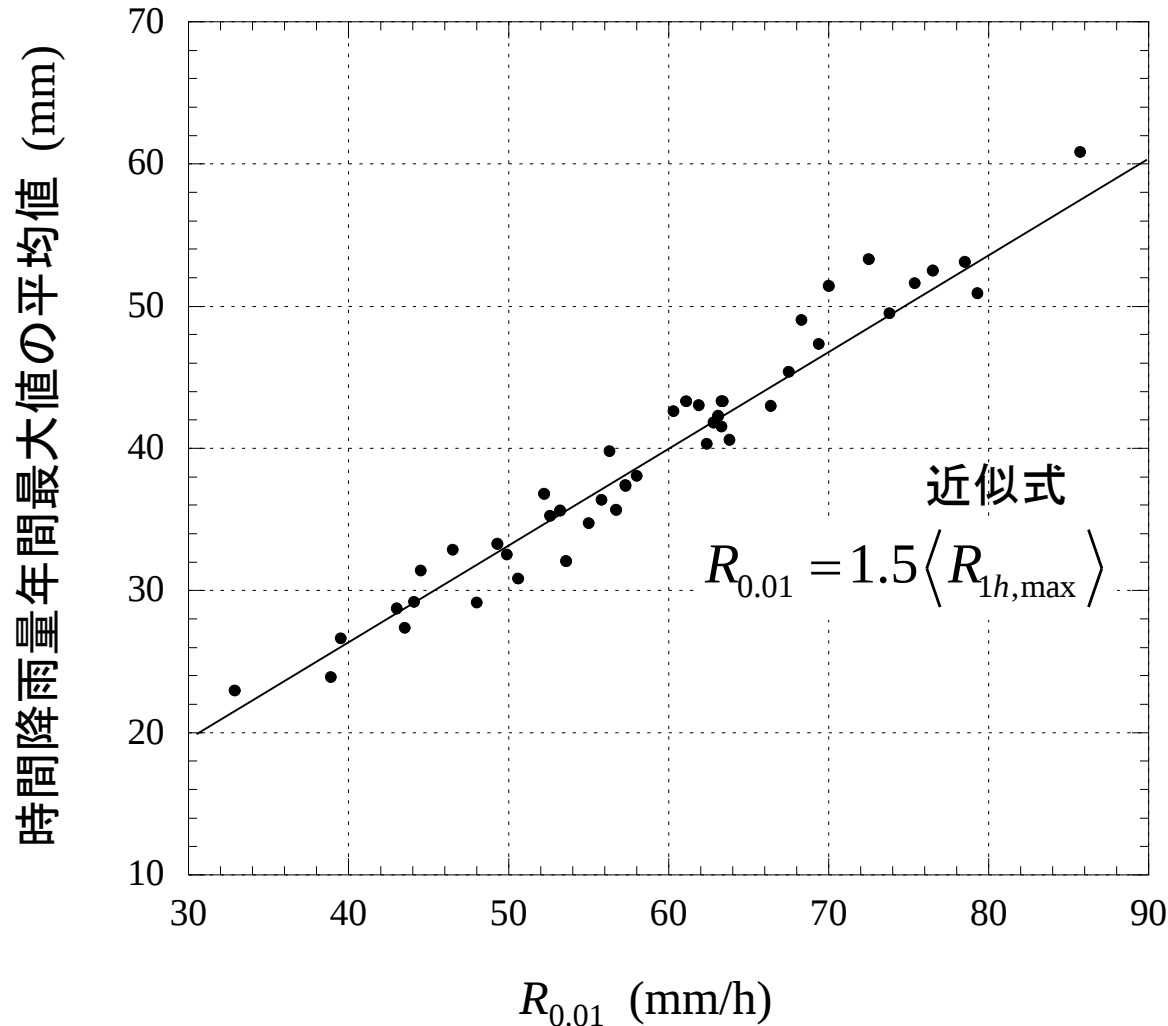
総務省 電波関係
審査基準
(2011)より

以下、47 Naha
まで

日本全国47箇所における
 $R_{0.01}$ と各種降雨量年間最大値の平均値との相関



$R_{0.01}$ と時間降雨量年間最大値の平均値との相関(拡大)



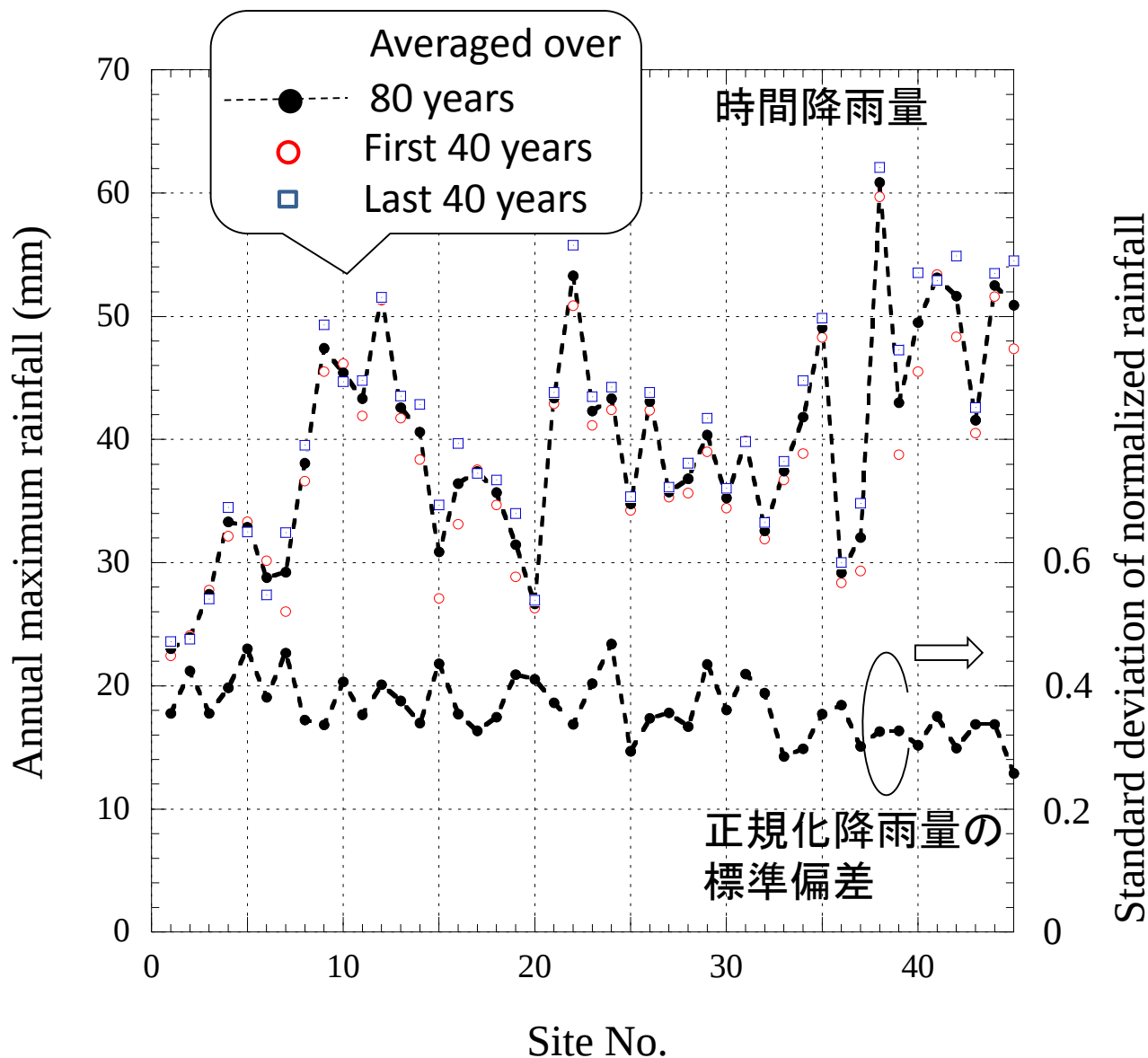
日本全国45箇所

相関係数; 0.978

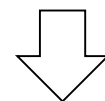


時間降雨量年間最大値の長期的変化傾向を調べれば、 $R_{0.01}$ の変化傾向も予想できる

各地点における時間降水量年間最大値の全期間平均値、および、正規化降水量の対象期間でのばらつきの標準偏差



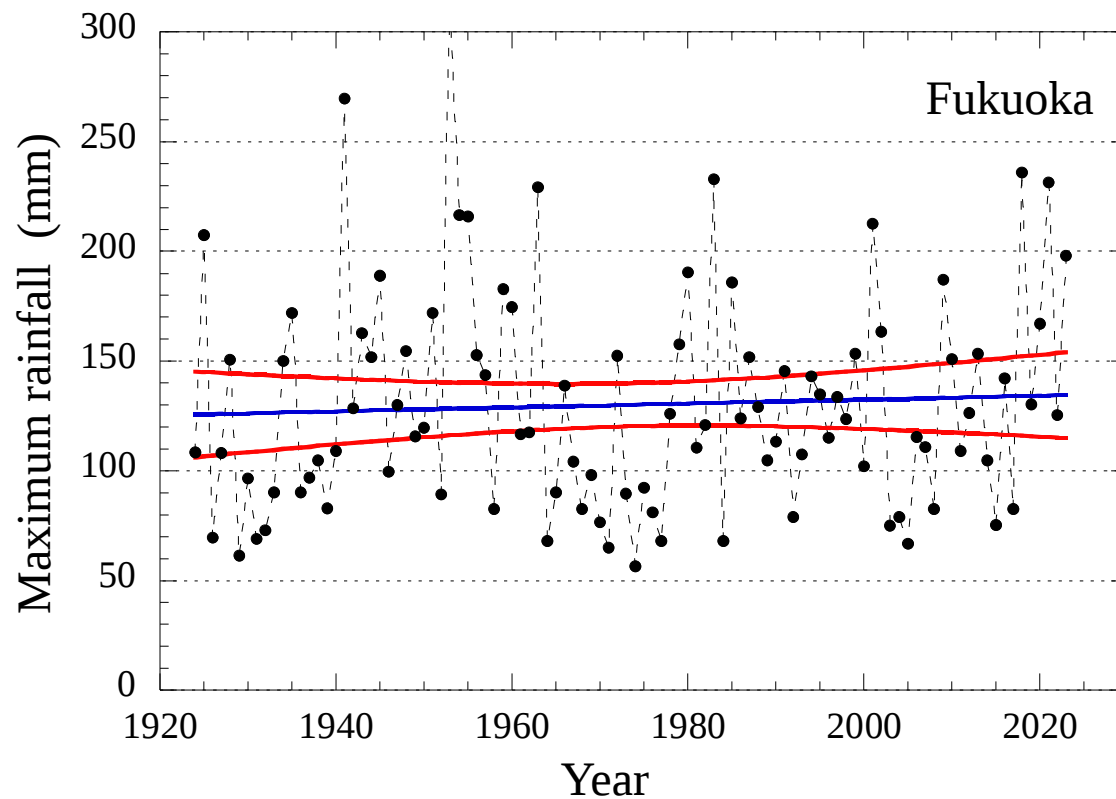
降水量そのものの地域依存性は大きい、正規化降水量の標準偏差の大きさの地域依存性は小さい



日本全国の雨量をそれぞれの地の平均値で正規化した降雨量で、日本全体の特性を調べる

地点別年間最大日降水量の100年間の推移

福岡



他の例(地点や降水量タイプ)を含めて、地点毎の100年間データからは、有意な長期変化傾向があるとは言えない

日本全体のデータで傾向を俯瞰的に見る

長期変化傾向を見るのに地点毎のデータではデータ数が足りない



それぞれの地点のデータをその地点の平均値で割って正規化する
(平均値を1とする年間最大正規化降水量を用いる)

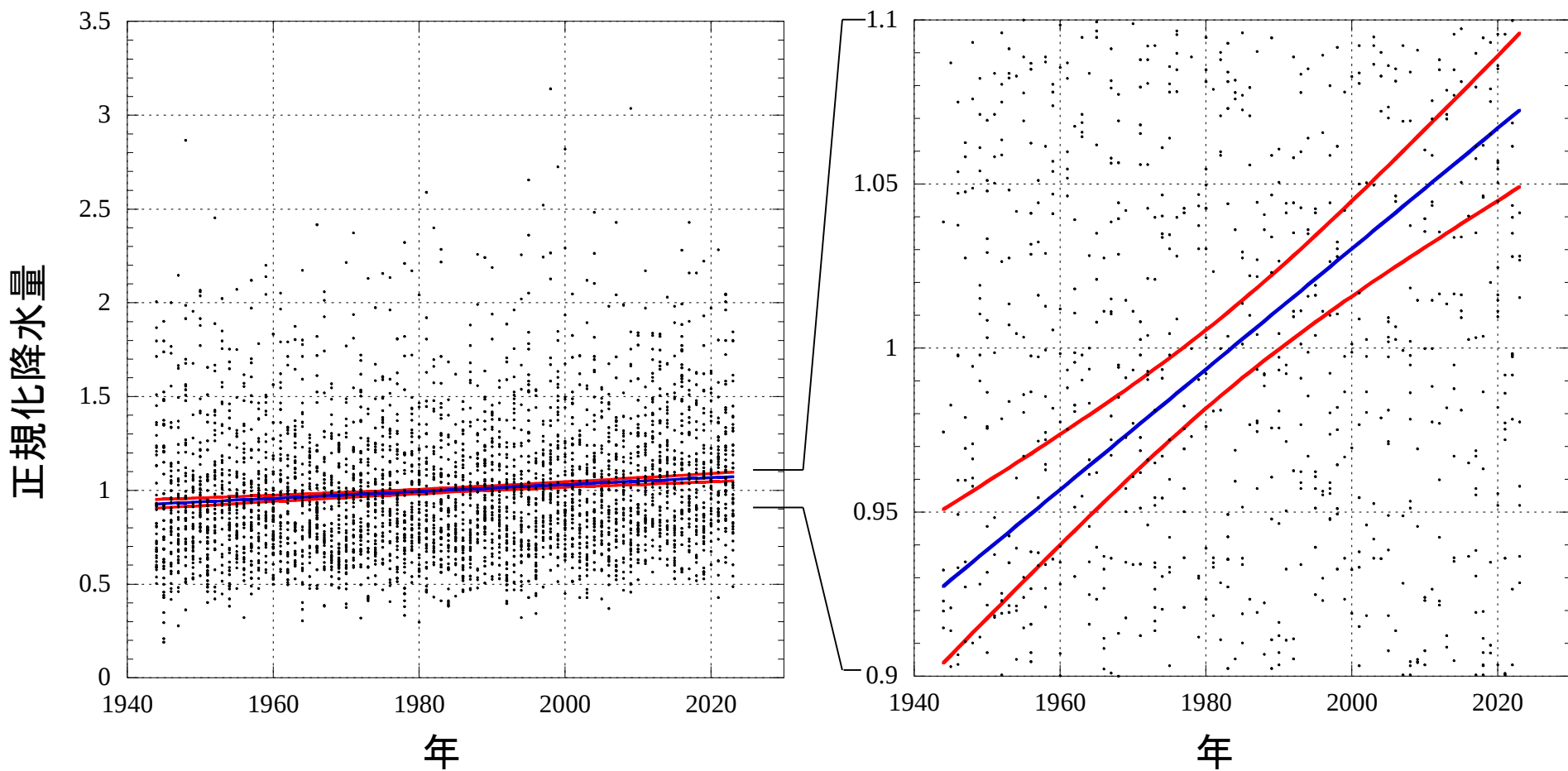


それらの全体のデータで、回帰直線と信頼区間を求める
(前回発表: 観測期間全体(約100年)で10%強の長期的増加傾向が有意)

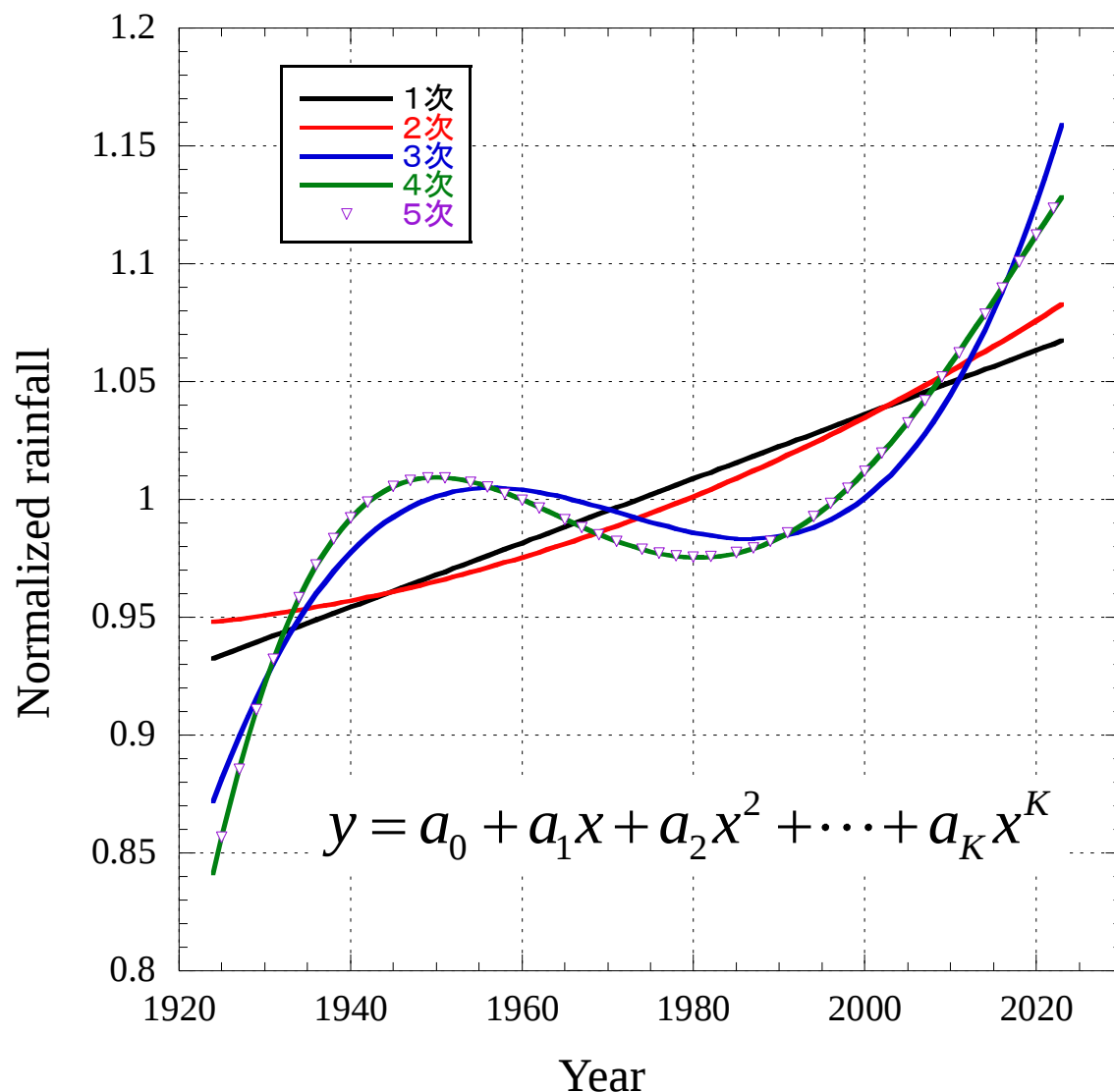


変化の傾向をより詳細に調べるために、多項式近似による回帰分析を行う
(最適次数の判定にAIC(赤池情報量規準)を用いる)

時間降水量(年間最大値)の回帰直線分析(前回発表)



正規化日降水量の100年間の変化の多項式近似による最尤推定



次数を上げるほど、詳細な変化が把握できる



次数を上げすぎると、標本データに支配されて、他の独立なデータに合わなくなる



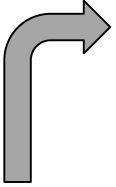
最適な次数をどのように定めるべきか



AIC(赤池情報量規準)で決めよう

AIC (Akaike Information Criterion: 赤池情報量規準)

AICにおけるモデルの選択基準


$$AIC = -2 \times (\text{最大対数尤度}) + 2 \times (\text{パラメータの数})$$

の式において、最も値が小さくなるモデルを選ぶ

多項式近似のモデル化(誤差が正規分布する)

$$y_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \cdots + a_K x_i^K + b_i \quad (f_b = N(0, \sigma^2)) \quad (\text{パラメータ数: } K+2)$$

正規分布の対数尤度関数

$$l(\theta) = -\frac{n}{2} \log(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{k=0}^K a_k x_i^k \right)^2 \quad \theta = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_K, \sigma^2)$$

係数と誤差分散の最尤推定

$$\frac{\partial}{\partial a_i} \sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{k=0}^K a_k x_i^k \right)^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \hat{a}_0 \sim \hat{a}_K$$

$$\frac{\partial l(\theta(\hat{a}_0, \dots, \hat{a}_K, \sigma^2))}{\partial \sigma^2} = 0 \quad \Rightarrow \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{k=0}^K \hat{a}_k x_i^k \right)^2$$

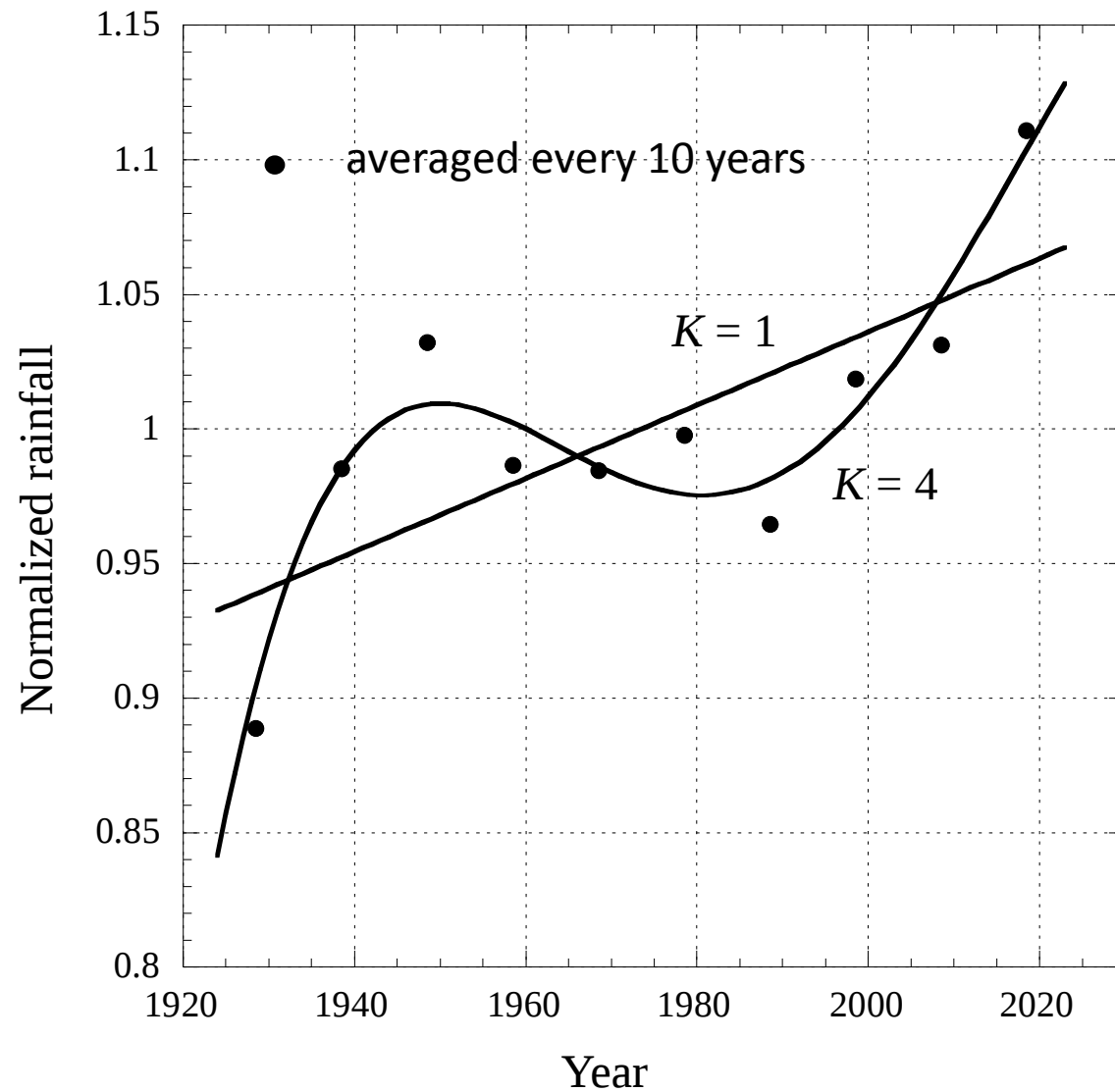
最大対数尤度

$$l(\hat{\theta}) = -\frac{n}{2} \log(2\pi\hat{\sigma}^2) - \frac{n}{2}$$

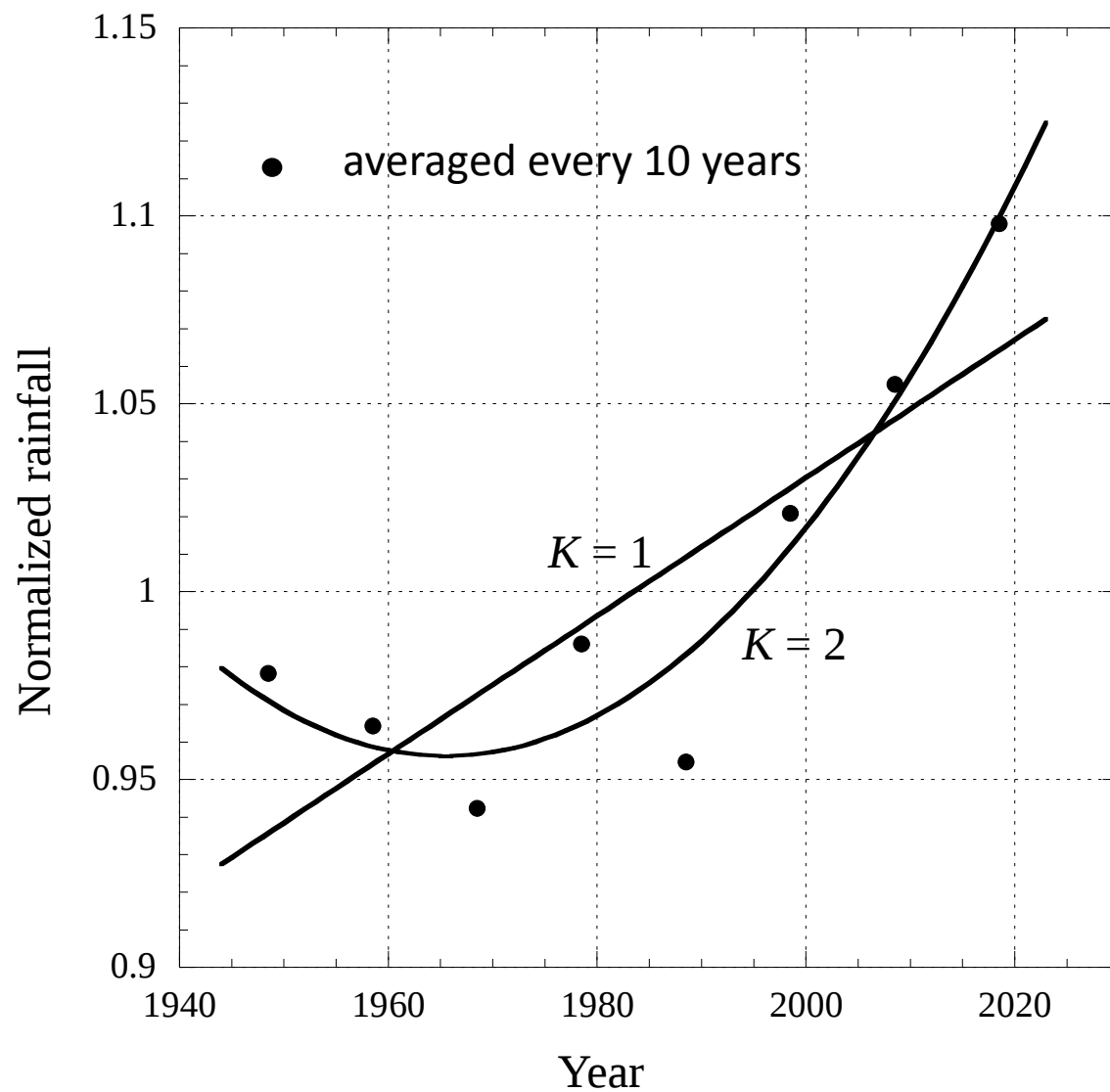
多項式近似における最大対数尤度とAIC評価値

Rainfall	K	$\hat{\sigma}^2$	$l(\hat{\theta}^2)$	AIC	ΔAIC
1-day	1	0.16165	-2284.99	4575.99	25.03
	2	0.16160	-2284.29	4576.58	25.63
	3	0.16066	-2271.25	4552.49	1.543
	4	0.16054	-2269.48	4550.95	0
	5	0.16054	-2269.48	4552.95	1.998
1-hour	1	0.13068	-1445.22	2896.44	14.31
	2	0.13009	-1437.07	2882.13	0
	3	0.13009	-1437.02	2884.04	1.913
	4	0.13003	-1436.19	2884.37	2.241
	5	0.13002	-1436.10	2886.20	4.070
10-min	1	0.08708	-653.04	1312.07	13.57
	2	0.08667	-645.25	1298.51	0
	3	0.08662	-644.32	1298.65	0.137
	4	0.08660	-643.95	1299.90	1.392
	5	0.08657	-643.37	1300.73	2.222

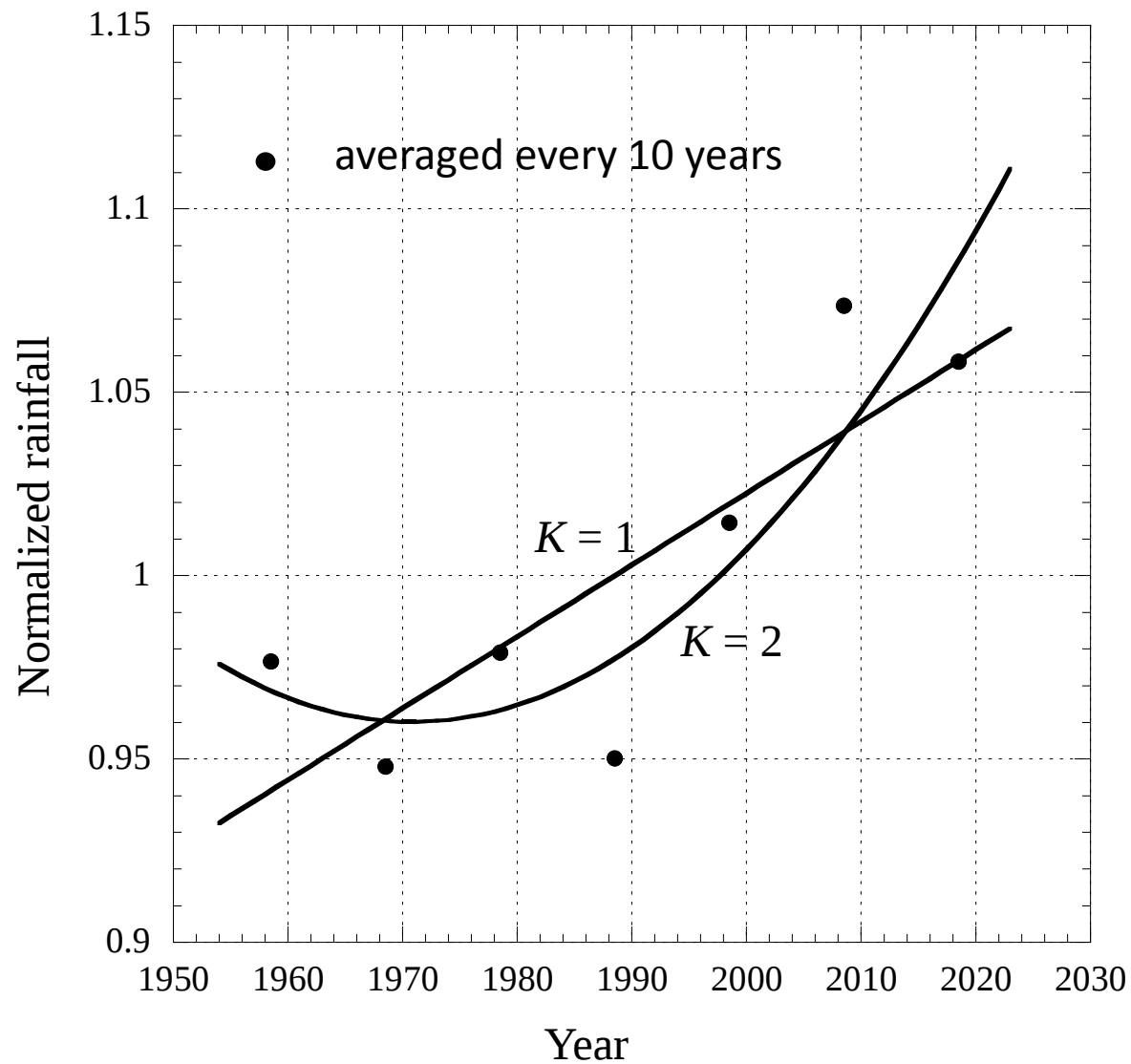
日降雨量年間最大値の長期変化傾向



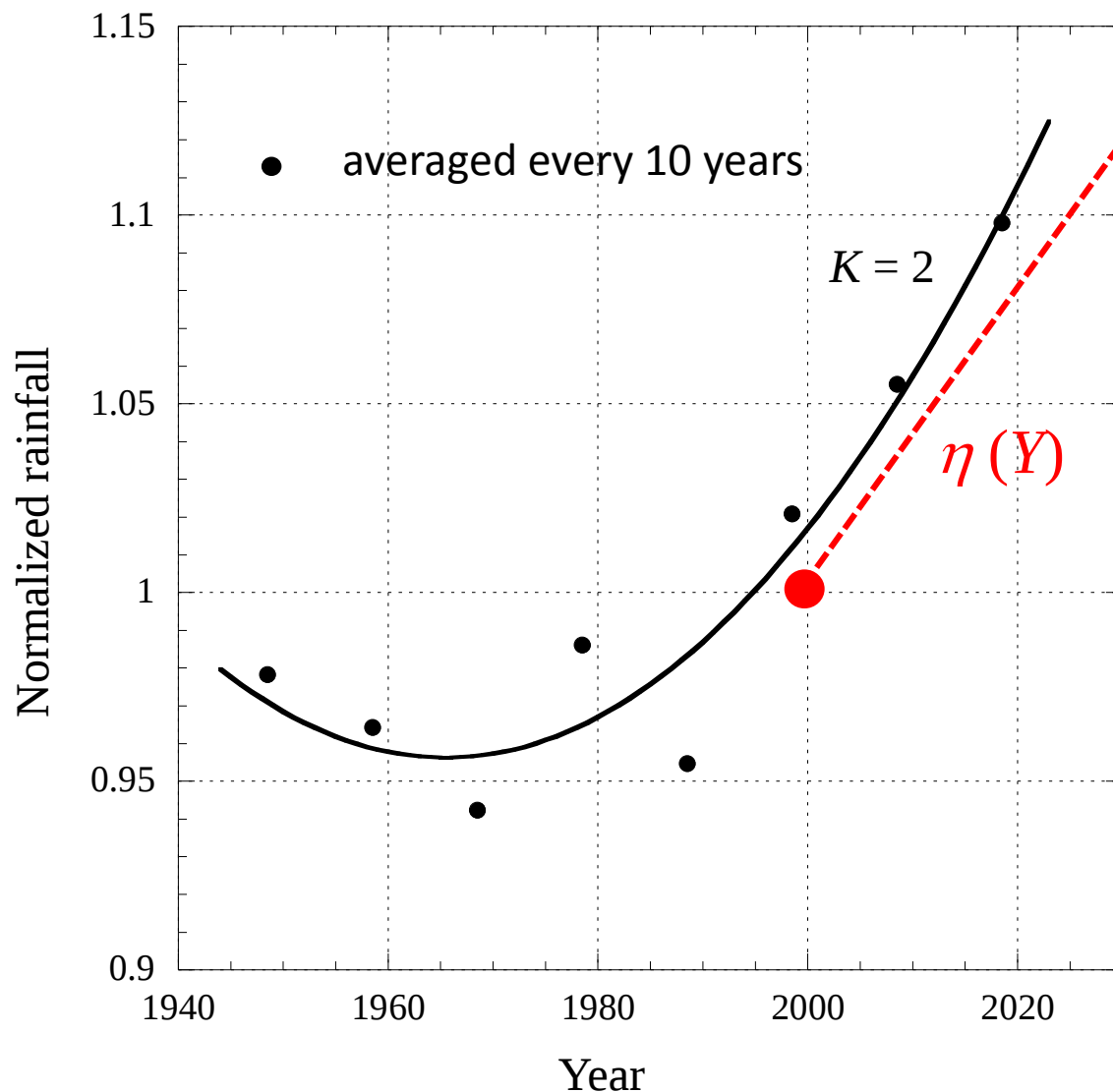
時間降雨量年間最大値の長期変化傾向



10分間降雨量年間最大値の長期変化傾向



時間降雨量年間最大値の長期変化傾向から推定する $R_{0.01}$ の未来予測



25年に1割程度の算術的増加
(西暦2000年を基準に)

$R_{0.01}$ との近似関係
(相関係数 0.978)

$$R_{0.01} = 1.5 \langle R_{1h, \max} \rangle$$

$R_{0.01}$ の未来予測

$$R_{0.01}(Y) \approx \eta(Y) R_{0.01}(2000)$$

$$\eta(Y) = 1 + \frac{Y - 2000}{250}$$

$$(2000 \leq Y \leq 2100)$$

$R_{0.01}$ の未来予測式に対する次世代を担う皆さんへの伝言

- ① 20～30年後：2050年ころに、そのときまでの気象庁データを使って上昇傾向の確認をしてほしい
- ② 地球規模スケールでの評価式を確立してほしい。降雨の特性は地球の気候区分によって異なる。故に、年変化傾向も異なるものとなるだろう。同じような気候帯ごとにグループ化して統計量を増やし、すなわち、正規化降雨量としてたくさんのデータから共通の傾向を見るのが良いであろう。その際、本発表で示したように時間降雨量年間最大値の特性から変化傾向を見出すのが現実的であろう。
- ③ 降雨減衰量の推定には $R_{0.01}$ と共に、等価通路長 L_e の長期変化も重要である。等価通路長の評価では、雨域の空間的広がりの変化傾向把握になるため、降雨の地点データのみから推定できる $R_{0.01}$ の予測よりは難しいであろうが、チャレンジしてほしい。

まとめ

気象庁が公開している日本各地の降水量の長期間データベースから、各種降水量の年間最大値データを抽出して、それぞれの量に長期間における系統的な変化があるか否かを調べた。前回および今回の結果より

- 1) 降雨量は年毎のばらつきが大きいいため、100年規模のデータであっても、地点毎に見るのでは、有意な長期変化傾向を見出せないこと
 - 2) 地点毎の着目降水量年間最大値の平均値で正規化した正規化降水量を用いて共通に扱えるデータ数を増やし、このデータで解析すると、100年規模の時間スケールにおいて、1割強の増加傾向が見られること(前回発表:IEEE TGRS採録)
 - 3) 同じデータから多項式近似の回帰曲線を求め、その最適次数をAICによって定めると、増加の傾向は1980年代以降に顕著になっていること(今回発表)
- が、明らかになった。また、
- 4) $R_{0.01}$ と相関が強い時間降水量の解析結果を用いて、近未来にデータベースの改訂が必要になるかも知れない $R_{0.01}$ に対して、年変化の予想推定式を示した。

降雨量に対する長期変化傾向を明確にするためには多様な気候特性を持つ地球規模での同様の解析が必要である。また、降雨減衰推定式の見直しには、 $R_{0.01}$ と共に等価通路長の長期変化を調べる必要がある。