

日本の降雨極値データに見る長期変化傾向 [IV]

～(続)降雨増加傾向の詳細分析～

唐沢 好男

発表の概要

本発表は同タイトルでこれまでAP研で3回発表したものの続編である。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($R_{0.01}$)も、いずれは見直しが必要になろう。この降雨の問題について、前報では、我が国の日・1時間・10分間降水量の年間最大値に着目し、およそ百年間のスケールでの長期変化傾向を多項式近似の回帰曲線で分析し、その妥当性をAIC(赤池情報量基準)で判定した。また、気象庁が、近年の強雨の増加を示すものとして、時間降水量が50mmや80mmを超える事象の発生回数での評価結果を示しているが、これと本解析結果との整合性を考察した。本発表では、年変化特性の近似関数形を変えて再度の評価を行い、変化傾向の特徴を明らかにする。また、気象庁が報告している強雨事象の発生回数での評価結果に対して、強雨地域のデータ(熊本のデータ)を用いて本解析結果との関係を累積分布確率で評価した。両解析は視点が異なるものの、結果に整合性があることを明らかにした。

発表の内容

1. 目的
2. 降水量データ
3. 降雨量(日・時間・10分間)年間最大値データの長期傾向
 - ・折れ線近似で見る (前回の多項式近似との比較)
4. 気象庁解析(強雨の発生頻度増加)との整合性
5. まとめ

目的

地球温暖化時代、雨の降り方は変わってきているか？
もし、変わってきているなら、将来において、
降雨減衰推定法の見直しが必要。それを調べてみたい。

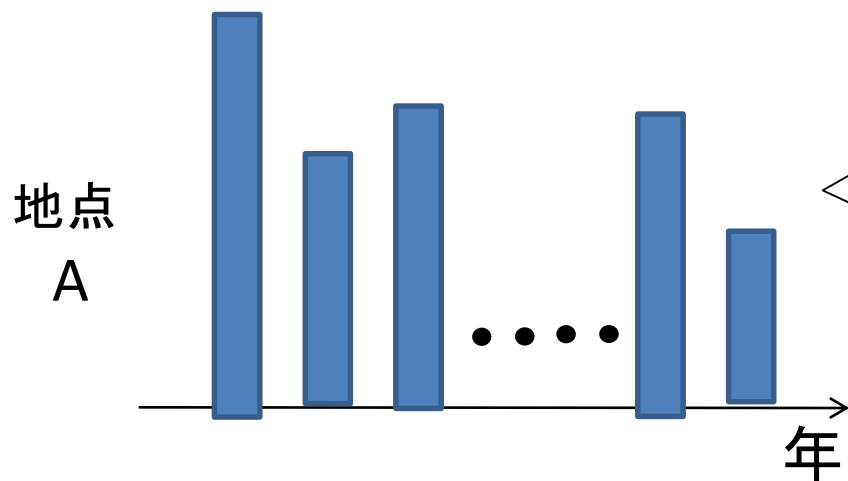
この解析に用いた降水量データ(気象庁のHPより)

日本各地の降水量年間最大値

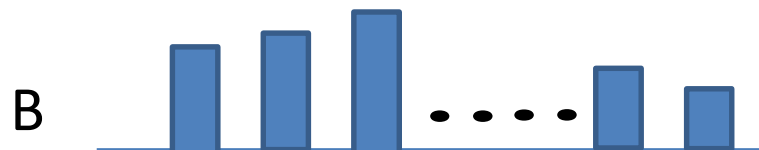
日降水量	(大洪水をもたらす)	45地点	100年間
同		45地点	130年間
時間降水量	(大きな減衰をもたらす)	45地点	80年間
10分間降水量	(大きな減衰をもたらす)	47地点	70年間

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

地点毎に最大降水量の大きさの
平均値が異なる



降雨量は年毎のばらつきが大きく
100年間の長期データがあったと
しても、
一地点だけのデータでは、95%信
頼区間推定において、長期間変
動傾向の有無を判定できない

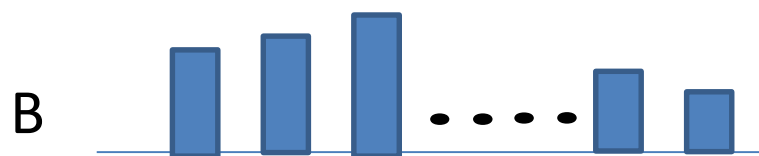
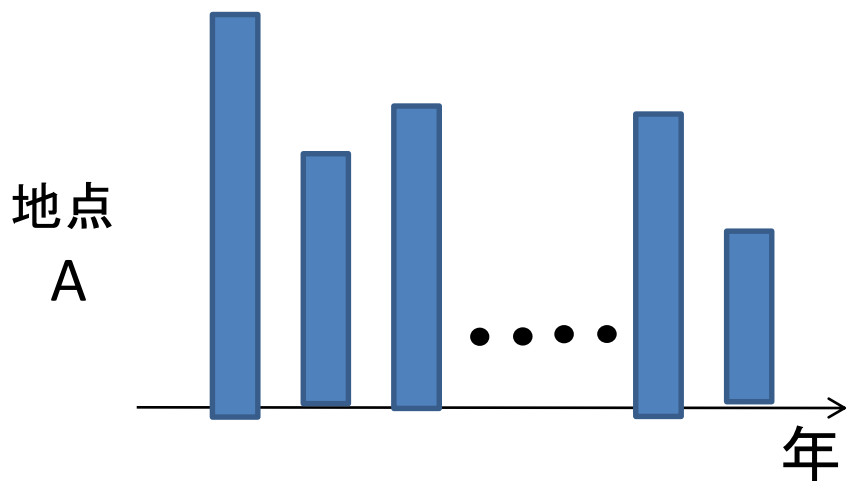


$R_{\max, i}$

•
•
•



地点毎に最大降水量の大きさの
平均値が異なる



$$R_{\max, i}$$

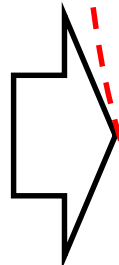
⋮



大きさの平均値を同じにする
(長期変化を共通のデータとして扱える)

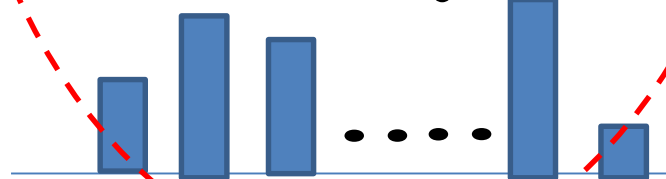
全体をひとまとめにして
データ数を増やす

規格化
(平均値
で割る)



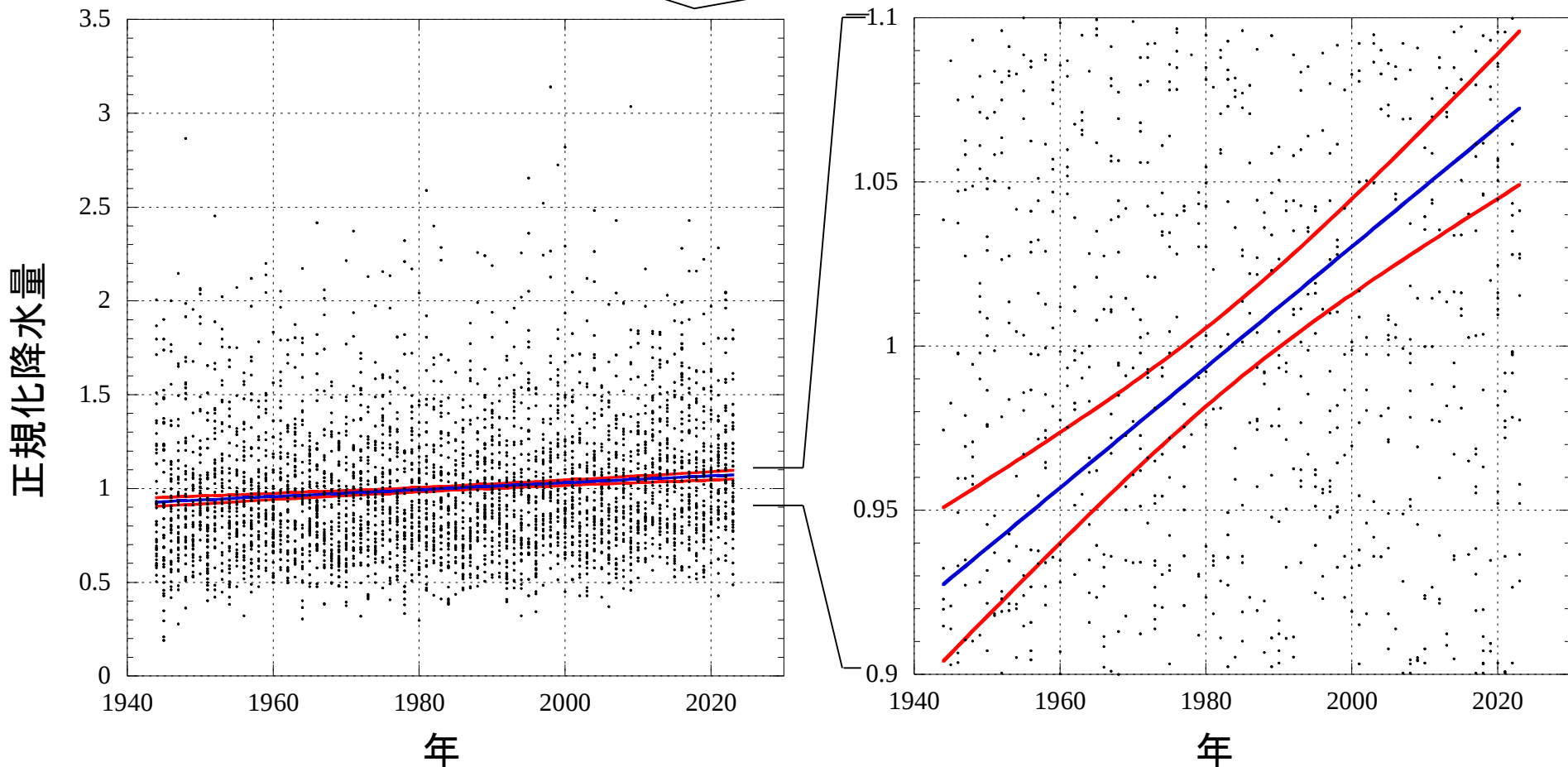
$$\frac{R_{\max, i}}{\langle R_{\max, i} \rangle}$$

⋮



1時間降水量

日本全国45地点の80年間分のデータ(データ点数:3600)



回帰直線(最尤推定): 80年間で16%の増加

区間推定(95%信頼区間): 10%~21%の増加の範囲 → 増加傾向が有意

降雨の長期変化傾向の詳細分析

非線形近似による回帰分析を行う

(最適次数(オーダー)の判定にAIC(赤池情報量規準)を用いる)

モデリング $y = f(x | \theta)$ (x: 年、 y: 年最大降雨量)
 $y_i = \bar{y}_i + \varepsilon_i \quad (\bar{y}_i \equiv f(x_i | \theta))$ θ : パラメータ)

対数尤度(誤差を正規分布で仮定)

$$l(\theta, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \log(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2$$

最大対数尤度 $l(\hat{\theta}, \hat{\sigma}^2) = -\frac{n}{2} \log(2\pi\hat{\sigma}^2) - \frac{n}{2}$

AICによるモデル評価: 下記AIC値が小さいほど良いモデル

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

近似する関数は何が良いか

① 回帰直線＋信頼区間(95%) : 初回発表

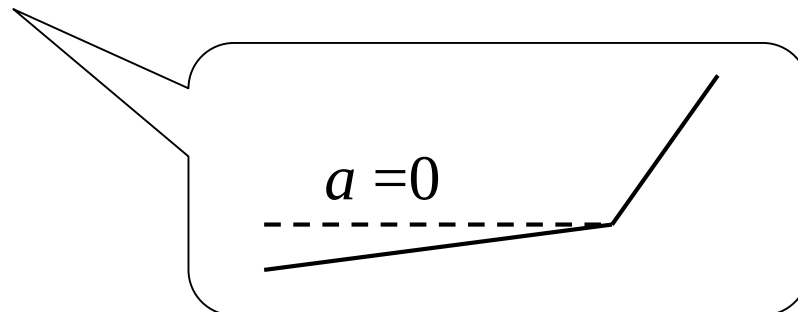
② 多項式近似 : 前回発表

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_Kx^K \quad (\text{関数のパラメータ数: } K+1)$$

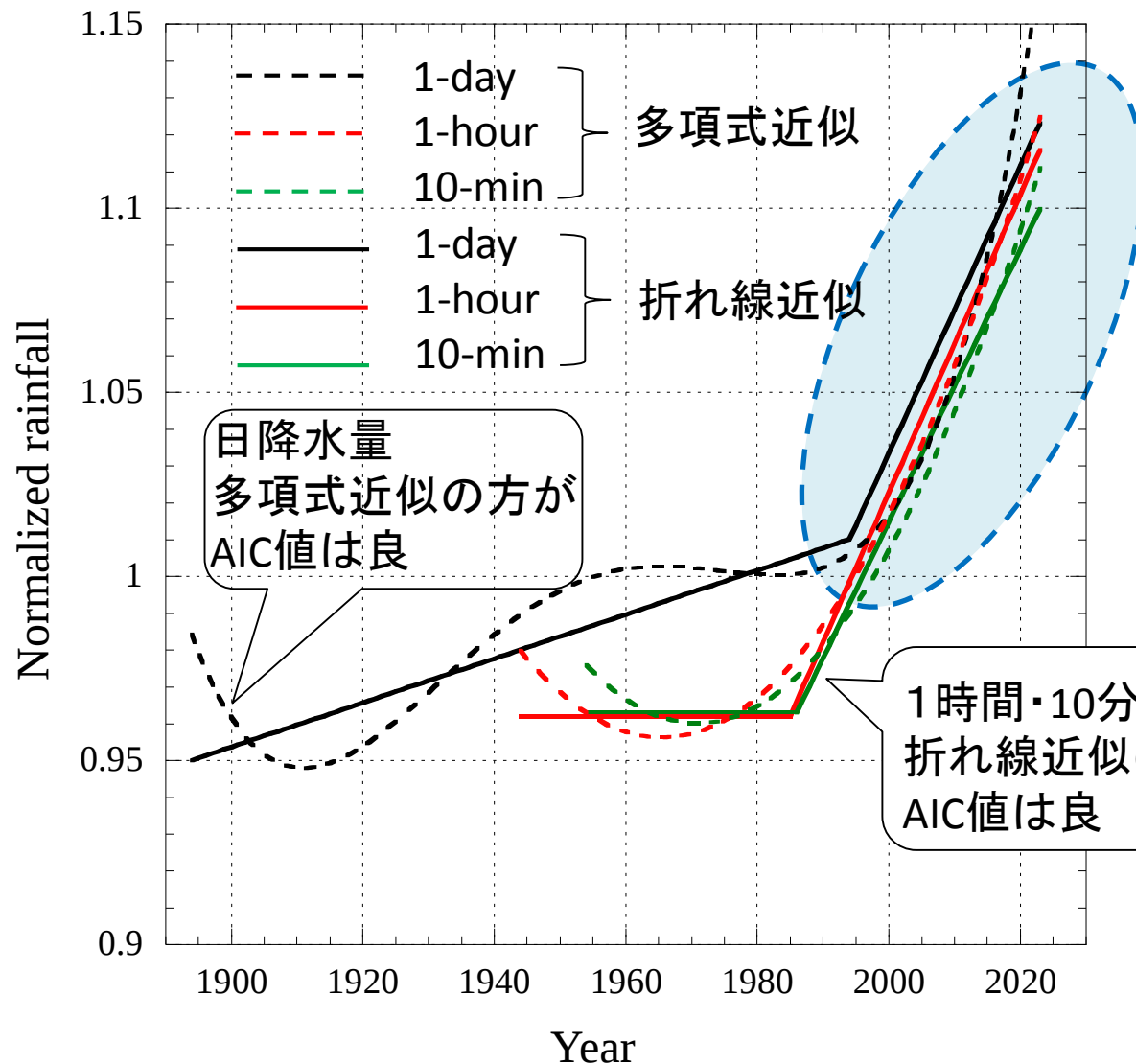
③ 折れ線近似(一回曲がりの折れ線近似) : 今回発表

$$y = \begin{cases} ax + b & (x < c) \\ ac + b + d(x - c) & (x \geq c) \end{cases} \quad \begin{array}{l} (\text{関数のパラメータ数: } 4) \\ a=0 \text{ の場合は } 3 \end{array}$$

④ その他(いろいろ)



正規化降水量年間最大値の長期変化傾向



三つの降水量に共通：
1990年ころから
約25年に10%の
ペースで増加傾向

日降水量
多項式近似の方が
AIC値は良

1時間・10分間降水量
折れ線近似の方が
AIC値は良

日本全国の各種降水量の年間最大値を調べてみると、1990年以降で、増加傾向が見られる(十数%程度)

気象庁では、どう評価されているのだろうか？

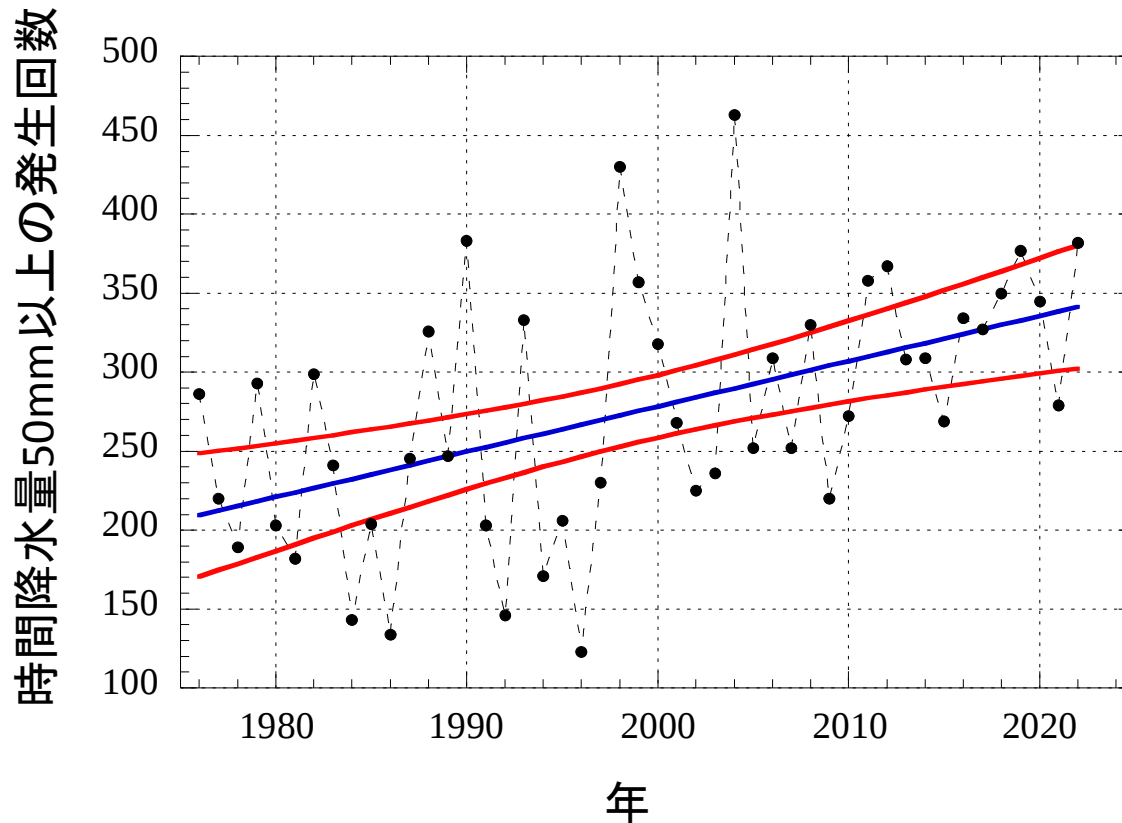
- 1) 気象庁, “地球温暖化予測情報 第9巻,” 2017.03
- 2) 気象庁, 日本の気候変動2020,
- 3) 気象庁, 大雨や猛暑日(極端現象)のこれまでの変化

気象庁の見解

日本国内の**大雨及び短時間強雨の発生頻度は有意に増加**している。ただし、年間総降水量には有意な傾向は見られない

気象庁による降雨の長期変化傾向に関する報告 時間雨量が50mmを越える発生回数の統計

(日本全国1300箇所(AMeDAS観測データ): 気象庁資料 3)より)

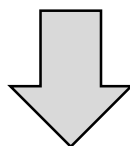


最初の10年間
(1976～1985年)と
最近の10年間
(2023～2022年)を
比べると

50mm: 1.5倍 (328回/226回)
80mm: 1.8倍 (25/14)
100mm: 2.0倍 (4.4/2.2)

筆者等の解析： 強雨時の降雨量の増加率(η_R)

気象庁の解析： 強雨事象の発生回数の増加率(η_p)



視点が異なるので
共通の土俵が必要

時間降雨量の累積確率分布

日本における降雨強度の確率分布

1 分間降雨強度も 1 時間降雨量も「細矢の M 分布」でよく近似できる

$$f(R) = \frac{\alpha}{R} \left(\frac{1}{R} + \beta \right) e^{-\beta R}$$

$$F(R) = \int_R^{\infty} f(R) dR = \frac{\alpha}{R} e^{-\beta R} \quad (F \text{ が } 1 \text{ を超えない範囲の } R \text{ に適用})$$

平年時 (増加傾向が起きる前) の累積分布

$$F_0(R; \alpha_0, \beta_0)$$

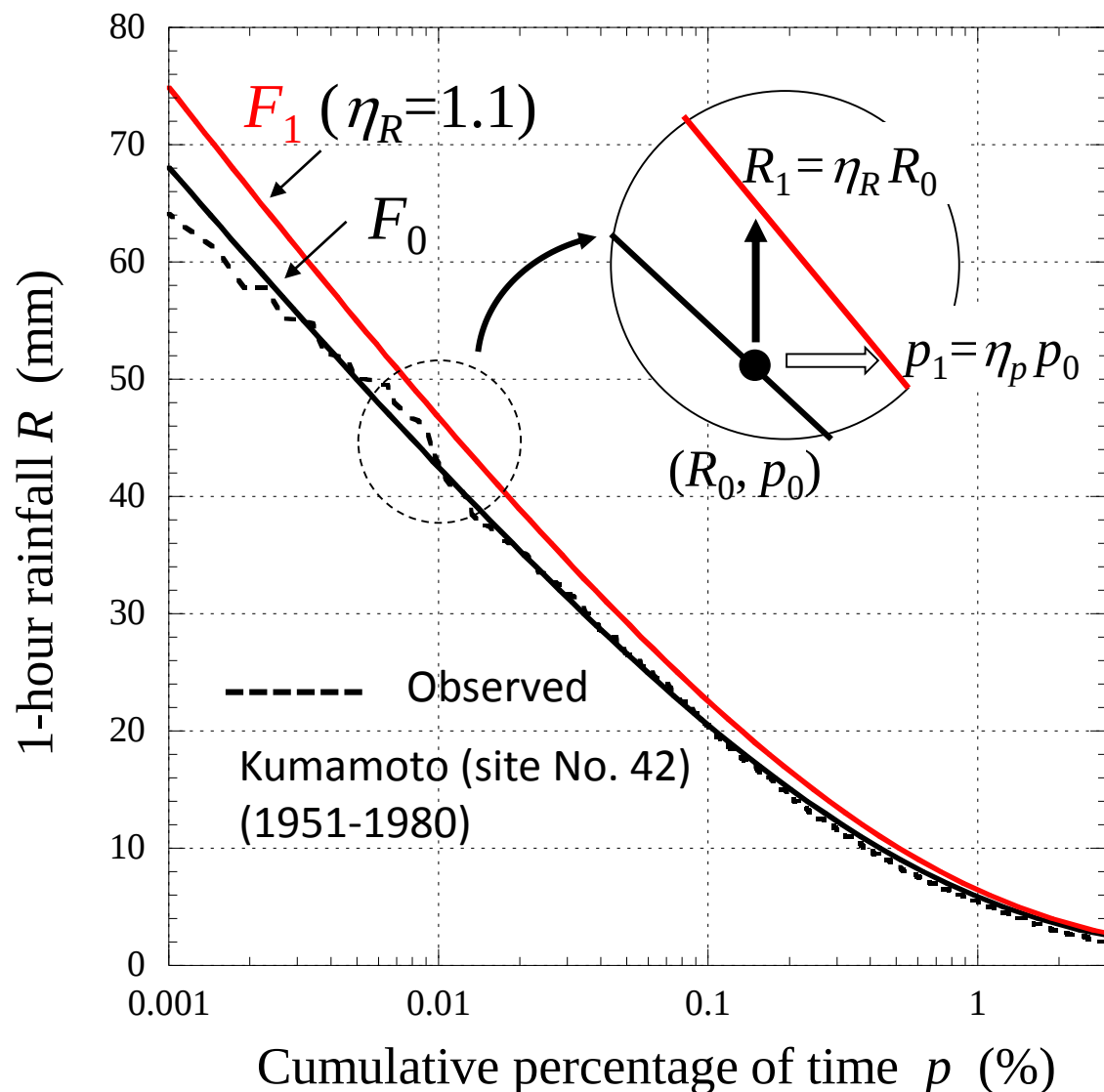
降雨強度が全時間率で均一に η_R 倍増加した場合の累積分布

$$F_1(R; \alpha_1, \beta_1), \quad \alpha_1 = \eta_R \alpha_0, \quad \beta_1 = \frac{1}{\eta_R} \beta_0$$

降雨量 R をしきい値として、 R を超える時間 ($\propto$ 事象の発生回数) の増加率: η_p

$$\eta_p \left(\equiv \frac{F_1(R)}{F_0(R)} \right) = \eta_R \exp \left\{ - \left(\frac{1}{\eta_R} - 1 \right) \beta_0 R \right\}$$

最大値統計と発生回数統計の接点を探る

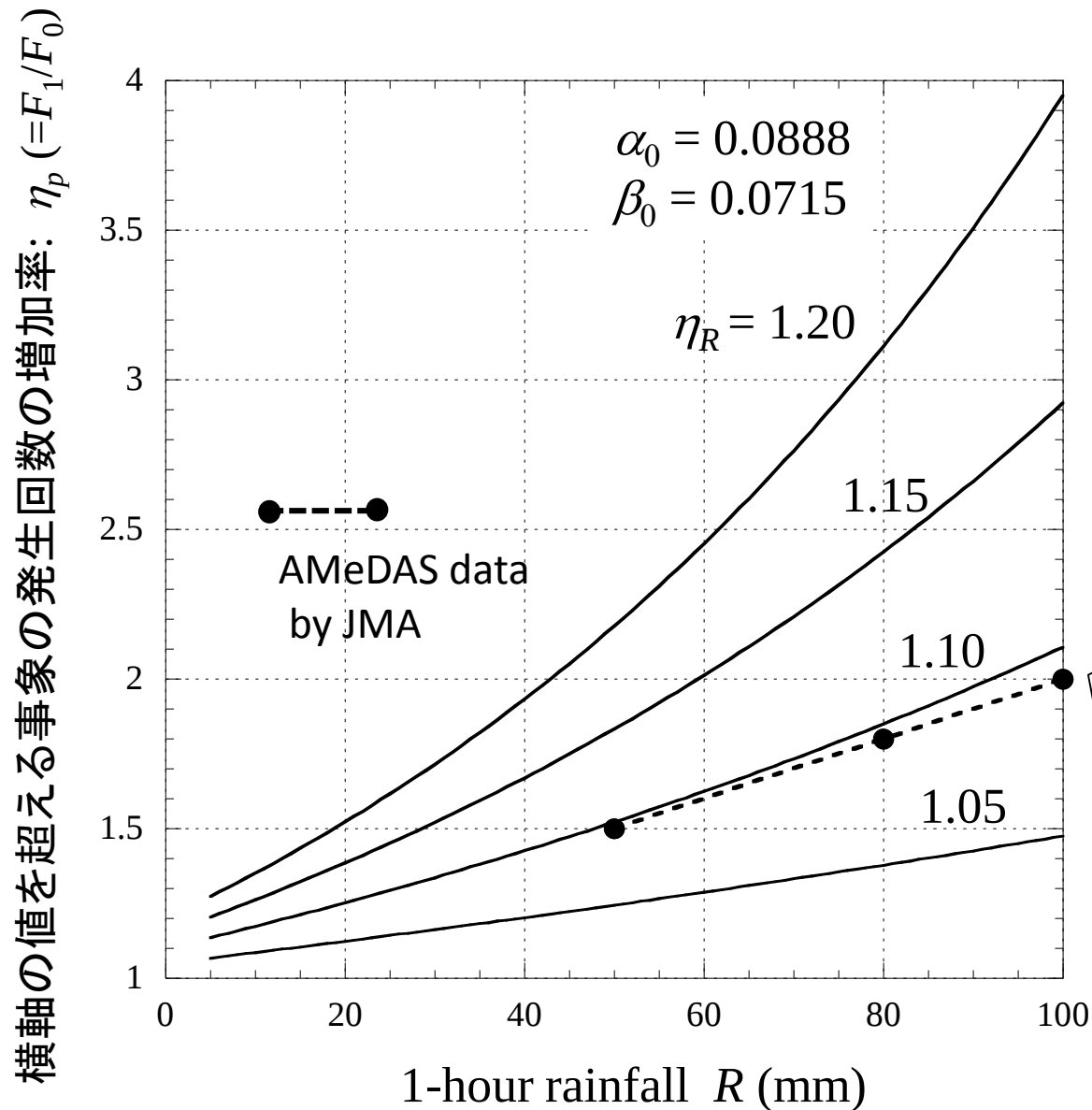


図の黒線のCDF F_0 は
強雨地域の代表として
熊本(1951-1980)の特性
を細矢のM分布で近似

(強い雨が降る
回数が増える)

1時間降雨量の年間
最大値の平均値は時
間率0.011%付近の値

降雨強度増加率 η_R としきい値を超える事象の発生回数増加率 η_p の関係



気象庁資料は日本全体における強雨発生事象の回数の統計なので、熊本1地点のデータとの比較は乱暴であるが、
 強雨発生回数増加率が1.5～2.0倍という値には、AMeDASデータ観測期間では $\eta_R=1.1$ 程度であるので、両者の解析結果に整合性がある

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、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の非線形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1990年代以降に、25年で1割程度の増加傾向にあることが、明らかになった。

また、気象庁の強雨の発生回数増加率の結果とも符合することが分かった

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。

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。($R_{0.01}$ と時間降水量年間最大値の平均値とは、相関係数0.978の強い相関があり、 $R_{0.01}$ の長期変化傾向も時間降水量変化に同じと予想：前回発表)

本シリーズの一連の発表は、これにて終結(IEEE TGRS, Climateの2論文に)半世紀後の雨の変化については、時を待つ必要がある。
ここからは、次世代を担う人たちにバトンタッチ。