

九州大学 ○学生員 河村 明 正員 神野 健二

正員 上田 年比古、宮崎県庁 正員 高橋 秀人

1. はじめに 降水などの天候の長期予報が未完成な現在、その年はどうなるかは明瞭でないにしても、大まかな傾向を十分に知っておいて対処しなくてはならない¹⁾。そのためには、過去の降水パターンや現在の降水状況を把握しておくことが必要である。著者らは先に、福岡市月降水時系列において、通常のカルマンフィルターを用い、降水の平年からのズレより異常検出指標 ϕ_k を計算し、これにより降水パターンの異常な期間とその異常性の度合を客観的かつ数量的に検出した。その結果、異常な降水パターンは、①各月とも平年以下の少雨が1年ないし2年程度継続する降水パターン、②各月とも平年以上の多雨が1年から2年程度継続する降水パターン、③平年よりも極端な多雨と少雨が2～4ヶ月毎に交互に現れる変動の大きい降水パターン、の3つに大別された。そして③の降水パターンが最も多いことを示した²⁾。本報ではさらに、降水パターンの変化量を推定し、降水時系列を同一の降水パターンをもつ期間に分割して各期間の降水特性を検討するために、AKFを福岡市降水時系列に適用した。

2. 計算手法 本報では、福岡市の明治23年から昭和56年までの92年間の月平均降水量(mm/day)を対象としているが、月平均降水量は対数正規分布で近似できることを考慮し、これの対数変換を行ない、さらにlow-passフィルターにかけデータの平滑化を行なった。すなわち、こうして得られる月平均降水量の対数変換平滑化データ $y(k)$ は、式(1)のような変換式になる。 $y(k) = (1-c)\log\{r(k)\} + c y(k-1) \cdots$ (1) .ここに k :時点、 $r(k)$:月平均降水量(mm/day)、 $c=0.6$ とした。いま、 $y(k)$ を次式のように周期関数でモデル化する。 $y(k) = My + \sum_{i=1}^5 (A_i \sin 2\pi f_i k + B_i \cos 2\pi f_i k) + w(k) \cdots$ (2) ここに、 My :平均値、 f_i :周波数成分、 A_i 、 B_i : f_i に対する振幅、 $w(k)$:ランダム成分で平均0、分散 W の正規性白色雑音。ここで、 f_i の値としては対数変換平滑化データをMEM(最大エントロピー法)によりスペクトル解析して求めた卓越周波数、 $f_1=1/48$ 、 $f_2=5/72$ 、 $f_3=1/12$ 、 $f_4=1/3$ 、 $f_5=5/12$ (cycle/month)を用いた。これらは順に、4年、1.2年、1年、1/4年、1/5年周期である。分散 W は最小二乗法により推定された My 、 A_i 、 B_i を用いた場合の誤差の分散 $W=0.019$ を用いた。なお式(2)は、AKFを適用する場合の観測方程式として使われる。また、 ϕ_k を計算する際のイノベーション v の蓄積個数 ℓ は15個とし、AKFの閾値 $\eta=5.0$ とした。

3. 結果および考察 式(2)中のパラメーター My 、 A_i 、 B_i をシステム状態量とし、 ϕ_k が η よりも大となればAKFの理論により、降水パターンが変化したとしてパラメーターを修正しながら逐次同定した。その結果パターン変化は8回生じた。このパターン変化の推定時点と ϕ_k のピーク値を表-1に、また同一降水パターンの期間における最終時点でのパラメーターの同定結果を表-2に示す。またこの表の最終行には通常のカルマンフィルターによる同定結果を併記している。ここで、AKFの同定結果は各期間毎の最小二乗法の同定結果とほぼ同様な値となり、通常のカルマンフィルターの結果は全期間の最小二乗法の同定結果と同じとなった。表-2より、全期間では1年周期の振幅(A_3 、 B_3)が卓越しており、他の周波数成分の振幅はほとんど0である。しかし、各期間別にみると期間II、VI、IXでは長周期成分の周波数 f_1 、 f_2 に対する振幅($A_1 \sim B_2$)のいずれかが大きくなっている。これに対し短周期成分の周波数 f_3 、 f_5 に対する振幅($A_4 \sim B_5$)はどの期間も余り変化はなくその値は小さい。これよりパターン変化は主に長周期成分の振幅の変化に起因していると考えられる。さらに平均値 My の変動より、多雨期や少雨期を知ることができ、また f_i に対する振幅 A_i 、 B_i の同定値より、各期間にでどの周波数成分が卓越しているかを知ることができるので、 My 、 A_i 、 B_i の変動を調べることにより各期間の降水パターンの特徴を解析することができる。ここで、年降水量はほぼ正規分布に従うといわれている³⁾ので、図-1に年降水量を正規確率紙にWeibullプロットによりプロットした結果を示している。また図-2にはAKFにより同一降水パターンに分けられた年降水量時系列を示している。図-1より年降水量はほぼ正規分布に従っ

表-1 パターン変化の推定時点と異常値検出指標 ϕ_x のピーク値

Estimated time	Apr. 1984	May 1898	Jul. 1904	Aug. 1933	Feb. 1939	Nov. 1947	Jul. 1956	Oct. 1971
Peak ϕ_x	7.90	6.34	6.85	5.45	5.12	5.29	6.19	5.68

表-2 AKFおよび通常のカルマンフィルターによるシステムパラメーターの同定結果

Priod			Mean	Frequencies(1/month) and their amplitudes											
				$f_1=1/48$		$f_2=5/72$		$f_3=1/12$		$f_4=1/3$		$f_5=5/12$			
Number	Interval	My	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	A ₃	B ₃	A ₄	B ₄	A ₅	B ₅			
A K F	I	1~ 52	0.53	0.06	0.02	0.06	-0.00	-0.10	-0.09	0.01	0.00	-0.01	0.00		
	II	53~101	0.43	-0.15	-0.01	0.00	-0.12	0.01	-0.06	0.01	0.04	-0.04	0.02		
	III	102~175	0.55	0.03	-0.02	-0.02	0.02	-0.12	-0.13	0.00	-0.01	-0.01	0.01		
	IV	176~524	0.53	0.03	-0.01	0.03	0.02	-0.10	-0.10	0.03	0.02	-0.03	-0.00		
	V	525~590	0.50	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.18	-0.04	-0.00	0.01	-0.02	0.01		
	VI	591~695	0.51	0.03	0.13	-0.05	0.02	-0.19	-0.09	0.01	0.03	-0.03	-0.00		
	VII	696~799	0.61	-0.01	0.03	-0.03	0.04	-0.11	-0.12	0.02	0.02	-0.04	0.00		
	VIII	800~982	0.53	0.02	0.01	0.01	-0.00	-0.14	-0.10	0.01	0.00	-0.02	-0.01		
	IX	983~1104	0.54	-0.12	-0.04	-0.02	-0.04	-0.14	-0.11	0.01	0.01	-0.01	-0.01		
Ordinary Kalman		1~1104	0.54	-0.00	0.00	0.01	0.01	-0.12	-0.10	0.02	0.01	-0.02	-0.00		

ているようにも見受けられるが、多雨年や少雨年は理論直線からズレている。 χ^2 検定では有意水準10%で正規分布であるという仮説は棄却された。これより、多雨年や少雨年の現れる年は、平年の降水を表す単一の母集団と異なった母集団から取り出されているとも考えられる。次に図-2と表-2を対比させて見ると、期間IIで表-2のMy=0.43が全期間の平均0.54に比べ非常に小さいことと、図-2の同じ期間の降水量の平均値(1353mm)が92年間の平均値1639mmに比べ非常に小さいこと、また

期間IVでは表-2のMyが全期間の平均値とほぼ同じことと、図-2の期間IVの平均値(1611mm)が全期間の平均値とほぼ同じこと、また期間VIIでは表-2のMyが非常に大きくなっていることと、図-2のこの期間の平均値(1903mm)が非常に大きくなっていることなどがよく一致している。さらに期間VIやIXでは表-2の4年周期に対する振幅(B₄やA₄)が大きくなっていることと、図-2の年降水量時系列でこの期間の降水に顕著な4年周期が認められることがよく対応づけられ、これらよりAKFによる算定結果の表-2が妥当であることをうかがい知ることができる。なお、IIIからIVやIVからVの変化は図-2から直接の判断はやや困難であるが、表-2からいえば主に1年周期に対する振幅(A₃, B₃)の変化とf₁, f₂, f₃の振幅の符合の変化による、これらの周波数成分の位相変化に起因しているものといえる。

5. むすび 以上により、適応的カルマンフィルターにより降水時系列を同一降水パターンをもつ期間に分割することが可能であり、得られた期間毎のシステムパラメーターにより降水時系列の変動特性を解明でき、降水現象の傾向を知ることができると考えられる。

参考文献 1)根岸順吉：異常気象を追って，中公新書，pp.24~26，昭和49年9月。 2)上田・河村・神野：適応的カルマンフィルターによる異常値検出について，土木学会論文報告集，第345号，1984年5月。 3)上田・河村・神野・高橋：福岡市降雨時系列の動特性について，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.172~173，1984年2月。 4)篠原謹爾：河川工学，共立出版，pp.19~21，昭和50年11月。

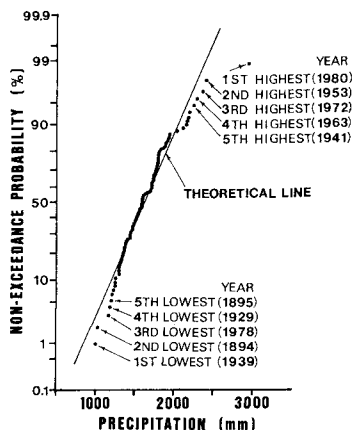


図-1 年降水量の正規分布に対する適合度

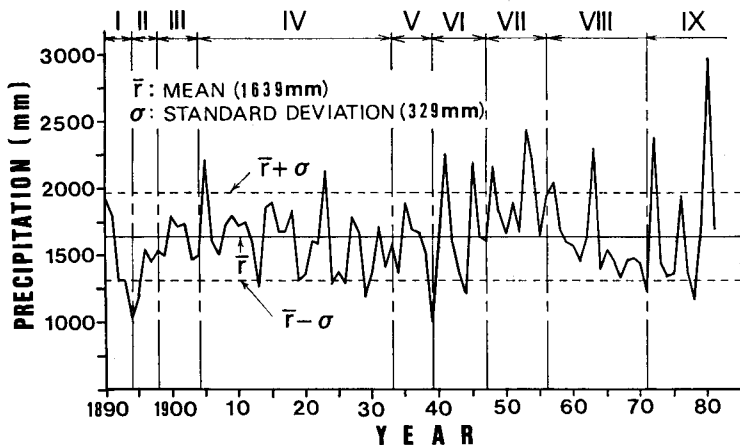


図-2 AKFによって分割された年降水量時系列