

1.はじめに 洪水被害を少なくするためには、降雨時系列の動特性が変化した時点とその変化の規模を迅速に推定しその後の降雨予測の精度を上げ、適切な洪水対策を立てる必要がある。しかし、これは降雨パターンが多様でかなり困難な問題である。本報では、降雨時系列の動特性の変化を降雨パターンの変化、すなわち降雨システムの変化として捉え、このシステムの変化を推定するために、カルマンフィルタに一般化尤度比検定法を併用した、いわゆる適応的カルマンフィルタ²⁾を用いることにし、これを福岡市の降雨時系列に適用し、検討した。

2.福岡市降雨時系列への適応的カルマンフィルタの適用 適応的カルマンフィルタは、一般化尤度比検定法により、システムの異常値発生の有無を観測値時系列の変動状況から検定し、もし異常値が検出されれば、システムが変化したものと考えて、その発生時点および大きさを定量的に推定し、異常値の大きさに応じてシステムの状態量を修正するものである²⁾。ここでは、月平均降雨量(mm/day)が対数正規分布に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フィルタにかけデータの平滑化を行った。すなわち、こうして得られる月平均降雨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： $y(k)=(1-c)\log\{r(k)\} + cy(k-1) \cdots \cdots (1)$ ここに、 $C=0.6$, $r(k)$; 月平均降雨量(mm/day), k ; 時点 である。いま、 $y(k)$ を次式のような、平均値 M_y 、周期成分： f_i ; 周波数、 A_i , B_i ; f_i に対する振幅、およびランダム成分： $w(k)$; 平均 0, 分散 0.03の正規性白色雑音 の和で表わされるものと仮定する。 $y(k) = M_y + \sum_{i=1}^5 (A_i \sin 2\pi f_i k + B_i \cos 2\pi f_i k) + w(k) \cdots (2)$ なお、 f_i の値には、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を用いた。その値はそれぞれ、 $f_1=1/54$, $f_2=5/72$, $f_3=1/12$, $f_4=1/3$, $f_5=5/12$ であり、これらは順に、4.5年, 1.2年, 1年, 1/4年, 1/5年周期である。また、式(2)は、適応的カルマンフィルタおよび通常のカルマンフィルタを適用する場合の観測方程式として使われる。

3.適用結果および考察 式(2)中のパラメーター； M_y , A_i , B_i をシステムの状態量とし、これらを適応的カルマンフィルタおよび通常のカルマンフィルタで逐次同定し、1ステップ先の予測を行った。この時の各パラメーターの同定結果を図-1から図-5に示す。図-1を見ると、 M_y は、通常のカルマンフィルタの同定結果では、ほぼ一定の値となっているが、適応的カルマンフィルタによる同定結果では、変化している様子が見られる。このことは、式(2)で用いた最長の周期 4.5年よりもさらに長い周期、例えば、年平均降雨量データのスペクトル解析により得られる10年、46年の長周期成分³⁾、あるいは、これらの周期よりも長周期の変動に起因しているのかも考えられる。

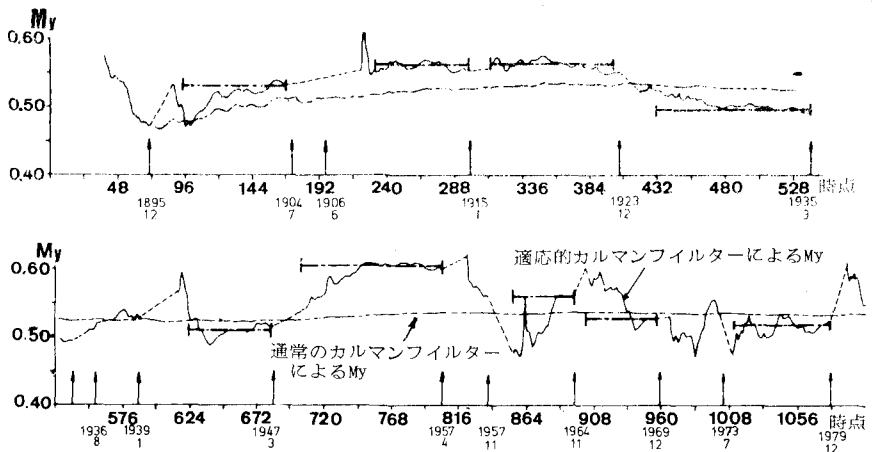


図-1 平均値 M_y の同定結果

そこで、実降雨量データとその対数変換平滑化データに対して、システムが修正されてから次のシステム修正までの期間ごとの平均値を計算した。表-1には、これらの平均値と、式(2)中の平均値 M_y の同定結果とを比較している。表-1の結果と図-1を見ると、まず、対数変換平滑化データについては、実際に計算した各期間ごとの平均値と本法による M_y の推定値とが、きわめてよく一致していることが分かる。また、 M_y の変化は、実際の降雨の多雨・少雨パターンとも対応していて、長期的な傾向を知る上で本報の推定法は有効であると考えられる。図-2から図-4には、1947年3月時点の4.5年周期、1年周期、および1/5年周期に対する振幅 B_1, A_3, A_5 の変化を示している。これらの図からは、降雨パターンが変化する時には、短い周期の振幅よりも長い周期の振幅の変化が、大きいことが分かる。しかしながら、図-5に示す1915年1月時点でのシステム修正では、1.2年周期の振幅 B_2 が他に比べて特に大きく修正され、必ずしも、降雨パターンの変化が一様ではないと考えられる。次に、図-6には、1947年3月のシステム修正前後のそれぞれの期間の対数変換平滑化データのMEMによるスペクトル解析結果を示す。図を見ると、システム修正前後で、 f_1 (4.5年周期)と f_3 (1年周期)に対するスペクトルの大きさがかなり変化しており、適応的カルマンフィルターによる推定結果とよく一致している。

表-1 各データの平均と M_y の値

期間 (月)	実降雨 (mm/day)	対数平滑化データ	
	$y(k)$	M_y	
全期間	4.5	0.54	
90~150	4.4	0.52	0.53
230~280	4.6	0.57	0.57
320~370	4.2	0.56	0.56
420~650	4.0	0.49	0.50
700~790	5.5	0.63	0.64
1020~1060	4.1	0.52	0.52

図-2 f_1 (4.5年周期) に対する振幅 B_1

図-3 f_3 (1年周期) に対する振幅 A_3

図-4 f_5 (1/5年周期) に対する振幅 A_5

図-5 f_2 (1.2年周期) に対する振幅 B_2

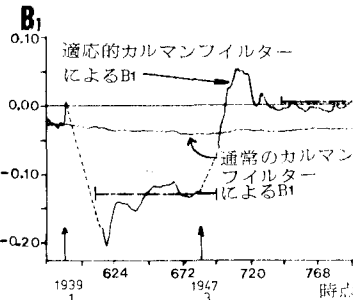


図-2 f_1 (4.5年周期) に対する振幅 B_1

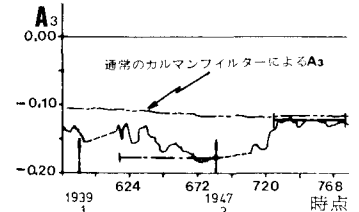


図-3 f_3 (1年周期) に対する振幅 A_3

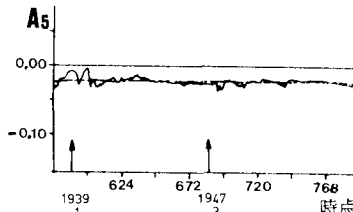


図-4 f_5 (1/5年周期) に対する振幅 A_5

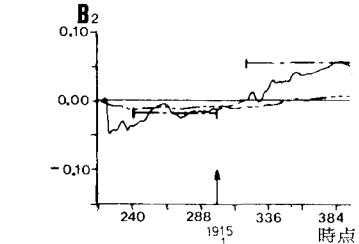


図-5 f_2 (1.2年周期) に対する振幅 B_2

ダ. 結び 本報では、福岡市の降雨時系列の対数変換データを周期関数で表わし、降雨パターンの変化を適応的カルマンフィルターにより推定した。その結果、通常のカルマンフィルターでは捉えられない降雨パターンの変化をシステムの変化として推定することができ、その後の降雨予測に有効な情報が得られるということがわかった。しかしながら、現時点では式(2)の雑音項の分散が大きく、予測精度を上げるためにはシステムの再検討が必要であり今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 上田・河村・神野・高橋；適応的フィルタリング法による福岡市降雨時系列の異常値検出に関する一考察、昭和57年度 土木学会西部支部研究発表会講演概要集
- 2) 上田・河村・神野；時系列のシステムパラメータのジャンプ変動の同定、第27回水理講演会論文集 1882.2
- 3) 上田・神野・河村・高吉；降雨時系列が周期関数で表わされる場合の異常値検出について、九大工学集報 第55巻 第6号 昭和57年12月

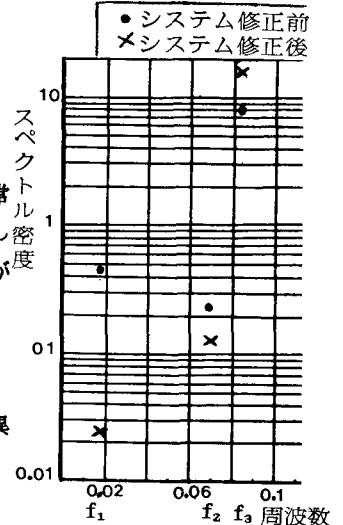


図-6 スペクトル解析結果