

京都大学工学部 正員 高樺琢馬 京都大学工学部 正員 椎葉充晴
京都大学工学部 正員 立川康人 (株)ニュージェック 正員 ○藤田 暁
京都大学大学院 学生員 NIRUPAMA

1 はじめに 河川の流出のモデル化では、現象の変動する時間スケールでモデル結果と実現象とが合う必要がある。流出現象の時間スケールを把握するため、河川流量の変動、および、流出モデルを介して得られる流域土壌水の変動の時間スケールについて分析、考察を行なった。

2 河川流量の時間スケールとその流域面積との関係 流量波形に高い周波数成分が含まれる場合、河川流量は小刻みに変動し、変動の時間スケールは小さい。逆に、流量波形が低周波の成分から成っていると、河川流量の変動は緩やかで、変動の時間スケールは大きい。そこで、流量データをフーリエ変換して周波数領域で記述し、パワースペクトルをもとに河川流量の変動の時間スケールを調べる(図2参照)。

淀川流域の32箇所(図1参照)の毎時流量データを、以下のように分析した。パワースペクトルで、その周波数以下のパワーが全パワーに対して $\alpha\%$ を占めるような周波数を f_α と定義し、 α を包含率と呼ぶことにする(図3参照)。包含率 $\alpha\%$ に対する、周波数 f_α および周波数 f_α がナイキスト周波数となる時

間隔 $\Delta t_\alpha = 1/(2f_\alpha)$ を、各流量観測所ごとに求めた。図4は、流域面積と周波数 f_α の関係を、対象とした全観測所についてプロットした図である。流域面積が大きいほど、 Δt_α が大きい、すなわち流量変動が緩やかであることが分かる。曲線は、全プロットを下側に含むように描いた包絡線である。流量を現象通りに記述するためには、この包絡線よりも上側の周波数、時間間隔でデータを取得すれば良い。包絡線を表わす曲線として $f_\alpha = \exp(a\sqrt{A}+b)$ を仮定した。 A は流域面積である。流量を記述するための時間間隔 Δt と流域面積との関係は $\Delta t = p \exp(q\sqrt{A})$ となる。ただし、 $p = 1/(2 \exp b)$ 、 $q = -a$ である。

包含率 α の値ごとに得られる包絡線を、まとめて図5に示す。この図から、例えば、流域面積1,000km²で、包含率 $\alpha = 99.0\%$ とするには、3時間くらいの時間間隔でデータを取得すれば良いことが分かる。

3 包含率 α と時間領域での流量の再現誤差の関係 流量 $h(t)$ から、時間間隔 Δt_α でデータを取得した場合に得られる流量時系列のフーリエ変換を $H_\alpha(f)$ とする。 $H_\alpha(f)$ を逆フーリエ変換したものを $h_\alpha(t)$ と

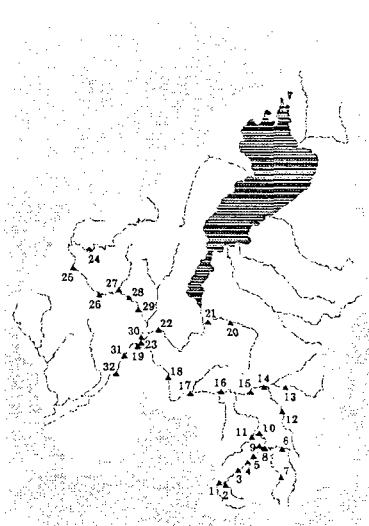


図1 流量観測所位置

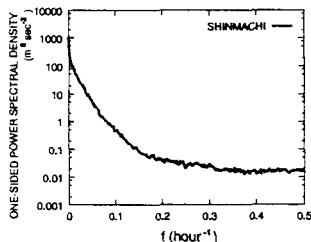


図2 流量の片側パワースペクトル密度の例(新町観測所)

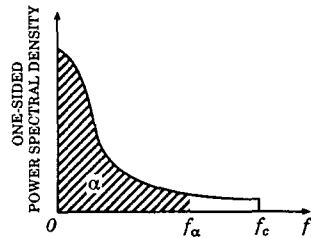


図3 片側パワースペクトル密度の模式図

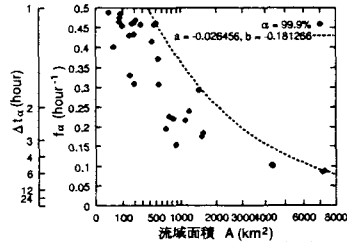


図4 淀川における f_α と流域面積の関係($f_\alpha = 99.9\%$)

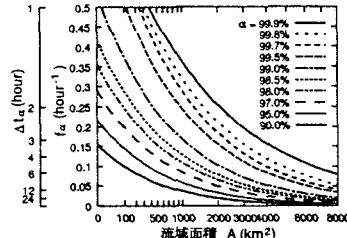


図5 流域面積と f_α の関係を表す包絡線

し、 $h(t)$ に対する $h_a(t)$ の誤差として、 $\beta = \int_{-\infty}^{\infty} \{h(t) - h_a(t)\}^2 dt / \int_{-\infty}^{\infty} \{h(t)\}^2 dt$ という量を考えると、 $\beta \approx 2(1 - \alpha)$ となる。

4 流出モデルによる流域土壌水変動の時間スケール
淀川の部分流域に流出モデル（新安江モデル [3]）を適用し、モデル内の状態量である流域土壌水 W の時間変動を分析する。部分流域は、島ヶ原（図 1 の 15 番の観測所）、新町（同 25 番）の 2 箇所を選んだ。

新安江モデルは、流域内の保水能力の空間的分布を考慮した集中型の流出モデルである。土壌水が保水能力に達するまでその地点から流出は発生せず、保水能力の空間的分布は、図 6 の様に表される。降雨があった場合、不浸透域と飽和領域の降雨は流出成分 R となる。不飽和領域の降雨は流域土壌水 W に加算され、 W の損失は蒸発散による。

1988 年 9 月～1989 年 12 月の 16ヶ月間に対して毎時の計算を行ない、このうち、初期条件の影響が十分弱まっていると考えられる 1989 年 1 月以降の計算結果を分析に用いた。なお、降水量、河川流量は、AMeDAS と建設省所管観測所の観測値を用い、蒸発散量は、AMeDAS の気温、日照時間、風速、蒸気圧の観測値をもとに、熱収支法により推定した。

モデルの計算結果の一部を図 7 に示し、流域土壌水 W のパワースペクトルを図 8 に示す。周波数 0 の成分が突出して大きい、これは、流域土壌水 W が

常に上限の付近で変動しており、その変動幅が W の値に比して小さいこと、すなわち、土壌が常に湿っていることを表している。 W の平均からの偏差に対して、すなわち、図 8 の周波数 0 の成分を除外して、包含率 α に対応する周波数 f_α と時間間隔 Δt_α を求めた（表 1）。両流域とも、変動の時間スケールは数時間である。土壌水分は蒸発散に影響を及ぼす条件の一つであるが、流域土壌水を流域の蒸発散の推定に用いる場合、流域土壌水の変動幅が蒸発散にどのくらい影響を及ぼすかにより、流域土壌水を記述するために必要な時間間隔は変わると思われる。

5 おわりに 本研究では、河川の流出現象の時間スケールとして、河川流量の変動の時間スケール、および、流出モデルによる流域土壌水変動の時間スケールについて分析し、以上のような知見を得た。

なお、本研究で利用した雨量・流量データは、建設省淀川工事事務所から提供していただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，pp. 175-177，1977.
- [2] Press, W. H. et al. : Numerical Recipes in C, Second Edition, Cambridge University Press, pp. 500-501, 1992.
- [3] Zao Ren-Jun : The Xinanjiang model applied in China, Journal of Hydrology, vol. 135, pp. 371-381, 1992.

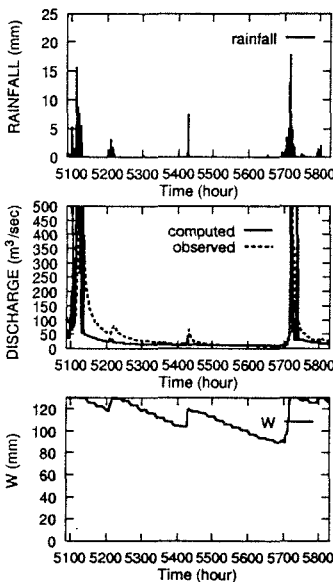


図 7 降水量およびモデルによる流量，流域土壌水 W （島ヶ原）

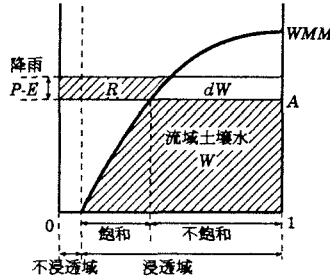


図 6 新安江モデル概念図

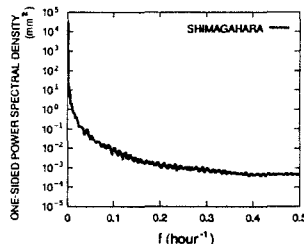


図 8 流域土壌水 W の片側パワースペクトル密度（島ヶ原）

表 1 包含率 α と周波数 f_α の関係（流域土壌水 W の平均値からの偏差）

(a) 島ヶ原		
α	$f_\alpha(\text{hour}^{-1})$	$\Delta t_\alpha(\text{hour})$
99.9 %	0.312441	1.600304
99.8 %	0.211863	2.360017
99.7 %	0.156216	3.200690
99.5 %	0.108916	4.590710
99.0 %	0.066998	7.462882
98.5 %	0.049691	10.062095
98.0 %	0.041978	11.910895
97.0 %	0.030794	16.236832
95.0 %	0.020245	24.697753
90.0 %	0.011636	42.969764

(b) 新町		
α	$f_\alpha(\text{hour}^{-1})$	$\Delta t_\alpha(\text{hour})$
99.9 %	0.226762	2.204956
99.8 %	0.160588	3.113565
99.7 %	0.124652	4.011165
99.5 %	0.090772	5.508286
99.0 %	0.056582	8.836760
98.5 %	0.043944	11.378039
98.0 %	0.040005	12.498355
97.0 %	0.029524	16.935411
95.0 %	0.019541	25.587219
90.0 %	0.012007	41.643488