

# スペクトル解析を用いた扇状地の浅層地下水流動の推定

## Estimation of Shallow Groundwater Flow in Alluvial Fan Using Spectral Analysis

○今川 智絵 · 竹内 潤一郎 · 河地 利彦

○Chie Imagawa, Junichiro Takeuchi and Toshihiko Kawachi

### 1 はじめに

山地に降った降水は、一部が直接流出として溪流に流出し、残りは浅層地下水となって流下する。山地の下に開ける扇状地において、扇頂から扇中央にかけて降水や灌漑水が浅層地下水を涵養し、扇端にいたるとその一部が湧出する。本研究では、観測された地下水位の時系列に対してスペクトル解析等の統計的手法を適用し、扇状地における浅層地下水の流動、地表水との交流現象を推定する。

### 2 調査地区の概要

調査対象地は、滋賀県高島市に位置する日置前扇状地であり(図1)、野坂山地から流下する百瀬川や境川により形成された複合扇状地の一部である。

日置前扇状地とそれに続く平地に設置した地下水観測井(図1, w1-w6)において、地下水位を計測した。w1が扇頂, w2が扇中央, w3, w4が扇端上部, w5, w6が平地に位置する。また、山地からの流出水として境川の水位を扇頂で計測し、同地点で降水量の計測も行った。いずれも、2006年8月より継続して10分間隔で計測した。

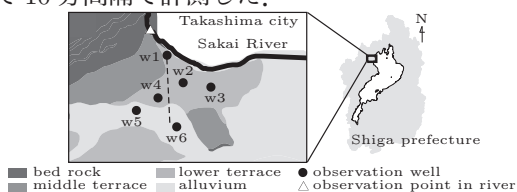


図1: 調査対象地域の地形と地下水観測井  
Fig.1: Topographic map of the study area

### 3 データ解析方法

観測された地下水位、降水量、河川水位の各データに対してスペクトル解析を行う。パワースペクトル密度は、ある周波数成分の持つ単位時間あたりのエネルギーの強さを表し、フーリエ変換を用いて次式で推定できる[1]。

$$P(f_n) = \frac{|X(f_n)|^2}{N\Delta t} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$X(f_n) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} (x_k \exp(-2\pi i k n / N)) \quad (2)$$

$$x_k = x(k\Delta t) \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

$$f_n = \frac{n}{N\Delta t} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4)$$

ここに、 $X(f_n)$ は有限長の時系列データ  $x_k$  の離散

フーリエ変換、 $N$ は全データ数、 $\Delta t$ はサンプリング間隔、 $f_n$ はサンプリング周波数である。ここで、本来は無限の時系列に対して定義されたパワースペクトルを有限の時系列から推定するために生じる統計的誤差を減少させるため、式(1)で計算される生スペクトルに対して平滑化を行う。低周波数領域(周期0.75日以上)の領域においては、生スペクトルの重み付き移動平均を平滑化スペクトルとする。高周波数領域(周期0.75日以下)においては、時系列を分割した各部分について求めたスペクトルの平均を平滑化スペクトルとする。また、スペクトルに現れる特徴の統計的有意性を評価するため、平滑化スペクトルの95%信頼区間を $\chi^2$ 分布を用いて見積もる[2]。

### 4 調査結果と考察

境川の水位と観測井の地下水位について、観測値と、その7日間移動平均、40日間移動平均を図2に示す。本地域の気候では梅雨期の降水量と冬季の降雪量が多いことに対応して、地下水位は梅雨期と冬季後半に高くなった。水位の年変動幅は、扇頂のw1と扇中央のw2で約1m、扇端上部のw3, w4で約3~4m、平地のw5では地下水面が地表面直下にあるためわずか0.3m程度であった。w6では、隣接するポンプによって地下水がくみ上げられる影響で、灌漑期に水位が急激に変化した。

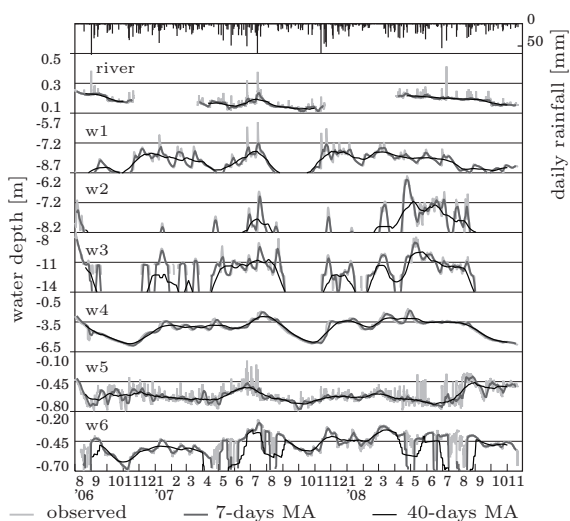


図2: 河川水位、地下水位の時系列  
Fig.2: Time series of groundwater level

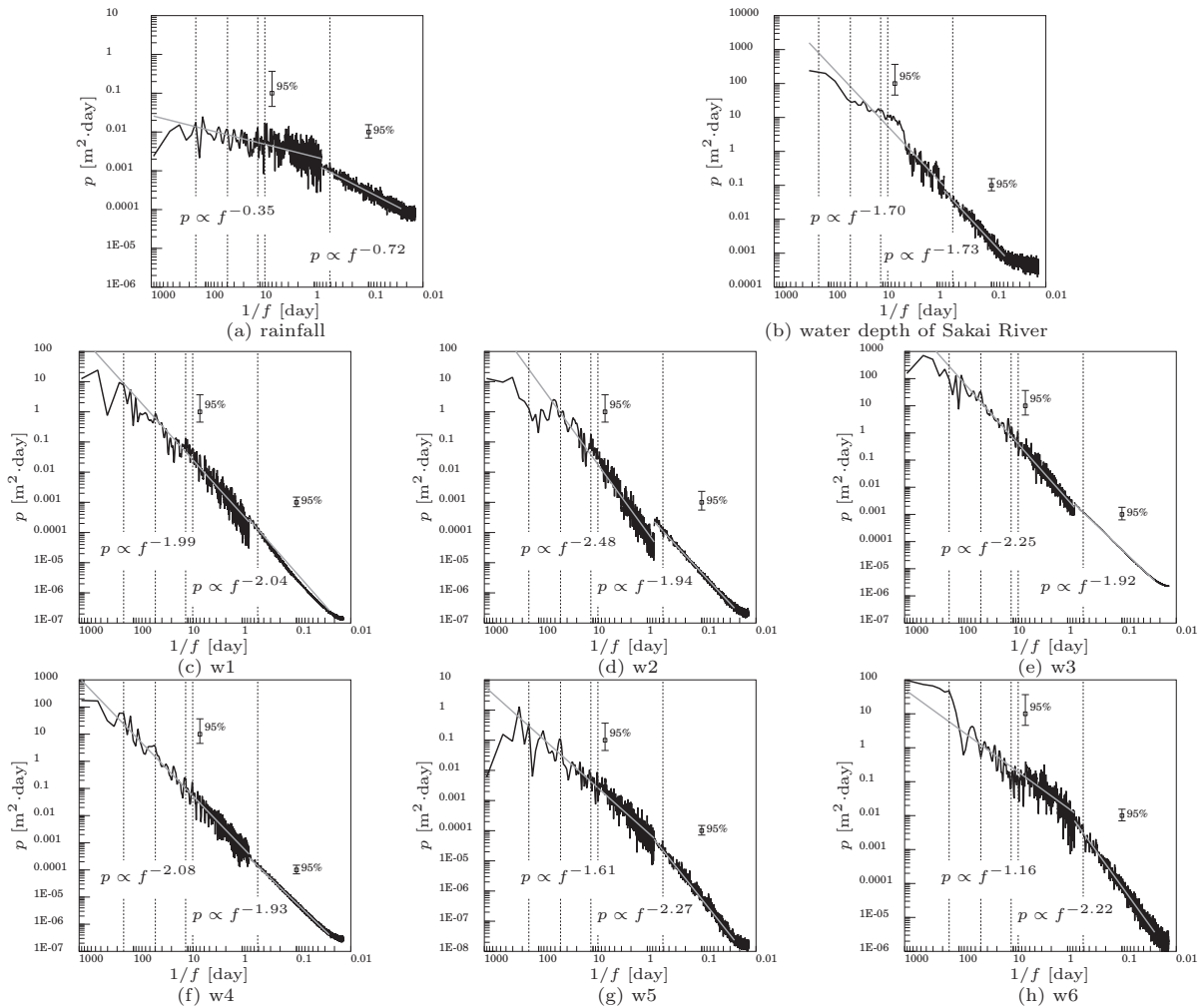


図3：河川水位，地下水位のパワースペクトル密度  
Fig.3: Power spectral density for water level fluctuations

また，w2，w3，w4，w5では，4月下旬に降水と無関係に水位が上昇し，その後やや低下し，7月まで水位の比較的高い状態が継続した．これは，灌漑・湛水された水田からの浸透によると推測される．

降水量と境川の水位，地下水位のパワースペクトル密度を図3に示す．降水量スペクトルと比較して，河川水位と地下水位のスペクトルは，周波数の増加につれて大きく減少している．これは，降水が浸透，流下，流出する過程で高周波成分が弱くなっていることを示し，地下水と河川水が主に山地流域からの浸透水起源であることが推測される．スペクトルの近似曲線の傾きを $\beta$ とすると，地下水位のスペクトルでは $\beta = -2.5 \sim -1.2$ である．これは，7地点の平均地下水位のスペクトルで $\beta = -2.08$ としたZhang<sup>[3]</sup>の報告と概ね一致する．w5とw6では低周波側でスペクトルの傾きが小さく，扇状地内のw1～w4と比較して水位の季節変動が明瞭ではなかったと言える．

また，スペクトルに現れたピークは，変動の有する卓越周波数と考えられるので，これを比較する．降水量スペクトルでは，152日，40日，11日，8日，0.5日周期の位置（点線で示す）にピークが認めら

れる．このうち，152日周期の成分は，梅雨期と冬季に降水量の多くなる周期に対応していると考えられる．降水量スペクトルのピークと同じ位置に，w1～w5の地下水位スペクトルでピークが表れている（ただし，0.5日周期はw5のみである）．これらの観測井では，図2で降水時に地下水位が上昇しており，w1～w4は扇頂から扇端上部の浸透域に位置すること，w5では地表面直下に地下水面があることを考慮すると，地表面から降水が浸透し地下水面に達していると推測される．

## 5 まとめ

地下水位の時系列に統計的手法を適用し，扇状地の浅層地下水は山地からの浸透水を起源としながらも，扇状地面からの降水の浸透によっても水位が変動していることが推定された．また，水田湛水期には，扇中央から平地まで，地下水位が高く維持されていることが観測された．

参考文献 [1] 日野 幹雄 (1977) : スペクトル解析, 朝倉書店 [2] Shih, D. C.-F., Chiou, K.-F., Lee, C.-D., and Wang, I.-S. (1999): *Hydrol. Process.*, **13**, 889-911 [3] Zhang, Y.-K., and K. Schilling (2004): *Water Resour. Res.*, **40**, W03504, doi:10.1029/2003WR002094