

地下水流動の要因分析による考察

岐阜大学工学部 正会員 宇野 尚雄

岐阜大学大学院 学生会員 ○柴山 雅之

1. まえがき

地下水位変動の観測は地下水流動・地盤沈下等に関連し、重要性が認識されつつある。特に地下水資源の利水計画を考える資料となるものであり、地下水位変動の機構を把握する必要がある。そこで地下水の水位変化要因を考慮した主成分分析を行ない、若干の考察を行なった。不圧地下水観測井としての京町井、被圧地下水観測井としての興文井、いずれも浅井戸の場合の結果例を報告する。

2. 地下水位変動への関与要因

地下水位変動に影響を及ぼす要因として、地下水位(h)に対して、降水量(W)、河川水位(H)、気圧(P)、気温(t)、湿度(m)の諸要因を取り上げて考察した。このうち降水及び河川水位に起因する地下水位変動への影響は位相差を生ずると考えられるので、降水—地下水位・河川水位—地下水位の相関性を相関係数で考察する際、時差相関を考慮した。

(i) 降水量—地下水位の時差相関

日降水量と日平均地下水位との時差(日数遅れ)を考慮した相関係数の結果は図-1に示した。図-1で京町井は岐阜市の良好な透水層中に設置された不圧地下水観測井(深度6.6m)であり、興文井は大垣市の不透水層下に設置された被圧地下水観測井(深度40m)である。図-1より、京町井では2日遅れの時差相関が高いといえるが、興文井ではあまり相関性があるとはいえない。

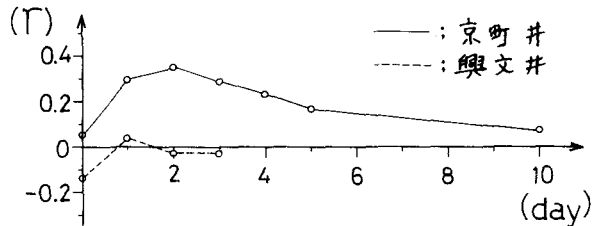


図-1 降水量—地下水位の時差相関係数

(ii) 河川水位—地下水位の時差相関

日平均河川水位と日平均地下水位との時差(日数遅れ)を考慮した相関係数の結果は図-2に示した。図-2より、京町井では1日遅れの時差相関が非常に高いが、興文井ではさほど関係がないように思われる。

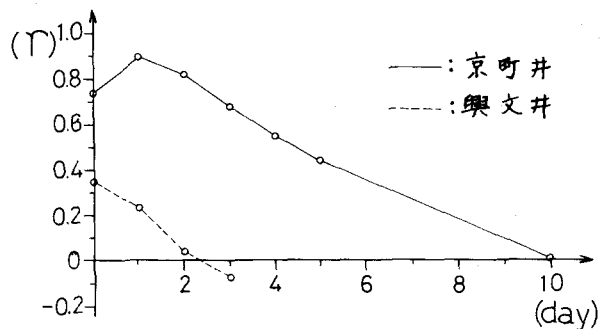


図-2 河川水位—地下水位の時差相関係数

3. 地下水位変動の主成分分析

地下水位変動の関与要因として、上述の h 、 W 、 H 、 P 、 t 、 m の6種類を取

り上げた。これら諸量の関係を評価する主成分分析とは次のように計算を行なうものである。

P 種類の各変量 $x_1, x_2, \dots, x_P$ 、 $P \geq 2$ のデータの組が n 個あるとする。そこで P 種の変量の関係式(1)を、

式(2)のもとで、以下の条件を満足するように決定する。

$$Z_k = \sum_{i=1}^p l_{ki} X_i, \quad k=1, 2, \dots, m \quad (1) \quad \sum_{i=1}^p l_{ki}^2 = 1 \quad (2)$$

条件とは、

- ①第一主成分 Z_1 の係数 $\{l_{1i}\} (i=1, 2, \dots, p)$ は(2)の条件のもとで Z_1 の分散が最大になるように定める。
- ②第二主成分 Z_2 の係数 $\{l_{2i}\} (i=1, 2, \dots, p)$ は(2)を満足し、かつ Z_2 が Z_1 と無相関になる条件下で、 Z_2 の分散が最大となるように定める。
- ③以下同様にして、第 k 主成分の係数 $\{l_{ki}\} (i=1, 2, \dots, p)$ は、 Z_k が $Z_1, Z_2, \dots, Z_{k-1}$ と無相関になるという条件下で、 Z_k の分散が最大となるように定める。

実際の計算は、式(3)のような相関行列 R を計算し、 R の固有方程式(4)から固有値 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ を求める。

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{12} & 1 & \dots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1p} & r_{2p} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (3) \quad |R - \lambda I| = 0 \quad (I: \text{単位行列}) \quad (4)$$

その固有値に対応する固有ベクトル l_{ki} を

$$(R - \lambda_k I) l_{ki} = 0 \quad (5) \quad l_{ki}' \cdot l_{ki} = 1 \quad (l_{ki}: \text{転置ベクトル}) \quad (6)$$

より決定し、主成分との相関性は因子負荷量 $r_{ki} = \sqrt{\lambda_k} l_{ki}$ で判断する。

降水量と河川水位に関しては2.の(i)(ii)を考慮した、京町井と興文井に関しての多雨期(6・7・8月)と寡雨期(12・1・2月)の2通りについて計算した結果を表-1に示した。

表-1 主成分分析による固有ベクトルと因子負荷量

観測井	主成分	累積 寄与率	固有ベクトル (l_{ki})						因子負荷量 (r_{ki})						固有値
			$X_1(H)$	$X_2(W)$	$X_3(H)$	$X_4(P)$	$X_5(T)$	$X_6(M)$	$X_1(H)$	$X_2(W)$	$X_3(H)$	$X_4(P)$	$X_5(T)$	$X_6(M)$	
京町 6.7.8	Z_1	38.8%	0.547	0.353	0.551	-0.289	-0.260	0.349	0.835	0.538	0.841	-0.441	-0.396	0.532	232.9
	Z_2	64.7	0.316	0.171	0.365	0.540	0.533	-0.403	0.394	0.214	0.455	0.673	0.664	-0.502	1.555
	Z_3	78.1	-0.303	0.889	-0.193	-0.140	-0.018	-0.247	-0.272	0.797	-0.173	-0.126	-0.016	-0.222	0.804
	Z_4	89.1	-0.185	0.137	-0.054	-0.010	0.656	0.717	-0.150	0.111	-0.044	-0.008	0.531	0.581	0.657
京町 12.1.2	Z_1	33.7	0.627	0.322	0.629	-0.255	-0.203	0.013	0.891	0.458	0.894	-0.363	-0.289	0.018	201.9
	Z_2	57.2	0.179	-0.066	0.222	0.584	0.360	-0.666	0.212	-0.078	0.264	0.694	0.428	-0.791	1.410
	Z_3	73.3	-0.103	0.729	-0.026	0.185	0.548	0.351	-0.101	0.718	-0.026	0.182	0.540	0.345	0.970
	Z_4	87.5	0.259	-0.481	0.054	-0.398	0.715	0.173	0.239	-0.443	0.050	-0.367	0.659	0.159	0.850
興文 6.7.8	Z_1	41.5	0.487	0.302	0.310	-0.459	-0.430	0.424	0.767	0.477	0.489	-0.725	-0.678	0.668	248.7
	Z_2	61.5	-0.202	0.476	0.643	0.170	0.521	0.134	-0.221	0.523	0.706	0.187	0.572	0.147	1.205
	Z_3	74.9	0.111	-0.721	0.351	0.304	0.041	0.501	0.099	-0.645	0.314	0.272	0.036	0.448	0.800
	Z_4	85.9	-0.609	0.058	-0.340	-0.310	0.068	0.640	-0.496	0.047	-0.277	-0.253	0.055	0.521	0.664
興文 12.1.2	Z_1	28.9	0.523	-0.289	-0.393	0.534	0.243	-0.380	0.689	-0.381	-0.518	0.703	0.320	-0.501	1.735
	Z_2	50.4	-0.114	0.419	0.559	0.224	0.544	-0.390	-0.129	0.476	0.635	0.255	0.618	-0.443	1.291
	Z_3	67.6	0.523	0.634	-0.319	-0.422	0.190	0.095	0.531	0.643	-0.324	-0.428	0.193	0.096	1.030
	Z_4	82.7	0.064	-0.300	0.073	0.022	0.653	0.688	0.061	-0.285	0.070	0.021	0.621	0.654	0.904

京町井では地下水位 $X_1(H)$ に対して、河川水位 $X_3(H)$ が非常に大きく影響しており、多雨期には寡雨期に比べて降水量 $X_2(W)$ が若干高く影響していることがわかる。興文井では $X_1(H)$ に対して気圧 $X_4(P)$ が大変高く影響しており、それに比べて $X_2(W)$ や $X_3(H)$ がさほど関連していないことが目立つ。京町井は河川(長良川)からの距離が近傍で、しかも地質図より長良川が京町井の涵養河川と考えられるが、上の結果はそのことを裏付けるものである。それに比べて被圧地下水井である興文井では、地下水位(水頭)は降水量や河川水位より、むしろ気圧との関連の方が強いという結果を示している。