

II-77 水質の多変量解析による地下水流動の研究

熊本大学 工学部 正会員 神谷定子
 熊本大学 工学部 正会員 中島重旗
 熊本大学 工学部 神崎良久

1、はじめに 地下水を適切に管理・保全するために、地下水の実態を把握する調査研究が多方面から行われている。本研究では、水質データを適用し、そして水質の複雑な特徴を総合的に評価するために、多変量解析を用いて調査地域の地下水流動方向の解明を試みる。

2、調査地域の概要 調査地域は、熊本市の東の台地で、熊本市をほぼ東西に貫流する白川の中流域である。調査地点を図-1に示すが、aは河川水であり、b～nは地下水である。

この地域は、先阿蘇火山岩類、御船層群を水理地質基盤岩とし、その上を覆う阿蘇火砕流堆積物や砥川溶岩を帯水層としている。図-1中A-A'における地質断面図を図-2に示す。

3、多変量解析による地下水の分類

3-1)水質分析 採水は1週間に1度の頻度で行った。分析の水温、EC、pHおよび HCO_3^- は上水試験法に従い、また F^- 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} および SO_4^{2-} はイオンクロマトグラフで行った。結果の1例を表-1に示す。

3-2)地下水水質の流動による変化 一般的な性質として、地下水は流動するにつれて、 CO_2 が地質に作用して、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} および Mg^{2+} 等のイオンが増加し、 CO_2 は HCO_3^- に変わる(溶出作用)。次に Ca^{2+} および Mg^{2+} が減少し、 Na^+ および K^+ が増加する(塩基交換作用)。

3-3)主成分分析の適用 変量は、主要溶存イオンのうち HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} および SO_4^{2-} に、 F^- を加えた7項目とした。 Cl^- は、人為的な影響が大きいと考えられるので削除した。また F^- は、この調査地域において白川の涵養が考えられるので、白川の特徴を表現するために加えた。水質データは、時間の経過による変化を表すために、8月19日から10月14日までの8回の採水により得られた結果を用いた。主成分分析を行った結果を表-2及び図-3に示す。

ここで、主成分の数の決定は、累積寄与率が80%以上あるいは固有値が1以上という条件で行った。

表-2に主成分の固有ベクトル、固有値、寄与率を示す。前記の条件より第2主成分までを考慮した。第1主成分 Z_1 (以後 Z_1 と表示)の固有ベクトルは、いずれも正の値を示し、どの成分も増加に寄与している。これより Z_1 は、3-2)に述べた溶出作用を表していると考えられる。第2主成分 Z_2 (以後 Z_2 と表示)の固

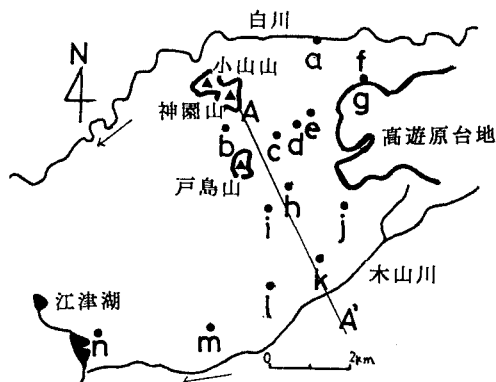


図-1 調査地点

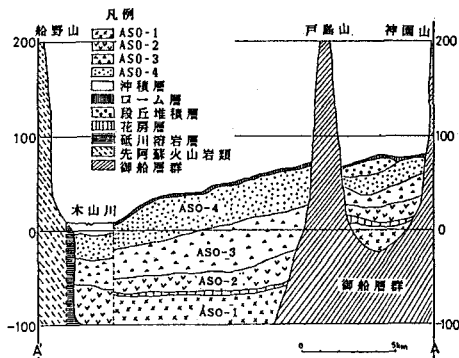


図-2 地質断面図¹⁾

地点	水温	電導率	pH	HCO_3^-	F^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}
a	20.3	149	7.78	22.94	0.35	5.59	6.92	3.61	11.21	5.71	32.57
b	19.6	264	7.30	94.06	6.13	13.92	10.71	4.95	28.43	6.70	29.53
c	18.8	187	7.30	58.56	9.12	10.56	8.29	3.84	16.42	9.30	2.12
d	19.4	173	6.90	76.06	8.25	8.96	9.54	4.19	12.89	4.81	16.67
e	19.8	174	7.15	61.89	8.25	7.97	9.53	4.18	13.41	7.46	18.85
f	19.3	177	7.15	62.83	8.19	7.18	10.82	4.21	13.53	7.78	22.48
g	19.1	167	7.10	61.89	8.24	7.55	10.29	4.17	14.01	8.02	24.83
h	20.7	202	7.20	61.24	8.26	7.73	10.82	4.08	13.81	7.48	22.04
i	21.7	225	7.05	75.54	8.21	12.82	10.53	4.87	17.62	8.77	19.54
j	20.6	173	7.25	53.19	8.20	7.58	8.61	5.20	21.42	6.95	9.71
k	18.2	109	7.34	50.39	8.24	4.43	6.80	4.47	7.13	4.71	5.48
l	18.8	149	7.10	55.02	8.24	5.99	8.62	4.06	10.61	6.25	16.31
m	19.5	198	7.05	64.85	8.25	7.76	11.67	4.78	14.21	8.87	31.36
n	19.4	184	6.90	62.46	8.24	7.59	10.82	4.41	13.61	7.97	24.31

表-1 水質分析結果

有ベクトルは、 F^- および SO_4^{2-} が正の大きい値を示していることより、白川の地下水への影響度を表していると考えられる。

図-3に主成分得点による散布図を示す。実際は各地点につき8個の点が示されるが、ここでは8個の点を囲んで分布域として表示した。円内の点は各地点の平均値である。○およびdを除いた地点の分布域は、小さくまとまっており、採水期間中、水質が一定していたと考えられる。また円内の点は、それぞれの分布域の中央部に位置している。これより○およびdを除いた地点については、平均値による主成分得点で代表させても良いと判断し、この主成分得点にクラスター分析を適用した。結果を図-4に示す。縦軸は非類似度としてユークリッド距離を表している。図中の○-○で切ると4つのグループに分けられた。しかし、iは3のグループに含まれているが、図-3上でbと近く白川の影響が小さい。また表-1より Cl^- が3の他の地点と比べ多いことより、iは2のグループに属すと判断した。4、多変量解析による地下水流動方向の検討 図-4よりe, f, g, h, mおよびnは流動経路が同じであると考えられる。そこでこの地点における流動方向の検討を行った。

4-1)主成分分析の適用 変量は、溶出作用及び塩基交換作用を表すと考えられる Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Ca^{2+} , および Mg^{2+} の5項目とした。また水質データは、各地点の8月19日から11月11日までの13回の採水で得られた結果を用いた。主成分分析の結果を表-3および図-5に示す。3-3)に述べた条件により第2主成分まで考慮した。固有ベクトルより Z_1 は溶出作用、 Z_2 は塩基交換作用を表していると考えられる。図-5において、 Z_1 軸は右に行くほど溶出作用が進み、 Z_2 軸は下に行くほど塩基交換作用が進んでいると考えられる。つまり地下水は流動するにつれて、散布図上では左上から右下に向かうと考えられる。ここでfとgは同じ地点である。hはgから流入していると考え、溶出作用の進行度が低い。またeから流入していると考え、塩基交換作用の進行度が低い。これよりhの地下水は、gとeの地下水が混合したものだと考えられる。つまり地下水は、 $f \cdot g \rightarrow h \rightarrow n$, $e \rightarrow h \rightarrow n$ と流動していると考えられた。5、まとめ 多変量解析により地下水を分類し、さらに主成分分析の Z_1 軸、 Z_2 軸に対する位置関係から地下水の流動方向を求めた。

参考文献 1)熊本県・熊本市：熊本地域地下水調査報告所、1986年

2)永井茂：地盤沈下地帯における地下水の水文学的研究、工業用水、昭和60年、P.23-P.34

	HCO_3^-	F^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	固有値寄与率	累積
Z_1	0.76	0.25	0.44	0.32	0.42	0.46	0.44	3.42	49%
Z_2	-0.62	0.58	0.17	0.06	-0.38	-0.13	0.30	1.84	26%

表-2 主成分の固有ベクトルと固有値及び寄与率

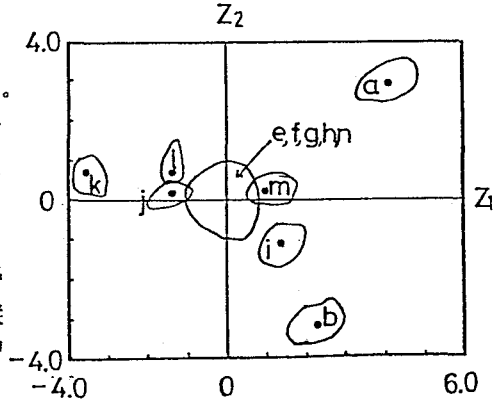


図-3 主成分得点による散布図

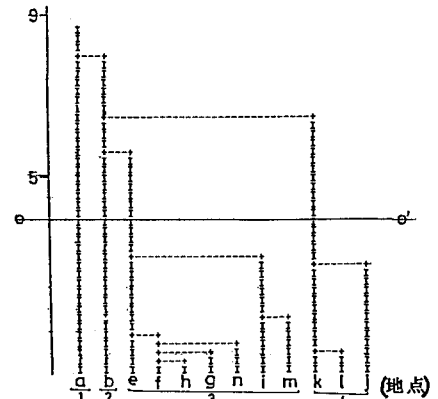


図-4 デンドログラム

	HCO_3^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	固有値寄与率	累積
Z_1	0.15	0.60	0.55	0.25	0.50	1.93	39%
Z_2	0.64	-0.24	-0.33	0.64	0.13	1.65	33%

表-3 主成分の固有ベクトルと固有値及び寄与率

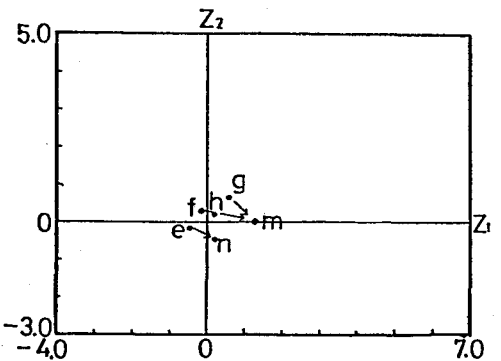


図-5 主成分得点による散布図