

主成分分析による地下水水質に関する研究

熊本大学工学部 正会員 中島重放
熊本大学工学部 学生員 岡本憲幸

1、はじめに 水質データは、一般に単一項目ごとに評価されるが、それでは水質のもつ複雑な特徴の一側面を表すにすぎないので、総合特性値による評価が必要となる。そこで、本報においては、主成分分析を利用することにより地下水水質の総合評価を試みる。

2、調査地域の概況 調査地域は地下水の豊富な熊本市並びにその周辺で図-1に示す。熊本市は上水道の水源を地下水のみに頼っているが、白川・緑川河口部では、すでに地盤沈下や塩水化等の地下水障害が生じており、また水源の枯渇化も社会問題となってきている。

3、調査地域の水質区分 水質データは建設省観測井のもので、JIS規格及び上水試験方法に基づいて本学衛生実験室で分析を行ったものである。分析結果の一部を表-1に示し、浅層、深層の区別は図-2に示す。表-1のデータをキイダイヤグラムにプロットしたのが図-3である。これより、A, A', B, C, C', Nが塩水化していることがわかる。また、E, I, J, K, Lは SO_4^{2-} の比率が高く、白川の加養が考えられる。白川は、硫黄化合物の存在する阿蘇山に源を発する河川である。

4、地下水水質の総合評価

4.1) 変量の縮小化 水質調査項目すべてを変量とし、18変量(水温、PH、DO、COD、 HCO_3^- 、 Cl^- 、総硬度、 F^- 、EC、 NO_3^- -N、 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-})による主成分分析を行った。また、地下水の主要な溶存イオンの7変量(HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 N^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})による主成分分析を行った。その結果、寄与率は7変量による主成分分析の方が高く、情報集約が高いことがわかった。(なお、Aのデータ

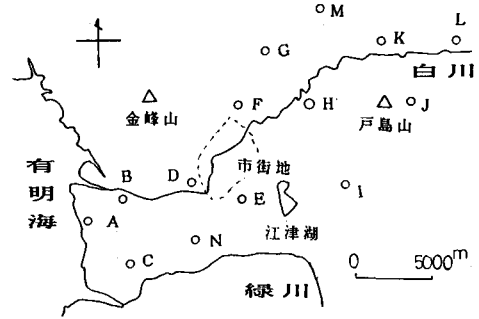


図-1 調査地域と採水ポイント

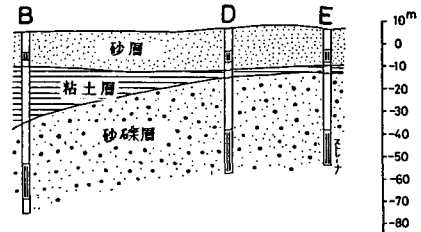


図-2 地質断面図(Cにおいては、砂礫層に2つのストレーナがあり、その深い方をC(深)、浅い方をC'(中)とした。)

表-1 水質成分表(単位はmg/l)

採水地点	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
A (深層)	212.8	994.2	97.3	608.2	38.7	48.9	43.6
A' (浅層)	1862.3	2547.3	15.3	1746.7	78.4	22.5	137.6
B (深層)	194.5	144.9	6.4	158.3	9.3	6.3	4.4
B' (浅層)	274.1	41.5	34.7	77.2	16.6	17.1	22.6
C (深層)	187.9	348.8	30.5	317.2	10.4	3.8	5.0
C' (中層)	225.1	265.6	63.8	273.3	11.6	4.3	3.8
C'' (浅層)	558.1	94.1	25.9	262.9	19.2	6.7	11.2
D (深層)	89.7	14.5	27.8	35.8	7.2	10.8	9.0
D' (浅層)	188.0	23.2	21.9	32.1	7.1	29.3	18.1
E (深層)	73.9	11.8	22.8	13.6	6.3	14.9	10.0
E' (浅層)	220.1	28.1	8.5	48.8	10.8	18.8	16.8
F (深層)	124.8	10.9	0.7	21.2	8.5	12.5	7.4
F' (浅層)	136.3	28.1	4.8	18.8	7.3	19.3	18.5
G	65.6	16.1	5.6	16.1	5.2	11.7	6.0
H (深層)	40.6	5.6	4.1	9.6	5.4	4.5	2.9
H' (浅層)	184.4	12.0	11.9	15.2	8.3	25.9	8.6
I	59.0	8.9	36.8	12.8	5.4	14.9	9.3
J	55.9	7.7	23.2	11.1	4.7	12.2	6.7
K	50.8	10.7	39.1	13.3	4.9	15.1	8.4
L	58.3	11.0	48.5	14.2	5.4	16.9	9.3
M	39.5	3.5	5.3	8.2	4.3	6.6	3.2
N	96.5	13.8	31.7	60.0	3.6	<0.001	<0.001

(昭和57年6月29日-30日採水)

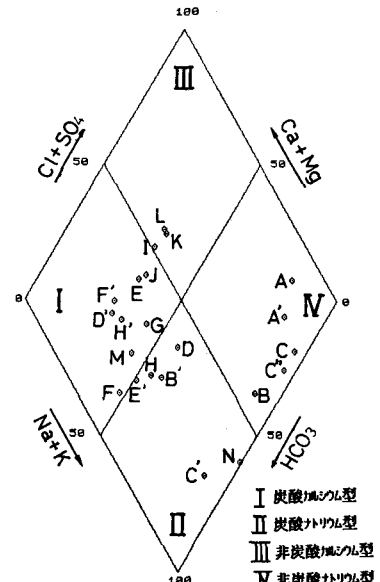


図-3 キイダイヤグラム

は棄却検定¹⁾を行った結果、有意水準0.1で棄却すべきであったので削除した。)また、各々の第一主成分得点の単回帰による相関係数は0.952であり、相関が高い。従って、7変量による主成分分析が有効と思われる。しかしながら、寄与率の低さは否めない。その結果は表-2に示す。その原因は、まず塩水化したデータをくわえていること、次に、人為的汚濁に起因する Cl^- , SO_4^{2-} を変量に加えていることが考えられる。そこで、塩水化の影響を除くため、B, C, C', C', Nのデータを除き、かつ、 Cl^- , SO_4^{2-} を変量から除いて、5変量15サンプルで主成分分析を実行した。その結果を表-3に示す。表-2と比べると、寄与率が著しく高くなっている。また、これ以上、変量を減らすと、地下水の水質的特徴を反映しえなくなると思われる。これらのことより、5変量による主成分分析が最も有効といえよう。

4.2) 総合特性値としての $Z(5)$ 表-3より、

$$Z_1(5) = 0.50\text{HCO}_3^- + 0.47\text{Na}^+ + 0.47\text{K}^+ + 0.30\text{Ca}^{2+} + 0.47\text{Mg}^{2+}$$

$$Z_2(5) = -0.07\text{HCO}_3^- - 0.36\text{Na}^+ - 0.33\text{K}^+ + 0.84\text{Ca}^{2+} + 0.22\text{Mg}^{2+}$$

但し、*印は標準化された変量を表す。

Z_1 の固有ベクトルはすべて正值である。 Z_2 の固有ベクトルは、 HCO_3^- , Na^+ , K^+ が負値で、 Ca^{2+} , Mg^{2+} が正值であり、 HCO_3^- の固有ベクトルが顕著に小さい。

一般に、地質に CO_2 に富む水が作用すると、地下水中に Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 等のイオンが溶出し、 CO_2 は HCO_3^- に変わってゆく。次の段階では、水中の Ca^{2+} , Mg^{2+} が減少し、 Na^+ , K^+ が増加する。²⁾

以上のことより、 Z_1 は地下水の溶出作用、 Z_2 は塩基交換作用を反映していると考えられる。

図-4は主成分分析によって得られた主成分得点による散布図である。

5、まとめ 地下水水質データに主成分分析を実行する際、正規性を害するデータ、並びに、人為的汚濁に起因する Cl^- , SO_4^{2-} を変量から除くことによって、地下水特有の主成分が抽出された。また、浅層、深層のデータの別なく主成分分析を実行したが、地下水特有

の主成分を抽出しえた。これは、浅層、深層とは無関係に全サンプルを対象にして主成分分析を実行し、地質・水質に関する情報には関係なく多変量解析的に2つの主成分が抽出されたのである。

(参考文献)

- 1) 半谷高久他1名：改訂2版水質調査法、丸善、1985、P.306-P.308
- 2) 永井茂：地盤沈下地帯における地下水の水文化的研究—主として取手・竜ヶ崎周辺地域—工業用水、昭和60年6月、P.23-P.34

表-2 7変量による主成分分析結果

項目	Z_1		Z_2	
	E.V.	F.L.	E.V.	F.L.
HCO_3^-	0.44	0.80	0.32	0.47
Cl^-	0.46	0.83	-0.20	-0.29
Na^+	0.54	0.97	-0.11	-0.16
K^+	0.44	0.79	0.37	0.53
Ca^{2+}	-0.24	-0.43	0.53	0.77
Mg^{2+}	-0.01	-0.00	0.65	0.95
SO_4^{2-}	0.23	0.42	-0.09	-0.13
固有値	3.27		2.12	
累積寄与率	46.7%		77.0%	

(E.V.は固有ベクトル、F.L.は因子負荷量を示す。)

表-3 5変量による主成分分析結果

項目	Z_1		Z_2	
	E.V.	F.L.	E.V.	F.L.
HCO_3^-	0.50	0.98	-0.07	-0.09
Na^+	0.47	0.92	-0.36	-0.34
K^+	0.47	0.92	-0.33	-0.31
Ca^{2+}	0.30	0.60	0.84	0.79
Mg^{2+}	0.47	0.93	0.22	0.20
固有値	3.88		0.87	
累積寄与率	77.6%		95.0%	

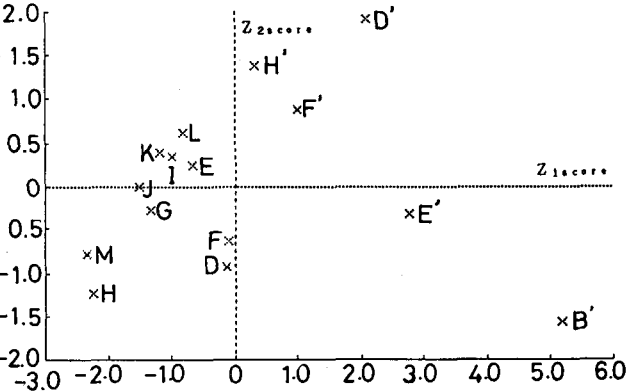


図-4 サンプルの散布図