

水質の多変量解析による地下水の研究

熊本大学工学部 正会員 中島重雄
熊本大学工学部 学生員 岡本憲幸
熊本大学工学部 岩崎和弘 桃島正利

1. はじめに 地下水の涵養や流動を論ずる際、地質データは不可欠である。しかしながら、地質データが完全にそろふことは稀である。そこで、地下水の水質分析を行い、そのデータを多変量解析することにより地質データの不足を多少なりとも補えることが明らかになったので以下に報告したい。

2. 調査地域の概要 調査地域は阿蘇外輪山の西麓に位置する熊本県阿蘇郡原村である。この地域はすぐれた地下水涵養地域の一郭であり、村内及びI.C.関連工業団地で使用する用水のほとんどを地下水に頼っている。しかしながら、図-1より明らかな様に地質の不明な地域(A.B.H)がある。図-1中のA~J点は採水地点を示す。A.B.Iは湧水であり、C~E.Jは深層地下水で、F.G.Hは河川水である。F.Gは先阿蘇火山岩類、Iは阿蘇第1火砕流に起因する。C~E.Jは第4火砕流を帯水層とする。図-1中の点線とZは電探調査のラインを示し、その断面をすぐ下に示すが、第4火砕流は存在しない。

3. 各種水質評価法による結果

I)キイダイヤグラム 図-2の様に、キイダイヤグラムを用いて水質区分を行ったが、すべてI型の1ヶ所に集中した。このことは、ほとんど水質が等しいことを示し、表-2の結果からも類推される。

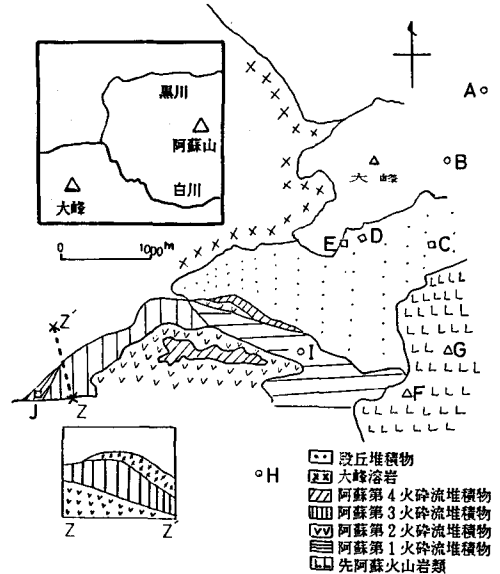


図-1 調査地域地質図

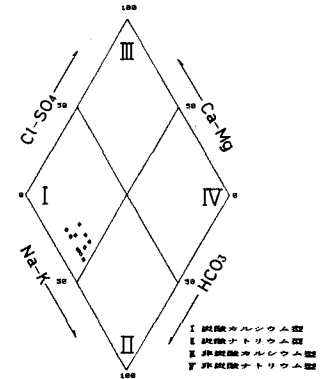


図-2 キイダイヤグラム

表-1 地下水の水質成分表

項	H	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
EC (μm/cm)		77	78	91	94	127	67	55	60	59	88
PH		7.6	7.8	6.7	7.3	6.9	7.5	7.7	7.4	7.8	7.2
HCO ₃ ⁻ (mg/l)		36.8	37.8	37.1	42.1	46.7	37.3	33.2	35.1	37.2	40.9
Cl ⁻ (mg/l)		1.1	1.2	2.9	2.2	3.9	1.2	1.2	1.2	1.1	2.1
SO ₄ ²⁻ (mg/l)		1.8	1.9	2.6	3.1	3.1	2.1	2.2	1.6	1.8	4.2
Ca ²⁺ (mg/l)		5.1	6.1	6.9	6.8	8.8	6.3	5.3	4.6	6.0	6.4
Mg ²⁺ (mg/l)		4.0	2.8	3.7	4.0	6.3	3.7	3.0	3.8	3.8	4.2
Na ⁺ (mg/l)		8.1	8.1	8.5	9.9	10.6	6.8	6.6	7.6	9.3	9.3
K ⁺ (mg/l)		2.2	1.7	2.5	4.1	5.1	0.4	<0.1	2.1	3.3	2.9
NO ₃ ⁻ (mg/l)		<0.01	<0.01	0.64	0.47	1.78	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.52

表-2 地点間の相関係数

採水地点	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1.000									
B	1.000	1.000								
C	0.997	0.997	1.000							
D	0.999	0.999	0.999	1.000						
E	0.993	0.992	0.989	0.997	1.000					
F	0.997	0.998	0.989	0.993	0.982	1.000				
G	0.992	0.994	0.982	0.987	0.972	0.999	1.000			
H	0.995	0.996	0.986	0.991	0.978	0.999	0.999	1.000		
I	0.991	0.992	0.978	0.986	0.969	0.996	0.998	0.999	1.000	
J	0.999	0.999	0.998	1.000	0.995	0.995	0.990	0.993	0.988	1.000

表-3 濃度相関マトリックス

採水地点	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1.00									
B	0.49	1.00								
C	0.43	0.39	1.00							
D	0.21	0.32	0.36	1.00						
E	0.21	0.32	0.32	0.64	1.00					
F	0.32	0.25	0.36	0.61	0.57	1.00				
G	0.25	0.43	0.36	0.50	0.61	0.75	1.00			
H	0.29	0.32	0.29	1.00	0.57	0.46	0.50	1.00		
I	0.36	0.39	0.32	0.79	0.57	0.54	0.50	0.68	1.00	
J	0.29	0.61	0.46	0.39	0.29	0.25	0.32	0.43	0.39	1.00

Ⅱ)濃度相関マトリックス²⁾ 相関係数によるクラスターリングは不可能なので、相互関連性を明らかにするのに有効な手段である濃度相関マトリックスによりクラスターリングした。その結果を図-3(a)に示す。深層地下水とそれ以外のものに分類される。

Ⅲ)主成分分析 標準化した主成分分析の結果を表-4に示す。第1主成分は溶出作用を表しており、第2主成分はpHと Na^+ と K^+ の分布を反映する主成分で、第3主成分は SO_4^{2-} を示す主成分と考えられる。そして、これらの主成分得点でクラスターリングする。その結果を図-3(b)(c)(d)に示す。(b)は第1主成分のみ、(c)は第2主成分まで、(d)は第3主成分まで考慮したものである。

4. 考察 図-3(a)~(d)を比較すると、(c)(d)で深層地下水以外のものが、{A,B,H,I}・{F,G}のグループに分かれた。クラスターリングの際、非類似度として標準化ユークリッド距離を用いた場合も{A,B,H,I}・{F,G}のグループに分かれた。(樹形図は省略)また、図-1よりAとBの距離は近く、水質も類似すると思われる。従って、{A,B,H,I}と{F,G}を別々のグループと考えるべきである。一方、深層地下水のクラスターでは、(a)(b)(d)において、D,Jの類似性が高い。以上のことより、主成分得点によるクラスターリングはかなり有効な手段といえる。そして、第3主成分まで考慮した方が良いと思われる。つまり、累積寄与率が90%以上大きくなるまで主成分を考慮すべきである。

5. まとめ 主成分得点によるクラスターリングは、調査地域の地下水を、{C,D,E,J}・{A,B,H,I}・{F,G}のグループに分けた。これは図-1の地質図とかなり合致する。不明であったA,B,Hについても第1火砕流に起因するものと推察される。

調査地域の地下水はキイダイヤグラムでは分類不可能である。しかし、濃度相関マトリックス、主成分分析を用いることによって分類可能となった。主成分分析は特に有効な手段といえる。

流動に関しては標準化しているため検討できないが、標準化していないと連続した帯水層でなければ検討できない。図-1の断面図のように第4火砕流が断層している場合、C,D,EとJで流動に関して論ずることはできない。

6. おわりに クラスターリングの際に各種の距離を用いた樹形図も発表時に公表し、その特質も報告したい。調査地域の地下水は、ほとんど水質が等しいにも拘わらず、濃度相関マトリックス、主成分分析による分類が可能であった。従って、地下水水質の著しい差のある地域では一層はっきりとした分類が可能であると思われる。

〈参考文献〉 1)西原村島子工業団地開発に係る工業用水源調査報告書

2)日本地球化学会編：水汚染の機構と解析、産業図書、1978年、P.53~P.83

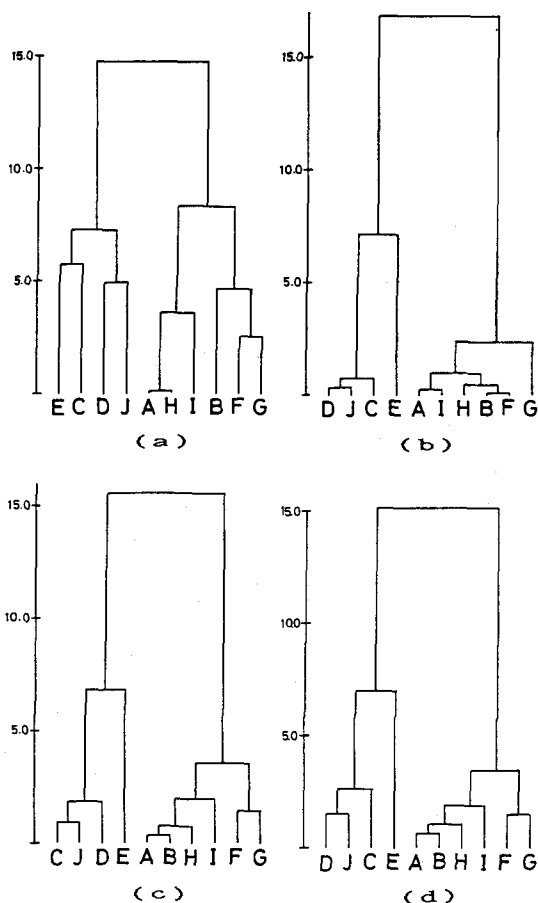


図-3 樹形図

表-4 主成分の固有ベクトルと固有値

項目	Z ₁	Z ₂	Z ₃
EC	0.34	-0.07	-0.06
PH	-0.30	0.44	0.13
HCO ₃ ⁻	0.34	0.19	0.12
Cl ⁻	0.34	-0.28	-0.16
SO ₄ ²⁻	0.25	-0.33	0.83
Ca ⁺⁺	0.32	-0.11	-0.08
Mg ⁺⁺	0.31	0.11	-0.36
Na ⁺	0.31	0.50	0.24
K ⁺	0.30	0.53	0.04
NO ₃ ⁻	0.34	-0.15	-0.22
固有値	7.82	0.80	0.60
寄与率	78.1	8.0	6.0
累積寄与率	78.1	86.1	92.1