

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 中島重旗  
 熊本大学工学部 学生員 岡本憲幸  
 熊本大学工学部 学生員 中村充宏

1. はじめに 地下水に含まれる成分の多くは水が土壌と接触したとき溶解、分離をくり返して補給されたものであるから、同じ帯水層にある水の化学組成は似ていると想像される。本研究は、多変量解析を用いて調査地点の水質を分類し、各帯水層との関連性を検討した。

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西原村の木山川及び布田川流域である。この地域は優れた地下水涵養地域の一部であり、村内で使用する用水のほとんどを地下水に頼っている。この地域には阿蘇火山活動期の堆積物あるいは溶岩などが分布しており、これを阿蘇火砕流と呼んでいる。阿蘇火砕流は大きく分けて4回の活動があったとして、それぞれ第1～第4火砕流と呼ばれている。これらはそれぞれ有力な帯水層として考えられる。この地域の井戸及び湧水の10ポイントについて採水を行った。図-1中の1～10点は採水地点を示す。また、8,10は先阿蘇火山岩類に起因し、1,2,3,7は阿蘇火砕流4、4,5は阿蘇火砕流3、6,9は阿蘇火砕流2を帯水層とする。<sup>-1)</sup>

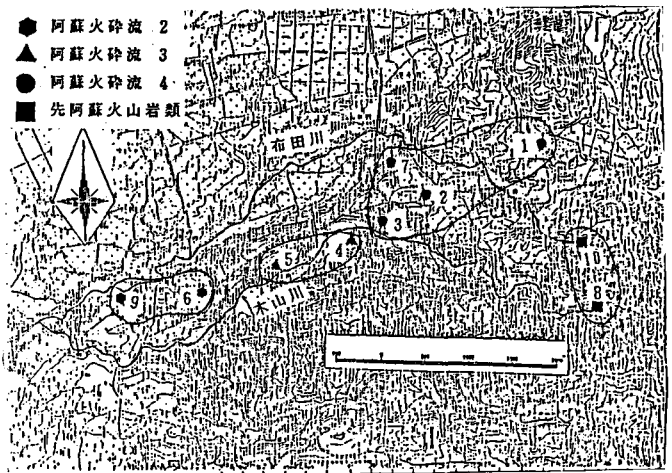


図-1 調査地域図

3. 水質分析及び解析結果

アキイダイアグラム

水質分析結果を表-1に示す。この結果をキイダイアグラムを用いて水質区分を行ったが、図-2に示すようにすべてI型に集中した。水質が類似していることを示しているが分類は難しい。

イ主成分分析

7成分を变量とし、総合特性値を抽出する主成分分析を施した。表-2に主成分の固有ベクトル、固有値、寄与率を示す。固有値は第1(Ⅰ)、第2(Ⅱ)主成分でそれぞれ3.81、1.62と大きな値を示すが、第3

表-1 水質分析表 (単位: EC:us/cm, その他: mg/l)

	EC	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
1	65	43.6	2.23	2.15	6.8	4.8	5.8	2.8
2	72	37.8	3.21	6.62	6.4	3.8	4.5	2.5
3	76	37.4	2.71	5.3	7.2	3.1	5.7	3.7
4	188	37.5	3.64	4.98	18.8	4.5	5.2	3.8
5	113	38.2	4.71	6.63	18.8	4.4	5.8	2.7
6	88	41.5	2.58	3.27	8.8	3.8	5.9	3.5
7	76	37.8	3.68	5.98	5.6	3.1	4.7	4.8
8	81	33.2	2.81	1.97	6.8	3.8	4.8	1.8
9	87	41.8	2.17	3.81	8.8	3.8	5.7	3.3
10	34	22.9	2.88	1.88	5.4	2.8	3.8	1.8

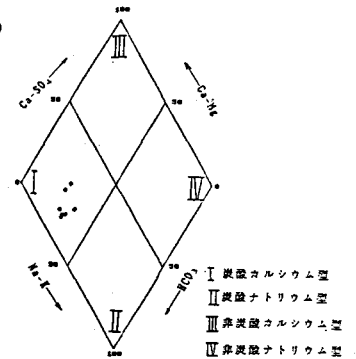


図-2 キイダイアグラム

(図)主成分以後では0.68以下と $Z_1, Z_2$ に比べてかなり小さな値となった。したがって寄与率も $Z_1, Z_2$ でそれぞれ54.4%、23.2%で累積寄与率はこの2成分でほぼ78%に達し情報損失はわずかに20%程度である。これはもとの7成分特性値が $Z_1, Z_2$ の2つの主成分でほとんど表現されて第3主成分以下に顕著な情報が残らないことを示している。よって第1、第2主成分について検討することにする。主成分の固有ベクトルについては、7成分特性値が主成分 $Z_1, Z_2$ にどのような重みで寄与しているかを表わしていると考えられるので、この固有ベクトルについて検討する。第1主成分(図)はいずれも正の値をとっており、どの成分も増加に対し寄与している。この第1主成分は、水中に含まれる $CO_2$ の作用で $HCO_3^-$ が増加し、この水が地層中を流動・滞留する間に地層よりの溶出、有機物の分解などにより溶存成分が増加していく、成分の溶出を表わしていると考えられる。第2主成分は $Na^+, K^+$ は増加に、 $Ca^{2+}, Mg^{2+}$ は減少に寄与していることより水と鉱物の陽イオン間のイオン交換が抽出されているのではないかと考える。図-3に主成分得点による散布図を示す。第1主成分 $Z_1$ 、第2主成分 $Z_2$ に対して採水地点の10ポイントがどのような位置に存在するか位置関係を示している。

表-2 主成分の固有ベクトルと固有値及び寄与率 (寄与率: %)

項 目	$Z_1$	$Z_2$
$HCO_3^-$	0.38	0.48
$Cl^-$	0.34	-0.49
$SO_4^{2-}$	0.36	-0.28
$Ca^{2+}$	0.43	-0.32
$Mg^{2+}$	0.43	-0.13
$Na^+$	0.35	0.46
$K^+$	0.33	0.35
固有値	3.81	1.62
寄与率	54.4	23.2
累積寄与率	54.4	77.6

#### C クラスター分析

主成分分析の結果で得られた第2主成分までの主成分得点でクラスタリングした。その時のデンドログラムを図-4に示す。クラスタリングの際、非類似度としてユークリッド距離を用いた。図に示すようにI-Iで切った時(1,2,3,7)、(8,10)、(4,5)、(6,9)というグループに分類された。

4. 考察 主成分分析・クラスター分析の適用により、調査地域の地下水を{1,2,3,7}、{8,10}、{4,5}、{6,9}というグループに分けることができた。このグループは、先に述べたように各帯水層に一致した。調査地域の地下水はキイダイグラムでは分類が難しい。しかし、主成分分析・クラスター分析の適用により分類可能となった。今回の主成分分析の第1・第2主成分にそれぞれ成分の溶出・イオン交換という成分が抽出され、その主成分得点でクラスタリングしたものが各帯水層ごとに分類されたことより、同帯水層の場合、水質組成の変化の度合が似ていると想像される。また、流動に関しては同帯水層の場合、流動している間の成分の溶出を考慮すると図-3の散布図において矢印の方向に流動していると想像される。しかし地点1については、クラスタリングでは7,3,2と同一のグループになったが、散布図では推定できない。

5. おわりに 多変量解析による地下水の分類をしていくうち

に、主成分に対して流動・滞留している間の地下水の性質が反映されることがわかった。また、流動に関しては主成分分析の $Z_1, Z_2$ 軸に対する位置関係でとらえたが、このことについてはもっと検証していく必要があると思う。

(参考文献) (1)秋田原地区地下水調査工事書 (2)陸水環境調査法; 中島重旗 (3)多変量統計解析法; 田中、脇本ら (3)トンネル湧水の発生形態と水質変動; 土木学会論文

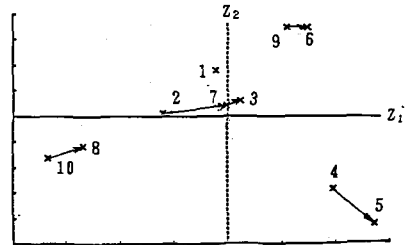


図-3 主成分得点によるSCATTER-DIAGRAM

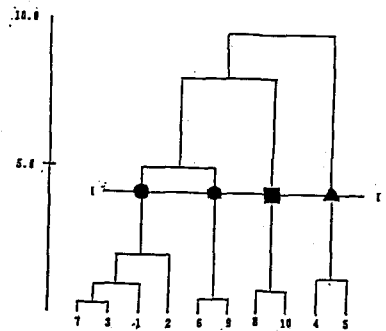


図-4 主成分得点でクラスタリングした時のデンドログラム