

地下水質の多変量解析に基づいた濃尾平野扇状地の地下水流動特性の考察

岐阜大学工学部 正会員 神谷 浩二
岐阜大学大学院 学生会員 ○高木 英知

1. まえがき： 岐阜県の濃尾平野は、生活用水や工業・農業用水の水資源の多くを地下水に依存した特長ある地域である。本報告は、濃尾平野での今後の地下水管理のあり方に資するため、地下水涵養域の一つである長良川扇状地を対象に、地下水質データの統計学的分析に基づいて地下水の流動特性を考察した。

2. 地下水データ： 対象地域は、濃尾平野の北部に位置する長良川扇状地である(後述の図 1 参照)。岐阜市では、消防水利井戸を利用した地下水位の一斉調査が継続的に実施されている。また、'05～'09 年度の期間に、消防水利井戸から採取した地下水の水質分析が実施された。本報告では、'10 年 9 月に約 180 本の井戸(後述の図 1 に位置を併記)で調査された地下水位のデータ、上記 5 年間に約 700 本の井戸(後述の図 4 に位置を併記)で分析されたナトリウムイオン(Na^+)、カリウムイオン(K^+)、カルシウムイオン(Ca^{2+})、マグネシウムイオン(Mg^{2+})、塩化物イオン(Cl^-)、炭酸水素イオン(HCO_3^-)、硫酸イオン(SO_4^{2-})の 7 成分の地下水質のデータを用いた。

3. 河川水と地下水： 図 1 は、地下水位データに基づき描いた水位等高線を示したものであり、流線を重ね合わせて示したものである。扇状地では、水位等高線が河川を中心として湾曲していて、河川水が地下へ流入する傾向が認められる。次に、地下水の分析地点 i における水質と河川水の水質との間のユークリッド距離 d_i を次式(1)によって求め、そして、次式(2)によって正規化したユークリッド距離 x_i を求めた。

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^7 (u_{ij} - v_j)^2} \quad (1) \quad x_i = \frac{1}{1 + d_i} \quad (2)$$

ここで、 u は地下水の各イオン濃度を標準化したときの値であり、添字 j は個体番号で、 $j=1$ のとき Na^+ 、 $j=2$ のとき K^+ 、 $j=3$ のとき Ca^{2+} 、 $j=4$ のとき Mg^{2+} 、 $j=5$ のとき Cl^- 、 $j=6$ のとき HCO_3^- 、 $j=7$ のとき SO_4^{2-} の値であることを表す。また、 v は河川水の各イオン濃度を標準化したときの値である。式(2)の x_i 値が 1 に近いときほど地下水の水質が河川水の水質に近いことを表す。図 2 は、 x_i 値の分布を描いて示したものである。扇状地の長良川近傍では、地下水と河川水の水質の類似性が高く河川から地下水涵養されている形跡がみられる。

4. 地下水の流動系： 多変量データを少数個の変数に縮約する主成分分析では、水質の 7 成分データを標準化した値 u_{ij} を用いたとき、地点 i における主成分得点 z_{ik} は次式(3)の結合式によって表される。

$$z_{ik} = \sum_{j=1}^7 (\alpha_{jk} u_{ij}) \quad (3)$$

ここで、 z_{ik} と α_{jk} はそれぞれ第 k 主成分のときの主成分得点と固有ベクトルである。表 1 は、相関係数行列を用いた主成分分析¹⁾によって得られた第 1、第 2 主成分の固有ベクトルの値を示したものである。なお、7 次元の水質データの約 76%が第 1、第 2 主成分によって縮約されていたため、本報告では、これら 2 つの主成分を選択して検討する。なお、第 1 主成分は、固有ベクトルが負値であることから、イオン全体の溶存量に関わるものと解釈される。次に、第 1、第 2 主成分得点の値を用いて、非階層的クラスター法(K 平均法)¹⁾によって分析して、主成分得点の類似性から 7 つのグループに分類した。図 3 は、第 1 と第 2 主成分得点の関係をグループ A～G に分類して示したものである。更に、図 4 は、地下水質の分析地点の位置をそのグループに分類して示したものである。扇状地の長良川近傍ではグループ A のものが分布し、河川から離れるに従いグループ B、C の順に移行する様子にある。この水質グループの変化は、図 1 の地下水の流向や図 2 の x_i 値分布と同様の傾向にあり、即ち、長良川近傍のグループ A、B、C の範囲は、主に河川に由来した流動系であることが確認される。一方、図 4 において、グループ E は山地からの地下水流動系であり、北西のグループ C は別の河川扇状地での流動系であるとみられ、これら流動系と上記の長良川由来の流動系との合流付近ではグループ G が分布している。また、グループ D は、河川由来の流動系の下流側に位置している。

キーワード 地下水質、地下水涵養、主成分分析、クラスター分析

連絡先 住所：〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 Tel&Fax：058-293-2421

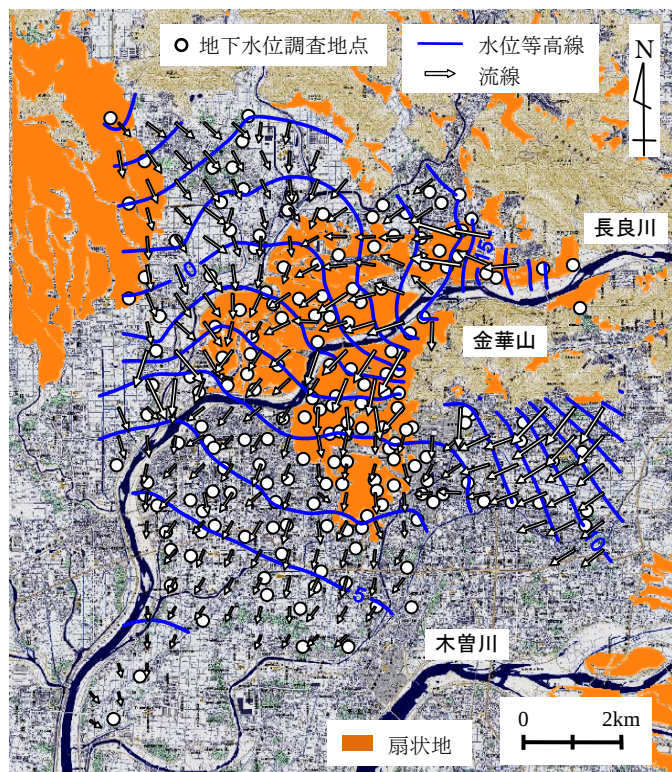


図1 地下水の水位等高線と流線

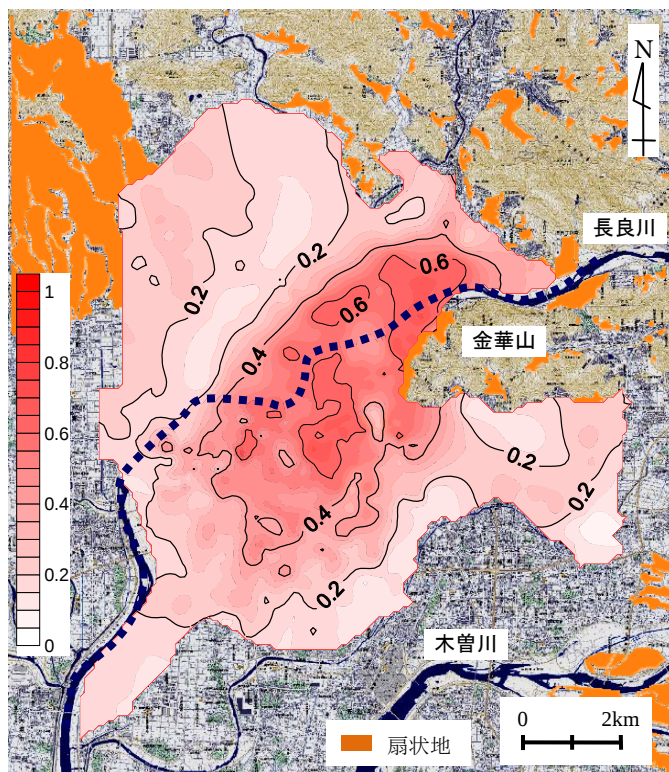


図2 河川水と地下水の水質の近縁関係

表1 主成分の固有ベクトル

主成分	固有ベクトル						
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
第1	-0.429	-0.286	-0.379	-0.432	-0.404	-0.334	-0.359
第2	0.322	0.440	-0.470	-0.281	0.369	-0.495	0.144

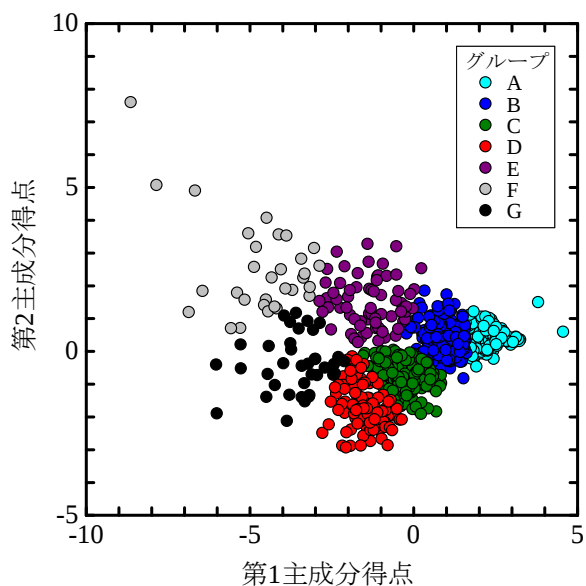


図3 主成分得点とグループ分類

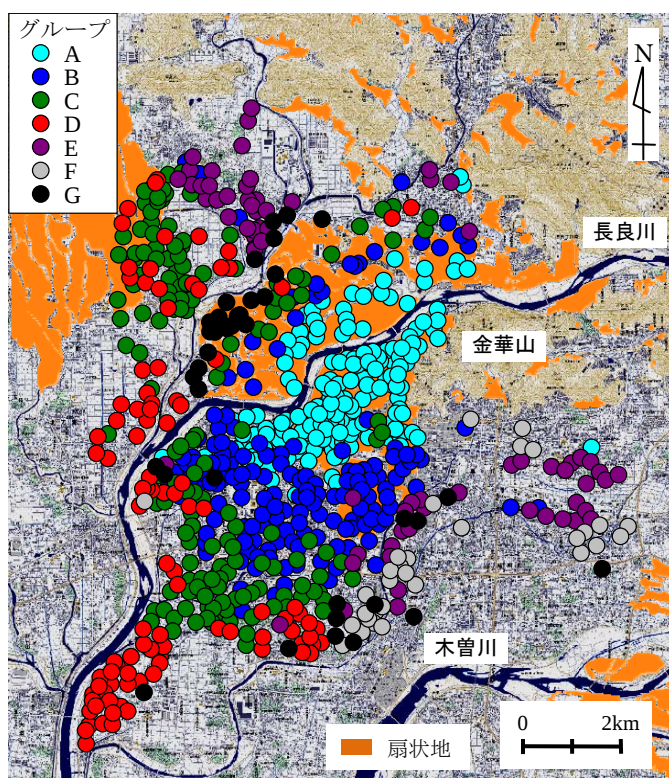


図4 地下水質の分析地点とグループ分類

4. あとがき： 本報告では、濃尾平野の長良川扇状地を対象に、蓄積された地下水データを統計学的に分析した結果、扇状地の地下水質は河川水質と高い類似性がみられること、また、主成分およびクラスター分析によって河川由来の地下水流動系を特定できることなどが得られた。

謝辞： 本報告で用いた地下水データは、岐阜市によって調査され提供いただいたものである。関係各位に謝意を表す。

【参考文献】 1)金 明哲：Rによるデータサイエンス，森北出版，2007。