

II-92 河川の影響を考慮した地下水中栄養塩分布特性の解析

京都大学工学部 正員 米田 稔
 京都大学工学部 正員 井上 頼輝
 マッキンゼー 滝根 直哉

1. はじめに

最近、日本国内においても硝酸態窒素などの栄養塩による地下水汚染が問題となっている。本研究ではクラスター分析などの統計手法を用いて、地下水中の栄養塩の分布特性と、河川などとの関係を解析した例を示す。

2. 調査内容と測定結果

1989年12月中旬において、ある盆地のA川沿いの家庭や工場などの井戸から155個の地下水サンプル、A川に沿って約1kmごとに22個の河川水のサンプルを収集し、水温、電導度、pH、 NH_4^+ -N濃度、 NO_2^- -N濃度、 NO_3^- -N濃度、 PO_4^{3-} -P濃度、 ^{222}Rn 濃度の8項目を測定した。各項目の分布のうち水温、電導度、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、 PO_4^{3-} -P、河川水中 ^{222}Rn 濃度の例を図1～図6に示す。図1～図5中では各項目の値を3段階に分けて、大中小の大きさの印でプロットしている。また河川水の値は図1～図5中ではひし形の中にプロットしている。

3. 各項目の分布特性

(水温):調査時期においては、河川水温は地下水水温より低く、地下水水温が低い地域は河川水の地下への浸透地点を示している可能性が高い。図1ではたとえば領域Hなどで水温が高く領域Lなどでは低い傾向がみられる。(電導度):C点付近を境として下流側の値が全体的に大きい。C点には大規模下水処理場が存在しB川も汚濁の進んだ川であるため、河川水質はC点付近を境として下流側の汚濁がひどい。電導度分布は河川水の汚濁が地下水質の悪化に大きく影響することを示している。A川上流では領域Mなどで比較的大きな値となっている。A川上流では河川水の電導度は一般に地下水より低いことから領域Mなどでは地下水が河川方向に流れている可能性が高い。(pH):A川上流において電導度と良く似た分布をしている。(NH_4^+ -N):丸で囲んだ地域などが高濃度となっている。この地域はよりA川に近い領域に低濃度域が存在することから、河川からの浸透が原因とは考え難い。(NO_2^- -N):全体的に河川水が地下水に比べ高濃度となっている。(NO_3^- -N):A川上流においては水温、電導度、pHと比較的よく似た分布をしている。(PO_4^{3-} -P):極めて低濃度のものが多く、高濃度のものは少数である。A川の河川水中の PO_4^{3-} -P濃度がC点付近を境にして1オーダー高くなるが、電導度の場合のように、地下水中 PO_4^{3-} -P濃度に対してその影響が現れない。これは電導度に大きく寄与する塩素イオンなどに比べ、 PO_4^{3-} -Pが土壤中へ浸透あるいは土壤中を移動しにくいことを示し、 PO_4^{3-} -P濃度の高い地域は PO_4^{3-} -Pによる局所的汚染域を表していると考えられる。(^{222}Rn):水温分布とよく似ている。 ^{222}Rn 濃度は一般に河川水中より地下水中で高濃

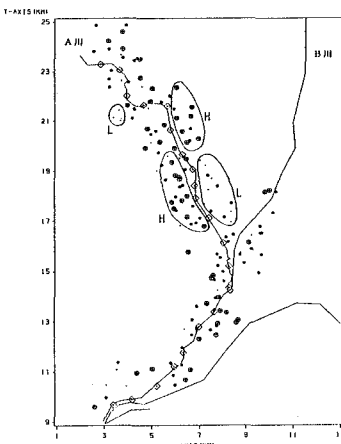


図1 地下水温度分布
 ($<14(^{\circ}\text{C})$, $14(^{\circ}\text{C})\leq<16(^{\circ}\text{C})$, $16(^{\circ}\text{C})\leq<18(^{\circ}\text{C})$, $18(^{\circ}\text{C})\leq<20(^{\circ}\text{C})$, $>20(^{\circ}\text{C})$)

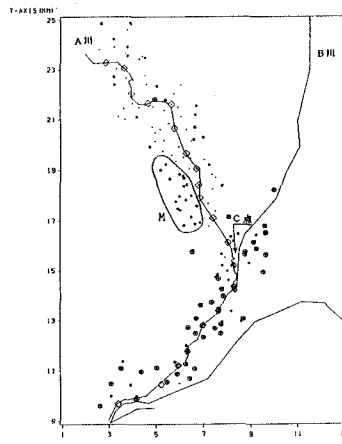


図2 電導度分布
 ($<165(\mu\text{S}/\text{cm})$, $165(\mu\text{S}/\text{cm})\leq<185(\mu\text{S}/\text{cm})$, $185(\mu\text{S}/\text{cm})\leq<255(\mu\text{S}/\text{cm})$, $255(\mu\text{S}/\text{cm})\leq<325(\mu\text{S}/\text{cm})$, $>325(\mu\text{S}/\text{cm})$)

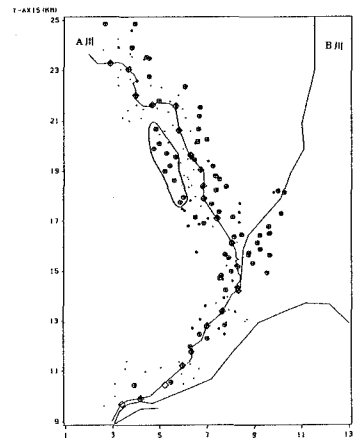


図3 アンモニウム窒素(NH_4^+ -N)濃度分布
 ($<0.4(\text{mg}/\text{l})$, $0.4(\text{mg}/\text{l})\leq<0.8(\text{mg}/\text{l})$, $0.8(\text{mg}/\text{l})\leq<1.2(\text{mg}/\text{l})$, $1.2(\text{mg}/\text{l})\leq<1.6(\text{mg}/\text{l})$, $>1.6(\text{mg}/\text{l})$)

度となることから、低 ^{222}Rn 濃度の地域は低水温地域と同様に河川水の浸透地点を表している可能性がある。また図6中で河川水中 ^{222}Rn 濃度の高い地域は地下水の河川浸出地点を表していると考えられる¹⁾。

4. 採水深の影響

聞き取り調査によって約半数程の井戸における採水深がわかっている。採水深と各水質項目との関係を調べると、水温では採水深50mほどを境として、深部ほど高温となる傾向が認められたが、他の項目については水温ほどはっきりした傾向は認められなかった。

5. クラスター分析

水質8項目のデータを用いて主成分分析を行い、固有値が1以上となる4つの主成分スコアでクラスター分析を行った。結果を図7に示す。図7では各クラスター内でそれぞれの主成分スコアの平均値を求め、第1主成分が最大の地域は斜線で、第2主成分が最大の地域は格子線で、第3主成分が最大の地域には何の線も引かず、第4主成分が最大の地域は黒く塗りつぶして示している。各主成分への各水質項目の寄与率を考察することにより、第1主成分は河川近くまで十分硝化が進行しながら流れてきた地下水を表す主成分、第2主成分は汚濁した河川からの浸透による汚染を表す主成分、第3主成分は河川水の浸透の影響を受けにくい地下水であることを表す主成分、第4主成分は地下水の近くに汚染源が存在することを示す主成分であると推定された。図7は各地域の特性を示すと考えられる。

6. 総合評価と結論

各水質項目の分布特性やクラスター分析の結果より、図8に示すように地下水の流向を推定し、地域的特性によってA～Gの領域に領域分けを行った。たとえば領域Aはきれいな河川水が地下に浸透している領域、領域Cは地下水が川に平行して流れ、下部で河川に浸出しており、川から離れたところに NH_4^+-N による汚染源が帯状に広がっていて、これが NO_3^--N へと硝化されながら流下し、河川に浸出している領域などと推定された。

以上のように地下水質の分布特性の評価により、河川の影響を考慮した地下水流向や栄養塩の移動などの推定が可能となる一事例を示した。

（参考文献） 1) 米田、井上、福原：第44回土木学会年講，1989

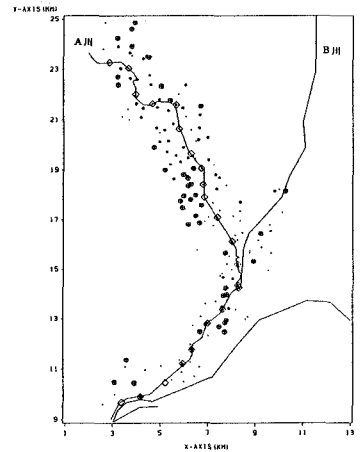


図4 硝酸態窒素(NO_3^--N)濃度分布
($\cdot$: < 0.8 (mg/l), $\circ$: 0.8 (mg/l) Δ : < 2 , $\square$: 2 (mg/l) $\oplus$)

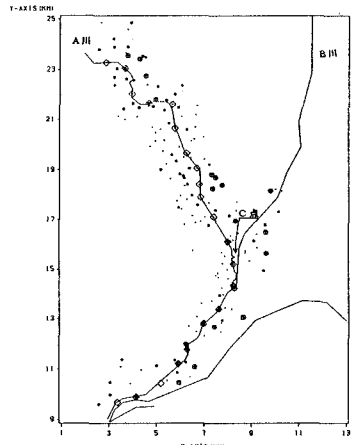


図5 リン酸態リン($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$)濃度分布
($\cdot$: < 0.03 (mg/l), $\circ$: 0.03 (mg/l) Δ : < 0.15 (mg/l), $\square$: 0.15 (mg/l) $\oplus$)

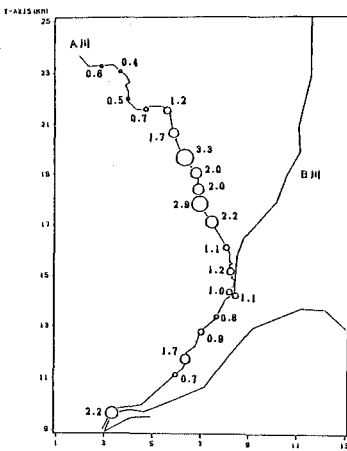


図6 河川水中 ^{222}Rn 濃度分布
図中の値は濃度(Bq/l)

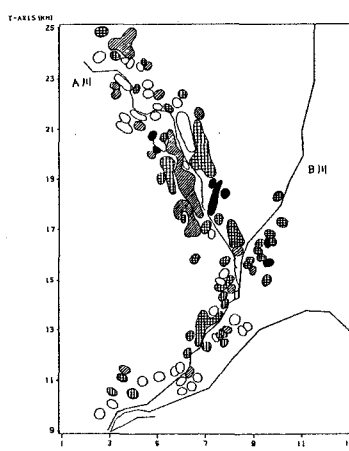


図7 クラスター分析結果

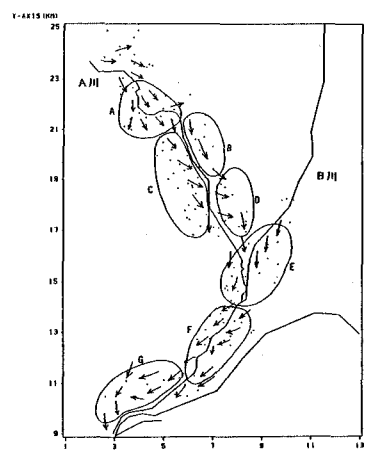


図8 推定された地下水流向と地域分け