

環境トレーサーを用いた扇状地地下水の複数の涵養源の分類の検討 Classification of different recharge sources of groundwater in an alluvial fan using multiple environmental tracers

○土原健雄*, 白旗克志*, 吉本周平*, 石田 聡*

TSUCHIHARA Takeo, SHIRAHATA Katsushi, YOSHIMOTO Shuhei, ISHIDA Satoshi

1. はじめに

水田が主要な土地利用となる扇状地においては、扇頂から扇端にかけて涵養一流動一流出といった地下水流動系が形成され、扇端部の湧水は下流部河川の流況、湧水地周辺の生態系構築に寄与している。扇状地の地下水の涵養源としては、降水や水田が考えられるが、複数の河川によって形成された大規模な複合扇状地では、諸河川からの伏流の影響も生じ、地下水の涵養構造は複雑である。本研究では地表水と地下水の両方が灌漑に利用される扇状地を対象に、浅層地下水中の複数の環境トレーサーを観測し、それらの結果から扇状地内の地下水の複数の涵養源の分類について検討した。

2. 研究方法

調査地である栃木県的那須野ヶ原扇状地は那須塩原市、大田原市の二市にまたがる複合扇状地である。三大疏水の一つである那須疏水による灌漑が行われるとともに、全国二位の農業用地下水利用地帯であり（農林水産省，2011）、地下水による灌漑も盛んに行われている。

扇状地内の 124 地点の農業用井戸（浅層地下水）、6 地点の湧水、7 地点の田面水、河川水（那珂川、熊川、蛇尾川、箒川）を対象に、かんがい期である 2018 年 5 月 15～18 日かけて採水を行った。また、那須塩原市内で 2018 年 4 月～2019 年 1 月（平均採取間隔 34 日）に降水の採取を行った。得られた試料水について、水素・酸素安定同位体比（ δD , $\delta^{18}O$ ）、放射性同位体ラドン（ ^{222}Rn ）、主要イオン濃度の測定を行った。分析にはそれぞれ水同位体分析計（Piccaro 社製 L2140-i）、液体シンチレーションカウンタ（Packard 社製 2250CA）、イオンクロマトグラフ（東亜 DKK 社製 ICA2000）を用いた。重炭酸イオン（ HCO_3^- ）濃度は、滴定法による pH4.8 アルカリ度から換算して求めた。各井戸の地下水の環境トレーサーの測定値を入力ベクトルとし、これらを自己組織化マップ（Kohonen, 1982）（Self Organizing Maps, 以下 SOM と記す）により二次元平面へ写像した。なお入力ベクトルの各成分は最小値と最大値を用いて正規化した。さらに、SOM によって得られた参照ベクトルのパターンを階層的クラスタ分析である Ward 法により分類した。

3. 結果および考察

浅層地下水で観測した環境トレーサーのうち $\delta^{18}O$ の分布を Fig.1 に示す。地下水、湧水、降水、河川水、田面水の $\delta^{18}O$, δD , d 値の平均値を Table 1 に示す。なお、表中の降水の値は降水量加重平均を示している。浅層地下水の $\delta^{18}O$ は $-9.43 \sim -6.93\%$ （平均値 -8.37% ）、 δD は $-60.59 \sim -47.02\%$ （平均値 -54.98% ）の値を示し、蛇尾川、熊川周辺部および西側の箒川左岸側で低い値、扇央から扇端にかけて特に東部で高い値を示す傾向にある。蒸発の影響を受ける田面水の同位体比は地下水より高く、河川水（那珂川、熊川、蛇尾川、箒川）の同位体比の平均値は地下水よりも低い。また、降水の $\delta^{18}O$, δD の関係を直線近似した場合の傾きが 8.66 であるのに対し、地下水の全試料の傾きは 5.14 と小さく、地下水が本地域の天水線からずれて分布していることがわかる。浅層地下水の同位体比の空間分布は、

* 農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO

キーワード：地下水，水田涵養，伏流，水素・酸素安定同位体比，自己組織化マップ

複数の涵養源からの寄与割合の違いによって形成されると推測され、同位体比が低い領域は河川水からの伏流水の影響、同位体比が高い領域は水田涵養の影響が相対的に大きいと考えられる。

SOMを用いて $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD を含めた環境トレーサの測定結果を分類し、浅層地下水を4つのグループに分けた (Fig.2)。Fig.3は各グループに分類された地下水の平均値としてのヘキサダイアグラムを示している。蛇尾川、熊川沿いに分布するグループ2は他のグループより電気伝導度 (EC) が低く、地下水より EC・同位体比の低い蛇尾川、熊川の伏流水の影響を受けていると考えられる。箒川沿いに分布するグループ3も同位体比が低い、 Na^+ 、 Cl^- 濃度が高いという特徴がある。グループ3は他の河川より Na^+ 、 Cl^- 濃度が高い箒川からの伏流水の影響を受けているといえる。扇頂～扇央のグループ4は硝酸態窒素 (NO_3^- -N) 濃度が高く、扇頂部付近の酪農地域の影響 (宗村ら, 2002) をを受けていると考えられる。扇中央～扇端にかけて分布するグループ1では、上流側のグループ3に比べて溶存イオン濃度は低く、同位体比が高い。グループ3から1にかけての NO_3^- -N濃度の低下は水田涵養による希釈の影響と考えられ、水田涵養の影響が相対的に大きいと考えられる。

4. おわりに

地下水の動態を解明するためにマルチトレーサの適用が一般的になりつつあるが、一方で得られる情報が過大になり、それら进行处理して統合的な理解を得ることが困難な場合もある。本研究のような複数の涵養源から構成される扇状地の地下水を分類するために、SOMは有効な手法の一つと考えられる。今後は非灌漑期のデータ、滞留時間のデータを加えた検討を行う予定である。

謝辞 調査にあたり、那須野ヶ原土地改良区連合および各土地改良区から協力を受けた。ここに記して深謝の意を表す。

引用文献 1) 農林水産省農村振興局農村環境課 (2011) 農業用地下水の利用実態—第5回農業用地下水利用実態調査の概要—, 13p., 2) Kohonen, T. (1982): Self-organized formation of topologically correct feature maps, *Biological Cybernetics*, 43(1), pp.59–69. 3) 宗村広昭ほか (2002): 那須野ヶ原における地下水窒素汚染の実態と汚濁機構の解明, *農業土木学会論文集*, 219, pp.365–373.

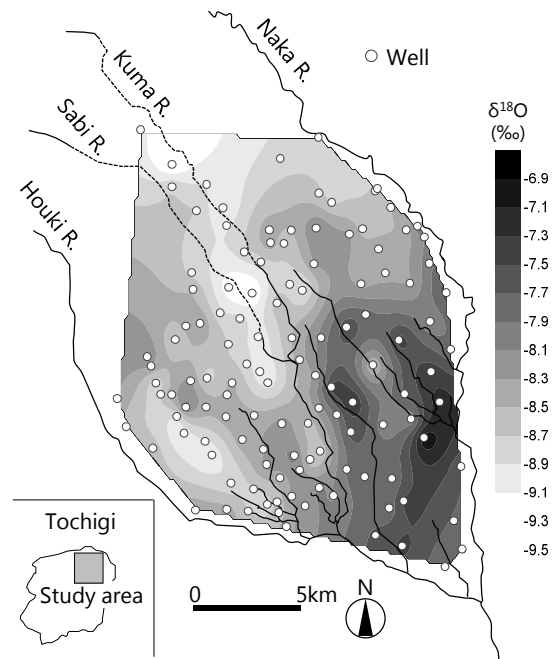


Fig.1 浅層地下水の $\delta^{18}\text{O}$ 分布
Spatial variations of $\delta^{18}\text{O}$ in shallow groundwater

Table 1 採取した試料水の同位体組成の平均値
Average values of isotopic compositions in sampled waters

	地下水	湧水	降水	河川水	田面水
$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	-8.37	-8.99	-8.00	-9.78	-5.40
δD [‰]	-54.98	-58.14	-51.70	-62.38	-45.38
d-excess [‰]	11.94	13.78	12.28	15.86	-2.21

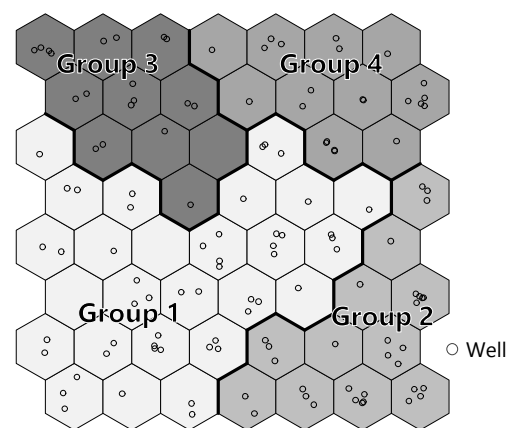


Fig.2 SOMによる浅層地下水の分類結果
Distribution of shallow groundwater classified by SOM

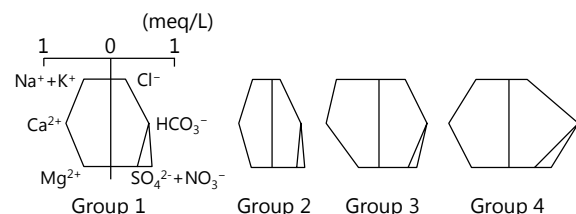


Fig.3 地下水のヘキサダイアグラム
Hexa-diagrams of groundwaters