地下水－地表水交流過程；その物質輸送および生態系への影響

齋藤光代*・小野寺真一**・土原健雄***

Groundwater-surface water interaction; its effects on material transport and ecosystems

Mitsuyo SAITO*, Shin-ichi ONODERA** and Takeo TSUCHIHARA***

地下水は「涵養」および「流出」を通して河川水や湖水、海水などの地表水と相互に影響し合っており、地下水の流動およびそれにとまなう物質輸送の評価にあたっては、それらの相互作用を考慮する必要がある。

Anderson (2008) によると、地下水－地表水間の交流に関する研究の歴史は Kohout (1960) による塩淡水境界の研究まで遡り、その後 Johannes (1980) は、海底地下水湧出 (submarine groundwater discharge: SGD) が硝酸性窒素などの輸送を通して沿岸海域の生態系に影響を及ぼすことを指摘した。また、河川水と地下水との交流が生じる場は“ハイポレイックゾーン (Hyporheic zone)”と定義され、例えば Harvey and Bencala (1993) は、山地流域の河床部や河岸部に高密度の観測井群を設置し、河川水と地下水との交流を定量的に明らかにした。一方で生物地球化学や生態学の分野においては、同様の場が“河畔域 (ライパリアンゾーン; Riparian zone)”と定義され、例えば Hill et al. (2000) などによって、その存在が河川の窒素動態に大きな影響を及ぼすこ

とが指摘されてきた。また、Hinkle et al. (2001) は、より大規模な河川流域の蛇行帯が Hyporheic zone となり、河川水がそこを経由することで脱窒などの影響による窒素濃度の変化が起こることを明らかにした。以上のように、河床の凹凸といった微小スケール (例えば Harvey et al., 2012 など) から流域スケール (例えば Kiel and Cardenas, 2014 など) に至る様々な時空間スケールでの Hyporheic zone に関する研究が展開されてきた。特に Boano et al. (2014) や Cranswick and Cook (2015) などは、多様なスケールの Hyporheic zone における水、熱、物質輸送についてレビューしており、是非参考にさせていただきたい。

また、国内の関連する研究として、本学会誌においてはこれまで琵琶湖への地下水漏出 (小林, 1992) や、安定・放射性同位体および水温をトレーサーに用いた地下水－河川水交流に関する研究 (今泉ほか, 1993; 吉岡ほか, 1993; 涌井・山中, 2006; 丸山ほか, 2015) などが報告されている。また、2001年～2002年 (43巻1号～44巻2号) に

* 岡山大学大学院環境生命科学研究科

Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

** 広島大学大学院総合科学研究科

Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

*** 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門

National Agriculture and Food Research Organization, Institute for Rural Engineering

かけて誌面講座「地下水と地表水・海水との相互作用 (担当: 谷口真人・登坂博行)」が開設され、その中で地下水と河川水、湖水および海水との相互作用の概念や定量的評価手法に加え、水質形成や生態系に及ぼす影響についても網羅された。また、本現象は他の国内誌においても水資源評価の観点(濱田・小前, 1994; 松本ほか, 2009; 原田・沼津, 2011)や、河川生態学的観点(中村, 1995)および扇状地の地下水環境評価といった観点(手計ほか, 2016)から取り上げられている。

以上にあげた研究を含め、2001～2002年の本学会誌の誌面講座以降も、国内外を含め地下水－地表水交流過程の地域的多様性(源流域～沿岸域、地形・地質、気候帯の違いなど)、評価手法の高度化(物理探査、トレーサー、モデルなど)、地下水－地表水交流過程に付随する栄養塩(窒素、リンなど)や炭素、微量金属といった物質の循環・輸送、地下水－地表水交流場に特有な生態系(微生物、植物、動物)についてなど、新たな知見が蓄積されてきており、この話題に関して多分野のアプローチを含めて網羅的に迫ることは有意義である。そこで本特集号では、誌面講座から15年を経た現在において、地下水－地表水交流過程に関する新たな解析・評価手法、地域性、および物質循環や生態系との関連などの視点を加えて、従来の地下水学の枠組みにとどまらず生物地球化学や生態学といった異分野に踏み込んで議論を展開することを目的とした。幸いにして3本の論説と2本の原著論文が集まり、扇状地スケールでの地下水－河川水交流現象、Hyporheic zoneにおける有機物動態、Hyporheic zoneに特有の魚類生態系、また、手法の面ではトレーサー法や物質循環モデルといったバラエティに富む充実した内容となった。また、うち3本については非会員の著者に依頼したものであり、本特集号が関連する論文の投稿に対する呼び水となり、今後の地下水学会誌の更なる活性化に加え、地下水学を取り巻く異分野との研究連携、ひいては国際的な研究潮流に繋がっていくことを期待したい。

引用文献

今泉眞之・濱田浩正・金子文宜・奥山武彦・小前隆美

(1993): 千葉県鋸南町の地すべり地小流域における渓流水の水質形成機構－水質と ^{222}Rn 濃度を指標とした地下水と渓流水の交流解析－. 地下水学会誌, 35, 165-183.

小林正雄 (1992): 和迓(わに)川デルタから琵琶湖への地下水の漏出. 地下水学会誌, 34, 67-80.

谷口真人・登坂博行 (2001): 「地下水と地表水・海水との相互作用」1. はじめに. 地下水学会誌, 43, 41-42.

手計太一・北 隆平・松本充弘・下坂将史 (2016): 黒部川扇状地における長期の流量観測データを用いた河川－地下水交流関係の評価. 水文・水資源学会誌, 29, 219-226.

中村太士 (1995): 河畔域における森林と河川の相互作用. 日本生態学会誌, 45, 295-300.

濱田浩正・小前隆美 (1994): 河川水と地下水の交流解析への ^{222}Rn の適用. Radioisotopes, 43, 770-775.

原田守博・沼津晃洋 (2011): 都市域における感潮河川と河畔地下水の相互作用と水交換過程. 土木学会論文集 B1, 67, I625-I630.

松本大毅・広城吉成・神野健二・堤 敦 (2009): 地下水流動計算と放射性同位体を用いた地下水・表流水交流解析. 水文・水資源学会誌, 22, 286-293.

丸山 豊・小野寺真一・北岡豪一 (2015): 河川近傍の“みずみち”状湧水における水温変動を利用した地下水フラックスの推定. 地下水学会誌, 57, 207-219.

吉岡龍馬・北岡豪一・小泉尚嗣 (1993): 同位体組成から推定される地下水の流動系について－三島市及びその周辺地域を例にして－. 地下水学会誌, 35, 271-285.

涌井久司・山中 勤 (2006): 安定同位体組成からみた那須扇状地扇央部における地下水涵養源とその地域性. 地下水学会誌, 4, 263-277.

Anderson, M.P. (2008): Groundwater, IAHS Benchmark Papers in Hydrology Series, 3, IAHS Press.

Boano, F., Harvey, J.W., Marion, A., Packman, A.I., Revelli, R., Ridolfi, L. and Wörman, A. (2014): Hyporheic flow and transport processes: Mechanisms, models, and biogeochemical implications. Review of Geophysics, 52, 603-679.

Cranswick, R.H and Cook, P.G. (2015): Scales and magnitude of hyporheic, river-aquifer and bank storage exchange fluxes. Hydrological Processes, 29,

- 3084-3097.
- Harvey, J.E. and Bencala, K.E. (1993): The effect of streambed topography on surface-subsurface water exchange in mountain catchments. *Water Resources Research*, 29, 89-98.
- Harvey, J.W., Drummond, J.D., Martin, R.L., McPhillips, L.E., Packman, A.I., Jerolmack, D.J., Stonedahl, S.H., Aubeneau, A.F., Sawyer, A.H., Larsen, L.G. and Tobias, C.R. (2012): Hydrogeomorphology of the hyporheic zone: Stream solute and fine particle interactions with a dynamic streambed. *Journal of Geophysical Research*, 117, G00N11, doi:10.1029/2012JG002043.
- Hill, A.R., Davito, K.J., Campagnolo, S. and Sanmugadas, K. (2000): Subsurface denitrification in a forest riparian zone: Interactions between hydrology and supplies of nitrate and organic carbon. *Biogeochemistry*, 51, 193-223.
- Hinkle, S.R., Duff, J.H., Triska, F.J., Laenen, A., Gates, E.B., Bencala, K.E., Wentz, D.A. and Silva, S.R. (2001): Linking hyporheic flow and nitrogen cycling near the Willamette River- a large river in Oregon, USA. *Journal of Hydrology*, 244, 157-180.
- Johannes, R.E. (1980): The ecological significance of the submarine discharge of groundwater. *Marine Ecology Progress Series*, 3, 365-373.
- Kiel, B.A. and Cardenas, M.B. (2014): Lateral hyporheic exchange through the Mississippi River Network. *Nature Geoscience*, 7, 413-417.
- Kohout, F.A. (1960): A cyclic flow of salt water in the Biscayne aquifer of southeastern Florida. *Journal of Geophysical Research*, 65, 2133-2141.

(受付：2018年4月11日，受理：2018年4月11日)