

東京都品川区の浅層地下水の地球化学的性状について

伊東 優希* 安原 正也** 李 盛源**
 中村 高志*** 稲村 明彦****

キーワード：東京，都市，浅層地下水，一般水質，窒素同位体，下水漏水

1. はじめに

近年，都市の地下水は大規模災害時の非常用水源（防火用，生活用，飲料用）として，また親水環境の保全や創生，ヒートアイランド現象の緩和といった各種取り組みを推進する際の環境用水源として，その重要性がクローズアップされている．都市にとって「自己水源」である地下水を将来にわたって適切に，かつ有効に利用してゆくためには，質と量の両面からその実態を正確に理解しておくことが必要である（たとえば，Lerner, 1990；安原, 1997）．

都市の地下水の水質については，これまで内外でい

くつか詳細な報告がある（たとえば，Ford and Tellam, 1994；黒田ほか, 2007；安原ほか, 2015）．さらに，地下水の賦存量（利用可能量）やその起源についての検討も行われてきた（たとえば，新井ほか, 1987；Eiswirth and Hotzl, 1997；安原・高山, 1999；Vystavna *et al.*, 2018）．しかし，都市における地下水調査の困難さ，また地下水と人工構築物である水道管（給水管・配水管）や下水管（雨水管・排水管・下水道管）の間の複雑な水の交流（図1）などが原因となり，都市の地下水システムはその全容解明にはほど遠い状況にある．このため，さらなる事例研究の蓄積が待たれているところである．

そこで，東京都品川区の浅層地下水（図2）を対象に，

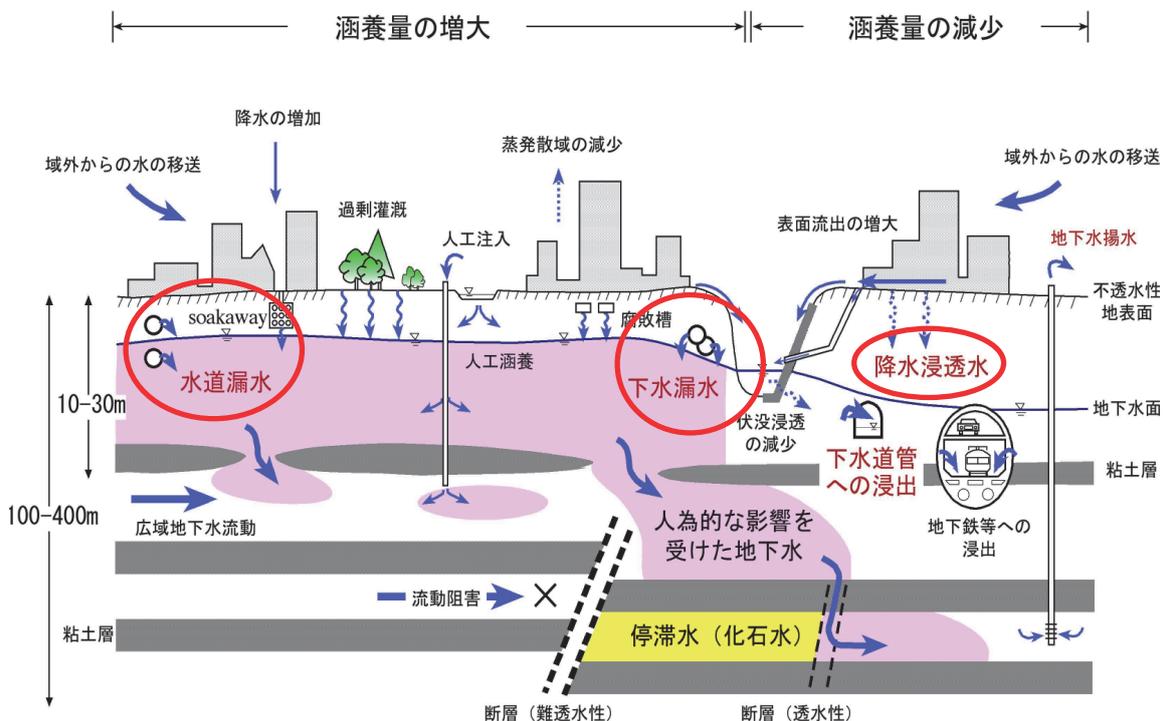


図1 都市の地下水システム概念図
 Lerner (1990) を一部修正・加筆

* 立正大学地球環境科学部環境システム学科（学）
 ** 立正大学地球環境科学部環境システム学科
 *** 山梨大学国際流域環境研究センター
 **** (国研) 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門

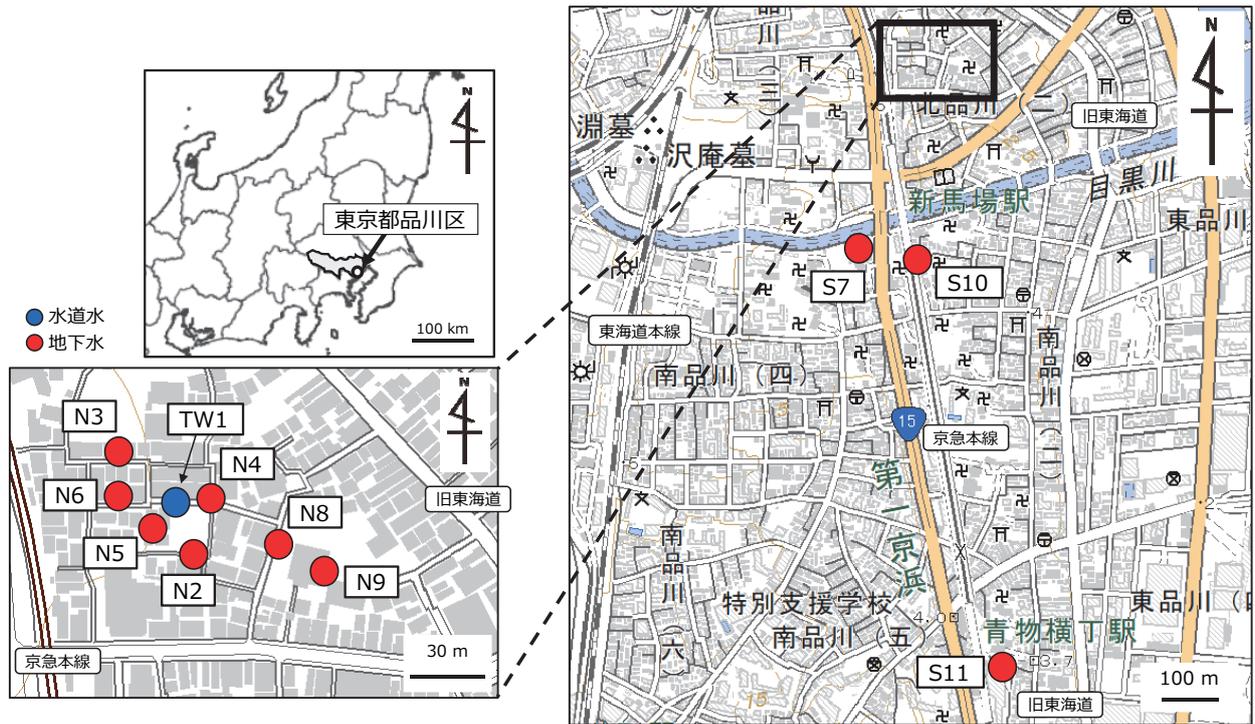


図2 研究対象地域（東京都品川区）と調査井戸

北品川の公園の水道水（地点TW1）も併せて採水. 基図は国土地理院地図 (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>)

都市の地下水の形成に果たす 1) 降水浸透水, 2) 水道漏水, 3) 下水漏水の役割 (図1) を地球化学的手法に基づいて定量化することを目的とした調査・研究を2019年2月から開始した. 現在まで, 2ヶ月に一度のペースで調査を継続しているが, 本稿では2019年2月の冬期調査で得られた同地域の浅層地下水の地球化学的性状ならびに地下水の起源に関する予察的な検討結果を速報する.

2. 研究地域

研究地域 (図2) は品川駅の南方に位置し, 古くから都市化が進んだ南北約1.2 km, 東西約0.5 kmの我が国固有数の人口密集地帯である. 東京湾に向かって東流する目黒川を挟んだ左岸の北品川2丁目に7地点 (地点N2~N6, 地点N8, 地点N9), 右岸の南品川1丁目~4丁目に3地点 (地点S7, 地点S10, 地点S11) の井戸を選定し, その地下水を調査・研究対象とした. このうち北品川2丁目では, 南北約60 m, 東西約100 mの極めて狭い範囲に上記の7本の井戸が存在する. 図3に, 例として北品川2丁目の地点N2と地点N8の井戸の外観を示す.

東京 (千代田区大手町) の30年間の年平均降水量は1,528.8 mm, 2018年の年降水量は1,445.5 mm, 同年の平均気温は16.8℃ (以上, 気象庁HP), また, 品川区の2019年現在の人口密度は約17,000人/km², 2015年度時点

の公共下水道普及率は99.5% (以上, 品川区HP), 2014年度時点の被覆率 (人工構造物被覆地の割合) は81.2% (品川区防災まちづくり事業部, 2015) である. なお, 下水道普及率に関しては1985年にすでに96%に達していたことから (下水道東京100年史編纂委員会, 1989), 品川区では多くの管渠が現在に至るまで, 35年以上の長期にわたって使用され続けているものと推定される.

研究地域は, 武蔵野台地 (高輪台, 目黒台) と東京湾の間に広がる標高5m未満の沖積低地からなる. 南北に伸びる“旧東海道” (図2) よりほぼ東側が近世の埋立地であることから, 本研究で対象とした井戸は自然営力によって形成された低地に位置していることがわかる. 表層地質をみると, 北品川2丁目 (地点N9の約100 m北東地点) では, 地表面下5.3 mまで礫・シルト混じり砂,



図3 調査井戸とその形状

深度5.3~9.4 mは砂混じりシルトであり、その下位に再びシルト混じり細砂が分布する（東京都建設局HP）。南品川1丁目の地点S10付近では地表面下2.7 mまで礫質砂、深度2.7~7.6 mは礫、深度7.6 m以下はシルト質砂、また南品川3丁目の地点S11付近では地表面下10.4 mまで礫・砂とシルトの互層から構成される（東京都建設局HP）。このように、研究地域の表層地質は目黒川の旧河道の分布を反映して著しく不均質、不連続である。

3. 調査・分析方法

現地調査と水試料の採取は、合計10本の浅井戸（図2）を対象に2019年2月27日に実施した。また、地下水と比較するため、北品川公園の水道水（図2の地点TW1）についても併せて調査・採水を行なった。

現地では水温（D617, テクノセブン社製）、pH（WM-32EP, 東亜DKK社製）、電気伝導度（EC）（同上）、溶存酸素濃度（DO）（HQ30d, HACH社製）、酸化還元電位（ORP）（RM-20P, 東亜DKK社製）、地下水位と井戸深度（WL50M, ヤマヨ測定機社製）を測定した。採水は、一般水質（溶存イオン； Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ）とSi濃度測定用、重金属類（Al, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd）濃度測定用、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比測定用の3つに分けて実施した。重金属類濃度の測定用試料には、濃硝酸（濃度約60%）を試料50 mlにつき2滴加えた。硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比測定用の試料は冷凍保存、その他は冷蔵保存した。採水した試料は実験室に持ち帰り、0.22 μm メンブレンフィルター（Millex[®]-GP, MerckMillipore社製）で濾過を行なった。その後、

HCO_3^- はpH4.8アルカリ度滴定法、その他の溶存イオンはイオンクロマトグラフ（Dionex ICS-1600, Thermo Fisher Scientific社製）を用いて濃度を測定した。Si（本研究では SiO_2 に換算）と重金属類については誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP-OES）（ARCOS, SPECTRO社製）を用いて定量した。硝酸イオンの窒素（ $\delta^{15}\text{N}$ ）・酸素（ $\delta^{18}\text{O}$ ）安定同位体比については脱窒菌法に基づき、安定同位体比自動分析システム（Hydra 20-20, SerCon社製Cryo-Prep）を用いて山梨大学で測定を行なった。窒素（ $\delta^{15}\text{N}$ ）・酸素（ $\delta^{18}\text{O}$ ）安定同位体比は次の式（1）で定義される。

$$\delta_{\text{sample}} (\%) = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3 \dots\dots (1)$$

ここで、 R は $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ または $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ であり、 N は大気中の窒素、 O は標準海水の酸素を基準とする。測定精度は $\delta^{15}\text{N}$ で $\pm 0.2\%$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ で $\pm 0.3\%$ である。

4. 結果

4-1. 地下水水理

現地測定結果を表1に示す。4本の井戸（地点N2, 地点N4, 地点N8, 地点S10）で深度を測定することができたが、その深度（5~12 m）から判断すると、これらの井戸は深度10 m付近まで分布する砂や礫層（第2章参照）中の浅層地下水を採取しているものと考えられる。また、2019年2月27日の地下水位は地点N4で地表面下2.35 m、地点N4より東京湾に近い東方の地点N8では同2.75 mであった。ここで地盤標高を考慮して地下水水面標高を求めると、前者では2.25 m、また後者では

表1 現地測定データ（2019年2月27日）

試料名	試料種類	採水日	時間	標高 m	井戸深度 m	地下水位 m	水温 ℃	pH	EC mS/m	DO mg/L	ORP mV
TW1	水道水	2019.2.27	11:28				10.2	7.57	29.5	10.48	582
N2	地下水	2019.2.27	11:15	4.5	9	-	17.0	7.05	45.2	1.99	171
N3	地下水	2019.2.27	12:14	4.9	-	-	17.0	7.34	40.9	2.32	465
N4	地下水	2019.2.27	11:55	4.6	12	2.35	16.6	7.07	67.6	4.10	525
N5	地下水	2019.2.27	12:25	4.7	-	-	17.6	7.38	41.4	1.52	456
N6	地下水	2019.2.27	12:38	4.8	-	-	16.4	6.84	38.6	2.07	468
S7	地下水	2019.2.27	14:14	3.4	-	-	15.7	7.53	32.8	2.91	418
N8	地下水	2019.2.27	13:11	4.9	7	2.75	17.0	7.16	46.2	3.26	443
N9	地下水	2019.2.27	13:23	4.7	-	-	16.5	7.44	57.6	7.70	426
S10	地下水	2019.2.27	14:29	4.4	5	-	16.0	7.47	35.2	5.50	414
S11	地下水	2019.2.27	15:13	4.2	-	-	16.5	7.48	32.2	6.44	415

2.15 mとなる。両井戸間の水平距離は40 mであることから、すなわち地下水の動水勾配は 2.5×10^{-3} と算出される。2本の井戸の限られたデータではあるが、北品川の浅層地下水は 10^{-3} オーダーという小さい動水勾配のもとで、砂礫層中を巨視的には東京湾に向かって流動しているものと考えられる。南品川の動水勾配については現時点ではその詳細は不明である。

研究地域の中央を目黒川が東流している(図2)。2019年2月下旬には、目黒川の河川水面は潮位の変動の影響を受けるものの、おおよそ地表面下3~4mの位置にあった(東京都建設局河川部HP)。一方、同時期における地点N4と地点N8の地下水面は、前述のとおりそれぞれ地表面下2.35 m, 2.75 mにあった。すなわち、地下水面の方が河川水面より高いことがわかる。このように、少なくとも冬期の目黒川は得水河川である。したがって、研究地域の浅層地下水が目黒川の河川水によって涵養されること、すなわち浅層地下水の水質が目黒川の河川水のその影響を受けることはないものと考えられる。

4-2. 一般水質とSiO₂濃度

現地水質測定結果、ならびに一般水質とSiO₂濃度の測定結果をそれぞれ表1と表2に示す。また、一般水質をヘキサダイアグラム(図4)、トリリニアダイアグラム(図5)、さらに電気伝導度(EC)、塩化物イオン(Cl⁻)濃度、硝酸イオン(NO₃⁻)濃度、炭酸水素イオン(HCO₃⁻)濃度をバブルチャート(図6~図9)でそれぞれ表した。

比較のために採水した水道水を除き、浅層地下水の水温は15.7~17.6℃(表1)と、現地の年平均気温とはほぼ等しい値であった。pHは地点N6で弱酸性を示す以外は

弱塩基性であった。溶存酸素濃度(DO)は全体的に低く、特に地点N2と地点N5では2.0 mg/L未満の低い濃度を示した。標準水素電極での値に換算後の酸化還元電位(ORP)では、地点N2において+171 mV(表1)と他の地点と比較して低い値が得られた。また、SiO₂濃度は23.2(地点N2)~31.1(地点S10) mg/Lであった(表2)。

ヘキサダイアグラム(図4)から、同地域の浅層地下水の水質はCa-HCO₃型であることがわかる。また、溶存イオン濃度は目黒川右岸の南品川に比べて目黒川左岸の北品川において高い。さらに、この北品川においては、地点N3や地点N6では、地点N4や地点N9と比較して溶存イオンの総量が明らかに低いなど、南北約60 m, 東西約100 mという極めて狭い範囲であるにもかかわらず、浅層地下水の溶存成分濃度の分布には顕著な不均質性が認められる。

トリリニアダイアグラム(図5)からは、図4と同様に同地域の地下水の水質タイプがCa-HCO₃型であることが読み取れるが、地点N6のみ陰イオンの組成比率が若干異なっている。これは、地点N6ではそのNO₃⁻濃度が34.1 mg/L(表2)と高いためである。

図6のECのバブルチャートでは、南品川の3地点の地下水は32.2~35.2 mS/mと似た値を示す(表1)。しかし、北品川では38.6(地点N6)~67.6(地点N4) mS/mと南品川に比べてその値が高く、かつ地点間でのECの違いが顕著である。人為的汚染の指標となるCl⁻濃度(図7, 表2)についても同様で、南品川の地下水のCl⁻濃度がほぼ一定(10.6~10.8 mg/L)であるのに対し、北品川においては17.4(地点N9)~31.9(地点N4) mg/Lと南品川の1.6倍から3倍の濃度を有し、かつ地点間での濃度の相違が大きいことが注目される。同じく人為的

表2 地下水の一般水質・SiO₂濃度測定結果(2019年2月27日)

試料	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	SiO ₂ mg/L
TW1	30.9	8.9	40.0	45.1	0.0	23.7	3.2	n.d.	4.5	23.9	18.2
N2	30.2	5.2	25.0	151.3	0.1	30.0	8.3	n.d.	4.7	45.9	23.2
N3	27.6	11.3	24.4	142.4	0.1	26.7	8.9	n.d.	5.7	41.7	24.0
N4	31.9	14.2	54.5	290.1	0.0	24.9	10.0	n.d.	9.6	100.5	26.7
N5	21.5	8.8	30.5	160.4	0.0	24.1	7.7	n.d.	5.6	49.0	24.0
N6	21.9	34.1	24.6	112.2	0.1	19.9	6.9	n.d.	4.2	45.1	26.2
S7	10.6	8.9	19.0	150.4	0.1	16.8	5.0	n.d.	7.9	37.0	26.6
N8	18.9	11.1	38.3	188.5	0.1	21.3	8.1	n.d.	5.5	65.2	24.2
N9	17.4	1.6	55.6	270.5	0.1	20.3	8.2	n.d.	7.7	94.3	24.4
S10	10.8	14.0	17.5	158.9	0.0	12.7	10.0	n.d.	5.8	46.2	31.1
S11	10.6	9.4	16.9	144.9	0.0	10.6	6.4	n.d.	5.2	42.4	24.4

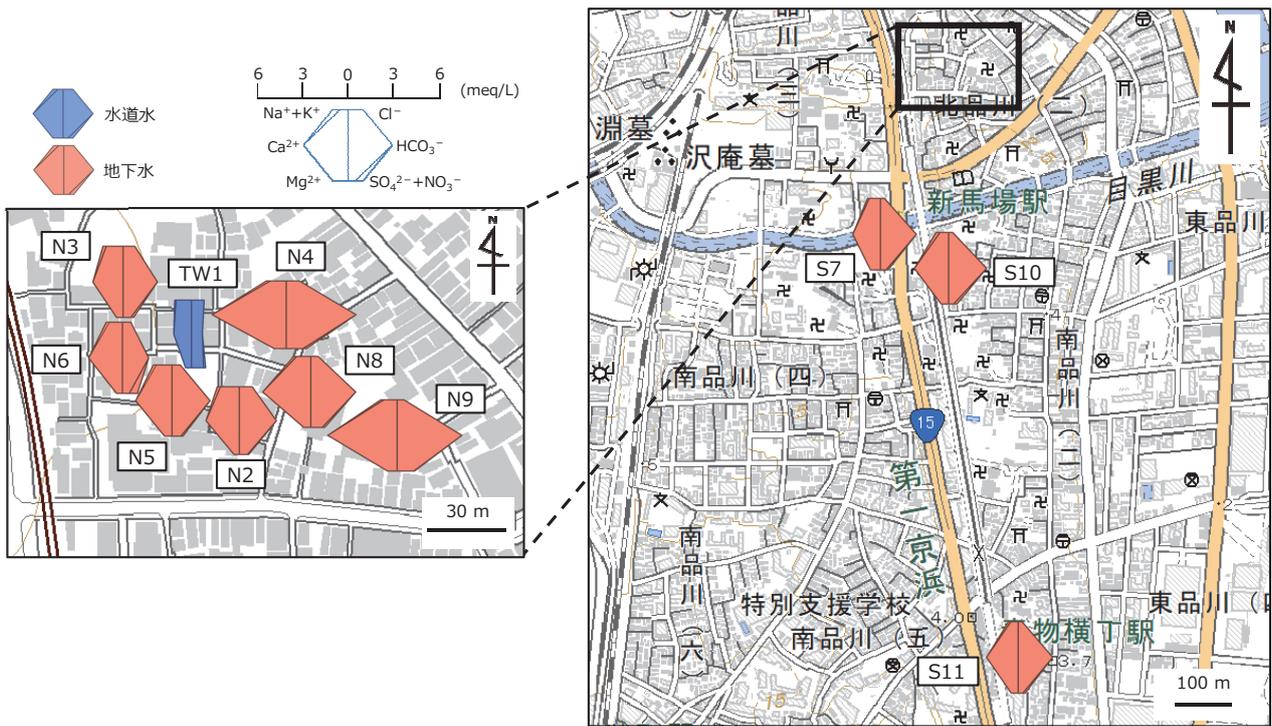


図4 ヘキサダイアグラム (2019年2月27日)
 基図は国土地理院地図 (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>)

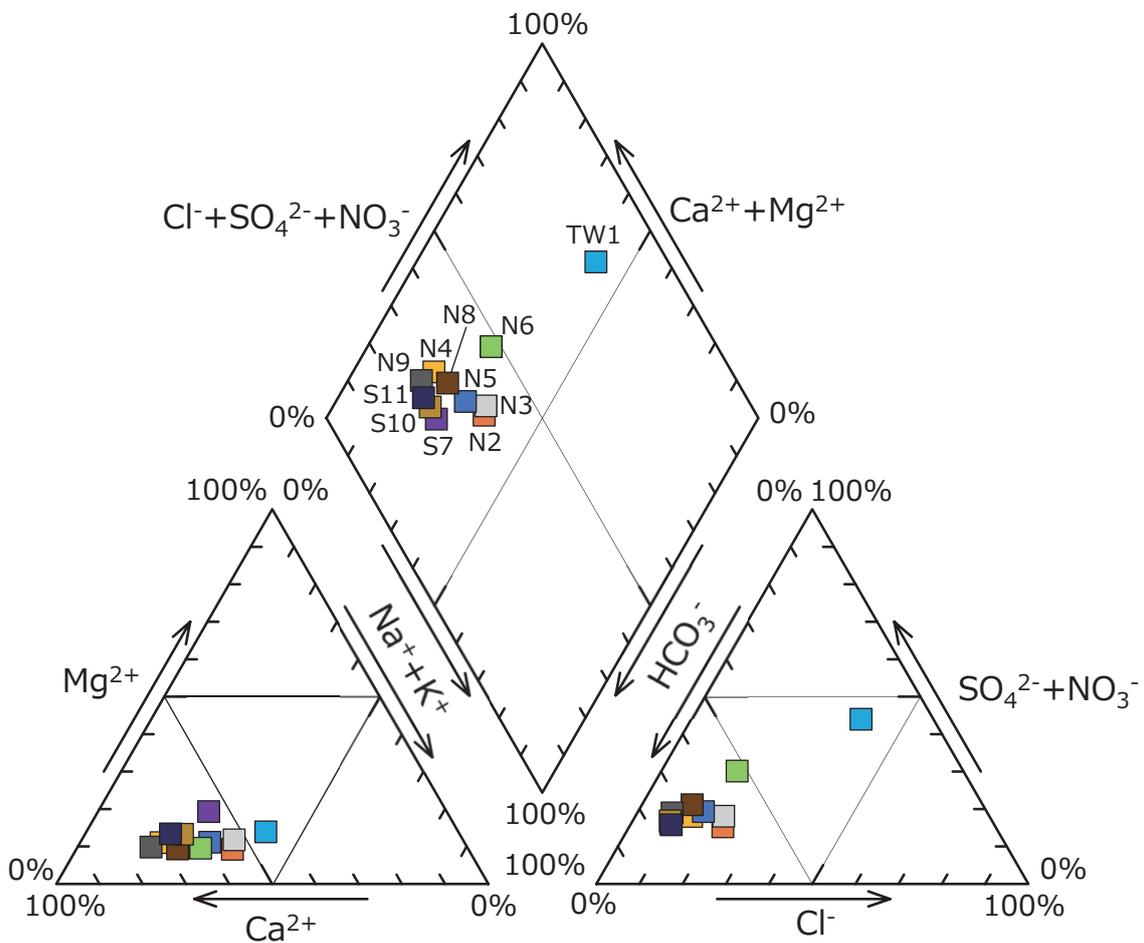


図5 トリリニアダイアグラム (2019年2月27日)

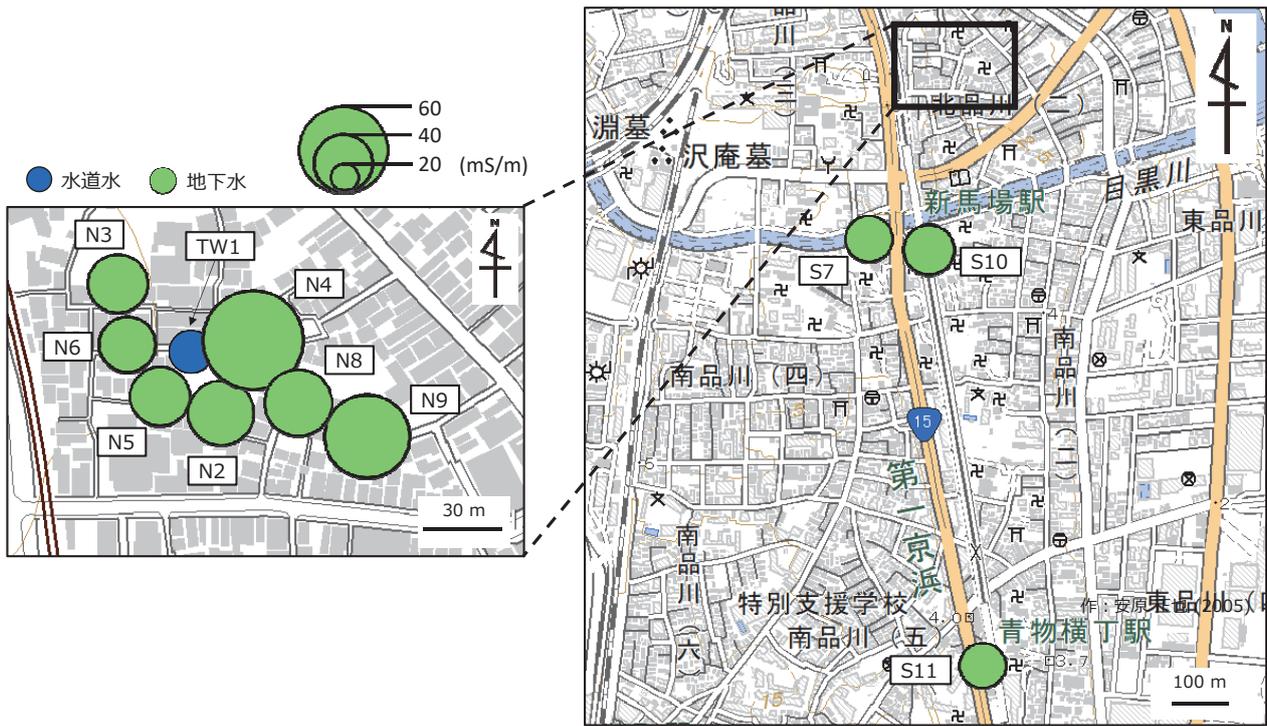


図6 電気伝導度 (EC) のバブルチャート (2019年2月27日)
基図は国土地理院地図 (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>)

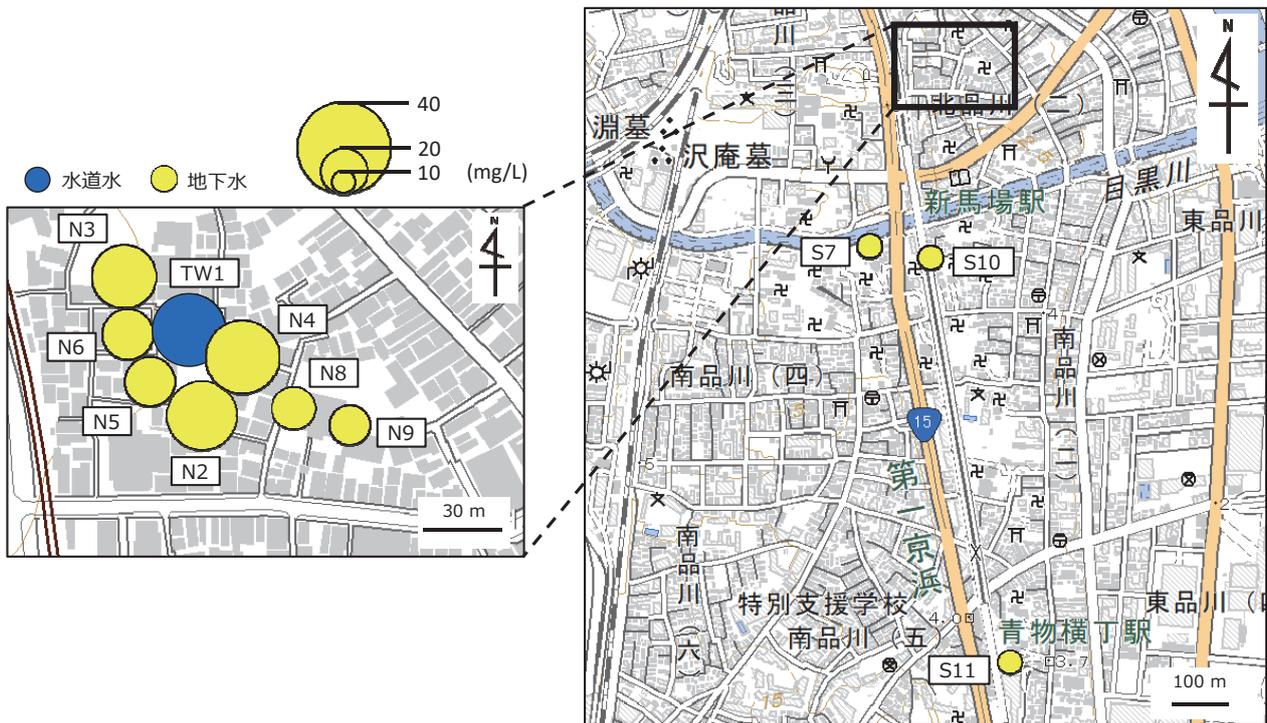


図7 塩化物イオン (Cl⁻) 濃度のバブルチャート (2019年2月27日)
基図は国土地理院地図 (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>)

汚染の有力な指標であるNO₃⁻濃度 (図8, 表2) をみても、北品川では1.6 (地点N9) ~34.1 (地点N6) mg/Lと地点間で著しい濃度の差が認められる。南品川において8.9 (地点S7) ~14.0 mg/L (地点S10) と地点間の差

が小さいことと対照的である。図9のHCO₃⁻濃度についても、南品川 (144.9~158.9 mg/L) に比べて、北品川では112.2 (地点N6) ~290.1 (地点N4) mg/Lと地点間での濃度差が大きい (表2)。北品川の隣接する井戸

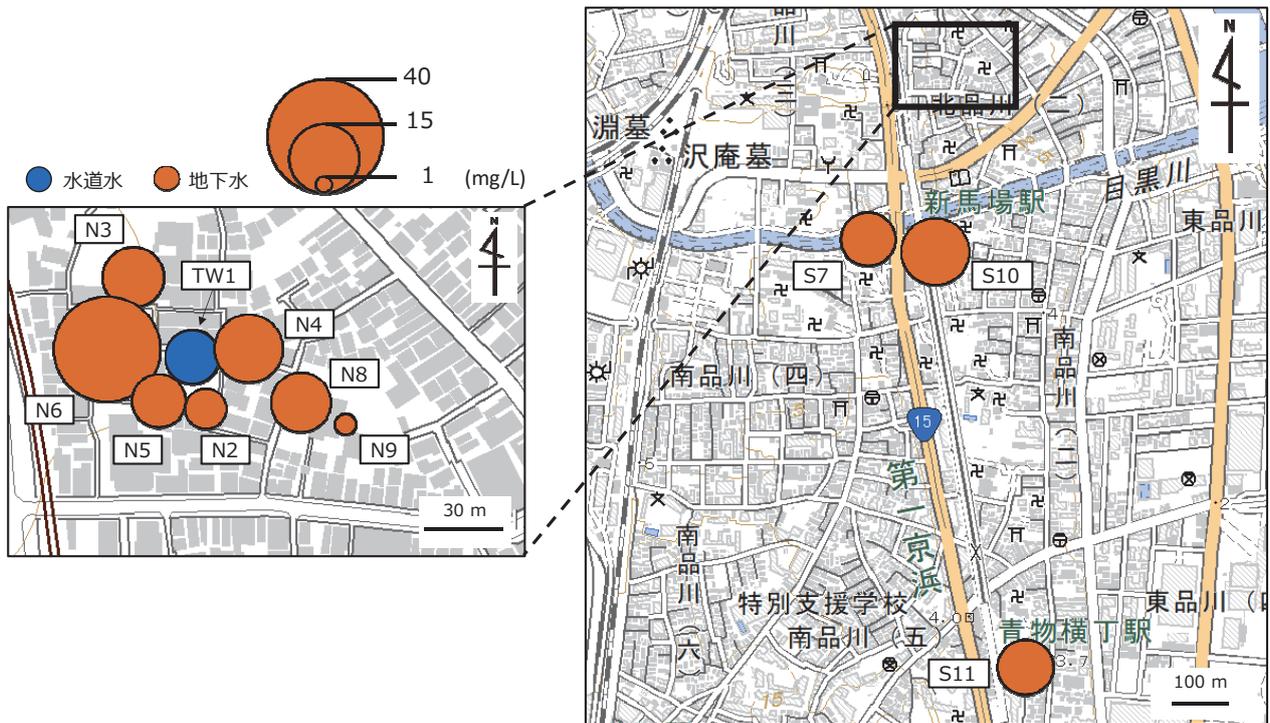


図8 硝酸イオン (NO_3^-) 濃度のバブルチャート (2019年2月27日)
 基図は国土地理院地図 (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>)

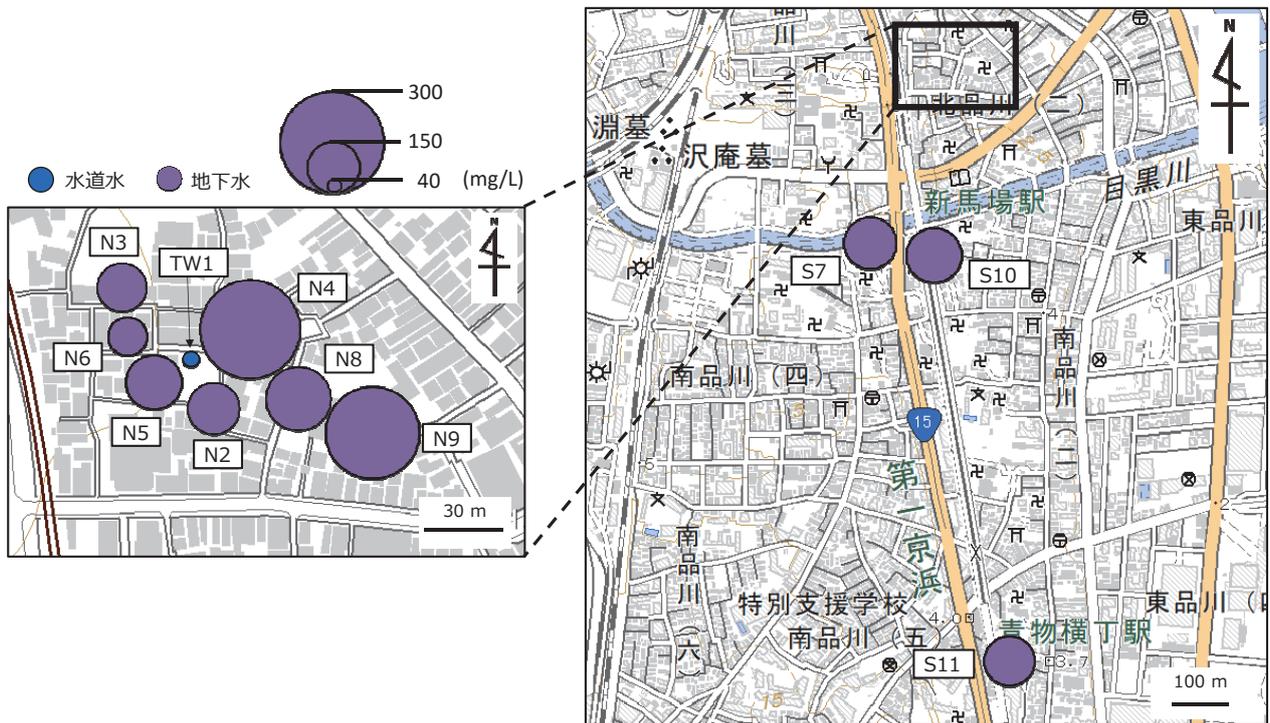


図9 炭酸水素イオン (HCO_3^-) 濃度のバブルチャート (2019年2月27日)
 基図は国土地理院地図 (<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>)

間における以上のような溶存イオン濃度の著しい違いは、武蔵野台地北部を東流する石神井川流域下部の都区部においても認められている (安原ほか, 2015)。

続いて、図10に Cl^- 濃度と NO_3^- 濃度の関係を表した。

図中の直線は、一國 (1996) による大気降水物と生活排水が示す両者の濃度の関係を示す傾向線 ($\text{Cl}^- : \text{NO}_3^- = 1 : 2$) である。南品川の地下水 (地点S7, 地点S10, 地点S11) はこの傾向線の近傍にプロットされる。しか

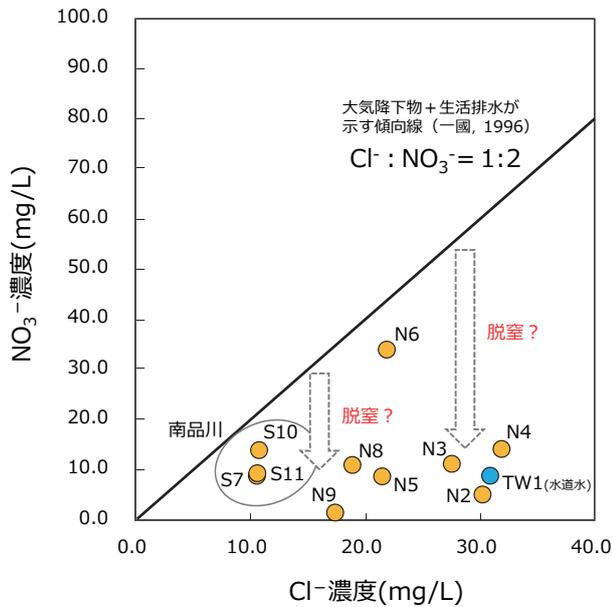


図10 塩化物イオン (Cl⁻) 濃度と硝酸イオン (NO₃⁻) 濃度の関係 (2019年2月27日)

し、北品川では地点N6を除く全ての地下水においてCl⁻濃度に対してNO₃⁻濃度の著しい低下が認められる。地下水における脱窒の進行がNO₃⁻濃度低下の原因と考えられるが、これについては第5章でさらに検討する。

4-3. 重金属類濃度

主に自然（地質）由来と考えられるFeやMnは多くの地点から検出された（表3）。ORP（表1）から判断してより還元的な環境下にあると考えられる地点N2の地下水には、Feが2,601.9 μg/L、Mnが348.8 μg/Lと特に高い濃度で含まれている。地点N2では、同じく自然由来と考えられるAlも36.9 μg/Lと高濃度で検出される。

表3 地下水の重金属類濃度測定結果 (2019年2月27日)

試料	Fe μg/L	Al μg/L	Mn μg/L	Ni μg/L	Cu μg/L	Zn μg/L	Pb μg/L	Cd μg/L
TW1	-	13.6	-	-	0.9	-	1.6	-
N2	2601.9	36.9	348.8	-	-	49.5	-	-
N3	66.6	-	2.2	-	-	-	-	-
N4	67.5	41.5	0.2	-	-	2.7	1.8	-
N5	69.3	-	393.8	0.7	6.1	29.9	-	-
N6	-	-	-	-	27.5	0.7	1.2	-
S7	131.8	-	0.5	0.6	-	-	4.8	-
N8	3.2	-	-	-	4.0	-	1.0	-
N9	-	-	2.1	-	1.4	-	-	-
S10	49.4	-	-	-	-	-	-	-
S11	125.5	-	-	0.6	3.5	-	-	-

- : 定量限界以下

Cdは全地点で定量限界以下の濃度であったが、Ni、Cu、Zn、Pbは北品川、南品川両地区の地下水から検出された。Niは北品川の地点N5 (0.7 μg/L) において、またCuとZnは同じく北品川のそれぞれ地点N6 (27.5 μg/L) と地点N2 (49.5 μg/L) において最高濃度が認められた。一方、Pbは南品川の地点S7から最高濃度4.8 μg/Lが検出された。これらの重金属類の水系への負荷は、金属製品製造工場などからの排水（点源）や雨天時の道路や屋根からの排水（非点源）によって引き起こされることが多い（内藤, 2011）。すなわち、同研究地域においては、地表で発生したこれら重金属類が地下水中に負荷されるなんらかのプロセス（ルート）の存在が示唆される。

4-4. 同位体比

表4のNO₃⁻の窒素同位体比 (δ¹⁵N) と酸素同位体比 (δ¹⁸O) の関係を図11にプロットした。北品川、南品川の全9地点（地点N2についてはデータなし）の地下水ともδ¹⁵N値が10%を超えていることが注目される。特に北品川では、地点N6 (14.7%) を除くすべての地点が19%を超える非常に高いδ¹⁵N値を示した。最高値は地点N5における24.7%である。Kendall and Aravena (1999) は下水混入時の地下水のδ¹⁵N値の目安として10%を挙げている。すなわち、北品川では地点間で程度の差はあるものの、その浅層地下水中には下水の混入が広範囲に発生している可能性を図11は示唆している。一方、南品川の3地点（地点S7、地点S10、地点S11）も10.8~17.6%と10%を超えるδ¹⁵N値を示すが、このうち地点S7の地下水は地点TW1の水道水9.4%と近い値 (10.8%) を呈する。このため、地点S7の地下水について

表4 硝酸イオンの窒素 ($\delta^{15}\text{N}$)・酸素 ($\delta^{18}\text{O}$) 同位体比測定結果 (2019年2月27日)

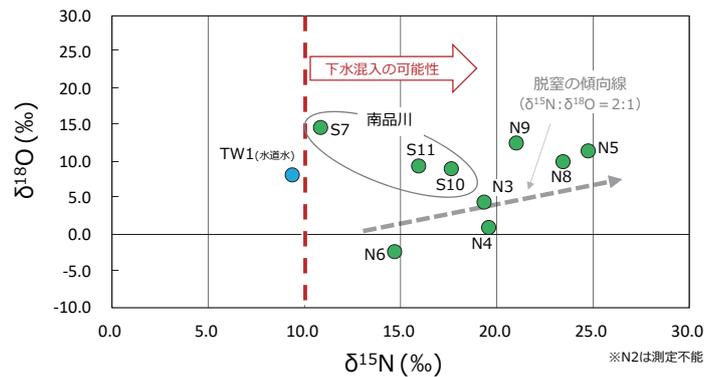
試料	NO_3^- の窒素・酸素同位体比	
	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
TW1	9.4	8.2
N2	-	-
N3	19.3	4.5
N4	19.6	1.0
N5	24.7	11.5
N6	14.7	-2.3
S7	10.8	14.7
N8	23.4	10.0
N9	21.0	12.6
S10	17.6	9.1
S11	15.9	9.4

※N2は測定不能

ては水道漏水がその主要な部分を構成している可能性があり、本データだけでは下水の混入が発生しているかどうかを断定することはできない。

5. 考察

都市の地下水の主たる涵養源としては1) 降水浸透水, 2) 水道漏水, 3) 下水漏水が挙げられる。このうち、地下水の水質に悪影響を与えるのは下水漏水である (たとえば, Vystavna *et al.*, 2018)。下水道管渠の標準耐用年数は50年とされている (国土交通省HP)。前述したように、1985年の段階で品川区の下水道普及率はすでに96%に達している (下水道東京100年史編纂委員会, 1989)。古くから人口が密集し発達してきた北品川や南品川地区においては、品川区の中でも下水道の普及は特に早かったものと想像される。今後、下水道管渠の施設年代や更新時期について詳細な情報収集を進めた上でさらに検討する必要があるが、同地域では2019年時点でかなりの下水管 (排水管・下水道管) がすでに標準耐用年数を超えている可能性は否定できない。このような古い下水管の破損箇所を通じて下水が漏出し、地域の浅層地下水に汚染物質を負荷しているものと考えられる。北品川の地下水において観測された天然の状態をはるかに超える高い Cl^- 濃度 (第4-2章; 最高濃度31.9 mg/L) や NO_3^- 濃度 (同34.1 mg/L) は、以上のような下水の混入によって引き起こされたものと推定される。重金属類の濃度 (表3) も整合的である。なお、本地域の水道水の NO_3^- 濃度は8.9 mg/L (表2; 地点TW1)、また重金属類の濃度は非常に低いため、水道漏水が地下水涵養に寄

図11 硝酸イオン (NO_3^-) の窒素同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) と酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) の関係 (2019年2月27日)

与している地点では、多くの場合、地下水中の NO_3^- 濃度や重金属類濃度を低下させる方向に作用する。

北品川では隣接する地点間で地下水の一般水質や重金属類の濃度に著しい不均質性が認められる (図6~図9, 表3)。このことから、汚染源としての下水漏水はいわゆる“点源”として作用しており、地下水汚染の発生はその周辺の限られた範囲に限定されるようである。さらに、地下水の動水勾配が 10^{-3} オーダー (2019年2月27日時点; 第4-1章) と小さいことも水質の著しい不均質性の一因となっている可能性がある。今後の豊水期における調査・分析結果を待ちたい。

なお、重金属類の濃度 (表3) や窒素同位体比 $\delta^{15}\text{N}$ の測定結果 (表4, 図11) から、北品川とは程度の差はあるものの、南品川でも浅層地下水への下水混入が発生しているものと考えられる。現時点では、北品川と南品川における下水混入の程度の違いの原因は不明であるが、両地区における公共下水道の施設年代あるいは地下水位などの水理地質学的要因が影響している可能性がある。

続いて、涵養後の地下水の水質変化について検討する。北品川では地点N6を除く地下水において、 Cl^- 濃度に対して NO_3^- 濃度の顕著な低下が認められる (図10)。これは脱窒反応によるものと考えられる。脱窒反応の発生・進行は、次の式 (2) に従って地下水中の NO_3^- 濃度の低下と HCO_3^- 濃度の上昇をもたらす。



ここで CH_2O は有機物である。図10において、大気降水物と生活排水が示す両者の濃度の関係を示す傾向線

($\text{Cl}^- : \text{NO}_3^- = 1 : 2$) から大きく外れ、 NO_3^- 濃度が低い地点N4や地点N9は、それぞれ290.1 mg/L、270.5 mg/Lと非常に高い HCO_3^- 濃度を示す(表2)。このことは、脱窒反応の発生と進行を示唆している。さらに、高い NO_3^- 濃度(34.1 mg/L)を有し、 $\text{Cl}^- : \text{NO}_3^- = 1 : 2$ の傾向線の近傍にプロットされる地点N6(図10)では、その HCO_3^- 濃度が112.2 mg/Lと低いことも整合的である。

図11の NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の関係からは、北品川の浅層地下水が脱窒の傾向線($\delta^{15}\text{N} : \delta^{18}\text{O} = 2 : 1$; Kendall and Aravena, 1999)にほぼ沿って分布していることがわかる。すなわち、北品川においては、地点N6で代表されるような性状を有する地下水($\delta^{15}\text{N}$ 値、 $\delta^{18}\text{O}$ 値、 NO_3^- 濃度がそれぞれおおよそ15%、-2%、35 mg/L程度)が始源となり、脱窒反応が始まっていることを同図は示唆している。ただし、地点N9のようにプロットの位置が明らかに外れる地下水については、脱窒開始前の地下水の地球化学的性状そのものが異なっていた可能性が高い。この点については今後の検討課題としたい。

6. おわりに

東京都品川区北品川ならびに南品川の浅層地下水を対象に2019年2月27日に現地調査を実施し、採取した水試料の分析結果に基づいて地下水の地球化学的性状を検討した。その結果、同地域の浅層地下水の水質には著しい不均質性が認められた。その原因として“点源”として地下水漏れが多量な影響を与えている可能性が高いこと、また停滞性の環境下で脱窒反応が進行して地下水の水質がさらに変化していることが明らかとなった。

都市の地下水の水質は、地点間における涵養源(降水浸透水、水道漏水、下水漏水)が果たす相対的な役割の違い、ならびに涵養後に地下水中で発生する水質の変化プロセスを反映した結果である。今後、地下水の起源となる上記3成分の相対的重要性の季節変化の調査を通じて、都市の地下水の“質”と“量”の形成プロセスをさらに詳細に評価・検討してゆく必要がある。

謝辞

2019年2月の現地調査を実施するにあたり、山岸親雄氏をはじめとする地域住民の方々ならびに品川区役所には、地下水試料の採取に際して多大なご協力をいただいた。記して感謝いたします。

参考文献

- 新井 正・新藤静夫・市川 新・吉越昭久(1987):「都市の水文環境」. 共立出版, 280pp.
- Eiswirth, M. and Hotzl, H. (1997): The impact of leaking sewers on urban groundwater *In*: Chilton, J. et al. (eds.): Groundwater in the Urban Environment. Vol. 1: Problems, Processes and Management, Balkema, 399-404.
- Ford, M. and Tellam, J. H. (1994): Source, type and extent of inorganic contamination within the Birmingham urban aquifer system, UK. *J. Hydrology*, 156, 101-135.
- 下水道東京100年史編纂委員会編纂(1989):「下水道東京100年史」. 東京都下水道局, 1084pp.
- 一國雅巳(1996): 地下水中の硝酸イオン. 地下水技術, 第38巻, 第11号, 1-10.
- 国土交通省: http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html (2019.12.12閲覧)
- 黒田啓介・福士哲雄・滝沢 智・愛知正温・林 武司・徳永朋祥(2007): 東京都区部の地下水窒素汚染の現状と汚染源の推定. 環境工学研究論文集, 44, 31-38.
- Kendall, C. and Aravena, R. (1999): Nitrate isotopes in groundwater systems. *In*: Cook, P. and Herczeg, A. L. (eds.): Environmental Tracers in Subsurface Hydrology, Springer, 261-297.
- 気象庁: https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=44&block_no=47662&year=2018&month=&day=&view= (2019.12.10閲覧)
- Lerner, D. N. (1990): Groundwater recharge in urban areas. International Association of Hydrological Sciences (IAHS) Publ. No.198, 59-65.
- 内藤 航(2011): 日本の水環境における重金属の負荷源と濃度の現状. 環境毒性学会誌, 第14巻, 第1号, 1-12.
- 品川区防災まちづくり事業部(2015): 品川みどりの実態調査報告書概要版. 品川区, 4p.
- 品川区: <https://www.city.shinagawa.tokyo.jp> (2019.12.10閲覧)
- 東京都建設局: 東京の地盤(GIS) <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jigyo/tech/start/03-jyohou/geo-web/00-index.html> (2019.05.10閲覧)
- 東京都建設局河川部: 水防災総合情報システム <http://www.kasen-suibo.metro.tokyo.jp/im/uryosui/tsim0102g.html> (2019.02.26閲覧)
- 安原正也(1997): 都市の地下水に今なにが起きているのか—量的な視点から—. 地質ニュース, No.513, 11-19.
- 安原正也・高山茂美(1999): 我が国の都道府県庁所在地における水道漏水の水文学. 地下水技術, 第41巻, 第12号, 18-26.
- 安原正也・稲村明彦・中村高志・林 武司・浅井和由(2015): 東京・石神井川流域の浅層地下水中の硝酸ならびに硫酸イオンの起源について. 日本地球惑星連合2015年大会, AHW25-P05.

Vystavna, Y., Diadin, D., Rossi, P. M., Gusyev, M., Hejzlar, J., Mehdizadeh, R. and Huneau, F. (2018): Quantification of water and sewage leakages from urban infrastructure

into a shallow aquifer in East Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 77, 748 (DOI:10.1007/s12665-018-7936-y).

A preliminary study on geochemistry of shallow groundwater in the highly-urbanized Shinagawa district, central Tokyo, Japan

ITOHI Yuki*, YASUHARA Masaya**, LEE Seongwon**
NAKAMURA Takashi*** and INAMURA Akihiko****

* Undergraduate student, Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University

** Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University

*** International Research Center for River Basin Environment, Yamanashi University

**** Geological Survey of Japan, AIST

Abstract :

A geochemical study on shallow groundwater of the densely-populated, highly-urbanized Shinagawa district, central Tokyo was carried out on 27 February 2019. Despite quite in a small area of about 0.5 km (E-W) by 1.2 km (N-S), water chemistry and isotopes of groundwater from 10 wells in the study area showed a wide range of values; for example, 32.2 – 67.6 mS/m electric conductivity, 1.6 – 34.1 mg/L NO_3^- , 10.6 – 31.9 mg/L Cl^- , 112.2 – 290.1 mg/L HCO_3^- , ~27.5 $\mu\text{g/L}$ Cu, ~4.8 $\mu\text{g/L}$ Pb and 10.8 – 24.7‰ $\delta^{15}\text{N}$. These remarkable differences in water chemistry and isotopes among the wells may result from sewage leakage strongly correlated with failures on the sewerage infrastructure, inducing nitrate and associated contaminants pollution risk of urban groundwater. It can be expected in our future study that these data will allow us to quantify 1) rainfall infiltration (natural recharge), 2) water supply leakage, and 3) sewage leakage in the shallow aquifer of the study area.

Key words : central Tokyo, urban area, shallow groundwater, water chemistry, nitrogen isotope, sewage leakage

