

都市部の近接した湧水における水質と人間活動との関係： 小学校理科教材としての可能性

野崎健太郎¹・松本嘉孝²

¹ 椋山女学園大学教育学部, ² 豊田工業高等専門学校環境都市工学科

要 旨

名古屋市千種区の近接する3つの湧水と雨水を対象にして、2015年から2017年にかけて水質の季節変化を記載し、それらに及ぼす人間活動の影響を調べた。続いて、この調査結果を教材として用いて、小学校理科の教育実践を行った。湧水の起源となる雨水の水質は、pH 4.4~5.3、電気伝導度 2 mS m⁻¹、溶存無機態窒素濃度 (DIN: dissolved inorganic nitrogen) 470 μgN L⁻¹であった。湧水の水質は、人間活動の影響が無い金明水では、pH 5.1~5.5、電気伝導度 2 mS m⁻¹、DIN 13 μgN L⁻¹であったが、都市部の本山では pH 5.8~6.5、電気伝導度 10 mS m⁻¹、DIN 2000 μgN L⁻¹、椋山小学校では pH 6.3~9.5、電気伝導度 24 mS m⁻¹、DIN 5000 μgN L⁻¹となり、都市中心部に近い湧水ほど、水質は弱酸性から中性および弱アルカリ性へと変化し、電気伝導度と溶存無機態窒素濃度が高い値を示した。したがって、都市部の人間活動は、湧水の水質を大きく改変していることが明らかになった。教育実践は、小学校第5学年理科の河川の授業で行った。授業の主題は、「身近にある川のはじまり—椋山小学校から川のはじまる」とし、ねらいは、「1 川は斜面から湧出する湧水からはじまる」、「2 湧水の水質には人間活動が大きな影響を及ぼす」の2点を設定した。授業には、地理院地図の3D機能を用いた地形解析と、本格的な手法による亜硝酸態窒素 (NO₂⁻-N) 濃度の比色分析を組み込んだ。この教育実践で、生徒の印象に残った内容は、1位が亜硝酸態窒素濃度の分析、2位が湧水は川のはじまり、であった。これらの生徒の評価は、授業のねらい1と2に関係することから、湧水は理科教材として有用である可能性が示唆された。教材の質を高める今後の研究課題としては、都市部の湧水で高い濃度を示す溶存無機態窒素の起源解明、教育効果の測定、教科教育への位置付け、災害教育における教材化の4点を挙げた。

キーワード：湧水、水質、人間活動、理科教育、小学校

1. 本研究の目的と背景

湧水は、雨水の浸透によって涵養された地下水が、不透水層に沿って地表面に現れる場所であり (Wetzel 2001 の Figure 4-1, 日本陸水学会 2006)、その周辺は、土壤水分が飽和した湿地となり、河川、湖沼そして海に至る水の流れの源となる。したがって、湧水の研究は、湿地から連なる地域の水の循環過程を理解するための基盤の1つとなる。本研究の目的は2つに大別される。1つ目は、都市部の近接する3つの湧水を対象にして水質の季節変化を記載し、それらに及ぼす人間活動の影響を明らかにすることである。2つ目は、この調査結果を用いて小学校理科の教育実践を行い、教材としての可能性を検討することにある。まず、これら2つの目的を設定

した背景を述べる。

湧水や溪流源頭部の水質は、例えば、植生やその発達段階 (浅野ら 1999)、基盤地質と滞留時間 (辻村ら 2001, Asano et al. 2009, 野崎ら 2021)、土地利用や生活排水など人間活動 (野崎・辻 1999, 辻ら 1999, 田村ら 2000, 野崎 2018) の影響を受ける。Rossi et al. (2015) は、フィンランド北東部に位置する Oulanka 国立公園の、およそ 6 km × 13 km の範囲にある 41 の湧水を対象に、水質と基盤地質および地下水が流入する範囲 (capture zone) の土地利用との関係を調べた。その結果、湧水の殆どは、基盤地質の苦灰岩 (ドロマイト) と石灰岩の影響を受け、カルシウムイオン、pH、アルカリ度が高い値を示し、一部は過去の小規模農業の影響を残し、亜

硝酸態および硝酸態窒素濃度が高くなることを明らかにした。野崎（2018）は、尾張丘陵東部の段丘崖にみられる湧水と溪流源頭部の水質を調べ、基盤地質である砂礫層の影響は珪酸濃度、人間活動の影響は溶存無機態窒素濃度から判断できると述べている。したがって、湧水の水質は、地域の基盤地質の影響の上に、人間活動の負荷を受け形成され、この傾向は、施肥の影響が大きい農地や、人口が集中する都市部において顕著になる。本研究は、都市部を対象とするため、次に先行研究の事例を示す。

東京都国分寺市の、国分寺崖線沿いには湧水群が見られ、野川や真姿の池は、都市部の湧水として最も良く調べられている場所の1つである。これらの湧水では、東京農工大学の小倉紀雄博士の研究室によって、1975年から2002年までの28年間、月1回程度の観測が継続され、高い硝酸態窒素濃度等の水質形成に、生活雑排水の寄与が大きいことが明らかにされてきた（吉田・小倉 1978, Ogura and Yoshida 1981, Ogura and Morikawa 1985, Kato and Ogura 1992）。対馬ら（2008）は、この28年間の観測結果を総括し、1980年から1990年代の下水道整備に伴い、硝酸イオン、塩化物イオンが緩やかな減少傾向に転じていることを明らかにしたが、人間活動の影響は、長期間残存し2040年～2060年まで継続することを予測している。これらの研究成果は、市民による環境保全活動を支える理論的な基盤の1つとなり（小倉 2002）、社会教育の教材としての役割を果たしている。

本研究の対象地域となる名古屋市は、人口230万人の日本第4位、中部圏最大の都市である。市内の湧水は、環境省 web site の湧水保全ポータルサイト、名古屋市 web site の湧き水モニタリングで目録が公開されているが、論文として公刊された詳細な環境情報の記載は、丘陵地帯で都市部とは言い難い北東部の守山区（吉田ら 2015）、周囲を住宅地に囲まれながらも独立した丘陵緑地で人間活動の影響が少ない天白区八事裏山（浅井ら 2020）、に限られており、湧水への人間活動の影響は明らかではない。本研究2つ目の目的は、都市部の湧水と人間活動との関係を小学校理科教材として位置付けることにあるが、現状では、教材化を実現する情報が不足してい

る。そこで、角田（2011）の実践と同様に、自らの調査による情報不足の解消が、本研究1つ目の目的の意義となる。

続いて、2つ目の目的の意義を述べる。河川が人間生活に大きく影響する日本では、小学校第5学年理科に設定された「流れる水の働きと土地の変化」で、侵食・運搬・堆積の3作用を絡めて、河川と地形との関係について学ぶ。小学校第6学年理科では、「生物と環境」で、降雨、地下水、湧水、河川そして海へと連なる水の循環を学ぶ（文部科学省 2017）。いずれの学年においても河川が重要な教材となる。河川は水源から海に至る連続体であり、教授者と学習者はともに上流、中流、下流、あるいは瀬、淵といった部分の理解に留まらず、全体を包含する流域俯瞰の視点を持つことが大切である（牧野 2006, 野崎ら 2017）。この河川の始まりは湧水であるが、小学校第5学年理科の教科書には、その場所が山間部の上流域にあると図示されている（大日本図書 2020）。そのため、主として沖積地に形成される都市部の子どもたちは、川の始まりについて、実感の伴った理解を育むことが難しい。ただし過去の地形図を参照すると、都市部を流れる中小河川は、かつて沖積地の背後に位置する丘陵部の谷間の源頭部、河岸段丘の崖線、扇状地末端からの湧水によって涵養されていたことが読み取れる。この湧水が現存していれば、都市部にある河川の始まりとして格好の理科教材になると考えられる（野崎・鳥居 2017）。さらに湧水がつくりだす湿地は、地域の生物多様性の創出において重要な場となる。特に本研究の対象地域である名古屋市を含む東海地域では、丘陵部斜面からの湧水によって涵養される小規模な湿地に、トウカイコモウセンゴケ (*Drosera tokaiensis*) やシラタマホシクサ (*Eriocaulon nudicuspe*) 等の東海丘陵要素と総称される希少な植物群、ハッチョウトンボ (*Nannophya pygmaea*) やヒメタイコウチ (*Nepahoffmanni*) といった小動物が生息している（中村ら 2011, Minami et al. 2016, 富田 2018）。湧水が地域の希少な自然環境の1つであることに気づくためにも、湧水を教材化することには意義がある。

日本における湧水の教材化と教育実践は、高等学校地学（大島・宮下 2000, 宮下・大島 2001, 宮下

2003), 高等学校地理 (角田 2011), 大学の教養教育 (野崎・宇土 2011) で報告されているが, 小学校では, 岩井ら (2018) によるタンクモデルを用いた地下水の浸透と湧出を可視化する教材開発と, 小学校 5, 6 年生を対象とした総合的な学習の時間における教育実践のみである。ただし, 岩井ら (2018) の教育実践は, 授業参観した教師からの意見収集が目的であり, 実践自体の内容については不明である。海外に目を向けると, 欧州で興味深い研究が行われている。Reinfried et al. (2012) は, 13 歳のスイス人学生 81 人に, 湧水の起源に関する認識を絵で示させ, 彼らの先入観を明らかにした。多くの学生は, 浸透した雨水が, 鍾乳洞から連想される固い岩石に囲まれた地下の空洞に貯留され, それは何らかの力によって地表面に湧出する仕組みを想定していた。そこで, 彼らは, 丘陵地の斜面モデルを用いた教材を提案した。引き続き, Reinfried et al. (2015) は, 12 歳のスイス人学生 73 人に, ペットボトルを用いた水の浸透実験 (Plastic bottle model) や斜面モデルを用いた地下水の湧出実験 (Landscape model) を含んだ学習課程を実践し, 事前, 事後および追跡試験を行い, 湧水への概念が再構築され, それは 2 か月間維持されていたことを報告した。これら Reinfried et al. (2012, 2015) の研究からは, 丘陵地の斜面と湧水との関係を説明する教材開発, そして体験的な学びを含んだ学習課程の考案が, 認知の確立に効果的であることが示唆される。

そこで本研究では, 名古屋市中心部で, 丘陵地から平地への移行部に位置する千種区において, 湧水の起源となる雨水, および人間活動の影響が異なる 3 つの湧水を対象とした水質の記載を行い, その調査結果を用いて小学校第 5 学年理科で教育実践し, 都市水環境の教材としての湧水の可能性を検討した。

2. 方法

2.1 調査地

本研究は, 尾張丘陵の一部である東山丘陵から平野への移行部である名古屋市千種区で行った (Fig. 1)。千種区は, 緑地として保全されている東山や平和公園を除き, 全域が都市化されている。調査地となる湧水は, 東山動植物園から八事

裏山へと続く, 東山丘陵の雑木林斜面に湧出する金明水 (Kinmeisui), 都市化された斜面から湧出する本山の湧水 (Motoyama) と, 椋山女学園大学附属小学校 (以下, 椋山小学校) の湧水 (Sugiyama elementary school) の 3 地点を選んだ (Fig. 1)。この地域の地質基盤は, 礫径が数 cm~10 cm のチャートの円礫や亜円礫を主とした河成礫層の唐山層・八事層である (坂本ら 1986)。平成 30 年 (2018 年) 3 月に発行された「なごや集約連携型まちづくりプラン」の 2 章では, 名古屋市内を, 都心域, 都心域周辺, 駅そば, 郊外の 4 種類に区分している (名古屋市 2018)。金明水は「鉄道駅から 800 m 以上離れた地域」と定義される郊外, 本山と椋山小学校は, 「地下鉄を中心とした鉄道網が充実した交通利便性が高い地域 (おおむね地下鉄名城線で囲まれる範囲)」と定義される都市域周辺に位置する。ただし, 本山は駅そばや郊外との境界, 椋山小学校は都心域との境界に近接している。

金明水が湧出する斜面上部には人工物はなく, 大気由来以外の人間活動の直接的な影響はないといえる。礫が優占する砂礫層から湧出し, 背後の東山丘陵の雑木林は, 落葉広葉樹であるコナラ (*Quercus serrata*) とアベマキ (*Quercus variabilis*) を中心に, 常緑広葉樹のアラカシ (*Quercus glauca*), 常緑針葉樹のアカマツ (*Pinus densiflora*) の混交林である。主要樹種は, 玉木ら (2016) が調査した, 近接する名古屋市北東部の都市緑地の天然性林に類似している。林床の腐葉土は, 谷間を除けば厚い場所でも 10 cm 程度の堆積であった。本山の湧水は, 浄教寺の背後の宅地化された斜面から湧出し, 排水溝を経て暗渠に流入している。椋山小学校の湧水は, 宅地化された丘陵斜面下部にあたる, 校庭に設置されたビオトープに湧出している (野崎・宇土 2011)。本山と椋山小学校の周囲は, 全て宅地化され, 斜面背後の周囲 1 km の範囲に, 農耕地や大規模な公園緑地は存在しない。雨水は東山に隣接する, 椋山女学園大学星が丘学舎 (Hoshigaoka) の教育学部棟の屋上で採取した。

各調査地点の地理的な情報は, Table 1 に示した。雨水を採取した星が丘の標高が, およそ 84 m で最も高く, 次いで金明水の 64 m, 本山と椋山小学校は,

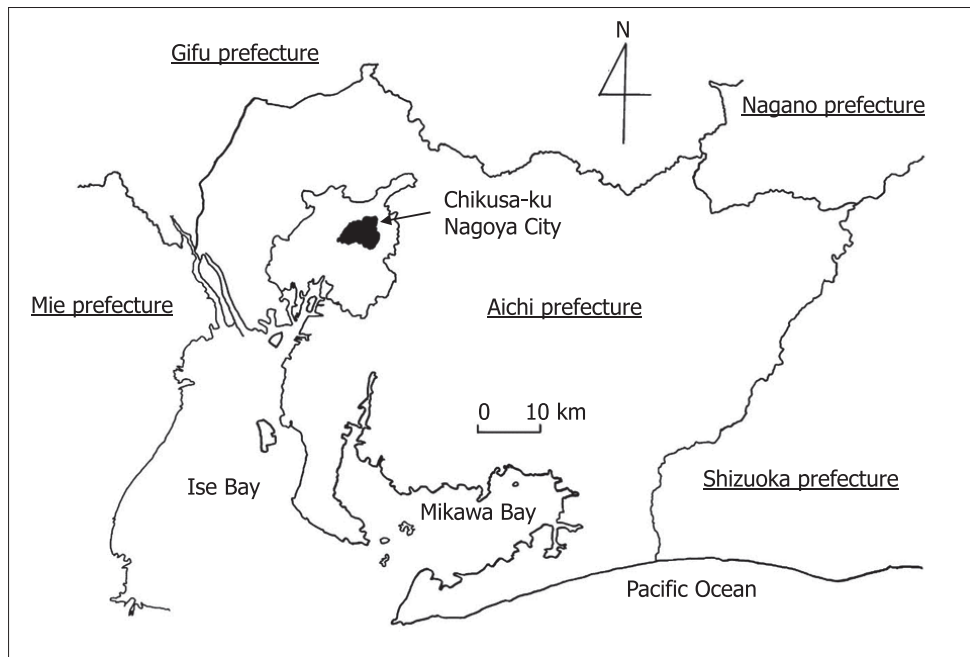


Fig. 1 名古屋市千種区の位置と採水を行った金明水、本山および椋山小学校の3つの湧水の写真.

Fig. 1 Location of Chikusa-ku in Nagoya city and photos of the three springs, Kinmeisui, Motoyama and Sugiyama elementary school, where water samples were collected.

Table 1 各調査地点の地理情報.

Table 1 Geographical information for each sampling station.

| Site | Category | Latitude | Longitude | Elevation m |
|----------------------------------|-----------|-----------|------------|----------------|
| Kinmeisui (Higashiyama) | Spring | 35° 09'02 | 136° 59'05 | 64 |
| Motoyama | Spring | 35° 09'58 | 136° 58'03 | 27 |
| Sugiyama elementary school | Spring | 35° 09'53 | 136° 57'04 | 27 |
| Sugiyama University (Hoshigaoka) | Rainwater | 35° 09'37 | 136° 59'14 | 84 |

ともに 27 m であった。各調査地点の位置関係と地形は Fig. 2 に示した。星が丘からの直線距離は、金明水で 1 km、本山で 2 km、椋山小学校で 3 km 程度であり、3つの湧水は近接し、起源となる降雨の質的、量的な影響は同程度であるとみなせる (Fig. 2)。したがって、湧水の水質に違いが表れた場合には、地表面から地下部への浸透過程に及ぼす、環境の影響に由来すると判断することができる。Fig. 2

から、3つの湧水は、地形的には、いずれも谷底に近い斜面に湧出していることがわかる。湧出後の水は、暗渠に入り地表面には現れないが、金明水は植田川を経て天白川へ、本山と椋山小学校は山崎川を経て、隣接しているが別水系として伊勢湾に流入している。本山と椋山小学校は同じ標高であるが、より名古屋市中心部に近いのは椋山小学校である。

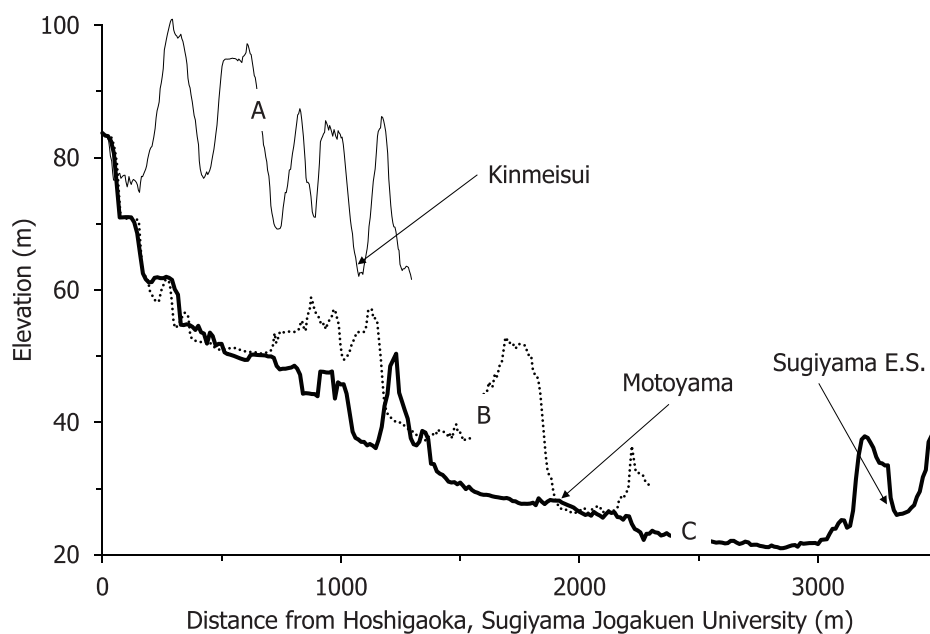


Fig. 2 採水地点の位置 (画像は Google Earth より取得) と区間 A, B および C の地形断面図 (数値は地理院地図 web site より取得)。

Fig. 2 Location of sampling stations (picture was cited from Google Earth) and topographic cross sections of lines A, B and C (data of elevation were cited from the website of GSI maps).

2.2 湧水の採取

現地調査は、月1回の頻度を基本に、金明水と本山では、2016年3月から2017年4月にかけて14回、椋山小学校では2015年5月から2017年4月にかけて24回行った。採水は、なるべく湧出地点に近い場所で行い、水温をアルコール温度計、pHを比色法（共立理化学研究所 WAK-pH, WAK-BCG）、電気伝導度を伝導度計（TOA DKK CM-21P）で測定した。金明水および本山の湧出量は、ポリカップで一定時間に湧出する水を受け、その水量をメスシリンダーで計量した（野崎 2014）。椋山小学校は明確な湧出地点が確定できず、湧出量を測定することができなかった。代わりに、定点で水深を測定した。溶存酸素濃度は、Winkler アジ化ナトリウム変法により現地で固定し、直射光を避け冷やしながら実験室に持ち帰り、滴定によって定量した（松本・野崎 2014）。椋山小学校では溶存酸素を毎回測定したが、金明水と本山では、調査期間の最終である2017年4月に1回だけ測定を行った。水質分析用の試水は、100 mL ポリ瓶2本に採取し溶存酸素の試料と同様に直射光を避け冷やしながら実験室に持ち帰った。

2.3 雨水の採取

雨水は、降雨中に、耐熱ガラス製の1 L ビーカー（IWAKI Pyrex AGC テクノグラス）4～5個を屋上に設置して採取した。屋上表面からの、雨水の跳ね返りによる汚染を避けるために、ビーカーは洗浄したバット上に並べた。ビーカーは、降雨が始まった5～10分後に設置し、深夜帯を除き、降雨が終了する、あるいは水質分析に必要な量を得ると直ちに回収した。したがって、本研究では、調査期間中の全ての雨水を採取しているわけではない。採取日、時間および水量は Appendix 5 に示した。2016年5月から2017年4月にかけて26回採取した。雨水は採取後、直ちにpHを比色法（共立理化学研究所 WAK-pH, WAK-BCG）、電気伝導度を伝導度計（TOA DKK CM-21P）で測定した。

2.4 水質分析

試水の1本は、濁度を濁色度計（日本電色 WA 1）で測定した後、紙ろ紙（ADVANTEC No. 6）でろ過し、

モリブデン黄色法による珪酸（ SiO_2 ）の比色分析（松本・野崎 2014）に用いた。もう1本は、ガラス繊維ろ紙（ADVANTEC GF-75）でろ過し、色度を濁色度計（日本電色 WA 1）で測定した後、インドフェノール法によるアンモニア態窒素（ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）、ジアゾ化法による亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ）、サリチル酸ナトリウム法による硝酸態窒素（ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ）および、モリブデン酸アンモニウム法によるリン酸態リン（ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ）の比色分析（松本・野崎 2014）に用いた。珪酸、溶存態窒素、リン酸態リンの比色分析は、分光光度計（日立 U-1000）で行った。雨水の分析も同様の手順である。

なお、本研究で用いた濁色度計の単位は「度」であるが、これは一般的な濁度の標準物質（ポリスチレン等）を 1 mg L^{-1} で懸濁させたときを1度に設定している。そこで本研究では、1度を 1 mg L^{-1} で示した。

2.5 教育実践

2.5.1 対象

教育実践は、女子児童のみが在籍する椋山小学校で行った。対象は第5学年の理科で、単元「流れる水の働きと土地の変化（9時間完了）」の最終9時間目である。実践者は、筆頭著者の野崎である。野崎が保有する教員免許は高等学校および中学校理科1種であるため、実践は担任教諭もしくは理科専科教諭の同席の下で、2016年11月24日、2017年12月21日に行った。実践者は、2016年に満48歳、2017年に満49歳であった。椋山小学校5年生は、1クラス27人で2016年度2クラス、2017年度3クラス編成であった。この実践は全てのクラスで正規の授業時間45分間で実施し、同じ内容の授業を2016年は2回、2017年は3回繰り返した。授業の主題（めあて）は、「身近にある川のはじまり－椋山小学校から川がはじまる」とし、ねらいは、「1川は斜面から湧出する湧水からはじまる」、「2湧水の水質には人間活動が大きな影響を及ぼす」の2点を設定した。

椋山小学校は、生活科や理科の授業で湧水を水源とするビオトープを活用しており、休み時間にはビオトープで自然観察を行う児童も多い。児童会の1

組織である環境委員会ではビオトープの調査も行われている（野崎・宇土 2011）。したがって、湧水を含むビオトープは、相山小学校の児童にとって最も身近な陸水環境の1つである。

2.5.2 教材

教材として、ねらい1では、既に教育効果が検証されている、Google Earthによる画像提示（相場・真砂 2006, 野崎ら 2017）に加え、地理院地図（国土地理院 web site）の3D機能を用いた。3D機能によって、Reinfried et al.（2012）が指摘した重要な視点、すなわち湧水が湧出する場所は、斜面の谷間にあることを視覚的に伝えることができる。

ねらい2では、Reinfried et al.（2015）が、斜面模型を用いた体験的な活動を取り入れることで教育効果を高めた成果を受け、水質分析を導入した。Reinfried et al.（2015）の斜面模型や岩井ら（2018）のタンクモデルは、湧水の仕組みを理解させることに主眼を置いた地学/地理学的な視点からの教材であるが、湧水への人間活動の影響を可視化するためには、環境基準の中心的な指標となる、水質という化学的な視点からの教材が有用である。学校現場では、水質分析の手法としてパックテストに代表される簡易法が利用されるが、測定値の信頼性を確保することは意外に難しい（大島・宮下 2000, 紀平ら 2012, 野崎 2016）。さらに野崎（2012a, 2012b）は、人文社会学系の大学生の授業や実習において、BODや硝酸態窒素濃度を測定する際に、簡易法ではなく、本格的な実験を行うことで授業満足度が高まることを明らかにしている。そこで、反応が安定しており、発色が美しいジアゾ化法による亜硝酸態窒素（NO₂⁻-N）の分析を実施した。後述するが、相山小学校の湧水は、東山の金明水に比べ、亜硝酸態窒素を含む溶存無機態窒素濃度が顕著に高く、実験によるその対比は、児童に強い印象を与えることが期待できる。実験に必要な試薬（松本・野崎 2014）と器具は **Table 2** に示した。

児童には、授業の流れ、実験手順、考察に用いる情報を記載したA3用紙1枚の資料を配布した（Appendix 1）。授業内容については、学校長、教頭、理科専科教員に文書で提出し、事前指導を受けた。

Table 2 亜硝酸態窒素（NO₂⁻-N）の分析に必要な試薬、器具および試水。

Table 2 List of reagents, tools and water samples for NO₂⁻-N analysis.

| Reagents for NO ₂ ⁻ -N analysis 亜硝酸態窒素分析用の試薬 | amount 分量 |
|---|-------------------|
| Sulphanilamide solution スルファニルアミド溶液 | 100 mL, 3 bottles |
| N-1-Naphthylethylenediamine Dihydrochloride solution N-1 ナフチルエチレンジアミン 溶液 | 100 mL, 3 bottles |
| Tools for NO ₂ ⁻ -N analysis 亜硝酸態窒素分析用の器具 | number 数量 |
| 10 mL pipette ガラスピペット 10 mL | 8 |
| 2 mL pipette ガラスピペット 2 mL | 8 |
| Silicon nipple シリコン製ニップル（球） | 8 |
| Test tube stand 試験管立て | 8 |
| 20 mL glass test tube ガラス試験管 20 mL | 30 |
| 100 mL glass beaker ガラスビーカー 100 mL | 8 |
| Water samples 試水 | amount 分量 |
| Spring water of Kinmeisui 金明水の湧水 | 1000 mL |
| Spring water of Sugiyama elementary school 相山小学校の湧水 | 1000 mL |

2.5.3 手順

準備

授業を行う理科室は、実験卓が8つ設置され、児童は3~4人ずつ8班に分かれる。まず試薬、試水、器具を教師が班ごとに用意しておく。試薬のN-1 ナフチルエチレンジアミン溶液（N-1 ナフチルエチレンジアミン二塩酸塩 0.1 g を蒸留水 100 mL に溶かす）は 10 mL を 100 mL ガラスビーカーに分注する。試験管立てに3本試験管を入れ、試水の①相山小学校の湧水、②金明水の湧水、③相山小学校の水道水をそれぞれ 10 mL 注ぎ、スルファニルアミド溶液（スルファニルアミド 1 g を 10% 塩酸水溶液 100

mLに溶かす) 1 mLを添加する。3本の試験管には①～③の付箋を付けておく。試薬の入ったビーカー、試験管①～③を入れた試験管立て、2 mL ガラスピペット1本とシリコン球は、バット内にまとめておく。これを8組用意し、教卓上に並べる。試水①椚山小学校の湧水は、授業前日に理科専科教諭の指導で児童が、試水②金明水は、実践者がそれぞれ採取し、冷蔵庫(5℃)で保存した。

導入(10分)

まずA3用紙1枚にまとめた資料(Appendix 1)を児童全員に配布する。続いてMicrosoft Power Pointで作成した川の上流、中流、下流の写真スライドを用いて、単元全体の内容を振り返り、川が持つ侵食、運搬、堆積の3作用によって大地がつけられることを確認する。併せて、川、海、雲を通じて水が循環していることに触れる。

展開1(10分)

実践者は児童に「川のはじまりは、どのような場所であろうか?」と問いかけ、班で相談しながら配布資料(Appendix 1)に書き込ませる。実践者は机間指導を行いながら、児童の意見への声掛けを行う。概ね書き終わったところで、ねらい「1川は斜面から湧出する湧水からはじまる」を伝えるために、Microsoft Power Pointで斜面からの湧水の写真スライドを見せながら、地下に浸透した雨水が湧出する場所から、川がはじまることを話す。教科書では、川のはじまる場所は、山地の谷間にあることが図示されているが、実は身近な場所にもあることを伝え、Google Earthの画像を用いて、東山の金明水が天白川の、本山と椚山小学校が山崎川の水源の1つであることを紹介する。さらに地理院地図の3D機能を用いて、金明水、本山、椚山小学校が、斜面の谷間にあり、地形的には河川上流域に相当することを確認する。

展開2(15分)

教卓の周囲に児童を集め、実践者は試験管に入れた金明水、椚山小学校の湧水、水道水を見せながら、見た目は透明で変わらないが何か違いはあるのだろうか?と問いかける。金明水と椚山小学校では、周囲の風景(土地利用)が異なることに児童が気づくように言葉のやり取りを行う。続いて、ねらい「2湧

水の水質には人間活動が大きな影響を及ぼす」を考えるために実験を行う。準備した試水と試薬をバットごと各班に配布し、2 mL ガラスピペットを用いてN-1 ナフチルエチレンジアミン溶液1 mLを試験管に添加し変化を観察するように指示する。必ず1人1回は試薬を添加することを強調し、1人の児童が独占しないように配慮する。児童には、教師が指示を出すまで試水、試薬、実験器具に触れないこと、ガラス器具が破損した場合は破片に触らず教師に連絡すること、試薬が肌に付いたときには教師に連絡し水道水で洗い流すことを伝える。

結果とまとめ(10分)

3本の試験管のうち、①椚山小学校のビオトープのみが発色したことを全員で確認し、測定した物質は亜硝酸態窒素であることを述べ、その濃度が人間活動から排出される生活雑排水に大きく影響されることを話す。名古屋市という大都市にも川のはじまりがあるが、それらは人間活動によって地形、水質が大きく改変されていることを説明する。単元のまとめとして児童には、今日の授業で学んだ内容を基盤に、椚山小学校は水源を守るために何ができるかを問いかけ、班で話し合う。話し合った結果を発表し授業を終える。最後のまとめは、水の環境問題を扱う、第6学年理科「生物と環境」への接続を意識している。

2.5.4 児童への知識伝達の介入

小学校学習指導要領解説 理科編、第2章 理科の目標及び内容、第1節 教科の目標、「見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して」には、「児童は、既習の内容や生活経験を基にしながら、問題の解決を図るための根拠のある予想や仮説、さらには、それを確かめるための観察、実験の方法を発想することになる。これは、児童が自分で発想した予想や仮説、そして、それらを確かめるために発想した解決の方法で観察、実験などを行うということであり、このようにして得られた観察、実験の結果においても、自らの活動としての認識をもつことになる。このことにより、観察、実験は児童自らの主体的な問題解決の活動となるのである。」と記述されており(文部科学省2017)、観察・実験を通じて児

童が自ら知識を獲得する重要性が強調されている。

しかしながら、本研究では、実践者が展開1で湧水の写真、Google Earthの画像、地理院地図の3D画像を示しながら湧水が斜面から生じること、水質分析後のまとめで、都市部の湧水は、人間活動の影響によって水質が変化している仕組みを説明し、児童への知識伝達の介入を行った。これは、本教育実践は単元のなかの1時間のみであり、関連する知識を伝えない場合、単なる体験活動に終始してしまうことや、遠西ら(2018)が指摘する観察や実験の意味や目的を、児童が十分に理解できず、「半わかり」の状態で授業が進行することを危惧したためである。介入は写真や地図の観察と水質分析の実験の直後に行った。

2.5.5 評価

教育実践への児童の評価は、2016年には授業を受けて強く印象に残った内容を、1～3位の順位を付けて3点挙げる形式で行った(野崎2012b, 野崎ら2017)。評価は、授業後、当日の下校時間までの余裕のある時間帯に、担任教諭や理科専科教諭に依頼して、2クラスの全員54名から回収した。児童への説明は、担任教諭もしくは理科専科教諭が行い、「今日の理科の授業を受けて心に残った内容を3つ挙げてください。3つの内容は心に強く残った順番で順位をつけて配った紙に書いてください。」と話してもらい、回答は白紙への自由記述とした。今回このような簡便な評価法を採用した理由は、小学校5年生は選択肢の多い質問紙や、自由記述の質問紙に回答することが難しい、長時間を要する質問紙調査に対応できる時間帯が無い、という椋山小学校からの指摘による。児童は、例えば、1位：実験、2位：椋山小学校が川のはじまりであること、3位：亜硝酸態窒素と回答してくるため、これを集計し、どのような内容や言葉が児童の印象に残ったかを検討し、教材化の可能性を考察した。

2017年は、当日が12月の授業最終日で、時間に余裕がなかったため、2016年とは異なり、児童には、印象に残った内容を1つだけ挙げる形式となり、3クラス中、2クラス53名からの回収に留まった。2016年と同様に、説明は担任教諭もしくは理

科専科教諭が行い、回答は白紙に記述してもらった。なお、全体の26%にあたる14名の児童が、自主的に感想文を記述してくれたため、その内容も評価の材料として用いた。この14名の児童以外にも、感謝の言葉や1行の感想を書いてくれた児童もいたが、これらは含めていない。

中村ら(2021)は、理科教育学の再現性の危機とその原因についてまとめ、原因の1つとして研究成果の過度の一般化を挙げている。彼らは、一般化に耐えうるのは、量的研究でかつ帰無仮説検定を用いた検証的研究のみであり、質的研究や量的研究であっても、帰無仮説検定を用いない探索的研究は結果を一般化することはできないと整理している。したがって我々は、本研究を小学校理科への湧水の教材化の可能性を検討する質的研究、あるいは探索的研究と位置付けて実践を行った。

3. 結果と考察

3.1 湧水の水質と人間活動との関係

本研究で得られた湧水の情報は、理科教育学の再現性の確保に寄与するオープンサイエンスの推進(中村ら2021)と教材作成の基礎資料になることを考慮し、Appendix 2～5にまとめた。3つの湧水と雨水の濁度と色度の平均値は、それぞれ金明水が 0.1 mg L^{-1} 、 0.4 mg L^{-1} 、本山が 0.3 mg L^{-1} 、 1.3 mg L^{-1} 、椋山小学校が 0.5 mg L^{-1} 、 2.2 mg L^{-1} 、雨水が 0.7 mg L^{-1} 、 0.7 mg L^{-1} であった。本調査で対象とした湧水は、いずれも濁り成分を含まず、視覚的には清澄な状態であることがわかった。ここでは、まず湧出量と水温の概要を説明する。続いて3つの湧水の水質を比較し、周辺環境条件や人間活動との関係を考察する。

3.1.1 湧水量と水温

湧出量は、金明水が平均 58 L h^{-1} で最小30(5月29日)～最大 84 L h^{-1} (4月25日)、本山が平均 48 L h^{-1} で最小20(12月16日)～最大 133 L h^{-1} (9月29日)、椋山小学校が水深0.5～6.0 cmの幅で変動し枯渇することはなかった。金明水が湧出する、東山と隣接した八事裏山の湧水では $36\sim 4068 \text{ L h}^{-1}$ の湧出量(浅井ら2020)、千種区に近接する、日進市

の尾張丘陵の湧水では、砂礫層からは平均 $70 \sim 80 \text{ L h}^{-1}$ 、変成岩体からは平均 108 L h^{-1} の湧水量が報告されており（野崎・各務 2014, 野崎ら 2021）、金明水と本山、そして湧水量は不明であるが椋山小学校は、それらと比べて規模の小さな湧水であり、降雨や気温等の気象条件や、人間活動からの影響が反映されやすい場であることがわかった。

Fig. 3 は、水温と千種区本山の名古屋地方気象台で測定された、日平均気温の季節変化である。金明水は平均 14°C で $10 \sim 19^\circ\text{C}$ 、本山は平均 16°C で $10 \sim 27^\circ\text{C}$ 、椋山小学校は平均 17°C で $9 \sim 24^\circ\text{C}$ の変

動幅であった。冬期は地点間の差が小さいが、夏期、特に 6 月から 9 月にかけては、金明水に比べ本山と椋山小学校では顕著な上昇がみられる。本山と椋山小学校の周囲の斜面は、地表面の大部分がコンクリートやアスファルトに覆われ、蒸発や蒸散が抑制されている。名古屋市全体の緑被率は 2000 年の段階で 25% であり、言い換えれば地表面の 75% が、不透水性のコンクリートやアスファルトである（野崎 2010）。このような地表面は、夏の日中に極端な高温になり（新井 2004）、これが湧水の水温上昇を引き起こしていると推察される。

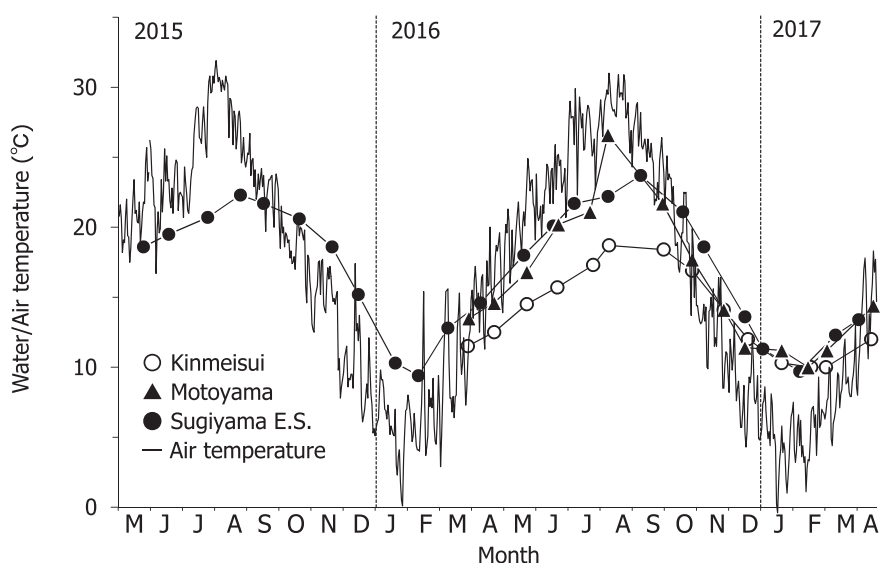


Fig. 3 金明水 (○)、本山 (▲) および椋山小学校 (●) の湧水の水温および名古屋市の日平均気温の季節変化。気温の数値は気象庁 web site から取得した。

Fig. 3 Seasonal changes in the temperature of spring water in Kinmeisui (○), Motoyama (▲) and Sugiyama elementary school (●), and the daily average air temperature at Nagoya city. Data on air temperature were cited from the website of the Japan Meteorological Agency.

3.1.2 溶存酸素濃度、電気伝導度および pH

Fig. 4 には、現場水温から推定された飽和溶存酸素濃度と、実際の溶存酸素濃度との関係を示した。金明水と本山の濃度は、飽和濃度と同程度であり、椋山小学校は平均 $6.9 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ で、大部分が飽和度 60% 以上を示した。尾張丘陵では、礫よりも砂や粘土が優占する瀬戸層群矢田川累層や変成岩体からの湧水で、平均 $2.5 \sim 2.6 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ 、飽和度 20~40%（野崎・各務 2014, 野崎ら 2021）が、一方、礫が多く含まれる豊田市の拳母層の湧水では $8 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ 、飽和度 80%（野崎 2018）が報告されている。したがって、礫が優占する唐山層・八事層を基盤とする

本研究の調査地は、地中の間隙が大きく透水性が高いため（浅井ら 2020）、地下水の滞留時間は短くなり、湧水の溶存酸素濃度は低下しにくいと説明することができる。椋山小学校では、近隣の湧水の結果（野崎ら 2021）とは異なり、地表面に存在する水と同様に、水温と溶存酸素濃度との間に有意な負の相関があり ($r = -0.690$, $n = 24$, $p < 0.01$)、大気の影響が大きく滞留時間が短いことが裏付けられる。

Fig. 5 は、電気伝導度と pH との関係である。電気伝導度の平均値と pH の幅は、金明水で電気伝導度 2 mS m^{-1} 、pH 5.1~5.5、本山で 10 mS m^{-1} 、5.8~6.5、椋山小学校で 24 mS m^{-1} 、6.3~9.5、雨水で 2 mS m^{-1} 、

4.4~5.3 となった。人工建造物や人間活動が周辺にみられる湧水ほど、水質は電気伝導度が高く、弱酸性から弱アルカリ性へと変化した。浅井ら (2020) は、金明水と同じ東山丘陵から湧出し、人間活動の直接的な影響が無い八事裏山の湧水で、電気伝導度の平均値が 2.77 mS m^{-1} 、pH が 4.6 であったことを

報告している。後述する珪酸濃度から、3つの湧水と八事裏山は地質基盤を同じくすることが示される。したがって、金明水や八事裏山の湧水は、大気由来以外の人間活動の影響がほとんどない場であると判断でき、本山と椋山小学校には、人間活動の影響が付加されているとみなせる。都市部は、地表面がア

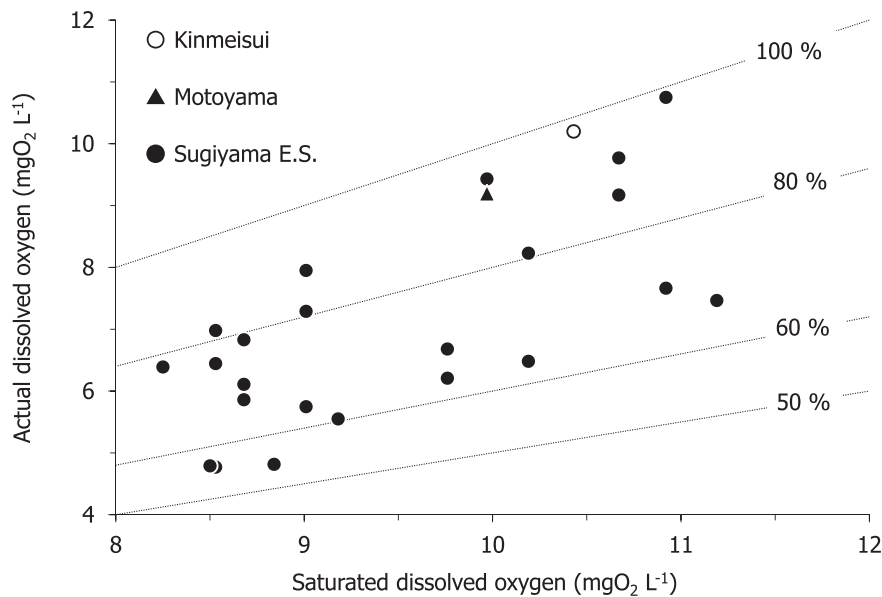


Fig. 4 金明水 (○), 本山 (▲) および椋山小学校 (●) の湧水における水温から推定された飽和溶存酸素濃度と実測された溶存酸素濃度との関係。

Fig. 4 Relationship between saturated dissolved oxygen concentration estimated on water temperature and actual concentration in the springs in Kinmeisui (○), Motoyama (▲) and Sugiyama elementary school (●).

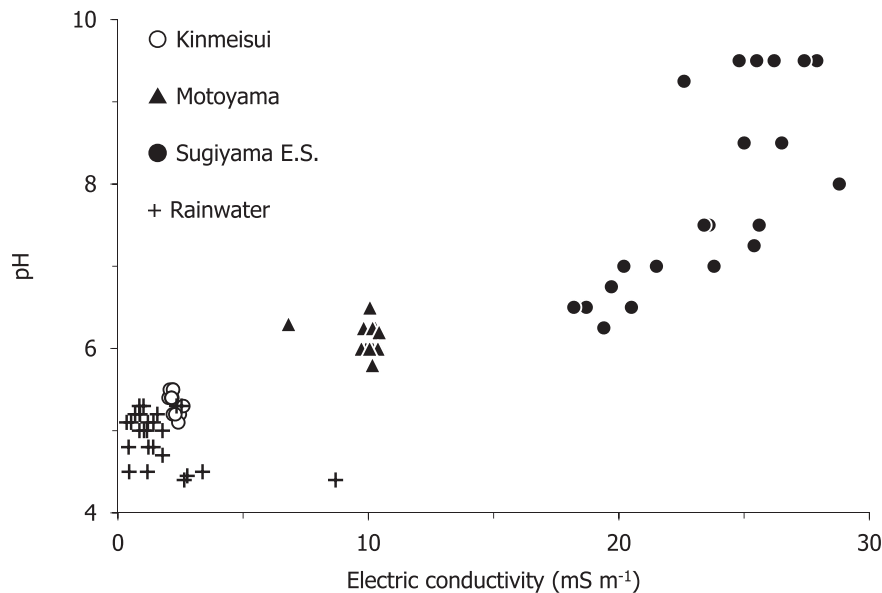


Fig. 5 金明水 (○), 本山 (▲), 椋山小学校 (●) の湧水および雨水 (+) の電気伝導度と pH の関係。

Fig. 5 Relationship between electric conductivity and pH in the springs in Kinmeisui (○), Motoyama (▲) and Sugiyama elementary school (●), and that of rainwater (+).

スファルトやコンクリートで覆われており、雨水はそれらを溶かしながら地下に浸透するため、地下水中の溶存無機物質濃度が増加し、酸緩衝機能が働いたと考えられる。例えば、早野ら（2017）は、アスファルト舗装を切断する際の、冷却水から生じる切断汚水の水質を調べ、pHが10.3であったことを報告している。このような人間活動の影響で、都市部の土壌はアルカリ性になる。実際に増田ら（1980）は、名古屋市中心部4地点で街路樹が生育する土壌のpHを測定し、6~7の値を示す土壌が全体の16%、7~8が53%、8~9が12%と、中性からアルカリ性の土壌が8割を占めることを明らかにした。東京でも小沢ら（1975）によって同様の傾向が報告されている。

3.1.3 溶存無機態窒素、リン酸態リンおよび珪酸濃度

主要な栄養塩類であり、人間活動からの付加による、水域の富栄養化物質として扱われる溶存無機態窒素（アンモニア態、亜硝酸態および硝酸態窒素の和）、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度の平均値±標準偏差の値はTable 3に示した。溶存無機態窒素濃度の平均値は、金明水では雨水の3%に満たない低い値となり、この低下は植生による吸収（徳地ら2011、野崎ら2021）の結果と考えられる。本山と椋山小学校の溶存無機態窒素濃度は、雨水の5~10倍、金明水の150~400倍となる高い値を示し、窒素付加の影響がみられた。湧水の溶存無機態窒素濃度に占める硝酸態窒素の割合は、金明水では調査期間中2回の22%、23%を除けば72~100%、本山では97~100

%, 椋山小学校では72~98%の範囲であり、アンモニア態窒素の割合が高い雨水の36~62%に比べて高くなった。Fig. 4に示した通り、湧水の溶存酸素濃度は飽和度60~100%であり、湧水に付加されたアンモニア態窒素は、速やかに硝化されていると考えられる。溶存無機態窒素濃度が最も高い椋山小学校では、雨水や他の湧水からは、ほぼ検出できなかった亜硝酸態窒素が高い濃度を示した。一方で、リン酸態リン濃度は雨水および3つの湧水の間で大きな違いはみられなかった。Fig. 6は、珪酸濃度と溶存無機態窒素濃度との関係である。珪酸は雨水には、ほとんど含まれず、3つの湧水では、いずれも7~11 mgSiO₂ L⁻¹の範囲であり、これまでに尾張丘陵砂礫層からの湧水や、小河川源頭部で報告された値と同程度であった（辻村ら2001、野崎2018、浅井ら2020、野崎ら2021）。したがって、雨水が浸透する基盤地質と地下水の滞留時間は、これら3つの湧水において同じ条件にあることがわかった。一方で、溶存無機態窒素濃度は、変動幅を含めても湧水間で明瞭に異なり、名古屋市千種区では、都市中心部に近づくにつれて、湧水の溶存無機態窒素が顕著に高くなる傾向が明らかになった。

Fig. 7は、本研究の結果に、先行研究（野崎2018、野崎ら2021）の結果を加えた尾張丘陵南部の、砂礫層からの湧水、および雨水の電気伝導度と溶存無機態窒素濃度の関係である。湧水中の溶存無機態窒素濃度は、電気伝導度2~5 mS m⁻¹では、雨水に比べて低くなっているが、7~10 mS m⁻¹から急激な上昇となり、18 mS m⁻¹あたりで頭打ちとなる、シグモイド型の傾向を示した。電気伝導度は、珪酸濃度と同じく、基盤地質と地下水の滞留時間に影響を受

Table 3 各調査地点における溶存無機態窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度の平均値±標準偏差。

Table 3 Mean ± SD values of DIN (dissolved inorganic nitrogen), NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N and PO₄³⁻-P concentrations at each sampling station.

| Site | Number of samples | DIN μgN L ⁻¹ | NH ₄ ⁺ -N μgN L ⁻¹ | NO ₂ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | NO ₃ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | PO ₄ ³⁻ -P μgP L ⁻¹ |
|----------------------------|-------------------|----------------------------|--|--|--|---|
| Kinmeisui (Higashiyama) | 14 | 13 ± 13 | 2 ± 4 | N.D. | 11 ± 13 | 2 ± 2 |
| Motoyama | 14 | 2007 ± 292 | 13 ± 17 | N.D. | 1994 ± 301 | 2 ± 2 |
| Sugiyama elementary school | 24 | 5119 ± 454 | 271 ± 245 | 184 ± 164 | 4665 ± 523 | 3 ± 3 |
| Rain water (Hoshigaoka) | 26 | 465 ± 300 | 235 ± 145 | 1 ± 1 | 230 ± 164 | 2 ± 2 |

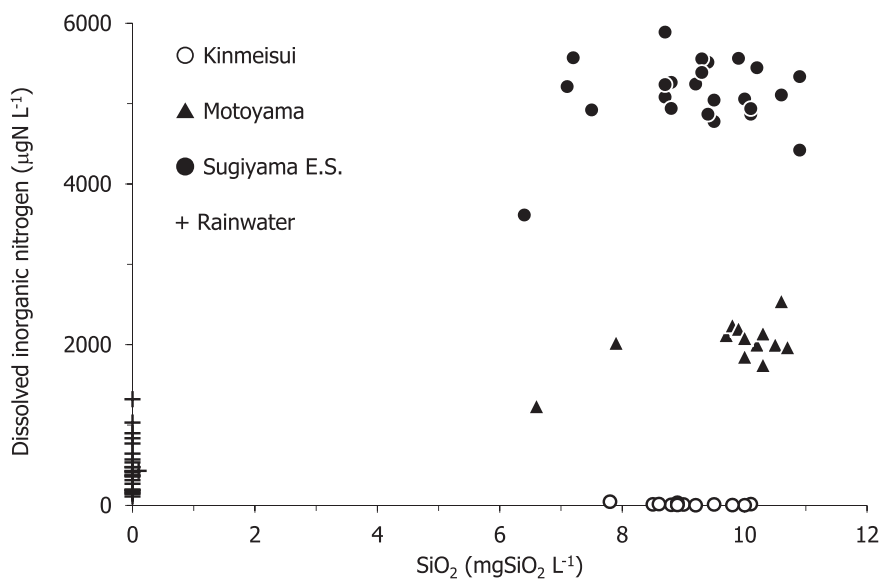


Fig. 6 金明水 (○), 本山 (▲), 梶山小学校 (●) の湧水および雨水 (+) の珪酸濃度と溶存無機態窒素濃度 (アンモニア態, 亜硝酸態および硝酸態窒素濃度の合計値) の関係.

Fig. 6 Relationship between SiO_2 concentration and dissolved inorganic nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$) concentration in the springs in Kinmeisui (○), Motoyama (▲) and Sugiyama elementary school (●), and that of rainwater (+).

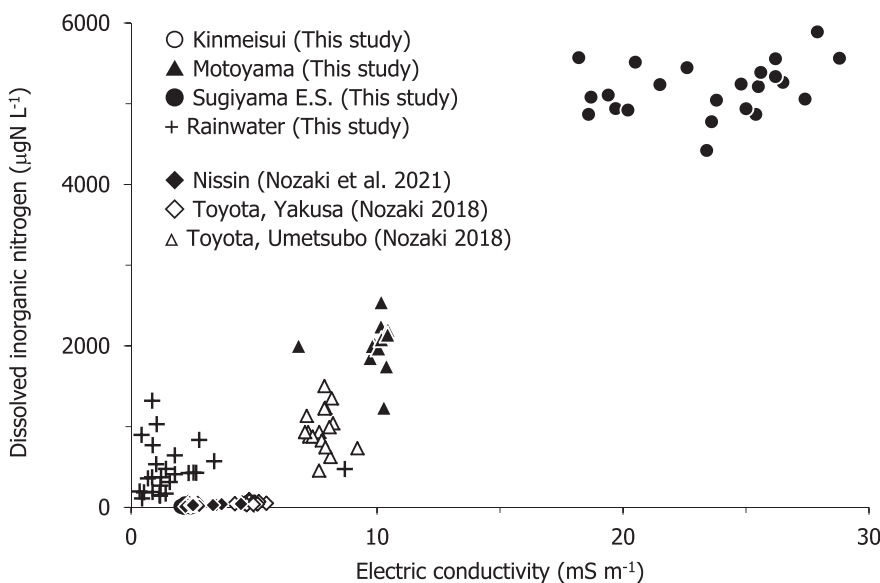


Fig. 7 尾張丘陵の砂礫層からの湧水および雨水の電気伝導度と溶存無機態窒素濃度 (アンモニア態, 亜硝酸態および硝酸態窒素濃度の合計値) の関係. 金明水 (○), 本山 (▲), 梶山小学校 (●) および雨水 (+) の値は本研究, 日進市 (◆) は野崎ほか (2021), 豊田市八草 (◇) と梅坪 (△) は, 野崎 (2018) から引用した.

Fig. 7 Relationship between electric conductivity and dissolved inorganic nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$) concentration in the springs flowing from the sand and gravel layer at the southern part of the Owari Hills and in the rainwater. The values for the springs at Kinmeisui (○), Motoyama (▲), Sugiyama elementary school (●) and the rainwater (+) were cited from this study. Nissin city (◆) was cited from Nozaki et al. (2021), and Yakusa (◇) and Umetsubo (△) at Toyota city were cited from Nozaki (2018).

けるが、尾張丘陵南部の砂礫層では、珪酸濃度の結果 (Fig. 6) が明確に示している通り、ほぼ同じ条件である。したがって、電気伝導度の上昇、および、それに伴う溶存無機態窒素濃度の上昇は、人間活動の影響といえる (Rossi et al. 2015, 野崎 2018)。都市部の湧水における高い溶存無機態窒素濃度は、先に研究の背景で論じた通り、下水道が普及する前は、人間活動による生活雑排水の地下浸透に由来している。名古屋市下水道の人口普及率は、2019年度で99.3%であり (名古屋市上下水道局 web site)、生活雑排水の影響が、直接、湧水の水質に表れているとは考えにくい。下水道普及後の窒素の有力な起源としては、下水管からの漏水、公園や家庭菜園への施肥 (Ford and Tellam 1994, 黒田ら 2007)、道路塵埃等の地表堆積物からの溶出 (Kojima et al. 2011, 小島ら 2012)、過去の付加の長期に渡る残存 (対馬ら 2008, Rossi et al. 2015) が挙げられる。小島ら (2012) は、雨天時の道路排水中の窒素形態別濃度を測定し、本山の硝酸態窒素濃度と同程度の値を得ている。このことから、本山の硝酸態窒素の発生源としては、都市域のノンポイント汚染 (尾崎 2016) によるものと考えられる。椋山小学校は、硝酸態窒素濃度がどの地点よりも高いことに加え、亜硝酸態窒素およびアンモニア態窒素も高いことが特徴である。Kojima et al. (2011) および小島ら (2012) は、関東の異なる2地点で雨天時の道路排水を調査しているが、いずれの地点でも亜硝酸態窒素の検出はほとんどない。Appendix 4によると、亜硝酸態窒素濃度は、2015年の12月から2016年の7月に高い濃度であり、その時期にはアンモニア態窒素濃度も高くなる傾向にある。そのため、大気降下物や道路排水などのノンポイント汚染ではなく、アンモニア態窒素の混入により、硝化の過程で亜硝酸態窒素の濃度検出があったと考えられる。アンモニア態窒素の発生源を突き止めることは困難であるが、アンモニア態窒素濃度の急激な上昇が2016年の1月から2月の短期間にみられることから、湧水の涵養域での大量の施肥などが原因として示唆される。ただし、本研究では、窒素や酸素安定同位体比等の起源を推定する追跡指標 (角皆 2018) を測定していないため、これ以上の考察は控える。

尾張丘陵の砂礫層からの湧水では、リン酸態リン濃度は、年平均値で2~4 $\mu\text{gP L}^{-1}$ が報告されており (野崎・各務 2014, 野崎 2018, 野崎ら 2021)、本研究で得られた値も、これら先行研究と同程度であった。一方で野崎ら (2021) は、変成岩体からの湧水では、年平均値が15 $\mu\text{gP L}^{-1}$ で、近接する砂礫層に比べ高いことを明らかにしており、リン酸態リン濃度は基盤地質の影響を受けていることが示唆される。窒素が都市中心部に近づくにつれ増加することから、リンも窒素同様に人間活動から付加されているとみなすのが自然であるが、湧水の水質には反映されていない。この理由としては、土壤によるリン酸態リンの吸着と保持が有力である。早川 (2018) の総説によれば、一般的な土壤におけるリン酸態リンの保持の主体は、一次鉱物の風化によって生成した鉄、アルミニウムの酸化物や水酸化物、粘土鉱物といった二次鉱物であり、その吸着反応は、強固で安定的な配位子交換が起こりやすいとされている。本研究の調査地の基盤地質は、河川の堆積作用によって形成された砂礫層であり、粘土鉱物を中心に二次鉱物を多く含むと考えられる。そのため、地下水中のリン酸態リンは吸着により、土壤に保持され、湧水中には放出されにくい状態に置かれているのであろう。他には、窒素との供給の不均衡が考えられる。Vitousek et al. (2010) の総説では、陸域の生物活動を律速するリン制限の仕組みを6つ取り上げ、その1つとして人為的なリン制限 (Anthropogenic P limitation) について説明している。例えば、大気降下物によって人間活動由来の窒素が大量に供給された場合、土壤からのリン供給が追い付かず、生態系はリン律速になってしまう。鉱物起源のリンは、生物体に多く含まれる窒素に比べ枯渇しやすい栄養塩であり、本山や椋山小学校のように窒素供給が大きな場では、リンは速やかに生物体に取り込まれ、低濃度になっていることが推察される。

3.1.4 名古屋市千種区における砂礫層からの湧水の水質形成過程

Fig. 8 は、本研究前半の結果をまとめた模式図である。人間活動の影響が小さい森林では、雨水中の溶存無機態窒素は植生に吸収されるが、その後、地

下水として浸透する基盤地質は、溶脱を強く受けた河川堆積物で構成された砂礫層のため、化学的風化による酸緩衝の働きは小さい。この結果、湧水の水質は、低い溶存無機態窒素濃度と電気伝導度、弱酸性を示す（野崎ら 2021）。一方、都市部では、人間活動による窒素や溶存無機態イオンの付加、地表面のコンクリートによる酸緩衝の働きから、湧水の水

質は、雨水に比べ、顕著に高い溶存無機態窒素濃度と電気伝導度、中性から弱アルカリ性を示すことになる。したがって、都市部の人間活動は、同じ雨水を起源とする近接した湧水の水質を大きく改変していることが明らかになった。この事実を教材として、子どもたちに伝えることが次の教育実践の課題である。

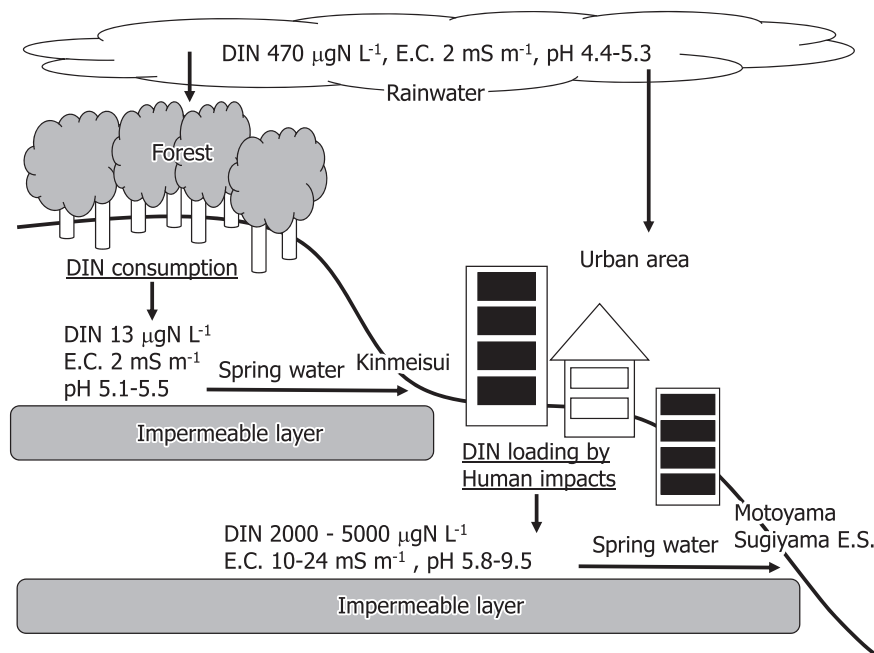


Fig. 8 名古屋市千種区における湧水の水質形成過程の模式図。
 Fig. 8 A schematic picture of the formation processes of water quality on the springs at Chikusa-ku, Nagoya city.

3.2 教育実践の評価

3.2.1 湧水の教材化の可能性

Fig. 9 は、2016年11月24日に行った教育実践の様子である。導入では、斜面からの湧水が河川の始まりであること (Fig. 9A) を、写真と地理院地図で示し、金明水、本山、栢山小学校の湧水が、いずれも谷間の斜面に位置することを、地理院地図の3D機能を用いて視覚的に印象付けた (Fig. 9B)。亜硝酸態窒素濃度の分析では、児童らは、ピペットを用いて試薬を1 mL 採取し、試験管中の試水に添加する手順に苦労していたが (Fig. 9C-E)、全ての班が栢山小学校の試水で赤紫色の発色反応を生じ、金明水と水道水の試水で発色が無いことを確認した (Fig. 9F)。実験後は、栢山小学校の湧水で亜硝酸態窒素が高くなる理由について、都市部の人間活動

と関係付けて説明した。このように本実践では実践者が観察や実験の直後に関係する知識伝達の介入を行った。そこで、この介入時期の是非を考察する。原田ら (2019) は理科全般に対する興味よりも、観察・実験に対する興味が高い水準にある理由として、観察・実験は一般的に実験室で行われ、日常の座学の授業では使用しない実験器具や試薬などを扱うため、学習環境の新奇性を提供する。そのため生徒は、観察・実験にポジティブな感情を持ちやすいと述べている。本実践でも授業を参観していた理科専科教諭、担任教諭、教頭、校長らから、観察・実験中の児童の意欲の高まりについては指摘があった。齋藤ら (2020) は、平均程度からやや高い学力を持つ公立高校生 883 名を対象に、理科学習に対するポジティブ感情と、観察・実験に対するポジティブ感情

は並列しえる構成概念であることを見だし、生徒の観察・実験に対するポジティブ感情が低い状態で、深い価値の認知に介入すると理科全般に対するポジティブ感情を、より低減させてしまう可能性を示唆

している。本実践では、観察や実験で児童の意欲が高まっている時に介入を行っており、適切であったと考えられる。



Fig. 9 梶山小学校5年生の理科における授業実践の写真 2016年11月24日。A 授業の導入。B 湧水と地形の関係を地理院地図の3D（立体画像）機能で説明する。C-E ピペットを用いて亜硝酸態窒素分析用の試薬を試験管に添加する。F 亜硝酸態窒素の発色。

Fig. 9 Photos of science learning class for fifth-grade students in Sugiyama elementary school on 24 November 2016. Photo A was the introduction of the class. Photo B was taken during the illustration of the relationship between spring water and the topography using a GSI map with a three-dimensional graphical function. Photos C-E showed the addition of the reagent for NO_2^- -N analysis to the glass test tube using a pipette. Photo F showed the colouring of NO_2^- -N analysis.

最後のまとめでは、水源である梶山小学校の湧水を保全するために意見を出し合った。最初は、ごみ拾い、給食の残食を減らす、水をきれいにする機械を設置する等の意見が出されたが、実践者が、小学校第5学年理科「植物の発芽、成長、結実」での学びについて思い出すように助言したところ、植物の成長には肥料が必要であることに気づいた児童から、ビオトープ内に稲や水草を植える、周辺に木を増やして肥料として吸収してもらうという意見が出てき

た。実践者はこの授業としての結論は出さず、第6学年理科「生物と環境」での学びでもう1度、考えてもらうよう児童に依頼し締めくくった。

2016年11月24日の授業を受けた生徒の意見は、**Fig. 10**に示した。印象に残った内容の1位は、亜硝酸態窒素の分析が最も多く、A組で27名中24名89%、B組で27名中19名70%の生徒が挙げている。2位は、湧水は川のはじまりでA組33%、B組41%、3位は人間活動による水質の悪化でA組44%、

B組 31%となり、それぞれ最も多くなった。2017年の結果は、Fig. 11 に示した。研究方法で述べた通り、2学期の最終日のため時間不足により、1位のみの記述で、3クラス中2クラス 53名からの回

収に留まった。1位は、亜硝酸態窒素の分析でA組 69%、C組 70%、2位は、湧水は川のはじまりでA組 23%、C組 22%となり、2016年と同じ結果となった。本教育実践のねらいは、「1川は斜面から湧出

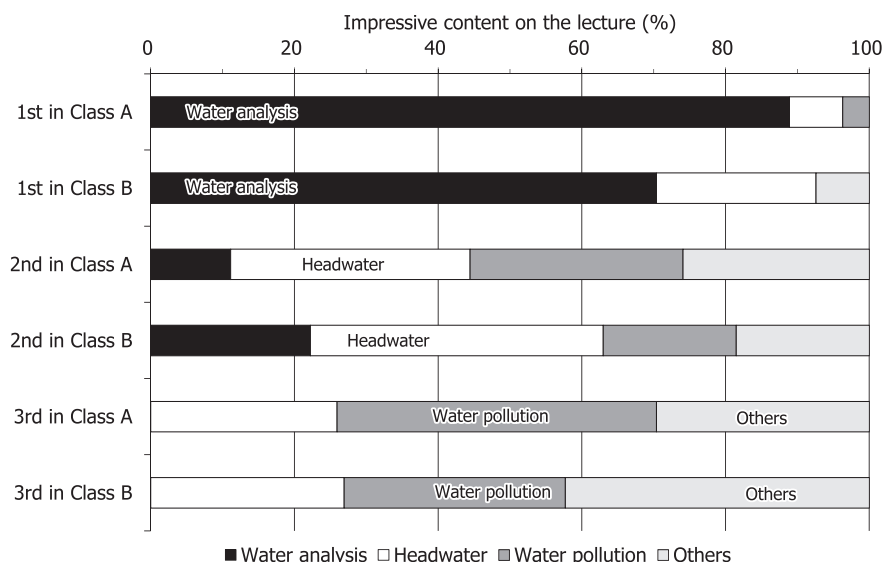


Fig. 10 2016年11月24日の理科の授業を受けた小学校5年生（10～11歳）のA組とB組の生徒各27名が印象に残った内容として挙げた1位から3位の割合。Water analysis：亜硝酸態窒素の分析体験，Headwater：都市河川の水源としての湧水，Water pollution：人間活動による湧水の水質汚染。

Fig. 10 Ratio of the fascinating contents ranked from 1st to 3rd selected by twenty-seven elementary school students aged from 10 to 11 years old of the classes A and B in the science lecture on 24 November 2016. Water analysis: $\text{NO}_2\text{-N}$ analysis, Headwater: spring as a headwater of an urban stream, Water pollution: water pollution of spring by human impact.

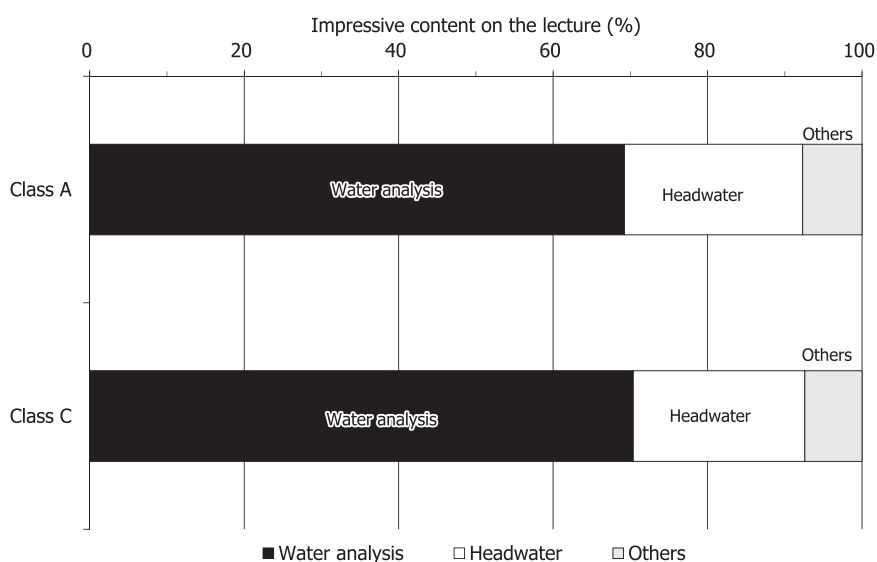


Fig. 11 2017年12月21日の理科の授業を受けた小学校5年生（10～11歳）のA組とC組の生徒各27名が印象に残った内容の割合。Water analysis：亜硝酸態窒素の分析体験，Headwater：都市河川の水源としての湧水。

Fig. 11 Ratio of the fascinating contents selected by twenty-seven elementary school students aged from 10 to 11 years old of the classes A and C in the science lecture on 21 December 2017. Water analysis: $\text{NO}_2\text{-N}$ analysis, Headwater: spring as a headwater of an urban stream.

する湧水からはじまる」, 「2 湧水の水質には人間活動が大きな影響を及ぼす」の 2 点であるが, ねらい 1 は, 2016 年, 2017 年ともに印象に残った内容の 2 位であり, Reinfried et al. (2012) に倣い, 斜面の谷間に湧水が存在し, それが川のはじまりとなるという過程を, 地理院地図の 3D 機能を用いて強調したことが, 生徒に伝わったと考えている。ねらい 2 は, 2016 年には 3 位であったが, 2017 年には登場しなかった。ただし, ねらい 2 は, 1 位であった亜硝酸態窒素の分析を基盤としているため, 70~90% の生徒に強い印象を与えた水質分析は, それを通じて, ねらい 2 の達成に関与していると思われる。そこで水質分析等の実験が学習に及ぼす効果を, 先行研究の成果から検討する。

Hofstein and Lunetta (2004) の総説では, Project-Based Science の時代になり, 科学教育における実験室活動の導入が, 豊かな学びにつながる重要な要素であることが強調されている。野崎 (2012a, 2012b) は人文社会学系の大学生, 紀平ら (2012) は高等学校の生徒を対象に, Winkler 法による溶存酸素濃度の定量を含む BOD (生物化学的酸素要求量) 試験, サリチル酸ナトリウム法による硝酸態窒素濃度の比色定量分析, といったやや本格的な水質分析 (松本・野崎 2014) を導入した教育実践を行い, 水質分析の体験が受講者の授業満足度を高め, 知識の定着にも効果があったことを, 授業評価アンケートや定期試験の得点から報告している。研究の背景で紹介した Reinfried et al. (2015) のペットボトルを用いた水の浸透実験や, 斜面模型を用いた地下水の湧出実験を取り入れた教育実践も含め, Hofstein and Lunetta (2004) の指摘と同じく, 実験を導入した授業は, 受講者の意欲を高め, それが知識の定着へと正の効果を持つことが期待できる。一方で, Osterlind and Hallden (2007) は, 13~14 歳の生徒 5 名を対象に, 陸水域の水質汚染の仕組みを理解させるために, 汚染された湖での野外巡検や水質分析を取り入れた教育実践を行ったが, 生徒たちの知識定着が不十分であったことを報告している。この教育実践の不備は, 論文の著者らが述べているように, 例えば野外巡検において湖の汚染と流域との関係を, 教師が明示しなかったことによる基礎知識の習得不

足が挙げられる。さらに我々は, 水質分析では教師の演示実験が中心で, 生徒の課題への意欲や興味関心を引き出すことが難しかったことも原因の 1 つとして考えている。したがって, 本教育実践では, 自らの手による亜硝酸態窒素濃度の分析に加え, 実践者が知識伝達の介入を行うことで, 小学校 5 年生の生徒が, 椋山小学校の湧水における高い濃度の由来として, 都市部の人間活動の影響について理解を得たと考えられる。

次に, 2017 年の授業後に, 14 名の児童が記述した感想文について分析を行う。句読点を含む文字数は, 最少 78 文字, 最多 231 文字で平均 152 文字であった。全文は Appendix 6 にまとめた。ここでは, 記述内容から湧水と川のはじまりについて書かれたもの, 水質について書かれたもの, 総合的に書かれたもの, に分けて説明する。引用する児童の文章は記述のままであり下線は著者らによる。

湧水と川のはじまりに関する児童 11 の感想文は, 「私は, 今日の授業でおどろいたことがいくつかありました。それは山崎川の前の源流が, この椋山小学校にあったということです。少しずつチョロチョロと流れる小川だということは知っていたけれど, 源流だとは, 思わなかったからです。私はこのことから, 源流は全部が全部, 山の中にあるわけではないのだと思いました。理科の学習を通して, これからもっと知りたいな, と思いました。」と記述されていた。この他, 児童 1, 2, 4, 6, 8, 14 の 6 名の感想文にも, 椋山小学校に川の水源があることへの率直な驚きがかかれていた。これら感想文の記述からは, 湧水の写真, Google Earth の空中写真, 地理院地図の 3D 画像の教材によって本教育実践のねらい「1 川は斜面から湧出する湧水からはじまる」が達成された可能性を読み取ることができる。

水質に関する児童 10 の感想文は, 「都市の川は人間が多いので亜硝酸態窒素が多い事が分かったので森や林 (人間が住んでいない) 川は亜硝酸態窒素がすくなくないのでしょうか。今日の実験も, とても楽しく学べる事が出来たし, 分からない時には野崎先生がヒントをだしてくれたりして最後にきちんと川のまとめが終わることができてうれしかったです。今日は私達に授業をしに来てくださりありがとうございます

いました。」と記述されていた。ここには興味深い内容が2つ示されている。1つ目は、水質分析の体験を通じて児童自らが周辺環境と水質との関係を推察していることである。授業のまとめでは、椋山小学校の高い亜硝酸態窒素濃度への人間活動の影響については解説したが、金明水で濃度が低い理由については触れていない。したがって、この内容は児童10自身の考察であると判断される。類似の感想は児童9、12の記述にもみられる。小学校理科の「考え方」には、「比較する」、「関係付ける」、「条件を制御する」、「多面的に考える」の4点が挙げられる(文部科学省2017)。児童10の記述には、「比較する」、「関係づける」に加え「多面的に考える」への気づきを読み取れる。2つ目は実践者の介入によって理解が深まったという意見である。類似の感想は児童3にもみられる。授業を参観していた理科専科教諭、担任教諭、教頭、校長らからは、本教育実践の内容が小学校第5学年の児童にはやや難しいという意見があり、実践者の介入がなければ、児童らは遠西ら(2018)の主張する「半わかり」の状態に置かれた可能性が示唆される。今後は、岩井ら(2018)にならい、児童の発達段階と教材の適切性との関係について小学校教諭からの意見収集を行うことが必要である。

総合的な感想は、児童5、7、9、12、13、14にみられ、授業の内容を組み合わせることで保全への意見を含んでいることが特徴である。例えば児童7は、「今日、授業を受けて、水はとても大切だと感じました。そして、椋山のビオトープの川を守っていくには、私たちががんばらなければいけないと思いました。私はもし、かんきょう委員になったら植物を、いっぱい植えられると良いなと思いました。これからも、もっと水を、ちゃんとよごさずに、大切にしていきたいと私は思いました。」と記述し、椋山小学校の環境委員会を含めて自己の行動目標を述べている。児童9は、「私は今日の授業を受けて川は人間によってよごされていることを知りとてもびっくりしました。なのでこれから、川の水がよごれないように食べ残しをしない、木を植えるなど、気をつけていきたいです。また椋山小学校のビオトープの水は太平洋とつながっていることをしり、とても

おどろきました。なのでそのためにも太平洋など周りの川がよごれないようにしたいです。」と記述し、身近な陸水環境とその行方を含めた空間的な広がりを持つ意見を述べている。児童1、8、11、14からも類似の感想が出されている。小学校理科「地球」領域では、その見方として時間的・空間的な視点で捉えることを重視しており、これら児童の感想はこの見方に合致している。児童13は、「私は今日の授業を受けて、椋山小学校のビオトープはどれほどきたなく、水道水がどれほどきれいなのかと分りました。椋山小学校の生徒はなにができるだろうかの所で、私は水草を入れて日光にたくさんあびれば、いいのかなと思いました。なぜその考えが思いついたかと言うと、私は、家でメダカをかっていて、メダカの水そうにも水草を入れてあります。その水草は日光にあてると、たくさんそだつし、きれいになるからです。」と記述している。湧水の保全に自らの経験をつなげて考察することは、前述の児童10と同じく「比較する」、「関係づける」を経て「多面的に考える」への思考の深まりが読み取れる。総合的な感想は、いずれも第6学年理科「生物と環境」で扱う、水循環や持続可能な環境への関わり方(文部科学省2017)に適用できる内容を含んでいる。堀田・松浦(2021)は、理科における学習転移、すなわち以前に学習した知識やスキル(技能や解決方法)が新しい知識やスキルの学習と実行方法に影響を与えること、に関する研究動向をまとめ、ICTを用いた指導、教師の足場かけ、複数の事例提示、転移させる知識の明示的な指導の4つの指導法の効果量を検討し、いずれも有効である可能性が高いと述べている。本研究では、断片的ではあるがこれら4つの指導法を含んでいると考えられ、第6学年への学習の転移が期待できる。

以上の結果から、本教育実践の内容は、小学校第5学年の理科「流れる水の働きと土地の変化」をまとめ、小学校第6学年の「生物と環境」へとつなぐ可能性があると評価できる。

3.2.2 今後の課題

最後に、本教育実践の内容を高めていくために、今後、取り組むべき研究課題を4点述べる。

1つ目は、都市部の湧水に付加されている溶存無機態窒素の起源解明である。本教育実践では、都市部に近づくにつれ、電気伝導度と溶存無機態窒素濃度が高くなることから、人間活動の影響として取り扱っているが、具体的な起源を紹介することで、生徒の生活体験とも重ねて考察することが可能となり、教材としての価値が高まると考えている。研究方法としては、窒素や酸素安定同位体比等の追跡指標（角皆 2018）の測定が最も確実であるが、高感度な質量分析計の利用可能性が障害となる。そこで、より一般的に普及しているイオンクロマトグラフを用いて陸水域における人間活動の指標となる塩化物イオン（対馬ら 2008）をはじめ、主要な溶存無機態イオンの分析を行うことが起源推定の第一歩となる。他には、下水管からの漏水の可能性を検討するために、大腸菌群の計数も興味深い指標となる（村瀬 2014）。最近では、培地を含ませたシートに試水を添加し、35℃ 24 時間の培養で行う簡易法（例えば MC-Pad Media, JNC 株式会社）の精度が高くなり、その操作の簡便性から小学校の科学教育にも十分に適用できる。

2つ目は、一般化を検証するための教育効果の測定である。Reinfried et al. (2015) では、平均 12.5 歳の 143 名の学生を実験群 73 名、対照群 70 名の 2 群に分け、それぞれに事前試験、事後試験、そして 7 週間後の確認試験を実施し、教育効果とその持続性を測定している。日本の学校教育では、対照実験の実施は極めて困難であるが、対照群を設けない事前・事後試験の実施は可能である。特に Reinfried et al. (2012) が行った湧水の仕組みを絵で表現する事前試験は、小学校でぜひ取り組みたい手法である。絵を描くことは児童の持つ自然認識を分析するために有用である（磯部 2006）。陸水域における実践においても有用性が確認されており、鶴田ら (2017) は東京都杉並区を流れる善福寺川の将来像を、小学校 5、6 年生 110 枚の絵から抽出し、行政に提案する実践を行っている。吉橋・山本 (2020) は、愛知県豊田市の矢作川の支流、岩本川で行われた体験学習に参加した小学校 2 年生 68 名の、事前・事後の絵を分析し、体験後は一般に川では見られない生き物が描かれなくなり、岩本川に生息する魚種のみが

描かれる等、自然の理解が進んだことを報告している。

3つ目は、教材としての湧水を環境教育に留めず、教科教育に位置付ける試みを拡大することである。湧水とそれに連なる湿地は、子どもたちが地域の自然に目を向ける教材として体験的な学習活動に利用されている（田開・アレン 2018）。猪俣 (2021) は、2012 年にラムサール条約に登録された愛知県豊田市の「東海丘陵湧水湿地群」を用いた 3 つの小学校の環境教育の事例を紹介しているが、今後の課題の 1 つとして、教科学習への位置付けを挙げている。荻原 (2009) は、アメリカ合衆国ペンシルベニア州の Huntingdon Area 中学校で行われた STREAMS (Science Teams in Rural Environments for Aquatic Management Studies) という河川とその流域を扱う環境教育プログラムが、理科、数学科、英語科および社会科の教材となり、州学力試験の成績が大幅に上昇した事例を紹介している。この理由としては、環境という身近な現実世界を教材として用いることで、教科で扱う概念が学習者にとって意味あるものとして捉えることが可能になったと説明されている。田開・アレン (2018) は、アメリカ合衆国の Wetland Education で利用されている 2 つのパッケージド・プログラムの内容を精査し、荻原 (2009) の指摘と同様に、学力向上へ貢献する可能性を強調していたことを報告している。今後、著者らは、湧水を第 5 学年理科「流れる水の働きと土地の変化」から第 6 学年理科「生物と環境」への接続と学習の転移（堀田・松浦 2021）に利用できる教材として拡張を試みる。

最後の 4 つ目は、自然災害、特に東海地域で想定される大地震への備えとなる安全教育の教材としての位置付けである。松本ら (2016) は、愛知県豊田市を対象に、災害時の応急給水の供給量と給水車の給水作業を評価し、特に給水車による作業は、現実的には目標の達成が困難であり、市民各自で水の備蓄が必要であることを明らかにしている。谷口 (2013) は、阪神・淡路大震災や東日本大震災で応急給水が間に合わず、地下水がその代替となった事例を紹介し、水の安全保障という考え方をもとに緊急的な水資源としての地下水の重要性を論じている。

実際には、大腸菌群の測定等、水質の安全性の精査が必要となるが、それぞれの湧水において、簡便な処理で飲用可能、飲用以外の用途に利用可能、あるいは利用不可能という条件が明らかになれば、災害時の水利用に関する有用な教材となることが期待される。

謝 辞

椋山女学園大学附属小学校の理科専科教諭の古田小百合先生（当時）、教頭の松原道晴先生、校長・教育学部教授の森和久先生には、教育実践に多大なご支援とご指導をいただいた。湿地研究編集委員の田開寛太郎博士（松本大学）および2名の査読者には、本研究への丁寧なご指導をいただいた。ここに記して深く感謝いたします。本研究のとりまとめにあたり、科学研究費補助金（基盤研究C, 18K02944, 野崎健太郎）を用いた。

引用文献

- 相場博明・真砂佳菜子（2006）グーグルアース（Google Earth）を利用した地学教育－小学校5年「流れる水のはたらき」の実践－，地学教育，59，33-43。
- 新井正（2004）第10章 都市水文の諸相。地域分析のための熱・水収支水文学（新井正 著），228-255，古今書院。
- 浅井和由・辻村真貴・加藤勇治（2020）里山湧水における年代トレーサーの挙動－温度変動がCFCs，SF6濃度に与える影響－，地下水学会誌，62，589-599。
- 浅野友子・大手信人・内田太郎・浜田美鈴・勝山正則（1999）森林の成立に伴う流域内酸中和機構の変化－植生と土層厚が酸中和機構に与える影響－，日本林学会誌，81，178-186。
- Asano Y, Uchida T, Mimasu Y, Ohte N (2009) Spatial patterns of stream solute concentrations in a steep mountainous catchment with a homogeneous landscape. *Water Resources Research*. 45(10), W10432, 1-9.
- 大日本図書（2020）6 流れる水のはたらきと土地の変化，たのしい理科5年（平成31年3月5日検定済み），pp.86-105。
- Ford M, Tellam J H (1994) Source, type and extent of inorganic contamination within the Birmingham urban aquifer system, UK. *Journal of Hydrology*, 156, 101-135.
- 原田勇希・中尾友紀・鈴木達也・草場実（2019）観察・実験に対する興味と学習方略との関連の検討－因子分析による興味の構造分析を基礎として－，理科教育学研究，60，409-424。
- 早川敦（2018）第3章 流域から河川へのリンの流出機構。森林と物質循環（柴田英昭 編），61-102，共立出版。
- 早野公敏・松本亜里紗・山口裕央・星野繁文・高橋俊樹・

- 松戸大輔（2017）アスファルト舗装切断汚水処理時の環境負荷低減に関する地盤工学的検討，土木学会論文集C（地圏工学），73，294-302。
- Hofstein A, Lunetta V N (2004) The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 28-54.
- 堀田晃毅・松浦拓也（2021）理科が関わる学習の転移に関する諸外国を中心とした研究動向，理科教育学研究，62，23-35。
- 猪俣寛（2021）愛知県豊田市の湿地保全学習モデル校の紹介，湿地研究，11，27-32。
- 磯部錦司（2006）子どもが絵を描くとき，154 pp.，一藝社。
- 岩井尚人・山中康裕・根岸淳二郎・山田朋人（2018）タンクモデルを参考にした小学校高学年向けの地下水学習の教材開発，水利科学，364，59-80。
- 環境省 湧水保全ポータルサイト <https://www.env.go.jp/water/yusui/index.html>（2021年3月26日閲覧）。
- Kato H, Ogura N (1992) Nitrate nitrogen in ground waters in the Kitatama area of Tokyo. *Japanese Journal of Limnology*, 53, 265-272.
- 紀平征希・太田ともえ・稲森玲子・山本好男（2012）高校生（三重県立上野高等学校）を対象とした水環境教育の実践，陸の水，54，27-31。
- Kojima K, Murakami M, Yoshimizu C, Tayasu I, Nagata T, Furumai H (2011) Evaluation of surface runoff and road dust as sources of nitrogen using nitrate isotopic composition. *Chemosphere*, 84, 1716-1722.
- 小島啓輔・佐野翔一・古米弘明（2012）住宅地道路排水由来の重金属および窒素の汚濁負荷に対する路面堆積物および大気降下物の寄与，水環境学会誌，35，119-125。
- 国土地理院 <https://www.gsi.go.jp/>（2021年3月31日閲覧）。
- 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。
- 牧野泰彦（2006）台地を刻む河川の教材化を探る，地学教育，59，137-144。
- 増田拓朗・森本幸裕・長谷川秀三（1980）街路樹土壌の特性と樹木の生育名古屋市の事例，造園雑誌，44，155-160。
- 松本嘉孝・加藤崇洋・猪八重拓郎（2016）GISを用いた災害時の応急給水量の評価－愛知県豊田市中心部を事例として－，土木学会論文集G（環境），72（6），II_319-II_324。
- 松本嘉孝・野崎健太郎（2014）3. 水の化学分析。身近な水の水環境科学 実習・測定編（日本陸水学会東海支部会編集），81-124，朝倉書店。
- Minami M, Ajioka Y, Nakamura S (2016) Molecular phylogenetic analysis of Nannophyta pygmaea from the Tono area of Gifu Prefecture, Japan, and South Korea. *Rikunomizu*, 74, 53-56.
- 宮下治（2003）湧水池を活用した地学野外学習：東京都の武蔵野台地を例として，地学教育，56，135-147。
- 宮下治・大島良（2001）高等学校地学における地下水

- を用いた環境教育の授業実践－問題解決学習の授業展開と評価－, 地学教育, 54, 33-45.
- 文部科学省 (2017) 【理科編】小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説, https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiledfile/2019/03/18/1387017_005_1.pdf (2021 年 10 月 2 日閲覧).
- 村瀬潤 (2014) 4.1 微生物. 身近な水の環境科学 実習・測定編 (日本陸水学会東海支部会編集), 125-129, 朝倉書店.
- 名古屋市 (2018) 2 章 本市の状況と課題. なごや集約連携型まちづくりプラン, 7-24, 名古屋市, https://www.city.nagoya.jp/jutakutoshi/cmsfiles/contents/0000103/103894/02_honpen.pdf (2021 年 10 月 3 日閲覧).
- 名古屋市 上下水道局 <https://www.water.city.nagoya.jp/> (2021 年 5 月 22 日閲覧).
- 名古屋市 湧き水モニタリング, <https://www.city.nagoya.jp/kurashi/category/7-20-1-2-0-0-0-0-0-0.html> (2021 年 3 月 26 日閲覧).
- 中村大輝・原田勇希・久坂哲也・雲財寛・松浦拓也 (2021) 理科教育学における再現性の危機とその原因, 理科教育学研究, 62, 3-22.
- 中村早耶香・味岡ゆい・上野薫・寺井久慈・南基泰・横田樹広・那須守・小田原卓郎・米村惣太郎 (2011) 岐阜県東濃地方の土岐砂礫層湿地におけるヒメタイコウチの HSI モデルの構築, 環境アセスメント学会誌, 9, 58-63.
- 日本陸水学会 (2006) 陸水の辞典. 講談社.
- 野崎健太郎 (2010) 8. 都市の水循環. 身近な水の環境科学－源流から干潟まで－ (日本陸水学会東海支部会編集), 106-114, 朝倉書店.
- 野崎健太郎 (2012a) 人文社会学系の大学生を対象とした陸水環境教育の実践－講義科目への利き水, 水質分析および BOD 試験の導入とその評価, 陸の水, 54, 11-18.
- 野崎健太郎 (2012b) 保育者・小学校教員養成課程における河川調査実習の立案とその教育効果, 日本生態学会誌, 62, 51-58.
- 野崎健太郎 (2014) 2.11 湧水の調査. 身近な水の環境科学 実習・測定編 (日本陸水学会東海支部会編集), 75-76, 朝倉書店.
- 野崎健太郎 (2016) 湧水、地下水および水道水を水源とする学校ビオトープにおける過マンガン酸カリウム消費量と簡易法を用いた COD (化学的酸素要求量) の測定, 椋山女学園大学教育学部紀要, 9, 121-127.
- 野崎健太郎 (2018) 尾張丘陵東部の段丘崖に見られる湧水と小河川源頭部の水質の季節変化－豊田市梅坪町および八草町における事例研究－, 矢作川研究, 22, 1-16.
- 野崎健太郎・井上光也・寺山佳奈・高橋伸行・加藤元海 (2017) 大学生を対象にした河川生態系の多様性を理解するための宿泊型自然体験学習の実践, 応用生態工学, 20, 99-105.
- 野崎健太郎・各務佳菜 (2014) 尾張丘陵南部の崖線に見られる湧水の湧出量, 水温および水質の季節変化－愛知県日進市岩崎町竹の山地区における事例研究－, 陸の水, 64, 31-37.
- 野崎健太郎・鳥居里菜 (2017) 理科および環境教育の教材としての河川水質と湧水との関係－今之浦川 (静岡県磐田市) における事例研究－, 椋山女学園大学教育学部紀要, 10, 103-114.
- 野崎健太郎・辻彰洋 (1999) 中池見湿地 (福井県敦賀市) の水質, 陸水生物学報, 14, 1-8.
- 野崎健太郎・宇土寛泰 (2011) 小学校のビオトープを活用した大学生の水環境教育－椋山女学園大学教育学部 (愛知県名古屋市) の教養教育における実践－, 椋山人間学研究, 7, 148-155.
- 野崎健太郎・渡邊明香里・松本嘉孝 (2021) 尾張丘陵南部の変成岩体における湧水の湧出量, 水温および水質の季節変化－愛知県日進市の岩崎御岳山における事例研究－, 湿地研究, 11, 59-73.
- 萩原彰 (2009) アメリカにおける学力重視の教育改革と教育改革に対する環境教育の応答及び日本の環境教育への提案, 環境教育, 19 (1), 129-138.
- 小倉紀雄 (2002) 市民環境科学への招待－水環境を守るために－. 裳華房.
- Ogura N, Morikawa K (1985) Changes in nitrate concentration in spring water at Nogawa basin during 1976-1983. Japanese Journal of Limnology, 46, 56-60.
- Ogura N, Yoshida Y (1981) Geochemical studies on nitrate in spring waters at the Nogawa basin and adjacent areas. Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 21, 909-912.
- 大島良・宮下治 (2000) 高等学校地学における地下水を用いた環境教育－生徒の認識の実態と新教材の開発－, 地学教育, 53, 283-293.
- Osterlind K, Hallden O (2007) Linking theory and practice: A case study of pupils' course work on freshwater pollution. International Research in Geographical and Environmental Education, 16, 73-89.
- 尾崎則篤 (2016) 都市域のノンポイント汚染の負荷量－信頼される値を見いだすには－, 環境技術, 45, 338-343.
- 小沢知雄・川上忠夫・北沢清・萩原信弘・近藤三雄・市村匡史 (1975) 樹路樹の生態に関する基礎的研究 樹路樹の生育状況と根圏樹土壌状態との関係について, 造園雑誌, 39, 23-34.
- Reinfried S, Aeschbacher U, Kienzler PM, Tempelmann S (2015) The model of educational reconstruction - a powerful strategy to teach for conceptual development in physical geography: the case of water springs. International Research in Geographical and Environmental Education, 24, 237-257.
- Reinfried S, Tempelmann S, Aeschbacher U (2012) Addressing secondary school students' everyday ideas about freshwater springs in order to develop an instructional tool to promote conceptual reconstruction.

- Hydrology and Earth System Sciences, 16, 1365-1377.
- Rossi PM, Marttila H, Jyvasjarvi J, Ala-aho P, Isokangas E, Muotka T, Klove B (2015) Environmental conditions of boreal springs explained by capture zone characteristics. *Journal of Hydrology*, 531, 992-1002.
- 齋藤恵介・原田勇希・草場実 (2020) いつ、生徒の観察・実験に対する興味の“深さ”に介入すべきか？－理科全般に対するポジティブ感情の醸成を見据えて－, *理科教育学研究*, 61, 107-117.
- 坂本亨・高田康秀・桑原徹・糸魚川淳二 (1986) 名古屋市南部地域の地質, *地域地質研究報告* (5万分の1地質図幅), 京都 (11) 第32号, 地質調査所.
- 角田清美 (2011) 東京都西部における郷土の自然史の教材化と教育実践, *第四紀研究*, 50, 253-258.
- 田開寛太郎・デイビッドアレン (2018) 持続可能な湿地づくりのための湿地教育に関する一考察－米国のWetland Educationを事例に－, *環境教育*, 28 (2), 39-48.
- 玉木一郎・水野三正・柳沢直・津田格・中川祐弥・板谷明美 (2016) 名古屋市北東部の都市緑地に残存する天然生林の樹木群集構造と種多様性, *保全生態学研究*, 21, 93-102.
- 田村幸美・山本洋司・朴光来・熊澤喜久雄 (2000) 多摩川流域における湧水中の硝酸態窒素濃度と $\delta^{15}N$ 値, *日本土壌肥科学雑誌*, 71, 488-493.
- 谷口真人 (2013) 安全保障としての地下水の重要性, *地下水学会誌*, 55, 5-11.
- 徳地直子・大手信人・臼井伸章・福島慶太郎 (2011) 窒素負荷に伴う森林生態系の窒素循環過程の検討, *日本生態学会誌*, 61, 275-290.
- 富田啓介 (2018) 湧水湿地の環境は東海地方においてどこまで理解されたか?, *湿地研究*, 8, 63-79.
- 遠西昭寿・福田恒康・佐野喜昭 (2018) 観察・実験に対する理論の優先性と解釈学的循環, *理科教育学研究*, 59, 79-85.
- 辻彰洋・唐崎千春・神松幸弘・山本敏哉・村山恵子・野崎健太郎 (1999) 中池見湿地 (福井県敦賀市) における水質環境と生物群集, *陸水学雑誌*, 60, 201-213.
- 辻村真貴・恩田裕一・小松陽介・清水卓弘・松村和也・服部重昭・中川有里・松井孝子 (2001) 礫層および風化花崗岩からなる丘陵地源流域における流出・水質特性, *水文・水資源学会誌*, 14, 229-238.
- 角皆潤 (2018) 軽元素安定同位体比の高感度分析に基づく地球惑星科学研究・地球環境科学研究の新展開, *地球化学*, 52, 107-129.
- 鶴田舞・中村晋一郎・萱場祐一 (2017) 子どもが描いた川の将来像は川づくり計画に有効か?, *応用生態工学*, 20, 107-115.
- 対馬孝司・中禰顕治・土橋亨子・竹内陽子・齋藤真理・本間君枝・松永義徳・小倉紀雄 (2008) 真姿の池湧水の28年間 (1975-2002年) の水質変動, *地下水学会誌*, 50, 3-16.
- Vitousek PM, Porder S, Houlton BZ, Chadwick OA (2010) Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorous interactions. *Ecological Applications*, 20, 5-15.
- Wetzel RG (2001) *Water Economy. Limnology Lake and River Ecosystems Third Edition* (Wetzel RG), 43-48, Academic Press.
- 吉田和広・小倉紀雄 (1978) 野川湧水中の硝酸塩濃度とその起源, *地球化学*, 12, 44-51.
- 吉田耕治・一尾あずさ・松山さゆり・臼田春樹・岡尚男・小野知洋 (2015) 金城台は東海丘陵要素植物群の新天地となり得るか?－湧水の水質からの検討－, *なごやの生物多様性*, 2, 1-10.
- 吉橋久美子・山本大輔 (2020) 子どもが描いた「川と生き物の絵」は川学習の前後でどのように変化したか, *矢作川研究*, 24, 55-67.

2017年12月21日(木曜日)1, 2, 6時間目: 梶山小学校5年生「理科」
担当者: 野崎健太郎(のざき けんたろう), 梶山女学園大学教育学部の理科の先生

「身近にある川のはじまり～水源の小学校, 梶山小学校」

1. 川のはじまりは, どのような場所であろうか?

スライドの写真と国土地理院(こくどちりいん: 日本の地図をつくっている)の地理院地図から考えよう!

2. 梶山小学校ビオトープの水(山崎川の源流の1つ)を調べよう

亜硝酸態窒素(あしょうさんたいちっそ)を調べてみましょう。3本の試験管に薬品(ナフチルエチレンジアミン液)1 mL(1ミリリットル)をピペットで入れます。

それぞれ何色に変わるでしょうか?

① 梶山小学校ビオトープ(名古屋市): 色 _____

② 金明水(東山公園のわき水, 名古屋市): 色 _____

③ 梶山小学校の水道: 色 _____

3. 大都市, 名古屋にある水源の小学校, 梶山小学校

梶山小学校の生徒は何ができるだろうか?

Appendix 1 2017年12月21日の授業で配布した生徒用の資料.

Appendix 1 A learning sheet handling out at the science lecture on 21 December 2017.

2017年12月21日(木曜日)1, 2, 6時間目: 椋山小学校5年生「理科」

1. 亜硝酸態窒素(あししょうさんたいちっそ)

5年生「理科」の「植物のせいちょう」のところで、植物の成長には、光(ひかり)、水(みず)、肥料(ひりょう)がひつようであることを勉強しました。亜硝酸態窒素は、たいせつな肥料である窒素(ちっそ)の1つです。しかし、水の中に亜硝酸態窒素が多すぎると、草や藻(も)が増えて、それがくさってしまうと、水がよごれてしまいます。亜硝酸態窒素は、わたしたちの家の台所(だいどころ)、お風呂、トイレから出る水にたくさんはっています。

2. 椋山小学校ビオトープと東山公園のわき水金明水(きんめいすい)の亜硝酸態窒素をくらべてみました

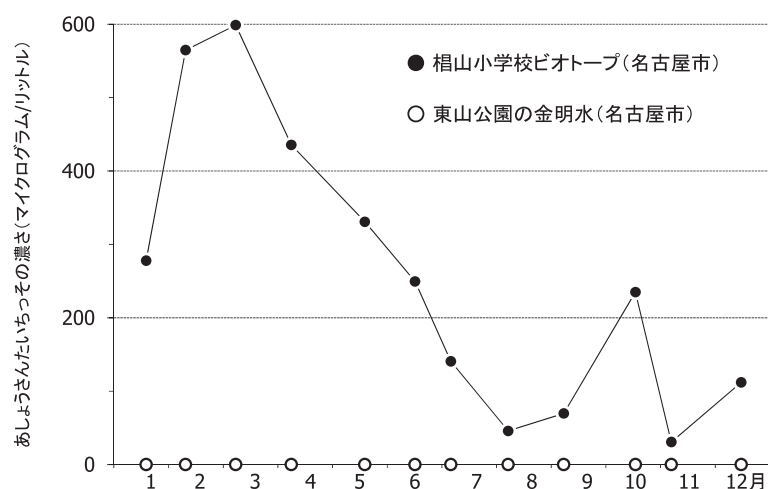


図1. 椋山小学校ビオトープと東山公園のわき水金明水(きんめいすい)でしらべた亜硝酸態窒素(あししょうさんたいちっそ)の濃さ。2016年1月～12月。

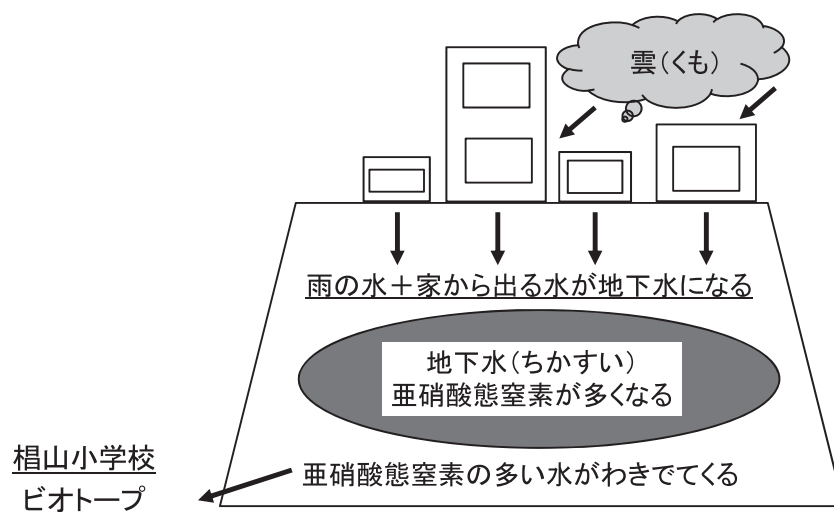


図2. 都市(とし=大きな町)では、人間が多いので、地下水の亜硝酸態窒素が多くなる。

Appendix 2 金明水における湧水の環境指標の測定結果.**Appendix 2** Environmental parameters in the spring water at Kinmeisui.

| Date | Time | Discharge L h ⁻¹ | W.T. °C | E.C. mS m ⁻¹ | pH | D.O. mgO ₂ L ⁻¹ | Turbidity mg L ⁻¹ | Color mg L ⁻¹ | NH ₄ ⁺ -N μgN L ⁻¹ | NO ₂ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | NO ₃ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | PO ₄ ³⁻ -P μgP L ⁻¹ | SiO ₂ mgSiO ₂ L ⁻¹ |
|-----------------|-------|--------------------------------|------------|----------------------------|-----|--|---------------------------------|-----------------------------|--|--|--|---|--|
| 29 March 2016 | 15:15 | 30 | 11.5 | 2.2 | 5.5 | no data | 0.04 | 0.05 | N.D. | N.D. | 0.3 | 1.8 | 8.6 |
| 22 April | 11:02 | 37 | 12.5 | 2.5 | 5.2 | no data | 0.00 | 0.66 | N.D. | N.D. | 46.3 | N.D. | 7.8 |
| 23 May | 9:50 | 60 | 14.5 | 2.2 | 5.2 | no data | 0.00 | 0.19 | 6.2 | N.D. | 1.7 | 0.3 | 8.8 |
| 21 June | 13:58 | 67 | 15.7 | 2.2 | 5.2 | no data | 0.15 | 0.02 | N.D. | N.D. | 11.4 | 0.2 | 9.0 |
| 25 July | 12:00 | 55 | 17.3 | 2.2 | 5.4 | no data | 0.00 | 0.25 | 12.3 | N.D. | 3.6 | N.D. | 10.1 |
| 9 August | 15:17 | 60 | 18.7 | 2.6 | 5.3 | no data | 0.05 | 0.63 | N.D. | N.D. | 2.3 | 0.2 | 10.0 |
| 30 September | 7:56 | 74 | 18.4 | 2.4 | 5.1 | no data | 0.11 | 1.08 | 1.8 | N.D. | 31.5 | N.D. | 8.9 |
| 27 October | 16:09 | 55 | 16.9 | 2.2 | 5.4 | no data | 0.06 | 0.35 | N.D. | N.D. | 3.9 | 4.2 | 9.8 |
| 26 November | 9:45 | 59 | 14.1 | 2.0 | 5.4 | no data | 0.21 | 0.32 | 2.3 | N.D. | 10.6 | 4.1 | 9.5 |
| 19 December | 9:15 | 48 | 12.0 | 2.1 | 5.5 | no data | 0.12 | 0.37 | N.D. | N.D. | 13.5 | 2.6 | 8.5 |
| 30 January 2017 | 15:25 | 71 | 10.3 | 2.2 | 5.5 | no data | 0.28 | 0.39 | 1.6 | N.D. | 8.8 | 4.1 | 8.9 |
| 27 February | 8:40 | 56 | 10.0 | 2.1 | 5.4 | no data | 0.00 | 0.41 | N.D. | N.D. | 6.1 | 1.9 | 8.9 |
| 13 March | 8:45 | 48 | 10.0 | 2.1 | 5.4 | no data | 0.04 | 0.26 | N.D. | N.D. | 2.3 | 1.9 | 9.2 |
| 25 April | 15:43 | 84 | 12.0 | 2.3 | 5.2 | 10.2 | 0.13 | 0.24 | 4.6 | N.D. | 12.0 | 1.2 | 8.6 |

Appendix 3 本山における湧水の環境指標の測定結果.**Appendix 3** Environmental parameters in the spring water at Motoyama.

| Date | Time | Discharge L h ⁻¹ | W.T. °C | E.C. mS m ⁻¹ | pH | D.O. mgO ₂ L ⁻¹ | Turbidity mg L ⁻¹ | Color mg L ⁻¹ | NH ₄ ⁺ -N μgN L ⁻¹ | NO ₂ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | NO ₃ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | PO ₄ ³⁻ -P μgP L ⁻¹ | SiO ₂ mgSiO ₂ L ⁻¹ |
|-----------------|-------|--------------------------------|------------|----------------------------|-----|--|---------------------------------|-----------------------------|--|--|--|---|--|
| 30 March 2016 | 15:50 | 51 | 13.5 | 10.3 | 6.0 | no data | 0.4 | 2.4 | N.D. | N.D. | 1934 | 1.0 | 10.5 |
| 22 April | 10:20 | 38 | 14.6 | 9.9 | 6.0 | no data | 0.10 | 1.24 | 14.3 | N.D. | 2107 | 1.4 | 9.7 |
| 23 May | 9:00 | no data | 16.8 | 9.7 | 6.0 | no data | 0.01 | 0.74 | N.D. | N.D. | 2025 | 2.5 | 7.9 |
| 22 June | 11:28 | 50 | 20.2 | 9.8 | 6.3 | no data | 0.24 | 0.82 | 43.3 | N.D. | 1809 | 0.9 | 10.0 |
| 22 July | 9:18 | 48 | 21.1 | 10.1 | 6.5 | no data | 0.18 | 1.37 | 4.3 | N.D. | 1997 | N.D. | 10.5 |
| 8 August | 11:28 | 40 | 26.6 | 10.3 | 6.3 | no data | 0.47 | 1.83 | 29.2 | N.D. | 1941 | 3.1 | 10.7 |
| 29 September | 8:26 | 133 | 21.7 | 6.8 | 6.3 | no data | 0.62 | 1.52 | 35.6 | N.D. | 1201 | N.D. | 6.6 |
| 27 October | 14:00 | 44 | 17.7 | 10.2 | 6.3 | no data | 0.51 | 3.93 | 45.3 | N.D. | 1957 | 1.3 | 10.2 |
| 26 November | 10:40 | 23 | 14.1 | 10.2 | 5.8 | no data | 0.22 | 0.79 | 6.7 | N.D. | 2537 | 4.1 | 10.6 |
| 16 December | 11:25 | 20 | 11.4 | 10.4 | 6.0 | no data | 0.06 | 0.91 | N.D. | N.D. | 2243 | 2.6 | 9.8 |
| 30 January 2017 | 14:40 | 36 | 11.2 | 10.2 | 6.0 | no data | 0.24 | 0.45 | 4.0 | N.D. | 2195 | 1.2 | 9.9 |
| 24 February | 10:45 | 42 | 10.0 | 10.4 | 6.2 | no data | 0.27 | 0.86 | N.D. | N.D. | 2084 | 1.2 | 10.0 |
| 14 March | 8:10 | 36 | 11.2 | 10.4 | 6.0 | no data | 0.15 | 0.27 | N.D. | N.D. | 2141 | 0.4 | 10.3 |
| 27 April | 11:50 | 60 | 14.4 | 10.1 | 6.0 | 9.2 | 0.19 | 0.96 | 4.6 | N.D. | 1744 | 5.5 | 10.3 |

Appendix 4 梶山小学校における湧水の環境指標の測定結果.

Appendix 4 Environmental parameters in the spring water at Sugiyama elementary school.

| Date | Time | Depth cm | W.T. °C | E.C. mS m ⁻¹ | pH | D.O. mgO ₂ L ⁻¹ | Turbidity mg L ⁻¹ | Color mg L ⁻¹ | NH ₄ ⁺ -N μgN L ⁻¹ | NO ₂ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | NO ₃ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | PO ₄ ³⁻ -P μgP L ⁻¹ | SiO ₂ mgSiO ₂ L ⁻¹ |
|-----------------|-------|-------------|------------|----------------------------|-----|--|---------------------------------|-----------------------------|--|--|--|---|--|
| 24 May 2015 | 10:15 | | 18.6 | 24.8 | 9.5 | 5.7 | 0.3 | 3.2 | 597.4 | 141.9 | 4505 | 2.9 | 9.2 |
| 17 June | 12:00 | | 19.5 | 25.5 | 9.5 | 4.8 | 1.0 | 2.7 | 449.3 | 149.3 | 4614 | 8.7 | 7.1 |
| 24 July | 10:10 | | 20.7 | 23.8 | 7.0 | 6.1 | 0.2 | 1.8 | 67.3 | 121.4 | 4855 | 1.8 | 9.5 |
| 24 August | 10:35 | 6.0 | 22.3 | 20.5 | 6.5 | 7.0 | 0.0 | 0.0 | 87.7 | 18.3 | 5409 | 0.3 | 9.4 |
| 15 September | 10:35 | 4.5 | 21.7 | 26.5 | 8.5 | 6.4 | 0.6 | 1.3 | 346.6 | 122.7 | 4795 | 2.2 | 8.8 |
| 19 October | 12:00 | 5.0 | 20.6 | 19.4 | 6.3 | 6.8 | 0.3 | 0.5 | 91.4 | 26.3 | 4990 | N.D. | 10.6 |
| 19 November | 9:55 | 1.0 | 18.6 | 23.6 | 7.5 | 7.3 | 0.2 | 0.7 | 55.9 | 21.6 | 4700 | 3.9 | 9.5 |
| 14 December | 12:00 | 0.8 | 15.2 | 22.6 | 9.3 | 6.2 | 0.3 | 2.4 | 305.4 | 232.0 | 4909 | 4.7 | 10.2 |
| 18 January 2016 | 13:30 | 1.0 | 10.3 | 33.8 | 9.5 | 7.7 | 1.3 | 4.4 | 633.0 | 277.8 | 2703 | 4.3 | 6.4 |
| 9 February | 10:25 | 0.8 | 9.4 | 27.9 | 9.5 | 7.5 | 3.5 | 7.8 | 1100 | 564.8 | 4225 | 4.7 | 8.7 |
| 9 March | 9:25 | 1.0 | 12.8 | 26.2 | 9.5 | 6.5 | 0.4 | 4.9 | 377.2 | 598.8 | 4361 | 9.6 | 10.9 |
| 9 April | 9:30 | 1.2 | 14.6 | 26.2 | 9.5 | 6.7 | 0.2 | 2.6 | 456.1 | 435.5 | 4666 | 3.6 | 9.3 |
| 20 May | 9:40 | 1.0 | 18.0 | 27.4 | 9.5 | 5.6 | 0.3 | 2.1 | 266.9 | 330.8 | 4460 | 3.6 | 10.0 |
| 17 June | 10:00 | 0.8 | 20.1 | 28.8 | 8.0 | 3.7 | 0.2 | 3.4 | 343.1 | 249.5 | 4971 | 2.6 | 9.9 |
| 7 July | 10:17 | 2.0 | 21.7 | 25.4 | 7.3 | 4.8 | 0.3 | 2.3 | 156.4 | 140.7 | 4571 | N.D. | 10.1 |
| 8 August | 10:24 | 3.0 | 22.2 | 18.6 | 6.5 | 4.8 | 0.4 | 1.2 | 85.8 | 45.8 | 4736 | 1.0 | 9.4 |
| 8 September | 10:15 | 1.2 | 23.7 | 23.4 | 7.5 | 6.4 | 0.4 | 2.5 | 220.6 | 69.6 | 4131 | 2.8 | 10.9 |
| 18 October | 11:42 | 1.8 | 21.1 | 25.0 | 8.5 | 5.9 | 0.4 | 1.4 | 96.3 | 235.0 | 4607 | 1.3 | 10.1 |
| 7 November | 12:00 | 2.0 | 18.6 | 18.7 | 6.5 | 8.0 | 0.5 | 0.7 | 50.4 | 30.7 | 5001 | N.D. | 8.7 |
| 16 December | 10:17 | 0.8 | 13.6 | 21.5 | 7.0 | 9.4 | 0.2 | 1.3 | 154.2 | 111.9 | 4971 | 4.1 | 8.7 |
| 12 January 2017 | 9:50 | 0.4 | 11.3 | 19.7 | 6.8 | 9.8 | 0.2 | 0.0 | 187.0 | 51.8 | 4701 | 4.1 | 8.8 |
| 16 February | 9:56 | 0.3 | 9.7 | 18.2 | 6.5 | 10.8 | 0.2 | 1.4 | 93.7 | 44.1 | 5434 | N.D. | 7.2 |
| 22 March | 9:30 | 1.2 | 12.3 | 20.2 | 7.0 | 9.2 | 0.3 | 1.4 | 132.1 | 145.1 | 4645 | 1.2 | 7.5 |
| 13 April | 9:10 | 0.5 | 13.4 | 25.6 | 7.5 | 8.2 | 0.4 | 1.9 | 146.4 | 251.5 | 4990 | 4.1 | 9.3 |

Appendix 5 名古屋市星が丘で採取された雨水の環境指標の測定結果.

Appendix 5 Environmental parameters in the rainwater at Hoshigaoka, Nagoya.

| Date | Sampling period | Sampling volume | E.C. mS m ⁻¹ | pH | Turbidity mg L ⁻¹ | Color mg L ⁻¹ | NH ₄ ⁺ -N μgN L ⁻¹ | NO ₂ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | NO ₃ ⁻ -N μgN L ⁻¹ | PO ₄ ³⁻ -P μgP L ⁻¹ | SiO ₂ mgSiO ₂ L ⁻¹ |
|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----|---------------------------------|-----------------------------|--|--|--|---|--|
| | hours | mL | | | | | | | | | |
| 23 May 2016 | no data | no data | 0.53 | 5.1 | 0.07 | 0.26 | 96.8 | 0.7 | 88.8 | 3.9 | 0.0 |
| 16 June | no data | no data | 0.69 | 5.2 | 0.51 | 0.21 | 189.1 | 1.1 | 168.6 | 2.4 | 0.0 |
| 21 June | no data | no data | 0.35 | 5.1 | 0.06 | 0.01 | 95.3 | 4.2 | 97.8 | 3.8 | 0.0 |
| 23 June | 13.5 | 2460 | 1.16 | 5.0 | 0.46 | 0.50 | 96.0 | N.D. | 54.2 | 0.2 | 0.0 |
| 24 June | 3.0 | 420 | 3.38 | 4.5 | 0.64 | 0.99 | 273.2 | 0.9 | 297.8 | 0.5 | 0.0 |
| 29 June | 2.0 | 125 | 0.86 | 5.0 | 0.28 | 0.69 | 658.0 | N.D. | 663.3 | 0.9 | 0.0 |
| 13 July | 4.0 | 160 | 1.22 | 4.8 | 0.26 | 0.52 | 173.9 | N.D. | 199.3 | N.D. | 0.0 |
| 26 July | 3.0 | 610 | 2.65 | 4.4 | 1.14 | 1.25 | 249.4 | N.D. | 178.5 | 0.2 | 0.0 |
| 1 August | 1.0 | 865 | 2.77 | 4.5 | 1.63 | 0.86 | 436.3 | N.D. | 399.0 | 1.7 | 0.0 |
| 2 August | 0.8 | 755 | 1.04 | 5.0 | 0.60 | 1.33 | 482.7 | N.D. | 548.2 | 1.7 | 0.0 |
| 6 September | 20.0 | 360 | 1.58 | 5.2 | 0.11 | 0.26 | 145.9 | N.D. | 168.2 | N.D. | 0.0 |
| 8 September | 1.3 | 80 | 0.86 | 5.3 | 0.30 | 0.34 | 222.2 | 3.3 | 147.6 | 1.3 | 0.0 |
| 20 September | 2.5 | 240 | 1.41 | 4.8 | 0.61 | 0.08 | 90.0 | N.D. | 80.7 | 2.8 | 0.0 |
| 28 September | 3.0 | 450 | 0.88 | 5.2 | 0.25 | 0.42 | 424.6 | 1.6 | 343.9 | N.D. | 0.0 |
| 3 October | 8.5 | 225 | 1.42 | 5.1 | 0.44 | 0.56 | 298.3 | N.D. | 178.5 | 1.3 | 0.0 |
| 25 October | 4.0 | 125 | 1.20 | 5.1 | 0.77 | 0.67 | 169.7 | N.D. | 99.6 | 1.3 | 0.0 |
| 15 November | 20.5 | 550 | 1.02 | 5.3 | 0.94 | 0.74 | 239.2 | N.D. | 295.5 | 4.1 | 0.0 |
| 13 December | 8.5 | 265 | 1.78 | 4.7 | 1.30 | 0.97 | 182.7 | 1.8 | 225.9 | 5.5 | 0.0 |
| 16 January 2017 | no data | 240 | 8.69 | 4.4 | 0.60 | 1.13 | 183.8 | N.D. | 291.5 | 1.2 | 0.0 |
| 5 February | 5.5 | 410 | 0.875 | 5.2 | 0.76 | 0.03 | 76.6 | N.D. | 114.7 | 2.6 | 0.0 |
| 20 February | 4.0 | 365 | 2.34 | 5.3 | 0.65 | 0.00 | 250.3 | N.D. | 175.3 | 1.2 | 0.0 |
| 3 March | 11.5 | 150 | 0.43 | 4.8 | 2.82 | 1.43 | 341.1 | N.D. | 557.4 | 2.6 | 0.0 |
| 21 March | 2.5 | 148 | 0.45 | 4.5 | 0.77 | 0.50 | 59.6 | 4.8 | 46.8 | 3.3 | 0.0 |
| 11 April | 9.0 | 960 | 1.18 | 4.5 | 2.15 | 0.96 | 76.5 | N.D. | 68.8 | 1.2 | 0.0 |
| 17 April | 6.0 | 830 | 2.54 | 5.3 | 0.27 | 0.39 | 271.9 | N.D. | 158.0 | 4.8 | 0.1 |
| 26 April | 6.0 | 275 | 1.78 | 5.0 | 0.22 | 2.92 | 315.6 | N.D. | 328.8 | 2.6 | 0.0 |

2017年12月21日の授業への児童の感想文

児童 1: 私は、山崎川がと中で終わっていることが不思議でしたが、地下を通して椋山小学校から始まっていた事におどろきました。放課にかんさつをしに行きたいとおもいました。

児童 2: 私は、ビオトープに亜硝酸態窒素がふくまれている事を知り、きれいにしたいと思いました。そして小学校に水源がある事もびっくりしたし、うめてしまってもったいないと思いました。

児童 3: 私は実験結果を見た時、ぎもんがたくさんありました。なぜ金明水は透明なのにビオトープの水はピンクなのかです。でも野ざきさんのお話を聞いて理解することができました。ビオトープ周辺に植物をうえればいいなと思います。

児童 4: わたしは、ビオトープに川のはじまりなんて思ったことがなくてとてもおどろきました。それに、ビオトープは何のためにあるのかな？と調べていたので、知れてうれしかったし、よかったです。わたしが、知らないことが、たくさん知れて、うれしかったです。

児童 5: 今日は、先生の話が聞いてよかったです。私はとても理科が好きなので「川の流れについて」がもっと勉強になってよかったです。自分たちが何をすれば川がきれいになるのかこまかく1つずつ考えることが大切なことに気づきました。椋山小学校のビオトープもきれいになる方法をさがしたいです。

児童 6: 私は今日身近にある川の始まりはどんな時だろうと思いました。でも野崎先生のおかげで本当に知らなかったことがとても知ることができました。実験も、ビオトープはどんな色になるのか、金明水はどんな色になるのか、やっている博士みたいなきもちがしました。すごく楽しかったです。ありがとうございました。

児童 7: 今日、授業を受けて、水はとても大切だと感じました。そして、椋山のビオトープの川を守っていくには、私たちががんばらなければいけないと思いました。私はもし、かんきょう委員になったら植物を、いっぱい植えられると良いなと思いました。これからも、もっと水を、ちゃんとよごさずに、大切にしていきたいと私は思いました。

児童 8: 私がビックリしたことは、山の中の谷から川がはじまっていることと、金明水のわき水はきれいなので、飲んでも良いということと、ビオトープは、山崎川のはじまりということとです。ですが、ビオトープの水は、亜硝酸態窒素が多く入っていたので残念です。金明水に近いですが、金明水はきれいなのでこれからいろんな工夫をしていきたいです。

児童 9: 私は今日の授業を受けて川は人間によってよごされていることを知りとてもびっくりしました。なのでこれから、川の水がよごれないように食べ残しをしない、木を植えるなど、気をつけていきたいです。また椋山小学校のビオトープの水は太平洋とつながっていることをしり、とてもおどろきました。なのでそのためにも太平洋など周りの川がよごれないようにしたいです。

児童 10: 都市の川は人間が多いので亜硝酸態窒素が多い事が分かったので森や林(人間が住んでいない)川は亜硝酸態窒素がすくないのでしょうか。今日の実験も、とても楽しく学べる事が出来たし、分からない時には野崎先生がヒントをだしてくれたりして最後にきちんと川のまとめが終わることができてうれしかったです。今日は私達に授業をしに来てくださりありがとうございました。

児童 11: 私は、今日の授業でおどろいたことがいくつかありました。それは山崎川の前源流が、この椋山小学校にあったということです。少しずつチョロチョロと流れる小川だということは知っていたけれど、源流だとは、思わなかったからです。私はこのことから、源流は全部が全部、山の中にあるわけではないのだと思いました。理科の学習を通して、これからもっと知りたいな、と思いました。

児童 12: 椋山小学校は下流にあると知っておどろきました。都市では人間が多いので亜硝酸態窒素が多いから、なるべく家庭から出る水を少なくして、良い環境にしたいです。ペットの使い方もたくさん知れたのでよかったです。椋山のビオトープの水は亜硝酸態窒素をたくさんふくんでいるということがわかってとてもびっくりしました。金明水とくらべて600倍の差があるので、差を縮められるよう私達にもできることをどんどんしていきたいです。

児童 13: 私は今日の授業を受けて、椋山小学校のビオトープはどれほどきたなく、水道水がどれほどきれいなのかと分かることができました。椋山小学校の生徒はなにができるだろうかの所で、私は水草を入れて日光にたくさんあびれば、いいのかなと思いました。なぜその考えが思いついたかと言うと、私は、家でメダカをかっていて、メダカの水そうにも水草を入れています。その水草は日光にあてると、たくさんそだつし、きれいになるからです。

児童 14: わたしは椋山小学校のビオトープが山崎川の水源であるということを知ってとても驚きました。また自分たちが亜硝酸態窒素の増加を守るためにできることを考えていると様々な考えが浮かんできました。また、ビオトープの水と金明水の亜硝酸態窒素の数を見るとビオトープの水はとても多かったため、もっとたくさん取り組みをして、山崎川がこれ以上汚れないようにしたいなと今日の授業から思いました。でも、椋山小学校の水道の水の中に亜硝酸態窒素があまり入っていないことを知って安心しました。

Relationship between water chemistry and human impact on adjacent springs in urban area: Possibility as a teaching material of natural science education in Japanese elementary school

Kentaro NOZAKI¹, Yoshitaka MATSUMOTO²

¹ School of Education, Sugiyama Jogakuen University,

² National Institute of Technology, Toyota College

Abstract: Seasonal changes in water chemistry and the influence of human impact on three adjacent springs and rainwater were investigated from 2015 to 2017. Subsequently, the results of this survey were used as teaching materials for science practical classes for elementary school students aged from 10 to 11 years old. The water chemistry of the rainwater, the origin of the spring water, had a pH ranging from 4.4 to 5.3, electric conductivity 2 mS m^{-1} , and dissolved inorganic nitrogen (DIN) $470 \text{ }\mu\text{gN L}^{-1}$. The spring water in Kinmeisui, a place unaffected by human impact, had a pH ranging from 5.1 to 5.5, electric conductivity 2 mS m^{-1} , DIN $13 \text{ }\mu\text{gN L}^{-1}$. In the spring water of Motoyama, a place affected by human impact, the pH ranged from 5.8 to 6.5, electric conductivity 10 mS m^{-1} , and DIN $2000 \text{ }\mu\text{gN L}^{-1}$. Environmental parameters of Sugiyama elementary school located in the urban area had a pH ranging from 6.3 to 9.5, electric conductivity 24 mS m^{-1} , and DIN $5000 \text{ }\mu\text{gN L}^{-1}$. In the one spring closer to the city center, the water chemistry changed from weakly acidic to neutral and weakly alkaline with high values of electric conductivity and DIN concentration. This clarified that human impact on urban areas significantly affected the quality of the spring water. The science practical education was conducted for fifth-grade students in a Japanese elementary school while learning topics on the rivers and streams. The practice was themed 'A headwater of the urban river from Sugiyama elementary school'. The practice was aimed at answering these questions: First, do rivers start from the spring water on the slope? and second, how does human impact affect the water chemistry of the spring? We introduced topographical analysis using the 3D function of GSI Maps and colourimetric analysis of NO_2^- -N concentration by a standard method. The fascinating contents for the students during the practical were the analysis of NO_2^- -N concentration, and the spring as the headwater of the urban river, respectively. The students were evaluated based on the aims of this practice, and results showed that springs can be used as a science teaching material. Furthermore, we proposed four future studies to improve the quality of the science teaching materials, namely: the origin of the high concentrations of DIN in spring water located in urban areas, measurement of educational efficiencies, introduction into the subject education, and teaching materials for disaster education.

Key words: spring, water quality, human impact, natural science education, elementary school