

ジュラ紀付加体における流域圏の自然環境

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-12-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 苗村, 晶彦, 齋藤, 圭, 猪股, 弥生, 奥田, 知明, 山本, 博文, Akihiko Naemura, Akihiko Naemura, Kei Saitoh, Kei Saitoh, Yayoi Inomata, Yayoi Inomata, Tomoaki Okuda, Tomoaki Okuda, Yamamoto, Hirofumi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/00029304

ジュラ紀付加体における流域圏の自然環境

Natural environment of watershed areas in the Jurassic accretionary complex

苗村 晶彦*1

(戸板女子短期大学 総合教養センター)

齋藤 圭*2

(京都大学大学院 理学研究科附属地球熱学研究施設)

猪股 弥生*3

(金沢大学 環日本海域環境研究センター)

奥田 知明*4

(慶應義塾大学 理工学部)

山本 博文*5

(福井大学 学術研究院 教育・人文社会系部門 教員養成領域)

1. はじめに

流域圏において水の収支や流動の過程では、個別に閉鎖されたものではなく、連続した水の存在空間を通じて、移動、循環を永続的に繰り返している。しかしながら大気環境や水環境の研究において、それぞれの分野で研究が深められているが、これらを結びつける視点が極めて稀であり「山・川・海」を通じて広域に渡る環境把握の重要性が求められている。

昨今、アジア大陸からのわが国への越境汚染の報告が散見される。2019年5月23日には鳥根県および鳥取県において、1974年の観測以来初めてとなる光化学オキシダント注意報が発令された^{1),2)}。20世紀時には1度も発令されることがなかったが、前兆は平成時代の後半からは見られ、例えばMiyazako *et al.* (2015)では、鳥取と同じ山陰の鳥根県内の斐伊川流域で中国からの越境窒素汚染があることを報告している³⁾。光化学オキシダント注意報の主因であるO₃と窒素汚染の主因のNO₃⁻は、NO_xからの二次物質として連動することが報告されている⁴⁾。先述の通り近年においても中国からの

(キーワード：ジュラ紀付加体, 流域圏, O₃, NO₃⁻, ブナ林)

*1 Akihiko Naemura

(Department of General Studies and Liberal Arts, Toita Women's College)

*2 Kei Saitoh

(Beppu Geothermal Research Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University)

*3 Yayoi Inomata

(Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University)

*4 Tomoaki Okuda

(Faculty of Science and Technology, Keio University)

*5 Hirofumi Yamamoto

(Division of Teacher Education, Faculty of Education, Humanities and Social Sciences, University of Fukui)

越境汚染の報告が見られ、その越境汚染の影響が光化学オキシダント注意報にも現れた可能性がある。

ところで渓流水においては、「山」と「川」を結びつける貴重な情報が内包されている。また渓流水中の NO_3^- 濃度は平水時において時間代表性があるとされ^{5),6)}、渓流水中の Cl^- 濃度についてはその変動が小さく特に時間代表性があることが報告されている^{7),8)}。「川」と「海」を結びつける河口域についてはさまざまな要因の影響で水質の濃度が変動するが、ある日時のデータを採取し、一例を考察することには意義がある。また、福井県をはじめ、日本には広くジュラ紀付加体が分布しており、付加体が広く分布する流域における水質を調べることは、現在の環境変動と同時に人間活動の有史以前から永続的に地質からの影響も考えていく参考資料となろう。

本研究では越境汚染の影響を受ける福井県耳川の源流域から上流を経て下流までの流域圏において、その源流に影響を与える耳川流域圏近郊の若狭町三方の O_3 を解析した。それを踏まえて、「山」に負荷する乾性沈着といった大気環境の実態の状況を解析し、「川」においては耳川の源流、上流および下流における水質、また「海」においてはどのような物質が流出されるのか調査を行い、流域圏として耳川流域圏およびその周辺的环境について考察した。

2. 研究方法

研究対象地域は福井県の耳川流域圏およびその周辺である。耳川は福井県、滋賀県の県境に位置する三国山（標高 876 m）の西斜面を源流域とし、美浜町を北に流下する、幹川流路延長 17.3 km、流域面積 83.3 km^2 の中小河川である。流域形状係数（流域面積を流路延長の 2 乗で除した値）⁹⁾ は、日本一広い関東平野の利根川において 0.162 とされ、福井県の面積の約 70 % を占める嶺北地域を流れる九頭竜川は 0.218 で、福井県の面積の約 2.0 % にあたる耳川は 0.278 である。また、耳川は河口でも河川の流れが速く汽水域がみられない。耳川流域は、地質区分では美濃 - 丹波帯に属し、上流部にはジュラ紀付加体が、また中流部左岸側の雲谷山（標高 786 m）周辺には後期白亜紀の花崗岩が広く分布している。



図-1 耳川源流（2021年8月25日）

O_3 濃度の解析の対象地は、福井県若狭町の三方（北緯 35.5481 度、東経 135.9089 度、標高 10 m）とした。また、1 年という単位は太陽を中心として地球が公転する周期だが、濃度の季節変動も太陽を中心として考えることがよりよく解析しやすいと考えられ^{10),11)}、 O_3 濃度の変動解析は太陽黄経 15 度毎による太陽暦の二十四節気別で行った。解析した時期は、2015 年 3 月 21 日（春分点）から 2018 年 3 月 20 日までの 3 年間とした。解析に使用したデータは各自治体が設置している大気常時監視測定局の 1 時間値の測定結果²⁾ とし、欠損値は除外して解析を行い、 O_x のほとんどは O_3 であるので O_3 と表記した。また、現在においても光化学オキシダント注意報は首都圏（1 都 7 県）を中心に発令され¹²⁾、今なお相対的に光化学オキシダント注意報が頻発する首都圏と比較するため、首都圏の中心地である東京タワー（標高 25 m、高度 25 m）との同時期の解析結果との比較を行った。

河川については耳川の流域圏で源流（図-1、北緯 35.5379 度、東経 136.0169 度、標高 429 m）、上流（松屋 1 号橋、北緯 35.5321 度、135.9807 度、標高 151 m）および河口付近（美浜大橋、北緯 35.6053 度、東経 135.9423 度、標高 10 m）で採取した。いずれの調査地において 2021 年 8 月 25 日 13 時 40 分か

ら2時間以内に採取した。採取した試料については、ADVANTEC社のメンブランフィルター（ポアサイズ0.45 μm）で濾過した後、溶存成分についてはDionex社のイオンクロマトグラフィー（ICS-2100/1100）¹³⁾を用いて測定した。また、EC（電気伝導度）はHORIBA社のLAQUAtwinを用いて測定した。尚、硬度については、

$$\text{硬度} = \text{Ca}^{2+} \text{ 濃度} \times 2.5 + \text{Mg}^{2+} \text{ 濃度} \times 4.1 \quad (1)$$

として算出した¹⁴⁾。

河川流域面積、土地利用面積、耳川源流集水域内の植生区分およびその面積については、国土交通省より公開されている国土数値情報の流域メッシュ、土地利用細分メッシュデータ、環境省自然環境局生物多様性センターより公開されている植生調査（1/25,000縮尺）データを基にGISソフトウェア（Esri社製 ArcGIS Pro version: 3.0.1）を用いてそれぞれ解析を行った。

3. 結果および考察

3.1. 耳川流域圏近郊の三方におけるO₃濃度

三方におけるO₃濃度については、3年間の1時間値の全平均値は35.6 ppbだった。対照として、首都圏の中心地である東京タワー（標高25 m、高度25 m）の全平均値は27.5 ppbとなり、三方が東京タワーよりも1.3倍となった。三方における1時間値の最高値としては、105 ppb（2017年6月20日16時）となった。また、2番目に高かったのは104 ppb（2017年5月30日14時）となっている。参考として東京タワーで1時間値の最高値として143 ppb（2017年8月9日13時）だった²⁾。またOxの環境基準は1時間値が60 ppb以下であるが、調査した期間において三方の1時間値は環境基準を越えているケースが多々ある。また、その最高値は光化学スモッグ注意報レベル近くにまで達していることになる。

三方における二十四節気の調査期間と、二十四節気別のO₃濃度を表-1に示し、三方および東京タワーにおける二十四節気別の季節変動（3年間の平均）を図-2に示した。三方においては、最高値は小満の51.6 ppb、最低値は小暑の25.7 ppbとなっている。O₃濃度は春季に高くなり、特に立夏前後の時期に高くなった。これは、東京タワーにおいても同様の結果であった。小満を過ぎると濃度低下が見られ、夏から秋にかけては横ばいの傾向があり、冬至から微増していく傾向にあった。一方、東京タワーについては小雪で三方の半分ほどになった。O₃は総じて成層圏等からの沈降と、対流圏における光化学反応で生成される¹⁵⁾。東京タワーは近くの汚染地域で生成したもので、三方はアジア大陸の汚染地域で生成したものが長距離輸送されてきた可能性が考えられる。

表-1 三方における二十四節気別のO₃濃度
(2015年3月21日～2018年3月20日)

期間	二十四節気	2015年度	2016年度	2017年度
3月21日～4月4日	春分	43.0 ppb	41.8 ppb	44.3 ppb
4月5日～4月19日	清明	43.4 ppb	47.0 ppb	46.2 ppb
4月20日～5月4日	穀雨	51.5 ppb	51.8 ppb	50.2 ppb
5月5日～5月20日	立夏	52.2 ppb	50.6 ppb	48.0 ppb
5月21日～6月5日	小満	53.1 ppb	52.2 ppb	49.4 ppb
6月6日～6月20日	芒種	44.7 ppb	45.6 ppb	45.9 ppb
6月21日～7月6日	夏至	37.4 ppb	34.0 ppb	34.1 ppb
7月7日～7月22日	小暑	21.6 ppb	26.3 ppb	29.1 ppb
7月23日～8月6日	大暑	28.1 ppb	31.2 ppb	27.8 ppb
8月7日～8月22日	立秋	28.5 ppb	33.4 ppb	22.5 ppb
8月23日～9月7日	処暑	30.5 ppb	29.7 ppb	30.3 ppb
9月8日～9月22日	白露	28.7 ppb	27.7 ppb	32.6 ppb
9月23日～10月7日	秋分	32.9 ppb	24.6 ppb	33.1 ppb
10月8日～10月22日	寒露	31.9 ppb	29.9 ppb	25.7 ppb
10月23日～11月6日	霜降	31.8 ppb	32.5 ppb	31.4 ppb
11月7日～11月21日	立冬	26.6 ppb	28.2 ppb	30.3 ppb
11月22日～12月6日	小雪	23.9 ppb	29.9 ppb	26.0 ppb
12月7日～12月21日	大雪	24.1 ppb	27.5 ppb	30.9 ppb
12月22日～1月4日	冬至	28.5 ppb	32.5 ppb	36.8 ppb
1月5日～1月19日	小寒	29.5 ppb	34.1 ppb	33.5 ppb
1月20日～2月3日	大寒	30.9 ppb	35.5 ppb	35.3 ppb
2月4日～2月18日	立春	31.6 ppb	37.7 ppb	40.3 ppb
2月19日～3月5日	雨水	39.8 ppb	39.0 ppb	40.8 ppb
3月6日～3月20日	啓蟄	38.1 ppb	42.5 ppb	42.3 ppb

3.2. 耳川における源流, 上流および河口付近の水質データ

耳川における源流, 松屋1号橋および美浜大橋(図-3)における電気伝導度および陰イオン濃度の結果を表-2に, 陽イオン, Na⁺/Cl⁻比およびCa²⁺/Mg²⁺比を表-3に示した。また, 耳川の流域圏の土地利用図(図-4)に示した。

源流のECは57 μS/cmで, 四万十川源流の29 μS/cm¹⁶⁾に較べて2倍ほどだった。河口付近の美浜大橋において78 μS/cmでありこれは大山滝の77 μS/cm²⁾とほぼ同一で, 耳川流域圏では森林域から水質が清浄なまま保持された河川水が河口付近まで流れる良好な河川と判断できる。

Cl⁻濃度は, 大山山麓の内陸側の159 μM²⁾と較べて若干低い程度だった。河口域では流域の排水等で劇的に増える場合も散見されるが耳川流域はCl⁻濃度も微増程度で「海」に流出されと考えられた。

注目すべきは耳川源流のNO₃⁻濃度で34.6 μMであった。これは四万十帯における渓流水中で4.27 μM¹⁷⁾や, ブナが優占する第四紀の大山滝の7.25 μM²⁾と比較してかなり高かった。これについては3.3.節で後述する。また, 上流や河口付近でもこの濃度前後で推移した。

Na⁺濃度は大山滝と比較すると若干低い値であった。

Na⁺/Cl⁻比は, 上流も河口もほぼ同じ程度で, これは日本の平均河川水質¹⁸⁾の値(1.78)と比較すると若干低かった。K⁺濃度については低く, 大山滝の半分ほどだった。Ca²⁺/Mg²⁺比は, 日本の平均河川¹⁸⁾の値(2.81)と比べると源流では低く, 上流および河口付近ではCa²⁺濃度が上昇したため, 日本の平均値と較べると高かった。

耳川の源流, 上流および河口付近の硬度を計算するとそれぞれ17.9 mg/L, 20.4 mg/Lおよび23.7 mg/Lとなった。急流な耳川では, 河口付近において塩

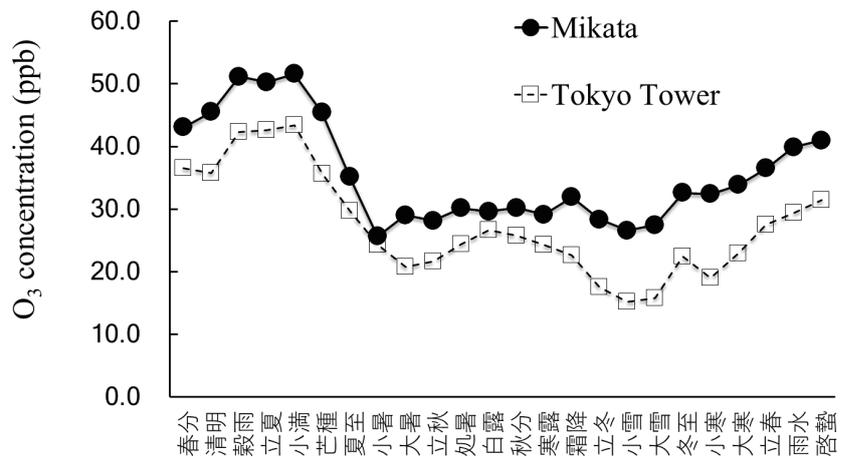


図-2 三方および東京タワーにおける二十四節気別のO₃濃度 (2015年3月21日~2018年3月20日)

表-2 耳川における電気伝導度 (EC) および陰イオン濃度

採取場所	EC (μS/cm)	Cl ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	SO ₄ ²⁻ (μM)
源流	57	133.4	34.6	25.3
松屋1号橋	67	140.1	33.6	41.5
美浜大橋	78	160.2	31.4	43.6

表-3 耳川における陽イオン, Na⁺/Cl⁻比およびCa²⁺/Mg²⁺比

採取場所	Na ⁺ (μM)	K ⁺ (μM)	Mg ²⁺ (μM)	Ca ²⁺ (μM)	Na ⁺ /Cl ⁻ 比	Ca ²⁺ /Mg ²⁺ 比
源流	202.1	10.4	59.3	120.0	1.51	2.02
松屋1号橋	193.9	11.8	48.6	155.4	1.38	3.20
美浜大橋	228.0	14.6	56.1	181.1	1.42	3.23



図-3 美浜大橋から河口側へ望む (2021年8月25日)

水遡上の可能性は低く、美浜大橋の値も海水が入らない河川水質としての代表値であると考えられる。河川の化学成分の供給源を整理すると、①降水、②大気中からの降下物、③岩石・土壌などの地質的要因、④鉱泉・温泉、⑤人間活動による排出物、が挙げられる¹⁹⁾。耳川流域の土地利用面積中に占める森林面積の割合は71.8%となっている。日本における森林面積割合は66%であり、この割合からすると耳川流域は日本における典型的な土地利用と考えられる。流域全体の森林の影響も反映してか、源流から河口付近までCa²⁺以外は微増もしくは低下する傾向に留まった。

3.3. 「山・川・海」の流域圏として

「山」に負荷するO₃濃度は相対的には高かったが、福井県において光化学オキシダント注意報が発令されたのは2000年以降では2002年と2019年の2回のみである。光化学オキシダント注意報が2019年に初めて発令された鳥取県において、その県内の大山滝において、NO₃⁻濃度が7.52 μMと非常に低濃度であった。その一因として大山滝の集水域では、ブナ林が5.14 km²で72.8%と占められ、そのブナの生態系の豊さによって、NO₃⁻濃度が低濃度となったと推測される²⁾。そこで、今回地質がジュラ紀付加体として森林ではブナが優占する耳川源流で調査を行ったところNO₃⁻濃度が34.6 μMとなり相対的に高濃度となった。耳川源流の集水域における植生区分を図-5に示した。源流の集水域2.19 km²中、ブナ・チシマザサ群団およびブナ・ミズナラ群落と94.1%をブナ林が優占する。もし、生態系豊かなブナ林が植物の制限要因であるN（窒素）を栄養塩としてNO₃⁻を吸収しアウトプットとしてNO₃⁻が流出しないならば、この渓流水中のNO₃⁻濃度は、ジュラ紀

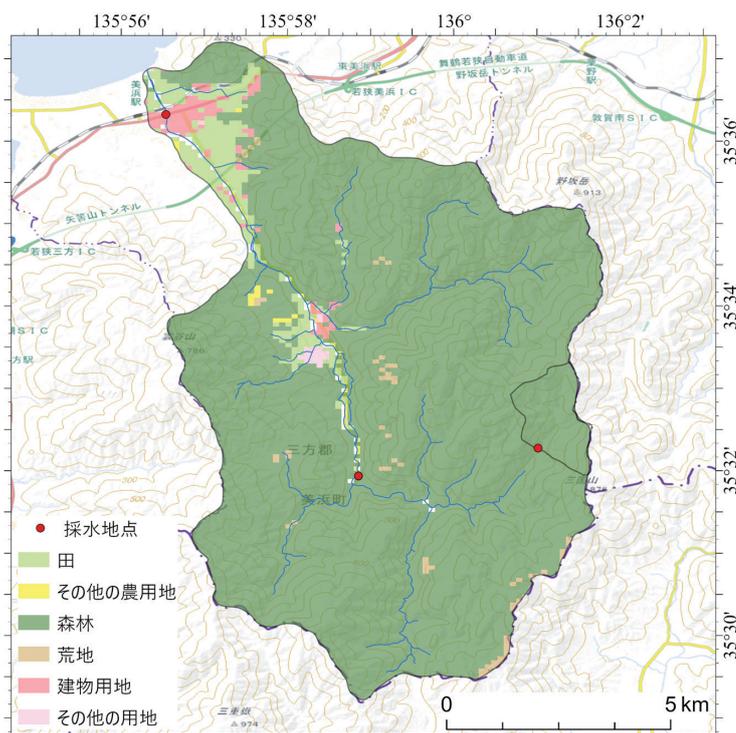


図-4 耳川流域圏における土地利用図
背景は電子国土基本図（国土地理院発行）を使用

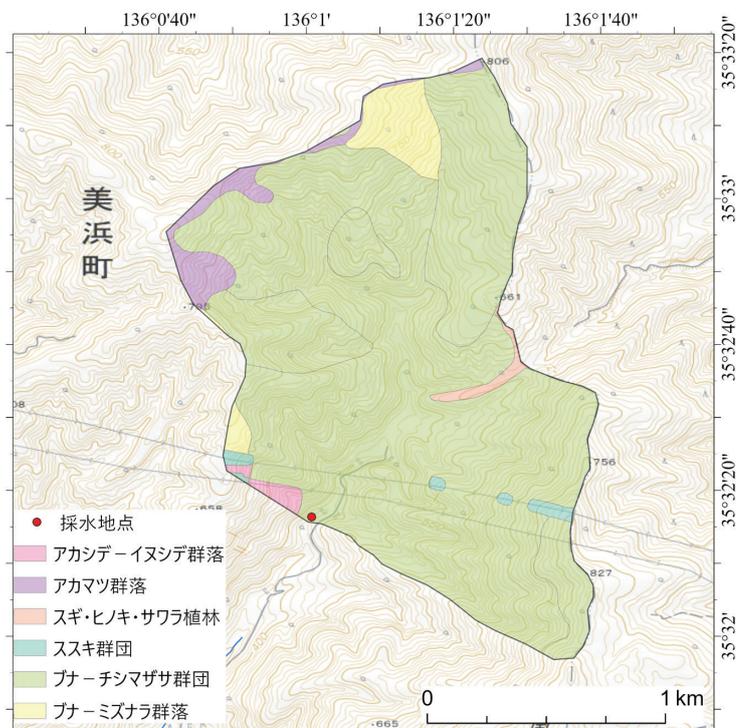


図-5 耳川源流における植生区分
背景は電子国土基本図（国土地理院発行）を使用

付加体の地質由来の影響で高くなったといえる。苗村（未発表）では NO_3^- 濃度が非常に低い湿性沈着および乾性沈着の裏付けのある奥秩父で、渓流水中の NO_3^- 濃度で高濃度が検出されている。奥秩父は日本列島の地質区分では秩父帯でジュラ紀付加体であり、恒常的に NO_3^- が流出している可能性が推測される。

ブナ林は、その生態系の豊かさから昆虫の宝庫であるが、昆虫が多いということは野鳥や小型の肉食哺乳動物も多いことを意味する²⁰⁾。大山滝の例²⁾では、ブナ林が約7割と大半を占め、その地質は第四紀のチバニアン期 (0.774 ~ 0.129 Ma) が中心であり、安山岩溶岩である。その集水域ではブナを中心とした森林の役割が大きいたことが推察されたが、今回の調査でブナが優占するジュラ紀付加体において、源流の NO_3^- 濃度がかかなり高かった。更に源流における NO_3^- 濃度が、河口付近までその濃度がほとんど維持されたまま流出される流域圏であった。福井県の地質ではジュラ紀付加体が大半であるが、それを土台として森林が成り立ち、耳川流域では安定した水の供給を行うブナ林による水源涵養機能、土砂の流出や崩壊を防止している可能性がある。

4. おわりに

本研究においては「山・川・海」を流域圏と捉え、耳川流域圏においてその指標として NO_x からの二次物質を軸に論じた。大気環境および地質環境等の指標となる耳川源流における渓流水中の NO_3^- 濃度が相対的に高かった。近々の渓流水質調査で同じ夏季の間に調査した第四紀のブナ林で NO_3^- 濃度が $7.52 \mu\text{M}$ で、ジュラ紀付加体のブナ林で $34.6 \mu\text{M}$ であった。アジア大陸の中国の経済活動によって、越境汚染の影響も受けるが、少なくとも2020年は新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響で、大陸からの越境汚染の影響も小さいこと²¹⁾が推測されている。今後は今回 O_3 濃度を調査した期間後の2020年からの解析を行い、また常に環境変動する水質の調査を継続していくことが重要である。

例えば今回の研究対象地域である福井県の中生代ジュラ紀付加体分布域においては、おそらく地質による影響で、渓流水中に NO_3^- 濃度が恒常的に流出している可能性が推測された。今後は、同じ福井県の中で、地質による違いを渓流水質から探求し、ジュラ紀付加体の地質や、ブナ林のような保水力を伴った「山・川・海」の広域で流域圏ごとの治山および治水を考えていくデータを積み重ねていくことが肝要である。

謝辞

本研究は2021年度金沢大学環日本海域環境研究センター全国共同利用研究（研究課題採択番号21061）の支援により実施されました。記して感謝致します。

引用文献

- 1) 鳥根県保健環境科学研究所（編）、2020、鳥根県でも高濃度に！—光化学オキシダント、しまね保環研だより、**163**, 4-7.
- 2) 苗村晶彦・齋藤圭・奥田知明・小寺浩二、2021、源流と河口の環境—鳥根県加勢蛇川を事例として、流域圏学会誌、**8**, 2-9.
- 3) Miyazako, T., H. Kamiya, T. Godo, Y. Koyama, Y. Nakashima, S. Sato, M. Kishi, A. Fujihara, Y. Tabayashi and M. Yamamuro, 2015, Long-term trends in nitrogen and phosphorus concentrations in the Hii River as influenced by atmospheric deposition from East Asia, *Limnology and Oceanography*, **60**, 629-640.
- 4) 佐々木一敏・栗田秀實・村野健太郎・水落元之・植田洋匡、1986、大気汚染物質の長距離輸送時における硫酸塩硝酸塩等の挙動、大気汚染学会誌、**21**, 216-225.
- 5) 楊宗興、2000、陸水学の視野を広げる：陸域研究との相互作用、陸水学雑誌、**61**, 166-167.
- 6) 伊藤優子・三浦覚・加藤正樹・吉永秀一郎、2004、関東・中部地方の森林流域における渓流水中の

- NO₃⁻ 濃度の分布, 日本林学会誌, **86**, 275-278.
- 7) 苗村晶彦・渡邊善之・小柳信宏・楊 宗興・渡辺幸一, 2017, 福島県中通りににおける阿武隈川水系源流域の溪流水質, 土木学会論文集 G (環境), **73**, 172-176.
- 8) 苗村晶彦, 2018, 神奈川県三浦半島北部における溪流水質の特徴, 自然環境科学研究, **29**, 5-9.
- 9) 小寺浩二, 2020, 自然地理学概論 (1), 法政大学通信教育部, 346pp.
- 10) 苗村晶彦・福岡義隆, 2017, 太陽黄経による季節区分と大気環境の問題, 戸板女子短期大学研究年報, **60**, 55-64.
- 11) 苗村晶彦・奥田知明・渡辺幸一・福岡義隆, 2019, 広島県極楽寺山周辺におけるオゾン濃度の季節変動と溪流水質, 日本生気象学会雑誌, **56**, 101-107.
- 12) 現代公益学会 (監), 2018, 公益叢書第六輯 公益法人・NPO 法人と地域, 文眞堂, 232pp.
- 13) Kurihara, K., A. Iwata, T. Godo, S.G.M. Horwitz, K. Ogane, T. Sugioka, A. Matsuki and T. Okuda, 2022, Contribution of physical and chemical properties to dithiothreitol-measured oxidative potentials of atmospheric aerosol particles at urban and rural sites in Japan, *Atmosphere*, **13**, 319-340.
- 14) 千賀裕太郎 (監), 2013, ゼロから理解する水の基本, 誠文堂新光社, 159pp.
- 15) 溝口次夫・光本茂記・西川雅高, 1989, 日本列島を覆う対流圏下層オゾンの動態に関する研究, 環境科学会誌, **2**, 87-99.
- 16) 森本洋一・猪狩彬寛・齋藤圭・山形えり奈・竹本統夫・苗村晶彦・小寺浩二, 2022, 多様な河川における水質特性の把握—EC (電気伝導度) の変動係数に着目して, 人間生活文化研究, **32**, 46-61.
- 17) 苗村晶彦・初山守・奥田知明, 2021, 降水中の NO₃⁻ 濃度が低い四万十帯における溪流水質, 環境科学会誌, **34**, 40-45.
- 18) 日本地球化学会 (監), 2005, 地球化学講座 6 大気・水圏の地球化学, 培風館, 319pp.
- 19) 沖野外輝夫, 2002, 新・生態学への招待 河川の生態学, 共立出版, 132pp.
- 20) 梅原猛・安田喜憲・南木睦彦・岡本素治・渡辺誠・市川健夫・太田威・石川純一郎・中川重年・斎藤功・大場達之・西口親雄・泉祐一・四手井綱英, 1985, プナ帯文化, 思索社, 291pp.
- 21) 吉野彩子・高見昭憲, 2020, 長崎福江島における大気質観測—COVID-19 による越境大気汚染への影響, 大気環境学会誌, **55**, 248-251.