

## 世界文化遺産のフィールド—「富士山」に係わる NO<sub>x</sub> の 二次物質の動態 (1) 静岡県富士宮市の流域圏について

苗村 晶彦<sup>1)</sup>・齋藤 圭<sup>2)</sup>・奥田 知明<sup>3)</sup>・小寺 浩二<sup>4)</sup>

- 1) 戸板女子短期大学総合教養センター
- 2) 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設
- 3) 慶應義塾大学理工学部
- 4) 法政大学文学部

The World Cultural Heritage Sites: Dynamics of NO<sub>x</sub> Secondary Substances Related to Mt. Fuji  
(1) Watershed Area of Fujinomiya City, Shizuoka Prefecture, Japan

Akihiko NAEMURA<sup>1)</sup>, Kei SAITOH<sup>2)</sup>, Tomoaki OKUDA<sup>3)</sup>, Koji KODERA<sup>4)</sup>.

- 1) Department of General Studies and Liberal Arts, Toita Women's College
- 2) Beppu Geothermal Research Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University
- 3) Faculty of Science and Technology, Keio University
- 4) Faculty of Letters, Hosei University

和文要旨：世界遺産の保全の為に、河川や植生の自然破壊のみならず、大気由来の汚染にも着目することが重要である。世界文化遺産の構成資産である白糸ノ滝等を有する富士宮市およびその周辺において、オゾン濃度の季節変動の解析および潤井川水系、芝川水系の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度を集中観測した。オゾン濃度について 1 時間値の 3 年間の平均値は東京タワーとの比較ではほぼ同じ程度であり 28.6 ppb であった。季節変動は太陽黄経による 24 区分別で東京タワーとの比較では 8/7~22 に高くなる傾向であった。潤井川水系および芝川水系における河川中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は平均 101μ mol/L となった。河川中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は標高の低いところで高かったが、白糸ノ滝では標高が高いにもかかわらず 146μ mol/L と相対的に高かった。世界文化遺産である白糸ノ滝は、敷地の良好な自然資源に基づいて成立していると考えられるが、自然資源が一定の環境基準を満たしているか、乾性沈着を含む大気環境や水質等を調べ、後世に清水として受け継ぐことも、世界文化遺産の保護につながると考えられる。

キーワード：世界文化遺産 富士宮市 オゾン 硝酸イオン 白糸ノ滝

Abstract: In order to preserve the World Heritage sites, it is important to focus not only on natural destruction of rivers and vegetation, but also on pollution from the atmosphere. We analyzed the seasonal variation of ozone concentration and intensively observed NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration in the Urui River and Shiba River systems in Fujinomiya City and its vicinity, where Shiraito Falls, a proparty of the World Cultural Heritage, is located. The three-year average of the one-hour ozone concentration was 28.6 ppb, which was almost the same as that of Tokyo Tower. Seasonal variations were classified by the 24 solar terms, and compared to Tokyo Tower, the seasonal variations tended to be higher from August 7 to 22. The average NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration in the rivers of the Urui River and Shibakawa River systems was 101μ mol/L. The NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration in the

rivers was higher at lower elevations, but was relatively high at Shiraito Falls, at 146  $\mu\text{mol/L}$ , despite its higher elevation. Shiraitono Falls, a World Cultural Heritage site, is considered to be established based on the site's favorable natural resources. However, it is also considered that examining whether the natural resources meet certain environmental standards, the atmospheric environment including dry deposition and water quality, and passing them on to future generations as clean water will also help protect the World Cultural Heritage.

Keywords: World Cultural Heritage, Fujinomiya City, ozone, nitrate ion, Shiraito Falls

## 1. はじめに

2021年7月に「北海道・北東北の縄文遺跡群」が世界文化遺産となり日本で20件目、「奄美大島、徳之島、沖縄島北部及び西表島」が世界自然遺産となり日本で5件目となった。世界文化遺産の中でも1999年12月に選定された「日光の社寺」においてはその資産(2008年までのコアゾーン)内の北部に位置する白糸滝も含まれる。このように、日本の世界文化遺産については貴重な自然も合わせて評価されることが多い。静岡県白糸ノ滝は日本滝百選でもあるが、世界文化遺産「富士山—信仰の対象と芸術の源泉」においては構成資産としても登録される。白糸ノ滝は世界文化遺産といえども、富士山の湧水であり、信仰の対象とされたことが評価され、自然の豊かさを内包する世界に誇る文化遺産といえよう。富士山山麓の湧水について報告が散見されるが(例えば浅井・興水, 2019)、良好な自然資源である湧水および滝によって水行が行われ、巡礼・修行の場となったことが文化遺産として評価された。しかし、自然資源が破壊され汚染されてしまうと、評価された活動の基盤が喪失したことになるかもしれない恐れがある。滝の水質が適正な状態か把握するためには、滝および滝を含む流域圏の多地点において、水質の集中観測調査を実施する必要があるものの行われていないのが現状である。

富士宮市(2020)によれば、富士宮市における大気環境において二酸化窒素および二酸化硫黄については環境基準を満たすものの、オキシダント(Ox)については環境基準を満たしていないと報告される。Oxのほとんどはオゾン(O<sub>3</sub>)である。また、O<sub>3</sub>は窒素酸化物(NOx)からの二次物質であるが、日本海側の山陰においては中国からの越境窒素汚染が島根県斐伊川水系で報告され(宮廻他, 2014)、さらに鳥取県などにおいては2019年5月23日に、1974年の観測以来、史上初めてとなる光化学スモッグ注意報が発令された(苗村他, 2021a; 苗村他, 2021b)。大気沈着は主に雨や霧による湿性沈着と、微量物質やエアロゾルによる乾性沈着に大別されるが、直接的な影響として乾性沈着が重要である(苗村他, 1997)。特に乾性沈着については、わずかに数百mほどの距離についても標高別にNOx濃度等が異なることが確かめられている(Naemura et al., 1996; 苗村他, 1997)。大気中のO<sub>3</sub>が、直接地表や河川などに沈着(乾性沈着)することによって、森林衰退を引き起こすといった影響が懸念されている(畠山他, 1996; 苗村他, 1997; 畠山, 1999)。従って、世界遺産となった富士山周辺においてO<sub>3</sub>が増大する可能性があり、世界遺産・富士山を取り巻く森林にも影響を及ぼし、その現状を示すことは重要である。

また、O<sub>3</sub>と同様に一次汚染物質のNOxから生成される二次汚染物質の硝酸イオン(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)は首都圏(1都7県)周辺の森林渓流水中で高いことが散見される(青井, 2010; 吉永他, 2012)。首都圏の横浜市南部に位置する大岡川源流域では、渓流水中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>が104  $\mu\text{M}$ と報告され(苗村・楊, 2016)、森林生態系の窒素飽和が報告されており、その上で富士山山麓周辺における源流に近い上流から下流にかけて河川中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>がどの濃度レベルかを探求していくことは重要である。例えば、森林生態系において窒素は制限要因であるため、その自然のサイクルが健全ならばアウトプットとなる森林渓流水中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>が濃度は限りなく0に近づく(Aber et al., 1998)。従って、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度を指標として、自然を内包する世界文化遺産の構成資産を評価することは、世界文化遺産の保護を検討するに当たって有益である。

大気環境と水環境を結びつける研究が極めて稀ではあるが(苗村他, 2021b)、水の収支は流動の過程で、特定の水域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、水は移動、循環を永続に繰り返している(奥田, 2003)。各河川の流域圏において、

それぞれの特色があり、かつそれぞれの自然や環境問題を抱えており(苗村・小寺, 2020)、富士山周辺で「山(森林)・川・海」を結びつける指標として  $\text{NO}_x$  からの二次物質を使って、世界文化遺産の構成資産を含む流域圏において大気環境および水環境の観点からも考察していく必要がある。そこで、本研究では、世界文化遺産のフィールドを抱える静岡県富士宮市の大気環境ならびに水環境について、 $\text{NO}_x$  からの二次物質である  $\text{O}_3$  濃度と、 $\text{O}_3$  といった乾性沈着の影響が現れる源流(苗村他, 2003; 苗村他, 2019)および上流域を含めた河川中の  $\text{NO}_3^-$  濃度を調べた。大気中の  $\text{O}_3$  は富士宮市役所のデータを用い解析し、河川中の  $\text{NO}_3^-$  濃度については、富士宮市を大よそ2分割する潤井川水系および芝川水系において集中観測調査を行い、世界文化遺産「富士山」の構成資産を含んだ静岡県富士宮市周辺の流域圏において  $\text{NO}_x$  の二次物質の動態を調べた。日本の世界文化遺産の多くは森林と関係があり(黒田, 2009)、 $\text{NO}_x$  から  $\text{NO}_3^-$  への酸化と  $\text{O}_x$  の生成とはほぼ同時に進行するため(佐々木他, 1986)、 $\text{NO}_x$  から二次物質として  $\text{O}_3$  と  $\text{NO}_3^-$  の連動性は注目される。そこで森林へ乾性沈着する  $\text{O}_3$  と、森林を源流と成す河川の  $\text{NO}_3^-$  について考察した。

## 2. 研究方法

調査地は富士宮市とその周辺である(図1)。富士山(山頂 3,776 m)は日本国内で最も標高が高く、2013年6月には「富士山—信仰の対象と芸術の源泉」として世界文化遺産として登録された。

大気中の  $\text{O}_3$  濃度の解析の対象地は、富士宮市において唯一の  $\text{O}_3$  濃度を測定している大気常時監視測定局の市役所(北緯 35 度 13 分 19 秒、東経 138 度 37 分 19 秒、標高 122 m)とした。この測定局は 1968 年に設置され、常時監視測定局のデータは国立環境研究所のホームページにて 2009 年度より公表されている。また、大気  $\text{O}_3$  濃度の季節変動は日照時間など太陽を中心として考えることがより解析しやすい(苗村・福岡, 2017; 苗村ほか, 2019)。

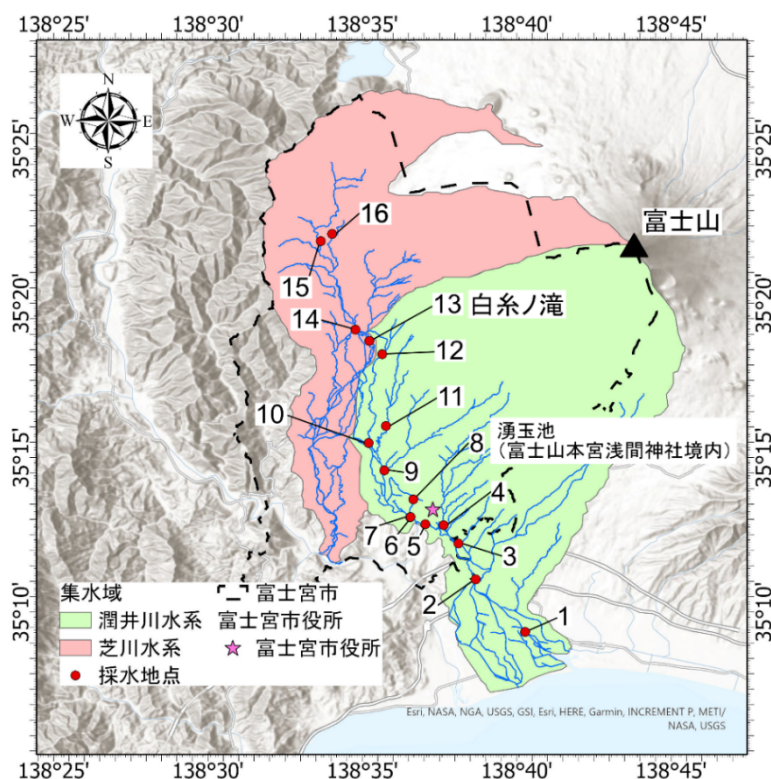


図1. 静岡県富士宮市とその周辺(基図は Esri 社より引用、流域界は国土地理院の国土数値情報のデータを基に作成)。番号の 8、13 は世界文化遺産の構成資産。番号の 14~16 は世界文化遺産の緩衝地域。

そこで O<sub>3</sub> 濃度の変動は太陽黄経 15 度間隔に 24 区分し、単位期間とした。また、今なお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に位置し、長期間大気を計測している東京タワー（北緯 35 度 39 分 31 秒、東経 139 度 44 分 44 秒、標高 25 m、高度 25 m）と同時期の測定結果について対比した。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 時間毎に測定している結果（1 時間値）とし、欠損値は除外して解析を行った。また、気塊がどこから来たのか時間を遡って計算する後方流跡線解析を NOAA（2022）による HYSPLIT Model（Stein et al., 2015; Rolph et al., 2017）により作成した。

河川中の NO<sub>3</sub>-濃度は、潤井川水系および芝川水系における世界文化遺産の構成資産である湧玉池および白糸ノ滝を含め、ほぼ直線上に 16 ヶ所を選定した（図 1）。潤井川は、上井出を水源とし田子の浦港に注ぐ、流域面積 310 km<sup>2</sup>、延長 25.5 km の一級河川で、世界文



図 2. 世界文化遺産の構成資産・富士山本宮浅間大社（境内に湧玉池を包含）と富士山  
（撮影：2020 年 2 月 23 日、苗村晶彦）



図 3. 世界文化遺産の構成資産・白糸ノ滝  
（撮影：2021 年 3 月 7 日、苗村晶彦）

化遺産の資産として登録される富士山本宮浅間大社（図 2）として境内に湧玉池を包含する。図 2 は令和初の「富士山の日」（静岡県，2021）のちょうど正午に御手洗橋からの浅間大社および富士山の情景を捉えている。また湧玉池は、平成名水百選の一つである。芝川は富士宮市北部を水源とし、富士川へ合流する、流域面積 174 km<sup>2</sup>、延長 22 km の一級河川で、世界文化遺産の資産として登録される白糸ノ滝（図 3）を内在する。首都圏（1 都 7 県）の山間部において大気沈着の窒素沈着量と標高および渓流水中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度と標高との間には因果関係があり、標高の低いところで渓流水中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高い傾向にある（苗村他，2003；楊，2004；苗村他，2010）。そこで、調査地において 2021 年 3 月 7～8 日に世界文化遺産の環境保全のため、標高別に NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の集中観測を行った。採取については洗浄されたポリ瓶 100mL に、共洗いしながら満水となるように採取し、採取した試料については、MILLIPORE 社のメンブレンフィルター（ポアサイズ 0.45 μm）で濾過した後、溶存成分中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は DIONEX 社のイオンクロマトグラフィー（ICS-2100/1100）を用いて測定した。尚、カラムは AS-12A、サプレッサー ADRS-600、溶離液は 3.75 mmol/L の Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> と 0.1 mmol/L の NaHCO<sub>3</sub> の混合溶液である。

### 3. 結果および考察

#### 3.1. 富士宮市における O<sub>3</sub> 濃度

富士宮市における O<sub>3</sub> 濃度については、3 年間の 1 時間値の全平均値は 28.6 ppb となっている。対照として、首都圏の中心地である東京に位置する東京タワー（標高 25 m、高度 25 m）の全平均値は 27.5 ppb（苗村他，2021b）となり、富士宮が東京タワーよりも 1.04 倍となり、ほぼ同程度だった。富士宮における 1 時間値の最高値としては、107 ppb

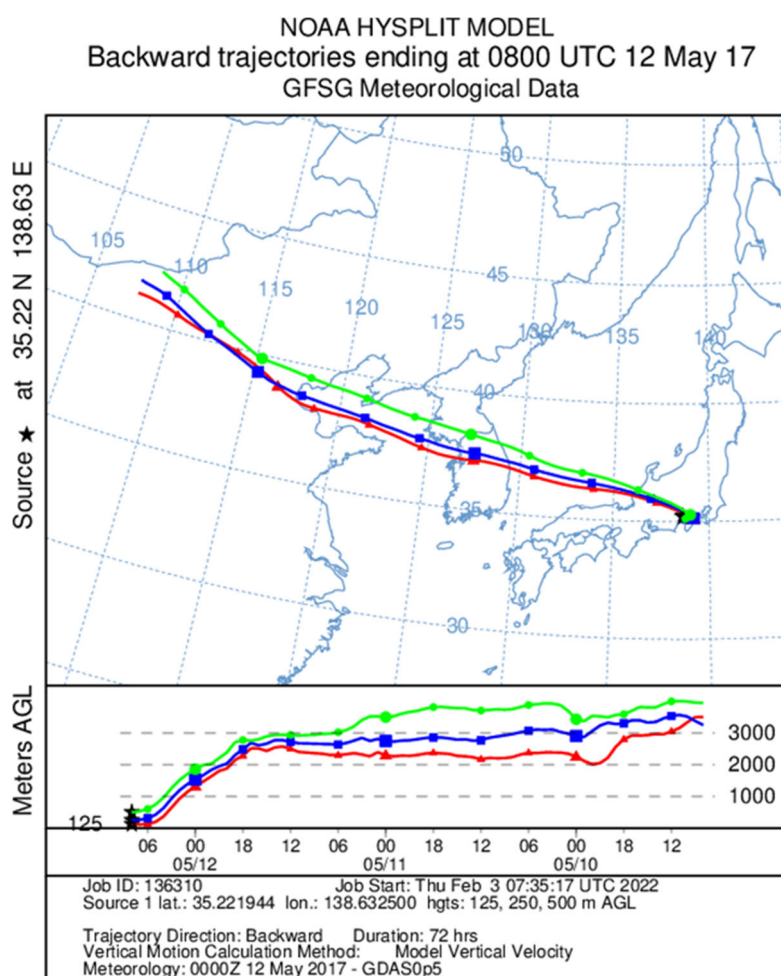


図 4. 2017 年 5 月 12 日 17 時における後方流跡線解析

(2017年5月12日17時および18時)となっている。また、その時のNOAA(2022)による後方流跡線を図4に示した。図の後方流跡線の終点時は図で移流が続いたと推測される5月12日17時(協定世界時8時)とした。図から判断できることは、富士宮における高度125mは気塊が3日前に高度3,000mを越えている為、オゾン層下層からのO<sub>3</sub>の供給が考えられる。それが高度2,000mの間で西へ移流し、富士宮へ高濃度として到達したと推測される。

またO<sub>x</sub>の環境基準は1時間値が60ppb以下であるが、調査した期間において富士宮の1時間値は環境基準を越えているケースが解析したデータ中1,265件あった。その中で太陽黄経による24区分では、5/5~20が245件、5/21~6/5が236件と特に多かった。ちなみに、その最高値は光化学スモッグ注意報レベル(120ppb)近くにまで達していることになる。

富士宮における太陽黄経による24区分別の調査期間と、24区分別のO<sub>3</sub>濃度および東京タワーの平均値を表1に示し、富士宮における太陽黄経による24区分別のO<sub>3</sub>濃度の季節変動を平均値および最高値・最低値について図5に示した。富士宮においては、最高値は小満(5/21~6/5)の43.9ppb、最低値は11/7~21の17.8ppbとなっている。O<sub>3</sub>濃度は春季に高くなり、特に5/5~20から5/21~6/5にかけて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。5/21~6/5を過ぎると濃度低下が見られ、8/7~22には高くなり、東京タワーの1.3倍となった。O<sub>3</sub>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(溝口他, 1989)。東京タワーでは越境汚染の他に人口が集中する人間活動の影響が盛んであることが考えられ、富士宮においても東京タワーとほぼ同じ平均値ではあったが、黄経による24区分別のO<sub>3</sub>濃度の季節変動が東京タワーとは異なることから移流の可能性もあり、2017年5月12日17時の最大値は成層圏下層からの沈降と考えられる。アジア大陸からの越境汚染の影響も見られる沖縄県石垣島における黄経による24区分別のO<sub>3</sub>濃度の季節変動解析では、最高値は11/7~21の40.3ppbという報告も

表1. 富士宮における太陽黄経による24区分別のオゾン濃度の平均値  
(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	東京タワー
3/21~4/4	春分	36.1 ppb	35.8 ppb	33.5 ppb	36.6 ppb
4/5~4/19	清明	30.0 ppb	37.7 ppb	31.6 ppb	35.7 ppb
4/20~5/4	穀雨	40.4 ppb	43.7 ppb	39.4 ppb	42.3 ppb
5/5~5/20	立夏	40.6 ppb	42.3 ppb	48.8 ppb	42.7 ppb
5/21~6/5	小満	45.0 ppb	42.2 ppb	44.6 ppb	43.4 ppb
6/6~6/20	芒種	33.5 ppb	35.2 ppb	44.2 ppb	35.7 ppb
6/21~7/6	夏至	27.7 ppb	32.4 ppb	32.7 ppb	29.7 ppb
7/7~7/22	小暑	14.5 ppb	28.9 ppb	28.2 ppb	24.3 ppb
7/23~8/6	大暑	27.8 ppb	21.7 ppb	23.7 ppb	20.8 ppb
8/7~8/22	立秋	28.9 ppb	28.9 ppb	26.7 ppb	21.6 ppb
8/23~9/7	処暑	24.0 ppb	20.2 ppb	31.8 ppb	24.4 ppb
9/8~9/22	白露	27.4 ppb	22.3 ppb	32.8 ppb	26.7 ppb
9/23~10/7	秋分	27.5 ppb	15.3 ppb	29.8 ppb	25.7 ppb
10/8~10/22	寒露	26.9 ppb	22.7 ppb	24.9 ppb	24.3 ppb
10/23~11/6	霜降	24.7 ppb	20.6 ppb	29.2 ppb	22.6 ppb
11/7~11/21	立冬	13.4 ppb	15.6 ppb	24.3 ppb	17.5 ppb
11/22~12/6	小雪	16.3 ppb	16.7 ppb	20.4 ppb	15.2 ppb
12/7~12/21	大雪	16.2 ppb	18.5 ppb	22.8 ppb	15.7 ppb
12/22~1/4	冬至	18.9 ppb	23.5 ppb	27.0 ppb	22.4 ppb
1/5~1/19	小寒	19.0 ppb	23.1 ppb	23.7 ppb	19.1 ppb
1/20~2/3	大寒	18.8 ppb	28.7 ppb	27.5 ppb	22.9 ppb
2/4~2/18	立春	25.6 ppb	30.3 ppb	35.0 ppb	27.5 ppb
2/19~3/5	雨水	26.1 ppb	33.8 ppb	30.4 ppb	29.4 ppb
3/6~3/20	啓蟄	23.6 ppb	36.8 ppb	31.0 ppb	31.5 ppb

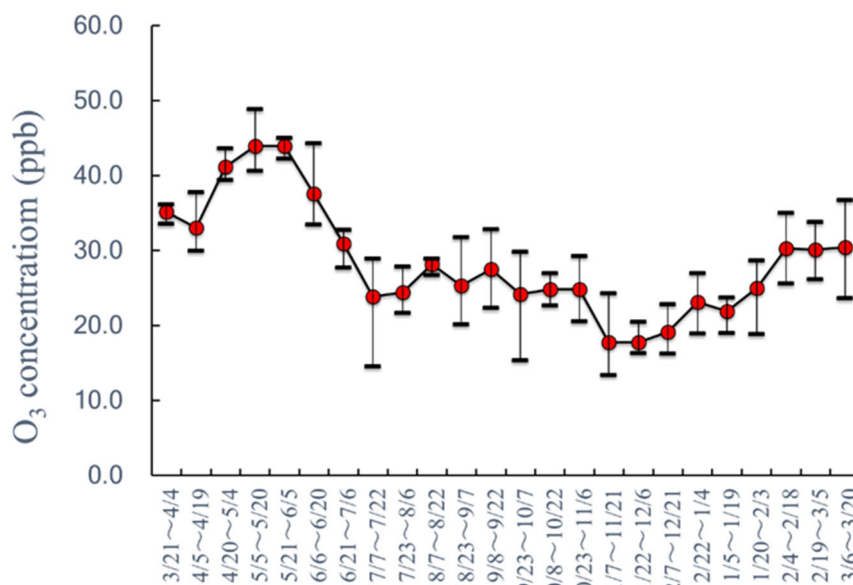


図 5. 富士宮における太陽黄経による 24 区分別のオゾン濃度の季節変動 (2015 年 3 月 21 日～2018 年 3 月 20 日)

あり (苗村・奥田, 2019)、これは富士宮で最も低くなった時期であり、地域によっては黄経による季節変動が大きく異なることがわかった。富士宮における黄経による 24 区分別の O<sub>3</sub> 濃度の季節変動が東京タワーのそれよりも上回ることがあることが確かめられ、気象の解析も併せて行う必要があろう。

### 3.2. 潤井川水系および芝川水系における河川中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度

潤井川水系および芝川水系における採取地点の緯度・経度、標高および NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の結果を表 2 に示した。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は平均 101 μmol/L となり、最も高い濃度は龍巖橋で 176 μmol/L となり、最も低い濃度は横手澤橋で 28.9 μmol/L となった。最も低いところでは、木平他 (2004) がまとめた 1 回限りの調査における全国の渓流水質中の静岡県 (n=34) の平均値 (30.6 μmol/L) と比べて低いことがわかった。尚、渓流水中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は平水

表 2. 潤井川水系および芝川水系における NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度

図1の番号	水系	採取地点	緯度	経度	標高 (m)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度 (μmol/L)
1	潤井川水系	潤井川橋	35度09分22秒	138度40分16秒	8	115.9
2	潤井川水系	龍巖橋	35度11分03秒	138度38分40秒	28	176.1
3	潤井川水系	田代橋	35度12分13秒	138度38分07秒	66	121.5
4	潤井川水系	一ノ瀬橋	35度12分49秒	138度37分38秒	89	137.2
5	潤井川水系	金谷橋	35度12分51秒	138度37分03秒	110	101.4
6	潤井川水系	野中橋(潤井川)	35度13分03秒	138度36分33秒	113	118.2
7	潤井川水系	野中橋(神田川)	35度13分05秒	138度36分34秒	113	99.9
8	潤井川水系	湧玉池	35度13分39秒	138度36分40秒	120	97.3
9	潤井川水系	河合橋	35度14分35秒	138度35分43秒	150	123.9
10	潤井川水系	塚橋	35度15分28秒	138度35分01秒	197	103.1
11	潤井川水系	大谷橋	35度16分01秒	138度35分46秒	244	75.0
12	潤井川水系	新田橋	35度18分21秒	138度35分39秒	452	69.6
13	芝川水系	白糸ノ滝	35度18分47秒	138度35分14秒	485	146.0
14	芝川水系	横手澤橋	35度19分09秒	138度34分47秒	540	28.9
15	芝川水系	陣馬の滝	35度22分01秒	138度33分39秒	701	61.4
16	芝川水系	鱒の家湧水	35度22分15秒	138度34分02秒	709	47.7

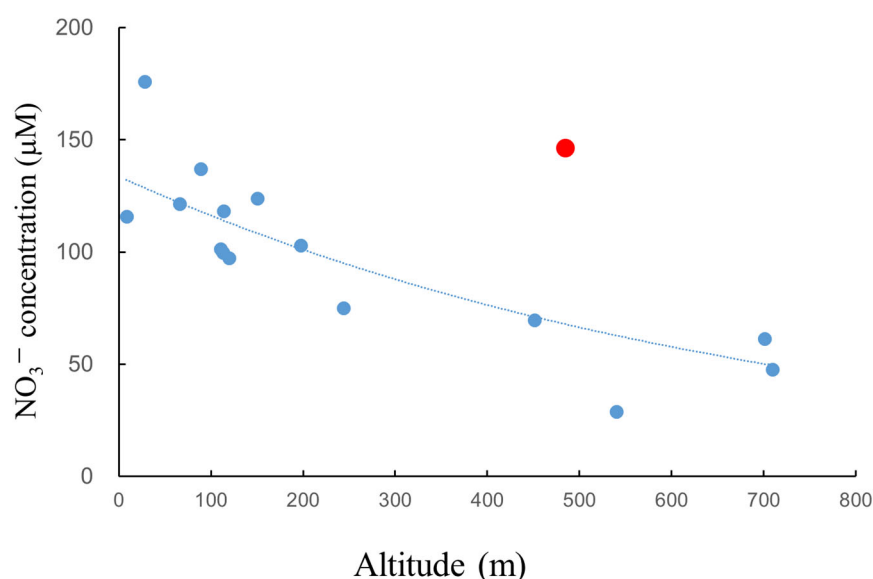


図 6. 採取地点の標高と河川中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度との関係  
(赤丸は白糸ノ滝のデータ。点線は全地点における傾向を示す)

時において1回限りでもその調査地の代表性がある(楊, 2000; 伊藤他, 2004)。今回の調査において源流に近い場所も含んでいるため、「富士山」周辺において渓流水中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が低い場合がある。

潤井川水系および芝川水系における採取地点の標高と NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度との関係を図 6 に示した。白糸ノ滝が標高の割に NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高い結果が得られた。現在の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(沖野, 2002)。都市や農地からの排出は⑤に含まれる。従って、白糸ノ滝は②の乾性沈着が局地的に表出した現象、あるいは⑤の影響が表れた結果だと推測される。富士山周辺の湧水および地下水における 1993 年 8 月 7～10 日の調査において(佐藤他, 1997)、富士宮市東部を除き、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が 10 mg/L (=161 μmol/L) を越える地点は少なかったが、世界文化遺産の構成資産となった白糸ノ滝が人間活動の影響で汚染されていると推測される。

農業排水や生活排水などの人間活動による排出物による、湧水および地下水への影響が指摘されているつくば市では、2005 年 7 月 24 日および 30 日において湧水および地下水のデータ(藪崎, 2010)で河川中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度 (n=4) が 1.6～10.8 mg/L (=25.8～174 μmol/L) と報告される。以上のような人間活動の影響が指摘されているが、こうした人間活動による排出物は、肥料や畜産などの農業排水、生活排水などが考えられるが、つくば市の結果のように変動は大きくなり、今回の白糸ノ滝のデータはこのつくば市の大きい河川中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度に匹敵する。富士山南西麓地下水は硝酸性窒素汚染が健在化している報告もあり(鹿園他, 2014)、営農活動による農業排水の例とも合わせ、今後同位体比などで検証することが重要である。河川の源流に相当する渓流水では、紀伊半島南部の古座川水系源流において NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の平均が 4.31 μmol/L であり(苗村他, 2021a)、その平成名水百選にも選定されている古座川の源流域と比較して白糸ノ滝は標高が高いにも関わらず、34 倍もの NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度であることには問題意識を持たねばならない。

#### 4. おわりに

世界遺産として登録された「富士山」はもともと世界自然遺産を目指していた。日本において世界遺産への関心が高まり始めた 1992 年から始まり、美しい「富士山」を世界の宝にしようとする動きは、多くの賛同を得て署名活動や国会請願まで行われた(田中・佐野,



2006)。しかしながら、世界自然遺産としてはコニーデと呼ばれる成層火山は世界的に珍しくなく、ゴミ問題もあり、自然遺産への道が阻まれた経緯がある（中村，2019）。

今回、世界文化遺産のフィールドである「富士山」に係わる大気環境および水環境を調べた結果、大気環境で問題視される  $O_3$  濃度は、首都圏の中心地・東京タワーと比較するとほぼ同じ季節変動を示し、ほぼ同程度だと確かめられた。現在においても、わが国において光化学スモッグ注意報は首都圏を中心に発令されるので、首都圏の中心地・東京タワーとほぼ同じとなった富士宮の結果は注視すべきであろう。 $NO_x$  から生成される二次物質の  $O_3$  と  $NO_3^-$  は連動する（佐々木他，1986）。 $O_3$  が首都圏並みということは、それに伴って乾性沈着による  $NO_3^-$  が生成し、富士山山麓の富士宮市内では渓流水ないしは河川中の  $NO_3^-$  濃度がバックグラウンドとして高い可能性があると考えられる。また、標高が高いところでは白糸ノ滝を除いて  $NO_3^-$  濃度は高くなく、今後の調査において標高 200m 以下で 100  $\mu\text{mol/L}$  を越える汚染源が乾性沈着によってどれだけ高くなるかを特定していく必要がある。

また、世界文化遺産の資産である白糸ノ滝において、集中観測による河川中の  $NO_3^-$  濃度が標高の割に相対的に突出して高かったのは、人間活動の影響が考えられ、世界文化遺産の構成資産として登録されている以上、同位体測定等を通してその水質が越境汚染によるものか、営農活動などによる排水か、原因追求をしていかねばならない。

世界遺産の根本を問えば、そもそもは後世に残す保護および保存であろう。「富士山」は最初自然遺産を目指した背景もある。今回、 $NO_x$  からの二次物質について、大気中の  $O_3$  は問題視されるも、河川中の  $NO_3^-$  濃度が静岡県内の渓流水中の平均的な  $NO_3^-$  濃度が示された一方で、白糸ノ滝については標高が比較的高いにもかかわらず、 $NO_3^-$  濃度が相対的に高かった事例も確かめられた。局地的な影響をもたらす乾性沈着の影響や、地下水汚染や営農活動による人間活動による影響も合わせ、世界遺産「富士山」に係わる自然環境の状況把握かつ定期的な集中観測も含めた継続的なモニタリングを行うべきである。潤井川水系にて環境基準を満たさない  $O_3$  濃度の実態がわかったが、世界文化遺産の構成資産である白糸ノ滝を内包する芝川水系にも大気常時監視測定局を設置し、森林に影響を及ぼす乾性沈着の動態の把握が求められる。

## 5. 引用文献

- Aber, J. D., McDowell, W., Nadelhoffer, K. J., Magill, A., Berntson, G., Kamakae, M., McNulty, S., Currie, W., Rustad, L., and Fernandez, I. 1998. Nitrogen saturation in temperate forest ecosystem, Hypotheses revised. *BioScience*, 48:921-934.
- 青井透. 2010. 人為的な汚濁源のない利根川上流域における窒素汚染. *地球環境* 15: pp.145-152
- 浅井和由・興水達司. 2019. 富士山の山麓湧水の  $3H/3He$  年代. *地下水学会誌* 61: pp.291-298
- 富士宮市. 2020. 富士宮市環境白書（令和元年度版）. [http://www.city.fujinomiya.lg.jp/sp/municipal\\_government/l1ti2b000000184j.html](http://www.city.fujinomiya.lg.jp/sp/municipal_government/l1ti2b000000184j.html) [2021年7月13日確認]
- 現代公益学会編. 2018. 公益叢書第六輯 公益法人・NPO 法人と地域. 文眞堂. 東京
- 畠山史郎・村野健太郎. 1996. 奥日光前白根山における高濃度オゾンの観測. *大気環境学会誌* 31: pp.106-110
- 畠山史郎. 1999. 奥日光地方における森林衰退と酸性降下物・酸化性大気汚染物質. *環境科学会誌* 12: pp.227-232
- 木平英一・新藤純子・吉岡崇仁・戸田任重. 2006. わが国の渓流水質の広域調査. *日本水文学会誌* 36: pp.145-149
- 黒田乃生. 2009. 日本の世界文化遺産における森林の現状に関する考察. *日本ランドスケープ研究* 72: pp.645-650
- 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  $NO_3^-$  濃度の分布. *日本林学会誌* 86: pp.275-278
- 宮廻隆洋・田林雄・大城等・小山維尊・中島結衣・佐藤紗知子・野尻由香里・岸真司・藤

- 原敦夫・神谷宏. 2014. 日本海側河川に対する中国大陸からの越境窒素汚染. 陸水学会雑誌 75: pp.27-34
- 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: pp.87-99
- Naemura, A., Tsuchiya, A., Fukuoka, Y., Nakane, K., Sakugawa, H., and Takahashi, H. 1996. Climatic inversion layer and atmospheric NO<sub>x</sub> concentration on the slope of forest decline area in the Seto Inland Sea district, Japan. *Japanese Journal of Biometeorology* 33: pp.131-136
- 苗村晶彦・中根周歩・佐久川弘・福岡義隆. 1997. 広島県極楽寺山におけるガス状汚染物質の動態とマツ・広葉樹の樹木活力度との相関関係. 環境科学会誌 10: pp.1-10
- 苗村晶彦・藤田俊忠・倉田 斉・土器屋由紀子・楊 宗興. 2003. 秩父多摩甲斐山岳域における森林渓流水質の標高別分布. 自然環境科学研究所 16: pp.1-6
- 苗村晶彦・倉田 斉・楊 宗興. 2010. 広域都市圏における窒素沈着フラックスの標高別分布. 自然環境科学研究所 23: pp.1-5
- 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: pp.55-64
- 苗村晶彦・初山守・奥田知明. 2021a. 降水中の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が低い四万十帯における渓流水質. 環境科学会誌 34: pp.40-45
- 苗村晶彦・小寺浩二. 2020. 河川に関わる自然と人間活動—関東圏を事例として. 戸板女子短期大学研究年報 63: pp.45-61
- 苗村晶彦・奥田知明. 2019. 石垣島における O<sub>3</sub> 濃度の季節変動と西表島における渓流水質. 2019年度日本島嶼学会宮古島大会 研究発表要旨集: pp.31
- 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渓流水質. 日本生気象学会雑誌 56: pp.101-107
- 苗村晶彦・齋藤圭・奥田知明・小寺浩二. 2021b. 源流と河口の環境—鳥取県加勢蛇川を事例として. 流域圏学会誌 8: pp.2-9
- 苗村晶彦・楊宗興. 2016. 横浜市大岡川源流域における森林渓流水質. 環境科学会誌 29: pp.201-205
- 中村俊介. 2019. 世界遺産—理想と現実のはざままで. 岩波書店. 東京
- NOAA. 2022. Air Resources Laboratory, Advancing Atmospheric Science and Technology through Research  
<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php> [2022年2月3日確認]
- 沖野外輝夫. 2002. 新・生態学への招待 河川の生態学. 共立出版. 東京
- 奥田節夫. 2003. 山・川・海を通じて広域にわたる環境保全 共生のあり方を考える. 日本陸水学会第68回大会 講演要旨集: pp.26
- Rolph, G., Stein, A., and Stunder, B. 2017: Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. *Environmental Modelling & Software*, 95: 210-228
- 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: pp.216-225
- 佐藤芳徳・安池慎治・河野忠・北川光雄・鈴木裕一・高山茂美. 1997. 富士山周辺の湧水および地下水の水質について. 日本水文科学会誌 27: pp.17-25
- 鹿園直建・荒川貴之・中野孝教. 2014. 富士山南麓の地下水水質、流動と窒素汚染. 地学雑誌 123: pp.323-342
- 静岡県. 2021. 「富士山の日」制定趣旨、条例 <http://www.pref.shizuoka.jp/bunka/bk-223/fujisannohi/jourei.html> [2021年10月28日確認]
- Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F. 2015. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96: 2059-2077
- 田中絵里子・佐野 充. 2006. 世界遺産を目指す富士山の現状と問題点. 日本地理学会発表要旨集: pp.46
- 藪崎志穂. 2010. 日本の地下水・湧水等の硝酸態窒素濃度とその特徴. 地球環境 15: pp.121-

131

- 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: pp.166-167.
- 楊 宗興. 2004. 多摩川流域での窒素飽和の実態解明：その分布と解析. とうきゅう環境浄化財団. 東京
- 吉永秀一郎・伊藤優子・相澤州平・釣田竜也. 2012. 関東平野北東部の森林流域における溪流水の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度分布と東京都心からの距離との関係. 日本森林学会誌 94: pp.84-91

(著者連絡先)

氏名：苗村 晶彦

住所：〒105-0014 東京都港区芝 2-21-17

Email：naemura@toita.ac.jp

氏名：齋藤 圭

住所：〒874-0903 大分県別府市野口原 3088-176

Email：saitoh.k@bep.vgs.kyoto-u.ac.jp

氏名：奥田 知明

住所：〒X223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

Email：okuda@aplc.keio.ac.jp

氏名：小寺 浩二

住所：〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1

Email：kodera@hosei.ac.jp