

世界文化遺産のフィールド— 栃木県「日光の社寺」周辺に係わる自然環境について

苗村 晶彦・渡辺 幸一¹

総合教養センター

はじめに

2019年5月1日に第125代天皇の平成の時代から、第126代天皇の令和に移り変わった。“令和”の典拠は『万葉集』から梅の花の歌の序文で大伴旅人(665年生)が作った「令月にして、気淑く風和ぎ、梅は鏡前の粉を披き、蘭は珮後の香を薫らす」である¹⁾。令和は大化(645～650年)から数え、南北朝の時代も含めて248番目²⁾となる。平成の時代は1989年から2019年までの30年と3ヶ月強となった訳だが、近年では昭和、明治に続く長期間の時代であった。この平成時代の1992年にわが国は遅ればせながら125番目の締約国として「世界の文化遺産および自然遺産の保護に関する条約(世界遺産条約)」に加盟した³⁾。2014年時点において世界遺産の国別登録数ランキングでわが国は13位となる18件を数える(1位はイタリアの50件である)⁴⁾。

上記の国際条約は1972年11月16日の第17回ユネスコ総会で採択された。1946年に創設されたユネスコ(国際連合教育科学文化機関)は国連の教育、科学、文化分野の専門機関であり、世界遺産はユネスコの条約で最大の成功例とも言われ、その名は社会に浸透している⁵⁾。ユネスコにおいて、“地球の生成と人類の歴史によって生み出され、過去から現在へと引き継がれてきたかけがえのない宝物、現在を生きる世界中の人びとが過去から引き継ぎ、未来へと伝えていかなければならない人類共通の遺産”⁶⁾を世界遺産とした。世界遺産には、文化遺産、自然遺産、複合遺産の3つの種類があり、有形の不動産が対象となる。

世界文化遺産の登録基準としては⁷⁾、「①人類の創造的才能を表現する傑作である。②ある期間、あるいは世界のある文化圏において、建築物、技術、記念碑、都市計画、景観設計の発展における人類の価値の重要な交流を示していること。③現存する、あるいはすでに消滅した文化的伝統や文明に関する独特な、あるいは稀な証拠を示していること。④人類の歴史の重要な段階を物語る建築様式、あるいは建築的または技術的な集合体または景観に関する優れた見本であること。⑤ある文化(または複数の文化)を特徴づけるような人類の伝統的集落や土地・海洋利用、あるいは人類と環境の相互作用を示す優れた例であること。特に抗しきれない歴史の流れによってその存続が危うくなっている場合。⑥顕著で普遍的な価値をもつ出来事、生きた伝統、思想、信仰、芸術的作品、あるいは文学的作品と直接または明白な関連があること(ただし、この基準は他の基準とあわせて用いられることが望ましい)」となる。

栃木県の「日光の社寺」については、上記の①④⑥の項目が該当し、1999年12月2日に首都圏(1都7県)として初めての世界遺産に登録され、並びに利根川流域としても初めての世界遺産となった。「日光の社寺」については、17世紀はじめに造営された徳川家康の霊廟としての東照宮等の建築様式、更に建造物に施された装飾品などに対しての高い芸術性が認められること、合わせてこうした建造物が周辺の山岳や森林などの自然と共存していることなどが評価された⁸⁾。また、利根川の流域は群馬県、長野県、栃木県、茨城県、埼玉県、千葉県ならびに東京都と1都6県に及び、全長は322 kmで全国2位、流域面積は16,840km²でわが国最大の河川である。また利根川は「坂東太郎」の異名をもち、“筑

¹ 富山県立大学工学部

紫次郎”の筑後川，“四国三郎”の吉野川と合わせ、日本三大暴れ川のひとつに数えられる⁹⁾。

世界自然遺産はもとより、世界文化遺産に係わる自然のフィールドも自然災害および人間活動の影響を受ける。自然遺産の場合は、その自然の浄化能力によって再生もするであろうと予測もできるが、文化遺産の場合、登録された貴重な有形の不動産は災害等によって、一度失えば未来永劫その建造物等の価値が落ちることになる。利根川流域（利根川水系の鬼怒川水系の大谷川水系）となる「日光の社寺」は、構成資産の核心地域（コアゾーン）が 50.8 ha で、その周辺もそれを保護する緩衝地域（バッファゾーン）の 373.2 ha も世界遺産として登録されており、そのコアゾーンには白糸の滝などの渓流水（大谷川水系の稲荷川水系）も含まれる。周辺は、第四紀に活動した火山が集中し、日光火山群の基盤は多くの温泉があるように、熱水変質地帯が広く分布し、崩壊や地すべりの素因となっている¹⁰⁾。その上、栃木県は人口約4,400万人を有する首都圏に含まれる。現在もわが国では首都圏を中心に光化学スモッグ注意報が発令されるが、栃木県も日本有数の光化学スモッグ注意報発令県であり、「日光の社寺」の上流域（源流域）に位置する奥日光の山岳では森林衰退が報告される¹¹⁾。

われわれにとって一番身近な物質は空気と水であろう。そして、われわれの生命に最も関係深い物質である¹²⁾。また、世界遺産登録はゴールではなく、登録後の保存と活用の在り方が課題になっている¹³⁾。本研究では、首都圏の北に位置する「日光の社寺」に係わる歴史や自然などに触れながら、その周辺の空気環境および渓流水質について調べ探求し、世界文化遺産のフィールドの背景にある問題に着目した。

1. 「日光の社寺」や日光について

「人の一生は重荷を負ふて遠き道を行くが如し。急ぐべからず。不自由を常とおもへば不足なし。心に望み起こらば困窮したる時を思ひ出すべし。堪忍は無事長久の基。怒りは敵と思へ。勝つことを知りて負くことを知らざれば害その身にいたる。おのれを責めて人を責むるな。及ばざるは過ぎたるに勝れり」

上記は徳川家康（1542年生まれ）の含蓄深い遺訓の中でも最も有名なものである¹⁴⁾。日光の東照宮は江戸時代にはその徳川家康の眠る墓所として、代々の将軍の参拝、全国各藩主の参詣などが行われ、江戸幕府の政治体制を支える重要な役割を果たしている。もともと日光は奈良時代の766年に勝道上人（735年生）による開山以来、1200年以上の歴史を持ち、古くから神仏習合の霊場となっていた³⁾。日光における古来の神道思想に基づく信仰形態は、自然と一体となった宗教空間を創り上げ、今なお受け継がれていることなどが評価され、前述したように1999年に文化遺産に登録された。表1に1990年代に登録された日本における世界文化遺産、所在地、登録年および主な河川水系を示す。

「日光の社寺」の構成資産は、2社1寺に属する103棟の建築物群と周辺の景観遺跡で、その2社1寺は、二荒山神社、東照宮および輪王寺である。二荒山神社は『延喜式』神名帳に「下野国河内郡一座大二荒山神社名神大」とあり、下野国一宮であり、二荒山を古名とする男体山の崇敬から生まれたものであると推測される¹⁵⁾。ちなみに、延喜神名式座数として下野は11座を数え、座とは祭神の数を示す単位である¹⁶⁾。1868年の神仏分離令以降、日光山内の

表1. 1990年代の日本における世界文化遺産

登録名称	所在地	登録年	主な河川水系
① 法隆寺地域の仏教建造物	奈良県	1993	大和川水系
② 姫路城	兵庫県	1993	船場川水系
③ 古都京都の文化財	京都府・滋賀県	1994	淀川水系
④ 白川郷・五箇山の合掌造り集落	岐阜・富山県	1995	庄川水系
⑤ 原爆ドーム	広島県	1996	太田川水系
⑥ 厳島神社	広島県	1996	紅葉谷川水系
⑦ 古都奈良の文化財	奈良県	1998	大和川水系
⑧ 日光の社寺	栃木県	1999	利根川水系

仏教建築物を総称して輪王寺と呼び、東照宮以外の日光山内に点在する神道建物を総称して二荒山神社と呼んでいる³⁾

栃木県日光市は、面積が1449.8km²で、2019年6月1日の推計人口は79,283人である。また、21世紀中(2001~2018年)の奥日光(北緯36.738度, 東経139.500度, 標高 1,292m)は平均気温7.2度, 平均降水量2,233mmとなっている。栃木県は、東北地方より延長する山岳部と関東平野の北縁が接する地域に位置し、県東西に発達する二つの山地帯と県中部を南北に占める平野部の大きく3つの地形区からなる。県央平野部は鬼怒川地溝帯の上に成り立ち、主に丘陵地, 台地, 低地で構成される。日光がある県北部地域は、地質時代の三畳紀~ジュラ紀の付加コンプレックスを基盤とする美濃・丹波・足尾帯となる^{17,18)}。日光地域ではこれに白亜紀中期に貫入したのが松木花公閃緑岩類で、これより少し遅れた白亜紀末から古第三紀に、いろは坂溶結凝灰岩が噴出し、第二いろは坂の明智平付近や華巖の滝(図1)の右岸などに規模の大きい露頭として観察される¹⁹⁾。華巖の滝は和歌山県那智の滝, 茨城県袋田の滝とならび日本三大名瀑の一つであるが、古大谷川がせき止められてできた中禅寺湖が流れ下っているところである。「日光の社寺」を含む大谷川水系およびその水系の上流(所謂, 奥日光)においては、名瀑も含め自然も大きな魅力のひとつとなっている。

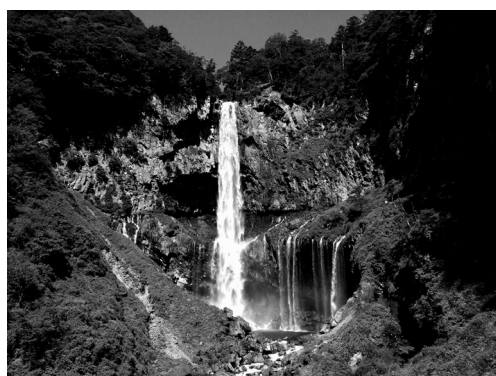


図1. 華巖の滝

2. 日光における空気環境

1982年7~8月の台風10号(最低気圧900 hPa)の影響もあり、奥日光山岳地域でダケカンバの枯死

が報告される²⁰⁾。また、光化学オキシダント(Ox)による森林衰退も懸念され¹¹⁾、奥日光の前白根山(標高2,373m)頂上近くでオゾン(O₃)の最高瞬時値が109ppb(1995年8月19~20日)で高濃度が記録されている²¹⁾。ちなみに、OxのほとんどはO₃である。成層圏O₃がわれわれの生活を守る役割を果たすのに対し、対流圏O₃はわれわれの生活に影を落とす。対流圏では、その名前の通りさまざまな運動によって、その中の空気がよくかき混ぜられているのが特徴である。その対流圏O₃は、主に成層圏由来と人為起源由来の2種類ある²²⁾。成層圏O₃は生成されるべき"善玉"であるが、対流圏O₃は消滅した方がよいという"悪玉"となる。O₃は強い酸化力のため生物にとって有害であり、わが国の山岳地等における森林衰退の一因とされる¹²⁾。

奥日光では、高濃度O₃時は夏季の卓越した東京圏からの南風に加えて、日射強度が大きい時で、これは強い日射により都市域で発生した一次汚染物質(例えば、窒素酸化物(NOx)など)が光化学反応を起こしながら広域な海陸風循環によって輸送されてきたと考えられている²³⁾。

2018年の光化学スモッグ注意報発令の都府県別の延べ日数を表2に示す。一番発令数が多かったのは岡山県で延べ日数は12日であった。全国の中で、岡山県で発令数が1番多かったのは2018年が初めてである。この5年間(2014~2018年)における光化学スモッグ注意報発令の都府県別の延べ日数を表3に示す。5年間では、埼玉県が1年あたり11.0日の注意報発令の延べ日数であり、上位10位には首都圏が全て入る結果となった。日光市のある栃木県のこの5年間における1年あたりの発令日数は4.0日となった。また、21世紀中の17年間の上位10都府県と比べて¹²⁾、この5年間では中国地方の岡山県が上位10都府県に入った。このように、光化学スモッグ注意報は首都圏を中心に発令されているが、昨今は中国大陸からの影響も報告され²⁴⁾、瀬戸内地方にもホットスポット的に及んでいる可能性がある。例えば、瀬戸内にある香川県の離島で、岡山県に近い直島では首都圏の中心地・東京タワーとほぼ同じ程度のO₃濃度であった²⁵⁾。

表 2. 2018年における光化学スモッグ注意報発令延日数

1位	岡山県	12日
2位	埼玉県	10日
3位	千葉県	9日
	東京都	9日
5位	神奈川県	8日
6位	大阪府	5日
7位	栃木県	4日
8位	茨城県	3日
	群馬県	3日
	奈良県	3日
	広島県	3日

表 3. 光化学スモッグ注意報発令の5年間（2014～2018年）の合計発令延日数

1位	埼玉県	55日
2位	千葉県	53日
3位	東京都	43日
4位	神奈川県	41日
5位	岡山県	37日
6位	群馬県	35日
7位	大阪府	27日
8位	栃木県	20日
9位	茨城県	19日
10位	広島県	13日

「日光の社寺」周辺の自然環境を探る上で、日光における O₃濃度について解析することは重要である。解析の対象地は、日光市役所日光総合支所（北緯36.751度，東経139.606度，標高 591m）とした。この場所は、世界文化遺産登録のコアゾーンから約300m のところに位置している。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^{26,27)}、濃度の変動解析は太陽黄経15度毎による太陽暦でもある二十四節気別で行った。また二十四節気は毎年同じ時季に同じ節気が来ることや、節気の間隔が約15日と一定しており、半月毎の季節変化に対応できているので、農業や生活の目安として便利なものである²⁷⁾。

解析した時期は、2012年3月21日（春分点）から2015年3月20日までの3年間とした。2012年の春分の日は3月20日であったが便宜上、3月21日を春分点とした。具体的な二十四節気の期間については、二十四節気別で解析した報告²⁷⁾を参照されたい。解析に使用したデータは各自自治体が設置している大気常時監視測定局の測定結果とした。また、欠損値は除外して解析を行った。尚、O_x値はO₃値とした。また、首都圏の中心地である東京タワー（北緯35.659度，東経139.746度，標高25m，高度25m）および福島南会津（北緯37.201度，東経139.782度，標高558m）との同時期の解析結果との比較を行った²⁸⁾。

その結果、日光の O_x濃度の全平均値は26.2ppbとなっている。参考として、東京タワーおよび福島南会津は26.0ppb および28.1ppb となっている。また、1時間値の最高値としては、日光、東京タワーおよび南会津においてそれぞれ103ppb、162ppb および91ppb となっている。O_xの環境基準は1時間値が60ppb 以上なので、調査した期間においては環境基準を大幅に越えている。また、表4には日光、東京タワーおよび南会津における O_x濃度の1時間値の1日平均値の上位5日を記載した。表にはその日の二十四節気も併せて記載した。総じて、日光と東京タワーにおいて1日平均値の高濃度は同程度で

表 4. 調査期間における O_x濃度（1日平均値）の上位5日

栃木・日光				東京タワー				南会津			
2014.6.2	小満	61.5	ppb	2014.6.1	小満	64.63	ppb	2014.5.10	立夏	58.8	ppb
2014.4.16	清明	57.6	ppb	2013.5.6	立夏	64.58	ppb	2014.5.16	立夏	56.0	ppb
2014.5.30	小満	57.0	ppb	2013.8.11	立秋	59.2	ppb	2014.4.27	穀雨	55.5	ppb
2012.5.20	穀雨	56.9	ppb	2012.5.18	立夏	58.7	ppb	2014.4.11	清明	55.0	ppb
2014.5.31	立夏	56.5	ppb	2013.4.30	穀雨	57.4	ppb	2014.4.12	清明	54.7	ppb

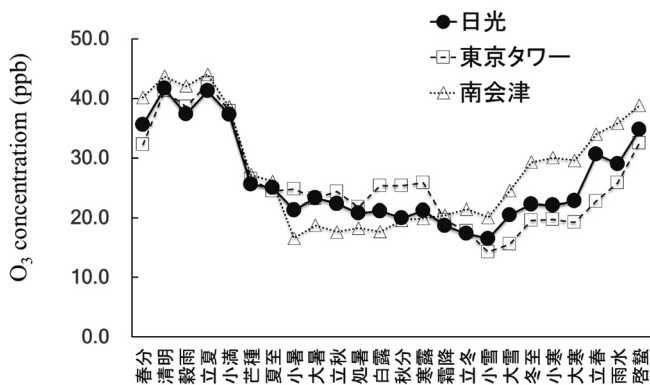


図2. 日光、東京タワーおよび南会津における二十四節気別のO₃濃度の季節変動

あった。日光では2014年6月2日に61.5ppbとなっている。前日の東京タワーにおいてはこの日が64.6ppbと最も高く、二十四節気では小満（5月21日～6月5日）の時季に特に高くなる傾向であった。また七十二候で6月2日に相当するのは小満の末候「麦秋至」で、小満とは命が次第に満ち満ちていくという意味である²⁹⁾。

日光、東京タワーおよび南会津における二十四節気別の濃度変動を図2に示す。日光および東京タワーにおいては平均濃度についてはほぼ同じであったが、その季節変動には白露から立春にかけて違いが見られた。日光においては、最高値は清明（4月5～19日）の41.7ppb、最低値は小雪（11月22日～12月6日）の16.5ppbとなっている。東京タワーについては立夏で最も高くなっているが、これは一般的にも立夏で最も高くなる傾向にある。

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³⁰⁾、日本域における対流圏下部でのO₃濃度の上昇には、①地域内からの汚染物質による局所的な生成、②大陸からの越境汚染、③成層圏O₃の降下の大きく3つの原因³¹⁾が考えられる。日光の観測地点は標高が比較的高くかつ汚染地域からの輸送も考えられ、その濃度および季節変動が注目される。東京タワーは近くの汚染地域で生成したもので、日光の濃度変動などは複雑であると考えられたが、季節別変動では東京タワーと同じ傾向だった。また、ほぼ標高が同じの南会津とも若干異なる変動を示し、相対的に標高が高い日光であるが独特の変動傾向が確かめられた。

3. 日光周辺における渓流水質

森林渓流水は、最終的に海に到達するまで、さまざまな生物に生息する場を与え、生命を支えている³²⁾。樹木への酸性沈着³³⁾を図3に示す。図のように全ての渓流水の液体の元は降水である。降水の中には多くの僅かな物質が溶け込んでいる。その溶け込んだ降水が地表に到達しその量のことを“湿性沈着”という。森林もあらゆる生命の集合体なので降水は森林にとっても恵みの水である。ちなみに、動物の細胞の72%が水に対して、植物の細胞の78%が水である³⁴⁾。

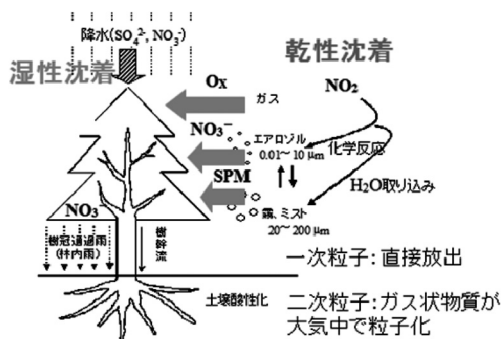


図3. 樹木への酸性沈着³³⁾

ただ自然の水の中で最も綺麗な降水は、地表に到達する過程で空気中のエアロゾルと接触があり、森林の樹木に触れるなどを通して“乾性沈着”の影響も受けながらその水質は変化する。例えば、大気汚染物質のNO_xから化学変化した硝酸イオン(NO₃)がその降水に溶け込む。そのような樹木等の影響を

受けた雨水は森林生態系の中の物質循環に取り込まれ、地質の影響も受けて地下水や渓流水等となっていく。ちなみに“湿性沈着”と“乾性沈着”を合わせたものを大気沈着と定義づける。渓流水中に溶け込むものには、大気沈着の影響を反映するものとして塩化物イオン (Cl^-) が挙げられる。いわゆる海塩由来の塩の成分である。湿性沈着の Cl^- は、降水等によって森林へ入る時には、森林生態系の影響および岩石の影響をほとんど受けずに渓流水として表れる³⁵⁾。

その例として、神奈川県鎌倉市内の十二所果樹園におけるスギの林内雨中の Cl^- 濃度と、その林内雨を調査した日に行った時の約700m離れた場所の渓流水中の Cl^- 濃度との関係³⁶⁾を図4に示した。ちなみに、軸に記載されている μM という単位は、1 μM で例えると1リットル (L) 中の水の中に1マイクロモル (μmol) の物質量が溶けているという意味である。また、簡便に例えるなら、林内雨は入ってくるもの (インプット) で、渓流水は出ていくもの (アウトプット) である。林内雨は降水に加えて、図3のように、“乾性沈着”の影響も受け海塩の影響によって変動が大きくなる。図4から、林内雨に比べて渓流水中の Cl^- 濃度の変動は少ないことが見てとれる。具体的な数字を挙げると、渓流水中の Cl^- 濃度の変動係数は9.6%³⁷⁾、林内雨中の Cl^- 濃度の変動係数を算出すると83.9%であり、渓流水中の Cl^- 濃度の変動は桁違いに低い。

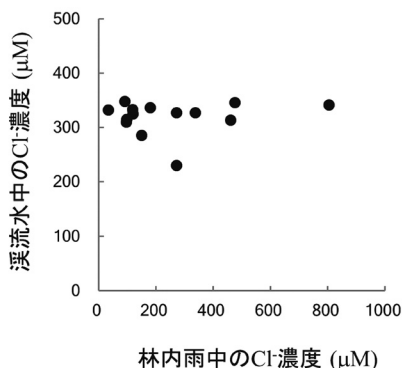


図4. スギの林内雨中の Cl^- 濃度とその林内雨を調査した日の700m離れた場所の渓流水中の Cl^- 濃度との関係³⁶⁾

また、植物の栄養は窒素 (N)、リン (P)、カリウム (K) と、ユストゥス・フォン・リービッヒ (1803年生) が三要素説を唱えてリービッヒは“農芸化学の父”とも称されるが、特に N が森林に供給されると、森林にとってはわれわれのご飯と同じで喜んでどんどん取り入れる。われわれは有機物をご飯等で取り入れるが、植物は光合成によって自前で有機物を生産できる。その有機物中の炭素 (C) のもとは空気中の二酸化炭素 (CO_2) だが、土壌から N などの栄養を取り入れている。しかしながら、人間活動の影響で NO_x が多くなり、首都圏のような都会で N が多くなる現象がある。森林のメタボ化という現象で“窒素飽和”³⁷⁾ という環境問題が生じる。

そこで、海由来の塩や人間活動の影響をみるために、渓流水中の Cl^- 濃度と NO_3^- 濃度を調べた。森林から供給される渓流水は、その森林集水域の渓流水質として、気象学、気候学、大気環境学、生気象学、生態学、森林学、土壌学、水文学、地下水学、地質学、環境科学など多くの分野で研究が行われている学際的な内容であり天然水としても名水といった生活環境の上で興味深い話しも含まれる³⁸⁾。前述した通り、大気環境を反映する代表的な溶存イオンとしては、 Cl^- 濃度および NO_3^- 濃度が環境の影響評価として有用である。調査地は、図5のように「日光の社寺」周辺である。具体的には日光社寺の構成資産のコアゾーン内である白糸の滝⁶⁾ (図6) を含む大谷川水系およびその上流域とした。また、参考として同時期に採取した神奈川県の大山 (標高1,252m) 山麓の大山川源流、群馬県の赤城山地山麓の鳥居沢および赤城沢の値も記載した。大山では、モミ等の衰退が背景にある中で精力的に酸性沈着等に関連する研究活動がなされ³⁹⁾、赤城山地ではカラマツの枯損が報告される³¹⁾。ついでに言えば、赤城山地の最高峰・黒檜山 (標高1,828m) は白根山 (標高2,578m) から南南東へ約30kmである。大谷川は日本において最大の流域面積の利根川の水系の一部であり、栃木県日光市を流れる一級河川である。

調べた時期は2016年11月23日および26~28日である。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

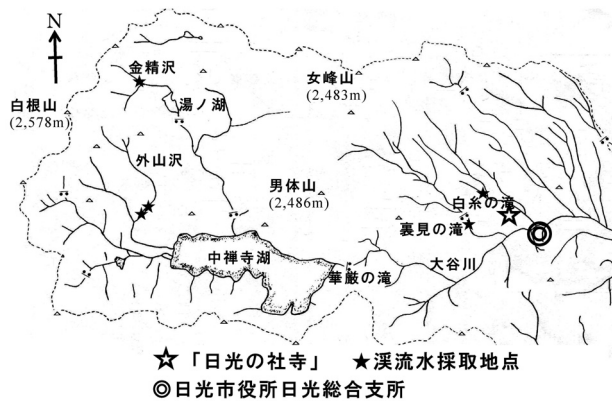


図5. 「日光の社寺」周辺における渓流水採取地点

した後、溶存成分について Cl^- および NO_3^- 濃度は、DIONEX 社のイオンクロマトグラフィー (IC-1600) を用いて測定した。また、渓流水質の変動については、広域の多摩川水系源流域における通年調査における NO_3^- 濃度の変動係数は14.0~50.0%の範囲で平均26.7%であり、平水時に関する限り1回のデータでもかなり高い時間代表性であることが論じてられている⁴⁰⁾。また、渓流水中の Cl^- 濃度については、特に時間代表性があることが論じられている^{36,41)}。

「日光の社寺」周辺の渓流水中の Cl^- および NO_3^- 濃度の結果について、表5に示した。 Cl^- 濃度の平均は $18.8 \mu\text{M}$ となり、わが国の渓流水質の広域調査⁴²⁾で栃木県の平均 ($n=30$) である $44 \mu\text{M}$ と比べて半分以下となった。広域で同時期に採取し比較した渓流水質のケースでは、光化学スモッグ注意報が多発する首都圏の秩父多摩甲斐山岳域において標高

差別 (標高220~2,200m) における調査データがある⁴³⁾。そのデータでは Cl^- 濃度は標高が上がる毎に低下する傾向が見られ、最も低かった大弛峠 (富士川水系、標高2,200m) の $11.2 \mu\text{M}$ と比較して1.68倍、最も高かった八王子城址 (多摩川水系、標高220m) の $87.0 \mu\text{M}$ と比較して0.22倍となった。秩父多摩甲斐山岳域では、標高 (x) と Cl^- 濃度 (y) との間で指数近似すると相関係数が0.943となり、

$$y = 77.7 e^{-0.0009x} \quad (1)$$

が得られている。その近似式に採取地点の標高を充てると、「日光の社寺」周辺では全ての地点で理論値より低くなり、阿武隈川水系の源流域の結果⁴⁴⁾は高くなった為に、逆の傾向であった。これは、「日光の社寺」周辺は標高の割には秩父多摩甲斐山岳域と比べて海塩の影響を受けにくいと考えられる。

NO_3^- 濃度の平均は検出されなかった裏見の滝を $0 \mu\text{M}$ とすると $18.7 \mu\text{M}$ と算出され、わが国の渓流水質の広域調査で栃木県の平均 ($n=30$) は NO_3^- 濃度は $27.8 \mu\text{M}$ と比べて低かったが、外山沢ではその平均値よりも高かった。また、同じ栃木県内で日光の南部にあたる鹿沼地域の森林の32集水域の渓流水中の NO_3^- 濃度は 0.8mgN L^{-1} (単位換算すると $57 \mu\text{M}$) であり⁴⁴⁾、それよりも外山沢は低い傾向にはある。しかしながら、光化学スモッグ注意報が発令されることがある首都圏と北接する福島県において、県内・中通りの阿武隈川水系源流域への大気の影響を調べたところ、森林渓流水の NO_3^- 濃度が北アル



図6. 白糸の滝

プス東麓の乳川渓流水（信濃川水系）並みに低い $12.1\mu\text{M}$ であり⁴¹⁾、その値よりも3倍ほど高い傾向にはあった。また、男体山山麓の“中宮祠の水”における2001年4月13日の調査⁴⁵⁾の NO_3^- 濃度は換算すると $13\mu\text{M}$ となる。

今回の調査と同時期に行った大山川源流では $40.2\mu\text{M}$ であり、外山沢ではほぼ同程度であった。同じ秋の時期で今回の調査地とすぐ近い大山川源流の2006年10月31日の調査⁴⁶⁾では $68.9\mu\text{M}$ という結果があり、近年低下傾向があることが報告されている⁴⁷⁾。赤城山地山麓の鳥居沢および赤城沢でもほぼ同程度であり、これらは決して低い値ではなく今後も外山沢等での渓流水中の NO_3^- 濃度は注視すべきであろう。

また、系外への NO_3^- 流出は脱窒によって N_2 および N_2O として大気へ還元される場合に低下することがある⁴⁸⁾。富山県の呉羽丘陵および射水丘陵においても、5kmほどの調査地の違いでほとんど同じ植生ながらも表層土の硝化率の違いから渓流水中の NO_3^- 濃度の顕著な差が認められ、射水丘陵の NO_3^- 濃度が低下したと考えられている⁴⁹⁾。神奈川県の三浦半島北部の丘陵地の渓流水中の NO_3^- 濃度（平均 $41.3\mu\text{M}$ ）においても、春季の調査時に $1.55\mu\text{M}$ と非常に低濃度となったケースもあり³⁶⁾、渓流水中の NO_3^- 濃度は変動が大きい場合があり、低濃度だった結果においても更なる調査が必要な場合もある。

このように Cl^- 濃度および NO_3^- 濃度は大気沈着の影響として反映されやすいのと同時に、 NO_3^- 濃度は変動が大きい為に、採取年月日と濃度のデータを公

表して、さまざまな角度から考察できる材料を1つでも増やしていくことが、その集水域の環境診断として非常に重要である。

おわりに

1590年、豊臣秀吉の小田原攻略後、秀吉の命で徳川家康は旧領から後北条氏の旧領である関八州に移封となり、この年の八朔の吉日を選んで旧暦8月1日に小村であった江戸に入ったとされる⁵⁰⁾。この年は大化から数えて206番目²⁾の激動の天正の時代（1573～1592年）であるが、当時の日本の川の経済力は流域の水田面積として考えられ、東京湾に流れていた利根川は日本最大の経済力を持ち、その下流に江戸幕府を開いたことは徳川家康の達見と評される⁵¹⁾。利根川は遂には銚子へと流出させる所謂“利根川東遷”の事業が江戸時代初期から昭和初期にわたり400年以上かけて行われるが⁵²⁾、結果的に東京湾へと流れる大都会・荒川流域の大洪水を防ぐ治水となっている。背景には、戦国期から近世にかけては戦国大名や江戸幕府という強大な権力が成立したことにより、大河川の流域全体にわたる大規模かつ統一的な治水工事が実施されたこともあるが⁵³⁾、2019年9月の台風19号等の大雨による洪水の氾濫を防いだ治水に繋がっているところは幾つもあると推測される。

日光における最大の画期は家康の神霊が鎮座したことであり、神となった将軍が日光から見守る首都・東京は現在、世界でも稀に見る巨大都市となっている⁵⁴⁾。徳川幕府が江戸を中心とした領地を開拓し治

表5. 「日光の社寺」周辺における渓流水中の Cl^- 濃度および NO_3^- 濃度

	採取日	標高 (m)	Cl^- (μM)	NO_3^- (μM)
白糸の滝(天狗沢)	11月27日	730	25.6	8.2
裏見の滝(荒沢川)	11月27日	860	16.7	—
外山沢川A	11月26日	1,345	14.6	39.4
外山沢川B	11月26日	1,335	18.3	35.4
金精沢	11月27日	1,545	18.8	10.3
※参考				
大山川源流	11月23日	670	45.5	40.2
鳥居沢	11月28日	1,100	21.4	38.6
赤城沢	11月28日	725	28.7	45.8

水し、世界有数の都市・東京へと発展していった。その一方で、昨今東京を中心とする東京圏（1都3県）由来の大気汚染が群馬県、栃木県、茨城県および山梨県に光化学スモッグ注意報をもたらす。更に、遠く東北地方南部の福島県にまで汚染気塊が輸送されることが報告される^{55,56)}。近年、大都市地域では自動車NOx・PM法等の効果により冬季の大気汚染は大きな改善が見られるが、大陸から越境汚染の影響もあり、大気環境問題は複雑化を呈している。関連して、2007年および2009年には光化学スモッグ注意報の発令が最も多い28都府県を記録した⁵⁷⁾。観測の種類によっては多大なコストが掛かるが⁵⁸⁾、1995年8月には好天が続いた後、関東上空の高度1,000m付近で300ppbと極めて高いO₃濃度が観測されていて⁵⁹⁾、このような高O₃濃度が、夏季には太平洋高気圧の影響もあって東京圏から南東の海風に乗って山岳地域に到達している可能性は高い。加えて、前述した通り大陸からの越境汚染の問題が生じる。日光の白根山では10月頃（二十四節気では寒露前後）に大陸から40ppb程度のO₃を含んだ空気が常に流れていることが調べられている⁶⁰⁾。これは、この時期のアジアのバックグラウンド・オゾンの濃度が40ppbで、ローカルにO₃が少し増えただけでもすぐに環境基準の60ppbを越えてしまうことになる⁶⁰⁾。日光でも環境基準を上回ることが多く、O₃濃度は季節変動を詳細に把握していくことが重要である。

1993年11月2日のNHKクローズアップ現代において「謎の立ち枯れ現象を追う」で取り上げられたように⁶¹⁾、立ち枯れは日光・丹沢など関東平野を取り囲む山地で起きており、そこでは凍害説、ナラタケ菌説、酸性霧説が取り上げられたが、これに加えて、前述した台風やOxがあり、その原因物質のO₃と同じNOxから生成される二次物質のNO₃負荷による“窒素飽和”に至る現象のN負荷の可能性も存在する。つまり、“乾性沈着”が非常に重要である。NOx・PM法等により日本国内のN汚染の負荷は軽減されているものの、大陸からの越境N汚染によって原因が特定できない複雑な事象を生んでしまう。当然のことながら、あらゆる側面においての総合的な調査が重要であるが、さまざまな分野が入り組んでカオス的な様相は否めず、貴重な自然が開

発等もあり減少していく傾向が続く。

繰り返しになるが、O₃による影響も受ける森林生態系においては、更にN負荷の問題も加わる。“窒素飽和”によって樹木の力学的強度は低下することが予想される⁶²⁾。また、奥日光ではN沈着の過多と葉のN過剰が葉の生理特性に与える影響について検討が必要であると述べられている⁶³⁾。広島県における瀬戸内海沿岸部の例で1999年6月29日の集中豪雨により広島市に西接する廿日市市の極楽寺山を含むマツ枯れの斜面崩壊が起こったが、現地では森林衰退が報告される所であり⁶⁴⁾、相対的に根系土壌緊縛力の高い樹齢30年以上のマツ林に崩壊がなかった⁶⁵⁾。近年、極楽寺山南麓ではO₃濃度はほぼ東京タワーと同程度であり、その周辺の渓流水のNO₃濃度は20μM以上の場合もあると報告され⁶⁶⁾、2005年9月6日の台風14号の大雨で極楽寺山の対岸に位置する世界文化遺産のバッファゾーンである宮島の白糸川上流域で土石流が発生した⁶⁷⁾。2014年8月20日に発生した広島市の土砂災害は、短時間の豪雨によってもたらされ74人もの犠牲者を出した⁶⁸⁾。森林衰退という目視できる以前に、O₃やNO₃による長い年月に渡る“乾性沈着”の負荷によって、地質や森林の状況によっては集中豪雨時に災害が起こる可能性へ繋がることは否定できないであろう。2014年の広島市の土砂災害等をもたらした線状降水帯⁶⁹⁾が2018年7月の西日本豪雨等においても問題視され、首都圏においては2019年の台風15号や台風19号等の影響も大きかったのは記憶に新しい。気象条件によっては、日光周辺で線状降水帯が生じ集中豪雨が起こる可能性がある。目に見えない首都圏由来の光化学スモッグやN負荷が日光周辺の森林に影響を与え、日光周辺で集中豪雨等の自然災害があった場合に「日光の社寺」周辺の自然もコアゾーンおよびバッファゾーンとして登録された貴重な世界文化遺産が守られる保証はない。栃木県の自然の変化の中で最も大きな変化は身近な水辺環境とそこに住む生物の変化と思われる⁶¹⁾。そのような変化をわれわれは鋭く感じ取り発信し、積み重ねていくことが肝要である。

世界遺産は、現実的にビジネスに直結する。世界文化遺産が観光資源になり、観光産業や地域活性化のてこ入れに有効なツールとなり、国連のSDGs

(持続可能な開発目標) 戦略の観点からも、文化遺産と観光資源の調和と共存への模索は当然のこととして受け止められている⁴⁾。世界遺産というあまりに絶妙で粋な四字熟語であるが、平成の時代にわが国において最終的に4物件の世界自然遺産と19物件の世界文化遺産が登録された。ユネスコの抑制策もあり過剰となっている世界遺産の数からは令和の時代にこれを上回る数が登録されるとは推測しづらい。そこで、国境を越え他国との結びつきによる世界遺産登録に向けてのアイデアも重要だと考えられている。わが国では聖徳太子(574年生)が『法華経』を講じたが、その中の章である“如来寿量品第十六”に大地の構成要素である地・水・火・風・空とあり⁷⁰⁾、この五大全てを抜け目なく状況把握していくことが肝腎であり、目に見えない“乾性沈着”は尚更重要であろう。

「日光の社寺」周辺において、東照宮のある市街地を一段目とすると、中禅寺湖が二段目、戦場ヶ原が三段目、湯元温泉が四段目と東照宮まで含めれば日光は“四段構造”⁷¹⁾という気づきもわれわれに新たな知見を提供し、「何と美しい眺めだろう。樹々の葉が重なり、樹木の間からほんの少し山の部分が見え隠れする。この風景は日光の宝石だ。」⁷²⁾というアーネスト・サトウ(1843年生)の視点も自然と融合した(現在の)世界文化遺産の素晴らしさを例えている。時代は平成から令和へと流れたが、さまざまな見識や表現が残る中で、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。世界遺産のバックグラウンドとなる自然環境の状況把握かつ継続的なモニタリングは極めて重要であり、多岐の分野に渡る広範囲なデータや考えをもとに、かつ自然災害や、海外からの観光客が増え続ける実態や次世代への教育までも含めて、簡単ではない自然と人間の共生の観点から議論を活性化していかねばならない。

参考文献

- 1) 朝日新聞(2019)令和 新元号. 2019年4月2日14版1面.
- 2) 樺山紘一・木村靖二・窪添慶文・湯川武(編)(1994)クロニク世界全史. 1303pp, 講談社.
- 3) 青柳正規(監)(2013)ビジュアル・ワイド 世界遺産. 495pp, 小学館.
- 4) 木曾功(2015)世界遺産ビジネス. 189pp, 小学館.
- 5) 中村俊介(2019)世界遺産—理想と現実のはざままで. 246pp, 岩波新書.
- 6) 昭文社(編)(2015)日本の世界遺産めぐり. 79pp, 昭文社.
- 7) ロム・インターナショナル(2012)一冊でわかる すべて見える世界遺産. 223pp, 成美堂出版.
- 8) 皆川義孝(2010)「日光の社寺」にみる世界遺産登録とその課題. 国立歴史民俗博物館研究報告, 156, 287-299.
- 9) 浅枝隆(2010)利根川—板東太郎の長い歴史と雄大な景観. *In* 小倉紀雄・島谷幸宏・谷田一三(編)図説 日本の河川. 173pp, 朝倉書店. 40-43.
- 10) 中筋章人・宮田直樹・西真佐人(2003)日光火山地域における大規模崩壊危険度評価と影響予測. 日本地すべり学会誌, 40, 57-62.
- 11) 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, 227-232.
- 12) 苗村晶彦(2018)生活環境と酸素およびオゾン. *In* 現代公益学会(編)公益叢書第六輯 公益法人・NPO 法人と地域. 232pp, 文眞堂. 201-217.
- 13) 古田陽久(2008)日本における世界遺産教育の現状と課題. 地球環境, 13, 23-32.
- 14) 徳川恒孝(2007)江戸の遺伝子. 253pp, PHP 研究所.
- 15) 前沢輝政(2000)二荒山神社. *In* 谷川健一(編)日本の神々—神社と聖地 第十一巻関東. 574pp, 白水社. 511-522.
- 16) 虎尾俊哉(1964)延喜式. 254pp, 吉川弘文館.

- 17) 吉川敏之 (2006) 栃木県北部に分布する中新世珪長質火山岩の形成年代. 地質学雑誌, 112, 760-769.
- 18) 堤之恭 (2014) 絵でわかる日本列島の誕生. 181 pp, 講談社.
- 19) 「栃木の自然」編集委員会 (編) (1997) 栃木の自然をたずねて. 282pp, 築地書館.
- 20) 谷本丈夫・劉岩・里道知佳・大久保達弘・二瓶幸志 (1996) 奥日光・足尾・赤城山地における森林衰退と立地環境. 森林立地, 38, 1-12.
- 21) 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, 106-110.
- 22) 中西準子・篠崎裕哉・井上和也 (2009) オゾンー光化学オキシダント. 289pp, 丸善.
- 23) 畠山史郎・片平菊野・高見昭憲・菅田誠治・劉発華・北和之 (2004) 奥日光山岳域における夏季および秋季のオゾン濃度変動. 大気環境学会誌, 39, 158-170.
- 24) 大原利眞・鶴野伊津志・黒川純一・早崎将光・清水厚 (2008) 2007年5月8, 9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染ーオーバービュー. 大気環境学会誌, 43, 198-208.
- 25) 苗村晶彦・河田知子 (2018) 瀬戸内の島ー香川県直島における水道現況と空気環境. 戸板女子短期大学研究年報, 61, 43-49.
- 26) Naemura, A., Nakamura, K. and Watanabe, Y. (2016) NO₂ concentrations in Chigasaki City according to the 24 seasonal divisions in a lunar calendar year. The Fifth International Conference on Human-Environment System. USB version.
- 27) 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.
- 28) Naemura, A., Nakamura, K. and Fukuoka, Y. (2017) Oxidant concentration by the solar term in Minami-Aizu mountainous region, Fukushima Prefecture, Japan. Symposium on Atmospheric Chemistry & Physics at Mountain Sites, Abstracts, 61.
- 29) 白井明大 (2012) 日本の七十二候を楽しむー旧暦のある暮らし. 215pp, 東邦出版
- 30) 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.
- 31) 板橋秀一・弓本桂也・鶴野伊津志・大原利眞・黒川純一・清水厚・山本重一・大石興弘・岩本眞二 (2009) 2007年春季に発生した東アジア域スケールの広域的越境汚染の化学輸送モデルCMAQによる解析. 大気環境学会誌, 44, 175-185.
- 32) 徳地直子 (2007) 森をめぐる物質循環. In 京都大学フィールド科学教育研究センター (編) 森里海連環学. 364pp, 京都大学学術出版会. 29-42.
- 33) 苗村晶彦・渡邊善之 (2016) 横浜市大岡川流域におけるNO₂濃度の季節変動とその影響について. 戸板女子短期大学研究年報, 59, 27-33.
- 34) 鈴木孝仁 (監) (2016) 三訂版フォトサイエンス生物図録. 280pp, 数研出版.
- 35) 鶴見実・一國雅巳 (1989) 多摩川上流の沢水に含まれる無機成分の化学的特徴. 環境科学会誌, 2, 9-16.
- 36) 苗村晶彦 (2018) 神奈川県三浦半島北部における渓流水質の特徴. 自然環境科学研究, 31, 5-9.
- 37) 古米弘明・川上智規・酒井憲司 (編) (2012) 森林の窒素飽和と流域管理. 144pp, 技報堂出版.
- 38) 苗村光彦 (編) (2019) わがまち 横浜の日野ー港南台も日野だった. 140pp, 公孫樹舎.
- 39) 井川学・大河内博 (2009) 丹沢大山における大気化学観測と酸性沈着が森林生態系に及ぼす影響. エアロゾル研究, 24, 97-104.
- 40) 楊宗興 (2002) 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.
- 41) 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渓流水質. 土木学会論文集G (環境), 73, 172-176.
- 42) 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

- 文科学会誌, 36, 145-149.
- 43) 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溪流水質の標高別分布. 自然環境科学研究, 16, 1-6.
- 44) 荻原香大・渡邊未来・柏矢倉大介・菅沼好一・三浦真吾・大森牧子・林誠二 (2013) 栃木県鹿沼地域の森林における窒素飽和の現状評価質循環. 第78回日本陸水学会大会講演要旨集, 31.
- 45) 島野安雄 (2002) 名水を訪ねて (57) 栃木県の名水一日光・塩原・那須地域の名水. 地下水学会誌, 44, 141-154.
- 46) 本田拓・大河内博・稲津晃司・井川学 (2007) 溪流水の化学特性から見た東丹沢の森林生態系への酸性沈着物の影響評価に関する予備的検討. 分析化学, 56, 791-798.
- 47) Maniwa, M., Okochi, H., Shimada, K., Nakano, T., and Igawa, M. (2017) Stream water chemistry in a mountain forest near the Tokyo metropolitan area and impact of atmospheric deposition (3), Japan. Symposium on Atmospheric Chemistry & Physics at Mountain Sites, Abstracts, 79.
- 48) 楊宗興・木平英一・武重祐二・杉山浩二・三宅義則 (2004) 溪流水の NO₃⁻ 濃度と森林の窒素飽和. 地球環境, 9, 29-40.
- 49) Honoki, H., Kawakami, T., Yasuda, H. and Maehara, I. (2001) Nitrate leakage from deciduous forest soils into streams on Kureha Hill, Japan. The Scientific World, 1, 548-555.
- 50) 煎本増夫 (2000) 徳川三大と幕府成立. 209pp, 新人物往来社.
- 51) 宮村忠 (2001) 利根川の様々な姿. In 宮村忠 (監) アーカイブス 利根川. 290pp, 信山社サイテック. 1-29.
- 52) 松浦茂樹 (2002) 利根川東遷. 水利科学, 265, 23-48.
- 53) 渡辺尚志 (2019) 利水と治水からみた明治維新. 歴史学研究, 990, 25-36.
- 54) 下野新聞社 (編) (2016) 世界遺産 聖地日光. 263pp, 下野新聞社.
- 55) 渡邊善之・渡邊明 (2012) 福島県海岸域における高濃度オゾンの出現. 大気環境学会誌, 47, 145-154.
- 56) 苗村晶彦・渡邊善之 (2015) 2006年8月4日の首都圏周辺の高濃度オゾンの出現. 自然環境科学研究, 28, 5-9.
- 57) 苗村晶彦・渡邊善之 (2016) 東京タワーにおける季節別の夜間高 NO₂ 濃度とポテンシャルオゾン濃度. 日本生気象学会雑誌, 53, 39-44.
- 58) 渡辺幸一・角山沙織・宋笑晶・金美佳・市川夢子・江尻遼介 (2018) ヘリコプターを利用した晩秋季の富山県上空における大気中の過酸化水素濃度の測定: 山岳域における雪氷化学との比較. 雪氷, 80, 531-539.
- 59) Wakamatsu, S. (1997) High concentrations of photochemical ozone observed over sea and mountainous regions of the Kanto and eastern Chubu districts. Journal Japan Society Atmospheric Environment, 31, 309-314.
- 60) 畠山史郎 (2014) 越境する大気汚染 中国の PM2.5 ショック. 210pp, PHP 研究所.
- 61) 長谷川順一 (2008) 栃木県の自然の変貌—自然の保全はこれでよいのか. 181pp, 松井ピ・テ・オ・印刷.
- 62) 楊宗興 (2004) 集水域の生物地球化学: 課題と展望. 水環境学会誌, 27, 568-574.
- 63) 谷川東子・高橋正通・野口享太郎・重永英年・長倉淳子・酒井寿夫・石塚和裕・赤間亮夫 (2009) 奥日光の森林衰退地域の樹木生葉と土壌の養分特性—他の亜高山地域との比較から. 環境科学会誌, 22, 401-414.
- 64) 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, 1-10.
- 65) 中根周歩 (2000) 松枯れと斜面崩壊—1999年6月広島地域の集中豪雨災害について. 森林応用研究, 9, 41-46.
- 66) 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.

- 67) 村井仁・為重敦・山本啓文・藤岡修一・蒲原潤一 (2011) 世界文化遺産宮島における溪流砂防. 第60回砂防学会研究発表会概要集, 20-21.
- 68) 海堀正博 (2015) 広島市の土砂災害を踏まえて今後の防災対策に生かすこと. 季刊 消防科学と情報, 120, 39-43.
- 69) 津口裕茂 (2016) 線状降水帯. 天気, 63, 727-729.
- 70) 植木雅俊 (訳) (2008) 梵漢和対照・現代語訳法華経 下. 647pp, 岩波書店.
- 71) NHK「プラタモリ」制作班 (監) (2016) プラタモリ5 札幌 小樽 日光 熱海 小田原. 143pp, 角川書店.
- 72) 井戸桂子 (2015) 碧い眼に映った日光ー外国人の日光発見. 157pp, 下野新聞社.

