

<論文 (原著)>

源流と河口の環境—鳥取県加勢蛇川を事例として

苗村 晶彦*, 齋藤 圭**, 奥田 知明***・小寺 浩二****

Influence of environment on river water quality from head to mouth:

A case study of the Kasechi River basin, Tottori

Akihiko NAEMURA, Kei SAITOH, Tomoaki OKUDA and Koji KODERA

* Department of General Studies and Liberal Arts, Toita Women's College, 2-21-17 Shiba, Minato-ku, Tokyo 105-0014, Japan

** Graduate School of Science, Kyoto University, 3088-176 Noguchibaru, Beppu, Oita 874-0903, Japan

*** Faculty of Science and Technology, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan

**** Faculty of Letters, Hosei University, 2-17-1 Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8160, Japan

Abstract

Surface ozone concentrations and river water quality within the Kasechi River basin are analyzed, considering land use and vegetation. The samples are from Daisen Falls and the Kasechi Bridge, located upstream and downstream of the river, respectively. The ozone concentration at Yonago, located upstream of the river, indicates transboundary pollution from the Asian continent since the value, 32.9 ppb, is 1.2 times higher than the simultaneous observation at Tokyo Tower. The nitrate concentrations at Daisen Falls are substantially low, while it is known to be associated with ozone production. These results imply the effects of nitrogen fertilization on beech as forest covers 68 percent of the catchment area of the Kasechi Bridge. The river water hardness increases downstream from 21.9 mg/L at the waterfall to 37.5 mg/L at the bridge on the coast. It is essential to consider the influence of watershed characteristics covering mountains, rivers, and oceans for land-use planning. Therefore, we need continuous monitoring of matrices showing the comprehensive environmental state.

Key words: Transboundary pollution, ozone, Mt. Daisen, Kasechi River basin, beech forest

* 戸板女子短期大学総合教養センター, 〒105-0014 東京都港区芝 2-21-17

** 京都大学大学院理学研究科, 〒874-0903 大分県別府市野口原 3088-176

*** 慶應義塾大学理工学部, 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

**** 法政大学文学部, 〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1

1.はじめに

2019年5月23日19時15分に鳥取県西部地域(米子市, 境港市, 日吉津村, 大山町, 伯耆町, 南部町, 日野町, 江府町および日南町)で, 1974年の観測以来, 鳥取県内で初めてとなる光化学スモッグ注意報が発令された¹⁾。昭和の時代においても, 平成の時代においても1度も発令されることがなかったが, 前兆は平成の後半からは見られ, 例えば Miyazako *et al.*²⁾は, 鳥取と同じ山陰の島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報告している。光化学スモッグ注意報の主因であるオゾン(O_3)と窒素汚染の主因の硝酸イオン(NO_3^-)は, 窒素酸化物(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³⁾。近年においてもアジア大陸からの越境汚染の報告が散見されるが, その越境汚染の影響が光化学スモッグ注意報にも表れた可能性がある。

大気環境や水環境のそれぞれの分野で研究が深められるが, それを結びつける研究が極めて稀であり, 「山・川・海」を通じて広域に渡る環境把握の研究が重要である。なぜなら, 水の収支や流動の過程では, 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からである⁴⁾。山に降雨がもたらされ, それが河川の水源とされ, 流域の支流を集め下流へと量を増して, 海へと流出される。

ところで, 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^{5),6)}。また, 渓流水中の塩化物イオン(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)}。河口域については多岐にわたる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。

本研究では越境汚染の影響を受ける加勢蛇川の水源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大山山麓の周辺の 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を解明し, 「川」においては大山が水源となる集水域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, 流域圏として加勢蛇川流域およびその周辺の環境について考察した。

2.研究方法

調査を行ったのは鳥取県西部の加勢蛇川の流域圏およびその周辺である。加勢蛇川は, 幹川流路延長 17.6 km, 流域面積 34.8 km²で, 水源は大山(標高 1,729 m)となり, 鳥取県内の二級河川では最も長い。流域形状係数(流域面積を流路延長の2乗で除した値)⁹⁾では, 日本一広い関東平野の利根川は0.162, 1979年に総合治水対策特定河川第1号¹⁰⁾となった神奈川県および東京都に跨る鶴見川は0.127で, 加勢蛇川は0.112となり細長い流域の河川だと判断できる。尚, オランダのデ・レーケが日本の川を「これは滝だ」と言った逸話のある富山県の常願寺川は0.117である。大山は伯耆大山とも呼ばれ, 約100万年前から40万年前に活動した蒜山火山群および古期大山と新期大山に大別される。

O_3 濃度の解析の対象地は, 大山山麓にある米子保健所(北緯34.4378度, 東経133.3417度, 標高6m)とした。また, 1年という単

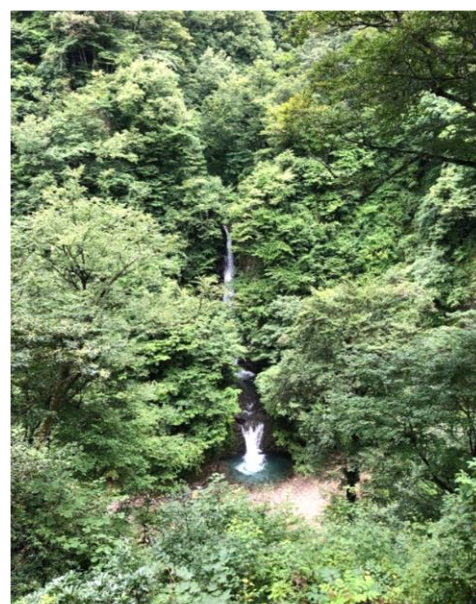


Fig.1 Daisen Falls (Photo credit: A. Naemura; 13 August 2020)

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^{11),12)}, O₃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。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¹¹⁾。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 時間値の測定結果とし、欠損値は除外して解析を行い、Ox のほとんどは O₃ であるので O₃ と表記した。また、現在においても光化学スモッグ注意報は首都圏(1 都 7 県)を中心に発令されるので¹³⁾, その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。

河川の水質データは上流にある大山滝および河口域の加勢蛇橋で採取した。大山滝(**Fig.1**)は 1990 年に日本の滝百選にも選出された中国地方を代表する名瀑であり、大山を水源とし、天狗ヶ峰(標高 1,710 m), 鳥ヶ山(標高 1,448 m)なども水源とした集水域となっている。大山滝の地質は第四紀更新世(2.58~0.0117 Ma)であり、安山岩溶岩である

滝は地獄谷の断崖を 2 段(上段 28 m, 下段 15 m)になって勢いよく駆け下るが、かつては 3 段の滝で 1934 年の室戸台風によって中段が崩壊し、現在のような 2 段の滝になった¹⁴⁾。上流域にはブナ(*Fagus crenata*)の原生林もあるため、水量が豊富である¹⁴⁾。大山滝は 2020 年 8 月 13 日 10 時 45 分、加勢蛇橋は 2020 年 5 月 24 日 20 時 25 分に採取した。鳥取県米子(北緯 35.4333 度, 東経 133.3383 度, 標高 6.5 m)における調査時前の降水量は 2020 年 8 月 13 日では 8 月 7 日に 5.5 mm, 8 日に 3.0 mm でその後の降水量は 0.0 mm であった。2020 年 5 月 24 日のそれでは 5 月 18 日に 5.5 mm, 19 日に 1.0 mm, 20 日に 0.5 mm, 21 日に 1.0 mm でその後の降水量は合計 0.0mm あった。また、鳥取県米子における 2011~2020 年の年平均降水量は 1,774 mm となっている。大山滝で採取した試料については、ADVANTEC 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、溶存成分については 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。加勢蛇橋で採取した試料については、ADVANTEC 社のメンブレンフィルター(ポアサイズ 0.20 μm)で濾過した後、溶存成分については島津製作所社製のイオンクロマトグラフィー(SC-10A)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¹⁵⁾。

河川流域面積, 土地利用面積, 大山滝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: 2.6.3)を用いてそれぞれ解析を行った。

3. 結果および考察

3.1. 大山山麓における O₃ 濃度

大山山麓に位置する米子における O₃ 濃度については、3 年間の 1 時間値の全平均値は 32.9 ppb となっている。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、米子が東京タワーよりも 1.2 倍となっている。米子における 1 時間値の最高値としては、110 ppb(2015 年 5 月

27日20時)となっている。また、2番目に高かったのは108 ppb(2016年5月31日18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)となっている。またO_x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米子の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。

米子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Table 1に示し、米子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Fig.2に示した。米子においては、最高値は立夏の49.8 ppb、最低値は小暑の19.4 ppbとなっている。O₃濃度は春季に高くなり、特に立夏の時季に高くなった。これは、東京タワーにおいても同様の結果であった。立夏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、立春から高くなる傾向にあった。これは東京タワーについてもほとんど同様な傾向であるが、東京タワーが立冬にかけて濃度低下が著しいのに対して、米子のそれは横ばいであった。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¹⁶⁾。東京タワーは近くの汚染地域で生成したもので、米子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ものと考えられる。

3.2. 加勢蛇川における上流および河口付近の河川水質データ

加勢蛇川における大山滝と加勢蛇橋における電気伝導度および陰イオン濃度の結果をTable 2に、陽イオン、Na⁺/Cl⁻比およびCa²⁺/Mg²⁺比をTable 3に示した。また、加勢蛇橋を集水域(34.8 km²)とする流域の土地利用図

Table 1 O₃ concentrations by the solar term at Yonago between 21 March 2015 and 20 March 2018.

期間	二十四節気	2015年	2016年	2017年
3月21日～4月4日	春分	45.1 ppb	41.4 ppb	46.1 ppb
4月5日～4月19日	清明	44.3 ppb	45.0 ppb	40.5 ppb
4月20日～5月4日	穀雨	51.0 ppb	45.9 ppb	51.4 ppb
5月5日～5月20日	立夏	52.9 ppb	46.5 ppb	50.9 ppb
5月21日～6月5日	小満	51.1 ppb	47.3 ppb	45.8 ppb
6月6日～6月20日	芒種	44.3 ppb	34.9 ppb	41.3 ppb
6月21日～7月6日	夏至	34.7 ppb	30.3 ppb	25.5 ppb
7月7日～7月22日	小暑	20.8 ppb	16.3 ppb	21.3 ppb
7月23日～8月6日	大暑	22.5 ppb	25.0 ppb	20.2 ppb
8月7日～8月22日	立秋	27.7 ppb	24.3 ppb	20.9 ppb
8月23日～9月7日	処暑	31.0 ppb	31.3 ppb	29.4 ppb
9月8日～9月22日	白露	27.8 ppb	29.9 ppb	32.2 ppb
9月23日～10月7日	秋分	30.3 ppb	22.4 ppb	34.3 ppb
10月8日～10月22日	寒露	32.3 ppb	25.9 ppb	33.8 ppb
10月23日～11月6日	霜降	29.9 ppb	26.3 ppb	29.9 ppb
11月7日～11月21日	立冬	24.5 ppb	27.1 ppb	28.8 ppb
11月22日～12月6日	小雪	25.8 ppb	27.9 ppb	25.4 ppb
12月7日～12月21日	大雪	23.1 ppb	21.8 ppb	25.6 ppb
12月22日～1月4日	冬至	23.5 ppb	30.5 ppb	28.0 ppb
1月5日～1月19日	小寒	26.5 ppb	30.1 ppb	28.0 ppb
1月20日～2月3日	大寒	24.2 ppb	22.0 ppb	32.6 ppb
2月4日～2月18日	立春	32.2 ppb	27.7 ppb	34.5 ppb
2月19日～3月5日	雨水	36.0 ppb	38.9 ppb	32.5 ppb
3月6日～3月20日	啓蟄	38.1 ppb	42.9 ppb	41.2 ppb

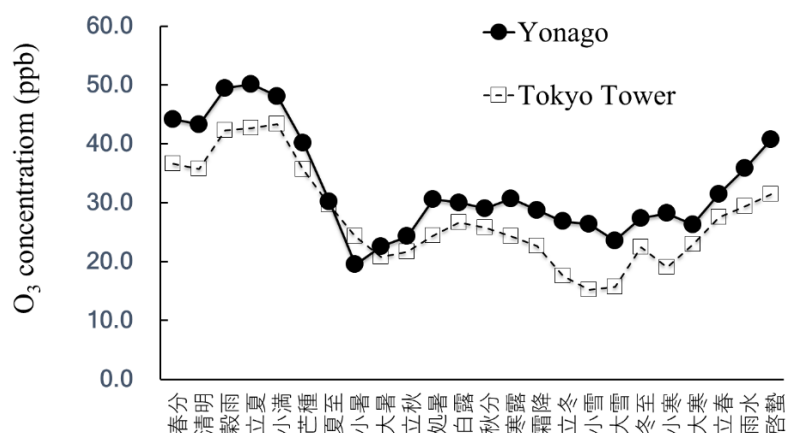


Fig.2 Seasonal variation of O₃ concentrations by the solar term at Yonago and Tokyo Tower between 21 March 2015 and 20 March 2018.

Table 2 EC and concentration of anions in the Kasechi River waters from Daisen Falls and Kasechi Bridge.

採取場所	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl^- (μM)	NO_3^- (μM)	SO_4^{2-} (μM)
大山滝	77	159.4	7.52	209.0
加勢蛇橋	165	408.6	62.9	116.5

同様に、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比は、日本の平均河川¹⁸⁾の値(2.81)と比べると加勢蛇川流域は Mg^{2+} が卓越する傾向にあった。越境窒素汚染の指標となる NO_3^- 濃度は非常に低く、森林生態系の物質循環が健全であることが分かった。一方、河口付近では $62.9 \mu\text{M}$ であった。これは、流域の 0.5%を占めるゴルフ場など人間活動の影響

Table 3 Concentration of cations, Na^+/Cl^- ratio and $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ratio in the Kasechi River waters from Daisen Falls and Kasechi Bridge.

採取場所	Na^+ (μM)	K^+ (μM)	Mg^{2+} (μM)	Ca^{2+} (μM)	Na^+/Cl^- 比	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比
大山滝	217.9	20.4	86.1	133.1	1.37	1.55
加勢蛇橋	552.1	92.9	127.6	246.9	1.35	1.93

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²⁰⁾。無論、人間活動の影響が大きくなれば⑤の影響が

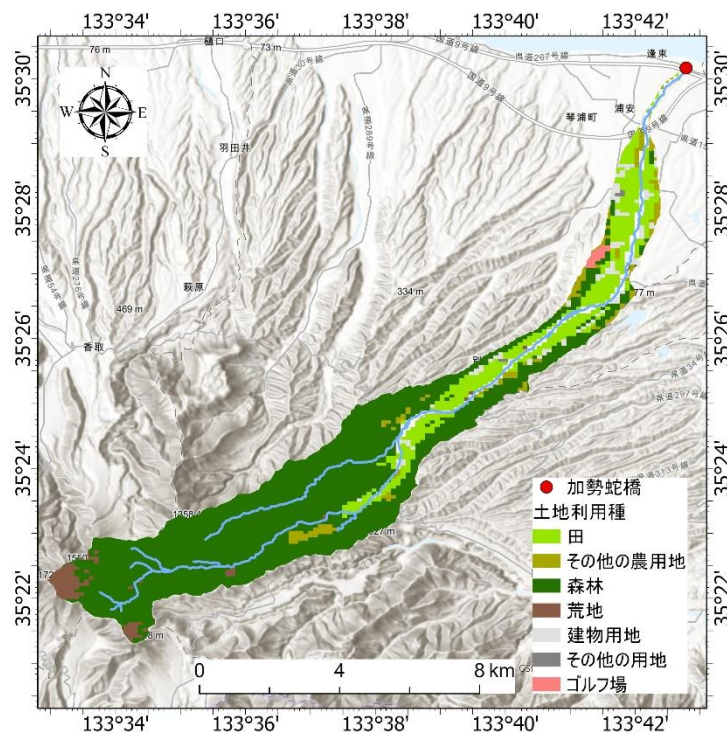


Fig.3 Land use on the hydrology of the Kasechi Bridge watershed.

(Fig.3)に示した。

大山滝の Cl^- 濃度は、瀬戸内海沿岸の極楽寺山周辺では $90.4 \mu\text{M}$ であり¹²⁾、大山山麓の内陸側とはいえ、高い値を示した。太平洋沿岸の東京湾に面する横浜市南部の大岡川源流域では $366 \mu\text{M}$ であり¹⁷⁾、その値の半分以下であった。流域では、上流に比べて河口付近では 2.56 倍となり、これは Na^+ もほぼ同様の増加を示した。 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。これは加勢蛇川流域で風化の度合いが低いことなどが考えられ

が考えられる。

大山滝の硬度を計算すると 21.9 mg/L となった。永淵・海老瀬¹⁹⁾はこれよりも下流のところで採取したものを含む大山山麓の東側の平均値のデータを報告しており、そこから算出すると硬度は 21.3 mg/L となり、これは大山東麓の値の代表値に近いと考えられる。

加勢蛇橋の流域では、森林面積が 23.7 km^2 と算出され、これは流域の 68%に相当し、加勢蛇川の河口付近は人間活動の影響も受けるも、河口付近の硬度を算出すると 37.5 mg/L となり海へ流出する。

3.3. 「山・川・海」の流域圏として

鳥取県では、冒頭の光化学スモッグ注意報が発令された 19 時に、東部地域で 96 ppb 、中部地域で 104 ppb 、西部地域で 121 ppb であった¹⁾。2019 年 5 月 23 日は鳥取県に西接する島根県においても、16 時に益田および浜田、17 時に江津および大田、18 時に出雲および松江、19 時に雲南および安来で Ox 濃度の 1 時間値が 120 ppb を超過し、島根県でも観測以来初めてとなる光化学スモッグ注意報が発令されるに至った²¹⁾。つまり、この日は大陸からの移流で

西から順に O_3 が高くなった。 O_3 は日変化においては 14 時頃をピークに低下することがわかっているの、今回解析した期間において 2015 年 5 月 27 日の 20 時に O_3 濃度が最大値となった原因は移流と考えられる。

越境汚染が移流として O_3 が大山に影響を与え、 O_3 と同様に NO_x からの二次物質として連動する NO_3^- の窒素汚染が斐伊川流域で報告されるが²⁾、大山滝における NO_3^- 濃度は非常に低い値であった。大山滝の集水域における植生区分を **Fig.4** に示した。山頂付近は大山溶岩ドームおよび高地の影響で森林が形成されないが、その下流に形成される森林においては、ほぼブナクロモジ群集で 5.14 km^2 となり 72.8%と占められた。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²²⁾。今回の調査で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²³⁾が推測されるが、大山滝における NO_3^- 濃度は $7.52 \text{ }\mu\text{M}$ と非常に低濃度である。日本においては、首都圏の影響による森林生態系の窒素飽和問題として、群馬県渡良瀬川流域の小流域での NO_3^- 濃度が平均 $114 \text{ }\mu\text{M}$ ²⁴⁾を示す事例、また横浜市南部の大岡川源流域のそれで平均 $104 \text{ }\mu\text{M}$ ¹⁶⁾を示す事例などが報告される。その一方で、今回の大山滝における NO_3^- 濃度は非常に低濃度であり、紀伊半島南部の四万十帯の源流域の平均値 $4.27 \text{ }\mu\text{M}$ ²⁵⁾に比肩するほどであった。中国の経済活動が低下し、大陸からの越境汚染の影響が低下したことにより、大山滝を集水域とした森林生態系の物質循環における人為的影響が小さくなったと考えられると同時に、大山滝はブナ林を中心とする森林生態系の豊かさから NO_3^- 濃度が非常に低濃度になったと思われる、こうしたブナ林は治水ひいては治水に繋がる重要な示唆であろう。

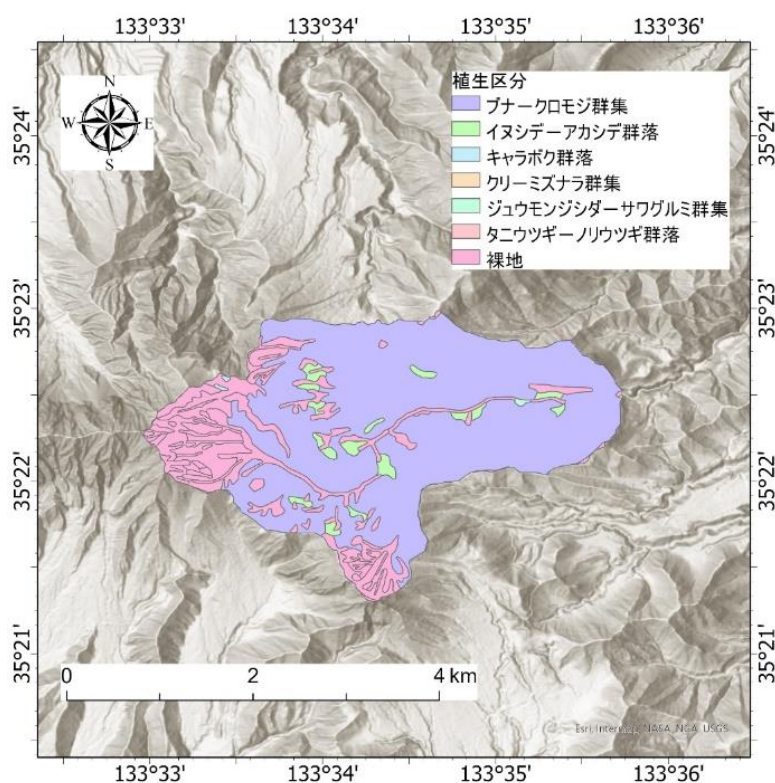


Fig.4 Vegetation map of the Daisen Falls watershed.

4.おわりに

本研究においては「山・川・海」を流域圏と捉え、その指標として NO_x からの二次物質を軸に論じた。大気環境の指標となる大山滝における渓流水中の NO_3^- 濃度が非常に低く、ブナを中心とした森林の役割が大きいことが分かった。森林はわれわれの生活にも大きく関わり、降雨や降雪を蓄え、安定した水の供給を行う水源涵養機能、土砂の流出や崩壊を防止する機能なども備えている。1993 年 12 月に青森県南西部から秋田県北部に広がる白神山地が世界自然遺産になったことで、ブナの原生林は社会的にも重要性を増し、現在の“大気の川”を伴った甚大な水害による問題²⁶⁾が背景にある中で、ブナ林といった自然林による治水が見直されるべきであろう。福島ら²⁷⁾によれば、日本におけるブナ林群集は 5 種類あり、大山にも広がるブナクロモジ群集は、中国地方から能登半島まで広がっている。前述した白神山地のブナチシマザサ群集 (白山から北海道に広がる地域) とは細かくは分かれるが、今後地球温暖化に伴って、この地理的分布も変化していくであろう。

それと共に、調査する上流の水質も変化していき、下流もそれに伴って変わっていくことが予測される。

戦後スギ・ヒノキの植林を推進した社会的背景を見直し、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水および治水を考えていかねばならない。重要なのは、それぞれの河川の流域圏で、それぞれの特色があり、それぞれの自然や環境問題を抱えるということである²⁸⁾。「山・川・海」を結びつける指標を使って、その詳細を追い、更に総括的な考えが求められている。

参考・引用文献

- 1) 鳥取県, 光化学オキシダント注意報の発令について.
<http://db.pref.tottori.jp/pressrelease.nsf/5725f7416e09e6da492573cb001f7512/14AC08FDF783ADEA492584040000E66E?OpenDocument> (2021 年 1 月 14 日参照)
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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*, 26-27.
- 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・三浦寛・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**, 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渓流水質. *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渓流水質の特徴. *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) 虫明功臣 (2020): 鶴見川における流域水マネジメントへの挑戦—総合治水対策から流域水マスタープランへ. *河川*, **887**, 42-49.
- 11) 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.
- 12) 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**, 101-107.
- 13) 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.
- 14) 北中康文 (2006): 日本の滝 2 西日本 767 滝, 山と溪谷社, 495pp.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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**, 201-205.
- 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) 永淵 修・海老瀬潜一 (2016): 高山の大気環境と渓流水質—屋久島と高山・離島, 技法堂出版, 198pp.

- 20) 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.
- 21) 島根県保健環境科学研究所(編)(2020):島根県でも高濃度に！—光化学オキシダント, しまね保環研だより, **163**, 4-7
- 22) 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):ブナ帯文化, 思索社, 291pp.
- 23) 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.
- 24) 大類清和・相場芳憲・生原喜久雄(1995):森林小集水域での水質変化の過程. 水文・水資源学会誌, **8**, 367-381.
- 25) 苗村晶彦・初山守・奥田知明(2021):降水中の NO_3^- 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.
- 26) 讀賣新聞,「西日本豪雨時 列島上空「大気の川」」, 2018 年 8 月 17 日夕刊 3 版 11 面.
- 27) 福島司・高砂裕之・松井哲哉・西尾孝佳・喜屋武豊・常富豊(1995):日本のブナ林群落の植物社会学的新体系, 日本生態学会誌, **45**, 79-98.
- 28) 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**, 45-61.

(原稿受付 2021 年 1 月 28 日, 原稿受理 2021 年 3 月 12 日)