

## 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—

Understanding the water environment characteristics in various rivers

—Focusing on the coefficient of variation of EC—

森本 洋一<sup>1,2</sup>, 猪狩 彬寛<sup>2,3</sup>, 齋藤 圭<sup>4</sup>, 山形 えり奈<sup>2</sup>, 竹本 統夫<sup>2</sup>, 苗村 晶彦<sup>5</sup>, 小寺 浩二<sup>6</sup>

<sup>1</sup>朝日航洋株式会社空間情報事業本部 防災コンサルタント部, <sup>2</sup>法政大学大学院人文科学研究科,  
<sup>3</sup>日本工営株式会社河川水資源事業部 河川部, <sup>4</sup>京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設,  
<sup>5</sup>戸板女子短期大学総合教養センター, <sup>6</sup>法政大学文学部

Yoichi Morimoto<sup>1,2</sup>, Yoshihiro Igari<sup>2,3</sup>, Kei Saito<sup>4</sup>, Erina Yamagata<sup>2</sup>, Muneo Takemoto<sup>2</sup>,  
Akihiko Naemura<sup>5</sup> and Koji Kodera<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Bosai Consultant Department, Spatial Information Division Aero Asahi Corp.

3-14-4, Minamidai, Kawagoe, Saitama, 350-1165 Japan

<sup>2</sup>Graduate school of Humanities, Hosei University

2-17-1, Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8160 Japan

<sup>3</sup>River Department, River & Water Resources Division Nippon Koei Co., Ltd.

5-4, Koujimachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8539 Japan

<sup>4</sup> Beppu Geothermal Research Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science,  
Kyoto University

3088-176, Noguchihara, Beppu, Ooita 874-0903 Japan

<sup>5</sup>Department of General Studies and Liberal Arts, Toita Women's College,

2-21-17, Shiba, Minato-ku, Tokyo 105-0014 Japan

<sup>6</sup>Faculty of Letters, Hosei University

2-17-1, Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8160 Japan

キーワード：電気伝導度，河川，融雪，火山，溪流

Key words : Electrical conductivity, River, Snow melting, Volcano, Mountain stream

### 抄録

EC（電気伝導度）は、電解質の総量を示す指標となる。天然水の河川水中におけるECの目安は、河川上流では50～100  $\mu$  S/cm, 河川下流では200～400  $\mu$  S/cmとされており、簡便に計測できることから市民団体による水環境調査等でも活用されている。日本や世界の多様なフィールドにおけるEC計測値は、日本で10～6,000  $\mu$  S/cm, スウェーデンの対象の河川では21～509  $\mu$  S/cm, キルギスのインク湖集水域で116～840  $\mu$  S/cmとなった。また、ECの変動係数を算出したところ、自然環境の変化や、人為的影響が大きい地域では、変動係数が高いことがわかった。このように、河川のECは地域の水環境を概観し、水環境上の課題を明らかにするための手助けとなるため、今後もECを活用し、水環境や水質に関わる議論を行っていく必要がある。

### 1. はじめに

陸水は、河川水、湖沼水、地下水、雪氷等に区分でき、河川や湖沼等の地表水及び土壌水の量は、

陸水全体の0.7%程度と考えられている<sup>[1]</sup>。森林からの流出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、陸上のすべての生

命を支えている<sup>[2]</sup>。その流出水の代表的な例は河川であろう。

河川水は、陸域からの電解質を海洋に運搬し、その成分には、降水、地下水、地質、風送塩等に由来する物質のほか、生活雑排水及び農業・畜産業等の人間活動による人為的な汚濁物質等が含まれる。したがって、その水質特性は流域ごとに異なり、これまで多くの河川水質とその特徴について調査と考察が行われている。例えば、小林は1940～1950年代にかけて、国内225河川の主要な電解質の平均値を明らかにし、地理的及び季節的な側面から考察を行っている<sup>[3]</sup>。このように、河川流域の水質特性や起源を明らかにするためには、河川水の溶存成分と地形や地質、人間活動の影響（下水道排水や工業排水等）を関連付けて考察し、河川の水質を形成する代表的な要素を明らかにすることが一般的である。

河川水の電解質の総量を示す水質指標として電気伝導度（Electrical Conductivity；電気伝導率ともいい、以下、ECという）がある。ECは国土交通省等が管理する河川においても継続的に調査されており、統計データとして整理される等、河川水質の調査においては一般的な調査項目である。天然水のECは、雨水：10～30 $\mu$ S/cm、河川上流：50～100 $\mu$ S/cm、河川下流：200～400 $\mu$ S/cmとされ、水質の目安として活用可能である<sup>[4]</sup>。また、河川の電解質成分の供給源を整理すると、a. 降水、b. 大気中からの降下物、c. 岩石・土壌等の地質的要因、d. 鉱泉・温泉、e. 人間活動による排出物が挙げられるが<sup>[5]</sup>、今回は特にb.の影響を受ける首都圏の源流や、d.の影響が強く見られるフィールドにフォーカスし考察した。

ECは比較的安価な機材で計測でき、現地で簡便に測定できることから、市民団体が参加する環境調査（例えば、世界環境デーに合わせて全国各地で行われる身近な水環境一斉調査等）においても、化学的酸素要求量（Chemical Oxygen Demand：COD）とともに測定されている<sup>[6]</sup>。

ECの値（ $\mu$ S/cm）は、面積1 $\text{cm}^2$ の2対の電極を1cm離しておき、2つの電極の間にある物質（電解質）のもつ電気抵抗（電気を通さない性質）の逆数であらわされる。このように、ECの計測原理から考えれば、ECの値は、電解質濃度が高いほど測定値が高くなるため、これら電解質の供給源となり得る工業地や農地等からの排水等の人為的な影

響（以下、人為的な影響という）や、河川水の基本的な水質を形成する地質や地形、気象条件等の自然的な影響（以下、自然的な影響）を敏感に受ける。河川のEC値は、これらの人為的及び自然的な影響と関連付けて考察することで、その地点の水質の形成要因を定性的ではあるが明らかにすることができると考えられる。そのため、現地調査によりECを測定することは、河川水質の変動や変動の兆候を知るために重要である可能性が高い。

このように、ECは専門的な知識を持たない市民等でも簡便に計測できる水質指標でありながら、河川水の水質やその変動を考察する上でも欠かせない指標であると言える。しかし、ECを活用した流域の水環境や水質の特徴を把握した事例は少ないのが現状である。

そこで、本論では、筆者らが行った国内外の様々な流域のEC計測結果や公開されている統計データから、EC値の変動傾向等を整理し、EC値により地域や流域の水質特性が把握可能であるか考察を加えた。これらの考察は、様々な地域や流域においてECを継続的に計測することや、空間的に広く計測すること（例えば、河川の上流から下流域等）の重要性を具体的に指し示すことにもなるため、EC値の計測を啓蒙する目的も含んでいる。

## 2. 研究方法

### 2.1. 対象地域

ECは電解質の総量を示す水質指標であるため、人為や自然の影響を受けて値が変化する。そこで、対象地域として、筆者らが取り組んでいる調査地域から、EC値を変化させる人為的及び自然的特徴を有する地域を選定し、研究対象地域とした。研究対象地域は、それぞれ特徴の異なる地域を国内から4地域、海外から2地域を選定した。研究対象地域を図1に、選定理由を表1に示す。

### 2.2. 研究方法

初めに、対象地域の水文誌を整理した。水文誌は地理学における地誌学（特殊地理）の一つで、対象地域特有の自然環境や歴史、文化、社会条件等を整理し、その特殊性を議論する学問である。これにより、水質（ここでは特にEC値）に影響を与える、地域特有の人為現象や自然現象を抽出する。

次に、対象地域における河川水のEC計測結果に基づき、ECの空間的な分布傾向を把握した上で、流域の自然条件や社会条件から、そのEC値が現

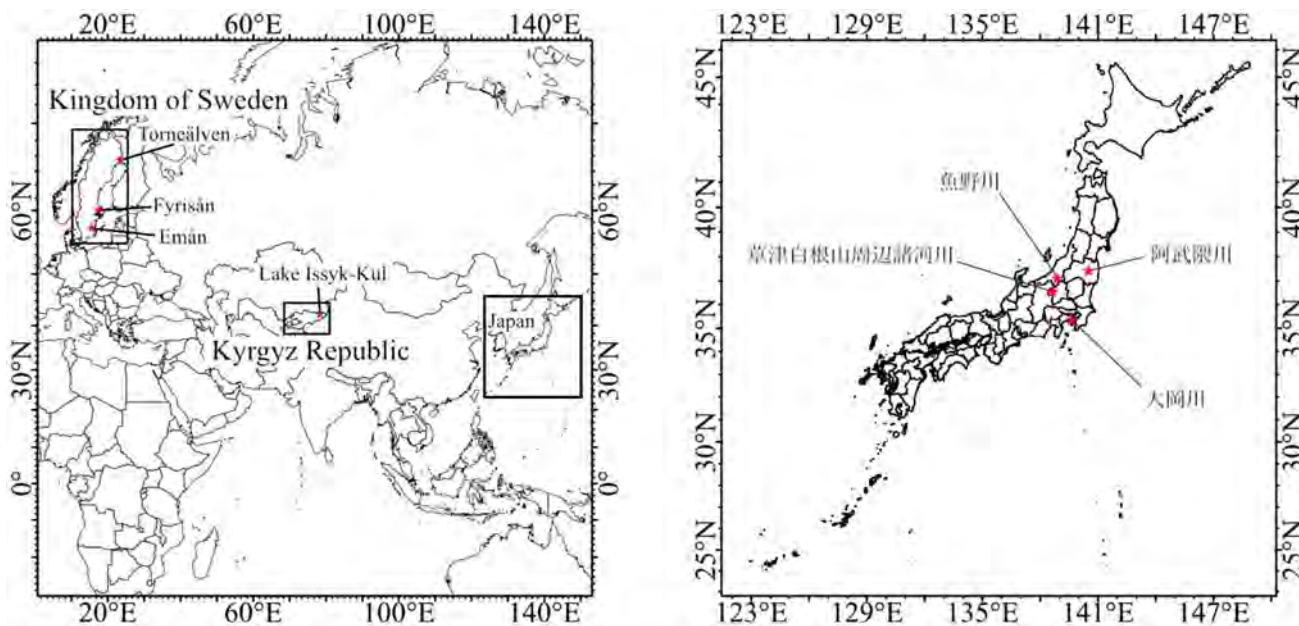


図 1. 研究対象地域

(左) オープンストリートマップの背景地図を利用し、著者作成

(右) 国土地理院の背景地図を利用し、著者作成

表 1. 研究対象地域の選定理由と算出した変動係数

国名	水系名	河川名	選定理由	算出した変動係数	
				時間的な変動係数	空間的な変動係数
① 日本	阿武隈川水系	阿武隈川	都市化や農業利用の進行した複数の盆地が上流から下流にかけて点在しており、人間活動の影響が水質に顕著にあらわれると考えられるため。	○	×
② 日本	信濃川水系	魚野川	豪雪地帯特有の積雪・融雪の影響が顕著に水質にみられると考えられるため。	○	×
③ 日本	大岡川水系	大岡川	中流域および下流域一帯が人口集中地区 (DID地区) に位置しており、源流域は森林生態系の窒素飽和問題を抱えており、首都圏における渓流水の水質の一例と考えられるため。	○	×
④ 日本	利根川水系 信濃川水系	草津白根山集水域諸河川	現在も活発に活動している火山の影響が水質に顕著にみられると考えられるため。	○	○
⑤ スウェーデン	トルネ川水系 エーム川水系 ノルストレム川水系	トルネ川 エーム川 フィリス川	ケッペンの気候区分では、西岸海洋性気候 (Cfb)、冷帯湿潤気候 (Dfb, Dfc)、高地地中海性気候 (Dsd)、ツンドラ気候 (ET) と、日本とは全く異なる4つの気候帯に位置しており、日本とは異なる水質がみられると考えられる。	○	×
⑥ キルギス	イシク湖集水域の諸水系	イシク湖集水域諸河川	ケッペンの気候区分では亜寒帯湿潤気候 (Dfb) に属する。日本の北海道と同じ気候帯であるが、イシク湖集水域の方が蒸発量が高く、年中乾燥しているという特徴がある。	×	○

れる要因について考察を加える。さらに、EC の変動係数を用いて、各地域の河川水質の特徴を比較した。

変動係数は、その地域の代表的な水質を明らかにする目的で算出した「時間的な変動係数」(同地点での継続的な EC 計測結果から求めた変動係数) と、対象地域における地域内の EC の地域差から地域性を明らかにすることを目的に算出した「空間的な変動係数」(地域内における地点間の差異を明らかにするために求めた変動係数) の2つの手法で検討を行った。なお、時間的な変動係数を用いた考察は、表 1 中の①・②・③・④・⑤の流域、

空間的な変動係数を用いた考察は、④・⑥の地域において実施した。なお、①・②・③・⑤の地域は、河川の上流から下流域の複数の EC 値を用いるため、それぞれの地点ごとに「時間的な変動係数」を算出し、その値を比較すれば流域内における空間的な変動についても明らかにすることができるが、④・⑥の地域は、火山から流れる複数の流域や湖の集水域であるため、「時間的な変動係数」のみでは空間的な分布の議論はできない。そのため、これらの流域では、「空間的な変動係数」を算出した。

本論で用いる EC 値は、現地採水時及び実験室における分析時の 2 回計測したが、条件の統一を

図るために全て実験室での値を採用した。分析時の計測には、堀場製作所製の LAQUAtwin-EC を用いた。国内のデータは、それぞれ、阿武隈川 (2019 年から 2020 年)、魚野川 (2009 年)、大岡川 (2000 年)、草津白根山周辺河川 (2017 年から 2019 年)、海外のキルギスは 2012 年から 2015 年までの夏期 (8 月下旬～9 月上旬) に行われた現地調査によって得られたサンプルを利用している。ただし、スウェーデンの河川については、Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut; スウェーデン気象水文研究所 (以降、SMHI) 及び、Sveriges lantbrukaruniversitet; スウェーデン農業大学 (以降、SLU) のウェブサイトで公開されているデータを利用し、考察を試みた。なお、本論で扱う EC 値は、全て 25°C 補正值とし  $\mu\text{S}/\text{cm}$  で表す。

### 3. 対象地域の地誌

既往資料や文献の整理を行い、地域特有の人為現象や自然現象を定性的に抽出した。

#### 3.1. 日本の河川

##### (1) 阿武隈川流域

阿武隈川は福島・栃木県境の旭岳 (標高 1,835m) を源流とし、福島県の中通り地域を北流し、宮城県にて太平洋に注ぐ一級河川である。幹川流路長と流域面積はそれぞれ、239km (日本全国 6 位)、約 5,400km<sup>2</sup> (同 11 位) である。流域は全般的には太平洋側の気候を呈し<sup>[7]</sup>、西側には標高 1,000m を超える奥羽山脈がそびえ、急峻な地形となっている。東側は標高 800m 程度の阿武隈山地が位置し、比較的なだらかな地形である。平成 24 年における気象庁の年平均降水量によると、流域の西側は、分水嶺を挟んで日本海側の豪雪地帯と隣接し、年降水量は多いところで 2,000mm を超えるが、平野部では 1,500mm 程度であり、流域の東側はおおむね 1,200mm 前後で、1,100mm を下回る地域もある。国土交通省が行った、20 万分の 1 土地分類基本調査からの表層地質図によると、流域の左岸には蔵王 (刈田岳、標高 1,758m)、東吾妻山 (同 1,975m)、安達太良山 (同 1,700m) といった火山からの火山噴出物を含む多様な地質が形成されているが、老年期の阿武隈山地が位置する右岸は、主に花崗岩質が占める単純な地質となっている。

本流はその間を南から北に流下しながら、中流部で人口約 33.5 万人の郡山市及び約 29.4 万人の福島市 (2015 年国勢調査) を通る。流域内人口は、

約 137 万人であり、河川水は発電、かんがい、上水道、工業等に利用され、重要な水資源となっている。国土交通省が公表している国土数値情報の土地利用細分メッシュを用いて土地利用を算出したところ<sup>[8]</sup>、阿武隈川中・下流域の摺上 (すりかみ) 川及び内川の集水域では森林の割合が高く (森林の割合は摺上川が 90.6%、内川が 79.7%)、阿武隈川中流域に位置する河川である亀田川、逢瀬川及び東根川は、集水域に建物用地や田畑が多く分布しているという特徴がある (建物用地及び田畑の割合は亀田川が 91.9%、逢瀬川 54.8%、東根川が 69.4%)。写真 1 に、郡山市を流下する逢瀬川とその周辺の様子を示す。逢瀬川下流域は、高度経済成長期の人口増加や交通網の発達を受け、宅地開発や整備が行われ、大きく変化した。



写真 1. 逢瀬川の風景と周辺の土地利用変化  
支流の逢瀬川は郡山市街を流下したのち阿武隈川に合流する (左)、逢瀬川下流域は近年大きく開発されたことが空中写真からわかる (右上, 右下)、2020 年 6 月 8 日撮影 (左) (著者撮影), 1964 年 (右上) (国土地理院撮影), 2014 年 (右下) (同)

##### (2) 魚野川流域

新潟県の中越地方を流れる魚野川は、太平洋側との分水界を成す越後山脈の主峰、谷川岳 (標高 1,977m) を源流に持ち、魚沼盆地を北流し、信濃川に注ぐ一級河川である。幹川流路長と流域面積はそれぞれ 68km、1,519km<sup>2</sup> である。魚野川の右岸には、標高 2,000m 前後の越後山脈を源流とした、北から大源太川、登川、三国 (さぐり) 川、水無川、破間 (あぶるま) 川、芋川が流入する。左岸側及び芋川は、標高が 1,000m 未満の魚沼丘陵を源流とする河川が流入する。左右岸で源流の標高が異なるのと同様に、左右岸で地質や地形も大きく異なっている。左岸側流域や芋川は、砂岩や泥岩が卓越しているが、右岸側流域は、下流部で合流する芋

川を除き、越後山脈を形成する火山性の火山岩や花崗岩が卓越する。

魚野川流域の気候は、典型的な日本海側の気候を呈し、夏期、冬期ともに降水量が多いという特徴がある。流域一帯は豪雪地帯として知られ、累年平均積雪積算値が約 10,000~15,000cm 日の特別豪雪地帯に指定されている<sup>[9]</sup>。魚野川の年平均比流量は  $11.2\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ <sup>[10]</sup>、年流出高は 3,000mm を超え<sup>[10]</sup>、日本でも有数である。

積雪地域では、写真 2 のように春先から初夏にかけて融雪水による流量増加が見られ、最大流出量を示す月は 4 月から 5 月である。融雪出水による流量増加は、河川の水環境や水質へ大きな影響を与えていると考えられる。さらに、魚野川の上流部には越後湯沢の温泉街があるほか、魚沼盆地では稲作が盛んである。



写真 2. 魚野川（大野原橋）の流量変化の様子

左は 5 月、右は 9 月の魚野川本流（大野原橋）の写真であるが、融雪期の 5 月は 9 月に比べて流量が多いことがわかる。

2009 年 5 月 1 日（左），2009 年 9 月 5 日（右）撮影（全て著者撮影）

### (3) 首都圏の丘陵地の森林溪流—大岡川—

日本の国土の内  $25\text{万 km}^2$ （国土の 67%）に相当するのが森林であるが、その森林では土壌が河川流量を「緑のダム」により調節して洪水を防ぎ、根系は土砂流出を防止している機能がある<sup>[11]</sup>。

人間活動の影響によって大気から森林へ汚染が負荷される。首都圏（1 都 7 県）において人口が密集するのは東京湾沿岸であるが、その東京湾に注ぐ河川は 60 以上あり、流域面積は  $8,000\text{km}^2$  に及ぶ<sup>[12]</sup>。日本において東京 23 区に次ぐ人口第 2 の都市・横浜市の内を流れ東京湾に注ぐ主な河川（図 2）は、一級河川の鶴見川（全長  $42.5\text{km}$ 、流域面積  $235\text{km}^2$ ）、二級河川の帷子川（全長  $19.3\text{km}$ 、流域面積  $58.5\text{km}^2$ ）、同様に二級河川の大岡川（全長  $15\text{km}$ 、流域面積  $35\text{km}^2$ ）等である<sup>[13]</sup>。大岡川は横浜市磯子区の多摩丘陵南端に位置する



図 2. 横浜市内の河川  
（国土地理院の背景地図を利用し、著者作成）



写真 3. 貴重な森林の残る源流域

大岡川源流域（左）2020 年 9 月 4 日撮影  
四万十川源流域（右）2019 年 8 月 28 日撮影  
（全て著者撮影）

円海山（標高 153m）を源流とし北の方向に流れる笹下川と、横浜市港南区日野町付近に源を発する日野川が、上大岡西 2 丁目付近で合流し、南区を経て中区の JR 桜木町駅付近で横浜港に注ぐ<sup>[14]</sup>。横浜市内の河川の源流域は開発が進むも、大岡川の源流域については風致地区に指定されており、その源流域は山間部である（写真 3）。その大岡川源流（北緯  $35^{\circ}21'26''$ 、東経  $139^{\circ}35'37''$ 、標高 70m）において、苗村ほか（2015）において実施した平水時の渓流水（2000 年 8 月 24 日～11 月 29 日に計 7 回実施）の EC を調べた<sup>[15]</sup>。また、同じ森林溪流水として、首都圏の源流に対比し人間活動の影響の少ないと推測される四万十川（幹川流路長全国 11 位、流域面積同 28 位）の源流（2019 年 8 月 28 日

採取, 北緯 33°26'30", 東経 133°04'20", 標高 910m)  
(写真 3) 及び手取川水系母の木台上の渓流水  
(2018 年 9 月 6 日採取, 北緯 36°15'45", 東経  
136°49'56", 標高 1,450m) の EC を調べた。

#### (4) 草津白根火山周辺の諸河川

草津白根山 (2,171m) は, 日本最大の流域面積  
(16,840km<sup>2</sup>) を持つ利根川と, 本邦最長の幹線流  
路 (367km) である信濃川, 両河川の集水域を跨ぐ  
活火山である。山体は白根山, 逢ノ峰, 本白根山の  
火砕丘群から構成され, その活動は約 60 万年前か  
ら始まり, 現在の山容は約 1 万年前までに形成  
された。ここ 1 万年間の火山活動は水蒸気爆発が  
多く, 噴気活動も山体各所で続いている。火山体  
下位の基盤岩類は厚く, 山体西側で標高 2,000m の  
高さまで見られる。南東側では標高 1,100m 以下に  
基盤岩類が見られ, 南東側に緩く傾いている。こ  
の上に, 現在の草津白根山が形成されている<sup>[16]</sup>。  
山体周辺は, 強酸性の草津温泉や万座温泉に代表  
されるように, 熱水系の発達ที่著しいという特徴  
を有する。草津町を流れる湯川では, 温泉に起因  
した強酸性水が流れており, 中和処理 (石灰水の  
投入・ダム湖での中和物の沈殿) が絶えず行われ  
ている。こうした中和事業の効果もあり, 湯川が  
合流する吾妻川において, 強酸性水による影響は  
近年報告されていない (写真 4)。

草津白根山を含め, 熱水系が発達した活火山で  
の水環境に関する研究事例は, 国内外問わず数多  
く, 人体に有毒な重金属類の流出や流域内の産業  
への影響等が議論されている<sup>[17]</sup>。



写真 4. 草津白根山周辺水環境の様子

(それぞれ, 草津温泉の湯畑 (左上), 湯川での石  
灰水による中和 (右上), 上州湯の湖 (品木ダム)  
(左下), 吾妻川三原大橋 (右下))  
2018 年 7 月 14 日 (左上), 2017 年 10 月 20 日 (右  
上), 2018 年 7 月 14 日 (左下), 2018 年 7 月 14  
日 (右下) 撮影 (全て著者撮影)

## 3.2. 世界の河川

### (1) スウェーデンの河川

スウェーデン (Kingdom of Sweden) は, ヨーロ  
ッパ北部のスカンディナヴィア半島の東部に位置  
し, バルト海に面する国である。中央統計局  
(Statistiska centralbyrån, SCB) によると, 人口は  
1,035 万人<sup>[18]</sup>である一方, 陸地面積は約 41 万 km<sup>2</sup>  
で, そのうちの 69%が森林となっており<sup>[19]</sup>, 面積  
と森林割合が日本のそれと似通っていることが分  
かる。陸水の総面積は約 4 万 km<sup>2</sup> で, 海洋を除く  
全国土の約 9.8%にあたる<sup>[20]</sup>。人口の大半は首都の  
ストックホルム, 第二の都市イエテボリ, 第三の  
都市マルメに集中しており, いずれの都市も国土  
の中部から南部に位置する。北部から北西部にか  
けては広大な針葉樹林帯あるいは山岳地帯となっ  
ており, 南部と比べると人口密度は極めて低い。  
スウェーデン北部に位置するノールボッテン, ヴ  
エステルボッテン, イェムトランドの 3 県域はい  
ずれも人口密度が 10 人/km<sup>2</sup>に満たない<sup>[21]</sup>。

スウェーデンでは日本の気象庁にあたる SMHI  
によって, 全国およそ 330 箇所の観測所で流量や  
水位等の水文観測が行われており<sup>[22]</sup>, さらに 900  
箇所以上で気象観測が行われている<sup>[23]</sup>。水文, 気  
象ともに, 観測所によっては 100 年以上の継続的  
なデータの蓄積があり, これらは SMHI のウェブ  
サイト上で公開されている<sup>[22]</sup>。EC や電解質等に関  
しても, 国から自治体までのあらゆるレベルで全  
国的に観測が行われており<sup>[24]</sup>, SLU がそれらの情  
報を一元的に収集し, 公開している<sup>[25]</sup>。古いもの  
では 1950 年代からの継続的な測定値が取得可能  
となっている。

スウェーデンの EC を取り上げた研究は, スウ  
ェーデン北部にあるスヴァットバリエット集水域  
における研究がある。この地域では冬から春にか  
けて本流の EC が下降傾向となり, これは SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及  
び Ca<sup>2+</sup>の減少によるものだと指摘されている<sup>[26]</sup>。

本論では, スウェーデンの北部, 中部, 南部から  
1 つずつ, それぞれ違った特徴を持つ計 3 つの河  
川を取り上げる (図 3)。1 つ目はスウェーデンと  
フィンランドの国境沿いを南下してボスニア湾に  
注ぐトルネ川 (Torneälven) で, SMHI の定める主  
要流域 (huvudavrinningsområde) を構成する河川  
の一つである<sup>[27]</sup>。

2 つ目はスウェーデン南部スモーランド地方を  
東へ流下し, バルト海南部に注ぐエム川 (Emån)  
で, これも前者と同じく主要流域の一つを構成し  
ている<sup>[27]</sup>。



写真5. ウップサーラ市街を流れるフィーリス川  
2003年12月23日撮影（著者撮影）

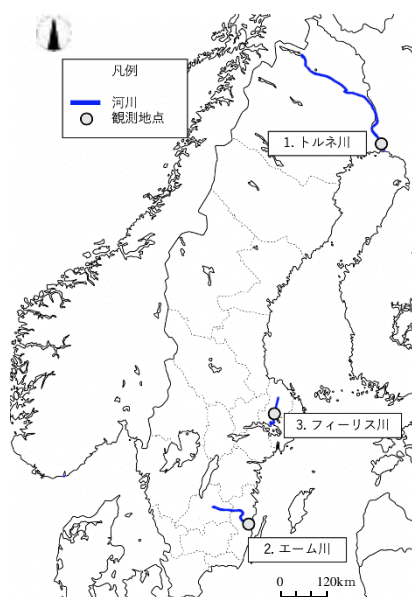


図3. 対象河川と観測所の位置

（白地図専門店 (<https://www.freemap.jp>) の白地図を利用し、著者作成）

3つ目はウップサーラ市街を含むスウェーデン中部ウップランド地方を南へ流下し、首都のストックホルムに接するメーラレン湖に注ぐフィーリス川 (Fyrisån) である (写真5)。この川は他の2つのように主要流域を構成する河川ではないが、石灰の影響の強い地域<sup>[28]</sup>を流れており、地質による強い影響が期待されることから採用した。

#### (2) イシク湖集水域の河川

イシク湖 (Lake Issyk-Kul) 集水域は、キルギス共和国 (Kyrgyz Republic) に属し、南北にある標高3,000mを超える2つの山脈に挟まれた塩湖である。本湖集水域は、中緯度高圧帯のアフリカ北部から

ユーラシア中央部にかけて広がる乾燥・半乾燥地帯、いわゆる「イエローベルト」と呼ばれる地帯にありながら<sup>[29]</sup>、天山山脈の支脈によって囲まれた高山地域に位置しており、一部は湿潤な気候となる。そのため、周辺国と比べて森林が豊富であり、「中央アジアのスイス」と評されるほど観光地としても名高い (写真6上)。集水域をなす山脈には氷河が存在し、イシク湖の水源として湖水位を維持するために重要な役割を担っている。遊牧民文化圏であるため、周辺では牧畜が盛んである等の特徴もある。集水域の形状は東西に長い楕円形を呈し、その面積は約2万2千km<sup>2</sup>である。人口はイシク州で46.39万人 (2015年)、人口密度にして11人/km<sup>2</sup>程度である。



写真6. イシク湖集水域の風景

琵琶湖の9倍の大きさをもつイシク湖と標高3,000m以上の高さをもつ天山山脈 (上)、「グレイシャーミルク」と呼ばれる白濁した状態にある河川が当地域には多く存在する (左下)、家畜の多くは放し飼いで飲み水を求めて溜め池に集まる (右下) 2017年8月24日 (上)、2018年8月22日 (左下)、2015年8月23日 (右下) 撮影  
(全て著者撮影)

#### 3.3. 対象地域の特徴の抽出

前項までの整理結果から、表2に対象地域のEC値に影響を与えうるであろう人為的及び自然的影響を表のように抽出した。

①阿武隈川、⑥イシク湖集水域諸河川では土地利用等の人為的な影響、⑤トルネ川、エーム川、フィーリス川は融雪水等の自然的な影響、②魚野川、③大岡川、④草津白根山集水域河川は人為的な影響と自然的な影響の両方であると考えた。

表 2. 各流域における水質上の課題

河川名	EC値に影響を与える人為的及び自然的な因子
① 阿武隈川	森林や田畑, 建物用地等の土地利用
② 魚野川	積雪・融雪水や温泉水
③ 大岡川	大都市からの乾性沈着・窒素飽和の状態にある森林
④ 草津白根山 集水域諸河川	火山
⑤ トルネ川 エーム川 フィリス川	積雪・融雪水の影響
⑥ イシク湖 集水域諸河川	氷河, 牧畜等の土地利用

4. 調査結果

4.1. 阿武隈川流域

2019年10月から2020年6月まで現地調査を行った期間内のEC平均値を図4に示す。本流の調査は、16箇所での公共用水域とその地点を補完する5箇所を含む計21地点において、2019年10月、11月、2020年1月、3月、6月に行った。本流のEC平均値は118~202 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。上流域の羽太橋及び田町大橋上流400mではEC値は低く、流下に従ってやや上昇傾向がみられた(図5)<sup>[30]</sup>。ストレーラー法による水系次数の高い支流の合流とEC値の増減が関係する地点が多く見受けられ、本流のECの値は合流する支流の影響を受けているといえる。

支流の調査は、20箇所での公共用水域とその地点を補完する8箇所を含む計28地点において、2019年10月から2020年6月の期間で月1回行った。支流ごとのEC値の違いについて考察すると、調査した支流のEC平均値は、97.2~462 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。低いEC値を示す支流は、阿武隈川中・下流域の摺上川及び内川であった。その集水域について、2014年度における土地利用細分メッシュデータより、100mメッシュ毎の土地利用を調査すると、森林の割合が高いという特徴が見出され、森林の存在と低いECは関連があると示唆される結果が得られた。一方、高いEC値を示す支流は、亀田川、逢瀬川、東根川、荒川で、いずれも阿武隈川中流域に位置する河川である。集水域の土地利用について同様に調査すると、亀田川、逢瀬川及び東根川では、集水域に建物用地や田畑が多く分布していた。このことより、亀田川、逢瀬川及び東根川の流域においてECが高い数値を示すのは、生活雑排水や下水等の処理水、田畑への施肥の影響による流入があり人為的影響を受けているためと考えられる。荒川は火山を水源とするため、主要な電解質成分の分析結果から $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度

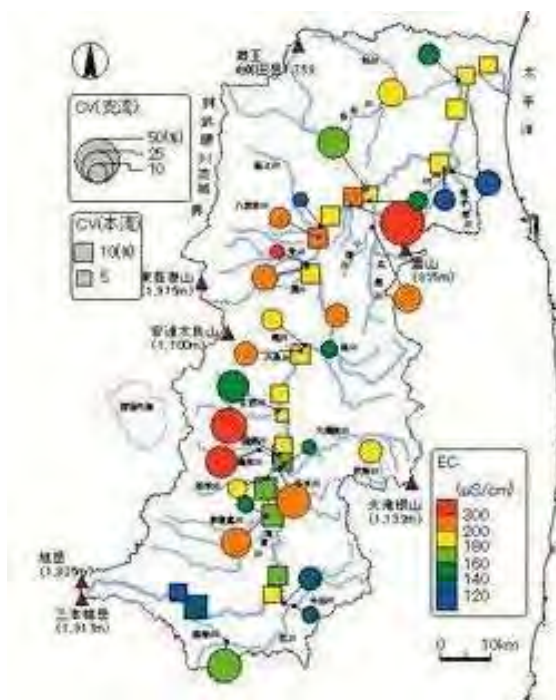


図 4. 阿武隈川流域における EC 平均値の分布 (2019年10月~2020年6月) (著者作成)

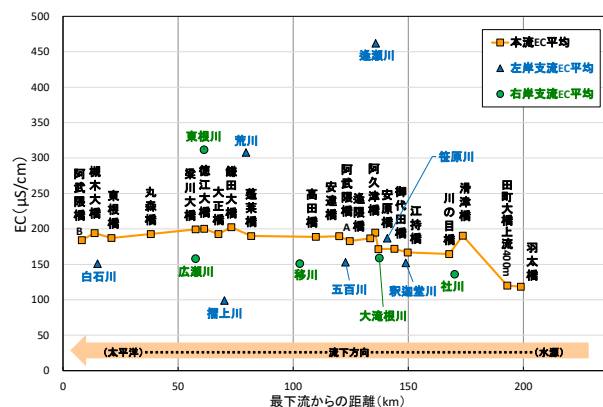


図 5. 阿武隈川本流の EC 平均値及び支流の EC 平均値 (2019年10月~2020年6月) ここに表記されている支流は、1次流の東根川、2次流の逢瀬川、菅原川を除き、3次流以上 (著者作成)

が高いことが分かっている (2019年10月3日採水の主要溶存成分分析によると $\text{SO}_4^{2-}$ は陰イオンの81.7%を占める)。火山由来の化学成分によりECの値が高くなっている可能性が高いが、これは、荒川固有の特徴である。

次に各地点のEC値の変動幅に着目すると、本流のECの変動係数は3.6~13.1%で、3地点(田町大橋上流400m, 江持橋, 御代田橋)以外は10%以下であることから、本流のECはおおむね変動幅が小さいといえる。変動係数が最小の3.6%であ



た阿武隈橋 A (n=5) では、前地点から当地点までの間で EC に変動を与えるほどの流入がないため、水質が一定に保たれ、この地点の変動係数が最小になったと考えられる。変動係数が最大の 13.1% であった田町大橋上流 400m (n=5) では、製紙工場の排水の影響を受ける堀川が地点直前で合流するため、排水流入量の違いにより EC 値が変動すると考えられる。

各支流の EC の変動係数は 5.9~50.7% であった。変動係数が 10% 以下の河川は、小さい方から順に大滝根川、摺上川、荒川、釈迦堂川、移川、今出川、広瀬川、笹原川の 8 河川で、50% 以上は東根川のみであった (荒川と釈迦堂川は n=8, それ以外は n=9 である)。一部を除き EC 値と変動係数との関係は比例する傾向があった。変動係数が最小の 5.9% であった大滝根川と摺上川では、各々上流にダムが立地していることが共通点である。一方、変動係数が最大の 50.7% であった東根川は、前述のとおり人為的影響によって、EC 値が変動しやすいと推察する。本流の EC 値と変動係数との間に相関は認められなかったが、支流では、一部を除き正の相関が認められた。個々の集水域の土地利用や地質の特徴が EC 値に表れやすい支流でこのような相関が出ることは、森林の存在及び人間活動が EC に影響を与えていることを示している。

当流域は、本流の流下に伴う水質濃度・負荷量の変動パターンのほか、支流域における土地利用と水質との相関が明らかにされている<sup>[31]</sup>。しかし、河川周辺の地形、地質、自然条件、土地利用、人間活動等様々な要因については、今後より詳細に考察を重ねていく必要がある。

#### 4.2. 魚野川流域

2009 年 4 月から 2010 年 3 月の現地観測結果から、地点毎の観測期間内における EC の年間平均値と変動係数を算出し、分布図を作成した (図 6)。本流の EC の年間平均値は 120~150 $\mu\text{S}/\text{cm}$  であり、支流では約 30~50 $\mu\text{S}/\text{cm}$  であった。しかし、小出付近で合流する破間川は、魚野川本流とほぼ同一年平均 EC 値であった。年間の変動をみると、地域によって大きく異なることがわかり、本流の変動係数の最大値は 98% (上流部の浅間平橋)、最小値は 15% (最下流の川口橋) であった。本流における年間変動は上流ほど大きい傾向がみられた。

支流の変動係数は、最大値が 58% (本流上流部に流入する戸沢川)、最小値が 8% (本流上流部に流入する大源太川) であった。

2009 年 4 月から 2009 年 12 月の本流及び支流河

川の EC 値を縦断的に表現した (図 7)。魚野川では、その年の降雪量にもよるが、最も EC が低くなるのは 5 月の融雪期であり、最大流出量を示す月と同じである。本流の EC 値の季節変化をみると、上流域は 4 月に 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$  と高い値を示すが、その後は 35~45 $\mu\text{S}/\text{cm}$  と低い値で安定している。4 月の EC 上昇の要因は、凍結防止剤 (NaCl) の成分が河川に流れ込んでいるために生じていると考えられる。関越自動車道の上越国境側の利根川表流水では、厳冬期の Cl 濃度が通常の約 9 倍になることが報告されている<sup>[32]</sup>。EC が高かった魚野川上流の観測地点直上には、関越自動車道の雪捨て場があるため、高濃度の Na<sup>+</sup> と Cl<sup>-</sup> を含んだ雪が河川に溶け込むことで、EC が上昇している可能性が高い。また、中・上流部で EC 値が高くなるのは、湯沢温泉の温泉排水の影響等が考えられる。

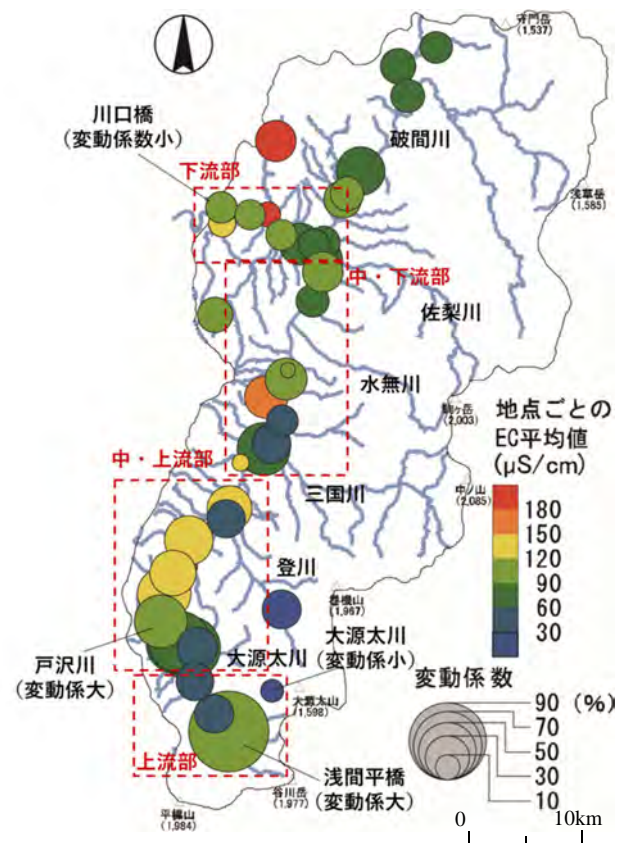


図 6. 魚野川における地点ごとの EC の年間変動  
赤破線で本流の上流、中流 (中・上流部、中・下流部)、下流部の位置を示した  
(2009 年 4 月~2010 年 3 月) (著者作成)

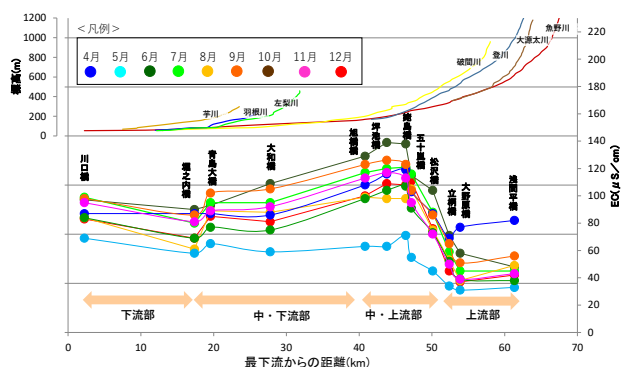


図7. 魚野川本川における EC の年間変動 (2009年4月～12月) (著者作成)

このように、魚野川本流の水質は、上流部、中流部から下流部にかけて大きく変動するとともに、季節によっても大きく変わることがわかる。魚野川は、融雪期に河川の EC 値が低下することが特徴であるが、それだけでなく、場所によっては、人為的影響（凍結防止剤）や、温泉水の影響を受けた<sup>[33]</sup>、複雑な水環境を呈していることがわかる。

#### 4.3. 日本の首都圏における丘陵地の森林溪流—大岡川源流—

大岡川源流の2000年8月24日～11月29日の間の平水時における EC の平均値は  $200\mu\text{S}/\text{cm}$  であった<sup>[15]</sup>。今回 EC の時間的な変動を検討したところ、EC は  $184\sim 215\mu\text{S}/\text{cm}$  で推移し、その変動係数は 6.5% であった。全国の大学演習林における渓流水の一斉調査の平均 EC 値は  $19\sim 178\mu\text{S}/\text{cm}$  であり<sup>[34]</sup>、大岡川源流の EC は大きい値を示したが、これは沿岸に近い丘陵地への海塩負荷に加え、首都圏における人間活動によってもたらされる大気沈着（特に乾性沈着）によって森林に影響を与えた結果<sup>[35]</sup>、EC が高くなったと考えられる。例えば、大気から過剰な窒素が供給され、森林渓流水中に  $\text{NO}_3^-$  として流出する等森林生態系における窒素飽和問題が生じており<sup>[36]</sup>、東京圏（1都3県）周辺の山地や丘陵地において問題視される。人間活動から一次汚染物質として  $\text{NO}_x$  が生成するが、 $\text{NO}_x$  から  $\text{NO}_3^-$  への酸化と  $\text{O}_x$ （大部分が  $\text{O}_3$ ）が生成とはほぼ同時に進行するため<sup>[37]</sup>、 $\text{NO}_x$  から二次汚染物質として  $\text{O}_3$  と  $\text{NO}_3^-$  の連動性は注目される。つまり光化学オキシダントと窒素飽和は二次的汚染物質として表れる<sup>[38]</sup>。

首都圏における大気汚染の輸送については、夏期に埼玉県、群馬県の利根川筋を南東地上風（海

風）に乗って飛来し、碓氷川筋から碓氷峠（県境で最も標高が低い）を經由し軽井沢に達する<sup>[39]</sup>。また自動車等の移動発生源の多い首都圏は硝酸塩由来の物質が、海風によって内陸に長距離輸送される。群馬県西部における降水の水質及び量から窒素降下量を算出した結果、年間窒素降下量は、川崎市や横浜市よりも多く  $20\sim 30\text{kg}/\text{ha}/\text{year}$  に達すること等から、群馬県内の利根川水系の上流域では西部及び北部で広範囲に窒素飽和現象が出現していると推測している<sup>[40]</sup>。また、東京圏から山梨県へ大気汚染気塊が移流し、 $\text{O}_3$  が主原因の光化学スモッグ注意報が発令されるに至る<sup>[41]</sup>。東京圏内の多摩丘陵の森林生態系においては、大都市の影響を受け、この丘陵地帯は森林が窒素飽和の状態にある<sup>[42]</sup>。その窒素飽和における森林渓流水中の EC の変動係数の値からは、首都圏の丘陵地を源流とするところでも、平水時においては源流の代表値として EC は有効だと考えられた。また、日本の大河川の源流の EC では、四万十川で  $29\mu\text{S}/\text{cm}$  となり、石川県の手取川水系母の木台上の渓流水で  $10\mu\text{S}/\text{cm}$  であった。首都圏の丘陵地における渓流水中の EC は高い値を示すが、大気汚染における乾性沈着の指標ともなり、窒素飽和の環境問題を抱える森林における、「森林の健康診断」として、EC を調べることは簡便かつ重要である。加えて、アジア大陸からの越境汚染を含め、人間活動による影響を受けた大気沈着から森林生態系への負荷として、EC を調べてデータを積み重ね議論していく必要がある。

#### 4.4. 草津白根火山周辺の諸河川

2017年5月から2019年10月に至る現地河川調査（2018年1月23日噴火前後の2018年1月19日、2018年1月24日の現地調査も含む）の結果、対象全地点における EC 平均値は  $731\mu\text{S}/\text{cm}$  である。特に万座温泉、草津温泉、白根硫黄鉱の下流の EC 平均値は、それぞれ  $1,646\mu\text{S}/\text{cm}$ （万座川）、 $4,629\mu\text{S}/\text{cm}$ （湯川）、 $5,146\mu\text{S}/\text{cm}$ （巖洞沢川）と本稿の他地域に見られる河川よりも高い。調査期間における最大値は、巖洞沢川の  $6,000\mu\text{S}/\text{cm}$ （2019年5月25日採取、北緯  $36^\circ 36' 04''$ 、東経  $138^\circ 34' 21''$ 、標高  $1,270\text{m}$ ）であり、白根硫黄鉱山からの坑排水の影響によるものである<sup>[43]</sup>。温泉水や鉱山排水の直接流入が無くとも、白根山・本白根山山体から流下する河川では、 $1,000\mu\text{S}/\text{cm}$  を超える地点が見られ、火山活動の影響を受けた地下水が源頭で湧

出・流下していると考えられる。源頭標高が低い河川や、流域内に活火山を持たない河川での EC は、 $100\mu\text{S}/\text{cm}$  を下回ることが多い。このように地表浅部まで発達した熱水系の影響は大きく、同一山体であっても小流域間の EC 値の差異が著しく大きい (図 8)。

強酸性水をそのまま河川に流下させると、下流域における生態系への影響や、橋梁土台・河川構造物への損害が報告されている<sup>[44]</sup>。そのため、草津温泉から流下する湯川では、1964 年より石灰水の投入による中和処理が行われており、その影響は利根川下流域の水質にも現れている<sup>[45]</sup>。処理前の EC 平均値  $4,629\mu\text{S}/\text{cm}$  に対し、処理後は  $2,056\mu\text{S}/\text{cm}$  まで低下し、その後、下流の上州湯の湖 (品木ダム) で中和物を沈殿させた後、発電用の導水管を通り白砂川へと流れる。湯川合流前の白砂川本流の EC 平均値が  $306\mu\text{S}/\text{cm}$  であることを踏まえると、中和処理によって強酸性水の流下は抑えられているものの、EC は依然として高い値 (白砂川最下流の EC 最大値:  $970\mu\text{S}/\text{cm}$ , 2018 年 1 月 24 日) である。さらに、白砂川下流域では上州湯の湖からの発電用導水が行われており、EC 値の空間的変動・時間的変動が大きく、人為の影響が強く現れている<sup>[46]</sup>。

対象河川における地点間の空間的な変動係数は  $2.9\sim 72.7\%$  であった。今井川, 赤川, 万座川支流, 白砂川支流等の 8 地点において、時間的な変動係数が  $5.0\%$  を下回っており、源頭標高が低いことや流域内に温泉地や鉱山排水が無いことで、熱水系の影響を受けにくく EC 値が安定していると考えられる。一方、時間的な変動係数が  $50.0\%$  を超える地点が、万座川上流や品木ダム下流地点周辺辺の 4 地点でみられた。これは発電導水や温泉排水等の時間帯による排水量の変動の影響等が考えられる。

以上のことから、草津白根山周辺河川における水質の特徴としては、自然的影響による EC の高さが挙げられるが、一部河川の下流では温泉・鉱山の排水や発電導水等による人為的影響が見られる。湯川からの温泉排水が流れる白砂川下流部では、時間的にも空間的にも EC の値が大きい。

#### 4.5. スウェーデンの河川

流量及び積雪深, EC 値をそれぞれ比較し、2010 年 1 月から 2019 年 12 月までの期間における変動について考察した。EC 値は SLU で公開されてい

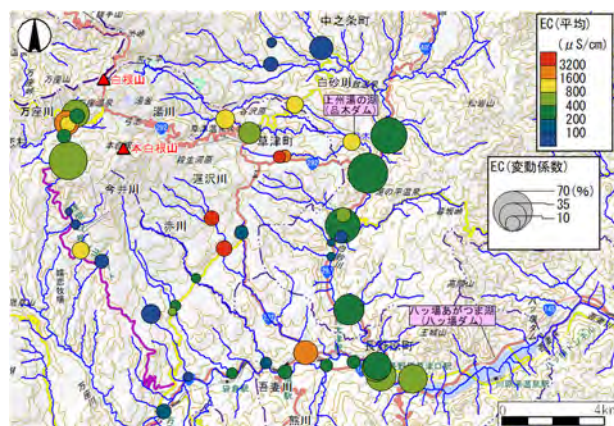


図 8. 草津白根山周辺河川水の EC の平均値及び変動係数 (2017 年 5 月～2019 年 10 月) (国土地理院の背景地図を利用し、著者作成)

る 1 ヶ月間隔の測定データ<sup>[21]</sup>を用い、流量及び積雪深は SMHI が公開している日次観測データを用いた<sup>[22][23]</sup>。各河川と観測地点の一覧は図 2 に、それらの流域面積、及び流域となる県域の人口密度は表 3 に示した。

トルネ川の EC 値は、観測所が下流域にあるにも関わらず  $21\sim 67\mu\text{S}/\text{cm}$  という非常に低い値で推移しており、変動係数は  $24.1\%$  となった。観測所周辺は毎年まとまった量の積雪がみられ、融雪とともに流量が増大し 4 月から 5 月に年間流量の最大値を記録するとともに、積雪期に最大値を示した EC が最小値となる季節変動が毎年みられる。出水のピークとともに最低値となった EC は、翌年の出水まで一定のペースで上昇するパターンを繰り返している (図 9a)。

エム川の EC 値は  $77\sim 161\mu\text{S}/\text{cm}$  の範囲で変動しており、変動係数は  $16.8\%$  となった。積雪に伴う流量と EC の変動はトルネ川と同様の周期性が見えるものの、流量の増加と EC の低下は融雪のタイミングだけではなく、冬期、春期以外の降水の影響と推察される。長期的な変動で見ると、EC は徐々に高くなり流量は徐々に減少している (図 9b)。これは流域が渇水傾向にあり、河川水中の電解質濃度が上昇している事を示唆している。

フィリス川流域は 3 河川の中で最も人口密度が高く、都市化している (表 3)。EC は  $252\sim 509\mu\text{S}/\text{cm}$  の間で変動しており、変動係数は  $12.7\%$  となった。他の 2 河川に比べて周期性があまり見られず、降雨等のイベントによる変動が著しい。EC は 3 河川の中で最も値が高く、石灰質の地質の影響を強く受けていると考えられるが、土地利用の影響も踏まえて溶存成分に関する詳細な検討を

表 3. スウェーデン河川の流域面積と人口密度 (2019)

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2002 及び Statistiska centralbyrån, 2019 のデータを基に作成

河川名	流域面積	流域となる県の人口密度(平均)
トルネ川	40,157km <sup>2</sup>	2.6人/km <sup>2</sup>
エーム川	4,472km <sup>2</sup>	28.4人/km <sup>2</sup>
フィーリス川	1,982km <sup>2</sup>	46.9人/km <sup>2</sup>

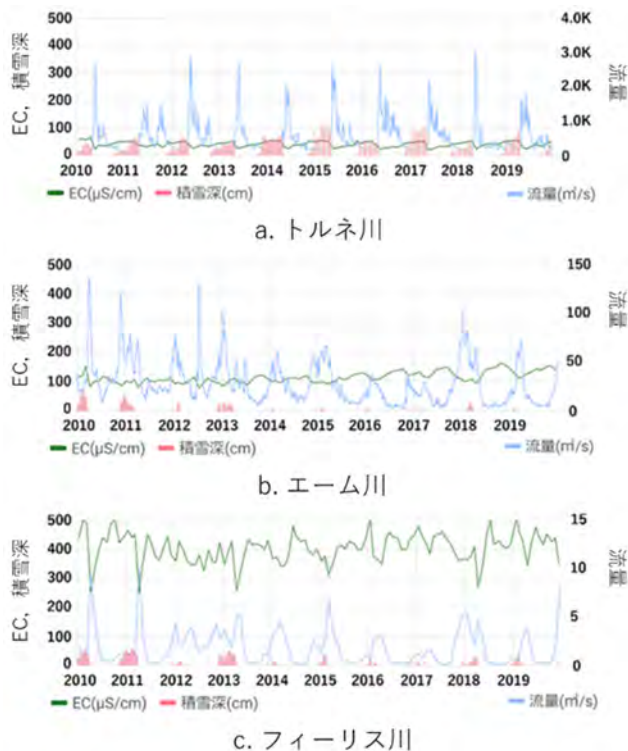


図 9. 各河川の EC 変動と流量, 積雪深比較 (著者作成)

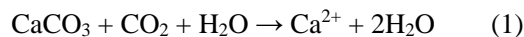
行う必要がある (図 9c).

以上のとおり, 2010 年から 2019 年にかけてスウェーデン国内 3 河川における EC 値の季節変動を概観し変動係数を算出した結果, トルネ川では突出して高い値となり, 次にエーム川, フィーリス川の順に低くなった. EC 値と流量の変動は, エーム川とフィーリス川ではばらつく傾向がある一方で, トルネ川では明確な季節変動がみられ, この特徴がトルネ川の高い変動係数に寄与している.

4.6. キルギス・イシク湖集水域の河川

2012 年から 2015 年までの夏期 (8 月下旬~9 月上旬) における湖へ流入する河川水の EC の平均値は 240μS/cm を示し, 116~840μS/cm と推移した. また, この期間の河川水全体の変動係数を算出し

たところ, 変動係数は 53.6%であった. EC の最低値が 100μS/cm を超えるのは, 流域に低い割合ながらも分布する石灰岩が原因だと考えられる<sup>[46]</sup>. 一般的に, 石灰岩に含まれる CaCO<sub>3</sub> は次式(1)によって水に溶け込む.



CaCO<sub>3</sub> は酸と容易に反応するため, 他の鉱物と比べて CO<sub>2</sub> を多く含む水に溶解しやすく, 石灰岩が分布していると河川水の EC 値を上昇させる一因となる. 特に, EC が最小値を示した地点 (R27; 図 10) は山地を流下して間もない河川水であり, 本流に対して上流域に近い水となる. しかし, そのような水においても EC 値が 100μS/cm を下回ることにはない. 当地域の水源は主に融氷河水であるため, 水と接触する石灰岩も氷河によって細粒化して運搬されていると考えられる. 実際, R27 の河川は氷河によって砕かれることにより生成されるシルトが混入し, 「グレイシャーミルク」と呼ばれる白濁した状態にある (写真 6 左下).

一方, EC が平均値よりも高い河川は, 人間活動由来だと考えられる濃度の Cl<sup>-</sup> や NO<sub>3</sub><sup>-</sup> が検出されたことから, 人為的な影響である可能性が極めて高い<sup>[47]</sup>. EC が最高値を示した地点 (R22) は村にある溜池の水が流入する河川水であるため, 家畜のし尿や生活雑排水等の混入が考えられる. 当地域では家畜は放牧状態であることが一般的であるため, あらゆるところに馬や羊, 牛といった家畜がいる (図 10, 写真 6 右下). こうした溜池は



図 10. イシク湖集水域河川における各河川 EC の平均値の分布 (2012~2015 年)

齋藤ほか<sup>[47]</sup>; ESRI 社の背景基図を利用し齋藤<sup>[48]</sup>のデータを基に, 著者作成

本来の用途である農業用水としての役割のほか、家畜の飲用水としても多く利用されている。また、1991年のソビエト連邦からの独立以降、キルギス共和国は経済の不況が続いていた関係で、下水道が未整備である地域が多いことが背景として考えられる。

以上をまとめると、イシク湖集水域河川における変動係数の高さは人為的影響によるEC値の増加によるものであり、人為的な影響を受けやすい村や都市周辺の地域とそうでない地域でEC値に差が生じやすいことがわかる。そうした人間活動の影響を鋭敏に反映する環境だからこそ、水質評価を継続的に行うことが重要である。

## 5. 考察

### 5.1. ECの時間的な変動係数

時間的な変動係数の低い場所は(10%以下)は、阿武隈川支流の大滝根川、摺上川、荒川等、魚野川支流上流部の大源太川、草津白根山の今井川、赤川等、平水時の大岡川源流であった。これら時間的な変動が少ない場所は、常に同質の水が流れている可能性が高いという点で、言わばその地域を象徴する水質であると考えられる。「平成の名水百選」にも選定されている阿武隈川支流荒川や上流部に人為的な施設の無い魚野川支流太源太川の計測地点では、ECの変動係数が小さいという点からも、本来の水環境が維持されているということがわかる。特に、水環境の保全対象となる「名水百選」や「平成の名水百選」においては、公的機関や市民、大学等による継続的な調査や積極的なデータ公開をしていくことが、環境問題への関心を高めるきっかけになると考えられる。

一方、時間的な変動係数の高い場所(50%以上)は、阿武隈川支流の東根川、魚野川上流部(浅間平橋、大野原橋、立柄橋)、魚野川支流の戸沢川、草津白根山の万座川上流部、湯川下流部であった。現地の自然環境と人間活動が、空間的・時間的変動として河川ECに反映されるのは国外も同様である。例えば、スウェーデンのトルネ川では、日本の魚野川と同様に融雪出水による季節変動が見られる。しかし、変動係数は魚野川よりも低いという特徴があり(魚野川本流は最大で98%、トルネ川は24.1%)、これは国土面積と森林面積割合が日本とほぼ同じでありながらも、人口は日本の8%程度であり、人為による影響が小さいためだと考え

られる。

変動係数が高くなる要因は、生活雑排水や土地利用、工業廃水、凍結防止剤等の人間活動の影響、温泉水や火山活動等の地形・地質の影響、融雪水等の気象現象を由来とした影響等様々であるが、様々な場所でECを計測することで、河川に内在する水環境上の課題を概観することが可能となると考えられる。

### 5.2. ECの空間的な変動係数

空間的な変動係数の算出は、地域の水環境を俯瞰するために重要である。つまり、多種多様な自然環境(異なる地質や異なる気象条件等)が存在する地域や、人間活動の活発度や土地利用が異なる地域では、空間的な変動係数が高くなる。逆に、地域内の自然環境や土地利用等がほぼ同じであれば、空間的な変動係数は小さくなると考えられる。

草津白根山周辺やイシク湖集水域では、河川間の差異が著しく、人間活動の影響に加えてその地域特有の自然環境によってECが大きく異なっているという特徴を持つ。草津白根山では、元來電解質成分が少ない山地域の河川であるため、火山による自然的影響と人為的影響のどちらも現れやすいという特徴がある。イシク湖集水域においても、温泉の存在は確認されているが<sup>48)</sup>、今回の検討では自然条件による違いがみられず、人間活動の影響にのみEC値の変動がみられた。

## 6. おわりに

山地や丘陵を源流とし、海に流入する河川は、国土の多様性や特徴を映し出す鏡である。河川の形状は地形や地質によって形態を変え、また、河川の作用によって形づけられる。河川の水質は、雨水が大気沈着、森林及び土壌、地質の影響を受けるとともに、気候により特性を変える。河川流域では、自然条件だけでなく人間活動の影響も受けるため、河川水質を計測することは地域性を明らかにする一つの手段としても有効である。

特に、電解質の総量を示す指標であるECは、誰もが簡便に計測できる水質指標であり、多くの統計的なデータが蓄積されているものの、有効に活用できているとは言い難い。しかし本論では、ECの時間的及び空間的な変動を算出し、その変動の地域差の理由を、流域や地域の社会条件や自然条件と結びつけて考えることで、逆説的に地域の環

境を表すことが可能であることを示した。このような研究手法は、地域の水環境を深く理解するために大いに役立つと考えられる。

雨水に近い溪流から、塩水遡上の影響を受ける河口域（例えば、三井ほか<sup>49)</sup>等）に至る様々なフィールドにおいて、溶存成分に紐付けられたECについての議論や解析が活発になされることが肝要である。これらの成果は、学術的に貴重な意味を持つとともに、ECという簡便な水質指標を用いた研究が盛んに行われることは、水質や水環境の専門的な知識の乏しい市民に対して、その理解を促す手助けになると考えられる。

地域の水環境を理解するために、自然界と人間社会、水循環を通して相互の物質収支を明らかにしていくことは大変重要なテーマであり、その一環として、ECを有効に活用していくことが望まれる。

## 引用文献

- [1]小寺浩二. 自然地理学概論(1). 法政大学通信教育部, 2020, p.104.
- [2]徳地直子. 森里海連環学—森から海までの統合的管理を目指して. 京都大学フィールド科学教育研究センター編, 京都大学学術出版会, 2007, pp.29-42.
- [3]小林純. 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究. 1961, 48, p.63-106.
- [4]小倉紀雄ほか. 調べる・身近な環境—だれでもできる, 水, 大気, 土, 生物の調べ方. 講談社, 1999.
- [5]沖野外輝夫. 新生態学への招待 河川の生態学. 共立出版. 2002, p.132.
- [6]小寺浩二ほか. 東京の水環境の変遷と課題: 河川環境を中心に. 法政地理. 2019, 51, p.61-70.
- [7]国土交通省東北地方整備局. 阿武隈川水系河川整備計画[大臣管理区間]. 2012, p.9.
- [8]国土交通省国土数値情報ダウンロードサイト. <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>, (2020年8月20日時点).
- [9]森本洋一ほか. 魚野川流域における暖候期の水質変動要因. 2010年度日本地理学会春季学術大会発表要旨集. 2010, p.98.
- [10]新井正. 風土としての日本の水—自然地理の視点から—. 地学雑誌. 2007, 116, p.7-22.
- [11]木平勇吉(編). 森林科学論. 朝倉書店, 1994
- [12]横浜市教育委員会(編). わかるヨコハマ. 神奈川新聞社. 2009.
- [13]貝塚爽平(編). 東京湾の地形・地質と水. 築地書館, 1997, p.211.
- [14]苗村晶彦ほか. 横浜市大岡川流域におけるNO<sub>2</sub>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. 2016, 59, p.27-33.
- [15]苗村晶彦ほか. 横浜市大岡川源流の森林溪流水質. 環境科学会誌. 2016, 29, p.201-205.
- [16]宇都浩三ほか. 草津白根火山地質図. 通商産業省工業技術院地質調査所. 1983.
- [17]齋藤陽一ほか. 1970年から2010年の渡良瀬川河川水の銅及びヒ素と濁度との関係. 環境科学会誌. 2012, 25, p.422-431.
- [18]Statistiska centralbyrån. Låg folkökning i Sverige under coronapandemin. 2020a, <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/statistiknyhet/befolkningsstatistik-forsta-halvaret-2020/> (2020年11月24日時点).
- [19]Statistiska centralbyrån. Marken i Sverige. 2020b, <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/marken-i-sverige/> (2020年11月24日時点).
- [20]Statistiska centralbyrån. Statistisk årsbok för Sverige. 2014.
- [21]Statistiska centralbyrån. Invånare per kvadratkilometer efter region, kön och år. 2019, <http://www.statistikdatabasen.scb.se/sq/90893> (2020年7月19日時点).
- [22]Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut & Havs Vatten myndigheten. Mätningar. 2020, <https://vattenwebb.smhi.se/station/> (2020年7月19日時点).
- [23]Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Ladda ner meteorologiska observationer. 2020, <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airtemperatureInstant,stations=all> (2020年7月19日時点).
- [24]Swedish University of Agricultural Sciences. Datavärdskap för sjöar och vattendrag. 2020a, <https://www.slu.se/institutioner/vatten->

- miljo/datavardskap/ (2020年7月19日時点) .  
[25]Swedish University of Agricultural Sciences. Miljödata MVM. 2020b, <https://miljodata.slu.se/mvm/> (2020年7月19日時点) .  
[26]Oni, S. K et al. H Long-term patterns in dissolved organic carbon, major elements and trace metals in boreal headwater catchments: trends, mechanisms and heterogeneity. *Biogeosciences*. 2013, 10, p.2315–2330.  
[27]Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Faktablad Nr 10, Län och huvudavrinningsområden i Sverige. 2002, [https://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.63451/lan\\_haro\\_huvud%5B1%5D.pdf](https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.63451/lan_haro_huvud%5B1%5D.pdf) (2020年7月19日時点) .  
[28]Naturvårdsverket. Sötvatten – årsskrift från miljöövervakningen 2010. 2010.  
[29]佐藤洋一郎ほか. イエローベルトの環境史—サヘルからシルクロードへ—. 弘文堂,2013.  
[30]山形えり奈ほか. 阿武隈川流域の水環境に関する研究 (1). 2020年度日本地理学会春季学術大会発表要旨集. 2020, p.190.  
[31]木内豪ほか. 阿武隈川流域における平常時の水質と栄養塩負荷の実態. *水工学論文集*. 2007, 51, p.1177-1182.  
[32]森邦広ほか. 関越高速自動車道凍結防止剤の谷川岳飛散及び樹木. 河川への影響. 大気環境学会年講演要旨集,1998,39,p.396.  
[33]堀内雅生ほか. 箱根山の火山活動と周辺河川・降水の水質について. *陸水物理学会誌*. 2020, 2, p.15-24.  
[34]戸田浩人ほか. 全国大学演習林における渓流水質. *日本林学会誌*. 2000, 82, p.308-312.  
[35]Naemura, Akihiko et al. Acidic deposition on Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in mountain and on suburban hill. *Natural Environmental Science Research*. 2007, 20, p.13-17.  
[36]Aber, J. D. et al. Nitrogen saturation in northern forest ecosystem. *Bioscience*. 1989, 39, p.378-386.  
[37]佐々木一敏ほか. 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*. 1986, 21, p.216-225.  
[38]苗村晶彦ほか. 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*. 2019, 56, p.101-107.  
[39]栗田秀實ほか. 沿岸地域から内陸の山岳地域への大気汚染物質の輸送及び変質過程. *大気汚染学会誌*. 1986, 21, p.428-439.  
[40]青井透. 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*. 2010, 15, p.145-152.  
[41]苗村晶彦ほか. 東京タワーにおける季節別の夜間高 NO<sub>2</sub> 濃度とポテンシャルオゾン濃度との関係. *日本生気象学会雑誌*. 2016, 53, p.39-44.  
[42]Naemura, Akihiko et al. Dissolved inorganic and organic nitrogen in throughfall and stemflow of coniferous trees in nitrogen saturated forest. *Natural Environmental Science Research*. 2004, 17, p.23-27.  
[43]大井隆夫ほか. 白根硫黄鉱山からの酸性坑排水の遅沢川水系河川に与える影響. *日本化学会誌*. 1991, 5, p.478-483.  
[44]小坂丈予. 草津白根火山を源泉とする酸性河川湯川水系の石灰中和による水質改善. *石膏と石灰*. 1991, 234, p.357-366.  
[45]三井嘉都夫. 関東諸河川の水質の変貌. *地理学評論*. 1972,45,p.76-87.  
[46]猪狩彬寛ほか. 草津白根山周辺水環境の水質特性と温泉排水・坑排水の影響. *日本火山学会 2019 年度秋季大会講演予稿集*. 2019,p.191.  
[47]齋藤圭ほか. 中央アジア・イシク湖とその集水域河川及び地下水の主要化学成分. *日本水文学会誌*. 2019, 49, p.91-106.  
[48]齋藤圭. 中央アジア・イシク湖及びその流域の水質に関する地理学的研究. *法政地理*. 2019, 51, p.35-44.  
[49]三井嘉都夫ほか. 四万十川の塩水遡上問題について. *法政大学文学部紀要*. 1990,6,p.39-76.

---

**Abstract**

EC (Electrical conductivity) is one of major parameters to indicate ion concentration. For the measurement of EC of river water, the values of unpolluted upstream natural water can be approximately 50–100 $\mu$ S/cm, while the values in polluted downstream water vary about 200–400 $\mu$ S/cm. Because it is easy to measure EC, EC is referred even in surveys by citizen's group. The variations of EC are 21–509  $\mu$ S/cm in the river waters in Sweden, 116–840  $\mu$ S/cm in the Lake Issyk-Kul basin in Kyrgyzstan, and 10–6,000  $\mu$ S/cm in the diverse rivers in Japan.

We calculated coefficient of variation from these EC results, and clarified that there are high coefficients of variation in rivers strongly affected by changes in the natural environment or human activities.

We should continue discussions using EC, as EC in river water helps to overview water environment in the watershed and clarify problems in that environment.

---

(受付日：2021年3月15日，受理日：2022年2月7日)



**森本 洋一 (もりもと よういち)**

現職：朝日航洋株式会社防災コンサルタント部，法政大学大学院人文科学研究科（科目履修生）

法政大学大学院人文科学研究科修了，  
技術士（建設部門 建設環境， 河川・砂防及び海岸，海洋），測量士