

箱根火山を流れる早川と須雲川における水質の日変化

井口 哩究

要旨

全国有数の温泉地として知られる箱根火山において、カルデラ内を流れる主要な河川は、早川・須雲川・大涌沢であり、大涌沢は早川の中流部で早川と合流する。2024 年 9 月 25 日に実施した水質調査では、大涌沢の水は強い酸性と高い電気伝導度を示した。また、早川と須雲川が合流する箱根湯本付近では、距離の差は小さいが pH、電気伝導度ともに値に差が出た。こうした値の差が箱根のような温泉地域に特有のものかを調べるため、2024 年 10 月 13 日、同年 11 月 16,17 日の調査では、気温・水温・pH・電気伝導度と $\text{Na}^+ \cdot \text{K}^+ \cdot \text{Ca}^{2+} \cdot \text{NO}_3^-$ について、早川・須雲川の上流と下流で測定した。その結果、早川は火山性のイオンを大量に含む大涌沢の影響を受ける事、そのイオンは上に挙げたようなイオンとは異なるイオンである事が分かった。また、早川・須雲川ともに下流に行くほど電気伝導度の値が高くなっており、温泉排水など火山由来のイオンを多量に含む水が原因ではないかという事が分かった。

キーワード:箱根火山,水質,早川, 須雲川, 大涌沢

1. はじめに

伊豆-小笠原弧北部に位置するカルデラ火山である箱根火山は、外輪山、前期・後期中央火口丘からなる（高橋ほか、2006）。箱根火山全体の研究史において特に重要なものは、久野久による一連の地質学的・岩石学的研究、町田洋や箱根団研グループによるテフラからの研究、平田由紀子による K—Ar 年代の研究などがある。久野は箱根火山において新旧 2 回のカルデラの形成を認めて、その形成期により、古期外輪山・新期外輪山・中央火口丘に区分した。なお、高橋ほか（2006）は、新期カルデラのカルデラ形成としての実態が明らかでないとして、久野の従来の呼称（古期外輪山・新期外輪山・中央火口丘）をそれぞれ外輪山・前期中央火口丘・後期中央火口丘に改めることを提

唱した。さらに、20 世紀以降の研究で久野の提唱した発達史に修正が図られ、新たな知見が明らかになった。その要点は以下のとおりである。①箱根火山のカルデラ形成前に生じた火山体は巨大な円錐型の成層火山ではなく複数の中～小型成層火山の集合体である（平田、1994;高橋ほか、2006 など）。②テフラ層序の研究や K—Ar 法による溶岩の年代測定が進み、箱根火山の発達史に数値年代が与えられた（例えば、町田、1997;袴田、1988;平田、1999;高橋ほか、1999）。③箱根火山の活動の始まりについて、久野は前期～中期更新世と考えたが、町田（1997）はテフラの研究から約 50 万年前、及川・石塚（2011）は約 40～30 万年前の年代値を報告した。④新期カルデラ・古期カルデラ

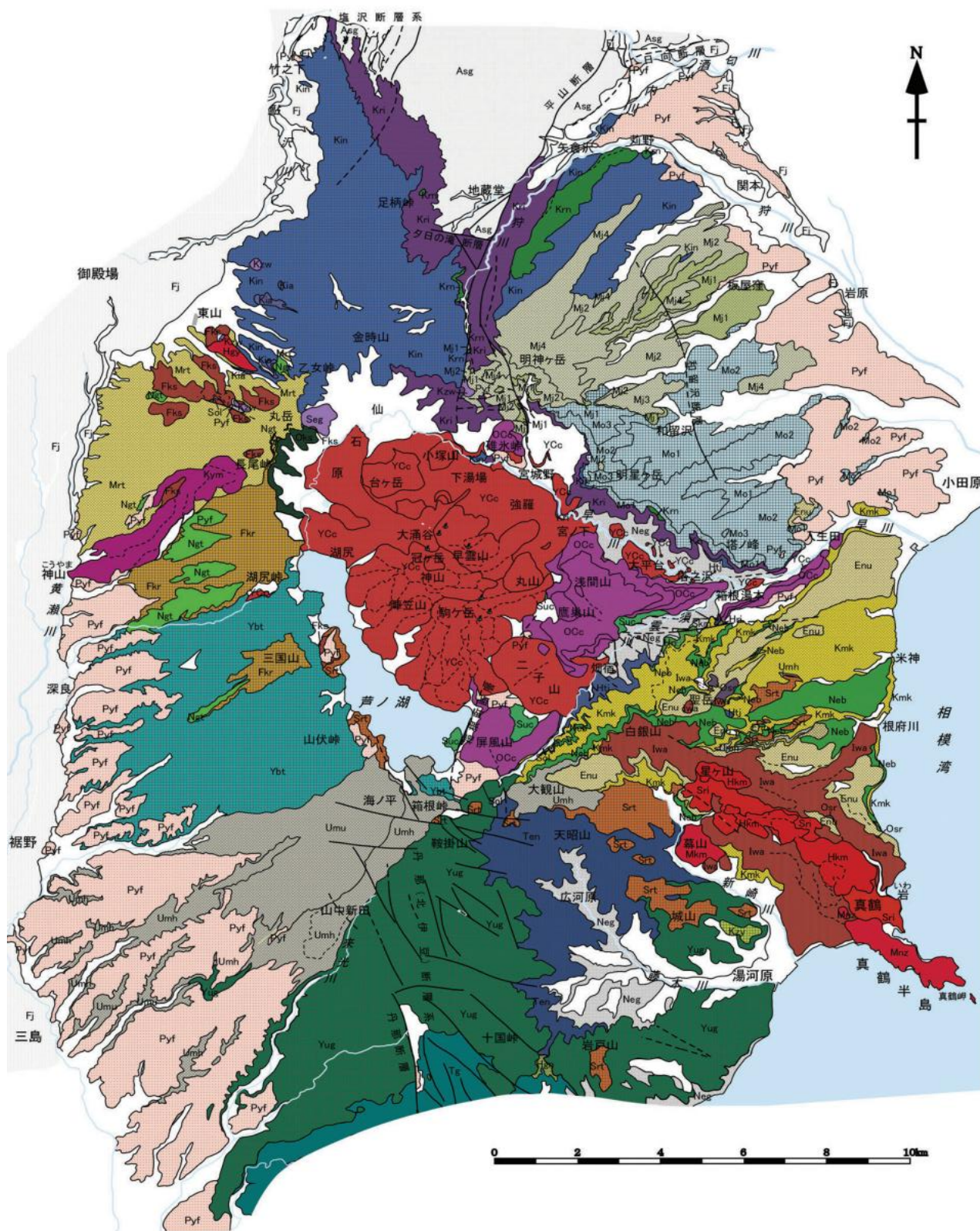


図1 箱根火山の地質図（日本地質学会国立公園リーフレット編集委員会，2007）

ともに大規模な爆発的噴火によって形成されたカルデラで (町田, 1977), 現在の地形的カルデラが全域で陥没したのではなく, 直径3km以下の小規模なカルデラが連結した複合的なカルデラと考えられるようになった (高橋ほか, 2006; 万年, 2008)。⑤頂上が平坦な浅間山・鷹巣山・屏風山などはカルデラ内を埋積した単一の楕状火山ではなく溶岩ドームや溶岩流の集合体である (高橋ほか, 2006)。⑥久野は外輪山と前期中央火口丘をソレアイト系列, 後期中央火口丘はカルクアルカリ系列と考えたが (久野, 1952; Kuno, 1968), 前期中央火口丘以前にもカルクアルカリ系列の岩石が出現することを示した (長井・高橋, 2008)。

また, 箱根火山の活動の始まりは現在では約 40 万年前とする考え方が主流となっていて (石塚, 2006; 石塚・及川, 2008), 8 万年前から 4 万年前には, 火砕流を伴う爆発的な噴火が発生した。近年では, 2015 年に大涌谷の噴気地帯で小規模の水蒸気噴火が発生した。ここで堀内ほか (2020) は, 万年ほか (2016) が, 大涌沢の園地と呼ばれる地域の湧水について Cl 濃度の 2015 年噴火での変化の傾向と, 彼らが観測した大涌沢の Cl/TAni 比の変化傾向の類似から, 上流域の湧水の水質変化が大涌沢の水質に影響を与えると考えた。しかし, カルデラ内を流れる早川や須雲川などの河川について, pH や電気伝導度, 含まれるイオンなどの水質に関する研究は数が少なく, 本調査では, 箱根カルデラ内を流れる河川の pH や電気伝導度, 含まれるイオンを明らかにするため, 早川・須雲川と, 現在も噴気活動の続く大涌谷を源流とし早川の支流でもある大涌沢について, 水質調査を行った。

II. 手法

本研究における水質の測定手法は, 主に泉・松山 (2017) に準拠した。測定項目は, 気温, 水温, pH, 電気伝導度と, Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , NO_3^- のイオンとした。気温計はエー・アンド・アイの温度計 AD5624 (A タイプ) を使用し, 水温計は, T&D 記録計おんどとり Jr.TR-55i-p を使用した (図 2)。



図 2 測定器具一覧

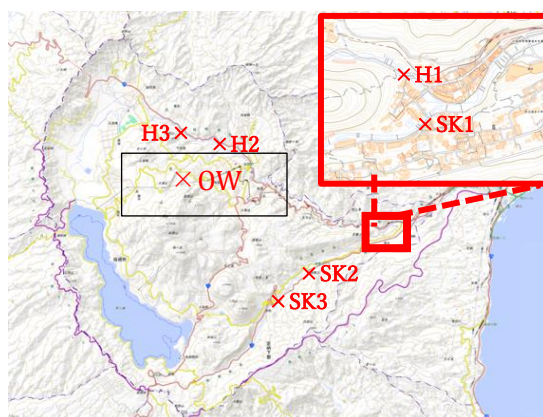


図 3 水質の測定場所

また、pH 計、電気伝導度計、及びイオン計には、堀場製作所の LAQUATWIN を使用した。

測定場所は、早川及び須雲川が合流する箱根湯本の地点から上流に早川は H1, H2, H3 の 3 地点、須雲川は S1, S2, S3 の 3 地点で計測した(図 3)。それぞれの地点は、H1 は旭橋、H2 は岩崎橋、H3 は早川が大涌沢と合流する前の国道 138 号線沿い、S1 は弥栄橋、S2 は須雲川橋、S3 は畑宿清流マス釣場である。

調査は 2024 年の 10 月 13 日、11 月 16 日、11 月 17 日に行った。10 月 13 日の調査では、箱根町湯本にある早川にかかる旭橋 (H1) と須雲川にかかる弥栄橋 (S1) において 12 時と 18 時に測定を行った。また、早川が中流域で合流する大涌沢についても測定を行った。

11 月 16 日には、早川の H1, H2, H3、須雲川の S1, S2, S3 のそれぞれ 3 地点で測定を行った。

11 月 17 日には、H1 と S1 について約 1 時間ごとに、早川と須雲川の水質の測定を行った。

また、測定日の天気は図 8 から 10 月 13 日は晴れであり、11 月 16 日と 11 月 17 日は曇りであったが、前日に雨が降っていた。

III.結果

1) 10 月 13 日の調査

10 月 13 日の調査結果を表 1, 表 2 に示す。表 1, 表 2 から pH は、H1 において 12:30 の 6.9 から 18:10 の 6.4 に、S1 において 13:30 の 7.2 から 6.8 に値が減少した。また、電気伝導度は、H1 において 12:30 の $288\mu\text{S/cm}$ から 18:10 の $321\mu\text{S/cm}$ へ、S1 において 13:30 の $142\mu\text{S/cm}$ から 18:20 の $158\mu\text{S/cm}$ へ値が上昇した。また、電気伝導度及び各種イオンの値は早川の方が須雲川より大き

い値であった。H1, S1 とともに K^+ の値が 0mg/L であることも特徴的である。

2) 11 月 16 日の調査

11 月 16 日の結果を表 2 に示す。表 3 から、pH は大涌沢合流前の H3 では 8.5 であり、大涌沢合流後の H2 では 8.1 となっており、大涌沢合流前後で pH の値が減少する事が確認できた。また、電気伝導度は H1 で $334\mu\text{S/cm}$ 、H2 で $346\mu\text{S/cm}$ 、H3 で $104\mu\text{S/cm}$ となっており、早川では、大涌沢合流地点より下流では、合流地点から離れるにつれ電気伝導度の値は小さくなり、大涌沢合流前では電気伝導度の値が大涌沢合流直後と比べて急激に下がる事が確認できた。また、須雲川では、pH の値に急激な変化は見られなかった。電気伝導度は、より上流の地点であればあるほど低い値となっていた。また、例えば、 Na^+ は両河川でより上流の地点ほど低い値となっていた。 Ca^{2+} は、変化の傾向が両河川で異なっていた。早川は大涌沢合流直後までは上流の方が高い値となっていて、大涌沢合流前の方が大涌沢合流前より低い値となっていた。須雲川はより上流の方が低い値となっていた。

3) 11 月 17 日の調査

11 月 17 日の調査結果を図 4, 5, 6, 7, に示す。早川では 13 時ごろから水温が一時的に低下している事が確認できた(図 4)。またグラフ 2 から pH は H1 でも S1 でも 1 日の変動幅が小さい事がわかった。また、図 7 より Ca^{2+} と NO_3^- の値は、早川・須雲川ともに 1 日の変化が他のイオンと比べて大きい事がわかった。

IV.考察

1) 10 月 13 日の考察

表 1 旭橋（H1）の水質変化

H1	気温	水温	pH	電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
12:30	24.8	19.4	6.9	288	150	0	21	30
18:10	20.3	18.7	6.4	321	150	0	34	29

表 2 弥栄橋（SK1）の水質変化

S1	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	pH	電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
13:30	26.3	19.6	7.2	142	100	0	15	26
18:20	20.3	18.3	6.8	158	110	0	15	24

表 3 早川の H1～H3 と須雲川の S1～S3 の水質の測定値

地点	pH	電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
H1	8.1	334	34	0	35	32
H2	8.1	346	21	0	45	30
H3	8.5	104	16	0	30	34
SK1	8.2	157	23	0	15	28
SK2	8	97	10	0	9	23
SK3	8.3	77	9	0	10	24

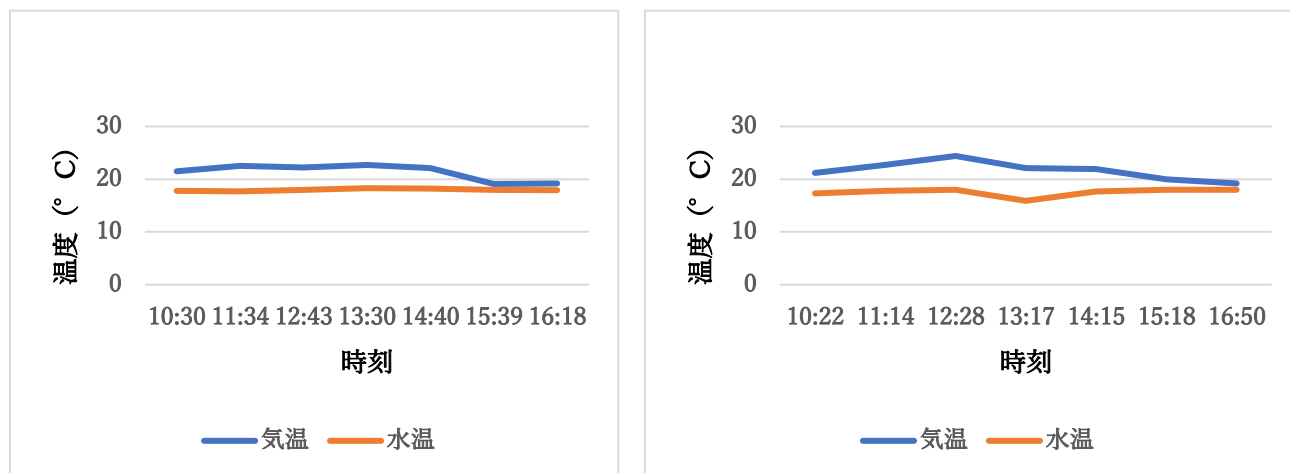


図 4H1, S1 における気温・水温の変化 (左 S1, 右 H1)

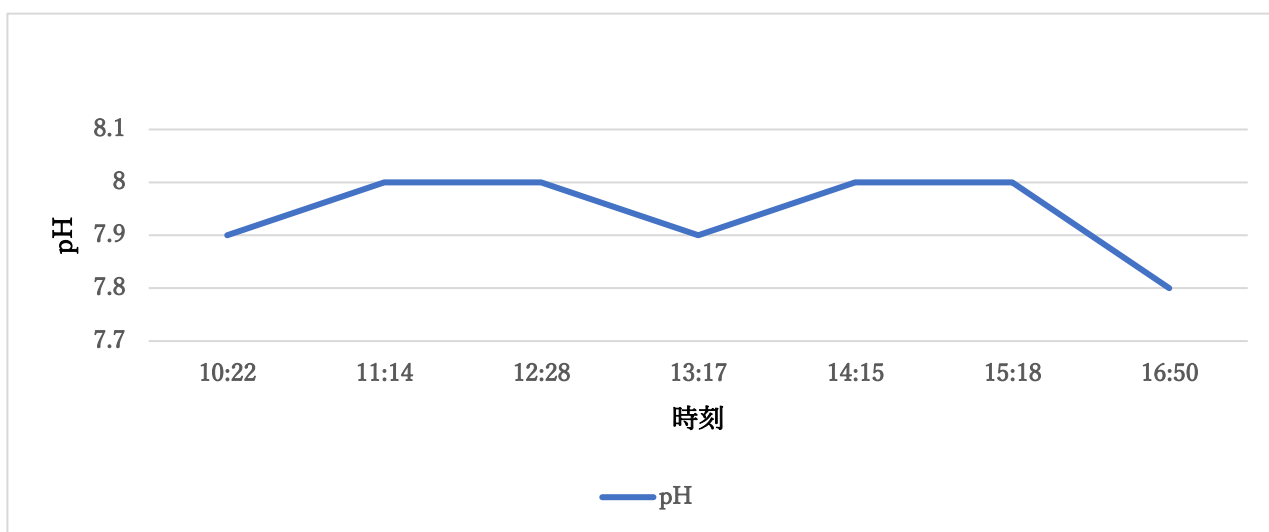
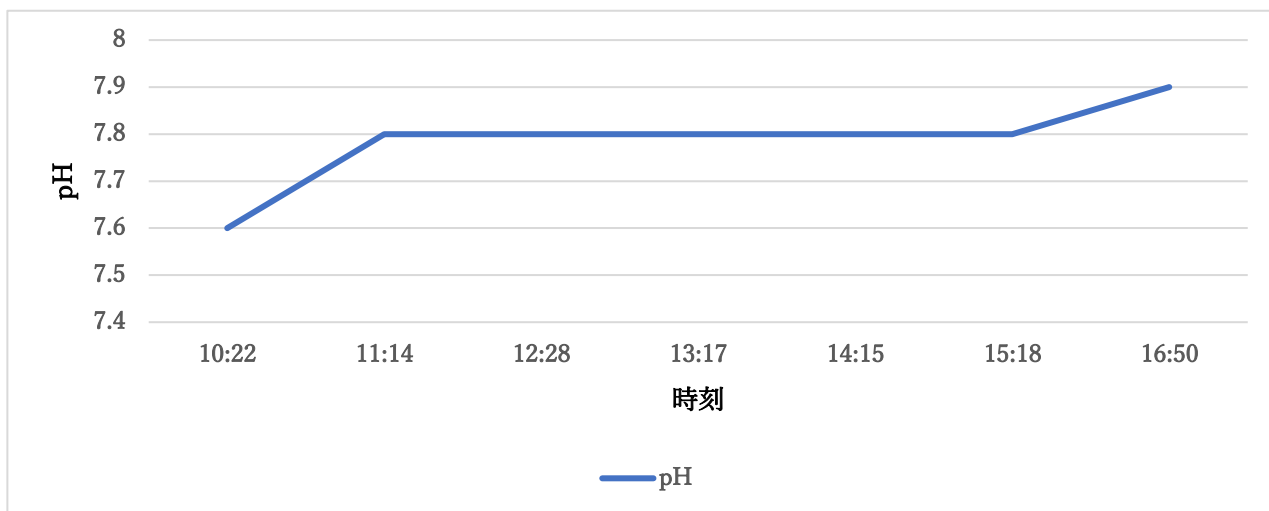


図 5 H1, S1 における pH の変化 (左 S1, 右 H1)

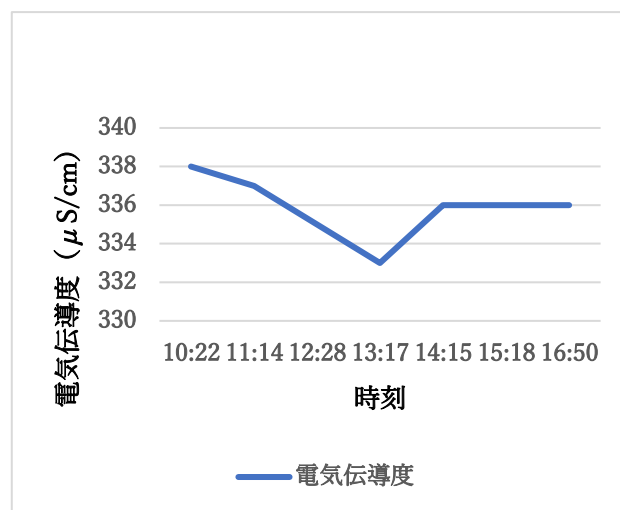
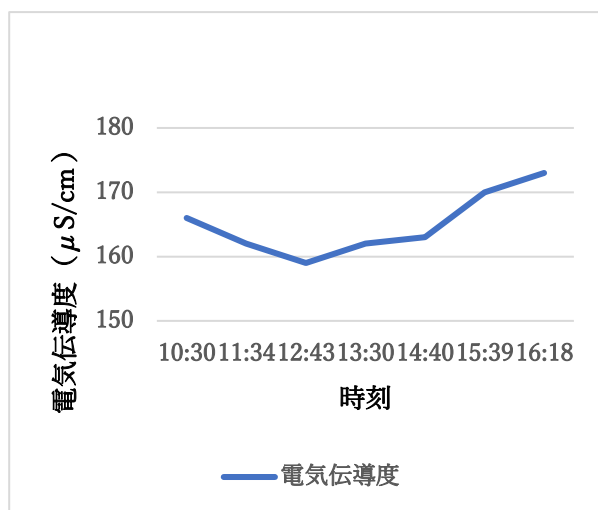


図 6 H1, S1 における電気伝導度の変化 (左 S1, 右 H1)

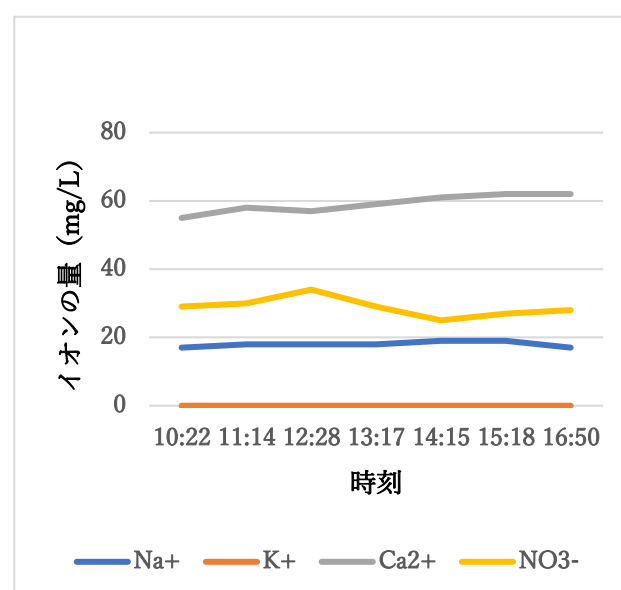
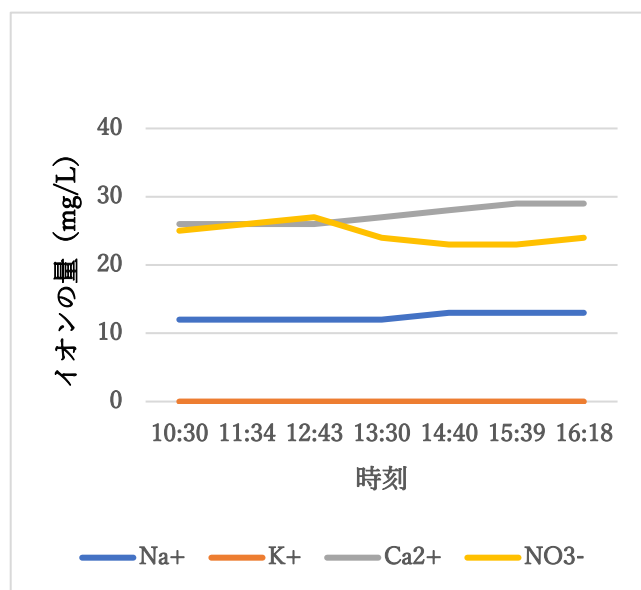


図 7 H1, S1 における各イオン量の変化 (左 S1, 右 H1)

表 1・表 2 から、H1,S1 地点においては早川の方が須雲川よりも pH が低く電気伝導度が大きくなっており、このことから早川は、表 4 や表 5 にあるように、電気伝導度が高い大涌沢の合流による影響を受けていると考えられる。また、表 1, 2 とともに、正午よりも午後 6 時の方が酸性寄りで電気伝導度が大きいことからイオン量が多く、早川では Ca^{2+} の量が午後 6 時の方が多くなっている。この原因として、明確な理由は明らかではないが、温泉排水の影響があるのではないかと予想する。また、11 月 16 日、11 月 17 日の調査では、いずれの地点も K^{+} の値は 0mg/L で、箱根地域の少なくとも早川・須雲川の流域については K^{+} 量は、表 5 では大涌沢で微量存在いることから、限りなく 0 に近いのではと考えられる。

大涌沢	pH	電気伝導度 (m S/cm)
OW	2.7	4.65

表 4 大涌沢の pH と電気伝導度

Na+	Ca ²⁺ (mg/L)	K+(mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
530	10	5	130

表 5 OW での各イオン量

2) 11 月 16 日の調査

表 3 から、早川・須雲川とも、下流に行くほど電気伝導度が大きく、すなわち下流に行くほど含まれるイオンの量が多くなっていく事がわかる。このことから、早川では大涌沢の合流によって、一時的に含まれるイオン（今回測定したイオンの量の変化は小さく、おそらくまた別のイオンの供給が原因と考えられる）の量が増加して電気伝導度が大きくなり、その後河川水の対流により水が攪拌されることで、電気伝導度が小さくなるのではないかと考えられる。

また、表 3 から須雲川は 3 つの地点に限ったことであるが、電気伝導度の値は上流から下流に行くほど増加しており、理由は明らかではないが上流から下流に流れるまでの間で、火山の土壌を

通ってきた地下水の影響や温泉施設からの温泉排水が原因なのではないかと予想する。

10月16日の調査と比較すると、電気伝導度については大幅に値が変わっているわけではないが、pHに着目すると、H1、S1とともに11月17日の結果の方が少しpHの値が大きい。同じ場所でもpHは多少の季節変化はあると考えられるが、元々中性に近い値からより塩基性側にpHが変化している。この前日には降水があった事が分かっており、おそらく河川水の希釈によって濃度が小さくなっていた可能性がある。

3) 11月17日の調査

図4,5,6及び図7からH1、S1ともにpHは最大でも約1時間で0.2しか変化しておらず、1日を通しての変化はほぼないと考えられる。また、電気伝導度や Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- などのイオンの各数値も1日を通して大きく変動しておらず、含まれているイオンの濃度は1日単位ではほぼ一定であると考えられる。しかし11月15日の降水によって河川水が希釈されてしまった可能性があり一概にほぼ一定であると結論づけることはできない。

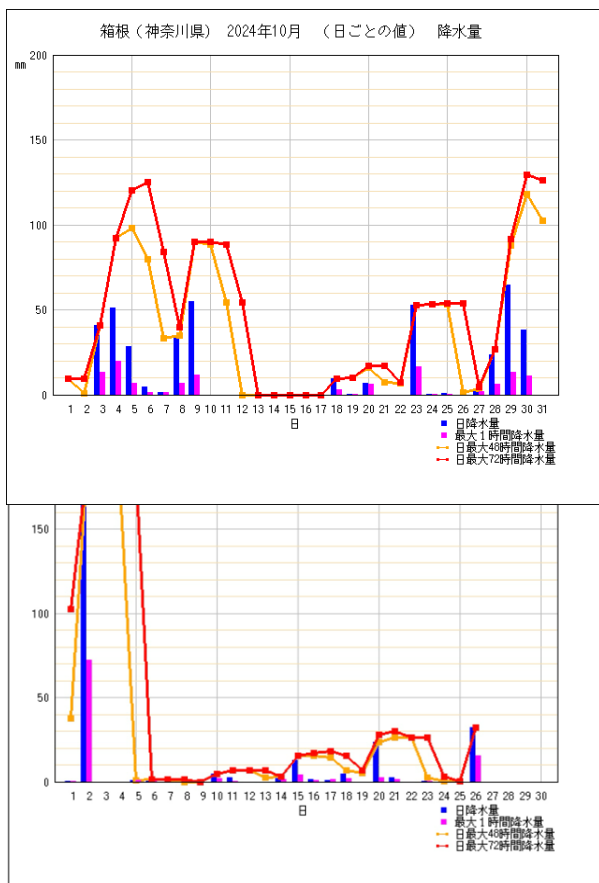


図8 10月(上)、11月(下)の日ごとの降水量の推移(気象庁HPより引用)

V. 結論

箱根湯本を流れる早川と須雲川について、早川では例えば11月16日の $334\mu\text{S}/\text{cm}$ 、須雲川では11月16日の $157\mu\text{S}/\text{cm}$ のように電気伝導度が早川の方が須雲川よりも高くなっている。これは火山性のイオンを多く含む大涌沢が早川に合流することが原因である事が分かった。また、その際に大涌沢から早川に供給されたイオンは、合流前後で測定したイオンの変化が小さいことから、測定したイオン以外の別のイオンや物質であるのではないかと予想する。本研究のH1、S1にあたる箱根湯本の温泉街が多く立地する地域では、pHの1日の変化はほぼ見られない事が分かった。つまり、1日を通して上流から流れる河川水の水質組成はほとんど変化しない事が分かった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、市川高校の南里翔平先生には測定器具の貸し出しや現地調査、結果の分析作業などを手伝っていただきましたことを心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1 日本地質学会国立公園リーフレット、2007
- 2 高橋正樹・長井雅史(2008):箱根火山の地質と形成史. 神奈川博調査研報 **13**,25-42
- 3 小寺浩二・堀内雅生(2020):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 **vol.2** 15-24
- 4 小林 淳・萬年一剛・山口珠美・山下浩之(2021):箱根火山の地質と形成史:最近の研究レビュー. 神奈川博調査研報 (**16**) 137-160