

とやまの名水を科学する～水質・同位体組成から探る富山の水循環の姿～

片境紗希（富山大学大学院 理工学教育部 生物圏環境科学専攻）

増田亮介（富山大学 理学部 生物圏環境科学科）

1. はじめに

富山県の年間降水量は 2000mm 以上であり（2015 年度気象庁「気象庁年報」）、全国的にみると水資源が豊富な地域である。この豊富な降雨・降雪は、立山連峰の森林から平野部を通して海岸域までの高低差約 3000m が生み出す豊かな自然環境を、河川表流水や地下水といった複数の経路で流れて富山湾へと流入する。このように水は、「山－森－川－海をつなぐベルトコンベアー」に乗って、平野部にミネラル成分を輸送し、富山県の豊かなおいしい水を育み、さらに富山湾沿岸部に栄養塩を輸送して沿岸における基礎生産を支えている。このように富山県は水資源に恵まれていることから、環境省（旧環境庁）が選定した昭和及び平成の名水百選に、全国最多の 8 カ所が選出されている。しかし、工業用や冬期の消雪を目的にした地下水の利用量が増加しており、それに伴って一部の名水では湧出量の減少（助重, 2004）も報告されていることから、富山県の水循環に対する具体的な調査や対策が必要となってきた。全国的にみても、平成 26 年 7 月 1 日に「水循環基本法」が施行され、環境省では官民連携による「Water Project」を発足して、水環境の保全の重要性や正しい情報の発信などを行っており、水循環の維持や回復のための取り組みを、積極的に推進することが、社会的に求められている現状である。

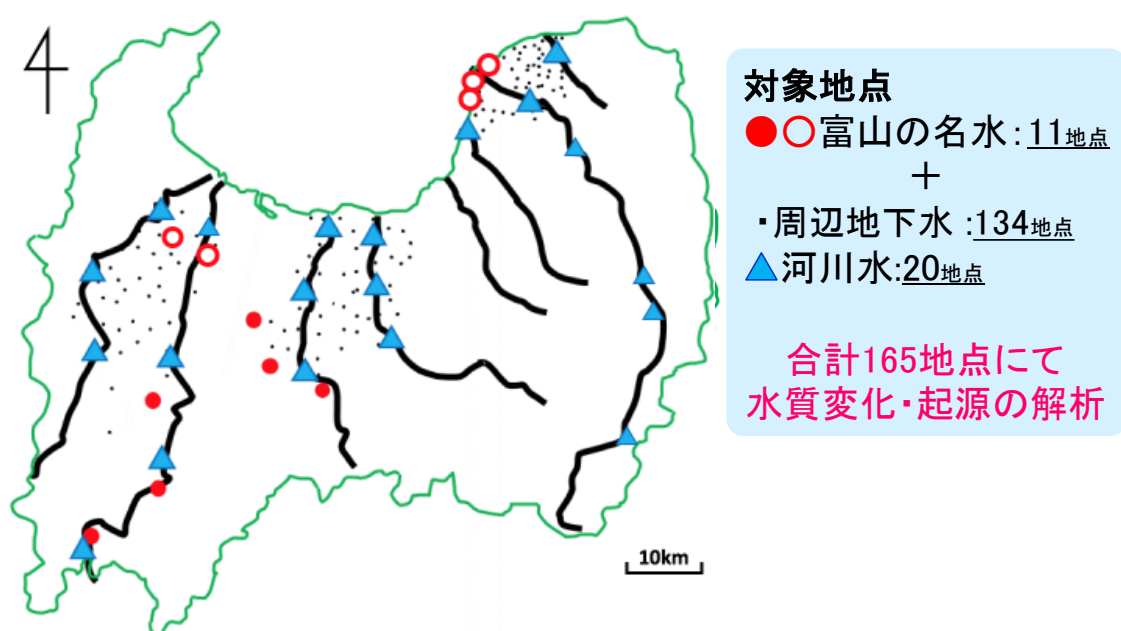
本研究では、富山の名水の水質の特徴や起源を推定することで、富山の水循環の評価を行うことを目的とし、以下の二つの観点から研究を行った。

- ① 富山県全域の名水及びその周辺地下水を対象とし、扇状地ごとに地下水の水系区分や起源の推定を行った（片境担当）。
- ② 富山県の二級河川である早月川を対象とし、森林地帯からの栄養塩供給の把握を行った（増田担当）。

2-1. 同位体組成と化学成分からみる「とやまの名水」の水質評価と起源の推定

2-1-1. 試料と方法

今回、対象とした名水は、富山県内 11 地点の湧水・自噴井で、そのうちの 5 地点では現場測定(水温, pH, EC, ORP)を行った後、実験室にて溶存主成分の Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , SiO_2 (誤差: $-0.4 \sim 0.8 \text{mg/L}$)、酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}: \pm 0.1\text{‰}$)、水素同位体比 ($\delta \text{D}: -0.4 \sim 1.0\text{‰}$) を測定した。残りの 6 地点は浅井・佐竹 (2008) の値を引用した。また、名水の水質や起源の推定を行うために過去に測定が行われた庄川扇状地(宮本, 2001 年卒論、岩竹, 2014 年修論)、富山扇状地(平田, 2014 年修論)、黒部扇状地(阿熱依, 2005 年修論、櫛渕, 2011 年修論)、富山県降水(岡北, 2014 年修論)の 165 地点に対しても解析を行なった(図 1)。



2-1-2. 結果と考察

① 名水の供給源

酸素・水素同位体比をそれぞれプロットしたグラフ(図 2)から、対象とした名水は、冬の雪と夏の雨の中間に位置することがわかった。これは、名水が、夏の降雨と春の雪解け水が 1:1 の割合でよく混合した水であることを示している。

また、各扇状地において、河川水と地下水との関係性を評価するために、それぞれの割合を算出した結果、対象とした名水では河川水の割合が高いという結果となった。さらに、酸素同位体比の値から、起源を表す涵養標高を、算出したところ、ミズナラ(400

800m)やブナ(800~1600m)が優先種である標高(中島・小林, 2014)の付近が、名水の起源であることが分かった。したがって、**富山の名水の起源は、ミズナラやブナの森林地帯であることが示唆された。**

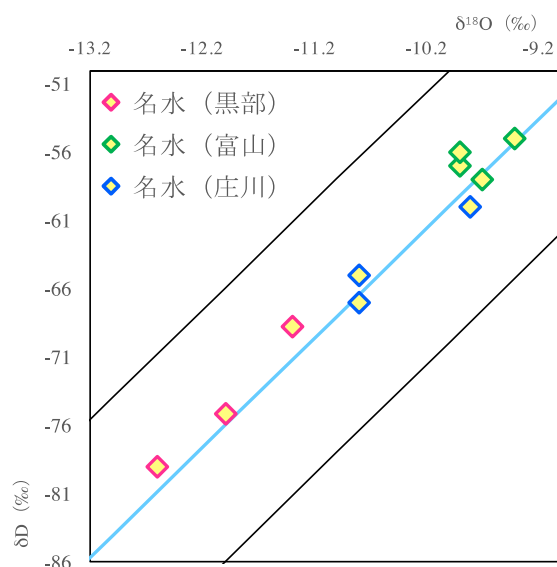


図 2：酸素・水素同位体比のグラフ

一部、浅井ほか(2008)のデータを引用

②涵養状況とミネラルバランス

$\delta^{18}\text{O}$ を起源、 SiO_2 を滞留時間、 Na/Ca 比をミネラルバランス変化の指標とし、名水の水質と涵養状況の解析を行った。黒部扇状地の名水は、黒部川沿いの深井戸と扇端の自噴井地帯に分布しており、黒部川上流と比べ Na/Ca 比と SiO_2 濃度の増加がみられた。この地域の地下水は、涵養されてから 5 年程度(御後, 1989)であることが報告されていることから、黒部川扇状地の名水及び名水付近の地下水は、黒部川上・中流部を起源とする水が適度に滞留した水であると考えられた。

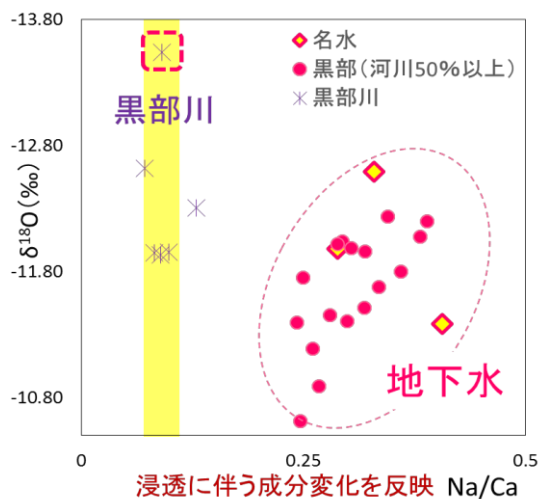


図 3：酸素同位体比と Na/Ca 比

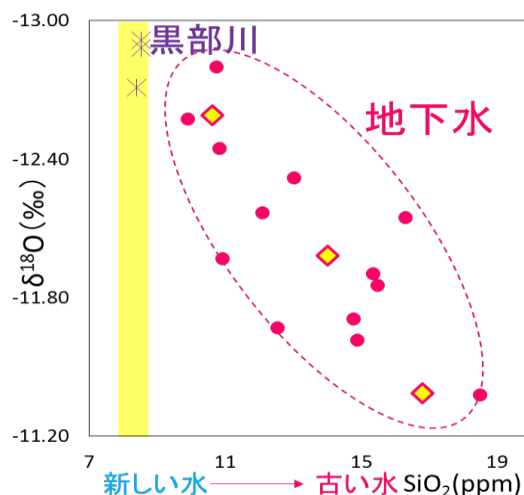


図 4：酸素同位体比と SiO_2 濃度

一方で、庄川扇状地の名水は、Na/Ca 比が減少し SiO_2 濃度はほとんど変化していなかった（図 5, 図 6）。名水がある地域の地下水は、涵養されてから 1 年未満の地下水であると見積もられていることから（水谷・小田，1983）、河川水が短時間で流入していると考えられた。

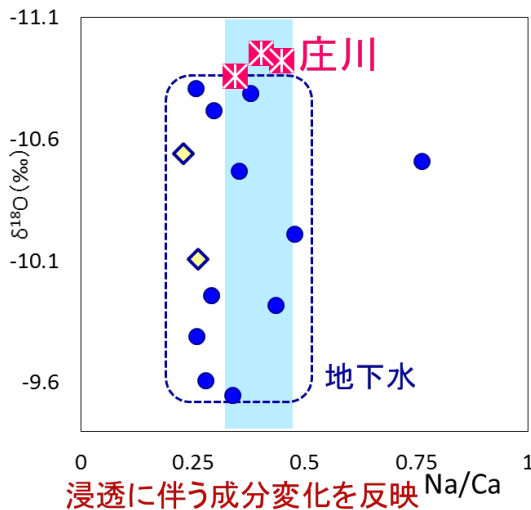


図 5：酸素同位体比と Na/Ca 比

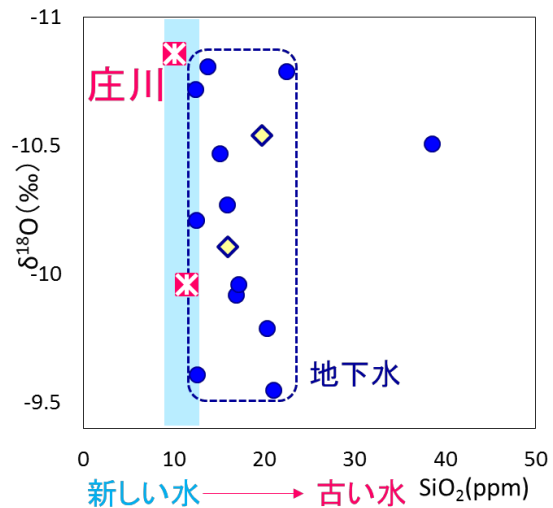


図 6：酸素同位体比と SiO_2 濃度

③水のおいしさの評価

水のおいしさを決める要素は、水温、溶存成分、風味など多様である。本研究では、水のミネラルバランスに着目し、橋本ら（1985）が提唱した 2 つの指標を用いて様々な飲料用水の評価を試みた。1 つ目は「水の味の指標（式(1)）」を表す O-Index で、“水をおいしくする要素”と“苦味・渋味”のバランスが『美味しさ』を決めるというものである。そして、2 つ目は、「健康（脳卒中のリスク）を考慮した指標（式(2)）」を表す K-Index で、カルシウムイオン濃度が、

評価①：水の味の指標

$$O \text{ Index} = \frac{\text{おいしくする要素 } \text{Ca}^{2+} + \text{K}^+ + \text{SiO}_2}{\text{苦味・渋味 } \text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}} \geq 2.0 \dots \text{式(1)}$$

※海外では「おいしい成分」とされている国も...

評価②：健康（脳卒中のリスク）を考慮した指標

$$K \text{ Index} = \text{Ca}^{2+} - 0.87\text{Na}^+ \geq 5.2 \dots \text{式(2)}$$

(Hashimoto et al. 1987)

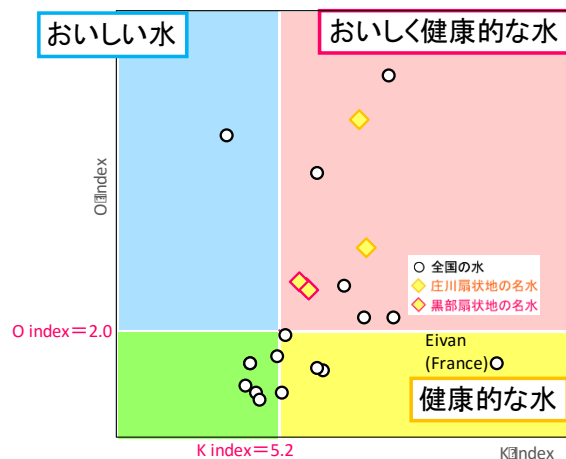


図 7：水のおいしさの分類

ある程度ナトリウムイオン濃度よりも高いと、脳卒中になるリスクが低い、つまり、『健康的』と考えられるという指標である。この2つの指標を組み合わせで使うことで、図7に示すように、「美味しく健康的な水」、「美味しい水」、「健康的な水」、そして「どちらにも属さない水」の4つのグループに分類することができる。そこで、全国から選出した水、エビアン、富山の名水を分類したところ、富山の名水は「美味しく健康的な水」に分類された。

2-2. 付着藻類から読み取る早月川における森林地帯からの栄養塩供給

2-2-1. 試料と方法

富山県東部の早月川を対象に8月と10月の2回調査を行い、水試料と付着藻類を採取した(図8)。付着藻類を採取する目的は水中の栄養塩を利用しており、一定期間の炭素・窒素安定同位体比を平均化した値を記録していると考えられるためである。水試料は現場で水温、電気伝導度、pH、酸化還元電位を測定し、研究室に持ち帰ってアルカリ度、シリカ濃度、主要化学成分の測定を行った。付着藻類の採取は、川底の石を拾い上げ、表面を超純水で洗浄した後、ブラシでこすり落としてポリビンに捕集した後、研究室に持ち帰ってその日のうちにろ過してフィルター上に捕集した。付着藻類は総合地球環境学研究所のEA-IRMS (DeltaV) を用いて炭素・窒素安定同位体比を測定した。

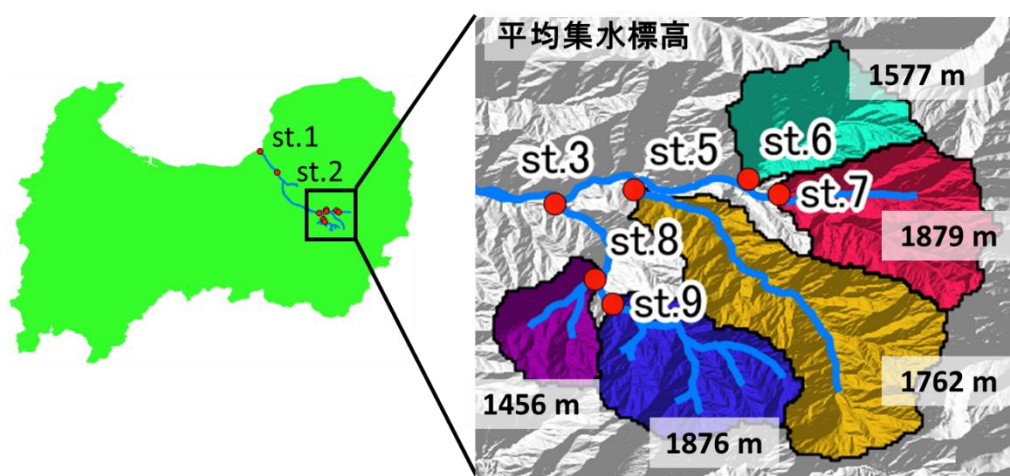


図8：サンプリング地点

2-2-2. 結果と考察

①水の動態解析

図 9 は縦軸に採水地点標高、横軸にシリカ濃度をプロットした図である。

シリカは時間をかけて付加されるため、シリカ濃度は水の古さや滞留時間を

表す指標として用いることができる。h7 は標高のわりに低いシリカ濃度を示

した。また、採水地点 h1 は最も下流の地点であり、最も高濃度のシリカを含

んでいると考えられたが、予想される濃度より低い値を示したことから、上

流の水が伏流して下流で湧出して混合したことでシリカ濃度が低下したと考

えられた。図 10 は縦軸に水の酸素安定同位体比、横軸に水の酸素安定

同位体比をプロットした図で、2 本の直線はそれぞれ夏と冬の天水線を示した

ものである。多くの地点で夏と冬の天水線の間付近にプロットされ、夏季

の
降水と冬季の降雪の雪解け水が混合した水が河川水を形成していると考えら

れた。
次に、8 月と 10 月の両月で比べると、採水地点 h5 と h7 では、10 月には 8 月に比べて冬の天水線の近くにプロットされ、雪解け水の占める割合が多くなっていることを示している。また、採水地点 h2 で 8 月 と 10 月で比較すると、 $\delta^{18}\text{O}$ と δD がともに上昇しており、蒸発による同位体比の上昇が示唆された。

②ミネラル成分の供給

ミネラル成分である Ca^{2+} 濃度を河川水中と降水中で比較すると、河川水中の濃度が高い。これは、森林地帯を通過する過程で付加されたと推測された。

GIS を用いて表層地質の割合を算出すると、上流の集水域の表層地質は花崗岩

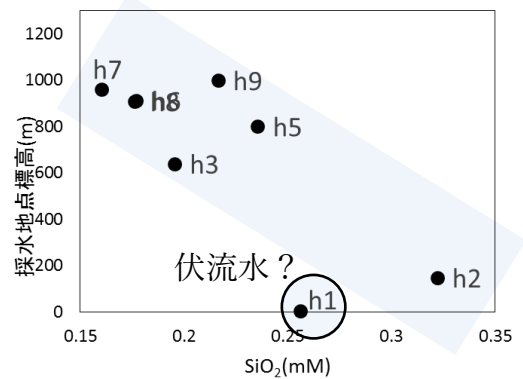


図 9：採水標高とシリカ濃度

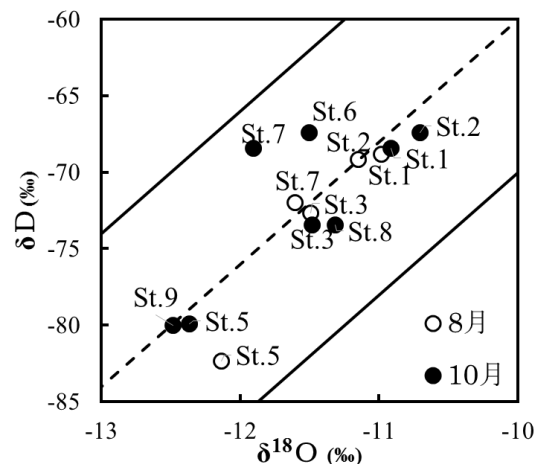
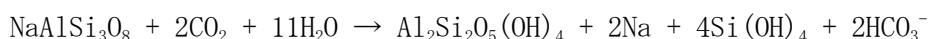


図 10：酸素・水素同位体比のグラフ

や石灰岩が優占していることが分かった。花崗岩や石灰岩は風化しやすい岩石で、風化によってミネラル成分が溶出して供給されたと考えられた。 Ca^{2+} および HCO_3^- 濃度と付着藻類の炭素安定同位体比をプロットした図（図 11, 図 12）を見ると、 Ca^{2+} および HCO_3^- 濃度の上昇に伴って炭素安定同位体比が低くなっている傾向が見られた。花崗岩が風化するとき主に以下の反応が進行し、 Ca^{2+} や HCO_3^- は風化が進行すると濃度が上昇する成分である。



これらのことから、 Ca^{2+} や HCO_3^- の濃度と負の相関関係を示した付着藻類の炭素安定同位体比は、河川水の風化と集水域の地質を反映していることが示唆された。

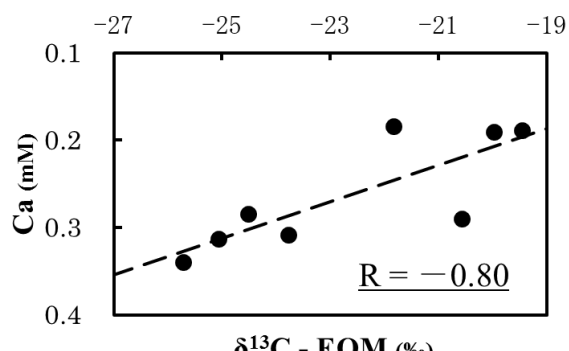


図 11： Ca^{2+} 濃度と付着藻類の

炭素安定同位体比

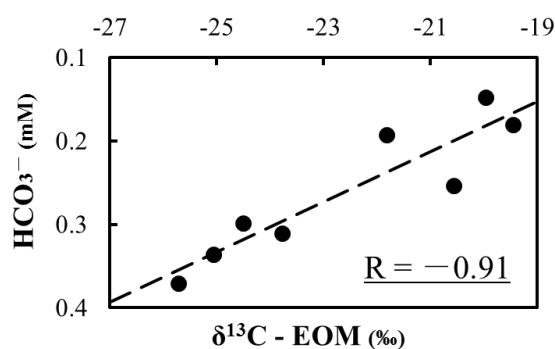


図 12： HCO_3^- 濃度と付着藻類の

炭素安定同位体比

③栄養塩の供給

河川水中には硝酸、リン、シリカなどの栄養塩が溶存しているが、今回は硝酸に注目して考察を行った。硝酸の起源には主に人為的な起源と自然的な起源があるが、上流の森林地帯であるため人為的な付加は考えにくく、硝酸は自然起源である降水や土壌中の有機態窒素による分解によって供給されたと考えられた。この有機態窒素とは、落ち葉等の生物の死骸などであり、微生物によって分解され硝酸を生じる。そこで、厚い腐葉土を形成して有機物の分解が活発と考えられる落葉樹の割合と硝酸の濃度を示した図 13 を見ると、硝酸の濃度と落葉樹の割合は同様の変動を示した。また、 $\delta^{18}\text{O}$ から求められた涵養標高と付着藻類の窒素安定同位体比をプロットした図 14 を見ると、標高とともに付着藻類の安定同位体比は低下するが、標高約 1500 m 付近を境にその傾向は変化する。標高 1500 m 以上では標高の上昇とともに付着藻類の窒素安定同位体比は上昇する傾向がみられる。富山森林研究所研

究報告（中島・小林、2014）によると、富山県では標高およそ 1500 m まではブナ林が優占するが、標高 1500 m 以上では針葉樹が優占することが知られ、標高 1500 m を境に植生が大きく変化する。以上のことから、付着藻類の窒素安定同位体比は植生の違いを反映している可能性が示唆された。

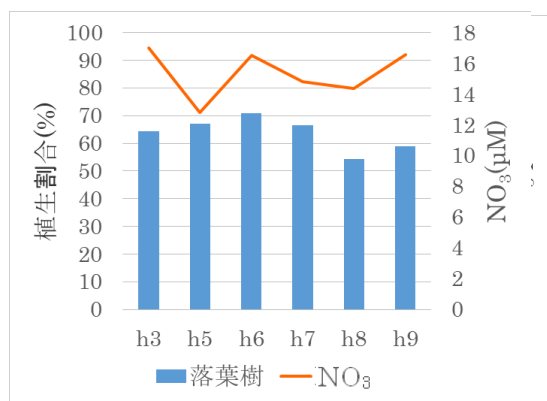


図 13：落葉樹の割合と硝酸の濃度

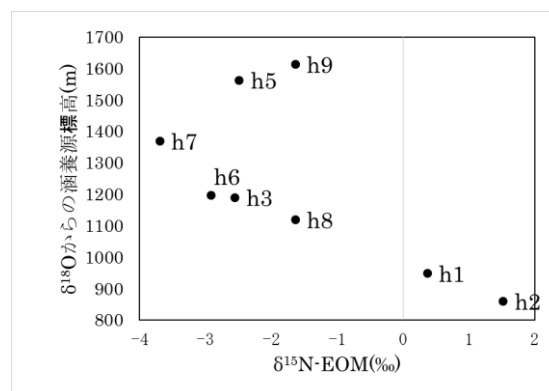


図 14：涵養標高と付着藻類の窒素安定同位体比

3. まとめ

本研究の結果から、以下のことが示された。

- ① 今回対象とした名水は、夏の降雨と春の雪解け水が 1：1 の割合でよく混合した水であり、その起源はブナ林の森林地帯であることが示唆された。
- ② 黒部川扇状地の名水は、黒部川上流で集水された水が地下へ浸透し、ミネラルバランスや名水となっている。その一方で庄川扇状地の名水は、庄川から浸透した河川水が、短時間で名水の地点へと流入していることが示唆され、扇状地によって異なる特徴がみられた。
- ③ ミネラルバランスからみる水の評価を行った結果、富山の名水は、「美味

しく健康的な水」に分類された。

- ④ 早月川上流は、夏と冬の降水がよく混合された水であり、一部、夏季の融

雪水が、秋季に流出している地点が確認された。

- ⑤ ミネラル成分である Ca^{2+} や HCO_3^- は岩石の風化によって供給されており、

付着藻類の炭素安定同位体比は集水域の地質と岩石の風化の度合いを反

映している可能性が示唆された。

- ⑥ NO_3^- の濃度は落葉樹の割合と同調的であり、付着藻類の窒素安定同

位体比は集水域の植生を反映している可能性が示された。

4. 学会発表

- 片境紗希, 張勁, 上田晃, 同位体組成と化学成分からみる「とやまの名水」の水質と起源の検討, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 (口頭発表)