

静岡市を流れる地下水の涵養源について

静岡県立科学技術高等学校
自然科学部 2 年 青木宥太 他 3 名

1 動機

図書室で中部地方の地形についての本を読んでいた際、地上の水の流れが記されていたが、地下の水はどのようになっているのか気になり、この研究を始めた。

2 涵養源とは

涵養源とは、地表の水が地下浸透し、不透水層の上の帯水層に水が供給されるとき供給源のことをいう。涵養源は図 1 のように河川や雨であることが多い。また、伏流水とは河川のごく近くの地下を流れている地下水のことである。

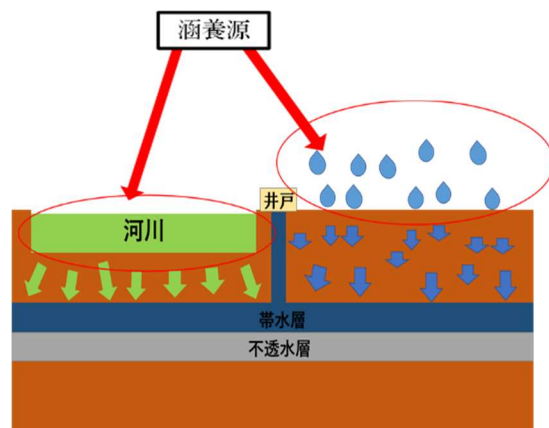


図 1 地下水の涵養源のモデル

3 自噴帯とは

自噴帯とはその地域の地表の標高が周囲の地下水位よりも低い場合に地表から水が噴き出す地域のことを指す(図 2)。

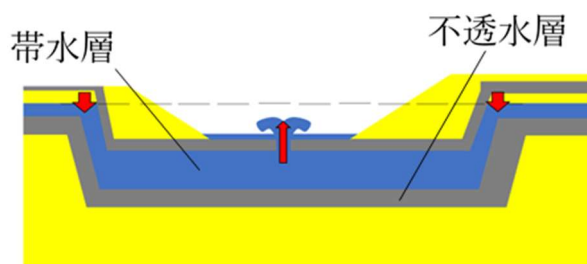


図 2 自噴帯の模式図

4 先行研究

井川ら(2005)は K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、pH、EC(電気伝導度)を用い静岡平野の地下水の流動系を調べた。その結果、中島自噴帯や安倍川付近の多くの調査地点で安倍川を涵養源にしていることが分かった。

しかし、静岡平野には自噴帯が三ヶ所あり(図 3)、賤機山の東側に位置する安東自噴帯や、巴川の影響がみられた地点より北東にある瀬名鳥坂自噴帯の涵養源はどうなっているのか疑問に思った。



図 3 静岡平野の自噴帯

5 研究目的

静岡市には主に安倍川、藁科川、巴川、長尾川の4河川(図4)があり、藁科川は安倍川と、長尾川は巴川とそれぞれ合流している。この研究では4河川の成分を調べ、静岡市各地の地下水の成分を調べることで静岡平野のどの地域の地下水がどの川を涵養源としているのを調べることである。



図4 静岡平野の河川の位置関係

6 地下水や地下水に含まれる成分の測定方法

(1) キレート滴定(Ca^{2+} , Mg^{2+} の測定)

ア 使用器具

ビーカー、コニカルビーカー、メスフラスコ、ホールピペット、ビュレット、駒込ピペット

イ 試薬

全硬度：EBT 指示薬、塩化アンモニウムアンモニア緩衝液、

EDTA(エチレンジアミン四酢酸)二ナトリウム水溶液($1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$)

Ca^{2+} 濃度：HSNN 指示薬、KOH 水溶液、

EDTA(エチレンジアミン四酢酸)二ナトリウム水溶液($1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$)

ウ 実験手順

(ア) 試料水 10mL をホールピペットでとる。

(イ) 全硬度：塩化アンモニウムアンモニア緩衝液を 1mL 入れ、EBT 指示薬を駒込ピペットで数滴入れて、試料水を赤色にする。

Ca^{2+} 濃度：KOH 水溶液を駒込ピペットで 4 滴入れ、5 分静置したあと、HSNN 指示薬を駒込ピペットで数滴入れて、試料水を赤色にする。

(ウ) EDTA 二ナトリウム水溶液で青色になるまで滴定する。EDTA と各イオンは 1:1 で結合するので右式で全硬度および Ca^{2+} 濃度が求められる。

$$\begin{aligned} & \text{陽イオンのmol} = \text{EDTAのmol} \\ & \text{試料の濃度を } C \text{ mol/L とする} \\ & C \text{ mol/L} \times 10 / 1000 \text{ L} = 1.0 \times 10^{-3} \times \text{滴定値} / 1000 \text{ L} \\ & C = \text{滴定値} \times 10^{-4} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

(2) モリブデンイエロー法(SiO_3^{2-} の測定)

ア 実験器具

三角フラスコ(100mL)、メスシリンダー(50mL)

駒込ピペット、ビーカー、吸光セル、分光光度計

イ 試薬

モリブデン酸アンモニウム 10% 水溶液、

硫酸水溶液(1.5mol/L)、蒸留水

1000ppm ケイ素標準溶液 (ppm=mg/L)

実験手順

(ア) 吸光度とケイ酸イオン濃度が比例するため、濃度がわかっているケイ素標準液の吸光度を測定し、検量線を作図する(図5)。

(イ) 吸光度とケイ酸イオン濃度の関係の式を作成する。

(ウ) 試料水 50mL にモリブデン酸アンモニウム水溶液と希硫酸を 2mL ずつ加え、15 分間置くと黄色に発色する。

(エ) 分光光度計で波長 400nm の吸光度を測る。

(オ) 吸光度の式から試料水のケイ酸イオン濃度を計算する。

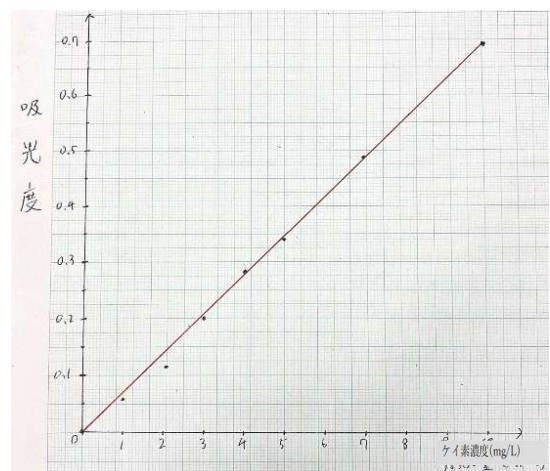


図5 モリブデンイエロー法によるケイ素の検量線

検量線を作成すると右の式で物質量が求められる。

$$\begin{aligned} \text{ケイ酸イオン濃度を } C(\text{mol/L}) \text{ とすると} \\ C = (2.71 \times 10 \times 10^{-3} \times \text{吸光度}) / (76.09 \cdot 0.70) \\ C = \text{吸光度} \times 5.09 \times 10^{-4} (\text{mol/L}) \end{aligned}$$

7 水道水の硬度測定

(1) 実験の目的

旧静岡市の水道水は安倍川の伏流水であるので、伏流水の硬度の経日変化を調べるため

(2) 実験方法

学校の水道水を採取し硬度を毎日測定する。滴定した日の天気と降水量を記録して、その結果をグラフにまとめる。

(3) 結果

結果を図6に示した。図中の棒グラフは降水量を示している。全硬度、 Ca^{2+} 濃度ともにほぼ一定の値を示した。しかし、大雨が降った後に一時的な全硬度の低下が起きていた。

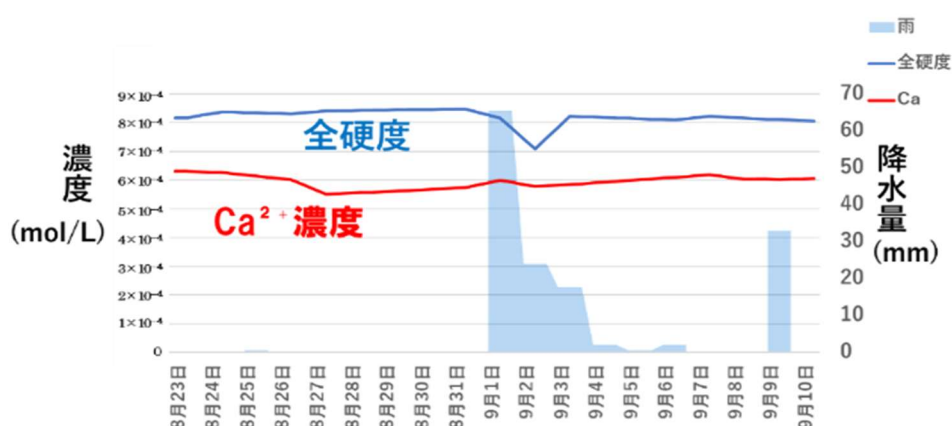


図6 水道水の硬度と降水量

(4) 考察

地下水の全硬度や Ca^{2+} 濃度は一定の値を示していることから、地下水の成分は安定していることが分った。大雨の後の濃度の変化については硬度が非常に低い大雨によって伏流水が薄められたことが原因だと考えられる。

8 静岡平野と3つの自噴帯の地下水イオン濃度測定

(1) 実験の目的

静岡市の各地域の地下水の涵養源を調べるため

(2) 実験方法

本校1、2年生全員を対象に井戸水を使用しているかアンケート(図7)をとり、井戸水を使用している生徒にボトル(図8)を渡し、井戸水の採取を依頼した。実験1で大雨による濃度の変化を避けるために大雨の後の採取は避けた。

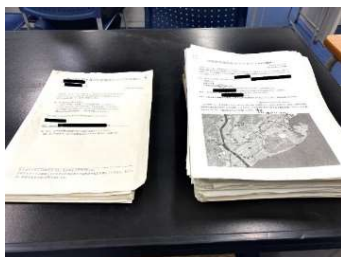


図7 アンケート



図8 ボトル

(3) 調査地点

調査地点は図 9 のとおりである。生徒から 10 地点、直接採取の河川水、安倍川の伏流水の水道水、安東自噴帯のサンプルとして竹千代の水を採取した。

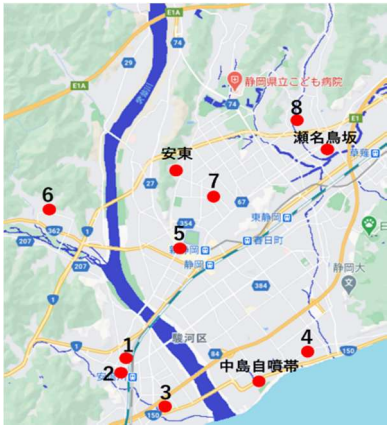


図 9 調査地点

(4) 涵養源に関する仮説

安倍川を涵養源としている地域は安倍川の大きさから、東端が賤機山の先端から安倍川河口と大谷川河口の midpoint までと考え、西端は丸子川付近までであると考えた。次に、巴川の東側すぐに長尾川が流れているため、巴川を涵養源としている地域の東端は巴川で、西端は安東地域であると考え、長尾川を涵養源としている地域は、長尾川より東側から山までの地域と考え、この二つの地域の間には巴川と長尾川の両方を涵養源としている地域があると考えた。(図 10) また、3ヶ所の自噴帯についても 3 河川の影響について表 1 のように考えた。



図 10 静岡平野の地下水の涵養源の仮説

表 1 自噴帯と河川の影響の仮説

	安倍川の影響	巴川の影響	長尾川の影響
中島自噴帯	大きい	小さい	小さい
安東自噴帯	小さい	大きい	小さい
瀬名鳥坂自噴帯	小さい	小さい	大きい

(5) 各イオン濃度の測定結果

Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SiO_3^{2-} の濃度は表2のとおりとなった。

表では成分の比が分かりにくいので、この結果を、成分比を図示するレーダーチャートにしたところ図11のとおりとなった。

表2 三成分の濃度の結果($\text{N} \times 10^{-4} \text{mol/L}$)

イオン	地点1	地点2	地点3	地点4	地点5	地点6	地点7
Ca^{2+}	4.35	3.96	4.95	5.57	6.55	1.61	6.44
Mg^{2+}	2.52	2.32	2.43	2.76	2.22	1.34	2.43
SiO_3^{2-}	2.13	2.38	2.36	2.75	2.15	2.92	2.66
イオン	地点8	長尾川源流	巴川源流	中島自噴帯	瀬名鳥坂自噴帯	安東自噴帯	
Ca^{2+}	3.62	2.44	2.75	6.37	3.39	5.86	
Mg^{2+}	1.69	0.73	1.46	2.93	1.23	2.58	
SiO_3^{2-}	2.69	2.03	3.54	3.46	4.19	2.46	

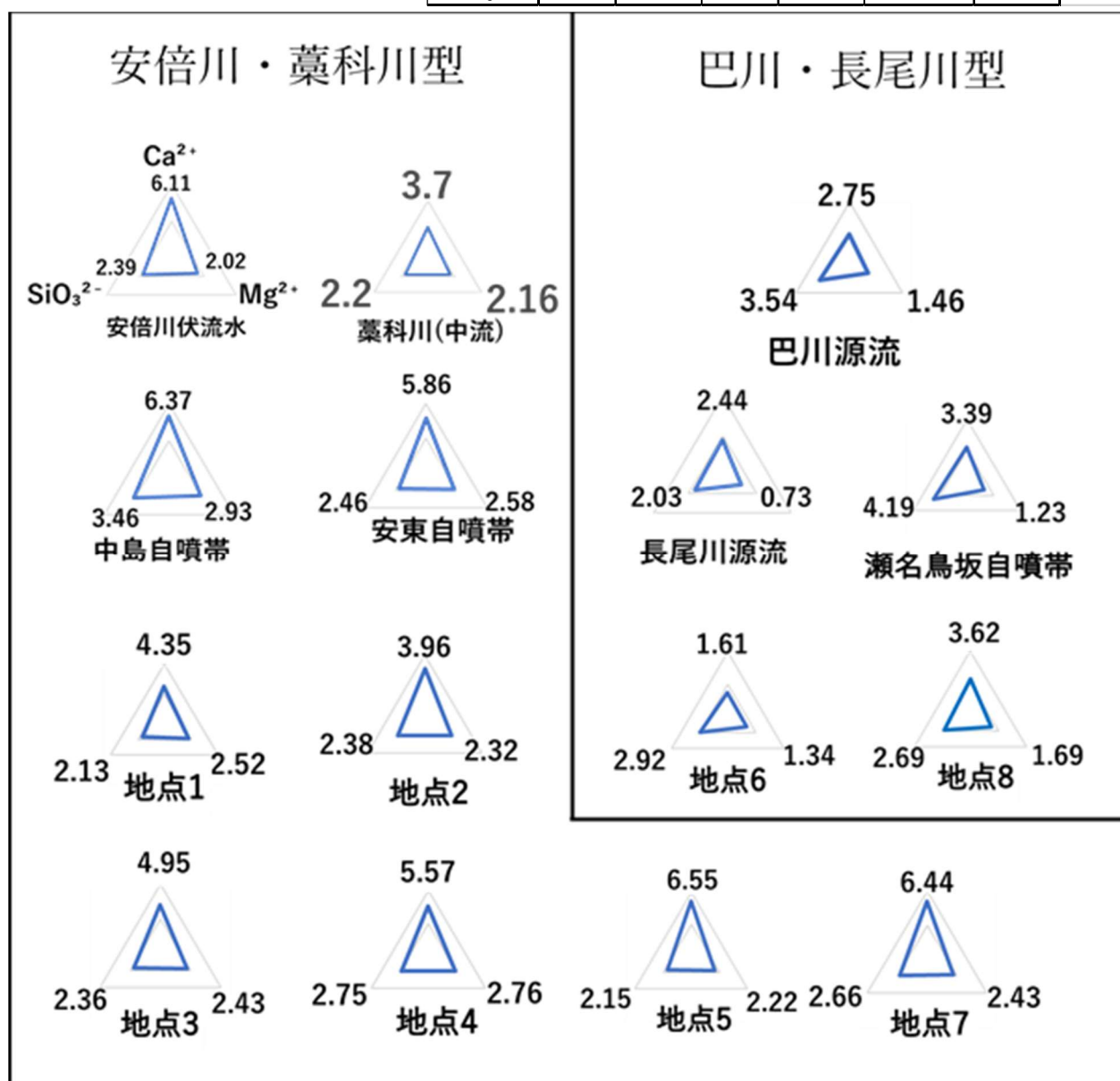


図11 レーダーチャートの結果

この結果から4河川のうち安倍川と藁科川の2河川、巴川と長尾川の2河川はレーダーチャートの形が似ており、レーダーチャートは安倍川・藁科川型と巴川・長尾川型に分けられることがわかった。また、地点1～5と地点7と中島自噴帯、安東自噴帯は安倍川・藁科川型、地点6と地点8と瀬名鳥坂自噴帯が巴川・長尾川型に分類できた。

(6)各地点のレーダーチャートの型とその位置関係

安倍川・藁科川型の地点のレーダーチャートは安倍川伏流水、藁科川河川水のレーダーチャートと形が似ていたためこれらは安倍川と藁科川を涵養源としていると考えられる。巴川・長尾川型はレーダーチャートの形から巴川と長尾川を涵養源としていると考えられる(図 12)。



図 12 静岡平野の地下水の涵養源

9 安東自噴帯が安倍川を涵養源としている理由の考察

静岡平野の標高について調べると図 13 のとおり安倍川から静岡平野に出てすぐに北東から南にかけて標高が低くなっていることから、扇状地を形成していることがわかる。そのため、扇状地の地下を安倍川の伏流水が北上し、扇状地の先端に位置する安東自噴帯を形成していると考えた。また、井川らの研究(図 14)からも地下水位は安倍川から安東自噴帯の方向に向けて低くなっていることから、この結果は正しいといえる。

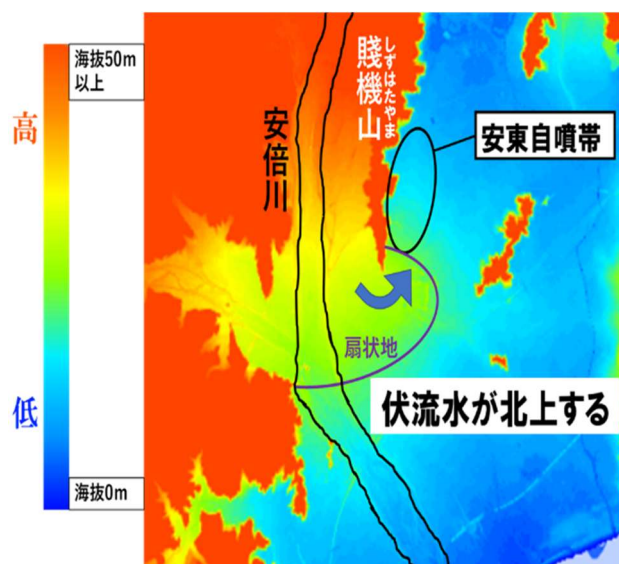


図 13 静岡平野の標高

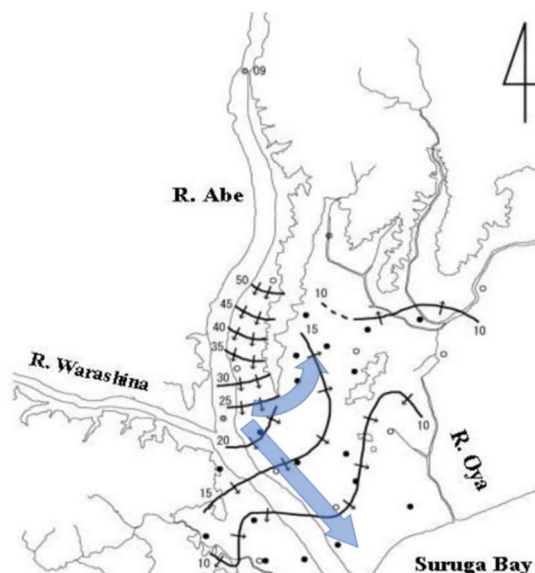


図 14 静岡平野の地下水位
(井川ら、2005に矢印を入れたもの)

10 層群から見る静岡市の地質について

静岡県中部には図 15 のとおり、瀬戸川層群と静岡層群・竜爪層群が糸魚川静岡構造線を境にして存在している。これらの各地層における石灰岩や凝灰岩などの岩石が静岡平野の地下水の成分に大きな影響を及ぼしていると考えた。静岡層群と竜爪層群はどちらも糸魚川静岡構造線の東側のフォッサマグナに位置し、地層の類似点が多いことから同様の地層とした。



図 15 静岡市の地質図

11 同じ層群を流れる川同士のレーダーチャートの相似性について

10 で層群と地下水の成分の関係について考えたので、次は安倍川・藁科川と同じ瀬戸川層群を流れる瀬戸川、巴川・長尾川と同じ静岡層群・竜爪層群を流れる興津川の河川水を採取し調べてみると、図 16 の結果が得られた。

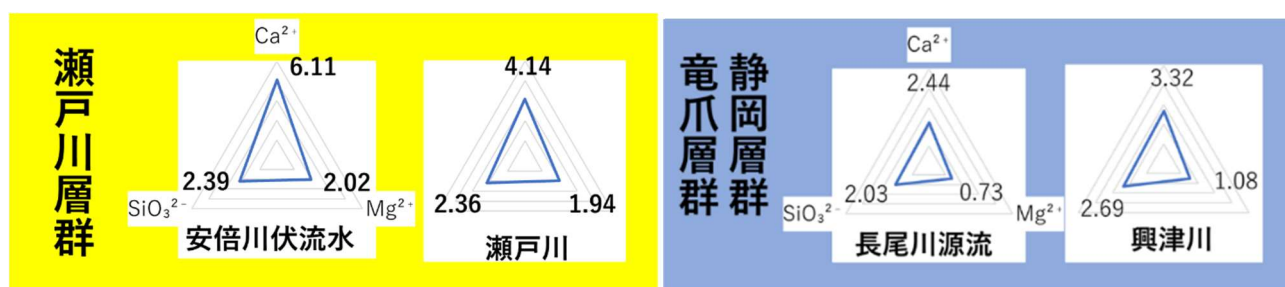


図 16 層群とレーダーチャート

瀬戸川層群に上流域がある瀬戸川と安倍川のレーダーチャートには相似性が見られ、同様に静岡層群・竜爪層群に上流域がある巴川と長尾川と興津川にも相似性が見られた。

層群の異なる河川同士ではレーダーチャートの形が大きく異なっていることがわかった。これから地下水の成分と層群には深い関係があることがわかった。

12 まとめ

私たちは、静岡平野を流れる地下水の涵養源を調べるためにこの研究を始めた。

まず、雨によって地下水の成分濃度にどのような影響があるのか調べるため、継続的に安倍川に伏流水の成分を測定した結果、大雨の後を除き地下水の成分は安定していることが分かった。

次に、本校生徒に協力を仰ぎ、静岡平野内の井戸水を採取した。その結果の成分比を、レーダーチャートを用いて比較したところ、その形から二つのグループに分けることができ、それぞれのグループが異なる涵養源を持つことが分かった。

ここで、なぜ河川によるレーダーチャートの形の差が出るのかを特定するため、静岡市の地質を調べた。その結果、安倍川・藁科川は瀬戸川層群、巴川・長尾川は静岡層群・竜爪層群にそれぞれ属していることが分かった。次に、同じ地質なら河川水の成分比は似てくると考え、同じ層群を流れる異なる川の成分を調べた。その結果、同じ層群を流れる川なら異なる川でも成分比は同様の傾向を示すことが分かった。

13 今後の課題

図 21 のように安倍川付近や中島自噴帯、安東自噴帯の地下水は安倍川を涵養源とし、瀬名鳥坂自噴帯は長尾川を涵養源としていることがわかったが、図 21 を見ると、青い地域と赤い地域の境界がはっきりしていないので、それをはっきりさせるために安東自噴帯と瀬名鳥坂自噴帯の間の地域（図 21 の紫色の地域）の地下水を調べる。また、地点 6 のみが巴川・長尾川型をしている原因について調べる。



図 21 静岡平野の地下水の涵養源と不明な地域

14 謝辞

この研究を通して、多くの生徒や先生方にお世話になった。この場を借りて感謝申し上げる。

15 参考文献

- ・ 気象庁過去の気象データ検索 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- ・ 国土地理院地図 <https://maps.gsi.go.jp>
- ・ グーグルマップ <https://www.google.co.jp/maps>
- ・ 静岡河川ナビゲーション http://www.shizuoka-Kasennavi.jp/html/abe/basic_04.html
- ・ ケイ酸イオン濃度と塩化物イオンから見る静岡市の水(1995、静岡城北高校理化部による研究)
- ・ 静岡平野における地下水流道系(2005、井川、嶋田、佐伯、谷口)