

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：11601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870070

研究課題名(和文) 福島県北部沿岸地域の地下水流動と滞留時間の解明

研究課題名(英文) Consideration of the groundwater flow and residence time at northern coast area in Fukushima Prefecture

研究代表者

藪崎 志穂 (Yabusaki, Shiho)

福島大学・共生システム理工学類・客員准教授

研究者番号：60447232

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：研究の結果、以下の事柄が明らかとなった。(1)地下水や湧水のECの濃度から、海水浸水による影響は殆ど残っていない。(2)水質組成ではCa-HCO<sub>3</sub>型が多いが、その他の水質も確認された。(3)南相馬市沿岸域の地下水や地面下から湧出する湧水の一部で、Na-HCO<sub>3</sub>型の水質組成を示し、SiO<sub>2</sub>濃度は相対的に高く、酸素・水素安定同位体比は相対的に低い値を示すことから、これらの水は比較的標高の高い阿武隈山地周辺地域で涵養され、沿岸に近い台地周辺で涵養された水よりも滞留時間は相対的に長いことが予想される。(4)トリチウム濃度分布から、地下水や湧水の多くで10数年～30年程の滞留時間であることが推定された。

研究成果の概要(英文)： The observation at northern coastal area in Fukushima have been carried out since 2012 to grasp the groundwater flow system. The water quality is mainly Ca-HCO<sub>3</sub> type, however Na-HCO<sub>3</sub> type, Na-Cl type and Ca-SO<sub>4</sub> type are also existed. As a result of field survey and chemical analysis, it is considered that the multiple groundwater flow system which have the different residence time is existed. And it is assumed that the groundwater which was recharged around Abukuma Mountains shows the longer residence time. The residence time of groundwater is estimated about 10 to 30 years by using the tritium concentration. In future, the residence time of groundwater will estimate from a result of analysis of CFCs and SF<sub>6</sub>.

研究分野：同位体水文学

キーワード：福島県北部沿岸域 地下水 湧水 水質 安定同位体 トリチウム 地下水流動 滞留時間

1. 研究開始当初の背景

宮城県の仙台平野から福島県新地町、相馬市、南相馬市の特に海に近い多くの地域では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の津波の被害を受けて、地下水の塩水化等の問題が発生した。また、同地震によって生じた東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い、大気中に放出された放射性物質による土壌等の汚染も報告されている。本科研費の研究を実施する前の2012～2013年に、福島県北部沿岸地域に存在する地下水、湧水を対象として、津波や原発事故による影響について詳細に把握するために、新地町、相馬市、南相馬市の3市町で調査・採水を実施した。現地調査や水質分析結果から、沿岸部の深井戸と湧水の一部で周辺の地下水とは異なる水質組成(Na-HCO<sub>3</sub>型)を示し、また<sup>3</sup>H(トリチウム)濃度は1TU以下と低く、相対的に長い滞留時間を持つ水(地下水)の存在が確認された。しかしながら、こうした水(地下水)の滞留時間の値は未だ明らかにされていない。津波による地下水への影響や対策を考えるためには、周辺地下水の水質や流動、滞留時間を求めることが重要である。また、福島県沿岸地域では、放射性物質の地下水中での挙動について特に重要視されている。本研究を遂行し、地下水等の滞留時間を推定して地下水流動を明らかにすることにより、地下水中に溶存する物質の挙動について把握することができ、今後の対策を考える際に活用することができる」と期待される。

2. 研究の目的

本研究では、2014～2015年の2年間にかけて、福島県北部沿岸地域を中心に、地下水や

湧水、地表水等の調査ならびに採水を行ない、水質、安定同位体、放射性同位体等の測定を実施し、水質の特徴および地下水流動や滞留時間を解明することを目的とした。本研究の対象地域の大部分は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う震災や津波被害を受けた地域となっている。また、地震の後に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故による影響を受け、現在もなお避難地域として指定されている区域もあり、未だなお深刻な問題を抱えている地域でもある。これらの地域において、現在の水質特徴や地下水流動を明らかにすることは、問題となっている放射性物質の移動に対する対応を考えるだけでなく、現在行われている復興事業に伴う地形変化や鳥利用変化に因る将来的な地下水水質や地下水流動の変化を予測するうえでも重要であると考えられる。

本研究の具体的な目的を、以下に挙げる。

- (1) 福島県北部沿岸域の地下水、湧水の滞留時間を把握する(CFCs, SF<sub>6</sub>, <sup>3</sup>Hのデータを利用する)。
- (2) 福島県北部沿岸域の地下水、湧水の涵養域を推定する(酸素・水素安定同位体比を利用する)。
- (3) 福島県北部沿岸域の地下水流動を推定する。双葉断層と地下水流動の関連について検討する。

近年分析手法が確立された時間情報を有するCFCsやSF<sub>6</sub>の分析を実施してデータの解析をすることにより、地下水、湧水の滞留時間について把握することが可能となる。また、一般水質や安定同位体データを用いることにより、涵養域について把握することができる。これらの結果を総合的に考察することにより、沿岸地域の地下水流動について明らかにすることができる」と期待される。

表1 採水方法と各種分析項目

分析項目	採取容器	採取量	分析方法
一般溶存成分 (F <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Li <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> )	ポリエチレン製容器	100 mL	イオンクロマトグラフィー (陽イオン: ICS-1000, 陰イオン: ICS-2000)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ポリエチレン製容器	100 mL	pH4.8 アルカリ度滴定法
SiO <sub>2</sub>	ポリエチレン製容器	100 mL	モリブデン黄法(分光光度計)
Fe (全鉄)	ポリエチレン製容器 (濃硝酸を少量添加)	100 mL	1,10-フェナントロリン吸光光度法(分光光度計) (加熱処理を行った後測定)
酸素・水素安定同位体	ポリエチレン製容器	100 mL	近赤外線半導体レーザーを用いたキャビティリングダウン吸収分光法
<sup>3</sup> H (トリチウム)	ポリエチレン製容器	1000 mL	トリチウム濃縮装置(トリピュア, XZ030)で濃縮後、液体シンチレーションカウンター (Tri-Carb 3110 TR)で測定
CFCs SF <sub>6</sub>	ガラス容器 (専用のポンプを利用)	500 mL 1000 mL	ガスクロマトグラフィー

### 3. 研究の方法

#### (1) 調査方法

本研究の現地調査は、2014年4月～2015年8月にかけて実施した。湧水、地下水、河川水等、合わせて74地点を選定し、現地調査ならびに採水を行なった。一部地点については、水質の季節変動等を確認するため、複数回の調査を実施した。福島県北部沿岸域に位置する新地町、相馬市、南相馬市、飯舘村、浪江町、大熊町の湧水等を調査の対象とした。現地では、EC(電気伝導度)、pH、水温、ORP、湧出量等の測定を行った。また、採水は、一般溶存成分用、重金属分析用、酸素・水素安定同位体分析用、トリチウム分析用、CFCs、SF<sub>6</sub>分析用のサンプルを採取した(表1)。

#### (2) 分析項目

本調査で採取した水試料の分析項目、採取量、分析方法は以下のとおりである。このうち、一般溶存成分とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SiO<sub>2</sub>、Fe、<sup>3</sup>Hについては福島大学の研究室で分析を行い、安定同位体とCFCs、SF<sub>6</sub>については学外の研究機関に分析を依頼した(表1)。

### 4. 研究成果

#### (1) 現地調査の結果

調査を行った地点の概要と、現地で測定を行った項目(EC、pH、水温、ORP、湧出量等)の結果について、概要を以下に述べる。

EC(電気伝導度)は幾つかのグループに分けることができる。10 mS/m以下、10～30 mS/m、30 mS/m以上で区分すると、河川水は10 mS/m以下に属し、濃度が低いことがわかる。地下水や湧水では一部は10 mS/m以下の値を示しているが、大部分は10～20 mS/mの範囲にある。これには、津波の浸水被害を受けた地域の湧水も含まれており、ECの値を見る限り、海水の影響は残っていないと思われる(海水のECは約4,500 mS/mである)。その一方で、同じく津波の浸水被害を受けた地域の湧水で30 mS/m以上の相対的に高い値を示す地点も確認されており、特にKR-30のように120 mS/m以上と非常に高い値を示す地点も認められる。しかし、海水のECと比較すると低い値である。こうした地点は土壌の浅い部分から湧出する湧水や浅い地下水であることから、海水が残存して直接影響を与えている訳ではなく、海水浸水時に土壌中に吸着した塩分(海水の成分)が地下水や湧水に溶出することにより、ECが高くなっていると考えられる。溶存成分の結果を示すことで、この推定を明確にすることができるであろう。また、複数回調査を実施している地点(KR-5やKR-56)のECは徐々に低下していることから、土壌中に残存した海塩の影響も段々と少なくなっていることも示された。

pHは7～9の中性からアルカリ性を示す地

点が多く、特に地面下から湧出する湧水では9前後の相対的に高い値を示す特徴が認められる。一般的な降水のpHは5.6前後の酸性を示すが、土壌中を降下・浸透する過程で地質と反応することにより、次第に値が高くなる現象が知られている。従って、比較的高い値を示す地点では相対的に長い滞留時間であると考えられる。

水温についてみると、気温の影響を受けやすい河川の水温は調査が7月であったため比較的高い値を示している。地下水、湧水については、多くが14～16℃前後の値を示しており、浪江の年平均気温(12.3℃)よりもやや高い値となっている。また、浪江町の調査地点でも比較的高い値を示している。これらの地点は比較的浅い土壌中から湧出する湧水などが多いことから、気温の影響を受けている可能性が示唆される。また、南相馬市の地面下から湧出する湧水ではやや低めの温度を示している地点が存在しており、周辺よりも標高の高い地域で涵養された水であることが想定された。

ORPは多くの地点が100 mV以上の正の値を示しているが、一部地点では100 mV以下や負の値を示しており、嫌気的な条件を有していることが判明した。こうした地点は比較的深い井戸や地下水に多く認められており、水質(特に鉄濃度など)に影響が及んでいると考えられる。

#### (2) 一般溶存成分、SiO<sub>2</sub>濃度の特徴

本研究対象地域の水質組成の特徴として、全体的には、日本国内において一般的な表流水、地下水で認められるCa-HCO<sub>3</sub>型の水質組成が多く分布しているが、Na-HCO<sub>3</sub>型やNa-Cl型、Ca-SO<sub>4</sub>型の水質組成も確認され、場所によって様々な水質組成をもつことが明らかとなった。Ca-HCO<sub>3</sub>型は比較的浅い地下水など滞留時間の短い水に特徴付けられる水質組成であり、Na-HCO<sub>3</sub>型は比較的深い地下水など滞留時間が相対的に長い水でみられる水質組成である。本研究地域においては(図1-1～図1-4)、南相馬市沿岸域の地下水や地面下から湧出する湧水でNa-HCO<sub>3</sub>型の水質組成を示しており、こうした水は比較的長い滞留時間を持つことが想定される。この結果は、前述したECやpH等の結果とも整合している。また、沿岸域の湧水について、津波(海水の浸水)の影響を受けた地点でもNa-HCO<sub>3</sub>型を示している湧水があることから、こうした湧水は津波の影響が既に残っていないことが明らかとなった。一方、沿岸域でNa-Cl型の水質組成を持ち、高いECの値を示す湧水や地下水も存在しており、津波の影響が未だ残っている地点も僅かではあるが確認された(たとえば、KR-5など)。しかし、海水の成分と比べると、湧水等のNa<sup>+</sup>やCl<sup>-</sup>濃度は非常に低いことから、海水が直接残存している訳ではなく、土壌に吸着した成分が地下水に溶出してNa-Cl型を形成していると

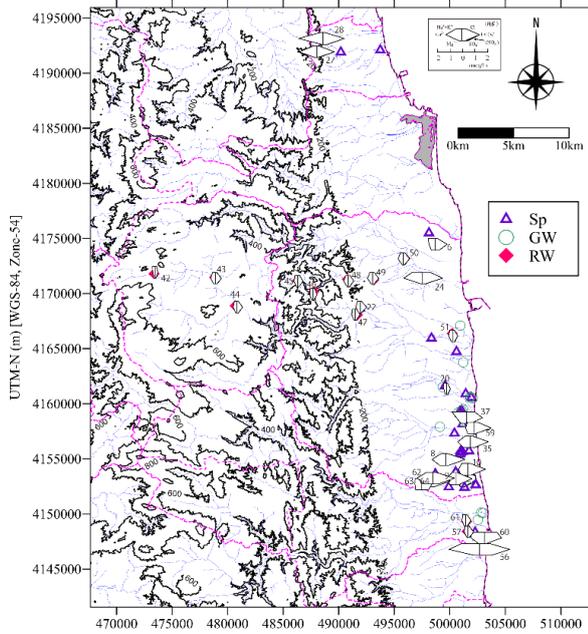


図 1-1 水質組成図 (Ca-HCO<sub>3</sub>型)

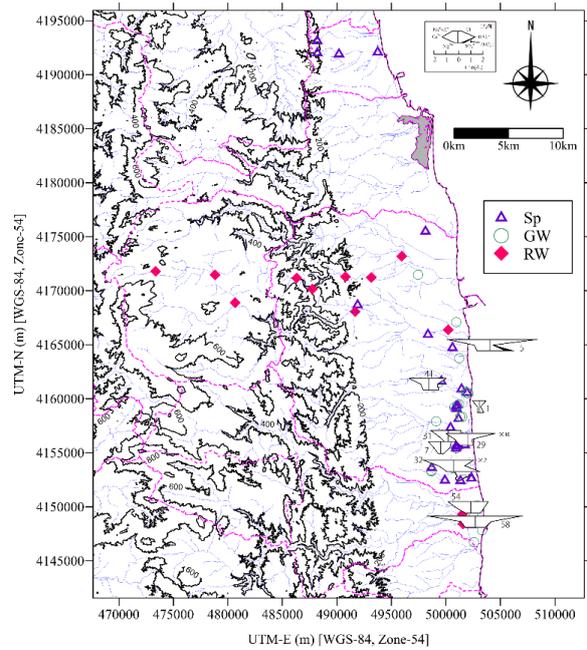


図 1-3 水質組成図 (Na-Cl型)

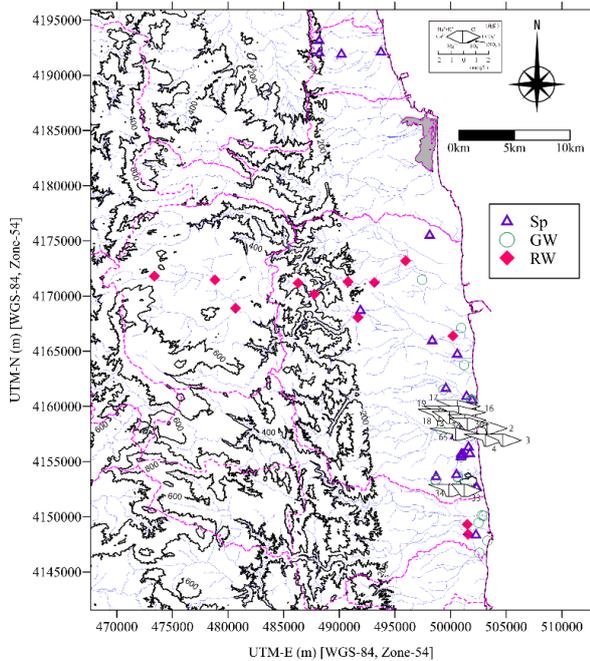


図 1-2 水質組成図 (Na-HCO<sub>3</sub>型)

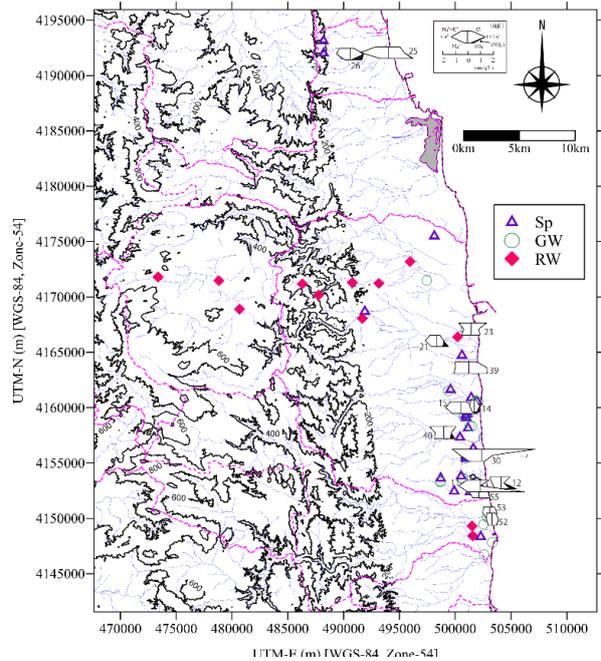


図 1-4 水質組成図 (Ca-SO<sub>4</sub>型ほか)

考えられる。また、時間の経過と共に EC は低下しているため、津波の影響は徐々に低減していると言える。

次に SiO<sub>2</sub> 濃度であるが、Si 成分は主に地質から供給されるため、地質(土壌)と長く接している水では濃度が高くなる傾向が認められている。従って、SiO<sub>2</sub> 濃度は地下水等の相対的な滞留時間を把握する際に活用することができる。しかしながら、Si は火山起源の岩石等に多く含まれているため、複数の地層が混在するような地域では、必ずしも SiO<sub>2</sub> 濃度=滞留時間の長短とならない場合もあるため、状況による判断が必要とされる。本研究対象地域では、SiO<sub>2</sub> に関しては比較的一

様な地質条件を有しているため、概ね、SiO<sub>2</sub> 濃度を滞留時間の把握に活用することができると考えられる。本研究対象地域の SiO<sub>2</sub> 濃度は 6~84 mg/L と地点間の差が大きいですが、河川水では 14~16 mg/L と比較的一定した値となっている。地下水や湧水では地点による違いが大きく、深い地下水や地面下から湧出する湧水では相対的に高い値を示しており、滞留時間が長いことが想定される。こうした結果は、EC や溶存成分量の結果と一致しており、信頼性が高いと思われる。よって、本調査の結果から相対的な滞留時間の長さについては概ね把握することができた。

### (3) 鉄濃度、酸素・水素安定同位体、トリチウム濃度

次に、鉄(全鉄)濃度、酸素・水素安定同位体比、トリチウム濃度の分析結果から得られた特徴について、以下に述べる。

鉄の起源は火山活動や地質由来(自然由来)の他に、工場排水や鉱山廃水など、人為的な要因により環境中に放出されることもある。福島県内では、会津地域や浜通り地域の深層地下水や、一部浅い井戸で鉄濃度が高いことが確認されており、特に会津地域ではこうした地下水が融雪用水として利用されているため、道路が酸化鉄により赤く着色している場所も多く見られる。また、県内では黄鉄鉱( $\text{FeS}_2$ )などの硫化鉱物を含む地層が分布しており、こうした鉱物が地下水に溶出することにより、地質由来の鉄が比較的多く含まれる地域も存在している。鉄濃度が高いと、水が黄色く(褐色に)着色し、味も悪くなる。また、水道管などの錆の原因にも成り得る。深部の地下水のように嫌気的な状態では水に溶存していても、空気に触れて酸化すると酸化鉄として懸濁あるいは沈殿が生じて、湧出口に蓄積する場合もある。濃度が高いと、水道水として利用できなくなるほか、農作物にも悪影響を与える。また、前述したように、降雪の多い地域では融雪用として地下水を利用しているが、鉄が高濃度に含まれている地下水の場合、道路が赤く染まるといった現象も生じている。このように、鉄が高濃度に含まれている水を利用する場合には、様々な弊害が生じることもあるため、除鉄用のろ過装置を設置するなど、注意を払う必要がある。

本研究対象地域の鉄(全鉄)濃度は、多くの地点で水道水質基準の $0.3 \text{ mg/L}$ 以下となっているが、一部地点では基準値を超える濃度を示している。南相馬市の沿岸域付近に位置する湧水や地下水で比較的高濃度の地点が認められており、特に南相馬市小高区の土壤中から湧出している湧水(KR-30)では $22.872 \text{ mg/L}$ と非常に高濃度となっている。この地点

では、湧水の流れに沿って赤い沈殿が生じているのが目視で確認できた。この地点の周辺は2011年3月11日の津波により海水が浸水した場所であり、津波堆積物あるいは自動車や工場、家屋等の震災がれきの影響を受けている可能性が考えられる。また、調査時の聞き取りにおいて、沿岸部の津波被害が無かった地域の民家井戸でも鉄分が多く飲料に適さないものも存在するとの情報があり、この付近では鉄濃度を多く含む帯水層が存在していることが確認できた。また、KR-62~KR-64の地域でも、自噴井の採水口に鉄の沈殿物( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )の付着が確認でき、地下水中の鉄濃度が高いことを予測できた。

一方、河川では上真野川が $0.02\sim 0.06 \text{ mg/L}$ と低濃度であるのに対して、新田川は $0.3\sim 0.6 \text{ mg/L}$ とやや高い値を示し、また上流域(飯館村に位置する地点)で濃度が高くなっている。このように、河川によって鉄濃度には若干の違いが生じていることが確認された。

酸素・水素安定同位体比は地点によって値が異なっているが、 $\delta$ -diagram上では、ほぼ一直線上に沿うように分布している。特徴として、地面下から湧出する湧水や深層の地下水では、同位体比は相対的に低い値を示す傾向が認められる。涵養標高が高いと酸素や水素の同位体比は低くなる性質があることから、こうした湧水や地下水は比較的標高の高い地域(阿武隈山地周辺)で涵養されており、台地周辺で涵養された水よりも滞留時間は相対的に長いことが予想される。

水質や安定同位体比から推定された相対的な滞留時間の長さについて確認するために、トリチウム濃度の結果を利用して検討を試みた。トリチウム濃度の分析結果を見ると(図2)、 $0\sim 1.75 \text{ Bq/L}$ と幅が広がっているが、この値を見る限り、ごく一部の地点を除き、2011年3月に発生した原子力発電所の事故の影響は殆ど及んでいないと考えられる。最近の降水の値は $1.0 \text{ Bq/L}$ 程度で推移しており、この値と地下水等の値を検討した結果、 $0.5$

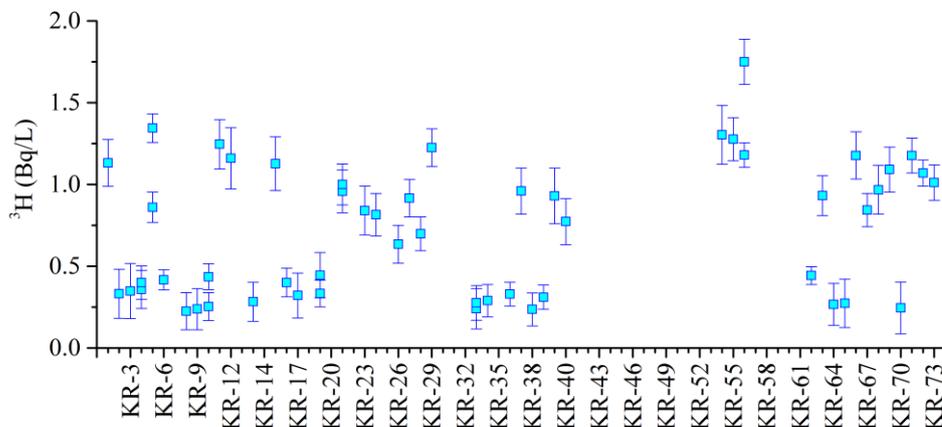


図2 各地点のトリチウム濃度

Bq/L 前後の湧水・地下水では滞留時間が 10 数年ほど、0.2 Bq/L 前後の湧水・地下水では 30 年程の滞留時間であると推定された。比較的滞留時間の長いと思われる湧水や地下水は、標高の高い阿武隈山地周辺で涵養された可能性が高いことが、現地調査や一般水質、酸素・水素安定同位体比の結果においても示唆されており、こうした涵養域から沿岸部の湧出域までの距離や透水係数を鑑みると、概ね妥当な値であると考えられる。これらの推定をより明瞭にするためには、他の方法により求めた湧水・地下水の滞留時間を示し、比較検討することが望ましい。滞留時間を推定するための CFCs および SF<sub>6</sub> 分析は、2015 年 2 月現在で分析中である。これらの結果が求まり次第、地下水年代を求め、他の分析結果等を総合的に用いて、沿岸域の地下水流動の解明を試みる予定である。また、福島県沿岸域の調査は、対象地域を阿武隈山地周辺まで広げて 2016~2018 年にかけて継続することとなった。得られた滞留時間の結果をもとに、今後、沿岸域の地下水流動を更に詳細に検討してゆく予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 藪崎志穂 (2016) : 福島県の湧水、地下水の酸素・水素安定同位体分布特性. 福島大学地域創造, 27(2), 31-41. (査読無)
- ② 藪崎志穂・柴崎直明・高貝慶隆 (2015) : 福島県南相馬市沿岸域の地下水、湧水の水質とトリチウム濃度について—2013 年に実施した調査結果報告—. 福島大学地域創造, 27(1), 37-46. (査読無)
- ③ 藪崎志穂 (2015) : 福島県北部沿岸域の河川水の水質と安定同位体高度効果について. 福島大学地域創造, 26(2), 116-123. (査読無)
- ④ 藪崎志穂・島野安雄 (2015) : 福島県北部沿岸域とその周辺地域の名水. 地下水学会誌, 57(2), 221-236. (査読有)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 藪崎志穂 (2016) : 福島県および新潟県の地下水・湧水の酸素・水素安定同位体比と d-excess 値の分布特性. 地球惑星科学連合 2016 年合同大会(講演番号: HTT21-06). (2016 年 5 月 24 日, 千葉県千葉市)
- ② 藪崎志穂 (2015) : 福島県北部沿岸域を対象とした湧水と地下水のトリチウム濃度分布と 2013~2015 年の値の変化について. 日本地下水学会 2015 年秋季講演会講演要旨, 150-151. (2015 年 11 月 23 日, 福井県大野市)
- ③ 藪崎志穂 (2015) : 福島県北部沿岸域の

湧水、地下水の水質と安定同位体の特徴. 地球惑星科学連合 2015 年合同大会(講演番号: AHW24-P02). (2015 年 5 月 25 日, 千葉県千葉市)

- ④ 藪崎志穂 (2015) : 福島県北部沿岸域の地下水流動に関する予察. 日本地下水学会 2015 年春季講演会講演要旨, 90-91. (2015 年 5 月 24 日, 千葉県市川市)
- ⑤ 藪崎志穂 (2014) : 福島県北部沿岸域の安定同位体比の特徴. 第 4 回同位体環境学シンポジウム, 35p. (2014 年 12 月 22 日, 京都府京都市)
- ⑥ 藪崎志穂 (2014) : 福島県北部沿岸域の湧水、地下水の水質の特徴—2014 年 4 月~8 月の調査結果を元にした考察—. 日本地下水学会 2014 年秋季講演会講演要旨, 164-167. (2014 年 11 月 7 日, 熊本県熊本市)

[図書] (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

藪崎 志穂 (YABUSAKI, Shiho)

福島大学・共生システム理工学類・客員  
准教授

研究者番号 : 60447232