

2. 調査地域の概要

2.1 気象・気候

南相馬市の気象・気候の特徴を把握するために、気象庁の観測データを用いた⁴⁾。南相馬市には「原町」の観測所があるが、この観測所では降水量の観測しか行われていないため、原町から南方約17 kmに位置する「浪江」の観測所のデータも併せて利用した。それぞれの位置、気温、降水量の値をTable 1にまとめた。なお、値は1981年～2010年の平年値を示した。

年降水量は原町では1,331 mm、浪江では1,511 mmであり、原町のほうが200 mmほど少ない。1976年～2014年の観測期間中、年降水量が最も多かったのは原町では2,067 mm (1991年)、浪江では2,321 mm (1991年)である。一方、最も少なかったのは、原町では763 mm (1984年)、浪江では891 mm (1978年)で変化の幅は大きい、概ね1,300～1,600 mmの範囲に収まっている。月降水量では、12月～2月で50 mm以下と相対的に少なく、7月～10月(浪江では6月～10月)で150 mm以上と相対的に多く、冬に少なく夏に多いという特徴を示している。また、南相馬市では冬季の降雪は殆どなく、積雪が生じることは少ない。

浪江の年平均気温は12.3℃で、1月で2.1℃と最も低く、8月で23.8℃と最も高い値を示している。冬季の間も比較的暖かく、月平均気温は0℃以上である。一方、1976年～2014年の観測期間において、日最高気温で最も高いのは2010年8月24日の37.9℃、日最低値で最も低いのは2014年2月6日の-12.4℃となっている。

浪江のその他の観測項目として、平均風速は1.6 m/secであり、3月～4月の春先ではやや早く2.0 m/secとなっている。年間の日照時間の平年値は1871.6時間で、日本の平均値とほぼ同程度であり、3月～5月で相対的に多くなっている。

Table 1 Meteorological data at Haramachi and Namie.

	Latitude	Longitude	Elevation m	AT(1981-2010) ℃	P(1981-2010) mm
Haramachi	N37° 38.3'	E140° 59.0'	17	-	1331.1
Namie	N37° 29.5'	E140° 57.9'	47	12.3	1511.0

AT : annual mean air temperature
P : annual precipitation amount

2.2 地形・地質の特徴

福島県の北部沿岸域(南相馬市を含む)では、新生代の堆積岩が広く分布しており、段丘と平地が入り組んだ地形を示している。

地質は、平野部では新第三紀層が基盤となっており、平野内では基盤岩は丘陵地として散在している。新第三紀層の上には第四紀層が堆積し、その厚さは約20 mである。これは西側の山地から流れる河川によって運搬・堆積した扇状地性の砂礫の上位に相当し、海岸に近い地域ではシルト質層や粘土層が分布している。河川沿いの沖積地では泥炭層が分布する地域もあり、こうした地域は地盤沈下が生じやすくなっている。

帯水層は第四紀層の砂礫層(浅層地下水)や新第三紀層(深層地下水)に認められる²⁾。また、海岸から12 kmほどの地点(内陸部)には、双葉断層が南北方向に分布し、さらに断層の西側には比高約300 m、南北の長さ約100 kmに及ぶ阿武隈山地が広がっている。これらの地域には中・古生代の基盤岩類である花崗岩類や変成岩類が広く堆積しており、沿岸域に存在する深層地下水の涵養域となっている可能性が考えられる。地下水の水質にも、こうした地質の違いによる影響が及んでいると思われる。

3. 現地調査の概要ならびに分析方法

3.1 現地調査と採水地点の概要

本研究では南相馬市に位置する7地点を対象とし、2013年4月～5月にかけて調査・採水を実施した(Fig.1)。地下水はS-4、S-5、S-6の3地点、湧水はS-1、S-2、S-3、S-7の4地点である。このうち、S-4とS-5はほぼ同じ敷地内にある2本の深度の異なる井戸から採取している。現地では、EC(電気伝導率)、pH、ORPの測定を実施し、可能な地点では地下水位と湧出量についても測定した。また、S-1、S-2、S-3、S-6については2014年4月にも調査・採水を実施し、時間経過に伴う水質の変化について検討した。

調査地点について以下に概略する。S-1は鹿島区の水田近くで湧出する湧水で、津波の浸水被害を受けた場所である。調査を行った2013年5月の時点では稲の作付けは行われていなかった。湧水は地面の下から砂を巻き上げるようにして湧出し、湧出量は約200 mL/secほどであった。S-2は原町区にある運動公園内の湧水で、低地と段丘面の境となっている

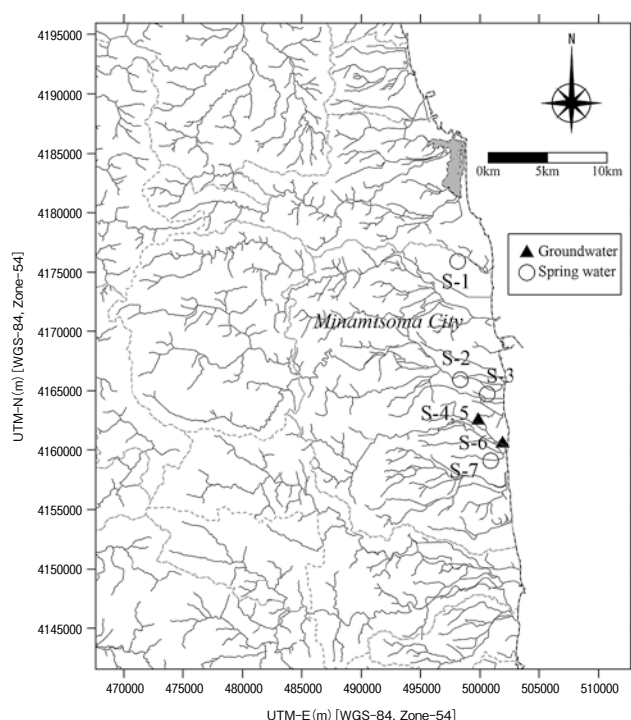


Fig.1 Observation point.

崖地斜面の途中から湧出している。砂および砂礫から成る段丘堆積物と、その下部に堆積している難透水性の泥岩（仙台層群の大年寺層最上部）との境界付近から湧出しており、台地上で涵養された比較的滞留時間の短い水であることが予想される。採水地点の湧出量は約120 mL/secであるが、この地点の周辺には同じ斜面において複数の湧水地点の存在が確認されており、総湧出量としてはかなり多いと思われる。S-3は原町区の沿岸域に位置する湧水池で採取した湧水である。地面の下から水が湧いているのが確認できる。湧出量は400 mL/secほどである。この場所も津波の浸水被害を受けた場所である。S-4とS-5は原町区大甕に設置された地盤沈下用の観測井から採取した地下水で、井戸深度はS-4では30 m、S-5では200 mである。S-6は原町区の沿岸近くの自噴井で、津波の浸水被害を受けた場所である。深度30 mの井戸が掘られており、塩ビ管から約100 mL/secの湧出が認められた。S-7は原町区の水田近くにある湧水で、地面下から湧出している。湧出量は約50 mL/secで、季節によって湧出量には多少変化が認められる。この場所も津波の浸水被害を受けており、S-1と同様に2013年5月の時点では稲の作付けは行われていなかった。

3.2 採水方法

各種分析のため、調査地点では一般溶存成分（ SiO_2 を含む）、重金属、酸素・水素安定同位体、トリチウム用の水試料を採取した。一般溶存成分と重金属、安定同位体分析用では、それぞれ100 mLのポリエチレン製の容器に採取した。重金属分析用については採水時に濃硝酸を少量（全体で0.1Nの濃度になるように）添加した。これらの水試料は冷蔵庫で保管してできるだけ早急に分析を実施した。トリチウム（ ^3H ）分析用は1,000 mLのポリエチレン製の容器に採取し、冷暗所で保管した。

3.3 水質・安定同位体分析

一般溶存成分の分析では、 $0.20\ \mu\text{m}$ のシリンジフィルターでろ過を行った後、イオンクロマトグラフィー（ICS-1000（陽イオン）、ICS-2000（陰イオン）、共にDIONEX社製）により定量した。 HCO_3^- 濃度の測定はpH4.8アルカリ度滴定法を用い、 SiO_2 濃度はモリブデン黄法による前処理を実施して分光光度計により定量した。

酸素・水素安定同位体比は、外部機関へ分析を依頼し、近赤外線半導体レーザーを用いたキャピティリングダウン吸収分光法により分析を行った。測定精度は、 $\delta^{18}\text{O}$ は $\pm 0.1\%$ 、 δD は $\pm 0.5\%$ である。また、酸素・水素安定同位体比は、標準物質（ $v\text{-SMOW}$ ）からの千分率偏差である δ 値として示している。

3.4 トリチウム分析

トリチウム分析では、まず採取した試料水を $0.45\ \mu\text{m}$ のシリンジフィルターでろ過を行い、常圧蒸留法で蒸留を実施した。現在、一般的には水に含まれるトリチウム濃度は低いため、液体シンチレーションカウンターで精度良く測定を行うためには事前に電解による濃縮を実施する必要がある。濃縮方法として従来はアルカリ水溶液電解法が多く用いられていたが⁵⁾、本研究では固体高分子電解質を利用した水電解法^{6) 7)}を用いて電解濃縮を行った。蒸留後の試料水1,000 mLをトリチウム電解濃縮装置（トリプユア XZ030、ベルメック電極社製）に入れ（Fig. 2）、50 mLまで濃縮を実施した。電解では、1,000 mLから150 mLまでは50A、150 mLから50 mLまでは20Aの電流値を設定した。なお、あらかじめトリチウム濃度が既知の試料を用いて電解濃縮装置に固有の濃縮係数を求めており、この濃縮係数を用いて濃縮前のトリチウム濃度を算出した。



Fig.2 Tritium condensation apparatus (TRIPURE).

濃縮後の試料水10 mLとシンチレーター (ULTIMA GOLD LLT) 10 mLを専用のプラスチック容器に入れてよく攪拌し、1日程度安定させた後に、液体シンチレーションカウンター (Tri-Carb 3110 TR, Perkin Elmer社製) を用いて、60分計測を10回実施した。計測値から半減期および濃縮装置による濃縮係数を考慮して計算を行い、採水した時点におけるトリチウム濃度を求めた。値はBq/Lとして示した(TUに換算すると、1 T.U.=0.118 Bq/Lである)。

4. 結果・考察

4.1 地下水と湧水の水質の特徴

地下水ならびに湧水の現地調査と水質分析結果について、Table 2にまとめた。また、2014年に比較検討のために実施した結果についても同表に示している。

ECは殆どの地点で14~20 mS/mの範囲にあるが、S-3とS-4はそれよりも高く、特にS-3では60 mS/m以上の高い値を示している。前述したようにS-1, S-3, S-6, S-7では津波の浸水被害を受けているが、ECの値を見る限り、S-3を除くと海水の影響は既に残っていないことが明らかである。また、S-3は相対的には高い値であるが、海水のEC (約4,500 mS/m) と比べると非常に低いことから、海水そのものの影響ではなく、土壤中に残存している海塩等が地下水へ溶出することによりECがやや高めの値を示していることが考えられる。

pHは殆どが7以上の塩基性の値を示している。このうち、S-4, S-5, S-6の地下水 (自噴井を含む) では相対的に高く、特にS-5の200 mの観測井では9.09と観測地点の中では最も高い値を示し、深層地下水の特徴を示している。

水温は地点によって異なる傾向が認められる。S-2とS-3では14℃前後の低い値を示しており、S-6とS-7では16℃前後、S-5では約18℃、S-1では約20℃と高い値を示している。浪江の年平均気温 (12.3℃) と比べるといずれの地点もやや高い値であるが、

Table 2 Observation data and tritium concentration.

point No	type	date	EC mS/m	pH	WT ℃	ORP mV	³ H Bq/L
S-1	Sp	06-May-13	14.1	7.54	19.8	156	0.42 ± 0.06
		10-Apr-14	14.1	7.91	19.6	207	0.40 ± 0.07
S-2	Sp	06-May-13	18.9	6.91	14.2	255	1.24 ± 0.17
		28-Apr-14	18.8	7.19	13.8	244	0.96 ± 0.13
S-3	Sp	06-May-13	61.3	6.24	13.9	208	1.34 ± 0.09
		10-Apr-14	62.8	6.89	13.0	200	1.05 ± 0.07
S-4	Gw	08-May-13	26.5	8.15	-	-	0.56 ± 0.09
S-5	Gw	24-Apr-13	18.0	9.09	18.3	74	0.48 ± 0.08
S-6	Aw	19-Apr-13	17.2	7.98	16.4	-115	0.44 ± 0.10
		10-Apr-14	17.6	8.97	16.3	260	0.40 ± 0.08
S-7	Sp	06-May-13	20.1	7.68	16.7	204	0.35 ± 0.17

Sp : spring water, Gw: groundwater, Aw: artesian well

湧水では比較的年平均気温と近い値を示している。

ORPは200 mV前後の値を示す地点が多いが、S-5では相対的に低い値を示しており、深層地下水のため嫌気的な状態であることが伺える。S-6では2013年と2014年の測定値に大きな差が認められるが、この要因は現時点では定かではない。今後、同地点の調査を改めて行い、確認する予定である。

各地点の水質組成図をFig. 3に示した。水質組成は幾つかのパターンに分かれており、Na-HCO₃型(S-1, S-5, S-6, S-7)、Ca-HCO₃型(S-2)、Na-Cl型(S-3) Mg-SO₄型(S-4)となっている。S-2とS-3はNO₃⁻もある程度含まれており、人為的な影響を受けていると思われる。S-3のみ、海水(海塩)の影響が多少あらわれているが、海水そのものの組成に比べると濃度は非常に少ない。また、その他の地点では海水浸水の影響は残っていないことが、溶存成分の結果からも把握することができた。S-4とS-5はほぼ同じ地点の観測井で採水しているが、深度によって水質組成は大きく異なっており、複数の帯水層の存在を確認することができた。30 mの井戸(S-4)ではMg²⁺が相対的に多く含まれるやや特殊な特徴を有しており、地質の影響を受けている可能性が示唆される。一方、200 mの井戸(S-5)では滞留時間の長い水に多く見られる水質

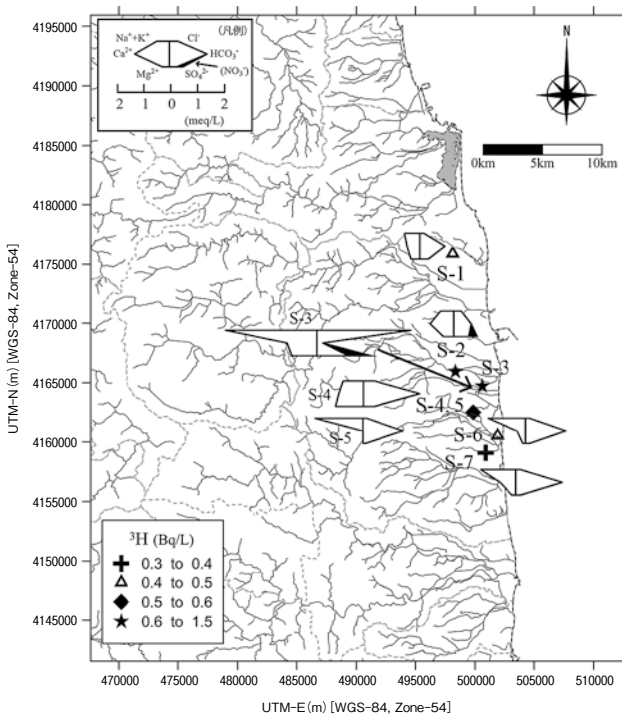


Fig.3 Water quality and tritium concentration.

組成を示していることから、S-5の地下水のほうが相対的に地下水の年代は古いと考えられる。S-6の自噴井、S-1とS-7の湧水も相対的に滞留時間の長い水であると考えられる。以上の結果から、S-2は台地上で涵養された比較的滞留時間の短い湧水で、S-1、S-5、S-6、S-7の地面下から湧く湧水や沿岸域の自噴井は涵養域が離れた位置にある滞留時間の比較的長い水であることが想定された。こうした水質の特徴は、トリリニアダイアグラムにおいても確認することができる(Fig. 4)。

4.2 地下水と湧水の安定同位体の特徴

地下水と湧水の酸素($\delta^{18}O$)と水素(δD)の安定同位体比を用いて、 δ -ダイアグラムを作成し、Fig. 5に示した。環境水中の酸素と水素の安定同位体には幾つかの効果が認められており⁸⁾、その中に、

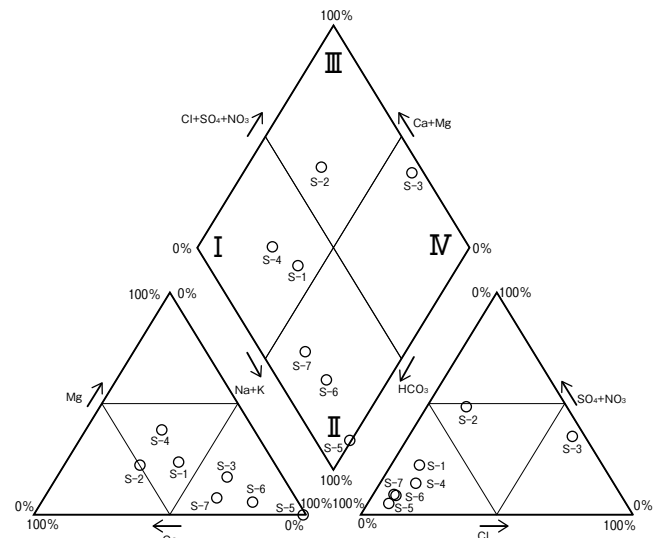


Fig.4 Trilinear diagram.

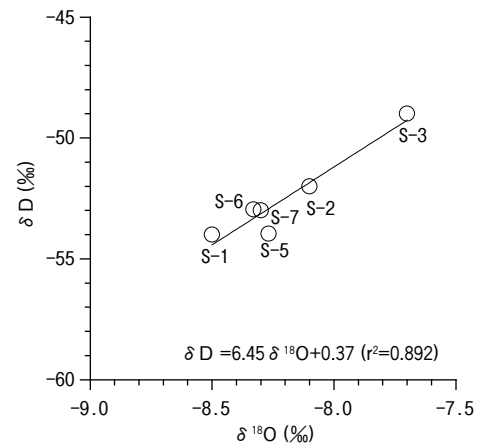


Fig.5 Relationship between $\delta^{18}O$ and δD .

内陸効果（内陸部ほど同位体比は低くなる）と高度効果（標高の高い地点ほど同位体比は低くなる）がある。この効果により、涵養域がより内陸部の標高の高い地域である場合、涵養された水（地下水や湧水）は相対的に低い同位体比を示すことになる。本研究対象地域に当てはめると、沿岸域付近で涵養された水よりも、より内陸部の阿武隈山地付近で涵養された水のほうが同位体比は低くなると想定される。

S-1～S-7の同位体比の範囲をみると（Fig. 5）、 $\delta^{18}\text{O}$ で $-8.5\sim-7.5\%$ 、 δD で $-55\sim-49\%$ の範囲にあり、ほぼ回帰線上に沿うように分布している。しかし、本研究対象地域内を流れる河川水の同位体比を用いて求めた天水線（ $\delta\text{D}=7.7\delta^{18}\text{O}+9.1$ ）⁹⁾と比較するとFig.5の回帰線の傾きは小さいことから、これらの地下水や湧水は蒸発の影響を多少なりとも受けていると考えられる。S-3は他の地点と比べて比較的に高い値を示しており、また水質組成にも大きな違いがあることから、他の地点とは異なった地下水流動系であることが示唆される。S-2もS-1、S-5、S-6、S-7と比べてやや高い同位体比を示しており、これは涵養域の違いを反映しているものと思われる。上述したように内陸効果および高度効果の影響により、S-2は比較的沿岸域に近い部分で涵養され、S-1、S-5、S-6、S-7はそれよりも内陸の標高の高い地域で涵養された水である可能性が高い。前者は滞留時間が短く、後者は滞留時間が長いということになる。これは水質組成の結果で予測した事柄と整合している。滞留時間の長さについては、本稿の調査結果では地点数が限られているため断言はできないが、2014年に同地域内でより多くの地点で調査を行っているため、今後、その結果も利用して更に検討を進めてゆく予定である。

4.3 降水のトリチウム濃度

トリチウム（ ^3H ）は水素の放射性同位体で、12.32年の半減期を持ち¹⁰⁾、弱い β 線を放射して β 壊変を起こし、ヘリウム（ ^3He ）に壊変する。 ^3H は水（ H_2O ）を構成する元素の一つで水そのものとして挙動しており、水のトレーサーとして最適である。 ^3H が放射壊変に伴い濃度が減少する性質を利用して、地下水や湧水の年代推定が行われており、水循環解明の一躍を担ってきた。トリチウムは天然状態では太陽から飛来する宇宙線によって生成され、低濃度ではあるが自然状態の降水にも含まれている。この天然由来のトリチウムの場合、降水の ^3H 濃度

は $1\sim 2\text{ Bq/L}$ 程度である¹¹⁾。しかし、1952年以降に行われた大気圏中の核爆発実験によって、トリチウムは人工的に大量に生成されて大気中に放出された。これらは降水中に取り込まれて、降水のトリチウム濃度は天然の濃度と比べて著しく上昇し、1963年～1964年のピークでは東京でも 100 Bq/L を越えたが、その後大気圏中の核実験の停止に伴い、降水中のトリチウム濃度は徐々に低下して、近年では $1\sim 0.5\text{ Bq/L}$ 程度で安定した値となってきた¹²⁾¹³⁾など。しかし、2011年3月に発生した福島第一原子力発電所の事故によりトリチウムを含む多量の放射性物質が大気中に放出されたため、周辺地域の降水のトリチウム濃度も一時的に上昇したと考えられるが、事故前後の福島市内の降水のトリチウム濃度は観測されておらず正確な値を把握することはできない。その後の降水の ^3H 観測結果を見る限り、2015年7月時点においては降水への影響は殆どあらわれていないと考えられる。

国内の降水のトリチウム濃度は、原子力規制庁のHP¹⁴⁾や放射線医学総合研究所のHP¹⁵⁾等で公開されているが、観測地点や観測期間が限られており、また降水のトリチウム濃度は場所によって異なるため（特に、緯度による影響が大きい）¹⁶⁾、できるだけ調査対象地域の近傍で観測したデータを得ることが望ましい。よって、本稿では福島市内で採取した降水のデータを代用し、地下水や湧水の値と比較検討することとした。

Fig. 6に福島大学屋上で採取した月降水のトリチウム濃度の変動を示した。図中のエラーバーは測

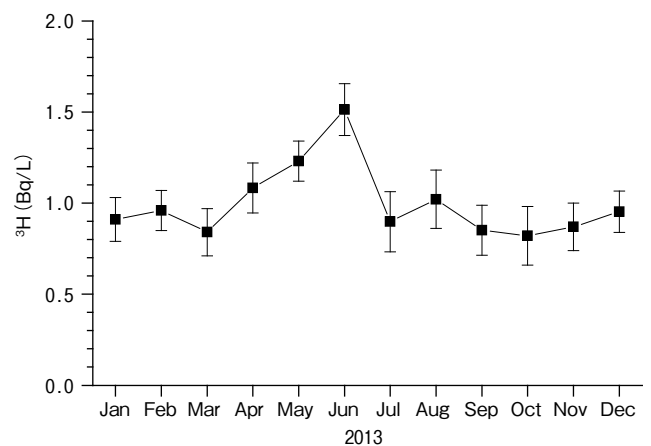


Fig.6 Tritium concentration of monthly precipitation at Fukushima in 2013. Each error bar represents $\pm 1\sigma$ counting error.

定誤差を示している。降水は2012年4月より採取を行っているが、測定途中の試料もあるため、本稿では地下水調査を実施した2013年1月～12月のデータを示した。トリチウム濃度は、1月～3月と7月～12月は0.8～1.0 Bq/L前後で比較的一定しているが、4月～6月でやや高い値を示し、6月では約1.5 Bq/Lと期間中で最も高くなっている。降水のトリチウムには3月（春）～7月（初夏）にかけて高くなる季節変化（スプリングピーク）の存在が確認されており¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾、福島市内の降水でもこのスプリングピークがあらわれていると考えられる。スプリングピークの形成に関しては、海洋性気団を起源とする降水よりも大陸性気団が起源の降水のほうが相対的にトリチウム濃度は高くなることから、大陸性気団が卓越する春～初夏に降水のトリチウム濃度が高くなることが要因であると考えられている¹⁸⁾。2011年3月以前の福島市内の降水のトリチウム濃度のデータは公表されておらず、事故前の降水の値がどれほどであったかは確定できないが、おそらく国内の他の地域と同様に0.5～1 Bq/L程度であったと予想される。これと比べると、2013年の値はやや高い時期もあるが、概ね天然のレベルに戻っていると言えるだろう。

4.4 地下水と湧水のトリチウム濃度の特徴

南相馬市で採取した地下水と湧水のトリチウム濃度について、平面分布図をFig. 3に、地点ごとのデータをFig. 7に示した。Fig. 7には2013年のデータに加え、S-1, S-2, S-3, S-6については2014年の採水分も併せて示した。なお、Fig. 6と同様に、

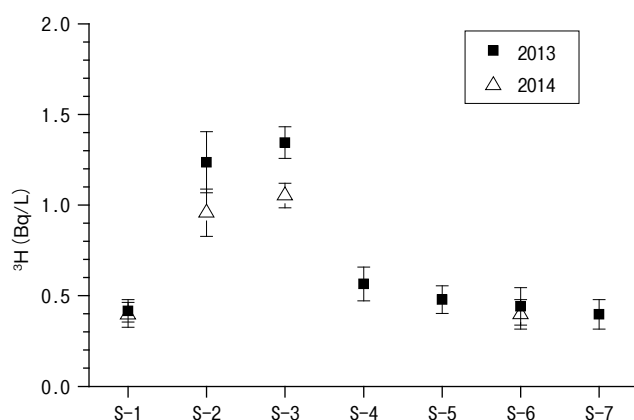


Fig.7 Tritium concentration at each point. Each error bar represents $\pm 1\sigma$ counting error.

図中のエラーバーは測定誤差を示している。

2013年の地点ごとの値をみると (Fig. 7), 大きく2つに区分できる。一つはS-1, S-4, S-5, S-6, S-7で、0.5 Bq/L以下の相対的に低い値を示している。もう一つはS-2とS-3で、1.2～1.3 Bq/Lと相対的に高い濃度となっている。2013年の福島市内の降水のトリチウム濃度の平均値は1.0 Bq/L前後であり (Fig. 6), この値と比較すると前者のグループ (S-1, S-4, S-5, S-6, S-7) の濃度は低いことがわかる。仮に、地下水や湧水が涵養されたときの水 (降水) のトリチウム濃度が1.0 Bq/Lであった場合、³Hの半減期は12.23年であることから、これらの地点では少なくとも10年以上の滞留時間をもつことが想定される。一方、高い値を示しているS-2とS-3では降水のトリチウム濃度の平均値よりもやや高い値を示しており、滞留時間は短いと考えられる。水質や安定同位体の項目でも述べたように、S-2は台地上で涵養された比較的年代の新しい水である可能性が高いことから、原発事故後の比較的高いトリチウム濃度を含んだ降水による涵養の影響が表れている可能性も捨てきれない。S-3は地面下からの湧水であるが、周辺の比較的浅い部分から涵養されていると考えられることから、S-2と同じく、原発事故後の降水の涵養による影響が表れている可能性が示唆される。

2014年のトリチウム濃度と比較すると (Fig. 7), 濃度の低いS-1, S-6では2013年の値とほぼ同じであるが、S-2とS-3は2014年のほうが低くなっている。S-2では若干、測定誤差が重なるものの、S-3については有意差が認められる。これはトリチウムの半減期による濃度の減少以上の差があるため、放射壊変による濃度低下以外の何らかの影響が及んでいる可能性が高い。考えられる要因の一つとして、原発事故直後に比較的高い降水によって涵養された水 (地下水や湧水) が、その後、天然レベルに戻った降水によって涵養され、希釈されることによりトリチウム濃度が減少したことが挙げられる。今後、同地点において継続的な調査を行い、この要因について明らかにしたいと考えている。さらに、多くの地点におけるトリチウム濃度の変化を把握することにより、滞留時間を推定することも可能になると期待される。

4.5 水質とトリチウム濃度の関係について

ここでは、地下水や湧水のトリチウム濃度と水質

との関係を比較し、滞留時間の違い等を把握できるかどうか検討した。Fig. 8にトリチウム濃度とECの関係を、Fig. 9にトリチウム濃度と $\delta^{18}\text{O}$ 値の関係を、Fig. 10にトリチウム濃度と SiO_2 濃度の関係をそれぞれ示した。なお、データは全て2013年のものを使用している。

トリチウム濃度とECの関係では、理論上では、滞留時間が長いと地下水や湧水の溶存成分量は上昇し、トリチウム濃度は減少することから、両者には負の相関が認められることになるが、本研究結果では両者には明瞭な相関は認められない (Fig. 8)。ECの高いS-3は ^3H 濃度が高いが、これは海水の浸水時の影響と事故後に涵養された雨水の影響を受けているものと思われる。トリチウム濃度と $\delta^{18}\text{O}$ 値の関係では弱い正の相関が認められる (Fig. 9)。この結果は、 $\delta^{18}\text{O}$ 値が低い地点は標高の高い内陸部で涵養された水である可能性が高いため、湧出地点までより長い時間をかけて流動し、そのため放射壊変によりトリチウム濃度が低くなっているという仮説と矛盾しない。トリチウム濃度と SiO_2 濃度の関係では (Fig. 10)、負の相関が認められる。この説明として、滞留時間の長い水は地中から供給される SiO_2 も多くなり濃度が高くなる。従って、トリチウム濃度が低い (= 滞留時間が長い) 地点では SiO_2 濃度が高くなっていると考えられる。

このように、トリチウム濃度と水質、安定同位体比を比較することにより、地下水流動系の違いや相対的な滞留時間についてある程度の推定が可能であることが示された。しかしながら、本調査では地点数が限られているため、明瞭な結果を出すまでには及んでいない。今後は、多くの地点の観測結果を示すことで、調査地域の地下水流動等をより詳細に把握できるよう努めてゆく。

5. まとめ・今後の予定

福島県南相馬市で2013年および2014年に実施した調査・採水、および各種分析の結果から、以下の事柄が明らかとなった。

- 1) 地下水と湧水のECや溶存成分の結果から、津波による浸水の被害を受けた地点の多くで、既に海水の影響はみられない。また、一部ECの高い地点が見受けられるが、海水に比べると値は非常に低く、土壤中に残存している海塩等の溶出の影響を受けていると考えられる。

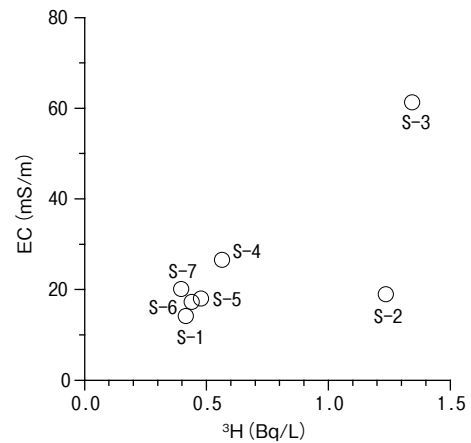


Fig. 8 Relationship between tritium concentration and EC.

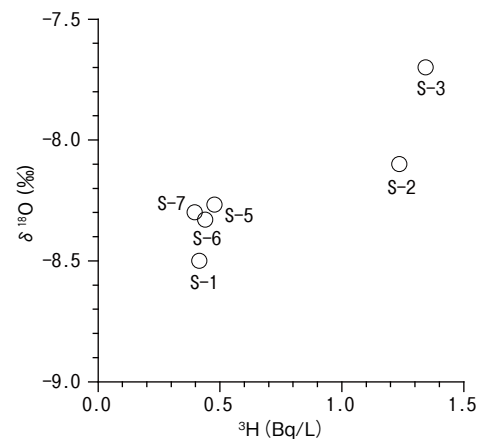


Fig. 9 Relationship between tritium concentration and $\delta^{18}\text{O}$.

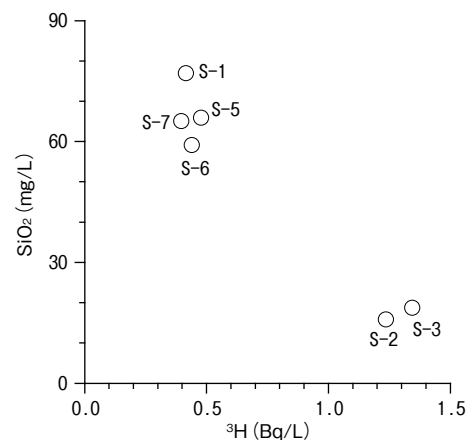


Fig. 10 Relationship between tritium concentration and SiO_2 .

- 2) 地下水と湧水の水質組成には幾つかのパターンがあり、組成の違いによって相対的な滞留時間の長さを把握することができた。
- 3) 酸素・水素安定同位体比は地点によって異なっており、同位体比が低い地点ではより内陸の標高の高い地点で涵養された水である可能性が高い。
- 4) 福島市内の2013年の降水のトリチウム濃度は4月～6月でやや高い値(スプリングピーク)を示すが、その他の期間では1 Bq/L前後の天然レベルに近い値を示しており、原発事故の影響は殆ど見受けられない。
- 5) 地下水と湧水のトリチウム濃度は0.5 Bq/L以下の相対的に低い地点と、1.2～1.3 Bq/L前後の相対的に高い地点に分かれた。溶存成分や安定同位体比の結果も併せて検討したところ、前者は内陸部で涵養された滞留時間の長い水であり、後者は比較的近くで涵養された滞留時間の短い水であることが推定された。
- 6) 地下水と湧水の2013年と2014年のトリチウム濃度を比較したところ、一部の地点において³Hの放射壊変による濃度低下よりも大きい差が認められた。この要因の一つとして、原発事故直後に比較的³H濃度が高い降水による涵養が生じていたことが考えられるが、詳細については今後の検討課題とする。本研究で実施した地点のトリチウムの濃度変化とその要因を把握するため、今後も継続的に調査を行い、2012年以降の福島市内の降水トリチウム濃度の分析結果と併せて更に考察を進めてゆく予定である。また、現在、2013年～2014年に採水を実施した福島県浜通りや中通り、会津地域を含む、県内の広域のトリチウム濃度の解析を進めている。より詳細なトリチウムの濃度分布を明らかにすることで、今後の濃度変化や滞留時間の把握に役立てることができるよう努めてゆく所存である。

謝 辞

産業技術総合研究所の井川怜欧博士には、観測井の採水に関してご協力頂きました。

また、本調査の一部は、平成26～27年度科学研究費補助金(若手(B)、課題番号:26870070)の助成を受けて実施しています。ここに、記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 環境省(2012):全国地盤環境情報ディレクトリ. URL: http://www.env.go.jp/water/jiban/dir_h24/index.html (2015年7月1日閲覧)
- 3) 柴崎直明・藪崎志穂(2013):地下水汚染リスク評価に関する研究 報告書. 73p.
- 4) 気象庁HP(2015):各種データ・資料. URL: <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html> (2015年7月1日閲覧)
- 5) 斎藤正明(1997):環境トリチウム水測定のための新・電解濃縮技術. 原子力工業, 43(8), 53-57.
- 6) 上松和義・山崎 寿・佐藤峰夫(1996):固体高分子電解質を用いたトリチウムの電解濃縮. RADIOISOTOPES, 45, 375-377.
- 7) 斎藤正明・高田 茂・島宗孝之・錦 善則・清水秀人・林 貴信(1996):固体高分子電解質を用いたトリチウム電解濃縮. RADIOISOTOPES, 45, 285-292.
- 8) Clark, I. and P. Fritz(1997): Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers, 328p.
- 9) 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.
- 10) Lucas, L.L. and M.P. Unterweger(2000): Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 105(4), 541-549.
- 11) Kaufmann, S. and W.F. Libby(1954): The natural distribution of tritium. *Physical Review Letters*, 93(6), 1337-1344.
- 12) Eastoe, C.J., C.J. Watts, M. Ploughe and W.E. Wright(2012): Future use of tritium in mapping pre-bomb groundwater volumes. *GROUND WATER*, 50(1), 87-93.
- 13) 藪崎志穂・辻村真貴・田瀬則雄(2003):関東における降水のトリチウム濃度の近年の変動について. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 4, 119-124.
- 14) 原子力規制庁HP(2015):環境放射線データベース. URL: <http://search.kankyo-hoshano.go.jp/>

- servlet/search.top (2015年7月1日閲覧)
- 15) 放射線医学総合研究所HP (2015) : 放射線安全研究成果情報データベース. URL: <http://www.nirs.go.jp/db/anzendb/AnzenkenkyuDB.php> (2015年7月1日閲覧)
 - 16) 阪上正信 (1985) : トリチウムの環境動態. 核融合研究, 54(5), 498-511.
 - 17) 嶋田 純 (1978) : 降水中のトリチウム濃度の時系列変化と降水の起源となる気団との関係. RADIOISOTOPES, 27(12), 13-18.
 - 18) 岡村正紀・平井英治・松岡信明 (1993) : 福岡市における降水トリチウム濃度の最近の変動. 地下水学会誌, 35, 87-93.