

研究報告

秋田県男鹿半島の河川の水質特性

網田和宏^{**}, 山下裕也^{***}

Chemical Characteristics of River Water in the Oga Peninsula, Akita Prefecture, Japan

Kazuhiro Amita^{**}, Yuya Yamashita^{***}

Abstract

The purpose of this study is to clarify the characteristics of chemical compositions of river water and its spatial distribution in the Oga Peninsula, Akita Prefecture, Northeast Japan. Water samples were collected at 42 sites during 2011-2012. Samples for major ions were collected two times during summer-autumn (June-November) and winter (December-January). For comparison, spring water was collected from 5 sites. pH, temperature, electric conductivity (EC) and oxidation reduction potential (ORP), were simultaneously measured at each station during water sampling. The analytical results of water show that river water is characterized by water of Na-Cl type. The Na-Cl type river water in the Oga Peninsula contains high sodium (20-30 mg/L) and chloride (30-40 mg/L) ion concentrations, respectively. The source of Na and Cl in river water could be sea-salt aerosols, though some amount of Na is derived from bed rock. The Oga Peninsula are derived into five area according to characteristics of river water chemistry.

1. はじめに

男鹿半島は秋田県の海岸より日本海に突き出た県内唯一の半島である。東西 24 km, 南北 18 km, 面積およそ 241 km² のほぼ全域が男鹿市に属しており, 八郎潟とその周辺の低地帯を挟んで秋田平野に向き合っている。

本地域の主な生活用水源は, 寒風山の山麓に位置する滝の頭湧水と半島西部の戸賀地区に位置する一ノ目湧である。その他にも男鹿市全域で 20 箇所ほどの水源が点在しているものの, その殆どが平常時取水量にして 500m³/day 前後と小規模のものであるため, 滝の頭と一ノ目湧の 2 箇所が男鹿市全体の

平常時取水量の約 90% 以上にあたる水量が確保されている。また, 農業用水源に関しても生活用水同様, 小～中規模の貯水池などが各地に造られ利用されているが, これについては農業用水の補強を目的の一つとして 1998 年に建設された総貯水量 69 万 m³ の滝川ダムの寄与も大きい。

寒風山山麓地域では湧水が分布するため, 半島東部の一部の地域では水資源として地下水利用が行われているが^{(1)~(3)}, その他の地域では河川水や貯水池といった表層水の利用が主体となっている。例えば, 前述した一ノ目湧でも, 5 月～8 月にかけては灌漑用水としての水量を確保する目的から, 付近を流れる野村川より取水を行っている。この様に, 男鹿半島は, 水資源に占める表層水の重要性の高い地域であることがわかる。将来にわたって水資源の管理や利用を行っていくためには水量の確保だけでなく, 水質についてもその詳細を把握しておくことが重要

2017 年 8 月 9 日受理

^{**}秋田大学大学院理工学研究科附属理工学研究センター
Research Center for Engineering Science, Graduated School of
Engineering Science, Akita University

^{***}男鹿市役所 (地球資源学科 2012 年卒業)
Oga city government

な課題の一つとなる。しかし、これまで本地域の自然水の水質に着目して行われた研究の多くは、地下水・温泉水を対象にしたものであり^{(1)~(4)}、河川の水質については十分な調査・報告が行われていない状況であった。

そこで本研究では、男鹿半島に流域を持つ河川を対象に採水調査を実施することで、本地域の河川水の水質分布を明らかにすることを主な目的とした。また、調査の実施期間を2期に分けることで、水質の季節的な変動の有無についても検討を行った。

2. 男鹿半島の地形および地質、気象

男鹿半島の地質に関しては、第三系下部の変質した火山噴出物から含油第三系、第四系がほぼ連続的に累重し、露頭条件が良好であったことなどもあり、これまでに多くの調査が行われてきた^{(5)~(8)}。本項では、これまでの知見に基づいて、本地域の地形および地質に関する概略について述べる。

男鹿半島は、上真山断層崖を境として西に本山山地、東側に位置する寒風山山地、それらの二つの山地にはさまれた平地部（低地、台地段丘地および丘陵地）よりなる。本山山地は本山（標高；715m）、真山（567m）、毛無山（677m）からなり、これら男鹿三山を結ぶ分水嶺は北北西の方向に伸びている。山地の西側は急崖地形を形成しており、東北東方向に発達する岩脈と海岸線との交わる地域には顕礁、海蝕洞門、海蝕台、離れ岩、鏡肌などの奇岩怪石の岩礁群がみられる。

寒風山は標高 355m の小規模な成層火山であり、中央丘陵地上に噴出した溶岩がその山体の大部分を形成している。山体は主として複輝石安山岩の溶岩流よりなり、起伏量は中心地付近で 100m~200m と本山山地と比べると大きくない。また、北部の火山山麓地、五里合低地の上流、侵食谷の谷底を埋積する沖積世の溶岩流が滝の頭湧水などを賦存する層であると考えられている。

地質については先新第三紀の花崗岩質岩を基盤として、新第三紀中新世の赤島層、門前層、西黒沢層、女川層、船川層および北浦層、鮮新世の脇本層、第四紀洪積世の鮎川層、戸賀軽石層、瀧西層および段丘堆積層、沖積世の寒風山安山岩、目瀧火山放出物および沖積層からなる。地質構造は全般的に、NNW~SSE の走行、東傾斜の単斜構造を呈し、半島西部から東部にいくにつれて、上位の新しい地層が分布する。また、断層構造は NNW~SSE 方向、又はそれに直交するものが顕著である（図 1）。

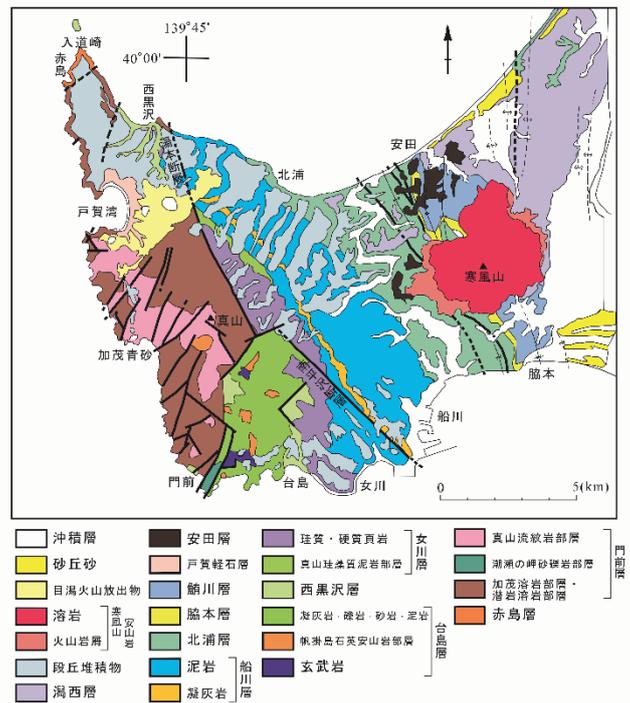


図1 男鹿半島の表層地質図(的場ほか⁽⁶⁾を改変して使用)。

男鹿半島は、急崖地形が多いことに加え、半島の南北長も短いことなどが関係し、流域面積の小さな河川がほとんどである。そのこともあり、本地域（男鹿市）の土地利用の状況は、農地 19.8%、森林 51.9%、原野など 0.5%、河川・水路・水面 1.9%、道路 4.2%、宅地 4.8%、その他 16.9%となっている⁽⁹⁾。

また、気象庁の男鹿真山観測点および男鹿観測点にて過去 10 年間に観測された年間総降水量を平均するとおよそ 1,700mm~1,800mm となる（同期間の秋田市は 1,740mm）。月間降水量の推移に関しては 140mm~180mm 程度と降水量の多い 7 月~12 月と、降水量の少ない（100mm 程度）2 月~6 月の期間に 2 分することができ、また秋田県内陸部の多雪地帯に比べると冬期間の降雪量は少ない。

3. 調査手法

調査対象とした河川については、国土地理院発行の 2 万 5 千分の 1 地形図上で記載されている河川を中心に、男鹿半島の全域に調査地点が分布するように考慮して選定した。なお本研究では河川を主な調査対象としたこともあり、農業用のため池などを含む湖沼全般については調査の対象から除外したが、半島北西部を流れる賀茂川の支流の一つに関しては、その最上流部が大堤と呼ばれる堤となっていたため、

堤の流出部付近において採水を行った。また、河川水質との比較を行うことを目的に、調査対象地域内に湧出する湧水 5 地点についても採水を行った。

前述した様に男鹿半島には流域面積の小さな河川が多いこともあり、基本的には 1 河川につき 1 地点となるように調査地点を選定した。しかし、半島中央部を東に流下した後、進路を北に変え北側海岸で海に流出する滝川に代表されるような河川総延長の長い幾つかの河川については、河川の最上流部および河口付近に 1 地点ずつ採水点を設けたほか、支流が合流する地点などではそれぞれの支流においても採水を行なった (図 2)。

採水調査は 2011 年 6 月～8 月、および 11 月に行ったが、季節変動に関しても検討を行うことが出来るように 2011 年 12 月、2012 年 1 月の冬期間にも繰り返しの採水調査を実施した。ただし積雪により 1 回目に採水を行った場所への移動が不可能であった地点や、水量の低下により河川に水が流れていなかった地点もあった。そのため、夏季～秋季に 1 回目の調査を行った 44 地点中、再調査を行うことができた地点が 28 地点、初回とは異なる場所で採水を行った河川が 3 地点となった。以上より、最終的な調査地点の内訳は河川 41 地点、湖沼 1 地点に、参照試料の湧水 5 地点を加え、計 47 地点となった。図 2 に採水地点位置図を示す。

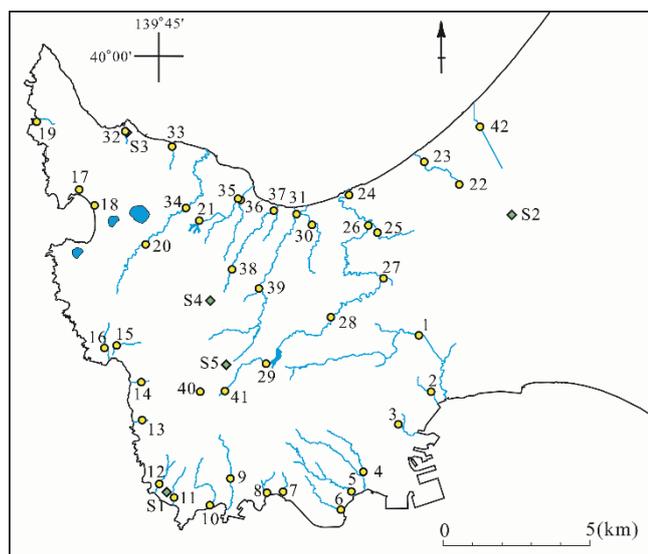


図 2 採水地点位置図。

黄色の丸は河川水の採水地点を、緑色の菱形は参照試料の採水地点を示す (S1; 強清水, S2; 滝の頭湧水, S3; 西黒沢湧水, S4; 自衛隊道路脇湧水, S5; 真山神社湧水)

採水にあたっては可能な限り人為的な影響を避けるよう配慮した。また多くの場合、河床まで降りていき川面より直接、採水を行ったが、両岸が切り立っているなどして河床に降りることが困難である場合には 5m のロープが取り付けられたビニールバケツを使用し、岸や橋の上からバケツを下ろして採水を行った。

化学分析用試料として 250mL ポリプロピレン製容器と 100mL ポリエチレン製容器、各 1 本に水試料を採取した。また、水試料採取の際には、水温、pH、電気伝導率 (Electric Conductivity : EC)、酸化還元電位 (Oxidation Reduction Potential : ORP) の測定を行った。

実験室に持ち帰った水試料は、0.1M 塩酸を用いた滴定法により pH4.8 アルカリ度を測定し、これを炭酸水素イオン濃度に換算した。また、主要溶存成分は秋田県産業技術センターのイオンクロマトグラフを用いて定量した。また溶存シリカ (SiO₂) 濃度については (株) 共立理化学研究所のデジタルバックテストを使用し、モリブデンブルー法にて定量した。

ここで、デジタルバックテストの測定精度を向上させるため、以下のような方法によって測定を行った。最初に原子吸光用シリカ標準試薬を用い 1 mg/L ~20 mg/L の間で 5 種類の濃度の異なるスタンダード溶液を調整した。それらのスタンダード溶液をデジタルバックテストで正規の使用方法により測定し、その測定値と溶液濃度の関係を用いて検量線を作成した。この際、本研究で使用した機器の場合は、溶液の濃度が 15mg/L 付近における定量精度が最も高く、それより高濃度側であっても、低濃度側であっても定量精度が低下していく関係があることが分かった。そこで、実際の河川水試料の測定時には試料を一度、定法により測定しシリカ濃度 (1 回目) を求め、そこで得られた測定値から、水試料の適切な希釈率を算出した。そして、希釈後の溶液の濃度が 15 mg/L 程度になるよう調整することで定量精度の高い濃度領域で分析値が得られるようにした (2 回目)。本研究では、この 2 回目の測定結果を溶存シリカ濃度として扱った。

4. 結果

調査の結果得られた河川水の pH、水温、電気伝導率 (EC)、酸化還元電位 (ORP) および主要化学組成の各データを表 1 にまとめた。

表にも示されるように、男鹿半島の多くの河川において pH が中性域であることが示されたが、いく

表1 男鹿半島の河川の水質分析結果

No.	採水地点名	採水日	pH	水温 (°C)	EC (mS/m)	ORP (mV)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂ (mg/L)
							(mg/L)							
1	比詰川	2011/6/5	7.3	16.3	20.4	220	33.1	3.6	8.2	4.8	48.2	37.3	15.2	6.2
		2011/12/2	6.8	6.1	15.5	382	22.6	2.1	5.1	3.3	28.3	24.5	16.0	11.8
2	金川郵便局付近	2011/6/5	7.1	15.2	21.6	232	35.0	3.2	8.7	5.6	47.9	55.0	8.9	5.7
		2011/12/2	6.9	5.9	16.0	361	23.9	2.1	4.6	3.6	33.5	24.5	12.8	15.4
3	保健福祉センター横	2011/6/5	7.7	16.3	18.4	256	27.5	3.1	8.2	4.3	34.6	46.5	14.6	15.7
		2011/12/2	7.1	6.9	17.5	341	25.2	2.8	7.2	3.3	30.3	38.5	15.1	16.2
4	増川支流	2011/6/5	7.6	14.0	18.6	216	30.0	1.8	7.0	4.6	37.2	38.5	21.6	5.7
		2011/12/2	7.0	6.4	14.1	355	21.2	1.3	3.8	2.8	26.0	19.6	16.3	8.1
5	小増川	2011/6/5	7.5	15.0	15.2	235	20.4	1.4	7.5	4.2	27.7	23.9	18.2	4.2
		2011/12/2	7.1	6.4	13.3	329	17.6	1.1	5.5	3.2	24.0	20.2	15.0	5.4
6	女川	2011/6/5	7.5	14.1	20.1	275	22.2	1.8	20.4	5.7	34.9	56.9	24.4	5.2
		2011/12/2	7.2	6.9	17.0	346	19.6	1.6	12.6	4.1	30.2	34.2	21.1	4.9
7	台島バス停横	2011/6/5	7.6	13.0	25.3	266	33.1	2.2	21.1	10.3	42.4	34.9	71.9	5.1
		2011/12/2	7.3	9.2	23.3	333	28.1	1.8	16.1	8.1	34.4	29.4	59.3	7.5
8	不動川	2011/6/5	7.5	14.3	14.5	223	22.0	1.4	6.8	3.1	28.9	28.7	15.2	6.2
		2011/12/2	7.1	6.0	12.5	317	18.3	1.4	4.7	2.3	23.6	19.6	11.5	5.9
9	双六川	2011/6/5	7.6	13.3	12.2	281	17.9	1.1	6.1	2.4	26.0	26.9	5.4	7.1
		2011/12/2	7.3	6.3	11.5	329	15.8	0.8	5.1	2.2	21.9	24.5	6.6	6.9
10	弁天橋下	2011/6/5	8.5	15.8	15.2	266	21.5	1.0	7.9	3.5	26.3	41.0	7.6	6.5
		2011/12/2	7.4	5.6	13.8	333	19.3	0.8	6.3	3.1	23.7	33.6	8.6	7.4
11	門前・神社裏	2011/6/5	7.7	13.7	20.6	296	32.4	1.7	7.9	6.1	50.2	37.9	11.1	7.4
		2011/12/2	7.4	4.2	17.2	330	26.3	1.1	5.5	4.3	37.5	28.1	12.8	7.1
12	冷水川	2011/6/5	7.6	13.7	17.9	290	26.9	1.4	9.3	4.5	33.4	40.4	19.8	4.6
		2012/1/12	7.2	-0.2	17.3	388	25.8	0.9	7.1	3.9	36.3	27.5	16.1	6.0
13	白糸の滝	2011/6/5	7.3	12.8	11.5	287	16.8	1.2	4.2	2.7	25.7	17.1	7.2	7.0
		2012/1/12	7.1	-0.1	11.8	383	15.5	0.8	3.7	2.6	25.2	14.7	9.0	6.2
14	長岩上流	2011/7/14	7.4	18.7	14.3	393	18.3	1.5	8.3	2.9	23.9	26.9	15.5	7.2
		2011/7/14	7.7	19.1	16.2	290	24.0	2.2	4.4	3.9	30.8	33.0	9.2	12.8
15	青砂川	2012/1/12	7.4	0.6	18.5	377	29.1	1.6	5.3	5.0	38.5	42.8	11.4	14.5
		2011/7/14	7.3	19.3	19.5	346	29.3	3.1	4.9	4.6	46.5	25.7	9.7	15.2
17	大滝川	2011/7/14	7.3	18.0	31.8	331	45.9	5.4	12.3	10.8	76.3	63.0	13.4	23.7
		2011/12/2	7.0	8.4	30.0	304	45.0	4.8	12.7	10.7	74.3	64.2	13.3	21.7
18	戸賀市民センター横	2011/7/14	7.5	18.8	25.5	248	38.7	4.2	8.9	6.6	63.9	43.4	10.6	17.4
		2011/12/2	7.4	8.0	26.2	282	41.0	4.7	10.0	6.9	69.5	43.4	12.4	24.6
19	かぶき岩付近	2011/7/14	7.7	25.8	34.2	262	54.7	3.0	8.2	8.1	87.7	42.8	14.9	6.5
		2012/1/12	7.2	0.9	26.6	373	48.4	1.8	8.0	7.7	81.6	27.5	14.6	7.4
20	大瀑	2011/7/14	7.6	20.8	15.7	344	21.1	2.3	5.0	3.6	32.4	28.1	6.9	11.8
		2011/7/14	8.3	28.7	14.5	286	17.4	1.6	6.0	3.6	26.3	36.1	5.2	8.5
22	琴川	2011/8/12	7.5	17.9	20.1	332	21.5	2.5	11.0	5.8	33.8	54.4	9.5	17.4
		2012/1/12	7.2	0.8	21.8	348	28.9	3.3	13.6	6.5	46.7	58.1	13.9	17.6
24	滝川最下流	2012/1/12	7.4	0.0	18.2	354	26.2	2.1	7.6	4.7	37.5	40.4	14.9	10.9
		2011/8/12	7.7	22.6	32.8	301	46.7	4.8	14.5	7.0	67.2	72.8	16.4	14.7
25	滝川支流1	2011/8/12	7.4	24.0	14.0	267	18.4	2.2	5.3	2.9	24.6	29.4	9.0	7.5
		2011/8/12	7.7	20.2	19.4	269	23.4	3.0	8.9	5.5	30.0	53.8	11.7	13.0
27	滝川支流2	2011/8/12	7.2	1.6	16.1	360	19.7	2.0	8.4	5.2	28.7	41.0	13.7	11.3
		2012/1/12	7.4	20.3	9.3	251	12.4	1.2	3.3	1.6	15.6	15.9	7.7	4.5
29	滝川上流(ダム)	2012/1/12	6.8	0.0	11.7	370	15.6	1.0	4.4	2.4	20.7	25.1	13.5	6.1
		2011/8/12	7.4	20.4	11.2	262	15.2	1.4	4.3	2.0	19.5	23.9	7.1	5.8
30	男鹿中小増川	2011/8/12	7.3	24.9	17.5	275	25.2	3.3	4.7	3.5	28.6	34.2	15.3	11.6
		2011/12/2	7.3	7.4	12.8	336	18.7	1.7	3.1	2.6	23.9	19.6	12.4	11.3
31	大増川下流	2011/8/12	8.3	25.3	20.4	300	26.4	2.8	9.0	4.2	29.6	47.7	20.8	9.4
		2011/8/12	8.0	20.7	32.2	244	31.1	2.9	28.3	14.3	49.4	128	20.8	14.5
32	西黒沢	2011/12/2	7.8	7.2	27.4	309	29.5	2.2	22.1	12.1	49.3	97.9	20.8	12.8
		2011/8/12	8.0	24.2	81.8	242	120	9.0	19.4	10.2	189	101	24.6	12.3
33	湯ノ尻川	2011/12/2	7.9	8.1	61.4	252	135	10.9	21.7	9.8	209	104	32.5	15.4
		2011/8/12	7.7	22.6	19.2	230	23.3	2.9	7.9	5.5	32.1	50.1	10.2	14.2
34	野村川	2011/12/2	7.7	7.8	16.6	283	20.8	2.0	7.1	4.8	29.1	41.0	8.9	13.8
		2011/8/12	7.8	26.5	17.1	265	22.2	1.9	6.9	4.4	29.2	48.9	6.6	10.9
35	賀茂川西	2011/12/2	7.5	7.0	15.5	291	20.9	1.6	5.9	4.2	26.9	37.3	10.3	11.8
		2011/8/12	7.7	26.2	17.0	267	21.0	2.7	7.5	4.6	27.2	42.8	13.7	9.6
36	賀茂川東	2011/12/2	7.5	7.0	14.6	308	17.4	1.9	6.9	4.6	23.9	37.3	11.3	11.8
		2011/8/29	7.4	18.6	20.2	326	28.5	3.0	7.0	5.7	39.4	30.0	27.7	12.6
37	相川東	2011/12/2	7.0	7.8	18.3	318	24.5	2.5	6.0	5.0	32.0	23.2	29.4	11.8
		2011/8/12	7.7	22.1	16.7	321	17.5	2.0	11.0	6.2	22.7	56.3	14.9	13.0
38	相川西	2011/12/2	7.3	6.6	13.7	328	14.6	1.6	7.5	4.4	20.1	34.9	12.9	12.1
		2011/8/29	8.0	23.2	15.3	243	18.9	1.7	7.9	3.7	20.9	37.9	15.7	8.4
39	大増川上流	2011/12/2	7.4	6.4	13.6	336	16.3	1.3	6.9	3.3	20.0	30.0	15.4	9.6
		2011/11/15	6.5	6.7	9.5	375	12.1	1.2	4.2	1.5	15.8	18.3	8.1	7.9
40	鷺の沢	2011/11/15	7.0	7.1	10.4	368	13.3	1.1	4.5	2.1	16.9	23.9	7.3	6.2
		2012/1/12	7.0	3.1	18.6	352	23.0	2.4	11.1	5.7	34.9	48.3	11.9	15.0
S1	強清水	2011/6/5	6.7	11.1	24.3	317	53.1	2.4	6.1	6.4	87.9	21.4	15.0	23.2
		2011/12/2	7.2	11.0	26.0	261	48.1	1.8	5.3	5.3	76.4	19.6	15.4	17.1
S2	滝の頭	2011/6/5	7.0	11.5	16.0	350	18.7	2.4	14.0	5.0	25.9	52.6	15.3	17.9
		2012/1/12	7.1	9.4	17.1	351	18.2	2.3	12.4	4.5	25.6	52.0	11.5	19.3
S3	西黒沢湧水	2011/8/12	7.0	14.3	30.1	251	31.8	3.7	32.0	13.7	48.1	99.1	56.4	28.0
		2011/12/2	7.1	14.0	31.6	203	31.8	3.5	32.2	13.7	48.8	96.0	58.1	28.0
S4	真山神社湧水	2011/8/29	7.1	18.4	11.6	315	17.4	1.4	2.8	1.9	25.9	17.1	4.7	8.7
S5	自衛隊道路脇湧水	2011/11/15	6.0	9.4	10.4	397	14.9	1.9	2.9	1.0	17.7	19.0	5.5	12.3
		2012/1/12	6.3	9.0	9.6	410	14.2	1.8	2.7	0.9	18.1	19.6	5.6	12.3

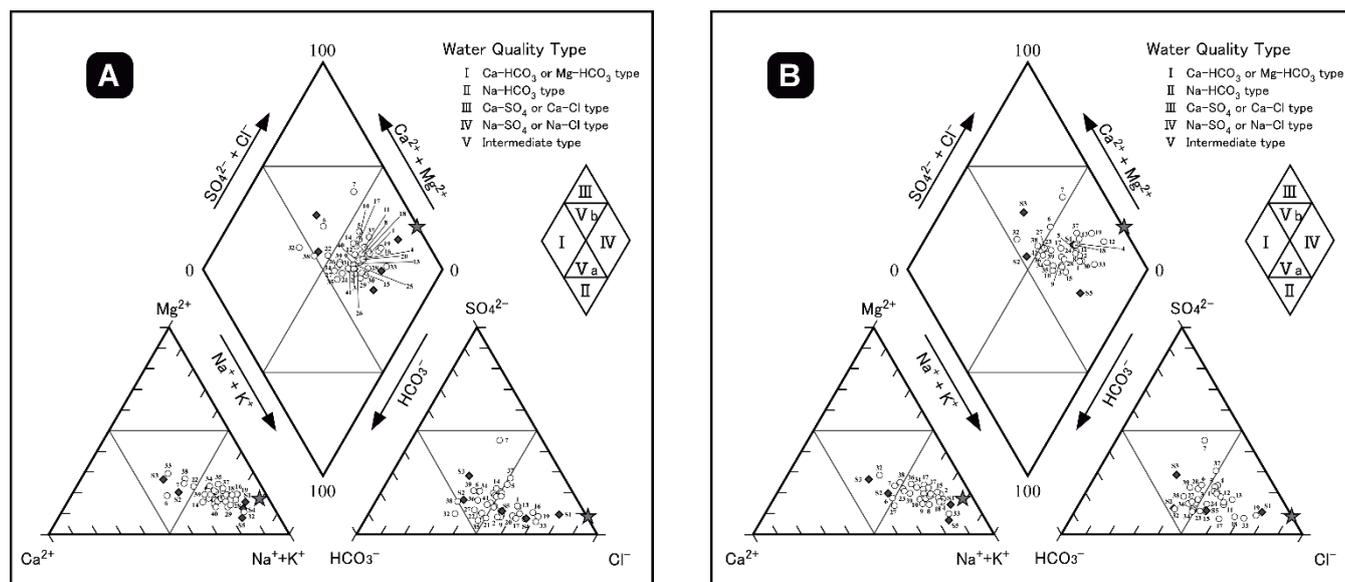


図3 男鹿半島の河川水のパイパー・トリニアダイアグラム(左図;1回目の調査結果, 右図;2回目の調査結果)。

つかの地点では pH が 7 の後半から 8 を超えるものがみられた。この内, No.21 (大堤), No.31 (大増川下流)~No.36 (賀茂川東), No.39 (大増川上流) は, 男鹿半島の北側を流れる河川である。ただ, それらの河川の中には夏季と冬季に測定された pH の値が大きな違いを示したものもあり (例えば, No.39), 常時, pH が高い値を示す訳ではないことが分かる。停滞性の湖沼や河川においては, 日中の植物プランクトンの活動の影響から, 同一地点であっても溶存酸素濃度や pH が時間変化することが知られている⁽¹⁰⁾。今回の結果は, 採水時の水温と pH との間に緩やかではあるが正の相関が認められており, 夏場と冬場における日照量の違いなどが影響を及ぼした可能性を示唆していると考えられる。

EC は多くの地点で 10 mS/m~20 mS/m 程度の値をとっており, この値が, 本地域の河川水のとる平均的な EC の範囲である。これに対して, No.9 (双六川), No.28 (滝川), No.29 (滝川上流), No.40 (鷺の沢), No.41 (三の滝) などの地点では, 10 mS/m 程度かそれ以下と, 特徴的に低い EC が測定された。これらの水は No.9 (双六川) を除けば, すべて男鹿三山の山頂部を涵養源に持つ河川である。

一方で, 高い EC を示したのは No.7 (台島バス停横), No.17 (大滝川), No.18 (戸賀市民センター横), No.19 (かぶき岩付近), No.25 (滝川支流 1), No.32 (西黒沢), No.33 (湯ノ尻川) であった。特に No.33 については EC が 60 mS/m~80 mS/m と高い値を示したが, これは採水地点の上流側に男鹿温泉郷が位

置しているため, 温泉排水の一部が河川に流入したことが原因であると推察できる。この No.33 を含め, No.17~No.19 および No.32 の河川はすべて男鹿半島の北西端地域, すなわち戸賀地区, 入道崎地区, 湯ノ尻地区に属する水である。また, No.25 の滝川支流 1 は寒風山の山麓部より滝川に流入してくる水であり, 低い EC を示した滝川のその他の地点の水とは涵養源を異にする。

主要化学組成をみると, 男鹿半島の河川の化学組成は他の溶存成分と比べて Na^+ と Cl^- の濃度が高いことが特徴である。温泉排水混入の可能性のある No.33 を除くと, No.19 (かぶき岩付近) の Na^+ 54.4 mg/L, Cl^- 87.7 mg/L (いずれも 8 月の調査時の値) が最も高く, これらの濃度は, 秋田県内の他の地域において測定された結果と比較しても, 高い値である。例えば, 川原谷らは秋田平野の主要河川である, 上新城川, 太平川, 旭川, 岩見川流域において複数の採水を行い, 河川水質の測定を行った^{(11)~(13)}。その結果, ほとんどの地点において Na^+ 濃度は 20 ppm 以下であり, また, 多くの試料で Cl^- 濃度は 20 ppm 程度の値が示された (最大値は Cl^- 38 ppm)。また, 河川水以外についても, 島野ら⁽¹⁴⁾, ⁽¹⁶⁾ や島野⁽¹⁵⁾ によって県内各所の 100 箇所近い湧水・地下水を対象にして水質が測定されているが, やはり, 多くの地点において, Na^+ 濃度が 20 mg/L 程度かそれ以下, Cl^- 濃度については 30 mg/L 以下の値を示していた。

これらの結果と比較すると, 男鹿半島の多くの河川水の Na^+ および Cl^- 濃度は明らかに高く, 県内で

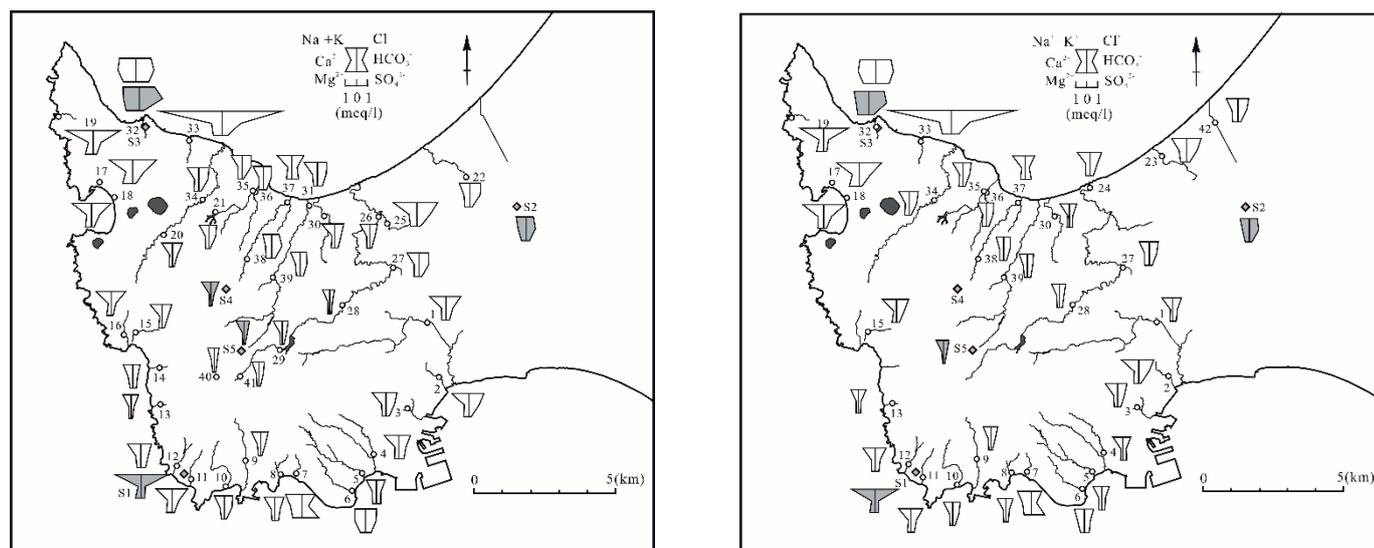


図4 男鹿半島の河川水のヘキサダイアグラムの分布(左図;1回目の調査結果,右図;2回目の調査結果).

も高 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 河川水が分布する地域に属していることが示された。

主要成分の化学組成比の関係を見るために、パイパー・トリリニアダイアグラムを作成した。図3の左側(A)に1回目の調査で得られた結果を用いて作成したダイアグラムを示し、2回目の調査結果については右側の図(B)で示した。また図中では、河川水試料のプロットを白色の丸で、参照試料水(湧水)のプロットは灰色の菱形で表示した。

パイパー・トリリニアダイアグラムのプロット分布をみると、1回目と2回目の調査結果でデータプロットの位置に若干のずれが認められる試料もあったが、多くの場合、プロット間のずれは小さなものであり、溶存成分比に大きな変化が生じていないことが示されていた。そのため、図3の左右のダイアグラムを比較してみても、プロットの分布範囲に大きな違いは認められない。

さらに、それぞれのプロットについて細かくみると、左下の三角プロット内に示された陽イオン組成比では、プロットが $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ の頂点から左斜め上方向に向けて、ある程度の幅を持ちつつ、線上に分布していることが分かる。このことから、陽イオンの相対組成については $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ の存在割合の差異が、プロットの違いを生み出す主な要因となっていることが分かる。一方、陰イオンの組成比をみると、相対的には Cl^- のコーナーにプロットが寄って分布しており、また SO_4^{2-} の割合がさほど大きくないことが示されているが、陽イオン組成比に比べるとプロットの位置にはばらつきが目立つ。

一方、陽イオンと陰イオン両者の組成比が投影される中央のキーダイアグラムをみると、今回得られた試料の大半がダイアグラムの右半分の第IV領域にプロットされていることがわかった。

一般的にキーダイアグラムにおいて、浅層の地下水や河川水は第I領域に、やや深部まで浸透した地下水はII(あるいはVa)領域にプロットされることが多いとされる⁽¹⁷⁾。これに対してIV領域にプロットがくる場合、その主な原因として考えられるのは海水や温泉水など相対的に塩分濃度の高い水の混入である。

図3中には、海水の化学組成(文献値⁽¹⁰⁾)を星型のプロットで示したが、試料のプロットとの位置関係からみても、本地域の河川水は海水成分の混入の影響を受けた結果、第IV領域の化学組成比を獲得するに至ったと考えるのが妥当であるように思われる。

次に水質の平面的な分布を明らかにするために、各地点におけるヘキサダイアグラムを作成し、それを地図上にプロットした。夏～秋季における結果を図4の左側に、冬季における結果を図4の右側の図に示した。また図中、河川水試料のヘキサダイアグラムを白色で、参照試料水の水質については灰色で表示した。

ヘキサダイアグラムの分布より、地域ごとに総塩分濃度(ダイアグラムの面積に反映)も水質タイプ(ダイアグラムの外形に反映)も様々であることが示されている。しかし、ここまで述べてきたように、溶存成分の中でも Na^+ と Cl^- に富む水が多いことから、全体的に見た場合にはダイアグラムの外形

が逆三角形に近い形をとるものが多い。例外的なものとしては西黒沢 (No.32) があり, Ca^{2+} と HCO_3^- に富み, 結果, 男鹿半島ではほとんど見られない水質タイプを示す。ただし, No.32 に関しては, 採水地点のすぐ上流側に西黒沢湧水 (S3) が湧出し, この S3 が Ca^{2+} および HCO_3^- に富んだ水であるため, 河川水質に大きな影響を与えた可能性が高いことが分かる。また No.32 や S3 が分布する西北端地域に関しては, 半島内の他の地域の水質と比べても, 明らかに溶存成分量の多いことが示されており, いずれの水もダイアグラムの占める面積が大きいことが一つの特徴となっている。

その他のダイアグラムに関しては, 地理的に近い採水地点同士であれば, 濃度・水質タイプに類似性が認められる。また, 類似した水質タイプの分布範囲にも緩やかではあるが地域性が認められた。ちなみに, 今回, 参照用試料として採水した湧水と河川水とでダイアグラムを比較した場合, 前述の S3 や南西側に位置する S1 の様に, 周辺の河川水と比較して水質や濃度に違いが認められるものがある一方で, S2, S3, S5 では, 周辺地域の河川水との間に明瞭な違いが認められず, 同様な水質が示された。

採水時期の違いによるヘキサダイアグラムを比較する (図 4)。調査地点によっては若干, 水質 (外形) が変化している地点も存在はしているが, 水質分布の傾向を変えてしまうほどの変化は生じておらず, 季節の違いによる化学組成の変化の影響が大きなものではないことが確認される。

5. 考察

得られた結果を用いて簡単な考察を行う。最初に本地域の河川水質を特徴づけている, Na^+ と Cl^- の起源に関して考察を行う。前項でも述べたように, トリリニアダイアグラムのプロットの分布の関係から河川水中の高い Na^+ および Cl^- 濃度の要因が海水の成分にあると推察した。そこで, これら 2 成分の関係を明らかにするために試料水の Na^+ および Cl^- 濃度を軸にグラフを作成した (図 5)。図中, 実線で示してあるのは海水の Na^+/Cl^- 比である。また, 温泉排水混入の影響が考えられる No.33 の試料については除外して作図した。

図 5 より, 試料水の Na^+ 濃度と Cl^- 濃度の間には高い相関関係が存在しており, また全ての試料が海水の Na^+/Cl^- 比のラインに沿っている。一般に水に溶存している Cl^- については海水や温泉水などの特殊な事例を除けば, 自然界, 特に地層や岩石中には

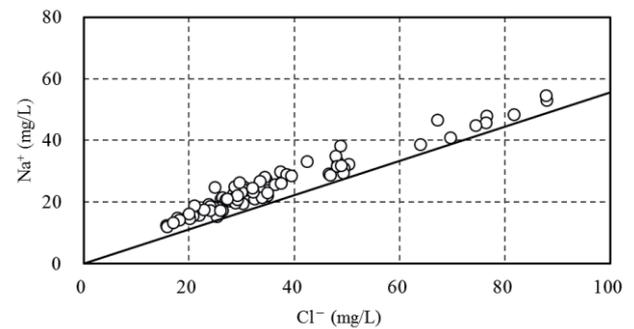


図 5 河川水試料の Na^+ と Cl^- の関係。

ほとんど含まれていないことが知られている⁽¹⁰⁾。一方の Na^+ に関しては, 岩石中にも含まれている成分であり, 海水や温泉水の混入の他に, 地層中を移動する過程でも水に付加される可能性のある成分である。図 5 において河川水試料の Na^+/Cl^- 比は, Na^+ が高いものの海水のそれと傾きは良く一致する。よって, 本研究で得られた試料中には温泉や人為由来の Cl^- はほとんど含まれておらず, Cl^- の起源の大半を海水に求めても問題ないと考えられる。つまり, 男鹿半島の河川水に含まれる高い Cl^- 濃度は, 海面から風の作用によって巻き上げられ, 陸域に運搬されてくる風送塩^{(10),(17)}によって供給されたものと考えられる。

また, 試料のプロットがすべて海水の Na^+/Cl^- 比の線の上側に位置することから, Na^+ についても溶存成分量の大半は, Cl^- 同様に風送塩によってもたらされたものであるが, 降水が地下に浸透し流動する過程で, 一部が岩石などからの供給を受けた結果, 試料水の Na^+/Cl^- 比が海水の比率よりも僅かに高くなったものであると考えれば, データを合理的に説明することが可能である。

ここまでの考察で風送塩による影響を考えることで, 試料水に含まれる Na^+ と Cl^- の起源についての説明が可能であることが示された。そこで今, 河川水に含まれる Cl^- が全て海塩 (風送塩) 由来であると仮定した場合, その他の成分についても, 海水の溶存成分比率⁽¹⁰⁾を用いることで海塩起源分の濃度を差し引くことが可能である。

$$x_{nss} = x_{samp} - \left(Cl_{samp} \cdot \frac{x_{sea}}{Cl_{sea}} \right) \quad (1)$$

ここに, x_{nss} はあるイオン種 (x) の非海塩由来成分量 (nss; non-sea salt), x_{samp} は河川水試料の対象としたイオン種 (x) の濃度, Cl_{samp} は河川水試料中の塩化物イオン濃度, x_{sea} は対象としたイオン種の海水中

における濃度, Cl_{sea} は海水の塩化物イオン濃度を示している. 式 (1) に従って, それぞれの試料の Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , の非海塩由来成分を算出してみた (ただし, 温泉水や湧水の影響を強く受けたと思われる No.32 と No.33 については除外). その結果, Na^+ は $1.4 \sim 9.9 \text{ mg/L}$ (平均 5.2), K^+ は $0.1 \sim 3.9 \text{ mg/L}$ (平均 1.4), Mg^{2+} は $0.5 \sim 8.8 \text{ mg/L}$ (平均 2.3), Ca^{2+} は $2.6 \sim 21.0 \text{ mg/L}$ (平均 7.1), そして SO_4^{2-} は $1.6 \sim 66.0 \text{ mg/L}$ (平均 9.8) となった. これは, 溶存成分中 Na^+ であれば, 約 $62 \sim 94\%$ が海塩由来であることを示すものであり, 以下同様に, K^+ ; $18 \sim 92\%$, Mg^{2+} ; $25 \sim 73\%$, Ca^{2+} ; $4 \sim 23\%$, SO_4^{2-} ; $8 \sim 84\%$ となった. SO_4^{2-} については, 試料毎の濃度差が大きく, 平均値が 9.8 mg/L であるにも関わらず, 非海塩由来成分の最大値が 66 mg/L (No.7) となる試料もあった. これは, SO_4^{2-} の起源について, 成分の大部分を海塩由来で説明できてしまう河川水もある一方で, それ以外の起源 (例えば岩石由来など) による寄与を考える必要のある河川水も存在するなど, 試料ごとの差が大きい成分であることを示すものである. その他の成分については概ね, 非海塩由来成分濃度が同程度の値を取るという結果が得られた. また, 非海塩由来成分でみた場合, 陽イオンの主体が Na^+ から Ca^{2+} へと変わる試料が多いことも分かった.

ここで, 採水を 2 回行った試料の濃度についても考察を行う. 同地点において 2 回の採水を行った試料については, 濃度の差が認められ, イオン種にもよるが, Na^+ や Cl^- など, 1 回目と 2 回目とで 10 mg/L 以上も濃度が異なる場合があることが分かっていた (表 1). これらの試料についても式 (1) で計算した非海塩由来成分濃度を用いて比較をしておくと, 両者の値は完全には一致しないものの, 濃度差は小さくなり, 同程度の値をとることが確認できる. このことから, 採水時期によって生じている濃度の違いは, その原因の多くは海塩由来成分にあることが示唆された. すなわち, 河川水試料に含まれる海塩由来成分の割合が時期によって変化することが, 河川水の溶存成分濃度を変える要因の一つになっていることが明らかになった.

夏季～秋季の試料と冬季の試料で比較した場合, 夏季～秋季試料の方が高い溶存成分濃度を示す河川が多い. 一般的に, 日本海側の場合は冬季の風の強い時期に, 偏西風により多量の風送塩を陸域に運搬すると考えられているが, これは河川水試料の濃度が示した傾向とは一致していない. このことは, 風

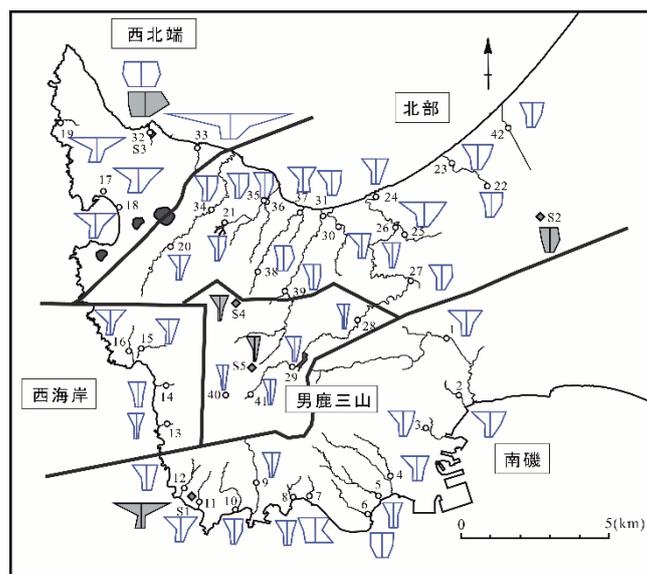


図 6 男鹿半島の河川水質の水質区分図.

送塩が陸域に運ばれた後に, ただちに河川水の水質に影響を与えているのではなく, 降雨などに溶け込み, 地下へと浸透し, 河川へと移動していく過程の中で, 時間的なずれが生じていることを示唆する結果ではないかと考えている.

男鹿半島における河川水の水質分布の区分図を作成し, 図 6 に示した. 図では, 2 回の調査で得られたヘキサダイアグラムをまとめて表示してあるが, 同じ採水地点で 2 回の採水を行った河川については, 1 回目の結果を表示している. 今回の調査によって明らかとなった水質タイプの特徴の違いから, 本地域の河川水質を 5 つのエリアで区分した. 以下で, それぞれのエリアの特徴について述べる.

まず西北端エリアについては, 全体的に溶存成分濃度が高く, また, エリア内に湧出する温泉水や湧水の影響を受けて, 他のエリアでは見られないような水質を示す河川が分布しているエリアである. 本エリアの河川水が他エリアと比べても高い Na^+ および Cl^- 濃度を示す要因の一つとしては, 比較的狭い範囲の陸地の北側と南西側の双方を海に囲まれていることもあり, 男鹿半島の中でも風送塩の影響を最も強く受けた結果と考えられる.

次に, 北部エリアと南磯エリアについてであるが, この 2 つのエリアについては, 溶存成分濃度や水質などが比較的, 似ているものが多い. ただし (1) 北部エリアの水のほうが, HCO_3^- 濃度の存在割合が大きい水が多く, (2) 南磯エリアは, 地理的に近い場所であっても, 水質タイプの異なる水が認められるなど, 水質のバリエーションが大きなエリアである

ことから、2つのエリアに区分することとした。南磯エリアについては、表層地質も変化に富んでおり(図1)、そのような違いの影響が、水質にも現れているのではないかと考える。

男鹿三山エリアは全採水地点中最も溶存成分濃度の低い水が分布するエリアである。本エリアでは湧水も2ヶ所採水しているが、それらの水についても河川水と同様の水質を示していた。高標高地域であることもあり、風送塩の運搬量が少なく、また降雨が浸透した後に河川水として出てくるまでの時間や距離が短くなることなどから、低い溶存成分濃度を保ったのではないかと考える。

西海岸エリアの水質の特徴は、海岸付近であるにも関わらず溶存成分濃度が低い点である。ヘキサダイアグラムの外形(水質タイプ)でみれば、すぐ北側に位置する西北端エリアのNo.17やNo.18や、男鹿三山エリアの水と似ていると言えなくもないが、溶存成分濃度に差があった点と、地形・地質・水系を考慮して、エリア区分を行った。海に面しているエリアで溶存成分濃度が低くなった要因については不明な部分も多いが、このエリアについては東方の男鹿三山側が急崖地形となっていることもあり、水の涵養域が狭い範囲にしか存在し得ない地形となっている。また、涵養域が狭いことを意味しており、そのような要因が溶存成分濃度を低く抑えることに影響を与えた可能性があるのではないかと考える。

4. まとめ

本研究では、男鹿半島の河川水を対象に、その水質および水質分布を明らかにすることを目的として採水調査を実施した。得られた主要化学組成に見られる関係などを用いた考察より、以下の結果が得られた。

- (1) 本地域の河川水質の主体となっている成分は Na^+ および Cl^- である。その濃度は高いところでは 30mg/L を超える地点もあり、秋田県内の河川水と比較してもより高濃度の Na^+ および Cl^- を含有する河川水が分布する地域であるといえる。
- (2) 溶存される Na^+ と Cl^- の起源は、その大半が風送塩に由来するものであると考えることができる。
- (3) 河川の水質にみられる特徴と分布域の違いから、男鹿半島を5つのエリアに区分することができた。

謝辞

本研究で行われた水試料の分析に際しては、秋田県産業技術センターの遠田幸生氏に様々にご協力頂きました。また、フィールドワークを行う現場では男鹿市の地域住民の皆様にご協力と情報提供を賜りました。匿名読者の方には数多くの有益なご指摘を頂き、本報告の改善に大いに役立ちました。以上の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 平川久美子(1995): 寒風山山麓における湧泉の分布と利用, 秋大地理, 42巻, 25-30頁.
- (2) 平川久美子(1997): 秋田県寒風山における湧泉の分布と湧出特性, 秋大地理, 44巻, 9-14頁.
- (3) 平川久美子(1998): 秋田県寒風山における湧泉の湧出特性, 秋大地理, 45巻, 1-8頁.
- (4) 古橋恭子, 西川治, 松葉谷治, 白石建雄, 石山太三(2008): 秋田県男鹿半島北岸の湯本断層沿いに産出する石灰華および温泉の同位体地球科学的研究, 温泉科学, 58巻, 1号, 3-13頁.
- (5) 藤岡一男(1959): 5万分の一地質図幅「戸賀・船川」および同説明書, 地質調査所, 61頁.
- (6) 的場保望, 白石建雄, 白田雅郎, 岡本金一(1989): 日本の地質2「東北地方」, 共立出版, 158-163頁.
- (7) 藤本幸雄, 林信太郎, 渡部晟, 栗山知士, 西村隆, 渡部均, 阿部雅彦, 小田嶋博(2008): 地学教育の素材としての男鹿半島, 地質学雑誌, 第114巻, 補遺, 51-74頁.
- (8) 鹿野和彦, 大口健志, 柳沢幸夫, 栗田泰夫, 小林紀彦, 佐藤雄大, 林信太郎, 北里洋, 小笠原憲四郎, 駒澤正夫(2011): 地域地質研究報告5万分の1地質図幅「戸賀及び船川地域の地質(第2版)」, 地質調査総合センター, 127頁.
- (9) 秋田県建設部建設政策課(2016): 秋田県の土地利用【土地利用に関する現況】, 第2章, 1-20頁.
- (10) 半谷高久, 小倉紀雄(1995): 水質調査法 第3版, 丸善株式会社, 335頁.
- (11) 川原谷浩, 石山大三, 松葉谷治, 世良耕一郎(2007): 秋田平野を流れる旭川の河川水の地球化学的特徴, NMCC共同利用研究成果報文集14, 170-176頁.
- (12) 川原谷浩, 石山大三, 世良耕一郎(2008): 秋田市太平川の溶存成分および懸濁成分の特徴と水質形

成機構, NMCC 共同利用研究成果報文集 15, 28-35 頁.

(13) 川原谷浩, 石山大三, 世良耕一郎(2009): 秋田平野主要河川の主化学成分と微量成分の特徴, NMCC 共同利用研究成果報文集 16, 76-85 頁.

(14) 島野安雄, 肥田登(2001): 名水を訪ねて (54) 秋田県の名水ーカ水・出壺・滝の頭湧水などー, 地下水学会誌, 43 巻, 3 号, 215-227 頁.

(15) 島野安雄(2002): 鳥海山山麓およびその周辺地域における湧水の水文化的研究, 文星紀要, 14 号, 17-40 頁.

(16) 島野安雄, 肥田登(2006): 六郷扇状地における地下水の水質特性, 秋田大学教育文化学部研究紀要, 61集, 1-11頁.

(17) 日本化学会編(1992): 陸水の化学, 学会出版センター, 69-78頁.