

## 新潟県五頭山西麓の湧水と水文地質構造について

中川 勉\*<sup>1</sup>・渡部直喜\*<sup>2</sup>・柚原雅樹\*<sup>2</sup>・徐 輝竜\*<sup>2</sup>

**Hydrogeology and hydrochemistry of spring waters  
from the western slope of the Gozu mountain in Niigata Prefecture**

by

Tsutomu NAKAGAWA\*<sup>1</sup>, Naoki WATANABE\*<sup>2</sup>, Masaki YUHARA\*<sup>2</sup>  
and Xu Huilong\*<sup>2</sup>

### (abstract)

Groundwater circulation was investigated by means of natural spring waters in the western slope of the Gozu mountain which is located in 20km east away from Niigata City and is composed of mainly Cretaceous granitic rocks. There is a tectonic line of NNE-SSW direction along the western foot of this mountain. Over the 120 water samples were collected from the western slope of this mountain and surrounding area. We found Ca-HCO<sub>3</sub> type spring waters having higher concentration than other spring waters along similar elevation of 300 to 500 meters above sea level.  $\delta^{18}\text{O}$  values of these Ca-HCO<sub>3</sub> type waters are lower than other waters in surroundings. Such lower values suggest that Ca-HCO<sub>3</sub> type waters are derived from the higher recharge area and are formed by dissolution of plagioclase during longer circulation than others. These indicate that Ca-HCO<sub>3</sub> type waters having lower  $\delta^{18}\text{O}$  values are discharging along the fault fractures of NE-SW direction and are different from the circulation of other groundwaters.

Keywords: the Gozu mountain, Oxygen isotope, fault fracture zone, hydrogeology,  
groundwater, spring water, hydrochemistry

キーワード: 五頭山, 酸素同位体, 断層破砕帯, 水文地質, 地下水, 湧水, 水質

### 1 は じ め に

五頭山塊は、新潟市の東方約20kmに位置する(図-1)。五頭山塊と新潟平野は新発田-小出構造線(山下, 1970; 山下ほか, 1982)と呼ばれる断層破砕帯によって境されている。したがって、五頭山西麓地域は、断層破砕帯近傍における水文地質構造の調査研究に適している。地下水の流動過程や水系を把握する指標として、安定同位体比は水文地質学の分野に欠かせない手法となっている。山地の降水には酸素同位体比の高度効果がみられるので、天水起源の地下水・湧水についてその平均涵養標高や流動過程の識別が可能となる。本研究の目的は、五頭山塊西麓の湧水調査によって、五頭山地

\*<sup>1</sup> 関東天然瓦斯開発株式会社

\*<sup>2</sup> 新潟大学積雪地域災害研究センター

及び断層破碎帯近傍の地下水流動過程を把握することにある。湧水の水質・酸素同位体比から、断層破碎帯近傍に位置する本地域の地下水流動は、地形条件のみならず地質構造に規制されていることが明らかとなったので簡単に報告する。

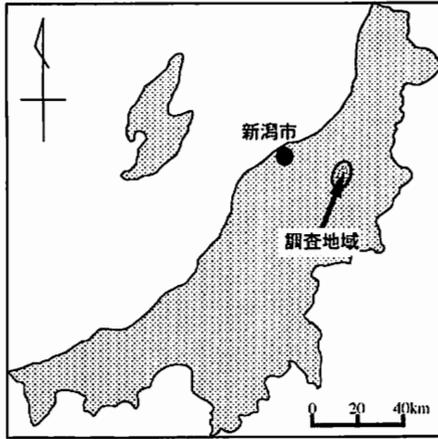


図-1 調査地域位置図

## II 地形の概略

五頭山塊は、主として花崗岩からなる南北約20km、東西約12kmの山地であり、南から、菱ヶ岳(974m)、五頭山(912m)、松平山(953m)のピークが連なる(図-2)。五頭山塊の西側斜面は、400~500mの等高線付近に地形変換点をもち、これより上位は急峻な地形をなし、下位はこれより上位に比してやや緩慢な地形をなす。一方、五頭山塊の西方にある笹神丘陵は起伏量約100mであり、五頭山塊との地形的差異は著しい。五頭山塊と笹神丘陵の稜線はどちらも北北東-南南西方向に連なる。

笹神丘陵と五頭山塊の間に位置する村杉低地帯は、新発田-小出構造線が地形的に最も明瞭に表れている地域の一つである。河川はこの構造線に直交する西北西-東南東の方向に流れている。これらの流路は村杉低地帯で同じ方向に屈曲し、その形状から本地域の新発田-小出構造線が見かけ上、左横ずれの成分を伴う断層運動を被っているかのように見える。

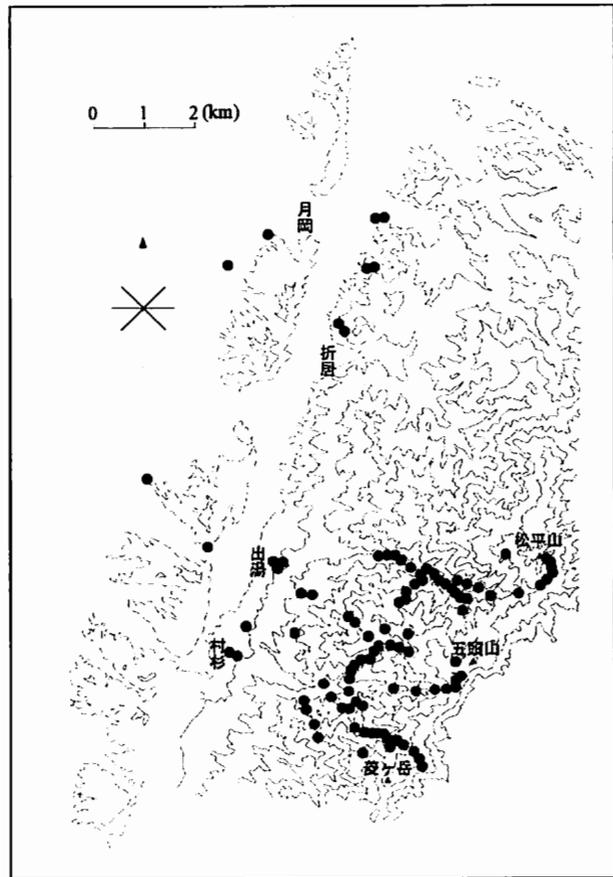


図-2 調査地域の地形と水試料の採取地点(黒丸)

### Ⅲ 地質の概略

本調査地域は、ほぼ全域が花崗岩類で構成されており、山頂部と山塊の西側に第三系が小規模に分布する（図-3）。調査地域に分布する地質について、以下にその概要を述べる。

五頭山塊は、主として白亜紀の花崗岩類より構成される。Rezanov et. al. (1996)は93.6MaのRb-Sr全岩アイソクロン年代を報告している。Sasada(1975)は、五頭花崗岩類を山塊の西斜面を構成する黒雲母アダメロ岩と東斜面の斑状角閃石黒雲母アダメロ岩に分類した。前者には、アプライト・ペグマタイト脈が卓越する。

山頂部には、中新世の山ノ神層が小規模に分布する。山ノ神層は、礫岩・アルコース砂岩及び泥岩から成る。

山塊の西側には、花崗岩類を不整合に覆う鮮新世の大日層が小規模に分布する。今板地域では、断層によって三方を花崗岩に境されて分布する。大日層は砂岩・シルト岩と礫岩からなる。

笹神丘陵は、主に頁岩からなる中新世の魚岩層及び鮮新世の大日層とそれらを不整合で覆う第四紀の笹神層などから構成される。五頭山塊を含む笹神丘陵周辺地域の地質の詳細については、笹神団体研究グループ(1980, 1982)を参照されたい。

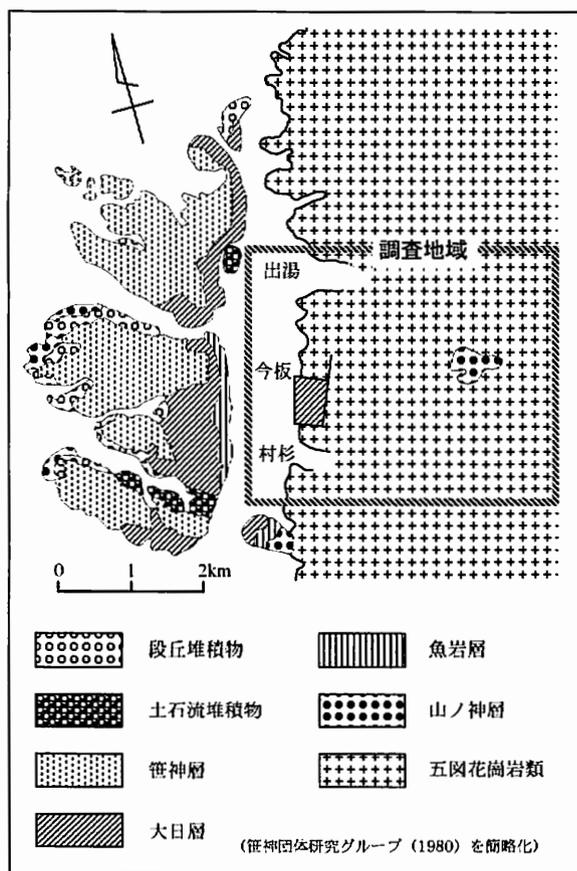


図-3 調査地域周辺の地質図

#### IV 調査方法

五頭山塊西麓の溪流に沿って、自然湧水を高度差約50m毎に250mlずつ採取した。水試料の採取と同時に電気伝導度・水温を測定した。本報告では五頭山塊西麓で得た湧水を「五頭山塊湧水」と呼ぶ。

新発田-小出構造線の一部をなす月岡断層近傍には、村杉・今板・出湯といった温泉が存在する。これらの温泉も250mlずつ採取し、上と同様に電気伝導度・水温は現地で測定した。これらを「温泉水」と呼ぶ。

笹神丘陵周辺地域の低地にも湧水が存在する。調査及び試料採取は上と同様である。これらを「低地湧水」と呼ぶ。

図-2の黒丸は水試料の採取地点を示す。

#### V 室内分析

室内における化学分析には全て新潟大学積雪地域災害研究センター設置の分析機器・装置を使用した。以下に分析方法の概要を述べる。

水質分析は、主要イオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) について行った。 $\text{HCO}_3^-$ は0.02N-HClを用いた滴定によるアルカリ度で近似した。その他のイオンはイオンクロマトグラフ分析装置で分析した。

酸素同位体比の測定は、安定同位体比測定用質量分析計で行った。測定方法は渡部(1998)に従った。測定値は標準平均海水(SMOW)との偏差の1000分率を $\delta$ (‰)値で表す。測定精度は、 $\pm 0.1$ ‰である。

分析結果を表-1に示す。

表-1 分析結果

サンプル	採水地	水系など	標高 (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	Cl (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{SO}_4$ (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)
1	五頭山	魚止めの滝	205	-9.40	92.5	12.4	7.0	35.2	7.9	n.d.	7.3	7.6	0.5	1.5	8.9
2	五頭山	大荒川林道	240	-9.09	56.3	19.4	6.7	13.4	9.9	0.3	2.9	7.7	0.2	1.2	2.1
3	五頭山	大荒川	255	-9.23	53.2	16.1	6.7	13.8	7.5	0.9	4.0	6.0	0.3	1.1	3.2
4	五頭山	大荒川	260	-9.24	61.2	14.8	7.0	21.5	7.4	1.3	3.4	6.8	0.6	1.2	3.5
5	五頭山	大荒川	265	-9.25	50.0	13.4	6.7	13.4	7.7	3.6	2.7	5.8	0.5	1.0	2.6
6	五頭山	大荒川	265	-9.35	77.4	12.4	7.0	31.7	7.0	0.4	4.6	6.8	0.5	1.3	7.2
7	五頭山	大荒川	265	-9.28	38.6	13.8	6.7	9.4	7.1	0.7	2.2	5.2	n.d.	0.7	1.2
8	五頭山	大荒川	270	-9.23	45.1	15.4	6.6	11.8	7.4	1.7	3.4	5.9	0.2	1.1	2.1
9	五頭山	大荒川	275	-9.23	50.8	17.5	6.9	12.9	6.9	1.2	3.4	5.4	0.3	1.0	2.8
10	五頭山	大荒川	280	-9.16	52.9	15.4	6.9	12.4	9.0	n.d.	3.1	7.3	0.4	0.9	1.5
11	五頭山	大荒川	285	-9.41	72.2	12.9	7.2	27.8	6.9	1.5	3.0	6.6	0.6	1.2	6.1
12	五頭山	大荒川	320	-8.90	61.7	13.8	6.8	33.8	6.4	0.5	3.9	5.9	0.7	1.0	4.9
13	五頭山	大荒川	320	-8.97	53.3	13.7	6.9	34.6	7.0	0.9	3.7	5.9	0.7	1.0	3.2
14	五頭山	大荒川	320	-9.26	49.2	13.1	6.3	25.7	5.5	1.5	2.5	5.4	0.7	1.2	3.3
15	五頭山	大荒川	325	-8.11	39.5	17.9	7.0	20.3	3.3	0.9	3.4	4.9	0.6	0.8	2.1
16	五頭山	大荒川	330	-8.25	36.2	15.8	6.2	17.8	3.8	n.d.	4.2	4.3	0.3	1.0	1.7
17	五頭山	大荒川	340	-9.43	58.8	12.2	7.0	30.3	6.8	1.5	3.4	5.8	0.7	1.2	4.0
18	五頭山	大荒川	340	-9.52	71.5	14.0	7.2	39.7	6.6	0.3	2.2	5.8	0.7	1.1	7.4
19	五頭山	大荒川	350	-9.15	47.9	16.9	6.5	16.8	5.5	5.2	3.1	4.6	0.4	0.9	2.8
20	五頭山	大荒川	365	-9.27	49.8	13.8	6.7	23.8	6.7	7.3	2.6	5.1	0.8	1.3	3.9
21	五頭山	大荒川	390	-9.30	72.7	14.5	6.2	29.7	5.3	2.4	2.9	5.4	0.8	1.4	7.4
22	五頭山	大荒川	410	-9.21	48.5	12.7	5.8	15.6	6.6	n.d.	4.1	5.8	0.7	1.1	2.3
23	五頭山	大荒川	480	-9.40	68.9	12.4	6.4	26.6	6.3	1.2	3.3	5.2	0.7	1.9	5.0
24	五頭山	大荒川	520	-9.66	79.7	13.4	6.5	31.9	5.8	n.d.	8.1	7.4	0.5	0.6	8.3
25	五頭山	大荒川	525	-9.68	86.8	12.3	6.6	40.1	5.5	n.d.	8.9	7.5	0.4	0.5	9.8
26	五頭山	大荒川	685	-9.30	52.6	10.6	6.2	20.3	5.0	1.8	3.6	4.8	0.4	1.2	3.9
27	五頭山	大荒川	700	-9.83	69.0	11.0	6.6	35.8	4.9	1.1	2.3	4.9	0.6	1.8	6.9
28	五頭山	大荒川	775	-9.63	58.3	11.6	6.6	24.6	5.5	1.8	2.3	4.6	0.5	1.5	4.9
29	五頭山	大荒川	815	-9.68	24.6	13.6	5.9	9.2	3.5	n.d.	2.3	3.1	0.4	0.5	1.0
30	五頭山	大荒川	820	-9.55	30.2	10.5	5.7	10.7	4.0	1.8	2.1	3.1	1.1	0.7	1.0

E.C.: 電気伝導度

表-1 分析結果 (つづき)

サンプル	採水地	水系など	標高 (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	E.C. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	$\text{HCO}_3$ (mg/l)	Cl (mg/l)	$\text{NO}_3$ (mg/l)	$\text{SO}_4$ (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)
31	五頭山	大荒川	860	-9.84	36.6	8.9	5.9	15.1	4.5	1.1	1.4	3.5	1.0	0.7	1.3
32	五頭山	大荒川	860	-9.85	32.9	7.9	6.1	11.1	4.4	1.2	1.5	3.4	1.0	0.8	1.3
33	五頭山	大荒川上流	930	-9.29	28.8	15.0	5.5	6.3	4.0	0.3	2.0	3.0	0.2	0.6	1.1
34	五頭山	大荒川上流	910	-9.62	23.2	16.0	5.8	12.1	4.0	n.d.	1.4	3.5	0.2	0.4	0.7
35	五頭山	大荒川上流	920	-9.55	24.3	12.7	5.8	10.9	4.2	n.d.	1.6	3.5	0.2	0.5	0.8
36	五頭山	大荒川上流	900	-9.44	24.3	15.8	6.0	9.7	4.2	n.d.	1.8	3.6	0.2	0.4	0.7
37	五頭山	松平山登山道	875	-9.71	24.6	12.5	5.1	4.8	4.8	n.d.	1.6	3.6	0.1	0.5	0.4
38	五頭山	シナクラ沢	340	-8.99	81.3	18.3	7.2	39.7	5.9	1.0	3.2	6.0	0.7	1.7	8.6
39	五頭山	シナクラ沢	365	-9.34	49.5	13.3	6.4	11.5	7.2	0.9	2.5	5.3	0.7	0.9	2.3
40	五頭山	シナクラ沢	430	-9.32	47.2	15.1	7.0	14.3	6.0	1.1	2.4	5.8	0.4	1.0	2.0
41	五頭山	シナクラ沢	440	-9.38	45.5	16.1	6.8	13.1	6.2	0.7	2.7	5.9	0.5	1.0	1.8
42	五頭山	シナクラ沢	475	-9.28	28.5	17.9	6.4	6.5	5.1	2.6	7.7	3.9	0.1	0.6	0.5
43	五頭山	シナクラ沢	500	-9.17	28.9	16.6	6.2	10.9	4.6	n.d.	3.1	3.6	0.2	0.7	0.6
44	五頭山	シナクラ沢	545	-9.29	35.4	12.0	5.9	11.4	4.6	3.0	3.4	3.9	0.4	1.0	0.7
45	五頭山	コクラ沢	390	-8.57	36.6	15.6	6.2	17.8	3.3	2.8	2.6	3.7	0.6	0.8	1.9
46	五頭山	コクラ沢	410	-8.55	41.6	16.7	6.7	14.9	4.6	1.4	2.7	4.4	0.7	1.0	2.4
47	五頭山	コクラ沢	410	-8.42	33.2	14.0	6.8	17.4	4.1	0.0	3.5	3.7	0.5	0.7	1.5
48	五頭山	コクラ沢	420	-8.52	37.6	15.0	6.6	12.6	4.2	2.2	3.3	4.4	0.6	0.8	1.5
49	五頭山	コクラ沢	450	-9.17	54.7	11.1	6.8	22.8	5.9	1.0	2.8	4.8	0.7	1.1	4.4
50	五頭山	コクラ沢	460	-8.59	31.2	9.8	6.6	12.6	9.3	n.d.	2.9	3.3	0.3	0.7	1.7
51	五頭山	コクラ沢	460	-8.94	54.6	14.3	6.9	19.8	4.7	n.d.	6.3	5.4	0.6	1.0	4.4
52	五頭山	コクラ沢	540	-8.68	27.2	18.8	5.8	8.0	2.8	2.9	3.4	3.1	0.1	0.5	1.1
53	五頭山	出湯周辺	80	-8.98	59.3	6.6	6.7	13.0	8.1	2.1	3.1	6.6	0.5	1.0	2.2
54	五頭山	出湯周辺	80	-8.72	57.2	7.5	6.7	10.9	10.1	0.8	3.5	7.7	0.9	1.0	1.7
55	五頭山	出湯周辺	80	-8.62	51.6	8.1	6.4	8.5	9.0	1.2	5.1	7.2	0.6	1.0	1.0
56	五頭山	村杉登山道	180	-8.67	76.4	21.1	5.7	9.0	10.6	5.4	3.4	8.2	0.7	0.8	1.3
57	五頭山	村杉登山道	545	-9.49	33.3	19.1	6.0	7.7	4.4	0.8	1.7	3.7	0.1	0.6	1.0
58	五頭山	村杉登山道	625	-9.41	36.2	12.6	5.6	13.9	5.4	n.d.	2.7	4.9	0.3	0.7	0.7
59	五頭山	村杉登山道	190	-9.20	59.5	15.4	6.5	20.4	8.9	2.2	2.6	7.1	0.9	1.1	2.8
60	五頭山	砂郷沢	390	-9.64	119.1	12.7	7.1	59.3	6.7	0.2	7.7	7.2	0.9	2.4	14.3

E.C.: 電気伝導度

サンプル	採水地	水系など	標高 (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	E.C. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	$\text{HCO}_3$ (mg/l)	Cl (mg/l)	$\text{NO}_3$ (mg/l)	$\text{SO}_4$ (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)
61	五頭山	砂郷沢	450	-9.38	42.7	14.8	7.0	12.3	7.1	1.6	2.2	5.5	0.6	0.7	1.8
62	五頭山	砂郷沢	590	-9.29	32.8	12.5	6.0	6.9	5.2	0.5	3.0	4.4	0.4	0.6	0.7
63	五頭山	札山沢支流	235	-9.36	107.0	15.1	7.5	56.0	8.7	n.d.	2.3	8.4	0.9	2.3	11.5
64	五頭山	札山沢支流	250	-9.12	76.6	10.6	6.6	23.3	10.4	0.9	2.8	7.4	0.8	1.4	4.9
65	五頭山	金山沢支流	280	-9.11	50.8	13.3	5.9	13.7	8.4	2.0	3.8	6.7	0.8	0.9	1.9
66	五頭山	金山沢支流	290	-9.11	61.8	16.6	6.1	21.3	7.4	1.0	2.7	6.4	0.7	1.3	3.7
67	五頭山	金山沢	305	-9.06	41.6	19.4	6.9	23.7	5.7	n.d.	3.2	4.5	0.2	0.8	5.5
68	五頭山	金山沢	310	-9.10	53.2	13.9	6.5	21.8	6.5	2.6	4.2	6.7	0.7	1.0	2.5
69	五頭山	金山沢	310	-9.15	65.8	14.4	6.3	24.9	7.7	n.d.	3.3	6.1	0.5	1.1	5.5
70	五頭山	金山沢	315	-9.29	63.5	21.3	6.6	26.5	7.6	0.2	2.7	6.1	0.6	1.0	5.8
71	五頭山	金山沢	350	-9.25	52.7	18.5	6.1	23.7	5.8	0.2	3.1	5.3	0.4	1.3	4.0
72	五頭山	金山沢	360	-9.29	52.3	15.3	6.3	21.0	6.0	1.5	3.0	5.4	0.5	1.2	3.6
73	五頭山	金山沢	410	-9.21	49.7	15.2	6.0	17.9	6.0	0.2	3.5	5.9	0.6	1.0	2.4
74	五頭山	金山沢	430	-9.76	76.9	11.1	7.0	45.3	5.2	n.d.	2.7	5.9	0.7	1.1	8.8
75	五頭山	金山沢	515	-9.28	52.7	15.9	6.6	20.8	5.4	0.3	3.3	4.5	0.5	1.1	4.8
76	五頭山	金山沢	535	-9.42	43.0	13.2	6.2	19.6	5.6	0.5	2.8	4.7	0.7	0.8	2.5
77	五頭山	金山沢	560	-9.21	39.8	12.7	6.4	11.6	4.9	0.7	3.5	4.4	0.6	0.8	2.0
78	五頭山	長助湧水	580	-9.21	34.8	11.1	5.6	10.6	5.5	1.6	2.9	4.9	0.4	0.7	0.9
79	五頭山	五之峰山麓	805	-9.61	32.4	10.9	5.6	12.6	4.8	3.6	1.8	3.6	0.5	0.7	0.7
80	五頭山	安野川	220	-9.23	42.5	15.6	5.9	6.5	7.7	0.8	1.7	5.7	0.4	0.8	1.6
81	五頭山	小倉沢	290	-9.26	61.0	14.5	6.2	23.2	6.6	1.5	2.3	6.2	0.4	0.9	4.6
82	五頭山	小倉沢	430	-9.42	54.9	10.9	6.3	20.1	5.2	1.4	2.7	5.1	0.8	0.9	4.0
83	五頭山	小倉沢	545	-9.40	35.8	11.8	6.0	14.3	3.4	1.6	2.8	3.9	0.6	0.7	1.7
84	五頭山	小倉沢	670	-9.86	48.6	13.5	6.2	19.3	4.0	2.2	3.1	4.8	0.6	0.8	3.6
85	五頭山	小倉沢	730	-9.54	37.6	11.1	6.2	13.7	3.4	1.7	3.3	3.7	0.4	0.8	2.3
86	五頭山	小倉沢	795	-9.06	27.2	11.5	5.6	8.2	3.3	2.4	2.1	3.0	0.3	0.6	0.9
87	五頭山	小倉沢	840	-9.68	27.2	13.2	5.4	6.3	3.2	1.8	2.4	3.0	0.4	0.6	0.8
88	五頭山	小倉沢	880	-9.56	28.1	9.0	5.5	8.2	3.7	2.2	1.9	3.3	0.2	0.7	0.8
89	五頭山	内野沢	220	-9.04	62.5	16.3	6.4	19.6	9.7	0.6	3.0	7.4	0.6	1.3	3.1
90	五頭山	内野沢	260	-9.09	64.2	14.0	6.4	19.8	7.1	1.9	3.3	6.4	1.0	1.3	4.1

E.C.: 電気伝導度

表-1 分析結果 (つづき)

サンプル	採水地	水系など	標高 (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	E.C. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	$\text{HCO}_3$ (mg/l)	Cl (mg/l)	$\text{NO}_3$ (mg/l)	$\text{SO}_4$ (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)
91	五頭山	内野沢	320	-9.34	58.5	10.8	6.1	14.7	9.3	0.4	3.5	7.3	0.8	0.9	2.4
92	五頭山	内野沢	410	-9.57	48.9	12.9	6.2	14.2	6.1	1.8	2.4	5.5	0.5	0.6	2.2
93	五頭山	安野川	250	-9.48	113.2	14.5	6.3	47.8	7.8	n.d.	7.1	9.3	0.9	1.0	13.8
94	五頭山	安野川	310	-9.53	58.5	17.5	6.1	16.8	6.1	2.7	3.1	6.3	0.9	1.0	5.1
95	五頭山	安野川	315	-8.93	46.6	15.1	6.1	18.8	3.9	1.4	4.2	4.9	0.6	1.1	5.0
96	五頭山	安野川	320	-9.47	82.7	11.1	6.3	38.5	6.7	0.8	3.1	6.2	0.8	1.3	9.5
97	五頭山	安野川	410	-9.36	74.5	14.7	6.3	33.2	5.2	0.7	3.6	5.2	1.0	1.9	8.8
98	五頭山	安野川	430	-9.18	60.8	11.9	6.3	22.3	5.5	1.4	3.6	4.9	0.8	1.3	5.6
99	五頭山	安野川	460	-9.20	61.4	11.8	6.2	21.7	7.4	0.3	3.3	5.3	1.1	1.3	4.9
100	五頭山	安野川	490	-9.32	62.0	16.2	6.1	38.6	4.3	1.1	3.4	4.7	0.9	1.3	6.9
101	五頭山	安野川枝沢	320	-9.39	59.8	11.8	6.0	19.3	6.3	1.5	3.1	5.6	0.9	1.2	4.4
102	五頭山	安野川枝沢	350	-9.52	80.6	11.4	6.5	37.1	6.1	0.6	2.5	5.7	0.8	1.6	11.3
103	五頭山	安野川枝沢	390	-9.41	64.8	14.5	6.1	30.9	5.7	2.8	2.8	5.4	0.8	1.4	7.5
104	五頭山	安野川	510	-9.61	38.2	13.4	5.8	11.5	3.9	0.6	5.3	5.0	0.7	0.9	2.3
105	五頭山	安野川	550	-9.40	51.7	11.9	6.2	18.3	4.8	0.9	4.4	5.0	0.6	1.3	3.6
106	五頭山	安野川	565	-9.26	45.2	13.2	6.1	9.9	5.6	1.6	4.4	4.9	0.6	1.1	2.5
107	五頭山	安野川	590	-9.63	53.2	11.2	6.1	15.9	5.4	1.9	3.6	4.7	0.6	1.2	4.0
108	五頭山	安野川	630	-9.37	60.3	10.2	6.2	21.8	7.0	0.9	3.0	5.5	0.7	1.5	4.3
109	五頭山	安野川	695	-9.41	37.5	12.1	6.0	12.4	3.7	1.1	4.2	4.5	0.5	0.9	1.6
110	五頭山	安野川	715	-9.63	41.5	9.7	5.8	14.3	4.9	1.1	3.0	4.4	0.5	0.9	2.1
111	五頭山	安野川	750	-9.47	40.9	11.2	6.0	15.4	3.9	1.7	3.2	4.2	0.6	0.8	2.4
112	五頭山	安野川	770	-9.57	40.4	10.1	6.1	14.7	3.6	1.9	3.0	4.0	0.5	0.8	2.7
113	五頭山	安野川	790	-9.69	25.8	13.4	6.0	11.4	2.7	0.2	3.2	3.3	0.4	0.5	1.1
114	五頭山	安野川	810	-9.62	29.3	11.2	5.8	14.1	3.2	1.3	3.3	3.5	0.4	0.7	1.5
115	五頭山	安野川	850	-9.58	30.0	10.8	5.7	15.1	4.0	1.4	3.0	3.8	0.5	0.5	1.6
116	五頭山	安野川	915	-9.67	32.0	9.6	5.3	7.4	4.6	4.2	2.3	3.6	0.3	0.7	1.3
117	五頭山	菟清水	680	-9.61	34.8	13.9	5.9	16.2	5.8	0.9	2.0	4.6	0.6	0.7	1.7
118	村杉温泉			-9.53	510.0	25.2	7.0	0.5	12.7	n.d.	186.1	66.6	1.9	0.6	35.5
119	村杉温泉			-9.62	536.0	25.2	7.2	0.5	12.6	n.d.	199.8	70.6	1.9	0.5	39.1
120	村杉温泉			-9.71	504.0	25.6	7.1	0.6	12.5	n.d.	196.8	71.1	1.8	0.5	38.8

E.C.: 電気伝導度

サンプル	採水地	水系など	標高 (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	E.C. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	$\text{HCO}_3$ (mg/l)	Cl (mg/l)	$\text{NO}_3$ (mg/l)	$\text{SO}_4$ (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)
121	村杉温泉			-9.57	486.0	25.0	6.8	0.5	12.2	n.d.	186.3	66.6	1.8	0.5	36.2
122	村杉温泉			-9.67	488.0	25.0	6.9	0.5	12.4	n.d.	191.3	67.7	2.1	0.6	36.7
123	村杉温泉			-9.61	487.0	25.0	7.0	0.5	12.5	n.d.	194.5	68.5	2	0.4	38.2
124	村杉温泉			-9.62	474.0	24.3	6.6	0.5	12.7	n.d.	194.5	68	2.5	0.5	37.7
125	村杉温泉			-9.58	467.0	24.4	7.3	0.5	13	n.d.	178.2	65	2.3	0.5	37.2
126	村杉温泉			-9.62	465.0	24.7	7.2	0.5	12.6	n.d.	177.8	68	2	0.5	37.1
127	村杉温泉			-9.62	465.0	23.4	7.2	0.5	14.3	n.d.	180.3	64.3	3.1	1	35.3
128	出湯温泉			-9.68	564.0	37.3	8.6	0.4	10.9	n.d.	234.9	69.5	3	n.d.	56.9
129	今板温泉			-9.67	1169.0	18.8	8.0	1.1	180.4	n.d.	290.7	228.7	5.7	1.9	45.1
130	岩瀬の清水		5	-8.75	77.0	13.3	5.5	11.4	10.5	4.8	3.7	7.5	1.3	1.8	2.0
131	岩瀬の清水		5	-8.58	74.6	14.4	5.6	11.4	10.5	4.9	3.3	7.4	1.2	1.8	2.0
132	岩瀬の清水		5	-8.76	70.0	13.8	5.7	11.4	10.3	4.8	3.4	7.4	1.2	1.7	2.2
133	岩瀬の清水		5	-8.74	68.9	15.4	5.6	13.1	10.4	4.4	3.6	7.3	1.3	1.7	2.0
134	岩瀬の清水		5	-8.75	84.3	15.0	5.4	17.4	11.7	4.8	7.4	9.4	1.4	2.4	2.8
135	岩瀬の清水		5	-8.63	69.0	14.3	5.7	12.1	10.2	4.5	3.4	7.3	1.3	1.8	2.2
136	岩瀬の清水		5	-8.66	67.2	13.3	5.6	14.3	10.1	4.0	3.4	7.2	1.2	1.7	2.0
137	岩瀬の清水		5	-8.69	67.5	12.6	5.7	11.2	11.9	4.2	3.6	7.3	3.0	1.8	2.2
138	岩瀬の清水		5	-8.61	68.0	12.2	5.5	12.6	10.5	4.7	3.7	7.3	1.1	1.8	2.1
139	薬師堂清水		60	-8.92	70.2	12.5	6.4	14.6	10.1	0.6	3.9	8.1	0.9	0.8	3.0
140	薬師堂清水		60	-8.89	68.2	13.2	6.5	18.3	9.8	0.5	4.2	8.3	0.9	0.8	3.3
141	薬師堂清水		60	-8.98	68.9	13.9	6.6	25.1	9.9	0.2	4.1	8.4	1.0	0.9	3.0
142	薬師堂清水		60	-8.65	60.3	13.8	5.5	12.5	9.5	2.5	4.2	7.8	1.1	0.9	2.9
143	薬師堂清水		60	-8.56	60.0	14.5	6.0	17.1	9.6	1.2	3.9	8.0	1.0	0.8	3.3
144	薬師堂清水		60	-8.92	65.1	14.0	6.2	17.4	9.5	1.0	3.8	8.2	1.1	0.8	3.5
145	薬師堂清水		60	-8.98	65.4	13.4	6.2	16.5	9.5	1.2	3.8	8.1	1.0	0.8	3.4
146	薬師堂清水		60	-8.86	61.2	11.6	6.4	12.8	9.5	1.8	3.7	7.5	1.0	0.9	3.1
147	薬師堂清水		60	-8.84	60.3	10.6	6.5	13.9	9.5	1.7	3.2	7.1	0.8	0.9	3.0
148	優姿堂清水		15	-8.74	361.0	14.5	7.6	166.7	6.0	n.d.	21.0	5.7	0.8	8.8	18.1
149	優姿堂清水		15	-8.80	328.0	13.8	7.5	165.4	6.0	n.d.	19.8	5.6	0.8	8.5	17.8
150	優姿堂清水		15	-8.72	381.0	14.4	7.3	180.6	5.9	n.d.	26.5	5.7	0.8	9.9	20.6

E.C.: 電気伝導度

表-1 分析結果 (つづき)

サンプル	採水地	水系など	標高 (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	$\text{HCO}_3$ (mg/l)	Cl (mg/l)	$\text{NO}_3$ (mg/l)	$\text{SO}_4$ (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)
151	優婆尊清水		15	-8.74	360.0	14.3	7.2	170.1	6.1	n.d.	24.6	5.6	0.8	9.6	19.7
152	優婆尊清水		15	-8.80	344.0	14.8	7.2	167.1	5.9	n.d.	20.9	5.6	0.7	8.8	18.3
153	優婆尊清水		15	-8.75	344.0	14.1	7.2	164.7	6.2	n.d.	22.6	5.7	0.8	9.1	18.8
154	優婆尊清水		15	-8.80	364.0	13.7	7.6	158.3	6.1	n.d.	24.4	5.7	0.8	9.7	20.2
155	優婆尊清水		15	-8.80	344.0	12.8	7.6	160.7	6.2	n.d.	21.1	5.5	0.8	9.2	18.7
156	礼光湧水		-50	-8.65	70.6	12.7	5.9	19.8	11.6	n.d.	2.5	8.6	1.1	1.0	1.5
157	礼光湧水		-50	-8.74	76.1	12.6	6.0	23.3	11.5	n.d.	2.6	8.6	1.1	1.5	2.2
158	礼光湧水		-50	-8.69	81.7	12.6	5.8	22.1	11.6	n.d.	2.6	8.8	1.2	1.5	2.3
159	礼光湧水		-50	-8.69	66.5	12.7	5.8	24.9	11.5	n.d.	2.6	8.7	1.2	1.5	2.2
160	礼光湧水		-50	-8.65	73.3	13.5	5.8	18.4	11.4	n.d.	2.8	8.7	1.2	1.5	2.3
161	礼光湧水		-50	-8.69	72.7	12.5	5.9	18.4	11.1	n.d.	2.5	8.7	1.2	1.5	2.3
162	礼光湧水		-50	-8.77	78.2	12.1	5.9	17.0	12.8	n.d.	2.6	8.7	2.7	1.5	2.4
163	礼光湧水		-50	-8.76	74.5	12.3	6.0	19.6	28.2	0.1	2.7	8.5	18.1	1.6	2.4
164	採石場AKB		100	-8.50	90.7	14.2	6.4	20.3	15.2	1.4	1.8	10.3	1.1	1.4	3.7
165	採石場AKB		100	-8.79	63.9	13.5	6.6	15.1	10.5	n.d.	2.2	9.5	0.6	1.0	1.5
166	採石場AG			-9.08	223.0	23.8	7.9	104.3	10.1	n.d.	17.0	20.9	1.1	4.3	19.4
167	採石場AG			-9.03	208.0	23.5	7.9	96.1	10.3	n.d.	15.9	19.4	1.1	4.1	18.3
168	法正寺		15	-8.80	141.6	11.6	6.9	49.2	12.5	1.8	9.0	10.0	0.9	7.4	6.7
169	岩崎湧水		25	-8.81	86.0	11.6	6.4	24.3	13.2	1.2	2.8	9.4	1.4	2.3	3.6
170	低地の湧水		5	-8.19	70.7	12.4	5.6	18.3	10.5	0.6	3.8	8.4	1.4	1.5	1.5

E.C.: 電気伝導度

## VI 結果と考察

### VI-1. 地下水・湧水の季節変化

湧水の水質・水温等の季節変化をみるため、前述の「温泉湧水」と「低地湧水」のうち5ヶ所について、1ヵ月毎に試料を採取し、水質の変化を調査した。

調査期間は1998年6月から1999年5月である。その結果を図-4に示す。薬師堂清水については、水温と酸素同位体比に若干の変動がみられる。優婆尊清水の電気伝導度も他に比べるとわずかながら変動がみられる。これらを除けば、いずれのサンプルにおいても一年を通じて水温、電気伝導度、酸素同位体比に大きな変化は認められなかった。

降雨・降雪の同位体組成は、水蒸気団の発生時期や場所に影響を受け、大きく変動する。しかし、一般に地下水の同位体組成は季節変化が非常に小さく、一年中ほぼ一定の値である(例えば、早稲田・中井, 1983)。このことは降水が地下に浸透し、長期間滞留する間に十分に混合され、同位体組成が均質化されること

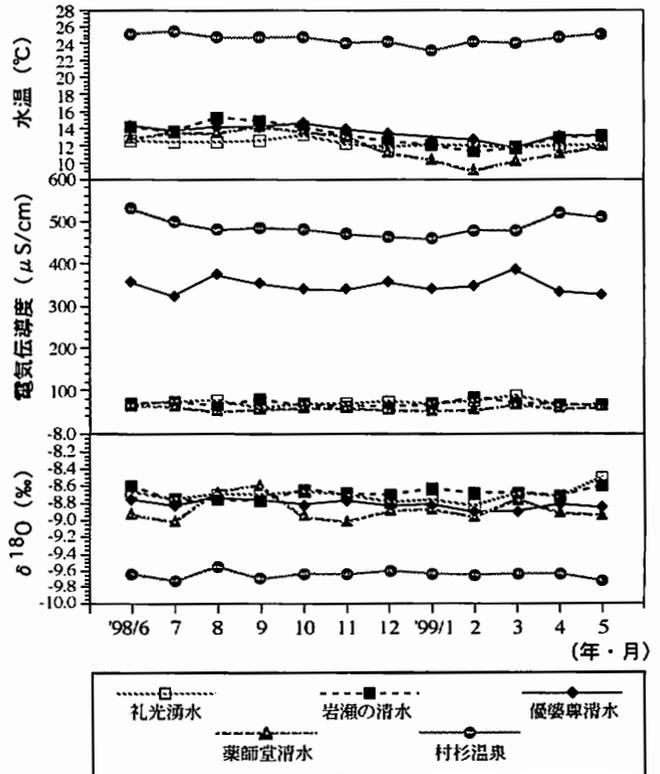


図-4

1998年6月~1999年5月の期間、定期的に採取した湧水・温泉水の水温、電気伝導度、酸素同位体比の変化

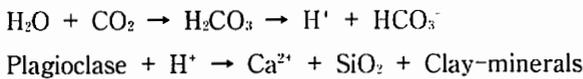
を示唆する。また、水谷・佐竹(1997)は、富山地域の主要河川水の水素・酸素同位体比を調査し、河川水においても河川の規模や流量の変化に関係なく同位体比の季節変化が小さいことを報告している。河川水の起源は流域に降った雨水や融雪水そのものではなく、流域周辺で涵養され、湧出した地下水が起源と考えられる。

湧水はいわば地下水の露頭であり、以上のことを考え合わせると、採水時期に留意しなくとも水文地質学的考察は可能と判断した。ただし、薬師堂清水にみられる酸素同位体比の若干の変動については、1998年8月の記録的な集中豪雨の影響があるものと考えている。

## VI-2. 五頭山塊湧水の水質

五頭山塊の湧水の主要イオンについてヘキサダイアグラムを作成すると、その形状からA～Cの3タイプに分類できる。Aタイプは、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ と $\text{Cl}^-$ に富むNa-Cl型であり、Cタイプは $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ に富むCa- $\text{HCO}_3$ 型である。BタイプはAとCの中間的な形状を示す。

大気中あるいは土壌ガス中の二酸化炭素ガスが地下水に溶解して生じた $\text{H}^+$ は、流動する過程で花崗岩体を構成する鉱物と反応する。Goldrichの風化系列を受け入れると、五頭花崗岩を構成する鉱物の中で斜長石が最も溶解しやすい。反応の結果として斜長石から $\text{Ca}^{2+}$ が溶出し、同時に反応によって消費された $\text{H}^+$ を補うために $\text{H}_2\text{CO}_3$ から $\text{HCO}_3^-$ イオンが生成される。以下に概念的な反応を示す。



A～Cの3タイプについてNaCl成分に着目すると、どれも $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ や $\text{Cl}^-$ の濃度に顕著な違いはみられない。pHについてみると、AタイプのpHは低く、CタイプのpHは高い傾向が見られる(図-5)。同様にAタイプの電気伝導度は低く、Cタイプのそれは高い傾向が見られる(図-6)。Cタイプは斜長石との反応が進行しているため $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ 濃度が高く、 $\text{H}^+$ は反応によって消費された(pHが高くなった)と考えられる。以上のことから、ヘキサダイアグラムの形状から分類されたA～Cの3タイプは、 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ の濃度の違いで説明できる。つまり、A～Cタイプの違いは、花崗岩との反応程度の違いを反映しており、Aタイプは花崗岩との反応の程度が小さいタイプ、Cタイプは反応が

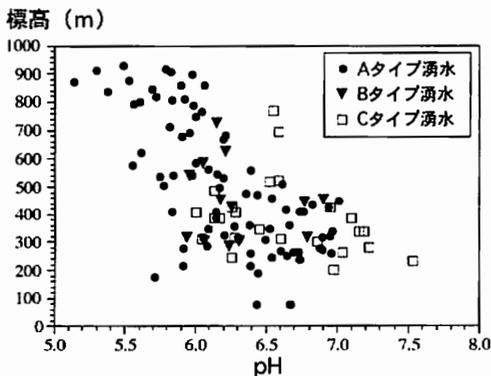


図-5 五頭山西麓における水質別湧水のpHと標高の関係

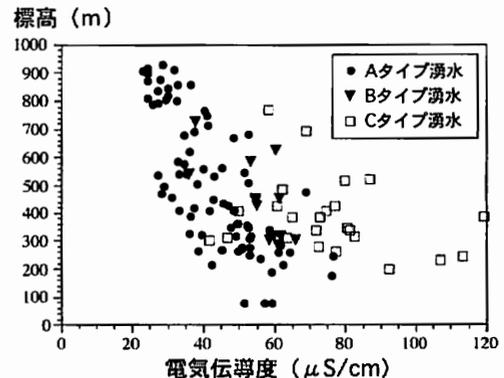


図-6 五頭山西麓における水質別湧水の電気伝導度と標高の関係

進行しているタイプである。BタイプはAタイプとCタイプの中間である。

ここで、Na-Cl型であるAタイプ湧水に注目してみよう。AタイプはCl濃度の増加に伴って電気伝導度も増加する。また、Aタイプは湧出地点の標高が高くなるほどCl濃度が減少する（図-7）。五頭山塊の地理的位置関係から、湧出地点が海から離れるにしたがってCl濃度が減少すると言い換えても良い。湧出地点の標高が高くなるにしたがって、あるいは湧出地点が海から離れるにしたがってCl濃度が減少する傾向にあることから、Clの起源は風送塩であると考えられる。

湧水地点と水質の関係をみると、地形変換点である山塊の中腹（高度約300～500m）にCタイプが集中して分布することがわかる（図-5、図-6）。このことについて、酸素同位体比のデータも含めて以下で考察したい。

### VI-3. 五頭山塊湧水の酸素同位体比

山地では、地形に沿って水蒸気団が上昇しながら連続的に降水をもたらす過程で同位体分別作用がはたらく。これによって、一連の降水では標高が高くなるにつれて酸素・水素同位体比が小さくなる。これを高度効果という。山頂付近の湧水と村杉低地帯及び笹神丘陵周辺の湧水の酸素同位体比から、五頭山塊西麓地域における降水の高度効果を見積もった（図-8）。この地域の高度効果は-0.25～-0.16/100m程度であると見積もられる。藤田(1997MS)は、新潟県東部の福島県境に位置する守門岳南西麓の湧水調査を行い、その酸素同位体比から、守門岳南西麓地域の高度効果を-0.15‰/100mと報告している。早稲田・中井(1983)は地表水の酸素同位体比から中部地方の高度効果を-0.25‰/100mと報告している。水谷・佐竹(1997)は河川水の酸素同位体比から富山地方の高度効果を-0.236‰/100mと報告している。Siegenthaler(1979)によると、中緯度地域における高度効果は-0.15‰～-0.40‰/100m程度である。本地域で見積もられた高度効果はこれらと矛盾しない。

ほとんどの湧水は湧出地点の標高に比して、より高い標高で涵養したので、それらの酸素同位体比は、高度効果の直線に比べて左側（同位体比の小さい側）にプロットされる（図-8）。高度効果の直線の右側あるいくつかの湧水は、1998年8月の記録的な集中豪雨の影響と考えられる。

図-9は、湧水の酸素同位体比（ $\delta$ 値）の等値線図である。大局的には、湧出地点の標高が高い湧

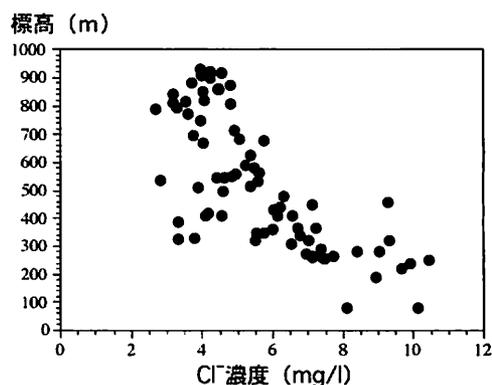


図-7 五頭山西麓におけるAタイプ(Na-Cl型)湧水の塩素イオン濃度と標高の関係

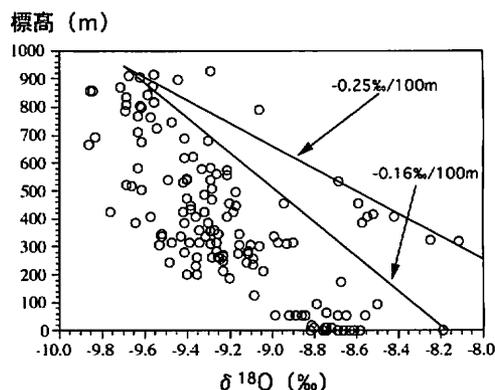


図-8 五頭山西麓における湧水の酸素同位体比と標高の関係

水ほど小さな酸素同位体比 ( $\delta$  値) を有する。しかし、厳密には地下水の流動経路の違いや  $\delta$  値の異なる地下水との混合によって、 $\delta$  値等値線は等高線と平行にならない。図-9 の  $\delta$  値等値線においては、周囲と不調和に小さな  $\delta$  値を持つ湧水が数カ所(網をかけた箇所)に存在する。この小さな  $\delta$  値を示す湧水は、周囲の湧水より高い標高で涵養した地下水であり、周囲の湧水とは地下水の流動経路が明らかに異なる。湧水の酸素同位体比 ( $\delta$  値) をみると、五頭山塊には、標高を反映した流動経路の浅い地下水と、標高のより高い場所で涵養し、より深く大きな流動経路の地下水がある。

$\delta$  値等値線図に湧水の水質を重ね合わせた (図-10)。周囲と不調和に小さな  $\delta$  値を持つ湧水は B タイプ・C タイプの湧水の分布とほぼ一致する。このことから、標高のより高い場所で涵養し、深く大きな流動経路の地下水は、地下での滞留時間も長くなるため、花崗岩との反応が進行し、 $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{HCO}_3^-$  の濃度が増加し、C タイプの水になったと考えられる。

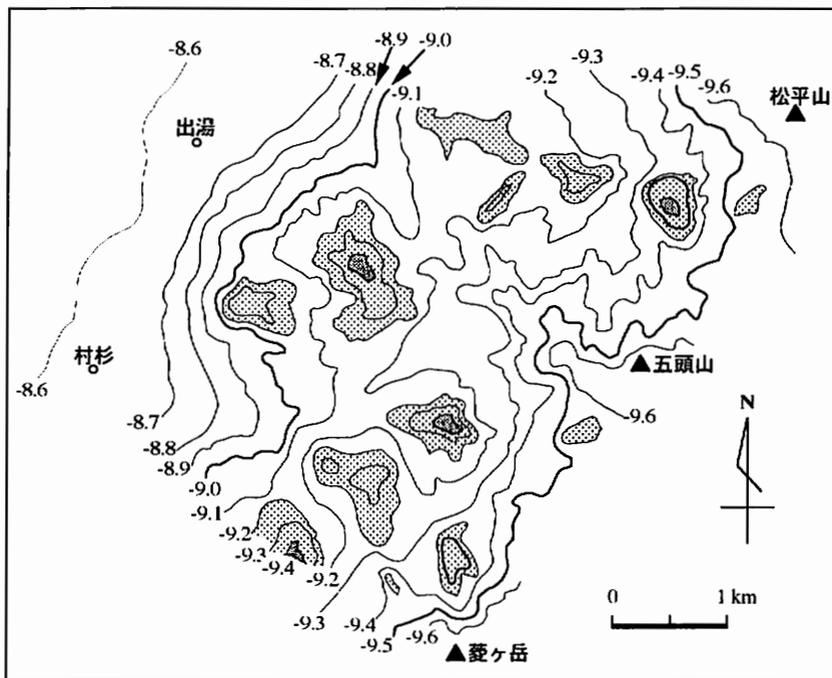


図-9 五頭山西麓における湧水の酸素同位体比等値線図。  
網をかけた部分は周囲の湧水と不調和に同位体比の小さい湧水が認められる箇所。

#### VI-4. Cタイプ湧水と五頭山塊の断層系

五頭山塊には、地形の中に小規模な浸食小起伏面が500m等高線より下位に多数発達する(笹神団体研究グループ, 1978)。村杉低地帯に沿う五頭山塊の麓は断層系・節理系が発達し、花崗岩採石場では、断層ガウジを直接観察できる。高橋(1998MS)は、これらの断層系をF1~F5の5系統に分類した。F1とF5が北北東-南南西方向の断層系である。F1は傾斜60~90° E、正断層左ずれの剪断センスを示し、F5は傾斜30~50° E、逆断層左ずれの剪断センスを示す。また、F5の断層系は鮮新世の大目層を切る。500m等高線より下位の地形的特徴と考え合わせると、500m等高線より下位の山麓は断層破碎帯の可能性が高い。Cタイプ湧水の湧出点が標高300~500mの緩傾斜地~地形変換点に集

中する。五頭山塊西麓の広範囲に分布するAタイプ湧水より高い場所で涵養し、深く大きな流動経路を持つCタイプ湧水の通路及び湧出口として、この付近にも北東-南西方向の断層系が発達すると考えられる(図-10)。

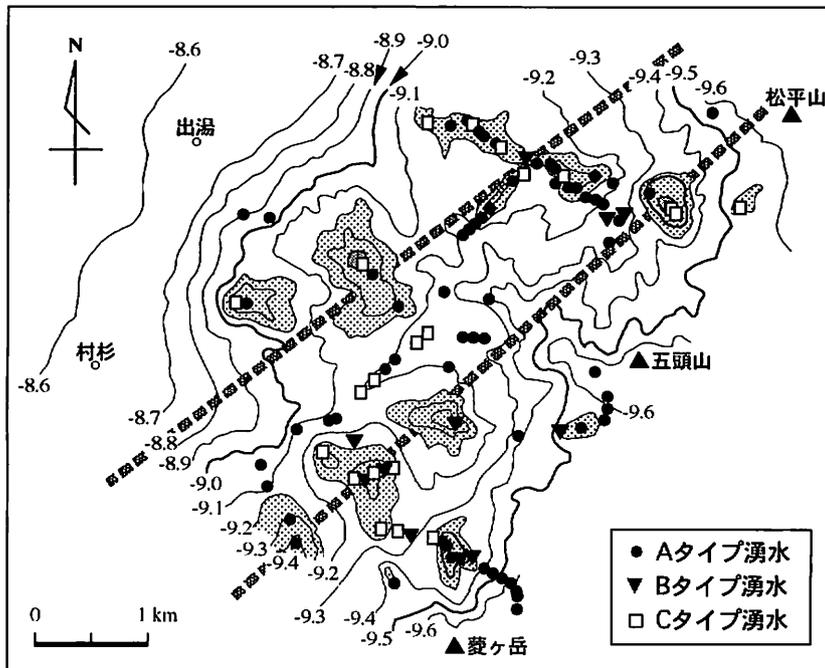


図-10 五頭山西麓における湧水の酸素同位体比等値線図上に湧水の水質を重ね合わせた図。  
太い破線で示した直線は推定される断層。

## Ⅶ ま と め

新潟県五頭山塊西麓地域において自然湧水の水温・水質・酸素同位体比を指標とした水文地質調査を行った。

- 1) 湧水の水質分析結果から、五頭山塊の湧水は大きくA～Cの3タイプに分類できる。AタイプはNa-Cl型、CタイプはCa-HCO<sub>3</sub>型、BタイプはAとCの中間型である。それぞれのタイプの水質は花崗岩との反応の程度の違いと風送塩の影響を考え合わせることで説明できる。
- 2) Aタイプ湧水は五頭山塊西麓の広範囲に分布する。Cタイプ湧水の湧出点は標高300～500mの緩傾斜地～地形変換点に集中する。
- 3) 山地の降水にみられる酸素同位体比の高度効果を利用し、五頭山塊の地下水の動態を解析した。五頭山塊には大きく分けて浅く流動経路を持つ湧水と比較的深く大きな流動経路を持つ湧水の2種類が存在する。その経路の違いによって花崗岩との反応程度に違いが生じ、異なる水質を形成している。
- 4) 比較的深く大きな流動経路を持つ湧水の水質はCタイプである。広範囲に分布するAタイプ湧水とは明らかに流動経路の異なるCタイプ湧水が標高300～500mの緩傾斜地～地形変換点に集中することから、この付近に北東-南西方向の断層の存在が示唆される。

## 謝 辞

新潟大学大学院自然科学研究科の豊島剛志博士，小林健太博士，新潟県巻土木事務所の高橋美穂氏には調査地域の地質構造についてご教示いただいた。特に現地における議論は有益であった。新潟大学名誉教授の植村武先生には文献や資料についてご教示いただいた。同大学積雪地域災害研究センターの佐藤修教授には水質分析や同位体比測定で便宜をはかっていただいた。以上の方々に記して感謝申し上げます。

## 参 考 文 献

- 藤田裕幸 (1997 MS) : 新潟県守門火山南西山麓の水文地質学的研究, 新潟大学理学部地質科学科卒業論文
- 水谷義彦・佐竹 洋 (1997) : 地下水かん養源の指標としての河川水の水素及び酸素同位体組成, *地下水学会誌*, **39**, 287-297
- Rezanov, I. A., Shuto, K. and Iizumi, S. (1996) : A Rb-Sr whole rocks isochron age of the Gozu Granite, Niigata Prefecture, central Japan. *Journal of Geological Society of Japan*, **102**, 829-831
- Sasada, M. (1975) : Petrological study of the Gozu Granitics Mass, Niigata Pref., central Japan. *Journal of Geological Society of Japan*, **81**, 407-422.
- 笹神団体グループ (1978) : 笹神丘陵の地質, *新潟県地学教育研究会誌*, **12**, 68-77
- 笹神団体グループ (1980) : 新潟平野東縁部・笹神丘陵の地質, *地球科学*, **34**, 119-137
- 笹神団体グループ (1982) : 笹神丘陵の第四系, *地球科学*, **36**, 240-260
- Siegenthaler, U. (1979) : Stable hydrogen and Oxygen isotope in the water cycle. *Lectures in Isotope Geology* (Jager and Hunziker, editors), Springer-verlag, 264-273.
- 高橋美穂 (1997 MS) : 新潟県五頭山塊北西部地域における花崗岩類の変形と熱水変質作用, 新潟大学理学部地質科学科卒業論文
- 早稲田周・中井信之 (1983) : 中部日本・東北日本における天然水の同位体組成, *地球化学*, **17**, 83-91
- 渡部直喜・柚原雅樹・佐藤 修・鈴木将之・中川 勉 (1998) : 新潟大学積雪地域災害研究センターにおける水試料の酸素同位体比測定, *新潟大学災害研年報*, **20**号, 105-110
- 山下 昇 (1970) : 柏崎-銚子線の提唱, *島弧と海洋*, 179-191
- 山下 昇・小坂恭栄・石垣和明 (1982) : 小出地方の新発川-小出構造線, *地団研専報*, **24**, 199-207