

五頭山地および笹神丘陵の天然水および 岩石のSr同位体比組成

柚原雅樹*¹・渡部直喜*¹・中川 勉*²・厨川亮子*³・高橋俊郎*³

**Sr isotopic compositions of natural waters and rocks from
the Sasakami Hills and the Gozu mountain.**

by

Masaki YUHARA, Naoki WATANABE, Tsutomu NAKAGAWA,
Ryoko KURIYAGAWA and Toshiro TAKAHASHI

(Abstract)

The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio, Rb and Sr concentrations were determined in natural waters and rocks collected from the Sasakami Hills and Gozu mountain. Based on Sr isotopic compositions, spring and river waters are divided into four groups: (1) : spring waters on the west of the Sasakami Hills (the Reiko spring and the Iwase spring), (2) : spring and river waters in the Gozu mountain (the Yakushido spring, the Anno river and the Oara river), (3) : geothermal waters (the Deyu hot spa and Murasugi hot spa) and (4) : the Ubason spring water. Chemical compositions of weathered granitic rocks from the Gozu mountain is characterized by extreme depletion of CaO, Na₂O, P₂O₅, Ba, Sr, Y, Zr and by moderate depletion of SiO₂, Al₂O₃, MgO, K₂O, Nb, Rb, V. FeO*, MnO and Cr contents are almost constant. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ratios are enriched by weathering. The Sr isotopic ratios of groups (2) and (3) suggest that Sr in these waters are derived from the Gozu granite during such weathering process. Sr isotopic ratio of the Ubason spring water (group (4)) having a lower value than other waters is nearly equal to value of plagioclase in the Gozu granite. This suggests that Sr in the Ubason spring water originated from plagioclase. Group (1) having higher Sr isotopic ratios may include Sr of another origin. Biotite, K-feldspar and plagioclase separated from one granite sample give Rb-Sr whole-rock and mineral isochron age of $93.7 \pm 1.0\text{Ma}$. This age indicates timing of cooling of the Gozu granite.

Keywords : Gozu mountain, Sr isotopic composition, Hydrological tracer, Weathering, Rb-Sr whole-rock and mineral isochron age

キーワード : 五頭山地, Sr同位体比組成, 水文トレーサー, 風化作用, Rb-Sr全岩-鉱物アイソクロン年代

*¹新潟大学積雪地域災害研究センター

*²関東天然瓦斯(株)

*³新潟大学大学院自然科学研究科

I はじめに

五頭山地は、新潟市の東方約20kmに位置し、主として白亜紀に形成された花崗岩からなる南北約20km、東西約12kmの山地である。中川ほか(1999)は、五頭山地西麓地域において、湧水を用いた水文地質学的研究を行い、その結果、湧水の水質が花崗岩との反応の程度や風送塩の影響の違いによって説明される3タイプに区分できること、降水の酸素同位体比の高度効果の利用により、浅い循環経路を通過した湧水と、深い循環経路を通過した湧水の2種が存在することを明らかにした。さらに、深い循環水の湧出点は、山地内に存在する断層に支配されていることも明らかにした。花崗岩との反応は、主として斜長石の溶解で説明されることも示している。

Sr同位体を水文トレーサーとした、地熱水の溶存成分の起源や水と岩石の反応過程の解析が、盛んに進められるようになってきた(例えば、Notsu et al., 1991, 佐藤・中野, 1994, 柚原ほか, 1998, 1999)。柚原ほか(1998)は、五頭山地の麓に湧出する出湯・村杉温泉のSr同位体比組成を報告し、温泉水の溶存Srが五頭山地を構成する花崗岩中の斜長石の溶解によりもたらされた可能性を示唆した。本報告では、その研究を発展させ、五頭花崗岩の全岩化学組成と五頭山地およびその西側に位置する笹神丘陵周辺の湧水と河川水、五頭花崗岩、断層岩、堆積岩のSr同位体比を測定し、花崗岩の風化にともなう組成変化と湧水の溶存Srの起源について考察する。

II 地質概説

五頭山地および笹神丘陵の地質については、笹神団体研究グループ(1980)により詳細な報告がなされている(図-1)。五頭山地は、白亜紀の五頭花崗岩と小規模な新第三系中・下部層によって構成され、笹神丘陵は新第三系中・上部層・第四紀層より構成される。五頭花崗岩は、アダメロ岩、斑状アダメロ岩、狭義の花崗岩、優白質花崗岩およびアプライトに区分される(Sasada, 1975)が、中粒塊状の黒雲母アダメロ岩～斑状普通角閃石黒雲母アダメロ岩が岩体の大部分を占める。新第三系・第四系は、下位より中新統の荒川層(三川層相当層)、山の神層(津川層)、魚岩層(七谷層)、羽黒層(寺泊層)、鮮新統の大日層(西山・七谷層)、更新統の笹神層(魚沼層)、段丘堆積層に区分される(笹神団体研究グループ, 1980)。このうち、五頭山塊には山の神層と大日層が小規模に分布するが、北部では荒川層、魚岩層が広く分布する。笹神丘陵には魚岩層より上位の地層が分布する。荒川層は、白色～紫白色の流紋岩質凝灰岩・溶結凝灰岩からなる。山の神層は礫岩・アルコーズ砂岩および泥岩よりなり、魚岩層は主として薄層理の発達した暗灰色硬質頁岩よりなる。羽黒層は暗緑色～黒色の塊状泥岩、大日層は主として砂質シルト岩よりなる。笹神層は、主に未固結あるいは固結度の極めて弱い砂層・シルト層・礫層の不規則互層から構成される。段丘堆積物は、細～大礫の亜角礫からなる礫層を主体とする。

花崗岩および第三紀堆積岩には様々な形態および色彩の断層岩が認められる。高橋(1998MS)、高橋ほか(1998)および厨川(1999MS)は、断層岩の色および鉱物組成の比較検討を行った。これらの研究によると、断層岩は、破砕片と、主に粘土鉱物からなる基質から構成される。断層岩は、その色彩から、白色、緑色、灰緑色、赤色、黒色に大分され、基質にはそれぞれの色に特徴的な鉱物組み合わせが認められる。白色断層岩の基質は、主にセリサイトやカオリナイトからなり、緑色断層岩の基質は、主にセリサイトから構成され、少量の緑泥石をとともなう場合もある。灰緑色断層岩は、緑泥石/スメクタイト混合層鉱物、緑泥石、セリサイトからなる。これらの白色、緑色、灰緑色断層岩

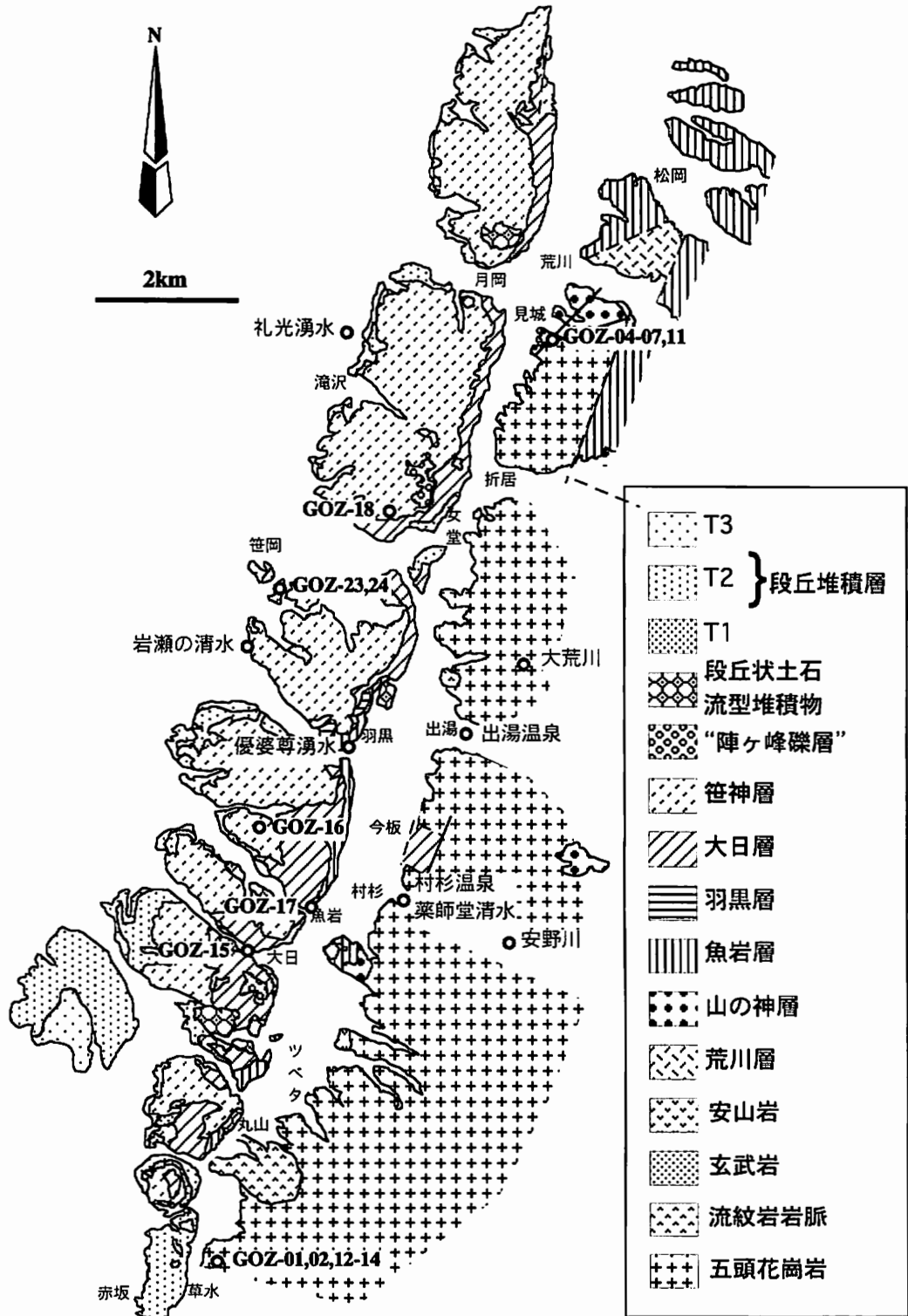
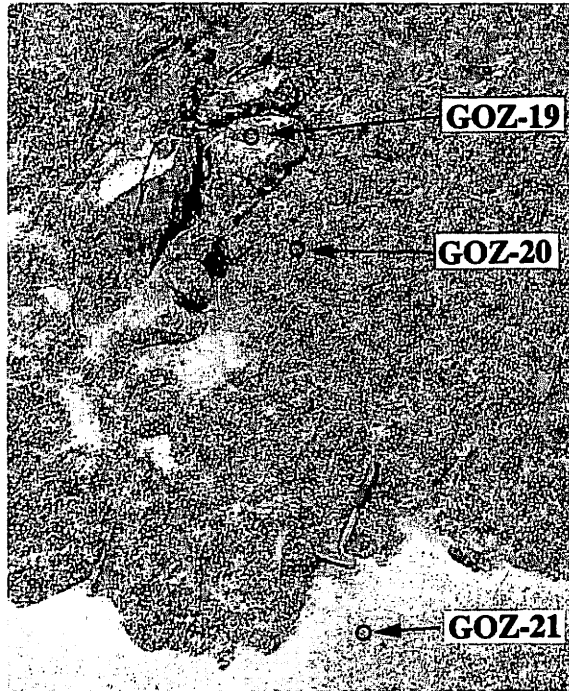
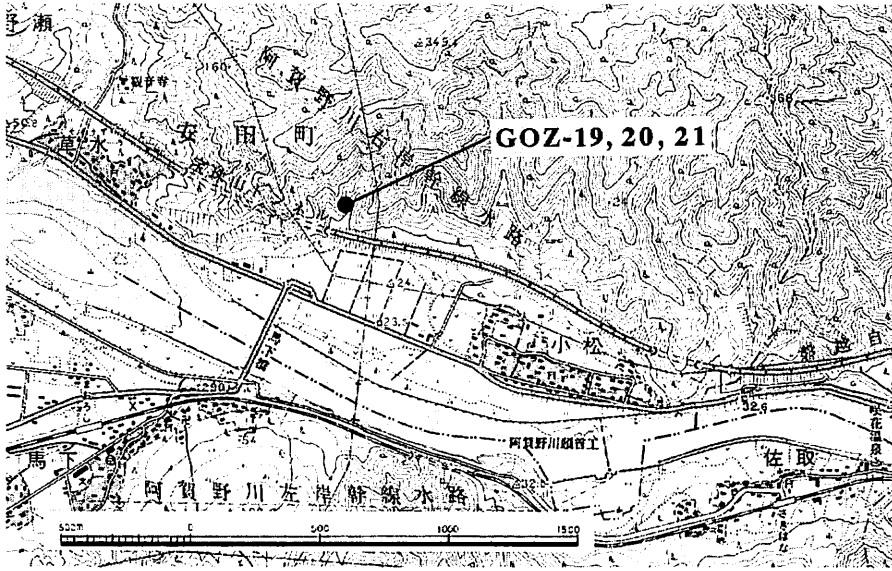


図-1 五頭山地西麓および笹神丘陵の地質および試料採取地点
(笹神団体研究グループ, 1980を修正)



図一 2 試料採取地点および露頭写真
 (国土地理院発行、2万5千分の1地形図「馬下」を使用)

中の粘土鉱物は、熱水との反応によって生成したものと考えられる。また、花崗岩および第三紀堆積岩の両方に認められる赤色断層岩および黒色断層岩の基質は、緑泥石/スメクタイト混合層鉱物、セリサイト、スメクタイトからなるが、赤色断層岩では赤鉄鉱が、黒色断層岩ではマンガン酸化鉱物が多量に含まれる。これらの鉄、マンガン酸化鉱物はその産状から、五頭山地の隆起に伴って、比較的酸素分圧の低い熱水と天水とが混合して、断層岩中に析出したものと推定される。

Ⅲ 試料および分析方法

Sr同位体比測定のため、五頭山地西麓から花崗岩、断層岩、湧水および河川水を、笹神丘陵周辺から湧水、堆積岩を採取した(図-1, 2)。五頭花崗岩からは、新鮮な試料(GOZ-01, 12, 19)と風化した試料(GOZ-13, 14, 20, 21)の両方を採取した。このうちGOZ-19, 20, 21は、同一露頭の風化核、風化部、マサ土である(図-2)。GOZ-01について、アイソダイナミックセパレーター、重液を用いて、黒雲母、カリ長石、斜長石を分離・精製した。ただし、斜長石と石英は分離していない。一般に、石英にはRb, Srはほとんど含まれないので、両者の混合物の同位体比は斜長石の値を反映する。断層岩のうち、花崗岩起源の赤色、灰緑色、(淡)緑色および黒色断層岩を採取した。採取した堆積岩は、魚岩層の頁岩、大日層の砂岩および泥岩、笹神層の砂岩および泥岩である。河川水は安野川および大荒川において採水し、湧水は礼光湧水、岩瀬の清水、優婆尊湧水、薬師堂清水において採水した。これらの湧水の水温、電気伝導度、酸素同位体比、イオン濃度は一年を通じてほぼ一定であり(中川ほか, 1999)、Sr同位体比組成の季節変動もほとんど無いと考えられる。

水試料は、不純物を除去するため0.45 μ mのメンブレンフィルターでろ過した。使用した水試料は同位体で100~140ml、定量で30~50mlである。水試料および岩石試料の試料調整、Rb・Sr抽出は、柚原ほか(1998)、Hamamoto et al. (2000)に従った。

Sr同位体比は、新潟大学理学部のMAT-262型質量分析計と同大学院自然科学研究科のMAT-261型質量分析計を用いて分析した。測定方法は、Miyazaki and Shuto (1998)に従った。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ で規格化した。Sr抽出におけるブランクは、Rb, Srともに1 ng以下であった(Hamamoto et al., 2000)。各試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は、同じ測定期間中に測定したSr同位体比標準試料NBS-987のSr同位体比を、0.710241に補正した値である。Rb, Srの定量は、 $^{87}\text{Rb}-^{84}\text{Sr}$ ミックススパイクを用いた同位体希釈法により測定した。アイソクロン年代および初生値は、York (1966)の方法により、 ^{87}Rb の崩壊定数： $1.42 \times 10^{-11}/\text{y}$ (Steiger and Jäger, 1977)を用いて計算した。計算には、川野(1994)のプログラムを使用した。この際、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ の測定誤差は0.5% (1σ)、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は0.01% (1σ)として計算した。得られた年代の誤差は、 2σ で示した。

五頭花崗岩については、新潟大学理学部の蛍光X線分析装置(RIX3000)を用い、主成分および微量元素の測定を行った。分析方法は、高橋・周藤(1997)に従った。

Ⅳ 測定結果

1. 五頭花崗岩の主成分および微量元素組成

五頭花崗岩の主成分および微量元素組成は、表-1に示した。新鮮な岩石は71.9~74.5wt%の、風化した岩石は71.5~71.8wt%の SiO_2 含有量を示し、両者の間に大きな違いは認められない。同一露頭のGOZ-19, 20, 21を比較すると、風化した岩石(GOZ-20, 21)の方が CaO 、 Na_2O 、Sr含有量が少なく、L.O.I.が大きい。

表-1 五頭花崗岩の主成分および微量元素組成

Sample No.	GOZ-01	GOZ-12	GOZ-13	GOZ-14	GOZ-19	GOZ-20	GOZ-21
SiO ₂	74.47	74.37	71.51	70.35	71.94	72.49	71.80
TiO ₂	0.17	0.15	0.30	0.27	0.22	0.22	0.28
Al ₂ O ₃	12.99	13.20	13.97	14.83	14.35	14.00	13.73
FeO*	1.39	1.32	2.40	2.08	1.80	1.75	2.16
MnO	0.05	0.04	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07
MgO	0.51	0.48	0.69	0.69	0.69	0.57	0.72
CaO	1.42	1.32	1.74	2.05	1.92	1.01	1.01
Na ₂ O	2.77	3.02	3.04	3.14	3.16	2.46	2.35
K ₂ O	4.97	4.89	4.08	4.27	4.34	4.02	4.34
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.11	0.09	0.07	0.03	0.04
L.O.I.	0.33	0.36	1.06	0.99	0.61	2.21	2.27
Total	98.79	98.84	97.90	98.83	99.16	98.82	98.77
Ba	377	261	447	424	672	536	524
Cr	5	7	9	9	8	9	10
Nb	5	8	11	9	9	8	9
Ni	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rb	160	190	170	162	153	147	170
Sr	169	137	323	252	274	174	161
V	17	15	35	27	28	21	27
Y	11	22	21	20	22	16	18
Zr	88	89	112	114	134	113	107

L.O.I. : Loss on ignition, n.d. : not detected.

2. 五頭花崗岩のSr同位体比組成

五頭花崗岩のSr同位体比組成は、表-2に示した。新鮮な岩石のSr同位体比は0.70734~0.71039であり、風化した岩石のSr同位体比は0.70735~0.70832であった。GOZ-20, 21は、GOZ-19に比べ、

表-2 五頭花崗岩のSr同位体比組成

Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)
GOZ-01	160	169	2.727	0.70884(1)
GOZ-01Bio	671	5.19	393.8	1.23006(5)
GOZ-01Kf	401	218	5.321	0.71213(1)
GOZ-01Pl	15.3	144	0.3075	0.70556(1)
GOZ-12	190	137	4.022	0.71039(1)
GOZ-13	170	232	2.113	0.70755(1)
GOZ-14	162	252	1.860	0.70735(1)
GOZ-19	153	274	1.615	0.70734(1)
GOZ-20	147	174	2.448	0.70796(1)
GOZ-21	170	161	3.067	0.70832(1)

Bio:biotite, Kf:K-feldspar, Pl:plagioclase

Sr同位体比および $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比が高い。

GOZ-01から分離した黒雲母、カリ長石、斜長石および全岩試料から、 $93.7 \pm 1.0\text{Ma}$ のRb-Sr全岩-鉱物アイソクロン年代を得た（図-3）。

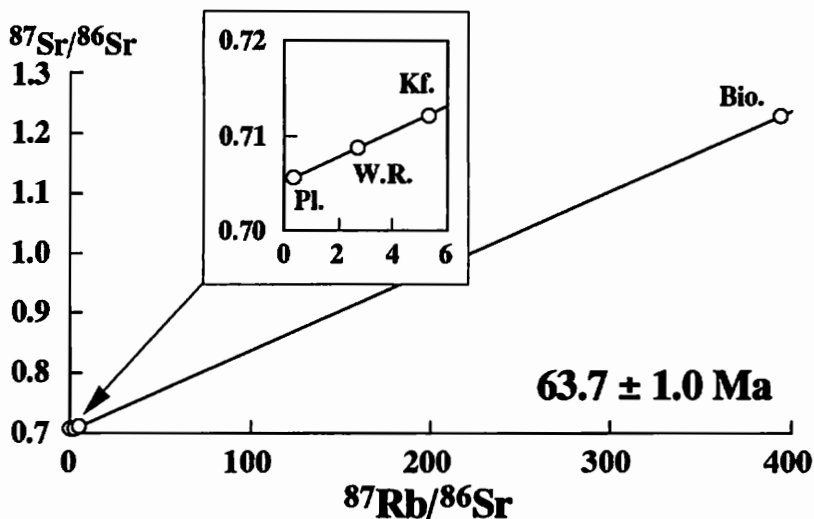


図-3 五頭花崗岩のRb-Sr全岩-鉱物アイソクロン図
Bio. ; 黒雲母, Kf. ; カリ長石, Pl. ; 斜長石, W.R. ; 全岩

3. 湧水および河川水のSr同位体比組成

村杉温泉となりの薬師堂清水のSr同位体比は、0.70742であり、笹神村羽黒の優婆尊の湧水は0.70547、同村山崎の岩瀬の清水は0.70847、豊浦町興野の礼光湧水は0.70866であった（表-3）。

大荒川の河川水のSr同位体比は0.70730、安野川は0.70720であり、両者はほぼ一致している。

表-3 温泉水・湧水・河川水のSr同位体比組成

Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(2\sigma)$
出湯温泉*	0.0209	0.461	0.1309	0.70663(1)
出湯温泉川上3号井*	0.0232	0.537	0.1252	0.70664(1)
村杉温泉*	0.0140	0.378	0.1068	0.70670(1)
薬師堂清水	0.00148	0.0236	0.1815	0.70742(2)
優婆尊	0.00117	0.132	0.02561	0.70547(1)
岩瀬の清水	0.00291	0.0240	0.3509	0.70847(1)
礼光湧水	0.000318	0.0304	0.03033	0.70866(2)
大荒川	0.00273	0.0204	0.3881	0.70730(4)
安野川	0.00107	0.0144	0.2139	0.70720(3)

*: 柚原ほか（1998）

4. 堆積岩

堆積岩のSr同位体比組成は、表-4に示した。魚岩層の泥岩のSr同位体比は、0.71356であり、大日層の砂岩・泥岩は0.70835と0.70787であった。笹神層の砂岩・泥岩は、0.70925~0.71207のSr同位体比を示す。

表-4 堆積岩のSr同位体比組成

Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	岩相
GOZ-15	93.9	147	1.846	0.70787(1)	大日層泥岩
GOZ-16	108	100	3.115	0.70925(1)	笹神層泥岩
GOZ-17	37.3	19.3	5.578	0.71356(1)	魚岩層泥岩
GOZ-18	85.8	151	1.639	0.70835(1)	大日層砂岩
GOZ-23	114	61.5	5.385	0.71207(1)	笹神層砂岩
GOZ-24	107	54.1	5.706	0.71189(2)	笹神層泥岩

5. 断層岩

断層岩のSr同位体比組成は、表-5に示した。断層岩のSr同位体比は、0.70855~0.71231であり、同じ岩相の断層岩でも、その値は変化に富む。最もSr同位体比の低いのは、黒色断層岩である。

表-5 断層岩のSr同位体比組成

Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	色
GOZ-04	177	128	3.982	0.70977(1)	赤色
GOZ-05	188	112	4.859	0.71081(1)	灰緑色
GOZ-06R	193	89.1	6.255	0.71181(1)	赤色
GOZ-06G	190	86.4	6.374	0.71193(1)	淡緑色
GOZ-07	43.3	65.8	1.904	0.70855(1)	黒色
GOZ-11	185	83.8	6.387	0.71231(1)	赤色

V 考 察

1. 風化による花崗岩の組成変化

温泉水や湧水の水質の変化を考える上で、岩石そのものの風化・変質にとまなう組成変化を把握することは極めて重要である。そこで、地表付近での風化による岩石の組成変化を、GOZ-19~21を用いて検討した。TiO₂は一般に風化作用において最も移動しにくい成分であるため、TiO₂量を基準にした。GOZ-19の主要構成鉱物は、石英、斜長石、カリ長石および黒雲母であり、副成分鉱物として燐灰石、ジルコン、不透明鉱物を含む。斜長石の一部はセリサイト化しており、黒雲母の一部も緑泥石化している。GOZ-20は、大部分の斜長石がセリサイト化し、カリ長石の変質も認められる。黒雲母の緑泥石化の程度はGOZ-19を同程度である。これに対し、GOZ-21は、斜長石の量が極端に減少する。カリ長石の一部は変質しているが、黒雲母の緑泥石化の程度は低い。したがって、風化核から風化部、そしてマサ土への変化は、カリ長石と黒雲母の変質も認められるが、主に斜長石の変質と含有量の減少で特徴づけられる。風化核 (GOZ-19) からマサ土 (GOZ-21) に向かい、CaO, Na₂O, P₂O₅, Ba, Sr, Y, Zrの極端な減少、SiO₂, Al₂O₃, MgO, K₂O, Nb, Rb, Vの減少が認められる

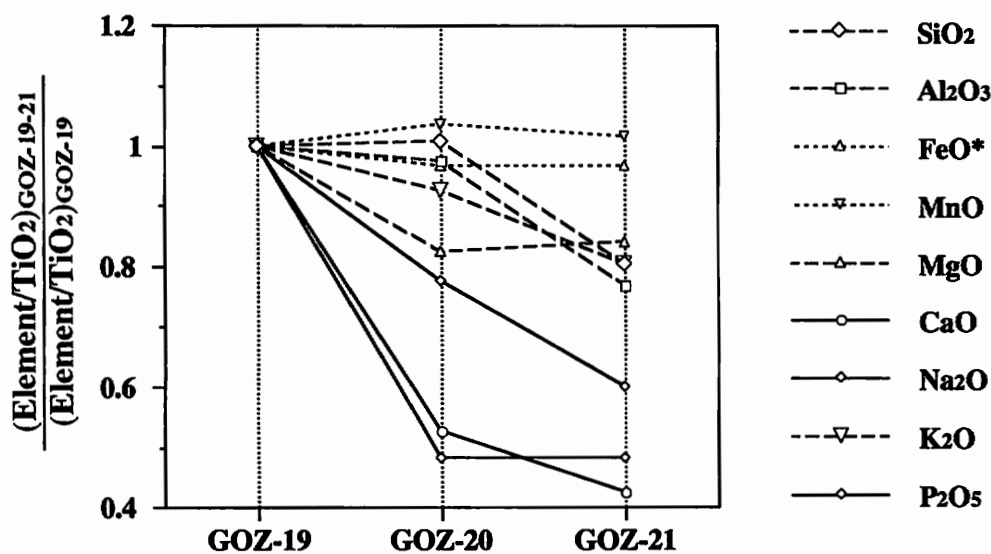


図-4 五頭花崗岩の風化作用における主成分元素の挙動

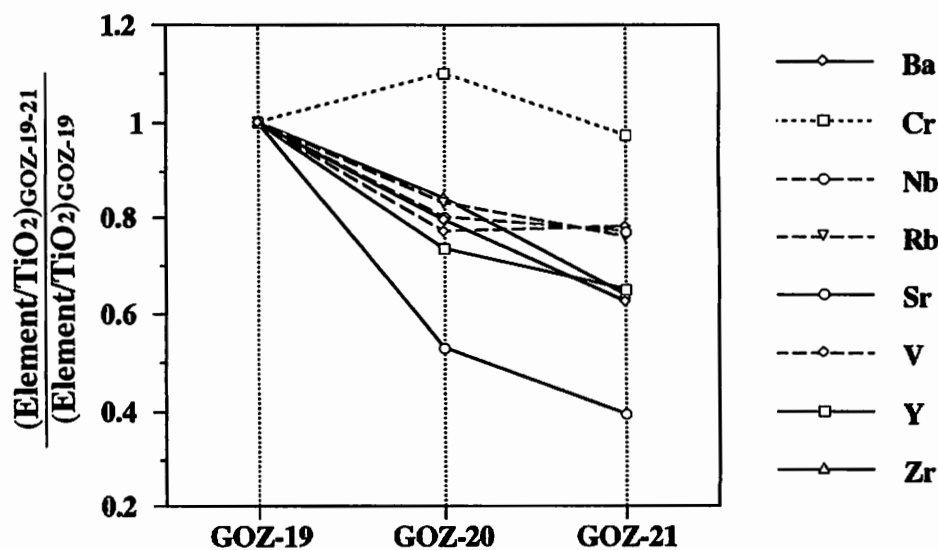


図-5 五頭花崗岩の風化作用における微量元素の挙動

(図-4, 5)。これに対し、FeO*, MnO, Crはほとんど変化しない。斜長石やカリ長石に多く含まれる元素の減少が著しい。このことは、鏡下における観察結果と調和する。

2. 五頭花崗岩の同位体年代

Rb-Sr全岩-鉍物アイソクロン年代として、 93.7 ± 1.0 Maを得た。Rb-Sr全岩-鉍物アイソクロン年代は、黒雲母の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比に大きく支配されるので、Rb-Sr全岩-鉍物アイソクロンの閉鎖温度は、黒雲母のもので近似される。Rb-Sr系における黒雲母の閉鎖温度は、約300℃ (Wagner et al., 1977; Nishimura and Mogi, 1986) である。したがって、93.7Maという年代値は、五頭花崗岩体が約300℃に冷却した時期を示すと考えられる。Rezanov et al. (1996)は、本花崗岩について、

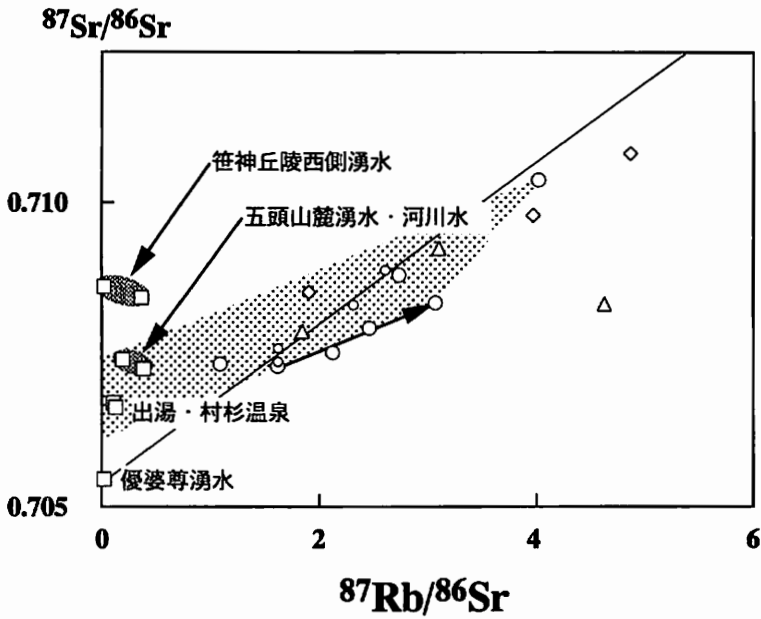
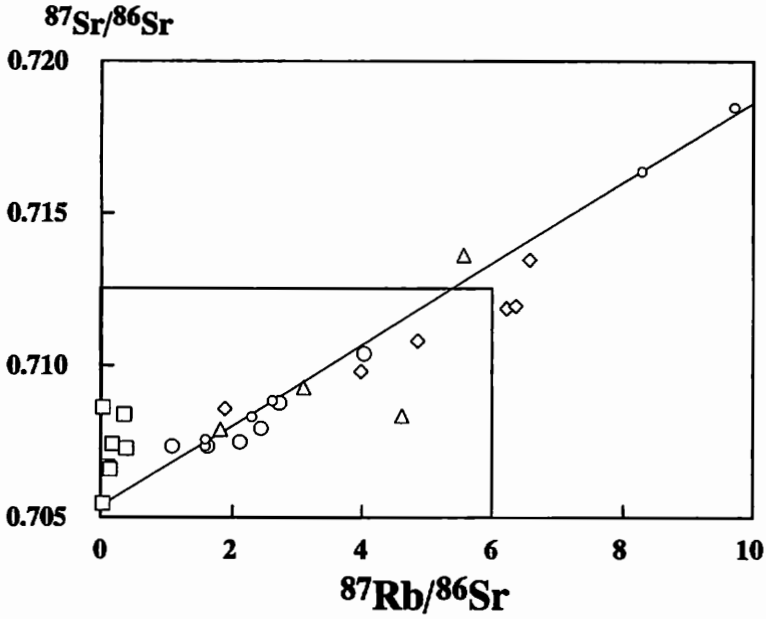
93.6±3.8MaのRb-Sr全岩アイソクロン年代を報告している。この年代は、花崗岩体の活動時期を示すと考えられる。両年代値がほぼ一致することから、五頭花崗岩はマグマ定置・固結後急速に冷却したと考えられる。

3. 湧水・河川水のSr同位体比

湧水、河川水および周辺の岩石のSr同位体比組成を $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 図(図-6)にプロットした。Rezanov et al. (1996)によって報告された、五頭花崗岩のSr同位体比も同図上にプロットした。堆積岩と断層岩は、Rezanov et al. (1996)によって示された五頭花崗岩の全岩アイソクロンの周囲にプロットされる。これは、断層岩の原岩が五頭花崗岩であること、堆積岩の供給源として五頭山地が深く関わっていたことによると考えられる。

湧水および河川水のSr同位体比は、大きく4つのグループに分けられる(図-6)。最もSr同位体比の高いグループは笹神丘陵西側の湧水(岩瀬の清水、礼光湧水)で、0.70847と0.70866を示す。最も低いSr同位体比を示すのが優婆尊湧水で、0.70547である。両者の間に五頭山地西麓の2グループがあり、高い方が薬師堂清水と河川水であり(0.70720~0.70742)、低い方が出湯および村杉温泉である(0.70663~0.70670)。五頭花崗岩の風化による組成変化も同図上に矢印で示した。風化の進行にともない、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比および $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比はほぼ直線的に増加する。これは、全岩から両比の低い成分が除かれることによると考えられるが、これは、鏡下観察、主成分・微量元素組成の変化から、主に斜長石であると考えられる。この組成変化が、五頭花崗岩に生じていると仮定すると、岩石から放出されるSrの同位体比は、0.7062~0.7077程度であると見積もられる(図-6)。ただし、この見積もりには、分布範囲が狭いと考えられるSr同位体比の高い2試料は含めていない。五頭山地内に分布する出湯・村杉温泉と薬師堂清水・河川水の両グループはこの範囲に入り、今回観察されたような五頭花崗岩の風化(主に斜長石の溶解)過程で生成されたSrを起源としていると考えられる。笹神丘陵西側の湧水と優婆尊湧水は、この範囲から大きくはずれる。しかし、優婆尊湧水のSr同位体比は、五頭花崗岩(GOZ-01)の斜長石のSr同位体比に極めて近い。全岩アイソクロンと全岩-鉱物アイソクロンがほぼ一致することから、五頭花崗岩中の斜長石のSr同位体比は、GOZ-01で近似できる。したがって、この湧水中のSrは、五頭花崗岩中の斜長石から直接もたらされたと考えられる。また、笹神丘陵西側の湧水には、花崗岩の風化過程で生成されたSrの他に、異なる起源のSrが混入している可能性が高い。礼光湧水では、新潟平野下に存在する地下水中のSrが有力候補であろう。中川ほか(1999)によると、五頭山塊の湧水には、風送塩の影響が認められる。新潟における降水のSr同位体比には飛沫海水の影響が大きく、多くは0.7085を越える(柚原・渡部, 1999)。さらに、Sr濃度は冬季に高く0.03ppmに達する。したがって、冬季の降水(山地に積もった雪)中のSrも影響を及ぼしているかもしれない。

優婆尊湧水のSr同位体比は、五頭花崗岩の斜長石のSr同位体比に極めて近いが、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比は、明らかに低い。優婆尊湧水の湧出地点は、笹神丘陵と村杉低地帯の境界にあたり、この境界に沿って活断層が存在する(新潟県環境生活部消防防災課, 1998など)。したがって、この湧水は、断層帯を通過して湧出している可能性が高く、地下水と断層岩との反応により、Sr同位体比組成が変化している可能性がある。前述のように、断層岩は主に粘土鉱物から構成されている。粘土鉱物は、溶液中のイオンを吸着する性質があることが知られている(白水, 1988など)。そこで、RbとSrの断層岩への吸着の程度を解析した。150mlのRb-Sr溶液に10gの断層岩試料(GOZ-11)を入れ、よく攪拌した後、約20



- 五頭花崗岩 (Rezanov et al., 1996)
- 五頭花崗岩
- ◇ 断層岩
- △ 堆積岩
- 湧水

図-6 五頭山地西麓および笹神丘陵の天然水・岩石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 図

℃の室温中に5日間放置したのち、溶液のSr同位体比とRb, Sr濃度を測定した。その結果を表-6に示した。溶液のRb濃度, Sr濃度は、ともに大幅に減少した。Sr同位体比はほぼ等しいと言えるが、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比は若干減少している。したがって、断層岩にかなりの割合のRbとSrが吸着すると考えられる。さらに、Rbの方が若干多く吸着し、地下水のRb/Sr比も減少すると考えられる。したがって、優婆尊の湧水は、断層帯通過中に、断層岩にRb, Srが吸着したことにより、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比が減少していると考えられる。また、出湯温泉や村杉温泉も五頭山麓西側の断層帯を通過して地下深部から上昇し、湧出していると考えられる(中川ほか, 1999)ことから、両温泉も同様に、断層岩との反応によりRb/Sr比が減少している可能性が高い。一方、断層岩も、湧水・温泉水との反応により、そのSr同位体比組成が変化していると考えられる。したがって、断層岩が形成時の組成を保持している可能性は低い。さらに、吸着する元素も様々であり、反応する水も、熱水、風化によって溶出したイオンを含む地下水、降水など多様であるため、その変化も複雑であると考えられる。粘土鉱物を含む岩石や粘土鉱物そのものの同位体分析にあたっては、このような問題を考慮する必要がある。

五頭山地西麓地域の五頭花崗岩は、主に石英、斜長石、カリ長石、黒雲母からなる。したがって、これらの鉱物の溶解によって全岩のSr同位体比組成の変化が起こる場合、Rb-Sr全岩-鉱物アイソクロン上での組成変化が推定される。今回得られた全岩組成変化はこれとは異なる結果となった。しかし、断層岩の配列がこれにほぼ平行なのは興味深い。今後、より多くの試料を用いた組成変化の検討、鉱物組成の測定を行う必要がある。

表-6 断層岩吸着実験結果

Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(2\sigma)$
原液	1.78	11.8	0.4364	0.70812(1)
吸着後 (GOZ-11)	0.044	0.331	0.3839	0.70818(4)

VI ま と め

五頭花崗岩の風化にともなう組成変化は、ほとんどの主成分・微量元素の減少で特徴づけられる。特に、斜長石に多く含有される元素の減少が著しい。これは、五頭花崗岩の風化が、主に斜長石の変質と含有量の減少によるためであると考えられる。Sr同位体比から、湧水および河川水は、4つのグループ; (1) 笹神丘陵西側の湧水(岩瀬の清水, 礼光湧水), (2) 五頭山麓の湧水と河川水(薬師堂清水, 安野川, 大荒川), (3) 出湯および村杉温泉, (4) 優婆尊湧水, に区分される。このうち、五頭山地内に分布するグループ(2)と(3)のSrは、五頭花崗岩の風化過程で生成されたと考えられる。最もSr同位体比の低いグループ(4)のSrは、花崗岩中の斜長石から直接もたらされたと考えられる。グループ(1)には、このような花崗岩の風化過程で生成されたSrの他に、別の起源をもつSrが混入している可能性が高い。五頭花崗岩からRb-Sr全岩-鉱物アイソクロン年代として、 $93.7 \pm 1.0\text{Ma}$ を得た。この年代値とRb-Sr全岩アイソクロン年代がほぼ一致することから、五頭花崗岩体がマグマの定置・固結後、急速に冷却したことが示唆される。

謝 辞

同位体抽出およびMAT-261, 262型質量分析計の使用に際しては、新潟大学大学院自然科学研究科の加々美寛雄教授、同学理学部の周藤賢治教授にお世話になった。新潟大学教育人間科学部の藤林

紀枝助教授には、鉱物分離の際お世話になった。以上の方々に感謝いたします。

文 献

- Hamamoto, T., Yuhara, M., Miyazaki, T., Fukase, M., Kondo, H., Ikawa, T., Ishioka, J., Kagami, H. and Shuto, K. (2000) : Rb, Sr, Sm and Nd separation from rocks, minerals and natural water using ion-exchange resin. *Sci. Rep., Niigata Univ., Ser. E (Geology)*, no.15, 49-58.
- 川野良信 (1994) : パーソナルコンピュータを用いたRb-Sr, Sm-Ndアイソクロン計算プログラム. 情報地質, 5, 13-19.
- 厨川亮子 (1999MS) : 五頭山塊北部における花崗岩・新第三紀層の破砕構造と変質作用. 新潟大学理学部卒業論文.
- Miyazaki, T. and Shuto, K. (1998) : Sr and Nd isotope of twelve GSJ rock reference samples using MAT262 mass spectrometer. *Geochem. Jour.*, **32**, 345-350.
- 中川 勉・渡部直喜・柚原雅樹・徐 輝竜 (1999) : 新潟県五頭山西麓の湧水と水文地質構造について. 新潟大災害研年報, 21, 96-107.
- 新潟県環境生活部消防防災課 (1998) : 月岡断層帯の調査報告 (概要版), 17p.
- Nishimura, S. and Mogi, T. (1986) : The interpretation of discordant ages of some granitic bodies. *Jour. Geotherm. Res. Soc. Japan*, **8**, 145-164.
- Notsu, K., Wakita, H. and Nakamura, Y. (1991) : Strontium isotopic composition of hot spring and mineral spring waters, Japan. *Appl. Geochem.*, **6**, 543-551.
- Rezanov, A. I., Shuto, K. and Iizumi, S. (1996) : A Rb-Sr whole rock isochron age of the Gozu Granite, Niigata Prefecture, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan.*, **102**, 828-831.
- Sasada, M. (1975) : Petrological study of the Gozu granitic mass, Niigata Pref., central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan.*, **81**, 407-422.
- 笹神団体研究グループ (1980) : 新潟平野東縁部・笹神丘陵の地質. 地球科学, **34**, 119-137.
- 佐藤 努・中野孝教 (1994) : ストロンチウム同位体を用いた地熱流体母岩の推定-奥鬼怒川温泉地域における研究例-. 地質ニュース, **474**, 23-26.
- 白水晴雄 (1988) : 粘土鉱物学-粘土鉱物学の基礎-. 朝倉書店, 185p.
- Steiger, R. H. and Jäger, E. (1977) : Subcommission on geochronology : Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- 高橋美穂 (1998MS) : 新潟県五頭山塊北西部地域における花崗岩の変形と熱水変質作用. 新潟大学理学部卒業論文.
- 高橋美穂・小林健太・豊島剛志・渡部直喜・厨川亮子 (1998) : 新潟県北東部五頭花崗岩帯における脆性断層系の発達過程. 日本地質学会第105年学術大会講演要旨, 343.
- 高橋俊郎・周藤賢治 (1987) : 蛍光X線分析装置RIX3000による、珪酸塩岩石中の主成分元素および微量元素の定量分析. 理学電機ジャーナル, **28**, 25-37.
- Wagner, G. A., Reimer, G. M. and Jäger, E. (1977) : Cooling ages derived by apatite fission-track, mica Rb-Sr and K-Ar dating; the uplift and cooling history of the Central Alps. *Mem. Inst. Geol. Mineral., University of Padova*, **30**, 1-27.
- York, D. (1966) : Least-squares fitting of a straight line. *Canad. Jour. Physics*, **44**, 1079-1086.
- 柚原雅樹・川野良信・西 奈保子 (1999) : 佐賀県産温泉水のSr同位体分析. 佐賀大学文化教育学部研究論文集, **4**, 147-156.
- 柚原雅樹・渡部直喜・加々美寛雄・中沢健太・中川 勉 (1998) : 天然水試料のSr同位体測定. 新潟大災害研年報, 20, 56-61.
- 柚原雅樹・渡部直喜 (1999) : 新潟における降水のSrおよび酸素同位体比. 新潟大災害研年報, 21, 119-124.