

長野県稗田山崩壊地周辺に分布する岩石および 地表水のSr・Nd同位体比組成

柚原雅樹*¹・相楽 渉*²・高橋俊郎*²・渡部直喜*¹・山岸宏光*³・丸井英明*¹

**Sr and Nd isotopic compositions of rocks and surface waters from
the Hieda-yama landslide area, Nagano Prefecture.**

by

Masaki YUHARA*¹, Wataru SAGARA*², Toshiro TAKAHASHI*²,
Naoki WATANABE*¹, Hiromitsu YAMAGISHI*³ and Hideaki MARUI*¹

(Abstract)

The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd ratios, Rb, Sr, Sm and Nd concentrations were determined in surface waters and rocks collected from the Hieda-yama landslide area, Nagano Prefecture. The change of trace element concentrations, ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr and ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd ratios in andesite by chemical weathering supports dissolution of plagioclase by this process as indicated in Sagara et al. (1997). The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd ratios, however, are almost constant, because Sr and Nd isotopic ratios among minerals have small variation. This is caused by its young formation age. The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd ratios of surface waters in the Kanayama-sawa river are close to those ratios of andesites. However, ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr and ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd ratios are lower than the ratios of andesites. These observations indicate that Sr and Nd in surface waters originated from plagioclases of these andesites.

Keywords : Hieda-yama landslide area, Sr and Nd isotopic compositions, Chemical weathering,
Surface water

キーワード : 稗田山崩壊地, Sr・Nd同位体比組成, 化学風化作用, 地表水

I は じ め に

稗田山崩壊地は、長野県北西部の浦川上流において、1911年8月と1912年4月・5月に発生した大崩壊によって形成された(図-1)。姫川水系浦川支流の金山沢は、この稗田山大崩壊地の内部に谷を刻む荒廃溪流である。金山沢では、最近でも小規模な崩壊や土石流が繰り返し発生している。稗田山の崩壊や金山沢の土石流に関する研究は多く、そのうちのいくつかは、崩壊・土石流発生の素因として、この地域に分布する安山岩の風化・変質について言及している。相楽ほか(1997)は、安山岩の化学風化作用における鉱物組成・全岩化学組成の変化と水質の形成過程を報告している。これによると、金山沢上流部～源頭部における安山岩の化学風化は、変質安山岩に含まれる黄鉄鉱の酸化とそ

*¹ 新潟大学積雪地域災害研究センター

*² 新潟大学大学院自然科学研究科

*³ 新潟大学理学部自然環境科学科

れによって生成した硫酸による造岩鉱物（主に斜長石）の溶解で特徴づけられる。

したがって、本地域は、岩石の化学風化におけるSr同位体比組成の変化と、その水質に及ぼす影響を検討するのに適した地域であると言える。そこで、本地域に分布する岩石と地表水のSr同位体比を報告し、特にSr同位体比組成の変化と水質との関係を考察する。さらに、予察的に測定したNd同位体比についても報告する。

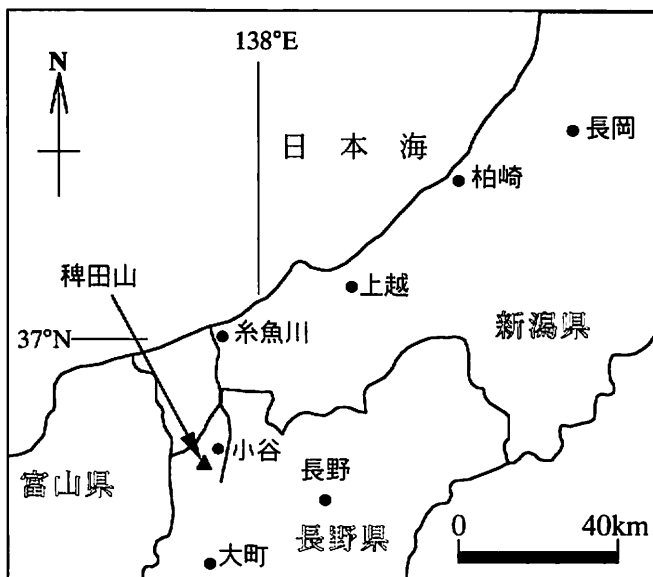


図-1 調査地域位置図

II 地質の概要

金山沢を含む浦川流域の地質は、青木ほか(1982)および青木(1984)により報告されている(図-2)。本地域は、大部分が第四紀白馬大池火山噴出物で構成されている。稗田山の溶岩は、下位から抜平沢溶岩類、椈平溶岩類、稗田山溶岩類(椈山, 1980)と呼ばれる成層した溶岩と火砕流堆積物からなる。さらに、唐松沢北側には、その上位の風吹岳外輪山溶岩類が分布している。抜平沢溶岩類は、溶岩と火山角礫岩の互層であり、崩壊地の急崖の最下部に露出し、来馬層群を直接覆うと推定される。岩質は、カンラン石がまれに含まれる普通角閃石・シソ輝石安山岩である。本地域の椈平溶岩類は、2枚の溶岩流よりなり、岩質はカンラン石を含まない普通輝石・シソ輝石安山岩である。稗田山溶岩類は、普通角閃石を特徴的に含む溶岩と火山角礫岩の互層であり、岩質はカンラン石を含む普通角閃石・普通輝石・シソ輝石安山岩で、まれに長さ1cmに達する普通角閃石巨晶が見られる。風吹岳外輪山溶岩類は、溶岩流と火砕流堆積物を含む火砕物質との互層である。岩質は、カンラン石・石英を含む普通輝石・シソ輝石・黒雲母・普通角閃石安山岩で、一部にカンラン石・普通輝石を欠く石英安山岩が見られる。青木ほか(1982)の上部安山岩類と中部安山岩類は、椈山(1980)の風吹岳外輪山溶岩類と抜平沢～稗田山溶岩類にそれぞれ対比される。金山沢の左岸には、地窓状に先第三系(蛇紋岩メランジェ、ジュラ紀来馬層群)、第三系(石坂流紋岩および流紋岩質凝灰岩)が小規模に

分布し、先第三系を貫く貫入岩（赤倉山石英斑岩）が存在する。赤倉山石英斑岩は、石英、斜長石の斑晶を含む石英斑岩である。今回分析を行った旧金山沢流域の赤倉山石英斑岩は、最大径5mmに達するざくろ石を含む。

金山沢では、上述の基岩類を覆って、マスマーブメントに伴う堆積物（崩壊堆積物、崖錐堆積物、土石流堆積物）が広く分布する。これらの堆積物のほとんどは安山岩類から構成される。

崩壊地内の安山岩の一部は、熱水変質作用を被っているが、変質の程度は比較的弱い。アミグダルやクラックに沿って黄鉄鉱および石英の析出が認められる。一方、化学的風化作用は活発であり、安山岩礫は乳白色に脱色し、土壌化しているものも多く存在する。

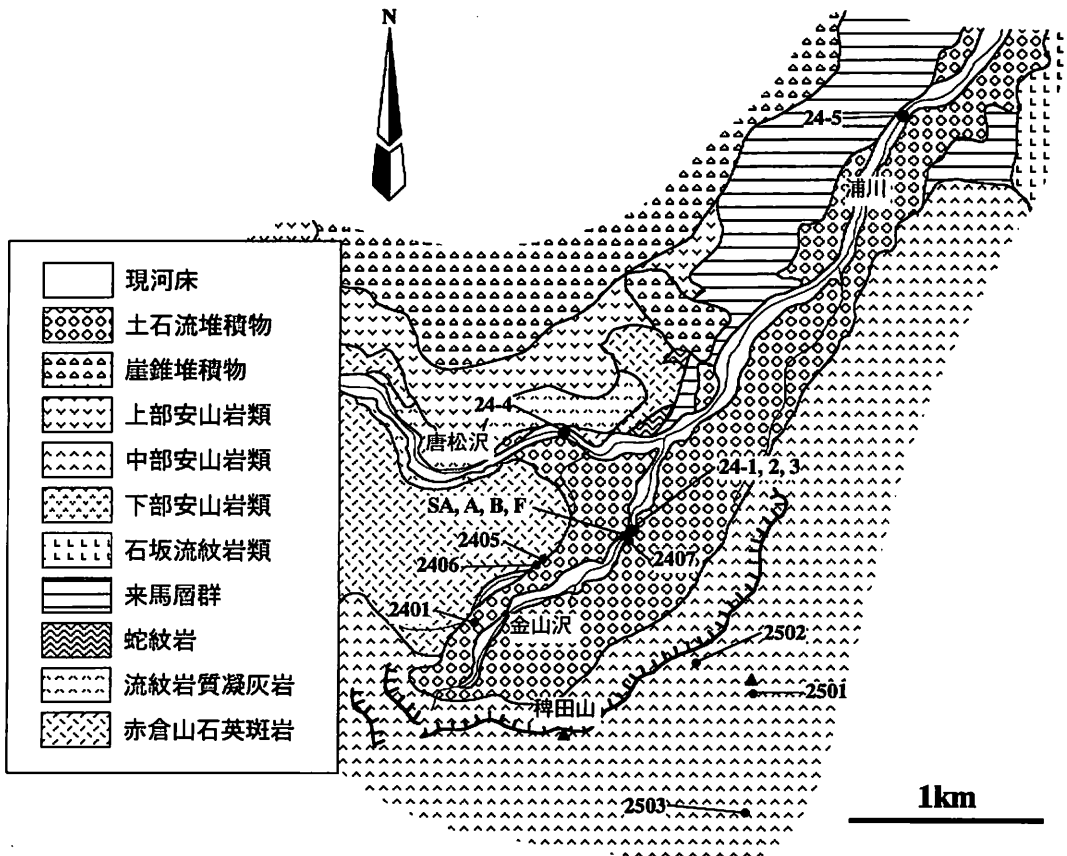


図-2 浦川流域の地質および試料採取地点（青木ほか，1982を修正）

III 試料および測定方法

旧金山沢流域の赤倉山石英斑岩 2 試料（2405, 2406）、金山沢右岸の安山岩溶岩 1 試料（2407）、コルチナ国際スキー場内の安山岩溶岩 3 試料（2501, 2502, 2503）、金山沢内の安山岩礫 6 試料（2401, SA1, SA2, A, B, F）、蛇紋岩礫 1 試料（SA3）について、主成分・微量元素およびSr・Nd同位体比を測定した（図-2）。安山岩礫の一部（試料A, B）については、相楽ほか（1997）によって、主成分元素組成がすでに報告されている。さらに、金山沢を含む浦川流域の 5 地点（24-1～5）に

において、地表水を採取し、SrおよびNd同位体比を測定した。

金山沢右岸の安山岩溶岩は、カンラン石を含む普通輝石・シソ輝石安山岩であり、柵山（1980）の抜平沢溶岩類に属すると考えられる。また、コルチナ国際スキー場内の安山岩溶岩は、普通輝石・シソ輝石安山岩であり、露頭位置から稗田山溶岩類に属すると考えられる。金山沢内の安山岩礫は、大部分が、普通角閃石を含む普通輝石・シソ輝石安山岩である。

岩石の主成分および微量元素の測定は、新潟大学理学部の蛍光X線分析装置（RIX3000）を用いて行った。分析方法は、高橋・周藤（1997）に従った。

水試料は、不純物を除去するため0.45 μm 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50~130ml、定量で50~70mlである。水試料および岩石試料の試料調整とRb, Sr, Sm, Ndの抽出は、柚原ほか（1998）およびHamamoto et al.（2000）に従った。

SrおよびNd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。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比および $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比は $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ 、 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ でそれぞれ規格化した。Sr, Nd抽出におけるブランクは、Rb, Sr, Sm, Ndともに1ng以下である（Hamamoto et al., 2000）。各試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比および $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 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同位体比およびJB-1aのNd同位体比を、それぞれ0.710241と0.512784に補正した値である。JB-1aの0.512784という値は、USGSの標準試料のBCR-1の0.512638に相当する（Kagami et al., 1989）。Rb, Sr, Sm, Ndの定量は、 $^{87}\text{Rb}-^{86}\text{Sr}$ ミックススパイクおよび $^{146}\text{Sm}-^{150}\text{Nd}$ 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。

IV 測定結果

1. 主成分および微量元素組成

岩石の主成分および微量元素組成は、表-1に示した。安山岩溶岩の SiO_2 量は、55.2~58.3wt%、安山岩礫は47.7~59.8wt%である。安山岩礫の大部分は、変質および化学風化により、L.O.I.が非常に大きいため、 SiO_2 量も低いと考えられる。赤倉山石英斑岩の SiO_2 量は、70.8および73.0wt%であった。さらに、蛇紋岩の SiO_2 量は53.9wt%であり、L.O.I.も5.7%と高い。

2. 岩石のSr・Nd同位体比組成

岩石のSr・Nd同位体比組成は、表-2に示した。金山沢の安山岩溶岩および安山岩礫、コルチナ国際スキー場の安山岩溶岩のSr同位体比は0.70730~0.70847であり、幅広い組成範囲を示す。しかし、金山沢内の安山岩礫は、変質の程度が異なるのにも関わらず、0.70763~0.70780と比較的組成変化幅が小さい。また、蛇紋岩のSr同位体比は0.70746であった。これに対し、赤倉山石英斑岩のSr同位体比は0.70925および0.70976であり、他の岩石と比べ高いSr同位体比と $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比を示す。

安山岩溶岩および安山岩礫のNd同位体比は、0.512328~0.512460である。これに対し、赤倉山石英斑岩は0.512509および0.512513とやや高いNd同位体比を示す。また、蛇紋岩のNd同位体比はさらに高く0.512853であり、 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比も0.2572と高い。

表一 稗田山周辺地域の岩石の主成分および微量元素組成

Sample No.	2401	2405	2406	2407	2501	2502	2503	SA1	SA2	SA3
SiO ₂	58.64	70.76	73.03	55.17	57.51	58.34	56.11	53.24	54.86	53.92
TiO ₂	0.78	0.11	0.09	0.99	0.91	0.81	0.94	0.83	0.83	0.02
Al ₂ O ₃	17.62	14.66	14.82	18.37	17.98	17.89	18.95	18.34	18.12	2.26
FeO*	6.92	1.63	1.50	8.28	7.51	7.55	7.57	8.00	7.16	5.83
MnO	0.18	0.02	0.01	0.23	0.15	0.16	0.16	0.34	0.23	0.11
MgO	2.92	0.24	0.20	3.34	3.13	2.99	3.23	1.79	1.34	25.53
CaO	6.01	1.97	0.76	7.06	6.11	5.97	7.23	7.15	7.00	4.95
Na ₂ O	3.09	3.80	3.97	3.36	3.17	3.21	3.41	3.16	3.19	0.26
K ₂ O	2.17	3.77	3.87	1.86	2.13	2.18	1.81	1.83	1.99	0.01
P ₂ O ₅	0.25	0.05	0.04	0.33	0.28	0.32	0.31	0.33	0.32	0.01
L.O.I.	1.60	2.05	1.42	0.61	0.85	0.50	0.21	4.61	3.61	5.73
Total	98.58	99.08	99.73	98.99	98.88	99.41	99.73	99.63	98.65	98.63

Ba	433	595	640	508	481	508	454	455	561	3
Cr	11	4	n.d.	396	20	10	6	8	8	2010
Nb	7	13	13	26	8	8	9	9	9	n.d.
Ni	3	n.d.	n.d.	141	2	n.d.	n.d.	2	2	1803
Rb	74.7	147	155	52.0	65.3	65.8	57.8	51.1	52.9	0.455
Sr	434	226	194	529	456	481	533	499	470	18.9
V	222	6	6	200	149	117	135	114	117	47
Y	29	7	7	23	26	24	25	28	28	7
Zr	140	101	89	138	180	174	174	201	199	9

Sample No.	A1	A4	B1	B4	F1	F2	F3	F4
SiO ₂	59.80	50.85	54.10	53.81	55.51	52.96	49.92	47.73
TiO ₂	1.08	0.86	1.06	0.85	1.02	1.02	0.93	0.90
Al ₂ O ₃	18.35	15.78	19.67	15.45	18.39	19.01	16.75	16.85
FeO*	2.97	7.53	4.25	6.44	5.58	6.01	6.19	7.59
MnO	0.24	0.34	0.20	0.32	0.29	0.24	0.37	0.60
MgO	2.56	2.56	2.56	2.73	3.55	2.70	2.62	2.93
CaO	2.15	4.43	3.82	4.41	3.89	2.89	6.34	6.38
Na ₂ O	2.10	1.88	2.79	1.89	2.33	2.32	2.03	2.27
K ₂ O	1.25	1.29	1.11	1.04	0.94	1.40	1.47	1.00
P ₂ O ₅	0.19	0.31	0.28	0.31	0.31	0.35	0.34	0.33
L.O.I.	7.83	10.66	8.40	9.31	7.97	9.36	8.42	9.54
Total	98.51	96.49	98.25	96.56	99.76	98.27	95.38	96.12

Ba	297	289	352	627	295	377	339	316
Cr	9	9	9	8	9	9	11	10
Nb	10	8	10	8	9	10	9	9
Ni	n.d.	2	n.d.	3	n.d.	2	3	n.d.
Rb	64.9	60.8	56.2	44.7	55.5	78.4	71.3	46.6
Sr	316	321	496	372	423	348	363	341
V	173	170	159	154	152	165	152	151
Y	22	33	24	27	27	29	27	29
Zr	214	187	222	179	204	216	196	198

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

表－2 岩石のSr・Nd同位体比組成

Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	Sm(ppm)	Nd(ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)
2401	74.7	434	0.4974	0.70780(1)	4.67	22.5	0.1252	0.512442(13)
2405	147	226	1.885	0.70925(1)	2.56	14.9	0.1044	0.512513(12)
2406	155	194	2.313	0.70976(1)	4.58	25.5	0.1085	0.512509(12)
2407	52.0	529	0.2846	0.70847(1)	5.23	26.6	0.1190	0.512385(13)
2501	65.3	456	0.4137	0.70730(1)	5.06	24.8	0.1237	0.512460(13)
2502	65.8	481	0.3960	0.70827(1)	4.88	25.1	0.1175	0.512383(12)
2503	57.8	533	0.3139	0.70804(1)	5.19	25.6	0.1225	0.512417(13)
SA1	51.1	499	0.2962	0.70767(1)	5.41	27.4	0.1192	0.512422(13)
SA2	52.9	470	0.3257	0.70767(1)	5.32	26.8	0.1200	0.512416(11)
SA3	0.455	18.9	0.06961	0.70746(1)	0.278	0.652	0.2572	0.512853(30)
A1	64.9	316	0.5938	0.70767(1)	30.2	15.6	0.1169	0.512401(12)
A4	60.8	321	0.5485	0.70764(1)	4.11	19.1	0.1300	0.512328(11)
B1	56.2	496	0.3277	0.70764(1)	4.12	21.6	0.1152	0.512418(12)
B4	44.7	372	0.3468	0.70764(1)	4.86	23.7	0.1239	0.512415(10)
F1	55.5	423	0.3792	0.70763(1)	3.31	15.7	0.1274	0.512407(14)
F2	78.4	348	0.6516	0.70768(1)	4.53	20.6	0.1332	0.512395(12)
F3	71.3	363	0.5683	0.70765(1)	5.67	26.9	0.1272	0.512390(12)
F4	46.6	341	0.3956	0.70767(1)	5.37	29.6	0.1098	0.512426(13)

3. 地表水のSr・Nd同位体比組成

地表水のSr・Nd同位体比組成は、表－3に示した。金山橋付近の地表水のSr同位体比は0.70787～0.70816，唐松沢では0.70688，2つの沢の合流点よりさらに下流の浦川本流では0.70740であり，沢ごとに異なる値を示す。また，金山沢の1地点の地表水のNd同位体比は0.512417であった。

表－3 地表水のSr・Nd同位体比組成

Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	Sm(ppm)	Nd(ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)
24-1	0.00314	0.885	0.01026	0.70787(1)	0.00118	0.00690	0.1032	0.512417(23)
24-2	0.00191	0.232	0.02379	0.70804(1)				
24-3	0.00667	0.146	0.1326	0.70816(1)				
24-4	0.00339	0.168	0.05843	0.70688(1)				
24-5	0.00353	0.253	0.0404	0.70740(1)				

V 考 察

1. 安山岩の化学風化にともなう組成変化

相楽ほか(1997)は，化学風化にともなう安山岩の主成分化学組成の変化を示した。これによると，化学風化の進行にともない，CaOとFeO*の明らかな減少が認められる。風化に対して安定とされるTiO₂およびAl₂O₃はほぼ一定であり，他の元素は，原岩の化学組成，鉱物組成，組織，斑晶量および熱水変質の程度などの影響により試料により挙動が異なる。今回新たに分析を行った試料(F4～F1)について，主成分および微量元素の挙動を検討する。ただし，この試料の周縁部(F1)は，石膏の

析出が認められたため、検討から除外した。TiO₂は一般に化学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。比較的風化程度の小さい転石の中心部から周縁部に向かい、CaO、FeO*、MnOは著しく減少する(図-3)。MgO、Na₂O₃、P₂O₅は、若干の減少傾向にあり、SiO₂、Al₂O₃はほぼ一定である。これに対し、K₂Oは中心部よりも周縁部の方が含有量が高い。微量元素では、大部分の元素が減少傾向にあるのに対し、NiおよびRbが増加傾向にある(図-4)。このため、⁸⁷Rb/⁸⁶Sr比も増加する。さらに¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd比も増加傾向にある(表-2)。相楽ほか(1997)は、岩石中のCaOの減少の原因を、斜長石の溶解によるカルシウムイオンの溶脱に、FeO*の減少の原因を、黄鉄鉱の酸化・溶解による鉄イオンの溶脱に求めた。斜長石に多く含有されるSrも減少傾向にある。また、斜長石は全岩に比べて低い⁸⁷Rb/⁸⁶Sr比を有するので、斜長石の溶解により全岩の⁸⁷Rb/⁸⁶Sr比が増加することが予想されるが、今回の試料でも、そのような傾向が認められる。しかし、この試料ではRbの増加の効果が大きく、他の試料での検討も必要であろう。

Sr同位体比は、転石の中心部と周縁部でほとんど変化しない(表-2)。これは、岩石の形成年代が第四紀と新しいため、鉱物間のSr同位体比の違いが生じていないためであると考えられる。同様に、Nd同位体比も一部の試料を除き、変化幅は小さい。

これら主成分および微量元素組成の変化は、相楽ほか(1997)の考えを支持する。

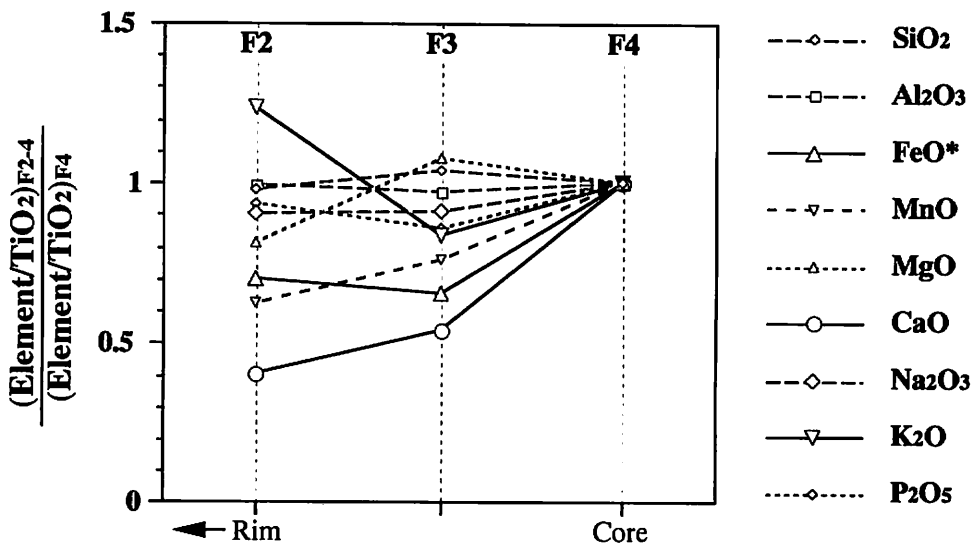


図-3 安山岩礫の化学風化作用における主成分元素の挙動

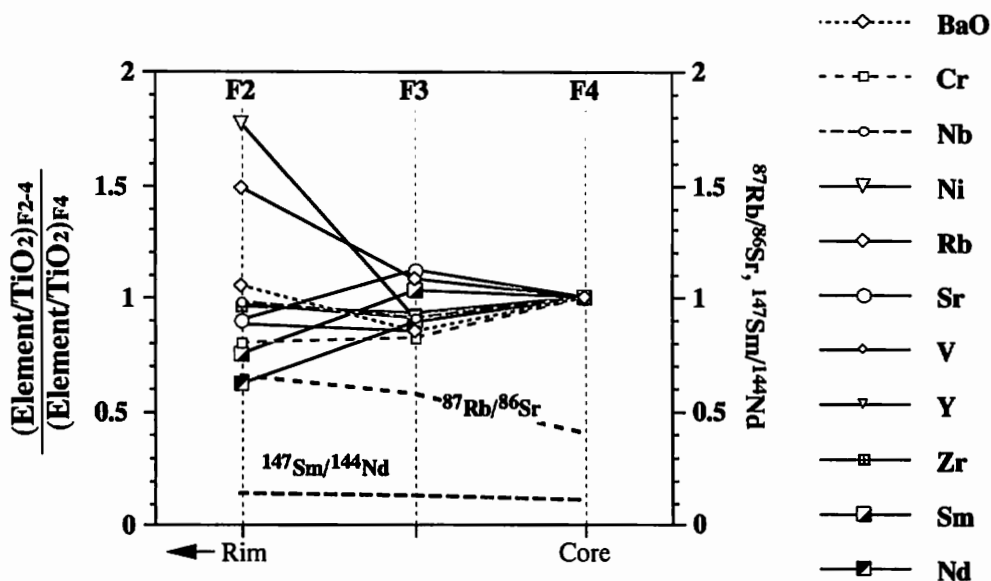


図-4 安山岩礫の化学風化作用における微量元素の挙動

2. 地表水のSr・Nd同位体比組成

金山沢の地表水のSr同位体比は、0.7078～0.7082の範囲内にあり（表-3，図-5），これは稗田山崩壊地周辺の安山岩のSr同位体比の範囲（0.7073～0.7085）内にある。さらに，地表水の $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比は，安山岩に比べるとかなり低い。このことは，地表水のSrが，安山岩中の斜長石からもたらさ

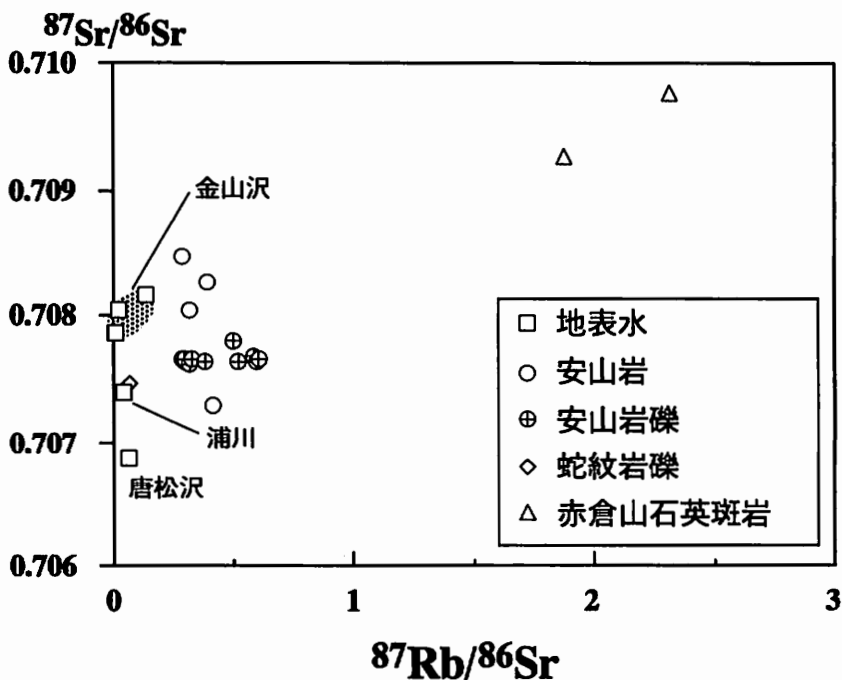


図-5 稗田山周辺地域の岩石および地表水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 図

れたことを支持する。唐松沢のSr同位体比は、これよりもかなり低い。これは、流域の地質が異なり、それらのSr同位体比が低いためであると考えられる。浦川本流のSr同位体比は両沢の中間にあり、両河川の地表水の混合で説明される。

地表水のNd同位体比は、0.512417であり、安山岩のそれとよく一致しており(図-6)、 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比も若干低い。このことも、溶存成分の斜長石起源を裏付けるものである。

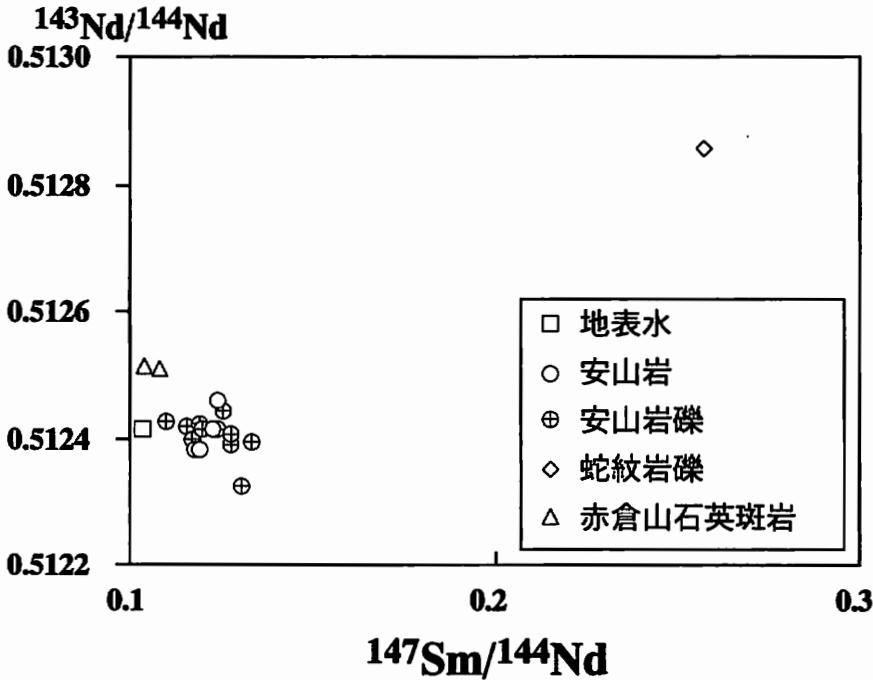


図-6 稗田山周辺地域の岩石および地表水の $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 図

VI お わ り に

今報告では、3河川の地表水についてしかSr・Nd同位体比の測定を行わなかったが、周辺地域の岩石のSr・Nd同位体比組成が変化に富むことから、より多くの地表水および湧水のSr・Nd同位体比の測定し、周辺地域の岩石の同位体比と比較することにより、より詳細に水質に対する岩石の関与を検討することが可能となると思われる。特に、金山沢における地表水と湧水のイオン濃度は極めて高いことから、Nd同位体比の測定も容易におこなえらる。

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。以上の方々に感謝いたします。

文 献

- 青木 滋 (1984) : 稗田山崩壊について. 地形, **5**, 202-214.
- 青木 滋・藤田至則・茅原一也・佐藤 修・横堀正純・土屋 泉・宇都宮 真・鈴木幸治 (1982) : 姫川水系浦川流域における斜面崩壊と土石流について-その1-. 新潟大学災害研年報, 4, 1-34.
- 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.
- Kagami, H., Yokose, H. and Honma, H. (1989) : $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios of GSJ rock reference samples; JB-1a, JA-1 and JG-1a. *Geochem. Jour.*, **23**, 209-214.
- 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.
- 相楽 渉・渡部直喜・佐藤 修・丸井英明・垣原康之 (1997) : 長野県稗田山崩壊地における安山岩の化学風化について (予報). 新潟大学災害研年報, 19, 83-96.
- 榊山雅則 (1980) : 白馬大池火山の地質. 地質雑, **86**, 265-275.
- 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.
- 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.