

地すべり多発地帯からの湧水中のトリチウムと
溶存イオン濃度の年間変動
— 姫川水系浦川流域金山沢について —

橋本哲夫*・樋口 靖*・酒井裕二*
仲川隆夫**・青木 滋**・佐藤 修**

Annual variations of tritium- and ion-concentrations in spring water collected from the landslide area —the Kanayama Valley of Ura-River basin, Nagano Prefecture.

by

Tetsuo HASHIMOTO , Yasushi HIGUCHI , Yūji SAKAI
Takao NAKAGAWA , Shigeru AOKI and Osamu SATŌ

(Abstract)

Spring water (15 samples) and river water (2 samples), collected from the landslide area in the Kanayama Valley belonging to the Ura-River area during 1984–1985, were analysed with aspects to tritium- and six major ionic constituents, including Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{2-} , HCO_3^- , and Cl^- ions. Some springs, in the middle stream areas and river water appeared to be classified into several groups according to the ion concentrations while the T-concentrations didn't show any correlation to such classification, especially in the upper stream areas. It was confirmed that the ionic concentrations are greatly dependent on the oxidizing zone in the vicinity of spring outlet although the T-concentrations should have reflected some aquifer properties. On the basis of intrinsic decay-properties of tritium, the ages of some aquifers were assigned to three groups ; most all aquifers consisting of relatively new aquifers precipitated after 1969, two aquifers of comparatively older ages than 1956, and one high T-concentration aquifer owing to an artificial addition of T from nuclear explosion tests pervading in the atmosphere during 1961–1968 as shown schematically in Fig.4. It was also suggested that the aged or older aquifers should be presumably related to any causes of landslide phenomena as well as the dissolved ion-concentrations.

Key words : tritium-concentration, dissolved ion-concentration, spring water, river water, landslide area, aquifer property, oxidizing zone

キーワードズ : トリチウム濃度, 溶存イオン濃度, 湧水, 河川水, 地すべり地帯, 滞水層特性, 酸化層

い ま え が き

地すべりや土石流等地盤災害においては、地下水が重要な役割りを果しているため、地下水の動的な挙動に関する情報の把握が重要となる。水素の放射性同位体であるトリチウム（以下の文中でTと略記）は、地下水を構成する水そのものの指標となり、一方溶存イオン種や濃度は、地下水滞水層の性質によ

* 新潟大学理学部化学科

** 新潟大学積雪地域災害研究センター

り変化するため、地下水の動的挙動に関連した情報の補助的な指標として役立つ。従って同時にTおよび溶存イオン濃度を知ることが出来れば、滞水層の物理化学的性質がより詳細に解明出来るのみならず地盤災害の予知や原因究明に大きな役割りを果たすことが期待される。

先の報告において、Tの地盤災害研究への利用を目的として、降雪中や大気中水分中のT濃度の季節変化を調べ（橋本ら、1984）、ついで地すべり地における湧水中のT濃度と溶存イオン濃度の関係や水溶性天然ガス付随水中の極低T濃度の測定を行ってきた（橋本ら、1985）。後者の報告で、いくつかの湧水ではTと全陽イオン当量濃度間にわずかな逆相関を見出したが、引き続き測定からは必ずしも再現性が良くないことが分かった。

本報告では、金山沢の湧水につき、4回の採水を行い、前回同様Tと無機イオン濃度の測定をもとに、これらの季節変動を調べた。その結果上流域では両濃度に著しい変動が見られ、地すべり発生にともなう変動も観察された。他方下流域は比較的安定しており、両濃度の変動は少なかった。

II 実 験 方 法

前回同様、地すべり、崩壊、土石流等地盤災害の多発地域として知られる長野県姫川支流浦川流域の金山沢にて試料水の採取を行った。採水は1984年9月、1985年5、8、10月の4回であり、17箇所の湧水（図-4参照）を対象とした。

無機イオンの分析は、前回同様 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- の7種について行い、T濃度の測定も、シンチレーター（Aquasol II）60mlと蒸留試料水40mlを加温下で混合し約3日間放置する前回同様の処理を施したのち、新規に当センターが購入した液体シンチレーションカウンター（Aloka社製LSC-LB1）で計測した。本装置に関する測定上の基礎的条件の検討は中川ほか（1986, a, b）によって報告している。

III 結 果 と 考 察

表-1に今回測定した17種の湧水について得た結果を、無機イオンについては当量濃度（EPM）で、T濃度はpCi/lでまとめた。各地点とも硫酸イオン濃度が著しく高く、本邦の河川水の平均濃度の数倍以上に及んでおり、硫酸型の物理化学的および微生物学的風化が生じていることが分かる。上流に行くほどこの傾向がきわだっており、pH5.5以上の硫酸性湧水が見出されたり、河底に白色の硫酸カルシウムに由来する沈殿が見られる。従って河川水の場合上流域では硫酸カルシウムの溶解度積に基づく、飽和現象も見られるはずである。

炭酸水素イオンは上流域のpHの低い湧水では殆んど検出されていないが、中流域に属する右岸域からの試料水に見出されている。この地域は1911~12年発生の大崩壊地域であり、湧水はいずれも崖錐中を経て流出しており、湧水量は上流域に比較して少ない。これら中流域は、現在のところ比較的化学風化の影響の少ない場所であり、炭酸水素イオンの含量が見られるため重炭酸型として区別出来る。

更に下流域では、溶存イオン濃度自身が極度に少なくなって来ており、通常の河川水からの値に近づく傾向が見られる。

採水時による変動としては、中流域地点としてのNo.17より下流のものについては比較的安定した水質を示しており、大きな季節変化は見られない。この結果をもとに、多成分濃度相関マトリックス法を応用し、三群に区分出来ることが分かったので、各々の典型的なヘキサダイアグラムとともに図-1に示

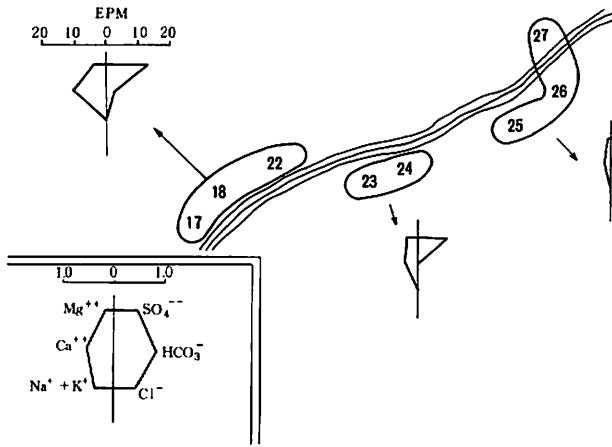


図-1 イオン当量濃度による水質ヘキサダイアグラムに基づく湧水の種類(左下図は平均的な本邦の河川水からのデータである)

Fig. 1 Classification of springs according to the hexadiagram expression of major ion constituents

す。これらの三群について再び表-1に戻ってT濃度に関して見てみると、各群間に特徴は見られず、各群に属する湧水間でも必ずしも一定濃度や一致した季節変動を示していない。このことは湧水の溶存イオン自身は滞水層の地層の物理化学的性質のみを反映しており、同一地層での滞水や通過水はほぼ同一の水質を示すものと解釈され、T濃度や季節変動データの不一致は、滞水層自身は複雑であり、お互いに500mと離れていない湧水でも源となる滞水層は複数であることを示唆している。言い換えれば、水質自身は崖錐物など湧水表面の酸化層によって大きく左右されており、滞水層の性質そのものを反映していないと解釈した。

溶存イオン濃度が大部分酸化表層のみに関係しているという現象は、特に上流に行くほど著

しくなり、金山沢源頭部に属する試料番号の若い湧水では溶存イオンの全ては表面酸化層のみ由来すると見られる。この地域は基盤をなしている安山岩類の変質が著しく、特に凝灰角礫岩、火山角礫岩が強く変質風化している。実際狭雑する微細な黄鉄鉱が空気および鉄・イオウ細菌により活発に酸化されており、硫酸の生成およびそれに伴う Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、など陽イオンの溶解をもたらしている。このことからこの区域を佐藤ほか(1985)は硫酸型の水質を持つ湧水として区分している。硫酸型湧水間では SO_4^{2-} イオン当量濃度値そのものは異なっており、季節変動も大きい。このことは試水番号1~3の箇所では後述のように、1985年7月に土石流が発生しており、その影響が明らかに見られる。また試水番号11や15では夏期の地温上昇にともなう酸化作用の増大が SO_4^{2-} 濃度の増加をもたらしていると解釈出来た。

溶存イオン濃度の季節変動を、より詳細に調べるため、全陽イオン当量濃度に関してT濃度をプロットした。典型的な結果を図-2 a)~d)に示す。試水番号2の地点(a)では、1984年9月と翌年の5・8月間のデータには、陽イオンおよびT濃度ともに大きな変動が見られる。同地点で1985年7月に土石崩壊が発生しており、その結果を反映して8月のT濃度は更に低濃度側に変動し、この値は金山沢全測定済み湧水試水中で最低値である7.4pCi/lを示していた。これらの結果の一つの解釈法として、5月時点においての前年からのTおよび溶存イオン濃度の低下は、関与する地下水の滞水層が古くからの滞水層に変動しており、かつ湧水の水路自身が新たに変動したことが考えられる。これらの現象は7月に発生した崩壊の前兆であるとも受け取ることが出来、ここで見られた極端なTおよび溶存イオン濃度変動を察知すれば、崩壊発生の予知として役立つかも知れないことを示唆している。佐藤ほか(1985)は、金山沢源頭部での土石流発生の前兆として、約1,500m下流の金谷橋下に設置したセンサーによって河川水中の電気伝導度の大幅な増加を検出している。この電気伝導度の変動は急激なパルス状のものであり、ここで得られたTや溶存イオン濃度の比較的ゆるやかな変動とは性質を異にしていると考えている。近接地点である試水番号3地点では、イオン濃度は9月から翌年5月にかけて大幅に増加しており、T

表-1 金山沢湧水中の溶存イオンおよびT濃度の季節変動

Table 1 Seasonal variation of ion-and T-concentrations in spring water collected from the Kanayama Valley area.

DATA No 1 (Ions : EPM, Tritium : pCi/l)

	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Tritium
Point 1								
'84 9	2.31	5.64	0.32	0.03	0.02	0.00	8.70	61.5 ± 7.7
'85 5	5.67	7.04	0.39	0.03	0.14	0.00	12.4	54.9 ± 8.3
'85 8	4.48	7.68	0.39	0.02	0.04	0.00	13.1	46.8 ± 7.9
'85 10	4.50	7.41	0.43	0.02	0.01	0.00	15.1	—
Point 2								
'84 9	3.68	6.64	0.40	0.02	0.02	0.00	11.0	32.5 ± 7.4
'85 5	0.10	1.01	0.02	0.04	0.13	0.27	1.42	14.5 ± 7.7
'85 8	0.48	0.94	0.13	0.03	0.03	0.20	1.29	7.4 ± 7.4
'85 10	0.30	0.92	0.12	0.02	0.01	0.05	1.38	—
Point 3								
'84 9	0.24	0.69	0.10	0.02	0.01	0.00	1.00	31.4 ± 7.4
'85 5	4.71	11.6	0.41	0.02	0.13	0.00	17.1	38.7 ± 8.0
'85 8	—	—	—	—	—	—	—	—
'85 10	0.21	0.73	0.11	0.02	0.01	0.23	0.86	—
Point 11								
'84 9	7.06	13.6	0.49	0.03	0.03	0.79	21.	—
'85 5	—	—	—	—	—	—	—	—
'85 8	9.62	19.0	0.47	0.03	0.06	0.94	29.4	78.8 ± 11.5
'85 10	6.50	13.0	0.45	0.03	0.02	0.77	19.9	68.4 ± 19.2
Point 13								
'84 9	6.65	14.1	0.48	0.03	0.03	1.17	21.2	28.7 ± 7.4
'85 5	—	—	—	—	—	—	—	—
'85 8	0.56	2.32	0.15	0.03	0.03	0.19	2.79	24.6 ± 7.6
'85 10	0.95	2.34	0.16	0.03	0.01	0.13	3.33	22.9 ± 10.0
Point 15								
'84 9	2.68	4.99	0.35	0.03	0.03	0.00	8.43	40.3 ± 7.5
'85 5	5.35	11.5	0.38	0.05	0.01	0.00	17.0	87.7 ± 8.6
'85 8	5.83	16.7	0.42	0.04	0.05	0.00	23.4	—
'85 10	5.06	12.2	0.41	0.04	0.01	0.00	20.2	58.6 ± 11.8
Point 16								
'84 9	1.15	3.04	0.25	0.03	0.02	0.00	4.52	36.9 ± 7.5
'85 5	3.66	12.9	0.43	0.04	0.13	0.00	15.0	56.1 ± 8.8
'85 8	5.96	7.14	0.55	0.05	0.07	0.00	13.4	71.8 ± 10.9
'85 10	3.19	7.60	0.51	0.04	0.01	0.00	16.9	36.1 ± 12.2
Point 18								
'84 9	4.58	11.7	0.45	0.03	0.03	0.00	17.3	44.9 ± 7.6
'85 5	—	—	—	—	—	—	—	—
'85 8	3.22	9.93	0.43	0.04	0.04	0.00	13.9	92.7 ± 11.2
'85 10	3.71	9.61	0.42	0.05	0.01	0.00	16.6	29.9 ± 12.2

DATA No 2 (Ions : EPM, Tritium : pCi/l)

	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁺	Tritium
Point 19								
'84 9	10.5	9.88	0.57	0.04	0.03	0.00	22.1	44.5 ± 7.0
'85 5	—	—	—	—	—	—	—	—
'85 8	—	—	—	—	—	—	—	—
'85 10	12.8	12.0	0.60	0.05	0.02	0.00	27.2	68.5 ± 10.6
Point 20								
'84 9	1.15	3.38	0.33	0.03	0.03	0.81	3.85	29.7 ± 6.9
'85 5	—	—	—	—	—	—	—	—
'85 8	—	—	—	—	—	—	—	—
'85 10	0.85	1.99	0.26	0.02	0.02	0.13	2.97	91.9 ± 10.5
Point 21								
'84 9	11.7	11.0	0.62	0.04	0.03	0.02	23.2	38.4 ± 7.0
'85 5	11.9	10.8	0.60	0.04	0.03	0.06	24.4	42.1 ± 8.1
'85 8	11.9	11.5	0.50	0.04	0.04	0.08	24.6	41.8 ± 10.2
'85 10	13.0	11.7	0.60	0.04	0.02	0.02	26.5	69.0 ± 9.3
Point 22								
'84 9	4.55	8.23	0.45	0.05	0.03	1.59	11.5	34.2 ± 7.5
'85 5	2.28	4.75	0.25	0.03	0.02	0.81	6.72	49.6 ± 8.3
'85 8	3.91	11.0	0.52	0.05	0.03	2.74	13.4	35.4 ± 8.4
'85 10	2.24	4.46	0.21	0.08	0.01	0.18	6.97	39.9 ± 9.6
Point 23								
'84 9	9.05	8.93	0.54	0.06	0.03	0.03	19.4	44.9 ± 7.8
'85 5	4.64	4.75	0.39	0.05	0.03	0.02	9.74	41.7 ± 8.2
'85 8	6.51	6.14	0.36	0.05	0.04	0.08	13.1	46.1 ± 14.1
'85 10	8.49	7.89	0.48	0.05	0.02	0.00	17.0	72.1 ± 10.5
Point 24								
'84 9	1.97	6.29	0.56	0.03	0.03	1.97	6.56	39.6 ± 7.7
'85 5	2.15	8.58	0.56	0.03	0.03	2.34	8.89	56.2 ± 8.2
'85 8	4.14	4.69	0.29	0.07	0.03	0.11	9.06	58.9 ± 13.5
'85 10	4.69	5.03	0.33	0.06	0.02	0.02	10.7	62.4 ± 10.3
Point 25								
'84 9	2.65	3.84	0.28	0.03	0.03	0.99	5.81	34.1 ± 7.7
'85 5	2.25	3.53	0.25	0.03	0.03	1.17	5.08	24.0 ± 7.8
'85 8	1.02	2.72	0.19	0.02	0.03	0.10	3.85	23.1 ± 9.1
'85 10	3.30	4.05	0.29	0.05	0.01	0.05	7.95	29.3 ± 11.5
Point 26								
'84 9	1.02	1.85	0.22	0.02	0.03	0.42	2.77	37.5 ± 7.7
'85 5	0.72	2.56	0.21	0.02	0.02	0.35	3.08	36.3 ± 8.1
'85 8	1.09	1.79	0.16	0.01	0.03	0.44	2.69	64.3 ± 13.3
'85 10	1.05	1.70	0.20	0.02	0.02	0.16	2.82	67.0 ± 11.5
Point 27								
'84 9	—	—	—	—	—	—	—	49.7 ± 7.6
'85 5	1.34	1.49	0.22	0.02	0.02	0.81	2.25	53.1 ± 8.3
'85 8	1.32	2.19	0.20	0.02	0.05	0.82	3.04	41.7 ± 7.8
'85 10	1.22	1.85	0.20	0.02	0.01	0.40	2.66	48.9 ± 10.2

濃度の変化は顕著でないにもかかわらず、7月の土石流発生により湧水箇所が消失して継続測定不能となった例であり、自然現象の複雑さがこれらの結果からも見られた。

源頭部よりやや下流の例として、番号16の地点の結果を(b)に示してある。近接した他の地点である、15, 18, 20の湧水と同様に、陽イオン濃度、T濃度ともに季節により大きく変動しており、T濃度自身ほぼ降雨水の変動に類似しているところから、これらの湧水は、滞水層が小さく降雨水の影響を敏感に反映する地域と考えた。

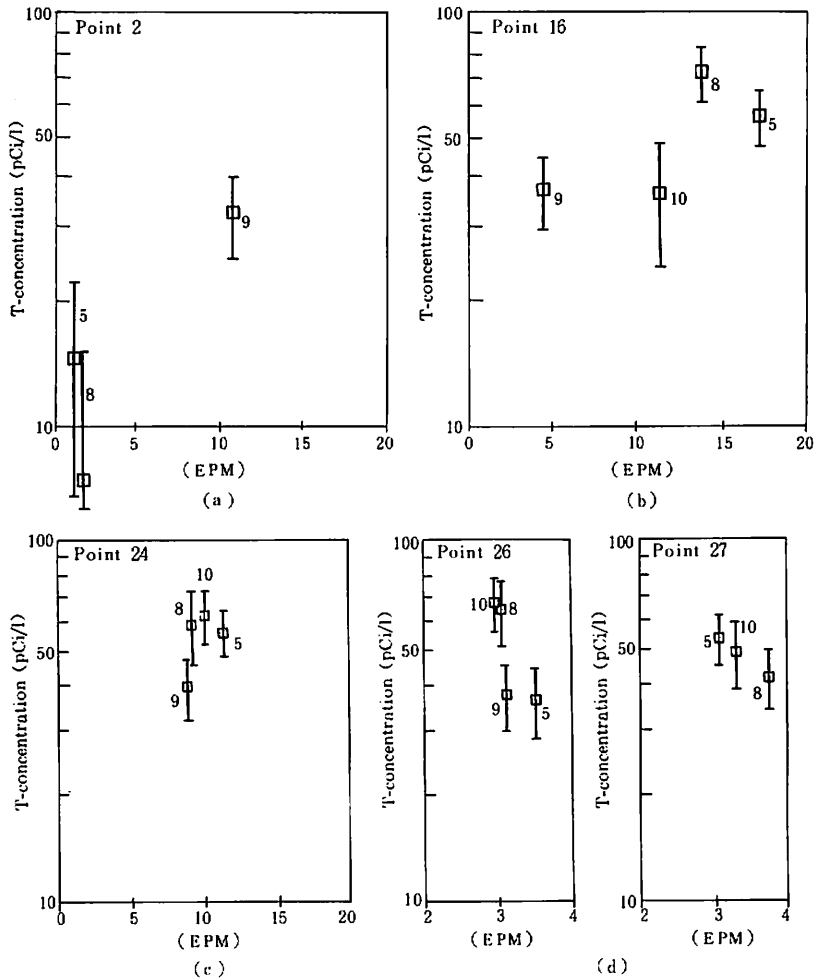


図-2 湧水中のT濃度と全陽イオン当量濃度(EPM)に関する季節変動
(a)No.2-上流域, (b)No.16-中流域, (c)No.24-中流域, (d)No.26, 27-河川水
各図中の数字は採水月を示す。各々1984年9月, 1985年5, 8, 10月

Fig. 2 Seasonal variations of relationships between tritium- and total cationic concentrations.

(a) No. 2 - upper stream area. (b) No. 16 - middle stream area,
(c) No. 24 - middle stream area, (d) No. 26, 27 - river water.

The numbers in each figure show the sampling dates; 9 - Sep. '84,
5 - May '85, 8 - Aug. '85, and 10 - Oct. '85, respectively.

中流域での湧水(19~24)は、T濃度イオン濃度ともに安定しており、ほぼ一定値(全陽イオン当量濃度10~30EPMおよびT濃度35~70pCi/l)を与えている。この流域での典型的な例を(c)に示す。両濃度に季節変動が余り見られないことから、これらの湧水は、左右両岸とも上流域に比較して大きな滞水層に関連しており、降雨水の影響を直接には受けていないと考えた。しかしながら滞水年代は後述のように比較的近年(1969年以後)のものであると確認された。

下流域河川水(26, 27)は上中流域全ての湧水の総合されたものであり、図-2(d)に示したように、Tおよび全陽イオン濃度ともほぼ一定値を示しており、後者は試水中一番低い値(2~3EPM)を与えている。このことは上中流域の高溶存イオン濃度が、河川底流などからの供給水の付加によって極度に希釈化されたことを意味している。このことは上流域において極度に湧水量が増大することにより、上流域のイオン濃度が下流域に比べて1桁以上大きいので下流域に設置したセンサーによりパルス状の電導度増大として検出され、土石流発生の予知となったという結果(青木・佐藤ら, 1986)と矛盾しない。またこれら下流域のT濃度自身は近年の降雨水濃度とほぼ一致している。

これらの結果をもとに、T濃度が安定値を示す湧水(試水番号15, 16, 18, 20を除く)について、それらに関連する滞水層のおおよその年代を以下のように見積ってみた。まず始めに、現在の滞水層に関係

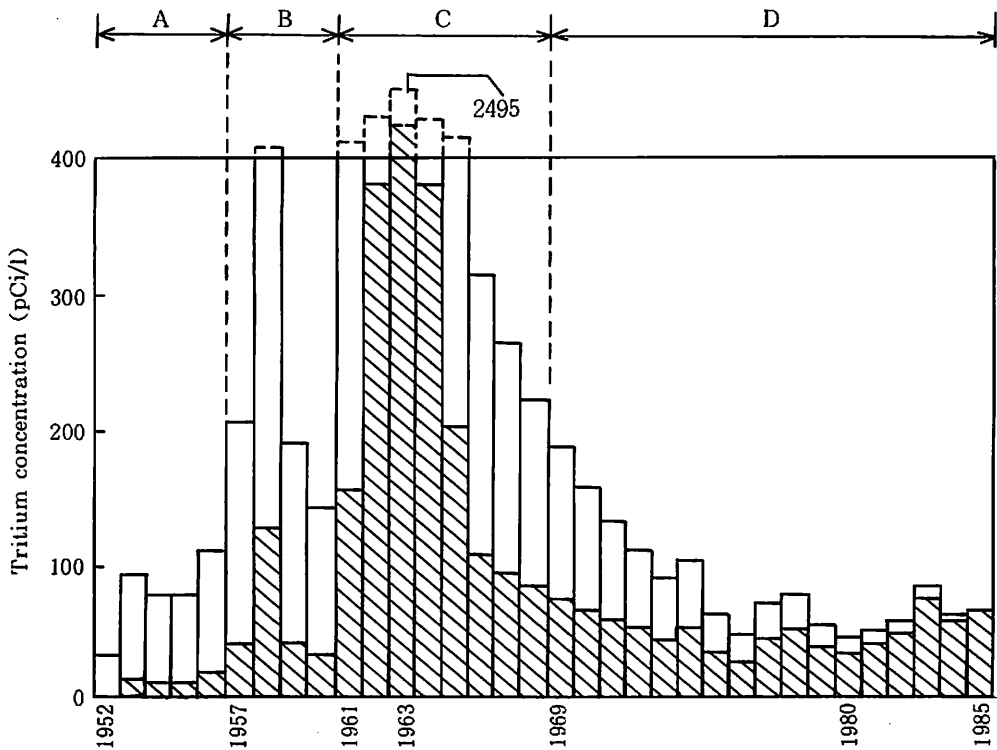


図-3 我が国における1952年以後現在までの降水中の年間平均T濃度と壊変を考慮した1985年時点でのT濃度(斜線部分)

Fig. 3 Average annual tritium concentration of the precipitation in Japan and the remnant concentration, related to 1985 (▨).

する可能性のある1952年以後の降雨水中の年間平均T濃度を、いくつかの文献値（Saro, 1982, Higuchi, 1986）をもとに見積り図-3にまとめた。降雨当時のT濃度も1985年の現時点になれば放射壊変によりTは減衰するので、古い降雨水ほど低T濃度となる。この考慮を行ったものを図-3中に斜線で示した。1957年以後降雨水中のT濃度には明らかな増減が観察される。特に1960年代前半においての高濃度のT（400pCi/lにも及ぶ）は、当時盛んに大気圏内で行われていた大規模の核爆発実験にもとづく人工Tの汚染に由来するものであり、減衰を考慮しても当時の高T濃度は現時点でも近年のT濃度より高くなる。1969年以後は大気圏内での核爆発実験がほぼ中止されたため、T濃度は明らかに減少してきており、現在の降雨水は1950年代の水準に戻っていることが分かっている（Saro, 1982）。

ここでは、現時点における各年代のT濃度の寄与を大まかに判定するため、図-3に示したようにT年代をA～Dに4分割し、各年代の現在の平均T濃度を見積った。その結果を表-2に示す。表からもわかるようにBの時期のT濃度がD時期のそれとほぼ等しいので、ここでは30～80pCi/l濃度の試料水は全てD期間の降雨水由来であるとした。

表-2 平均的な残存T濃度を利用した滞水層の年代推定
Table 2 Age categories of individual ground water samples according to their remnant tritium concentrations.

	Remnant tritium concentrations, related to 1985 (pCi/l)	Origin of the precipitation	Estimated ground water 'age' (year)
A	< 30	- 1956	> 29
B	30 - 50	1956 - 1960	25 - 28
C	> 80	1961 - 1968	17 - 24
D	30 - 80	1969 -	< 16

これらの平均的T濃度をもとに、金山沢の湧水についてその滞水層の年代を見積ってみた結果を、図-4に示す。この見積りは、単純化のために滞水層の混合は無視している。実際上は、金山沢の地形や多雨、多雪地帯であることを考えたとき、混合作用が無視できないことは自明である。これら無理な条件をあえてここでは取り入れ、図-4を作製したが、この結果から次のことが言えよう。すなわち湧水の大部分は近年の降雨水に由来するものであり、例外としての試水2と13は他より明らかに低いT濃度（<30pCi/l）を与えているため、A期間に相当する古い滞留水が関与していると考えた。もう一つの例外として、試水11は、他の湧水とは逆に高いT濃度（≈80pCi/l）を与えており、C期間の降雨水が寄与していると結論づけた。これらの地域において、1969年よりも古い時代の滞留水が滞水層中に存在しており、特に風化作用や崩落崩壊活動を続けている地域に関与していることは大変興味深い結果である。年代の古い水が活動し始めたとき土石流が発生したり、その前兆があるらしい様子が、当実験からおぼろげながら実体を見せて来たようである。佐藤ら（1984）により他の地域の土石流において明らかにされたように、古い地下水の活発化が不偏的に土石流災害と結びつかならば、T濃度の測定はこの方面の研究に大変有用となる。特に当地域で見られたような溶存イオン濃度が必ずしも滞水層の性質を反映しないような、地質学的に活動的な地域においては、T濃度の測定に基づいて新旧の滞留水を判

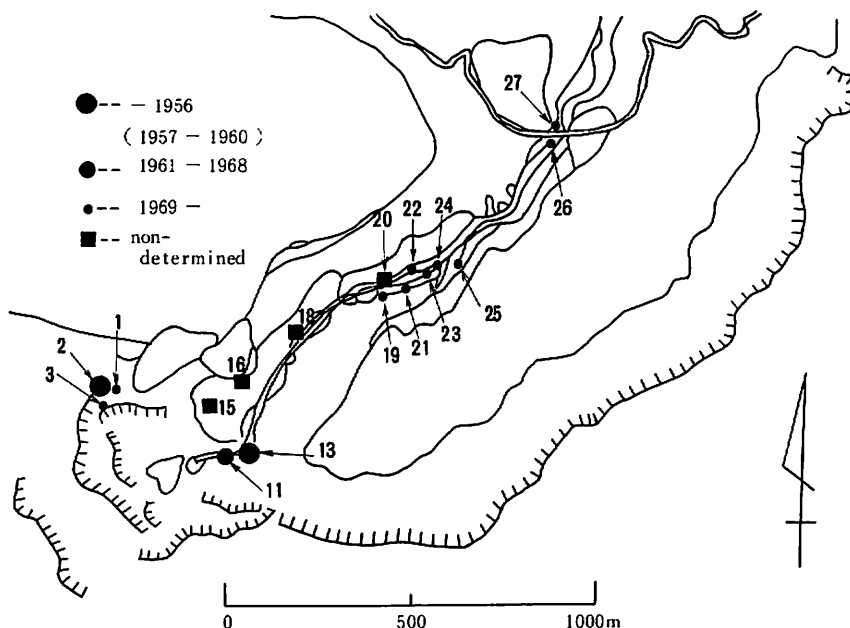


図-4 金山沢での湧水採取地点とT濃度からの推定滞水年代
 Fig. 4 Sampling sites of ground water in the Kanayama Valley and the assigned ground water's 'age'.

断するのが一番信頼がおけると言える。他地域との比較やより信頼性に足る低レベルのT濃度の測定が簡便にかつ継続的に行われる必要があると考える。

IV お わ り に

地下水や滞水層の水文学的研究において、滞留水の年代に関する情報を知ることが、土石流など地盤災害発生の予知にとって必要であるのみならず、水資源の有効利用のためにも不可欠となってきている。水の構成成分としてのTは、原子力施設付近以外は汚染は考えられず、その水中での濃度はT固有の壊変現象のみに依存するため、水が関与する全ての地質学的、地球化学的現象の解明に利用出来る。他の安定同位体としてのD (^2H) や ^{18}O , ^{16}O 更には ^{17}O の利用も今後T濃度測定同様地盤災害研究に使用されるのは遠い日ではないような気がする。今後この方面の簡便な実験法やデータの解析法および実験結果の集積が待たれる。

謝 辞

本実験に際し、終始御関心と御鞭撻を頂いた理学部 外林 武教授に感謝致します。また溶存イオンの分析に際しては農学部学生、白田卓広氏と菅原 修氏にお世話になりました。ここに深謝の意を表する次第である。

なお本研究の研究費の一部は、文部省科学研究費、エネルギー特別研究(核融合)(1)“環境トリチウムの変動測定とその解析(分担者として61年度参加)”(研究代表者・高島良正)に依った。関係者の御厚意に謝意を表する次第である。

文 献

- 青木 滋・佐藤 修・霜島重雄・藤田至則・茅原一也・早川嘉一・鈴木幸治・五日市好則・北出一郎・加藤陽一・森田信介(1986)：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4－. 新潟大災害研年報, 7, 115－155.
- 橋本哲夫・樋口 靖・佐藤 修・青木 滋・殿内重政・外林 武(1984)：液体シンチレーション法による大気中および降水中のトリチウム濃度測定. 新潟大災害研年報, 6, 73－82.
- 橋本哲夫・樋口 靖・酒井裕二・佐藤 修・青木 滋・外林 武(1985)：湧水・地下水のトリチウム濃度測定－姫川水系浦川流域および新潟地区水溶性天然ガス井からの天然水中のトリチウム濃度－. 新潟大災害研年報, 7, 163－172.
- HIGUCHI, Y. (1986) : Determination of tritium content in ground waters from the landslide area. Master's thesis, Niigata University.
- 中川隆夫・佐藤 修・橋本哲夫(1986a)：低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターによる環境トリチウム測定の基礎研究－バックグラウンドの検討－. 新潟大災害研年報, 8,
- 中川隆夫・橋本哲夫・青木 滋・佐藤 修(1986b)：液体シンチレーター-PICO-Fluor LLTの性能について. 新潟大災害研年報, 8,
- SARO, S. (1982) : The end of the tritium dating ?. Radiochem. Radioanal. Lett., 53, 89-94.
- 佐藤 修・青木 滋・矢沢茂伸・鈴木幸治(1984)：虫亀地すべり地周辺の湧水の水質－地すべり地の陸水の水質4－. 新潟大災害研年報, 6, 63-72.
- 佐藤 修・橋本哲夫・樋口 靖・白田卓弘・青木 滋(1985)：地盤災害地の湧水, 地下水の水質. 日本地球化学会年会, 1 B15.