

新潟県の河川水のトリチウム濃度と化学成分

仲川隆夫*・佐藤修**・橋本哲夫***

Tritium concentration and chemical composition of river waters in Niigata Prefecture, Central Japan

by

Takao NAKAGAWA, Osamu SATŌ and Tetsuo HASHIMOTO

(Abstract)

Water samples were collected from 18 rivers in Niigata Prefecture during September of 1986. Tritium concentration and seven major ionic constituents, including Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , HCO_3^- and SO_4^{--} ions were acquired to determine if they reflect the nature of individual rivers. The results obtained are as follows.

Tritium concentrations of the river water range from 24 pCi/l to 68 pCi/l and tend to be slightly higher than the concentrations in the precipitation collected at Niigata City. From the view point of decay-properties of tritium, these water samples are apparently affected by the precipitations bearing the artificial addition of tritium due to the past thermonuclear tests in the atmosphere. It was also suggested that the river water consists not only of runoff, but also of additional ground water to a large extent.

As compared with the water quality about 40 years ago, the major ionic components of waters in the Miomote and the Agano Rivers have been scarcely changed, while the artificial pollution in the Shinano and the Seki Rivers has proceeded slightly. From these results, it was ascertained that the major ionic components in river water has not changed in general without pollution within a short period like several decades.

The evidence above also supports the idea that the tritium concentration and chemical components of river water are subject to the feature of aquifers (scale, geology, residence time etc.) in the drainage basin.

Key words: tritium concentration, chemical composition, river water, land subsidence

キーワード: トリチウム濃度, 化学成分, 河川水, 地盤沈下

I は じ め に

新潟平野, 高田平野, 六日町盆地等の新潟県内に発達する大きな平野や盆地では, 水溶性天然ガス採取や消雪を目的とする地下水の過剰揚水に起因する地盤沈下が, 1950年代以降絶えず問題となってきた。

地下水の水質やトリチウム濃度に着目し、地下水がどのような履歴の水であるか明確にすることは、これらの地盤沈下の解析や対策、今後の地下水利用にとって不可欠である。この目的のためには、平野・盆地部における地下水の主要な涵養源と考えられる河川水の水質、トリチウム濃度等を事前に知ることが必要である。

河川水の水質分析は、環境・上水道の源水等の調査を目的に多様な機関で実施されているが、それぞれ特別な目的に対応して調査項目が選定されているために、水の主要溶存成分のなかには未分析のものも多い。水の履歴を検討するためには、主要成分を明確にする必要があるが、新潟県内の河川の水質に関して利用できる資料は少ない。そのひとつに小林(1971)の分析結果があるとはいえ、これは1944年から1945年にかけておこなわれた採水をもとにしたもので、現在の水質と同一であるかどうかは不明である。

一方、水素の同位体のひとつであるトリチウム(^3H 半減期約12.3年)は、天然に生成されるもの以外に、核実験や原子力施設に由来するものがあり、地球上では $^1\text{H}^3\text{HO}$ 等の化学形で水として循環している(たとえば阪上, 1985)。1950年~1960年代には、大気圏内で盛んにおこなわれた核実験の影響を受け、降水をはじめ河川水等のトリチウム濃度が著しく上昇した。その後、河川水中のトリチウム濃度は、減少したとはいえ、降水中の濃度に比べかなり高いことが指摘されている(茶谷ほか, 1981)。しかし、新潟県内の河川水のトリチウム濃度の測定例は皆無に近く、このような検討をおこなうことは困難である。さらに、原子力施設の増加が予想される将来のためにも、現在の環境中のトリチウム濃度を把握することが重要である。

筆者らは上記目的のために、環境水中のトリチウム濃度測定の基礎実験をおこなう(橋本ほか, 1984, 1985; 仲川ほか, 1986)とともに1986年9月に新潟県内の主要河川である信濃川・阿賀野川等について、河川水のトリチウム濃度と水質を調べた。本論では、その結果を報告し、次に、高田平野を例に、地下水中のトリチウム濃度と地盤沈下との関係を考察する。

II 実 験

A. 採水: 平水時であった1986年の9月に、新潟県内の主要河川(図-1, 表-1)について、橋上からポリバケツで、流心部付近の表面水を採取した。ただちに水温と電気伝導度を携帯型電気伝導度計(横河北辰電機SC-51)で、pHを比色法によってそれぞれ測定した。試料水は、ポリエチレンびんに移し、実験室に持ち帰った。実験室では、ガラス電極法によってpHを測定後、実験目的に応じた前処理をおこなった。表-1に掲げたpHは、後者の値である。

また、トリチウム濃度の比較にもちいた降水は、新潟市五十嵐2の町の新潟大学積雪地域災害センターの屋上で採取したもので、河川水と同様な方法で測定した。

B. トリチウム濃度: 科学技術庁(1977)を

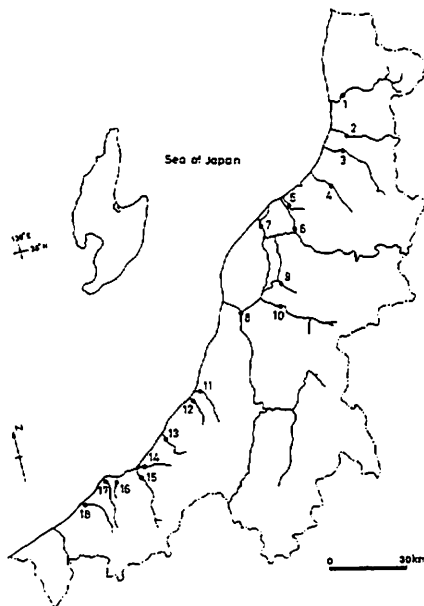


図-1 採水地点。番号は、表-1の採水地点を表す。

Fig.1 Map showing the sampling locations.

表-1 河川水の主要溶存成分とトリチウム濃度。河川名の前の番号は図-1の地点と対応する。電気伝導度は25°Cの値に換算した。

Table 1 Chemical composition and tritium concentration of river waters in Niigata Prefecture.

河川名(採水地点)	採水日	水温 °C	導電率 μS/cm	pH	Na ⁺ meq/l	K ⁺ meq/l	Ca ⁺⁺ meq/l	Mg ⁺⁺ meq/l	Cl ⁻ meq/l	HCO ₃ ⁻ meq/l	SO ₄ ⁻⁻ meq/l	Tritium pCi/l
1. 三面川(水明橋)	9.7	20.1	56	6.5	0.184	0.020	0.180	0.083	0.135	0.249	0.075	29.1±11.0
2. 荒川(温泉橋)	9.7	20.8	51	6.7	0.186	0.021	0.191	0.073	0.121	0.254	0.097	37.5±11.1
3. 胎内川(胎内川橋)	9.7	21.0	43	6.8	0.127	0.021	0.181	0.081	0.074	0.258	0.075	40.0±11.1
4. 加治川(加治川大橋)	9.7	18.4	73	6.6	0.222	0.032	0.282	0.137	0.170	0.376	0.122	39.3±11.1
5. 新井郷川(久平橋)	9.7	23.1	254	6.5	1.296	0.075	0.423	0.347	1.265	0.539	0.256	56.4±11.1
6. 阿賀野川(横雲橋)	9.7	20.8	83	6.6	0.224	0.047	0.304	0.127	0.186	0.340	0.221	51.1±11.0
	9.15	20.6	91	6.8	0.286	0.039	0.343	0.145	0.224	0.326	0.284	56.4±12.2
	9.28	19.1	98	7.1	0.306	0.039	0.358	0.133	0.205	0.344	0.281	44.1±11.5
7. 信濃川(帝石橋)	9.7	22.3	134	6.8	0.327	0.056	0.533	0.217	0.249	0.489	0.388	43.7±10.8
	9.28	19.3	154	7.3	0.469	0.059	0.640	0.252	0.347	0.648	0.397	58.5±11.6
8. 信濃川(本川橋)	9.28	18.5	163	7.2	0.465	0.055	0.656	0.268	0.328	0.702	0.399	52.9±11.6
9. 加茂川(保明大橋)	9.28	18.6	200	6.7	0.812	0.078	0.610	0.243	0.533	0.811	0.448	41.0±11.4
10. 五十嵐川(大橋)	9.28	17.2	78	6.8	0.262	0.032	0.228	0.123	0.153	0.297	0.195	25.7±11.3
11. 鮭石川(豊田橋)	9.15	22.1	188	7.1	0.694	0.094	0.561	0.356	0.507	0.929	0.309	32.1±11.6
12. 鶴川(新金輪曲橋)	9.15	21.4	1,549	6.9	10.389	0.292	0.918	2.151	11.208	0.689	1.296	36.5±11.6
13. 柿崎川(大曲橋)	9.15	22.3	130	7.1	0.425	0.046	0.409	0.217	0.306	0.594	0.235	68.5±11.5
14. 保倉川(保倉川橋)	9.15	22.6	885	6.9	4.884	0.287	0.846	1.215	5.465	0.648	1.119	24.7±11.3
15. 関川(春日山橋)	9.15	21.9	293	6.6	1.011	0.087	1.009	0.326	0.941	0.643	0.771	30.0±11.4
16. 桑取川(有間川橋)	9.15	21.7	156	7.4	0.456	0.048	0.755	0.280	0.217	0.775	0.560	31.6±11.4
17. 名立川(名立川大橋)	9.15	24.7	245	8.5	0.877	0.066	1.058	0.371	0.309	1.128	0.853	29.0±11.9
18. 能生川(能生大橋)	9.15	23.0	213	8.2	0.499	0.038	1.115	0.388	0.208	1.024	0.808	37.2±11.5

参考とし、環境水中のトリチウム濃度の測定法についての基礎実験結果(仲川ほか, 1986; 1987)にもとづいて定めた方法でおこなった。次に、概略を述べる。

①蒸留した試料水45mlと液体シンチレーター-PICO-Fluor LLT (Packard) 55mlを100mlテフロンバイアルに取り、均一になるまで振とう・かくはんしたものを測定試料とした。電解質濃度の高い試料水については、過酸化ナトリウムを加え蒸留したのち、硝酸銀溶液を滴下しても白濁しなくなるまで、空蒸留を繰り返した。

②約12°Cの冷蔵庫内で一日程度放置後、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンター (Aloka LSC-LB1) で、50分×10回~20回測定した。なお、バックグラウンド水は、トリチウム濃度が1.30±1.02pCi/lである (HIGUCHI, 1986MS) 新潟平野の天然ガス付随水 (G₄₋₁層 深度約500m) を用いた。

③測定値は、最初の3回分を無条件で棄て、残り値を採用した。これらの測定値について平均値を求め、標準誤差の2倍以上はずれているものを除き、トリチウム濃度*を算出した。クエンチング補正は、

* 環境水中のトリチウム濃度の単位として、pCi/l, TR, TU, Bq/l等が用いられるが、本論ではpCi/lに統一した。それぞれの単位の関係は、1 TR=1 TU≒3.23pCi/l, 1 Bq/l≒27pCi/lである。

外部標準チャンネル比 (ESCR) 法によった。なお、本法によるトリチウム濃度の検出限界は、 $20\text{pCi}/\ell$ (2σ の場合) 程度である。

C. 化学成分：河川水の主要溶存成分であるナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、塩化物、炭酸水素、硫酸の各イオンについて定量した。試料水を $0.45\mu\text{m}$ のメンブランフィルターでろか後、日本分析化学会北海道支部編 (1981) に準拠し、以下の方法でおこなった。

カチオン：原子吸光法 (カルシウム、マグネシウムイオンについては干渉抑制剤として塩化ランタンを添加)

塩化物イオン：チオシアン酸水銀 (II) 法

炭酸水素イオン：BCPを指示薬とする $\text{pH}4.8$ アルカリ度を測定し、換算した。

硫酸イオン：塩化バリウムゼラチン法 (硫酸バリウムの白濁を利用する比濁法)

なお、低電解質濃度の試料の場合には、塩化物イオン、硫酸イオンの測定は、イオンクロマトグラフ法 (島津製作所HIC-6Aを使用) によった。

III 結果と考察

上記の方法で分析した1986年9月における新潟県内の河川水のトリチウム濃度と主要溶存成分を表-1に掲げた。この結果について、以下に考察する。

1. トリチウム濃度

河川水のトリチウム濃度をほぼ同時期に採水した降水の濃度と比較するとともに、流域の地形学的特性との関係を調べたところ、次の点が明らかになった。

①新潟県内の河川水のトリチウム濃度は、 $24\text{pCi}/\ell$ から $68\text{pCi}/\ell$ であった (表-1)。これに対し、1986年6月~9月の新潟市における降水の濃度は、 $15\text{pCi}/\ell$ ~ $56\text{pCi}/\ell$ で、河川水のトリチウム濃度が降水よりも幾分高い。

②阪口 (1971) によって、流域の地形学的特性が求められている三面川、荒川、胎内川、加治川、阿賀野川、信濃川、鯖石川、関川について、河川水のトリチウム濃度と流域の特性との関係を検討した。図-2にトリチウム濃度と流域平均幅との関係を示す。流域平均幅は、流域面積を幹川長で割った値で、一般に大きな流域面積をもつ河川で大で、流域面積の減少にともなって小さくなる (阪口, 1971)。図-2には、流域平均幅の大きな阿賀野川や信濃川では、流域平均幅の比較的小さな河川に比べて、トリチウム濃度が高くなる傾向がみられる。

ところで、河川水のトリチウム濃度が降水よりも高い現象は、すでに知られている。茶谷ほか (1981) は、1977年~1979年の愛知県内の木曾川、矢作川、豊川における河川水のトリチウム濃度が代表値でそれぞれ $100\text{pCi}/\ell$ 、 $94\text{pCi}/\ell$ 、 $74\text{pCi}/\ell$ となり、名古屋市の降水の平均値 $74\text{pCi}/\ell$ よりも高いことを報告した。そして、この現象を地下水として蓄えられた1950~1960年代の高濃度のトリチウムを含む降水がこの時期にも河川に流出を続けているためと考え、河川水の多くは降水がそのまま流出したものではなく、地下水として涵養された後に再流出したものであることを指摘した。

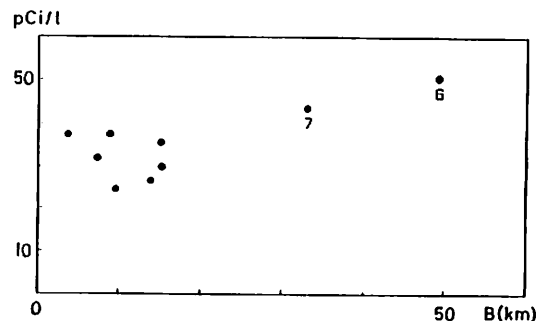


図-2 流域平均幅(B)と河川水のトリチウム濃度。
6:阿賀野川, 7:信濃川

Fig. 2 Relation between mean width of drainage basin and tritium concentration of river water.

さらに、木曾川・矢作川・豊川の流域平均幅はそれぞれ22.7km, 15.7km, 9.6kmとなること（阪口, 1971）から、愛知県内の河川についても流域平均幅の大きな河川では、トリチウム濃度が高くなる傾向があることがわかる。

したがって、先に述べた新潟県内の河川水のトリチウム濃度が降水よりも高い現象や流域平均幅とトリチウム濃度との関係は、茶谷ほか（1981）のモデルによって説明できる*。すなわち、河川水は、降水がそのまま流出するのではなく、一旦地下水として蓄えられた後に流出するために、1950年～1960年代の高濃度のトリチウムを含む降水の影響を受け、現在の降水よりも高濃度のトリチウムを含む。さらに、流域面積の大きな河川ほど帯水層の容積が大きく、地下水が入れ替わる時間が長くなるために、河川水には比較的高濃度のトリチウムが含まれる。

また、1977年～1979年の愛知県の河川水がそのまま保存されたならば、1986年におけるトリチウム濃度は約44pCi/l～67pCi/lである。これは、1986年の新潟県内の河川水のトリチウム濃度より幾分高い。地下水として涵養された降水のトリチウム濃度が新潟・愛知両県の河川について等しいとすれば、1950年～1960年代の高濃度のトリチウムを含む地下水は、崩壊によって低濃度になったり、あらかじめ流失してしまったと考えられる。すでに、河川水のトリチウム濃度の見掛けの半減期は、トリチウム自体よりも短く、約3.9年～7.1年であることが指摘されている（田中, 1983）。したがって、新潟県内の河川水のトリチウム濃度は、今度さらに低下し、降水中の濃度や河川水を供給している地下水盆の性質に著しい変化がなければ、平衡に達する。

2. 河川水の水質

主要溶存成分の組成（表-1, 図-3）にもとづいて、新潟県内の河川水を以下の4タイプに区分した。

タイプA：三面川, 荒川, 胎内川, 加治川, の河川水が属し、日本の河川水の平均水質（表-2）に近い組成をもつ。キーダイアグラムでは、II型に分類できる（図-3の1～4）。

タイプB：信濃川, 阿賀野川, 加茂川, 五十嵐川, 鯖石川, 柿崎川, 関川の河川水が属する。これらの河川水は、タイプAに比べて塩化物イオンの濃度が高い。なかでも、加茂川の河川水は、キーダイアグラムではIV型に分類され（図-3の9）、タイプBのなかでは、最も塩化物イオンの全アニオン中に占める割合が高い。

タイプC：桑取川, 能生川, 名立川の河川水が属する。これらの河川水は、カルシウム, ナトリウム, 硫酸の各イオン含有量が高い。ところで、地すべり地では、黄鉄鉱の酸化によって生成された硫酸イオンに富み、タイプCに属する組成をもつ陸水が存在することが指摘されている（たとえば佐藤, 1982）。さらに、これらの河川の

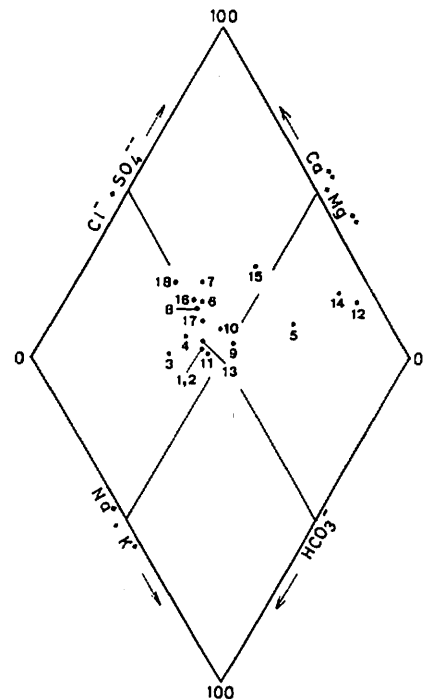


図-3 キーダイアグラム。番号は、表-1の採水地点と対応する。阿賀野川と信濃川は9月7日採水分のみ表示。

Fig. 3 Key diagram of major ions of river waters in Niigata Prefecture.

* 以下の議論は、平水時を前提としたものである。洪水時には、表面流出が著しくなり、降水が水量の主体を占めることも予想される。今後の課題としたい。

流域の西頸城地方は、いわゆる「第三紀層地すべり」が広く分布することが知られている（たとえば新潟県農地部農地建設課，1984）。したがって、これらの河川水は、地すべり地から流出したと考えられ、水質にも地すべり地帯という流域の特性が反映していることがわかる。

なお、他の河川—たとえば信濃川—の流域にも、地すべり地を流域にもつ支流が存在するが、河川水中の硫酸イオンの濃度は必ずしも高くない。これらの河川では、支流の水量が本流に比べて少ないために、本流の水質に与える影響は小さい。

タイプD：新井郷川，鶴川，保倉川の河川水が属する。ナトリウムイオン，塩化物イオンに富む。キーダイアグラムでは、IV型に分類される（図-3の5，12，14）。採水地点が比較的河口に近いことから、塩水くさびによって、海水が遡上したと考えられる。

ところで、新潟県内の河川水中の塩化物イオン濃度は、太平洋側の河川—たとえば木曾川—に比べて、かなり高い（表-1，表-2）。この理由として、①人為汚染，②日本海側では、冬季の季節風によって海塩が運ばれ、降水や河川水中に含まれたこと（たとえば小林，1971；角皆・品川，1977），③流域に広く分布する第三紀層を中心とした海成層中の塩化物イオンが溶出したこと，④火山活動・温泉の影響をあげることができる。しかし、流域の人口が少なく、人為汚染の影響が少ないと思われる胎内川でも、河川水中の塩化物イオンの濃度は、木曾川と同程度である。さらに、関川を除いて火山活動・温泉の影響は考えにくいことから、人為汚染を除けば、主に海塩と海成層中の塩化物イオンに由来したことになる。

3. 小林（1971）との比較

三面川，阿賀野川，信濃川，関川（旧名：荒川）の水質については、1944年から1945年にかけて採水のおこなわれた小林（1971）の分析結果（表-2）が知られている。約40年後の水質の変化を検討するために筆者らの結果（表-1）と比較すると、以下のことが明らかになった。なお、比較にあたっては、小林（1971）の水質が約1年にわたって継続的に行われた結果の平均値であるのに対し、筆者らの結果が1回の採水である点と分析方法の違いに留意した。

表-2 1944年～1945年の新潟県内の河川水の水質と日本の河川水の平均水質。小林（1971）にもとづく。比較のために示した木曾川の水質は茶谷ほか（1981）による。

Table 2 Chemical composition of river waters in Niigata Prefecture during 1944 to 1945, and mean water quality of Japanese rivers (After KOBAYASHI, 1971).

The data of the Kiso River are taken from CHAYA et al. (1981).

河川名(採水地点)	採水年月日	pH	Na ⁺ meq/l	K ⁺ meq/l	Ca ⁺⁺ meq/l	Mg ⁺⁺ meq/l	Cl ⁻ meq/l	HCO ₃ ⁻ meq/l	SO ₄ ⁻⁻ meq/l
三面川(村上市村上)	1944.4～1945.2	6.6	0.235	0.025	0.215	0.107	0.209	0.268	0.073
阿賀野川(新津市七日町)	1944.4～1945.2	6.7	0.226	0.037	0.245	0.107	0.150	0.278	0.185
信濃川(小千谷市)	1944.4～1945.2	6.9	0.278	0.047	0.404	0.164	0.152	0.498	0.256
関川(上越市上稲田)	1944.4～1945.2	6.9	0.548	0.043	0.619	0.263	0.502	0.620	0.354
木曾川(犬山市)	1977.4～1980.3	6.9	0.117	0.023	0.240	0.049	0.076	0.267	0.099
日本の河川水の平均水質		—	0.291	0.030	0.439	0.156	0.164	0.508	0.221

三面川, 阿賀野川: 両河川については, 採水地点がそれぞれ数km程度異なるが, 小林 (1971) の分析結果と比較すると主要溶存成分については, 著しく変化しておらず (表-1, 表-2), 人為汚染がさほど進行していないことがわかる。

信濃川: 小林 (1971) の採水地点 (表-2) が筆者らの地点 (No 8: 本川橋) よりも, 約70km上流の小千谷市に位置するので直接の比較は困難である。しかし, 9月28日の採水結果では, 約40km下流の帝石橋 (No 9) の水質が本川橋とさほど変わらないことを示している (表-1)。それ故, 約40年前の本川橋の水質が小千谷市とほぼ同じとすれば, 信濃川ではナトリウムイオンや塩化物イオンが増加し, 人為汚染が幾分進行していると言える。

関川: 採水地点は, 小林 (1971) の約3km下流に位置する。水質はかなり異なり, ナトリウムイオン, カリウムイオン, 塩化物イオン, 硫酸イオンの濃度が約2倍となっている。1970年代初めに小林 (1971) の近傍で採水された小島 (1972) の結果でも, 同様な水質を示すこと (図-4) から, 塩水くさびによる海水の遡上や火山活動・温泉の影響よりも, 人為汚染 (工場廃水) によると考えられる。

4. 河川水の起源

すでに述べたように, 新潟県内の河川水のトリチウム濃度と水質について検討すると, ①河川水のトリチウム濃度の方が降水よりも幾分高いこと, ②流域平均幅の大きな河川では, 河川水のトリチウム濃度が高い傾向にあったこと, ③河川水の主要溶存成分は, 人為汚染を除くとかなりの年月を経てもさほど変化しないこと, ④タイプCの河川水が, 地すべり地であるという流域の地質を反映したものであったことが明らかになった。さらに, 河川水のトリチウム濃度と各イオン濃度について相関分析をおこなうと, 両者の間には有意の相関が認められず, 一定の傾向を見出すことができなかった。

以上のことは, 河川水の大部分は降水がそのまま流出するのではなく, 一旦地下水として涵養された後に流出するために見られる現象と考えられる。すなわち, 河川水の水質 (主要溶存成分) やトリチウム濃度は, 基本的には流域の帯水層の特性 (規模, 地質, 滞留時間等) によって定まることを示している。したがって, 河川水の主要溶存成分の濃度は, 帯水層の地質と滞留時間によって決定されるために, かなりの年月を経ても人為汚染を除けば, 水質は著しく変動しないことが説明できる。また, 帯水層の規模と滞留時間が異なるとすれば, 河川によってトリチウム濃度が異なり, 水質との間に一定の傾向が認められないことも理解できる。

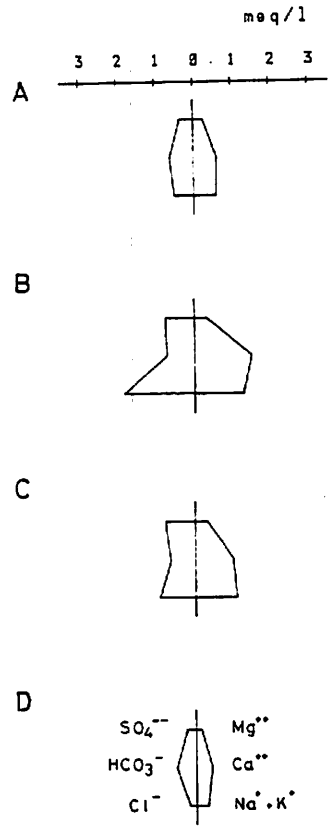


図-4 関川における水質の変化。A: 1944年~1945年 (小林, 1971), B: 1971年の稲田橋 (小島, 1972), C: 1986年 (表-1), D: 日本の河川水の平均 (表-2), 採水地点は, BはAの近傍, CはAより約3km下流にそれぞれ位置する。

Fig.4 Change of water quality of the Seki River. A: During 1944 to 1945 (After KOBAYASHI, 1971), B: In 1971 (After KOJIMA, 1972), C: In 1986. D: Mean water quality of Japanese rivers (After KOBAYASHI, 1971).

IV 高田平野の地盤沈下

上越市を中心とする高田平野では、1984年から3年間連続して豪雪に見舞われ、消雪用地下水の揚水にともない大幅な地盤沈下を生じた。この地盤沈下対策のために、1986年2月に採水された地下水のトリチウム濃度が報告されている（永野・大山，1986）ので、さきの河川水の結果をもとに高田平野の地盤沈下について考察する。

高田平野の帯水層は、浅いものから順にG₁層……G₅層と呼ばれ、いずれもが更新統に属すると考えられている。海岸部における分布深度は、G₁層が約50m、G₂層が約100m、G₃層が約150m、G₄層が約200m、G₅層が約350mである。（新潟県商工労働部工業振興課，1981）。筆者のひとり仲川の検討結果、これらのうちG₁層は、最終氷期中葉（約5万年～約3万年前）に形成された埋没段丘礫層群であることがわかった（仲川，1987）。

高田平野の地下水のトリチウム濃度（表-3）は、新井地区を除き、ほとんどが20pCi/l～50pCi/lの範囲内にある。これは前述の新潟県内の河川水や新潟市の降水のレベルとはほぼ等しい。次に、このトリチウムの由来を検討する。

高田平野の地下水と河川水は水質が異なり、濃度相関マトリックスによっても両者の間には相互関係が認められない（永野ほか，1985）ので、これらの地下水は、現在の河川水や降水がそのまま浸透しているとは考えられない。

高田平野の地下水は、1950～1960年代の高濃度のトリチウムを含む降水が浸透したものと仮定すると、その垂直方向の浸透速度は10m/yearを超え、かなり大きな値をもつことになる。しかし、地下水の垂直方向の浸透速度は、速いもので20m/yearに達すること（木村，1986）から、その速度に著しい矛盾は

表-3 高田平野の地下水のトリチウム濃度（永野・大山，1986）。

Table 3 Tritium concentration of ground water in Takada Plain
(After NAGANO and OYAMA, 1986).

帯水層	深 度 (m)	Tritium (pCi/l)	帯水層	深 度 (m)	Tritium (pCi/l)
新井地区	125	75 ± 11	G ₁ 層	110	21 ± 10
新井地区	150	39 ± 10	G ₂ 層	130	31 ± 10
新井地区	183	54 ± 10	G ₂ 層	130	18 ± 8
新井地区	130	34 ± 10	G ₂ 層	140	20 ± 10
新井地区	80	89 ± 9	G ₃ 層	170	50 ± 10
新井地区	60	96 ± 9	G ₃ 層	180	5 ± 10
新井地区	105	24 ± 10	G ₄ 層	185	27 ± 10
浅 層	21	29 ± 11	G ₄ 層	210	21 ± 11
浅 層	30	22 ± 8	G ₄ 層	240	27 ± 11
浅 層	50	26 ± 10	G ₄ 層	250	23 ± 11
浅 層	55	11 ± 9	G ₄ 層	255	29 ± 10
G ₁ 層	63	40 ± 10	G ₄ 層	260	29 ± 8
G ₁ 層	75	35 ± 10	G ₄ 層	262	28 ± 10
G ₁ 層	75	28 ± 10	G ₄ 層	305	0 ± 8

ないと考えられる。したがって、高田平野の地下水は、1950～1960年代の高濃度のトリチウムを含む降水に由来したものである。

ところで、深層地下水は、先の新潟平野の天然ガス付随水をはじめとして、液体シンチレーションカウンターによるトリチウム濃度測定の際にバックグラウンド水として用いられる程トリチウム濃度が低い。しかし、高田平野の場合、深度260 mで1950年～1960年代の降水の影響を受けたトリチウム濃度の比較的高い地下水が存在し（表-3）、海岸部では塩水化を起こしている（新潟県商工労働部工業振興課、1981）。これは、地下水の過剰揚水によってトリチウム濃度が低い地下水が消滅するとともに垂直浸透量が増加し、本来は浅層に存在すべき地下水が深層まで移動したり、海水が侵入したためと考えられる。

一方、河川水は降水が一旦地下水として涵養された後に流出したもので、その主要溶存成分は数十年の単位では、人為汚染を除けばさほど変化しないことがわかった。したがって、帯水層に貯留されている地下水の溶存成分や壊変を考慮したトリチウム濃度は、揚水等の特別な理由がなければ、変化しないことが当然と考えられる。

以上のことから、地下水の主要溶存成分やトリチウム濃度の急激な変化は、過剰揚水によって帯水層のバランスがくずれ、周囲の帯水層や海から水が供給されはじめたことを示し、地盤沈下の危険な徴候と言える。それ故、定期的に河川水や地下水中のトリチウム濃度の測定や水質水析を行うことは、地盤沈下の予測・対策にとって重要である。

V ま と め

1986年の9月に採水した新潟県内の河川水のトリチウム濃度と主要溶存成分の分析をおこなった。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 新潟県内の河川水のトリチウム濃度は、24pCi/l から68pCi/l で（第1表）、1986年6月～9月の新潟市における降水の濃度15pCi/l ～56pCi/l よりも幾分高い。これは、降水がそのまま地下水として流出するのではなく、地下水として一旦蓄えられた後に流出するため、地下水中に残存する1950年～1960年代の高濃度のトリチウムを含む降水の影響を受け高濃度を呈する。
2. 河川水の主要溶存成分について、今回の結果を1944年～1945年に採水された小林（1971）の結果と比較すると、人為汚染が進行したと考えられる信濃川、関川を除き、三面川や阿賀野川の水質（主要溶存成分）は、約40年前に比べて、著しく変化していない。
3. 以上のことは、河川水の水質（主要溶存成分）やトリチウム濃度は、基本的には流域の帯水層の特性（規模、地質、滞留時間等）によって定まることを示唆する。

文 献

- 茶谷邦男・富田伴一・清水道彦・大沼章子・庄加泰司・浜村憲克（1981）：愛知県内の河川水の水質。陸水学雑誌，42，131-137.
- 橋本哲夫・樋口 靖・佐藤 修・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の測定。新潟大。災害研年報，6，72-82.
- ・———・酒井裕二・佐藤 修（1985）：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のトリチウム濃度。新潟大。災害研年報，7，163-172.

- HIGUCHI, Y. (1986MS) : Determination of tritium content in ground waters from the landslide area. Master's thesis, Niigata Univ.
- 科学技術庁 (1977) : トリチウム分析法. 84p., 日本分析センター.
- 木村重彦 (1986) : 水に含まれる放射性同位体による地下水の挙動解析. 農業土木試験所報告, 25, 1-91.
- 小林 純 (1971) : 水の健康診断. 207p., 岩波書店, 東京.
- 小島明男 (1972) : 上越河川の水質. 新潟県の自然, 第2集, 89-95.
- 仲川隆夫 (1987) : 日本海側の海岸平野における上部更新統・完新統の層序と平野の形成史 - 金沢平野, 高田平野, 国中平野, 柏崎平野 -
- ・佐藤 修・橋本哲夫 (1986) : 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, 81-89.
- ・橋本哲夫・佐藤 修・酒井裕二 (1987) : 環境水中のトリチウムの測定に関する基礎研究. 第24回理工学における同位元素研究発表会要旨集, 1a-1-7, 137.
- 永野多美雄・谷中隆明・沢口正夫 (1985) : 上越地域の地下水の動向 (第1報) - 帯水層の水質解析 -. 新潟県衛生公害研年報, 1, 115-120.
- ・大山征也 (1986) : 上越地域の地下水の動向 (第2報) - トリチウムによる年代測定 -. 新潟県衛生公害研年報, 2, 111-115.
- 新潟県農地部農地建設課 (1984) : 新潟の地すべり. 251p.
- 新潟県商工労働部工業振興課 (1981) : 新潟県地下水資源の概要. 270p.
- 日本分析化学会北海道支部編 (1981) : 水の分析-第3版-. 504p., 化学同人, 東京.
- 阪口 豊 (1971) : 日本の河川流域の特性. 資源科学研究所彙報, No75, 61-72.
- 阪上正信 (1985) : トリチウムの環境動態. 核融合研究, 54, 498-511.
- 佐藤 修 (1982) : 地すべり地の陸水の水質 1 虫亀, 高倉地すべり. 新潟大. 災害研年報, 3, 47-58.
- 田中霧子 (1983) : 日本の地表水のトリチウム濃度. 環境と人体におけるトリチウム研究の諸問題, 放射線医学総合研究所編, 74-84.
- 角皆静男・品川高儀 (1977) : 冬季モンスーンによって輸送される化学成分. 地球化学, 11, 1-8.