

野川に関する水収支および 水溶存物質の涵養源の研究

— 安定同位体比測定手法の導入 —

1 9 8 1 年

松 尾 禎 士

東京工業大学理学部教授

目 次

要 旨	1
序 論	1
実 験	2
結果および考察	4
謝 辞	15
文 献	16

研 究 者

松 尾 禎 士

大 隅 多 加 志

牛 木 久 雄

T. プラタナンガ

要 旨

1979年11月より1980年7月にかけて野川流域内で、湧水・河川水・流入下水について安定同位体比および化学成分の測定を定期的実施した。結果を解釈するにあたって、水道水ならびに降水についても同位体比を測定した。湧水および河川水は、各採水点で研究継続期間内においてほぼ一定の化学組成ならびに同位体比を示した。湧水の上流群と下流群とが同位体的に区別でき、これは地形上からも納得できる結果である。また上水道からの漏水の影響のあらわれである可能性もある。野川流域湧水の涵養には強度の大きい降雨のみが寄与していることが同位体比測定から明らかになった。化学成分の分析からは上流でより汚染がすすんでいることがわかる。

野川流域の天然水では、 δD 対 $\delta^{18}O$ のプロットにおいて最小二乗法による回帰直線は $\delta D = 7.78 \delta^{18}O + 11.5$ の実験式を与える。トリチウム分析の結果、野川流域の湧水については多摩川と同程度の平均滞留時間を持つことが示される。

種々の起源を持つ水（湧水・生活排水・工場下水）から野川河川水への寄与の割合を、塩化物イオン濃度・電気伝導度・同位体組成などの保存量を用いて算出した。

序 論

武蔵野台地における地下水収支については、水資源確保あるいは水質汚濁防止の視点からの数多くの研究が為されてきている。コンクリート、アスファルト舗装の増加や、地下水盆からの深層地下水のくみあげを伴っての急激な都市化は、この地域の水理環境に急速な変化をもたらした。

東京都の地下水調査(1)によると自由地下水の賦存量は、降水からの涵養の減少ならびに深層地下水への浸透量の増加が原因で、近年減少傾向にある。また自由地下水の減少は、この地域における河川水がその流量のほとんどを家庭下水・工場排水に依存するという事態を招いている。

野川はこうした河川の一つであり、最上流部（国分寺市恋ヶ窪）は人間活動に伴う排水や工場排水による汚染が進行している。流下に伴ない武蔵野礫層の露頭より湧出する湧水群からの水が加わり汚濁は希釈される。下流域では下水道整備がすすみ河川のこれ以上の汚染の進行をくいとめている。このように野川は最上流部の汚染除去のためにも多方面からの基礎的研究を要請されている河川と言える。

本研究では野川流域の水理環境の理解に資するために新たに水のD/Hおよび $^{18}O/^{16}O$ の安定同位体測定手法を応用することを試みた。本研究は二つの目的を有している。すなわち、

- ① 同位体分析により湧水の起源を明らかにすること
- ② 野川流域での水収支を理解するために同位体のもたらす情報が有効であるか否かを確かめることである。

小倉およびそのグループ（2-4）は化学分析の手段により、野川水系に及ぼす人間活動の影響を明らかにすることで大きな貢献をした。湧水の塩化物イオン濃度と人間一人当りの食塩消費量とから、彼らは湧水にさえも生活排水の影響が顕著に認められると結論している。

本調査報告では、上に述べたような既存の成果に照らして水の起源および水収支を研究する上で同位体分析を導入することの有効性を論ずる。

実 験

1. 採 水

図1に採水点を示した。1979年11月より翌年7月まで、1980年2月を除いて毎月1回の採水を実施した。各採水試料は、100mlおよび250mlのポリエチレン製試料びんに蓄え、蒸発による同位体組成変化を避けるためびんの蓋を堅く締め、ビニルテープを巻いた。100mlびんの試料は同位体分析に、250mlびんの試料は化学分析に供した。

2. 現場測定と化学分析

流量は断面積と流速の積から求める方法を取り、プライス型流速計(NS-1、N-3、N-4)あるいは浮子法(TN-1、NKG-1、NMT-1、NCF-2)により流速を測定した。比較的流量の少ない採水点のいくつかでは、直接法を用いより正確な流量を得るようにした。N-0、NK-2では塩分希釈法によりNaCl溶液と電気伝導度計を用いた。NCF-1では溢流を直接に容器に受けた。

水温、電気伝導度および溶存酸素量は採水時に測定した。水温と電気伝導度は、堀場製作所製導電率チェッカU-7 COND型を用いた。水温については器差の補正をおこなった。25℃における電気伝導度は次式により算出した。

$$\lambda_{25} = \frac{\lambda_t}{1 + \alpha(t - 25)}$$

ここで

λ_{25} = 試水の25℃における電気伝導度

λ_t = 試水のt℃における電気伝導度

t = 電気伝導度測定時の水温

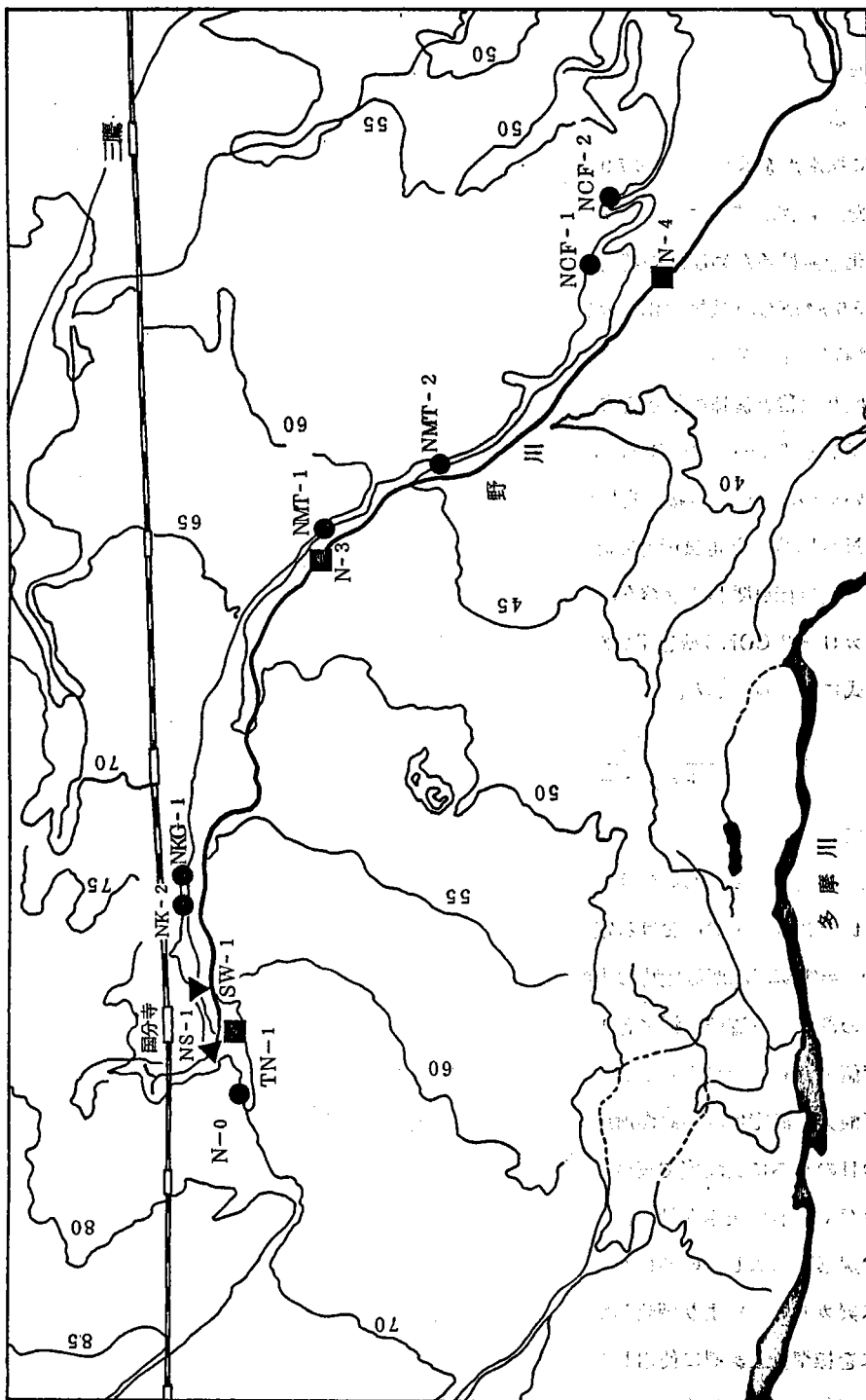
上流域の湧水と下流域の湧水各1点の試水について25℃で電気伝導度を測定、上式を使って各々の現場測定値とから α を算出した。2つの α の平均値をすべての試水について適用した。

溶存酸素量測定は堀場製作所製DOチェッカU-7 DO型を用いた。pHはほとんどの試水について採水の日うちに実験室で東亜電波製HM-5 BS型を用いて測定した。その測定精度は±0.1である。

TOC(全有機炭素含量)測定は、島津製作所製TOC-10 B型を用いた。測定原理は、まず試水から無機炭素を除去したのちに900℃の酸化コバルトカラムを通しCO₂へと酸化する。標準溶液はフタル酸水素カリウムにより調製した。数滴の濃塩酸を加え清浄な窒素ガスを通して無機炭素を除去した再蒸留水を標準溶液調製に使用した。試水は濾過ののち1対1塩酸を加えpHを2~3に整え、窒素ガスを通して無機炭素を除去する。この試水を微量ピペットを用いて一定量TOCメータに注入する。TOC濃度は赤外光吸収を測定することで求められる。

本誌に掲載された資料は、すべて
 本誌に掲載された資料は、すべて

図1 野川流域採水点



● 湧水 ■ 河水 ▲ 流入下水

塩化物イオンの定量はモール法によった。

3. 同位体分析

天然試料については、その同位体組成を同位体比の標準試料からの偏り δ によって表わす。 δ は以下のように定義される。

$$\delta = \frac{R_{\text{試料}} - R_{\text{標準}}}{R_{\text{標準}}} \times 10^3$$

ここで

$R_{\text{試料}}$ — 試料についてのより存在度の大きい軽い同位体に対する重い同位体の比、すなわち、
(D/H) 試料、($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) 試料

$R_{\text{標準}}$ — 標準試料についてのより存在度の大きい軽い同位体に対する重い同位体の比、すなわち、
(D/H) 標準試料、($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) 標準試料

δ 値は通常、千分率、パーミルで表示される。標準試料としては、Craig(5) の定義した標準平均海水 (SMOW) が使われている。本報告においてもすべての同位体分析値を SMOW からの相対偏差で示す。

水から δ D 測定のための水素を得るには、Friedman(6) の方法を利用した。高温に熱した金属ウラン上に水を通すことで水素に変えた。得られた水素ガスは水素同位体比測定用に設計された複式コレクタ型専用質量分析計 (日立製作所製 RMD 型) に導入した。試料ガス調製を含めて測定精度は ± 1.0 パーミルである。

$\delta^{18}\text{O}$ 測定用試料ガスは、試水と二酸化炭素間の同位体交換法(7)により調製した。測定装置は Micro-Mass 602 型 (VG アイソトープ社製) である。装置の補正ならびに交換平衡に用いた二酸化炭素量に対する補正をおこなった(8)。試料ガス調製を含めての $\delta^{18}\text{O}$ の測定誤差は ± 0.1 パーミルである。

トリチウム測定は放射線医学総合研究所の田中霧子博士の手をわずらわせ、低レベル・シンチレーションカウンタを用いておこなった。

結果および考察

〔湧水〕

湧出点における水温の季節変動を図 2 に示した。研究期間中水温はほとんど一定であった。表 1 に平均水温を示した。上流域の湧水では下流域に比較してわずかに平均水温が高い。

pH は研究期間内ほとんど一定である (図 3)。NMT-1、NMT-2 で、3 月にみられる変化は、この時の採水が湧出点よりわずかに流下した点でおこなわれたことに起因している。同様に塩化物イオン濃度および T O C の季節変動を図 4、図 5 にそれぞれ示した。両者とも有意には季節変動を認められない。

湧水についての δ D および $\delta^{18}\text{O}$ の季節変動をそれぞれ図 6 および図 7 に示した。これらの図から 1 1 月より 4 月までは同位体組成がほぼ一定であり、5 月に D/H、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ の減少が観測されたことが知れる。その減少は D/H で 1~2 パーミル程度、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ で 0.1~0.2 パーミル程度である。表 1 に示すように

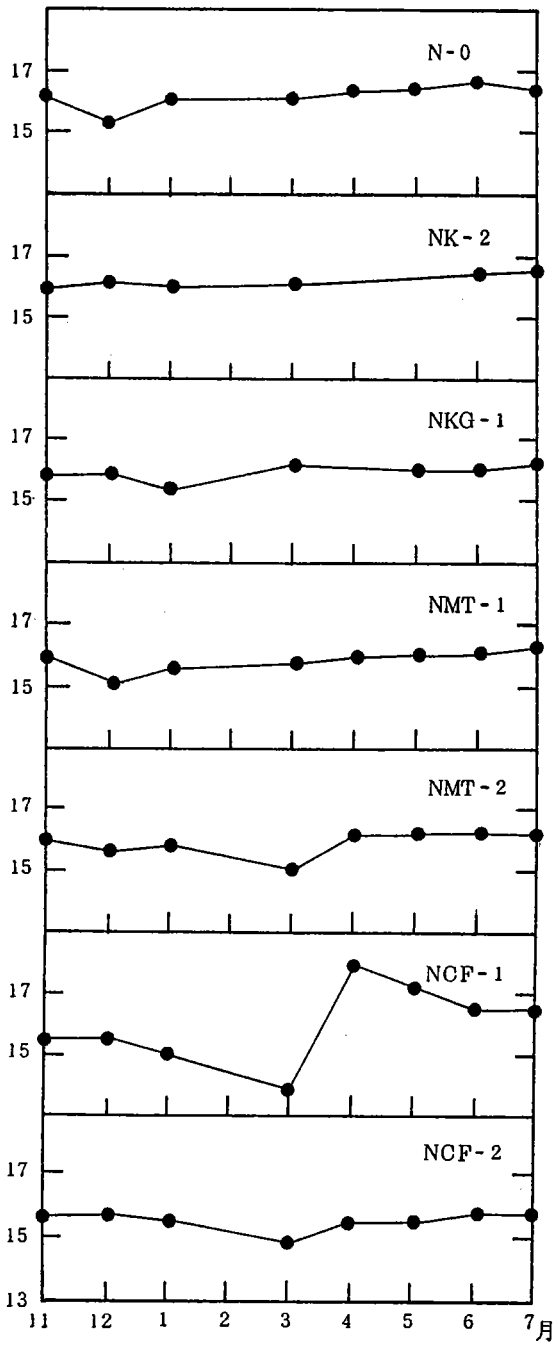


図2 野川流域湧水の水温(°C)の変動
 (1979~1980年)

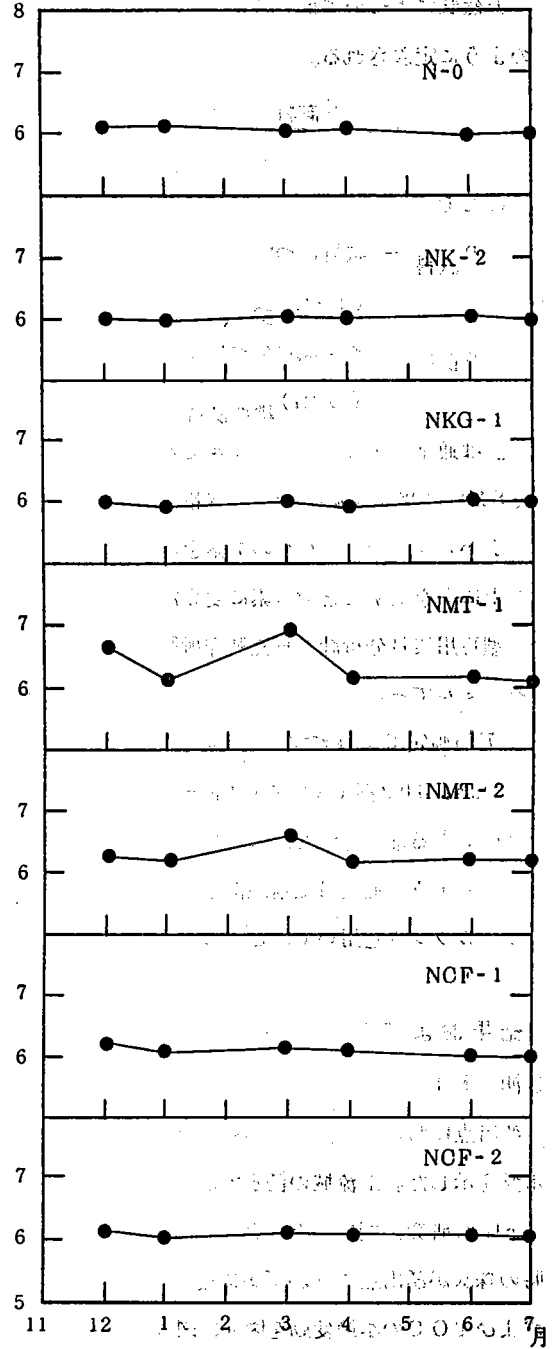


図3 野川流域湧水のpHの変動
 (1979~1980年)

表1 野川流域の湧水・河川水・流入下水の水質(1979年11月~1980年7月)

試料	水温 (°C)		pH		塩化物イオン(ppm)		TOC ppm		電気伝導度(25°C) μmho cm ⁻¹		δD ‰		δ ¹⁸ O ‰		流量 m ³ /sec		
	平均	s*	平均	s*	平均	s*	平均	s*	平均	s*	平均	s*	平均	s*	平均	s*	
N-0	1623	0.38	6.07	0.09	1.58	0.8	236	0.93	223	9	-5.14	1.2	-8.13	0.05	.0065	.0007	湧水
NK-2	1623	0.22	6.05	0.06	1.87	1.7	186	0.77	259	9	-5.22	1.2	-8.17	0.14	.0021	.0006	"
NKG-1	1590	0.31	6.01	0.06	1.93	1.5	189	0.90	257	25	-5.16	0.7	-8.12	0.18	.0055	.0031	"
NMT-1	1589	0.33	6.16	0.02	1.26	2.6	195	1.01	192	29	-5.03	1.4	-8.01	0.18	.0074	.0022	"
NMT-2	1591	0.41	6.24	0.19	1.82	1.3	188	1.06	246	13	-5.02	0.8	-7.92	0.13	—	—	"
NCF-1	1547	1.02	6.08	0.08	1.91	0.8	171	0.87	277	8	-5.03	1.2	-7.90	0.13	.0016	.0003	"
NCF-2	1560	0.34	6.13	0.05	1.91	2.4	167	0.91	263	33	-5.04	0.9	-7.97	0.15	.0057	.0025	"
NS-1	—	—	7.04	0.14	3.09	5.3	829	1.77	418	61	-5.35	3.3	-8.41	0.29	.37	.04	流入下水
SW-1	—	—	7.02	0.20	3.637	1.296	7.48	2.78	1667	645	-5.47	0.8	-8.47	0.11	—	—	"
TN-1	—	—	7.47	0.14	1.64	1.6	255	1.09	235	9	-5.09	1.3	-7.98	0.14	.016	.004	河川水
N-3	—	—	7.11	0.12	1.136	4.50	633	1.28	752	206	-5.30	3.3	-8.18	0.37	.60	.11	"
N-4	—	—	7.49	0.46	1.16.2	4.67	554	0.90	747	189	-5.09	4.0	-7.97	0.40	.64	.06	"

s* : 標準偏差

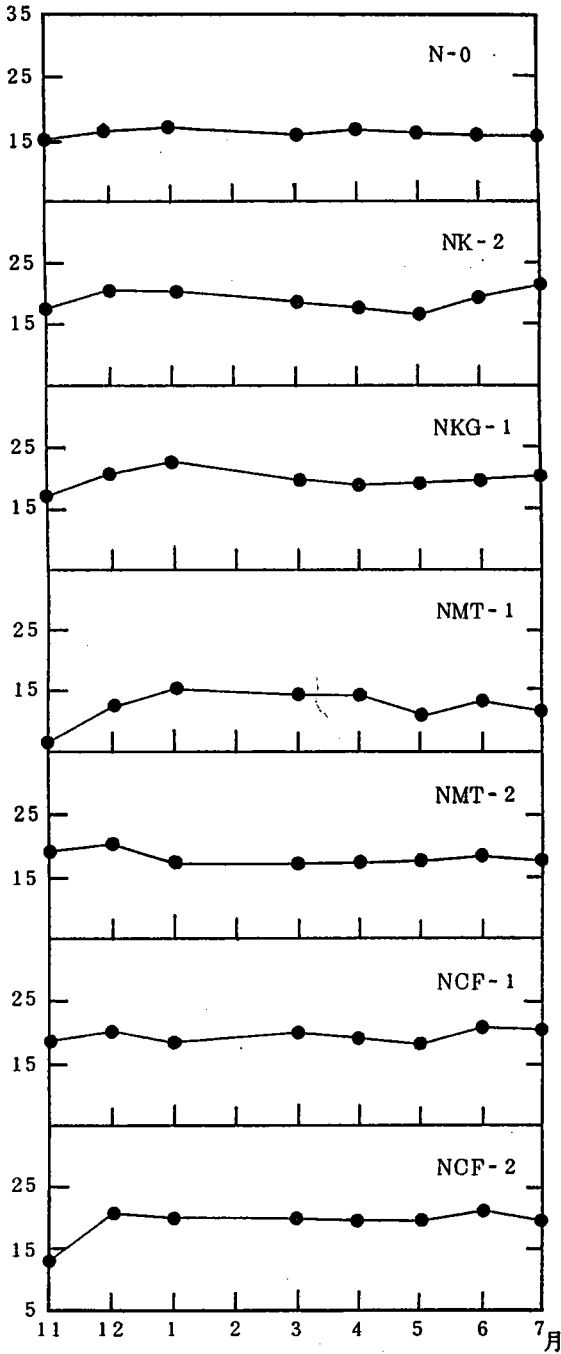


図4 野川流域湧水の塩化物イオン濃度(ppm)の変動 (1979~1980年)

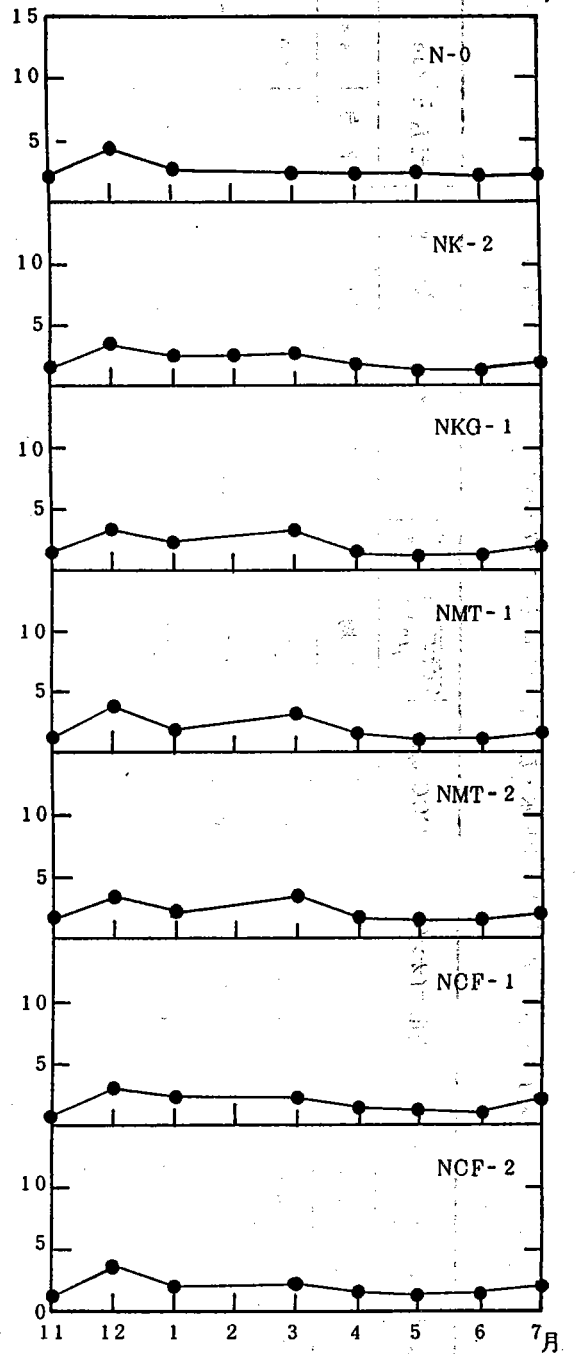


図5 野川流域湧水のTOC(ppm)の変動 (1979~1980年)

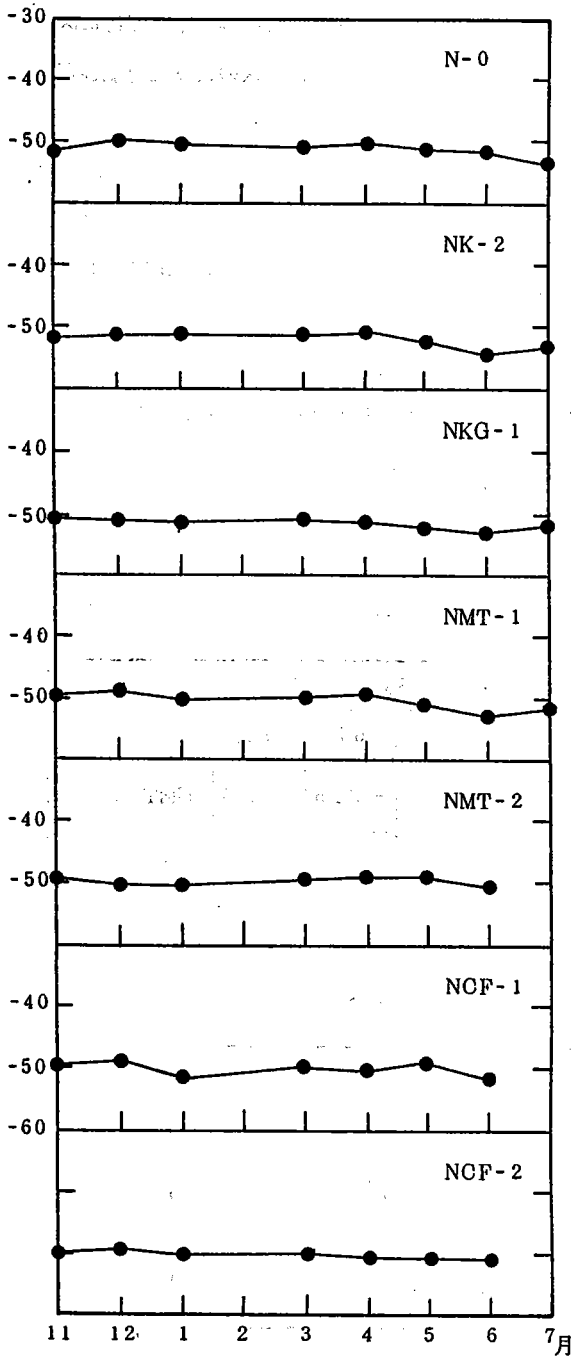


図6 野川流域湧水の δD (パーミル)の変動
(1979~1980年)

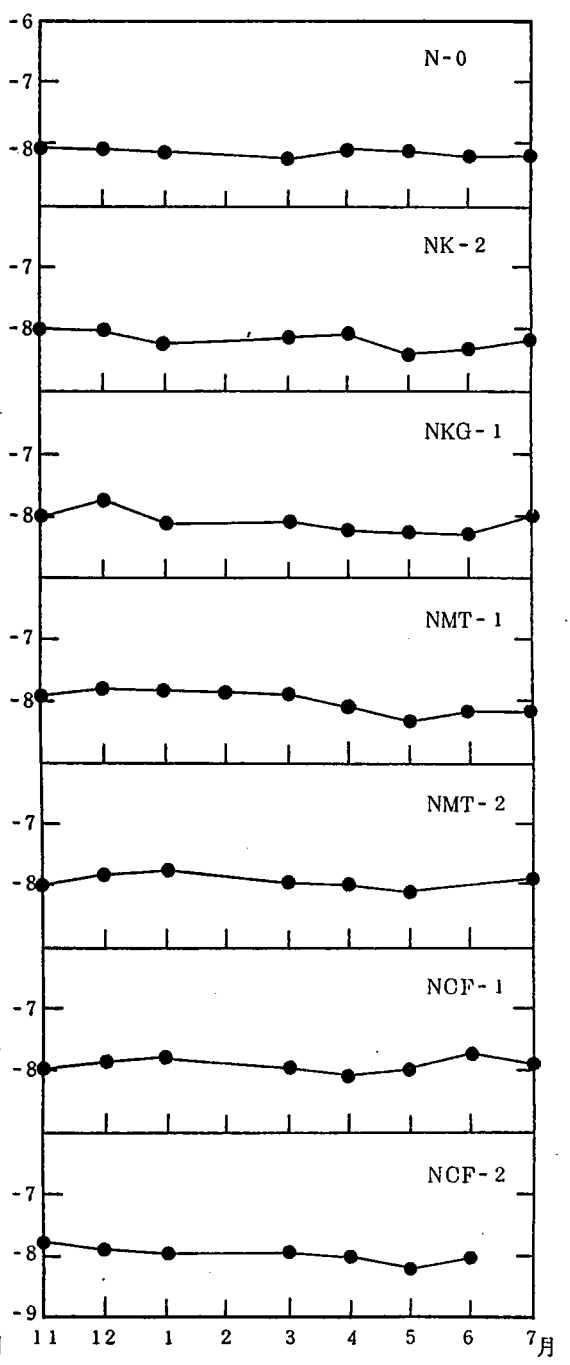


図7 野川流域湧水の $\delta^{18}O$ (パーミル)の変動
(1979~1980年)

上流域の湧水群（N-0、NK-2、NKG-1）の期間内平均同位体組成は下流域（NMT-1、NMT-2、NCF-1、NCF-2）のそれと比較して一様に低い値をもっている。先に述べたようにこれとは対照的に平均水温は上流域の方が一様に高い。図8の δD 対 $\delta^{18}O$ 図表においても、湧水が上流域群、下流域群に区別できることが明瞭である。上流・下流の2つの群に分かれることの解釈としては、次のような可能性が挙げられる。

- (a) 地形上の区分、すなわち集水域の差を反映している。
- (b) 自由地下水への上水道から漏水してくる水の差を反映している。東京においての上水道の漏水率は15%ほどと見積もられているが、表2に示すように上流域での水道水（ODTW）の同位体組成の値は、下流域でのそれ（TW-3）に比較して低い。

トリチウム濃度を上流域・下流域の各1点の試料について測定した（表3）。2つの群の間で差が認められなかった。多摩川（関戸橋より下流約1km）の表流水、伏流水（河床より地下50～60mからくみあげ）の値も示した。これらとほぼ等しい値を持っていることは、湧水についての平均滞留時間が多摩川の表流水あるいは伏流水のそれにほとんど等しいことを示している。

表2 調査域における水道水の同位体組成（1980年）

試料	δD ‰				$\delta^{18}O$ ‰					
	3月	4月	5月	6月	3月	4月	5月	6月	7月	
TW-3	-5.3.2	-5.1.0	-5.1.9	-5.0.8	-8.0.2	-8.1.6	-8.1.9	-8.1.5	-8.1.6	NMT-1近傍
ODTW	—	—	-5.5.8	-5.8.4	—	—	-8.7.9	-8.8.6	-8.8.9	NKG-1近傍

表3 野川流域湧水および隣接域のトリチウム含量

試料	トリチウム含量 T.U.	計数誤差	備考
NK-2	2.458	0.81	上流域
NMT-1	2.519	0.76	下流域
TR*	2.510	0.38	多摩川河川水
DS*	3.248	1.00	河床水

* 佐竹 洋博士のデータによる

〔河川水〕

図9に河川水温の季節変動を示した。夏期により高温であることがみてとれる。気温の影響であろう。

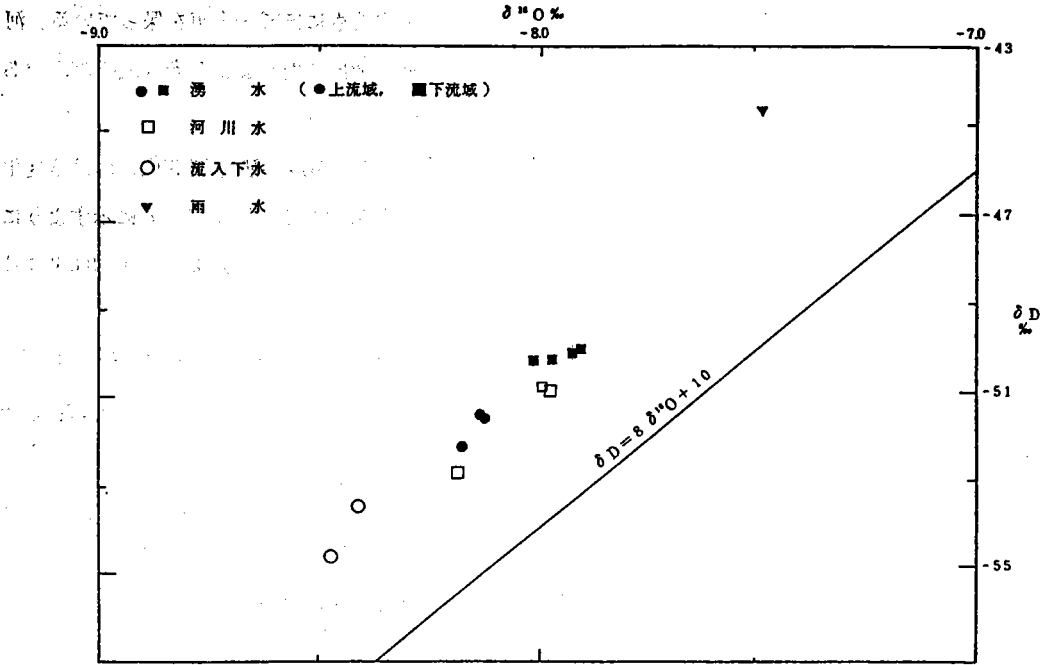


図8 δD 対 $\delta^{18}O$ プロット(平均値)

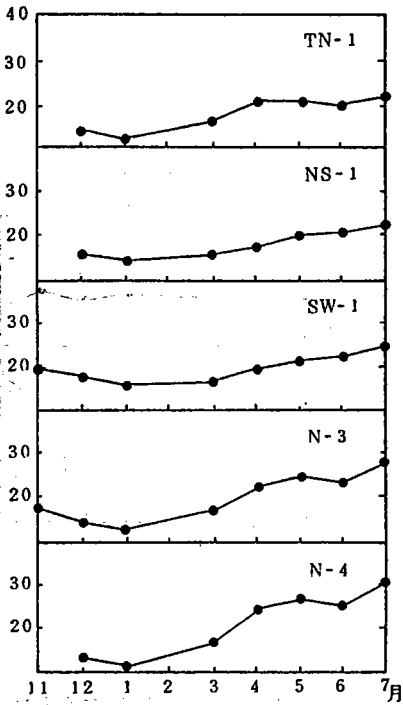


図9 野川河川水および流入下水の水温(°C)の変動(1979~1980年)

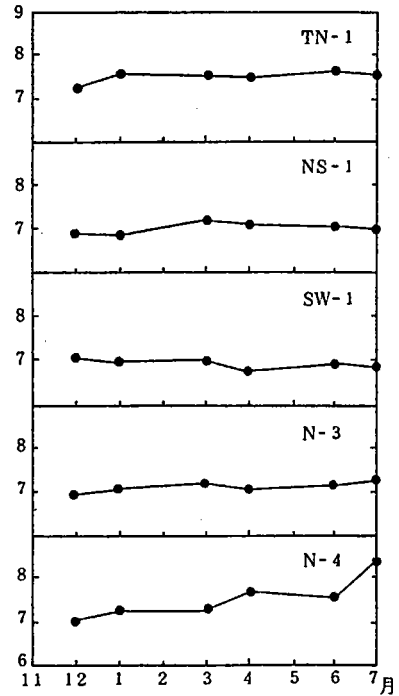


図10 野川河川水および流入下水のpHの変動(1979~1980年)

図10に示されるように、N-4を例外としてpHは河川水、流入下水ともにほぼ一定値を保っている。河川水のpHが湧水のpHより高いのは流下に伴ってのCO₂の大気への放出のためおよび光合成のためである。

河川水、流入下水のTOCの季節変動を図11に示した。塩化物イオン濃度の研究期間内における変化は図12a、b、cに示した。河川水の塩化イオン濃度としては大きな値である。図12b、cに示すように流入下水が高い塩化物イオン濃度を持っていることに由来している。1979年12月および1980年1月の試料について、図13に河川水流下に伴う塩化物イオン濃度変化を示した。図13bにはTOCについての変化を示した。図13a、bから上流部が下流部に比べてより汚染されていることがみてとれる。

河川水、流入下水についての同位体組成変動を図14、図15に示した。TN-1採水点は、家庭排水等の流入下水の混合を受ける前(元町用水の野川への合流点の手前)に位置し、湧水の同位体組成に等しい。11月から3月まで他の採水点でも一定の同位体組成を保っている。4月にはSW-1を除いて同位体比の上昇がみられるが、これは採水日の早朝および前日に降った雨の持つ高い同位体比からの影響が考えられる。管路からの流入下水SW-1にはこの影響が見られないことも雨水の直接流入がこの場合考えられないからであるとしてよいであろう。

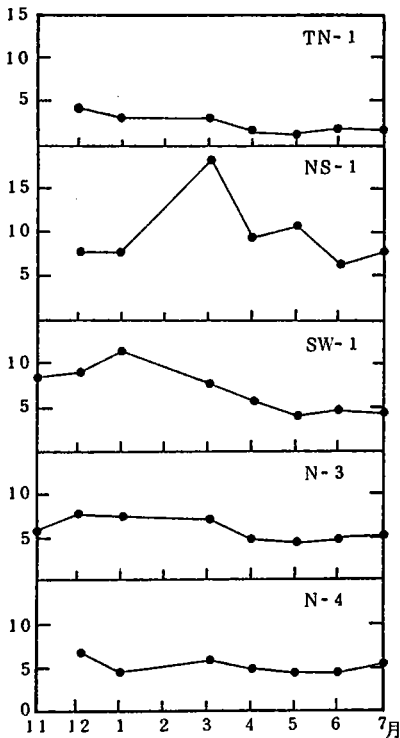


図11 野川河川水および流入下水のTOC (ppm)の変動 (1979~1980年)

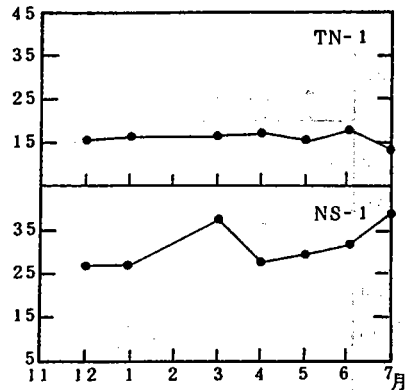


図12a 野川河川水の塩化物イオン濃度 (ppm)の変動 (1979~1980年)

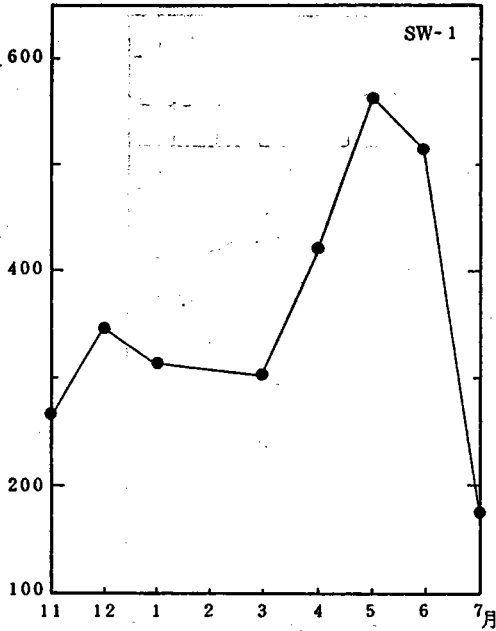


図 12b 野川流入下水の塩化物イオン濃度 (ppm) の変動 (1979~1980年)

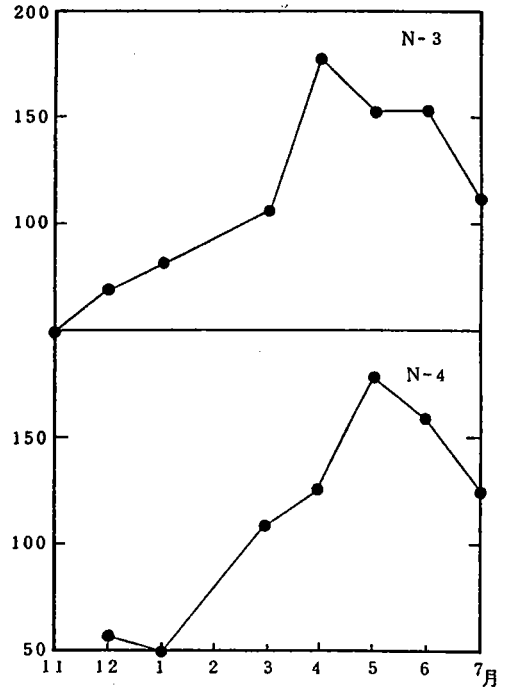


図 12c 野川河川水の塩化物イオン濃度 (ppm) の変動 (1979~1980年)

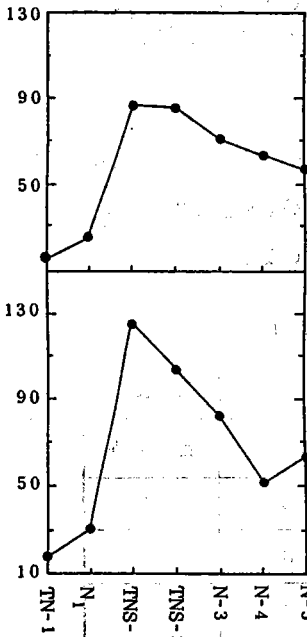


図 13a 野川流下に伴う塩化物イオン濃度 (ppm) の変化
上欄: 1979年12月
下欄: 1980年1月

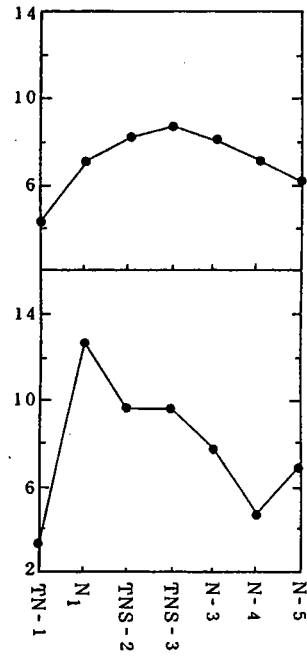


図 13b 野川流下に伴うTOC (ppm) の変化
上欄: 1979年12月
下欄: 1980年1月

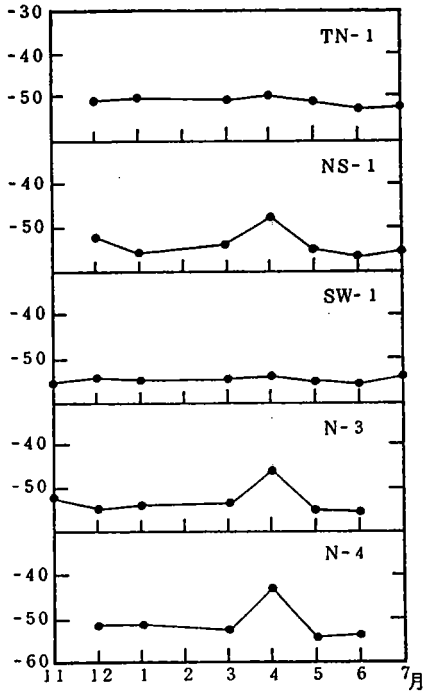


図 14 野川河水および流入下水の δD (パーミル) の変動 (1979~1980年)

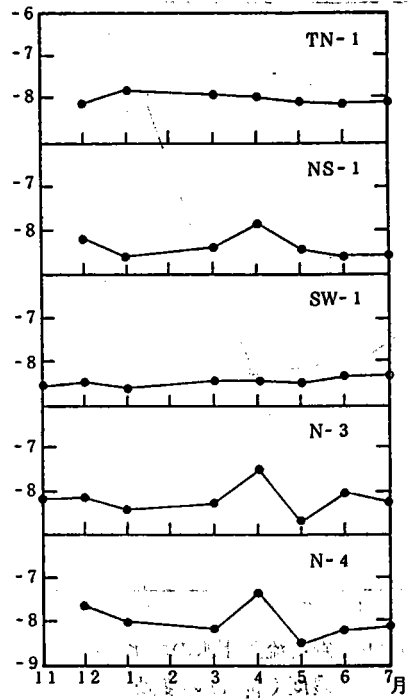


図 15 野川河川水および流入下水の $\delta^{18}O$ (パーミル) の変動 (1979~1980年)

[雨 水]

表 4 に調査域から東へ 10 Km の地点 (吉祥寺) で採取された雨水の同位体組成を示す。府中における 1979 年の降水の混合試料についての測定値も同表に示した。季節変動が著しい。1972 年から 1975 年において東京区部における降水についても同様の季節変動が観測されている。

表 4 吉祥寺および府中における降水の同位体組成

試料	採取時期	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	採取地
1R	1979年 6月	-49.5	-6.96	吉祥寺
2R	" 7月	-65.2	-9.30	"
3R	" 8月	-40.1	-6.28	"
4R	" 9月	-43.8	-7.16	"
5R	" 10月	-41.3	-6.75	"
6R	" 11月	-43.6	-8.19	"
R-1979	1979年分 混合試料	-43.7	-7.48	府中

一般に地下水の同位体組成は、これを涵養している降水の同位体比によって決定されている。地下水の同位体組成と降水のそれとがわずかに異っている例も知られている(11, 12)。本研究で得られた結果によれば、降水のD/H、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ は、湧水の値より高い値である。東京は中緯度帯の海岸近くに位置し、そこにおける降水の同位体組成には温度効果と雨量効果はたらいっていると考えられる(13)。同位体組成の季節変動は主に温度効果によりもたらされる。これに加えて雨量効果があらわれると降水強度の大きい時にはD/H、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ が小さくなる傾向を示す。Vogel(12)は南アフリカでおこなわれたある地域研究を例に挙げて降水の同位体比に対する雨量効果によって地下水の同位体組成が影響を受けると報告している。すでに述べたように湧水の同位体組成の季節変動は降水のそれにくらべると顕著ではない。1972~1975年(10)の東京における月別降水同位体比測定によれば、D/H、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ともに6・7・9月といった比較的雨量強度の大きな降水のある月の試料で低い値が報告されている。これらの月の降水の同位体組成は、本研究における湧水のもつ値にきわめて近い。以上より、本調査域においても低いD/H、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ の値をもつ強度の大きな降水により地下水の大部分が涵養されていると考えることができる。

野川水系の各試水について、 δD 対 $\delta^{18}\text{O}$ プロット(図8)において最小二乗法による直線のあてはめを

おこなえば、おおよそ(14)の式が得られる。

野川水系の各試水についての δD 対 $\delta^{18}\text{O}$ プロット(図8)において最小二乗法による直線のあてはめをおこなえば、おおよそ(14)の式が得られる。

$$\delta D = 7.78 \delta^{18}\text{O} + 1.15 \quad (14)$$

を得る。これはCraig(14)が、世界の表面水について与えた式にほぼ同じである。

この結果を踏まえ、野川水系の各試水について、

〔水収支の検討〕

種々の起源を異にする水の野川への寄与の量比を検討した。本地域では河川水は、①湧水、②生活排水、③工場下水から成り立っていると仮定してよい。塩化物イオン濃度・電気伝導度・同位体組成といった保存量のデータを物質収支バランスの計算に用いた。これらのパラメータを用いて次の3式が得られる。

$$A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 = A d$$

$$B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 = B d$$

$$C_1 x_1 + C_2 x_2 + C_3 x_3 = C d$$

ここで A_1, A_2, A_3 は、それぞれ湧水、生活排水、工場下水の塩化物イオン濃度、 B_1, B_2, B_3 は、各々の水素同位体組成(D/H)、 C_1, C_2, C_3 は各々の電気伝導度である。 x_1, x_2, x_3 としてそれぞれ、湧水、生活排水、工場下水の流量(未知数)をとる。N-3採水点でのA、B、C各量の実測値と実測流量(d)を用いて、N-3に寄与している x_1, x_2, x_3 の算出を試みた。

A_1, B_1, C_1 としてNS-1採水点における値(日立中央研究所構内付近より流下してくる河川水)を生生活排水の代表値とみなし、 A_3, B_3, C_3 としては流入下水SW-1の値を用いた。上流群に属する湧水の塩化物イオン濃度、D/H、電気伝導度のそれぞれ平均値をもって A_1, B_1, C_1 とした。

計算結果のN-3点河川水への各起源①～③の水の寄与の割合をパーセントで表5に示した。湧水からの寄与率は10%以下である。3月の湧水の占める流量分は $0.04 m^3/sec$ と算出されるが、三多摩問題調査研究会の手になる調査報告からの推定値^{*}) $0.03 m^3/sec$ と良い一致を示している。

表5 野川河川水(N-3)への各起源の水の寄与

	寄与の割合(%)			流量 (m^3/sec)	
	湧水	生活排水	工場下水	実測値	$x_1 + x_2 + x_3$
1980年3月	9	65	26	0.42	0.43
1980年5月	8	71	21	0.66	0.72

しかしながら表5に示した3月・5月以外の月では、この水収支計算は不満足なものである。その理由の第一に考えられるのは、化学成分組成の短時間変動の存在である。例えば野川の水質自動監視装置の結果(市川00による)によれば、電気伝導度や塩化物イオン濃度の変動は、1時間より短い時間間隔でも15~20%におよぶ。この事実は採水時刻が10分ちがうだけで化学組成の大きい異なる水が採取されることもありうることを意味している。こうした河川水における短時間水質(化学成分)変動は、1つ以上の排水源における汚濁負荷発生の突発的な変化に起因していると考えられる。しかし排水源の数は多いので、もし流下中の混合が十分であれば水質はならされて変動は小さくなるであろう。野川のような小河川ではこの混合が不十分なために頻繁な水質変動が観測されていると考えられる。以上のように汚濁負荷発生の突発的性格と、流下に伴っての不十分な混合とによって河川水質の短時間変動が説明される。

他方同位体組成に関しては、利用されている水の起源だけで決まり、化学物質汚濁負荷発生に依存しない。水収支計算を試みた時間スケールでは、その値は安定であると考えられる。

以上、水収支計算の試みにより、同位体手法導入の利点を明らかにできた。

*) この調査は1975年3月のものであり、N-0での実測湧出量を比較して当時は我々の調査時点にくらべて係数1.8だけ湧水群の湧出量が少なかったと考えて、N-3に寄与するすべての湧水の湧水量にこの係数を用いた。

謝 辞

本研究をすすめるにあたり、採水点について御教示下さり、また降水試料を提供下さるなど種々相談のついで下さった東京農工大学小倉紀雄助教授に深い感謝をさせていただきます。また貴重な降水試料を提供くださった成蹊大学竹内丑雄博士、トリチウム分析をしてくださった放射線医学総合研究所田中霧子博士、多摩川河川水等のトリチウム分析値を御教示下さった佐竹洋博士(当時、国立防災科学技術センター)に感謝いたします。

また、TOC測定、現場流量測定には、それぞれ東京工業大学廃水処理施設長桂敬教授、(株)アサヒ・ポ
ーリングより便宜を受けた。あわせて感謝申し上げます。

文 献

- (1) 東京都公害局：地下水収支調査報告書 1980年3月
- (2) 吉田和広・小倉紀雄：野川湧水中の硝酸塩濃度とその起源 地球化学 Vol.12(1978) 44-51.
- (3) 田中良春・小倉紀雄：河川水質に及ぼす人間活動の影響(第1報) 用水と廃水 Vol.20 (1978) 1168-1175.
- (4) 田中良春・大輪日出夫・上原秀夫・小倉紀雄：河川水質に及ぼす人間活動の影響(第2報) 水処理技術 Vol.19 (1978) 643-647.
- (5) Craig, H.: Standard for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen - 18 in Natural Waters, Science 133(1961) 1833-1834.
- (6) Friedman, I.: Deuterium Content of Natural Waters and Other Substances, Geochim. Cosmochim. Acta 4(1953) 89-103.
- (7) Epstein, S. and Mayeda, T.: Variation of ^{18}O Content of Waters from Natural Sources, Geochim. Cosmochim. Acta 4(1953) 213-224.
- (8) Craig, H.: Isotopic Standards for Carbon and Oxygen and Correction Factors for Mass-Spectrometric Analysis of Carbon Dioxide, Geochim. Cosmochim. Acta 12(1957) 133-149.
- (9) 東京都水道局：東京都水道局事業年報(昭和53年度) 1980年1月
- (10) IAEA: Environmental Isotope Data No-6: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation (1972-1975), Vienna, (1979) 61.
- (11) Gat, G.R. and Dansgaard, W.: Stable Isotope Survey of the Fresh Water Occurrences in Israel and Northern Jordan Rift Valley, J. Hydrol. 16(1972) 177-212.
- (12) Vogel, J.C., Ehhalt, D. and Roether, W.: A Survey of the Natural Isotopes of Waters in South Africa, Radioisotopes in Hydrology (Proc. Symp. Tokyo, 1963) IAEA, Vienna (1963) 407.
- (13) Dansgaard, W.: Stable Isotope in Precipitation, Tellus 16(1964) 436-468.
- (14) Craig, H.: Isotopic Variation in Meteoric Waters, Science 133(1961)

- ⑤ 三多摩問題調査研究会：野川流域の自然 1976年4月
- ⑥ 市川 新：都市河川の環境科学、培風館 1980年

文 献

付 記

本稿脱稿以降、付加的なデータとともに考察を加えた下記の報文(英文)を投稿した(1981年12月)。

あわせて参照されたい。

T. M. Pradhananga, T. Ohsumi, H. Wushiki, U. Takeuchi, and S. Matsuogi
 Hydrological Study on the Nogawa Basin by Isotopic and Chemical
 Analysis, submitted to *Geochemical Journal*.