

# 酒匂川流域における流域平均標高と河川水の酸素同位体比との関係

宮下雄次\*

A relationship between areal average elevation of the Sakawa watershed and  
the oxygen isotopes in stream water

by

Yuji MIYASHITA \*

## Abstract

Environmental isotopic techniques are useful in studying hydrological processes such as rainfall runoff processes in a watershed. In order to obtain a relationship between the topography of the watershed and the oxygen isotopes of stream water, the areal average elevation and areal average direction of watersheds were calculated at 38 sub basin with in the Sakawa watershed, spanning from the eastern part of Shizuoka prefecture to western part of Kanagawa prefecture.

From the analysis, oxygen isotopes in the stream waters of 23 sub basins, the oxygen isotopes showed a clear relation with the areal average elevation. The altitude effect was a decrease of 0.15 ‰ per 100m. On the other hand, no clear relationship between the oxygen isotopes of stream water and areal average directions could be determined.

## 1. はじめに

近年の都市化の進展に伴って、それまで森林や水田が担っていた保水機能が低下し、降雨時の河川流量の著しい変化や、湧水や小河川が枯渇するなど、水環境の悪化が各地で顕在化してきている。これに対し環境庁は、「健全な水循環の確保に関する懇談会」を開催し、「健全な水循環確保」には「まず自然循環系からみた診断・評価を行うことが基本」であるとしている(健全な水環境の確保に関する懇談会、1998)。

「健全な水循環の確保」の根幹をなす流域の水循環を解明するには、降水が土壌水、地下水、河川水を経て海水に到達し、地表や海洋からの蒸発散によって再び降水となるまでの各段階について、気候、地形、地質や土地利用といった各地域固有の環境要因とともに総合的な調査を行う必要がある。

Dansgaard (1964)によって、世界各地における降水中の安定同位体比と、緯度、高度、海岸からの距離、降水量との間に顕著な関係あることが明らかにされて以来、各地域において降水や地表水、地下水などにおける水素及び酸素同位体比の測定と、それらを用いた、河川水や地下水の涵養域の推定が行われるようになってきた。しかし一方で、日本など山地が急峻で平野部が少なく、流域内の標高差に対して流域面積が相対的に小さいような場合、涵養源とな

る降水は高度効果や降水量効果によって、複雑な空間的差異を示すものと考えられ、涵養域を推定する場合などでは、各地域ごとに同位体比と地形との関係等を明らかにした上で、検討する必要があるといえる。

世界各地における降水中の酸素同位体比の高度効果は、Clark and Frits (1997) のレビューによると 100m あたり 0.10 ~ 0.31‰であった。また日本においてもこれらとほぼ同様の値を示すことが、早稲田・中井 (1983) などによって報告されている。また、神奈川県西部地域における河川水及び地下水の安定同位体比については、板寺 (1999, 2000)、藪崎ほか (2000) などによって報告がされており、板寺 (1999) では酒匂川河川水の酸素同位体比から、最大で 0.2‰/100m 程度の採水地点標高に伴う同位体比の低下が見出された。

しかし一方で、河川水の同位体比は、採水地点を末端とする流域内に降った全ての降水が、水循環過程において受ける、混合や蒸発散などの影響により、降水とは異なる傾向を示すものと考えられる。Sanjo (1990) は、茨城県筑波山における降水及び河川水の同位体比の関係から、蒸発散や上流からの河川水の影響で、河川水に見られる同位体比の高度効果は、降水の同位体比の高度効果に比べて小さくなることを示した。水谷 (1986) は、富山地方の主要七河川における河川水の酸素同位体比と流域平均標高との間に、

\*神奈川県温泉地学研究所 〒250 0031 神奈川県小田原市入生田 586  
論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第 32 巻, 7 16, 2001.

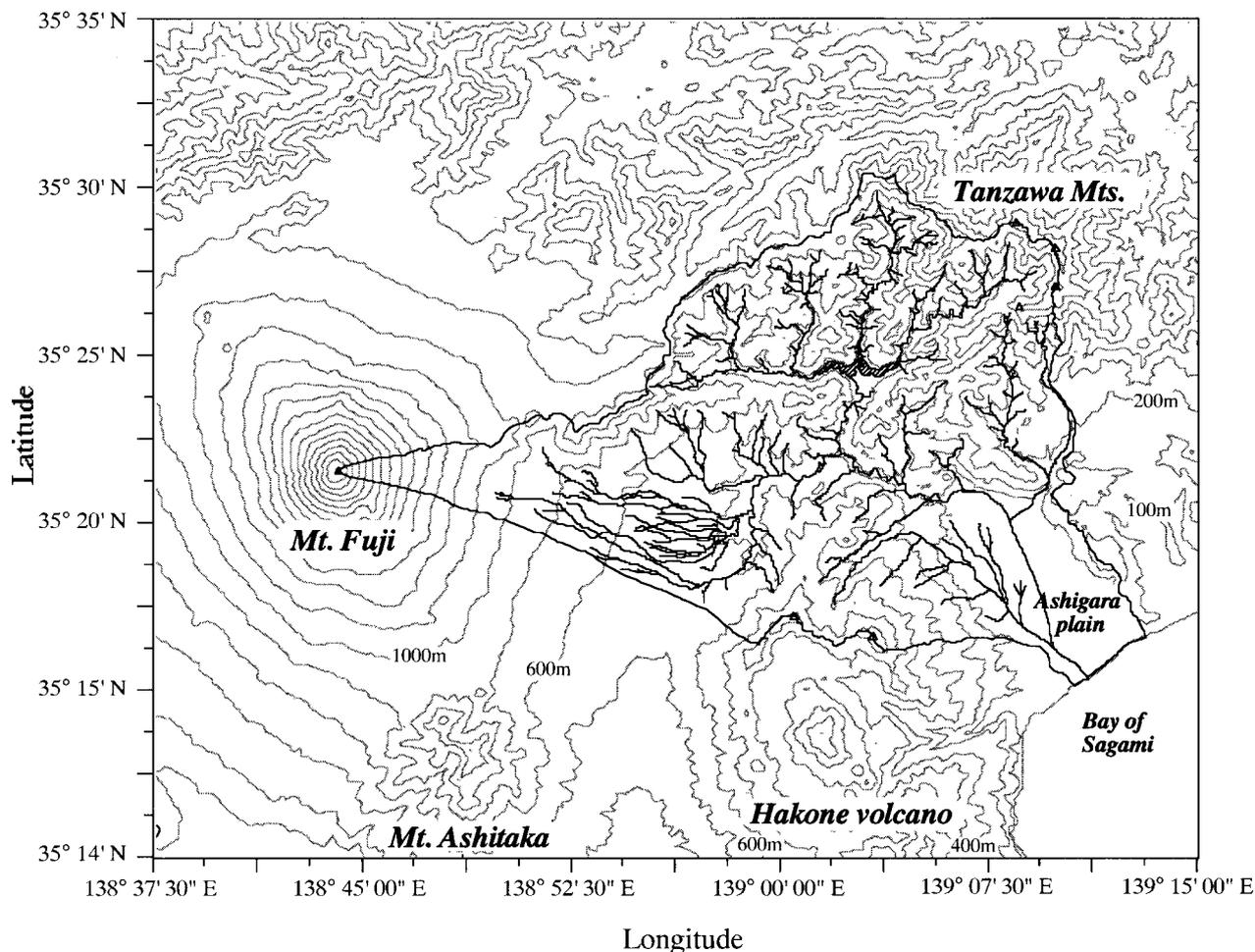


図1 調査地域  
Fig.1 Study area

100mあたり 0.254‰の高度効果があることを明らかにし、河川水の同位体比の季節変化が小さいことから、上流に設けられたダム湖における貯留効果によって、水の混合が十分に行われているのではないかと考察を行っている。

また宮下(1992)は、長野県菅平高原の四阿山山麓地域において、降水及び河川水の酸素同位体比を測定し、採水地点を流域末端部として地形的に定めた各小流域の流域平均標高と河川水の酸素同位体比の間に、高い相関関係があり、その高度効果は100mあたり 0.13‰と 0.22‰であることを明らかにした上で、その地域の河川水の高度効果から外れた同位体比を持つ地点では、流域内に人為的に流動機構を変化させるようなグラウンドによる人工的な排水や、家畜用の簡易水道施設などが見られたことから、これらの影響によって、河川水の高度効果が乱されたのではないかと推測している。

これらの研究を基に、本研究では海岸から富士山山頂までという国内最大の標高差を持つ酒匂川流域を38の小流域に分け、流域地形特性として各小流域ごとに流域平均標高と流域平均斜面方向について解析を行った。さらにこれ

らの小流域から23小流域を選出し、流域下端における河川水の酸素同位体比を夏季及び冬季の二回分析し、流域平均標高及び斜面方向との関係について比較を行った。

## 2. 調査地域の概要

酒匂川は富士山の東麓を源流域に持ち、静岡県東部及び神奈川県西部にまたがって流下する、流域面積約582km<sup>2</sup>、幹線流路延長46kmの二級河川である(図1)。主な源流域として、富士山及び西丹沢山地を持つこの河川は、水道水源として上流部の三保ダムと河口直前の酒匂堰において取水され、下流域及び他流域へ配水されている(原、1998ほか)。また下流域の足柄平野では、古くから農業用水の取水が行われており、現在でも三保ダムより発電用に取水した水の一部が農業用水として利用されている。さらに足柄平野では、豊富な地下水を利用した利水型企業の誘致が古くから行われており、一部の地域では地下水頭の低下による自噴域の減少などが見られた(井上、1993など)が、1970年代後半以降、地下水位は回復もしくは横這いの傾向にあることが、報告されている(宮下、1999ほか)。

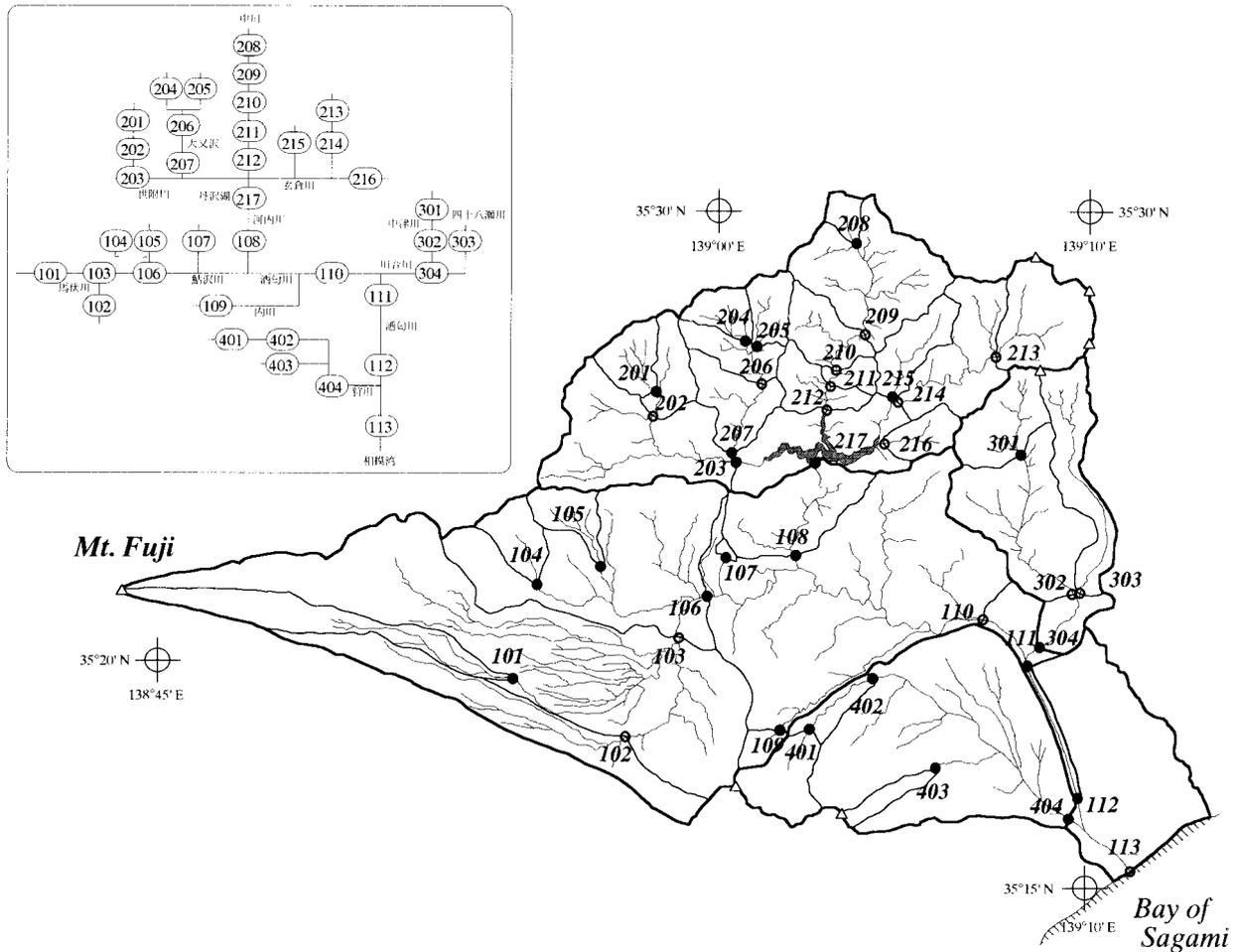


図2 採水及び解析地点一覧  
Fig.2 Sampling points and sub basins of the Sakawa watershed

神奈川県では、1961(昭和36)年から1965(昭和40)年にかけて、酒匂川の高度利用を目的とした足柄平野の総合的な水文調査(神奈川県、1961-1965)を行い、降水量、河川流量、農業用水量、水質などの基礎資料の収集を行うとともに、足柄平野における地下水位や自噴井の分布、深度等についてとりまとめた。

また神奈川県温泉地学研究所では、1984年～1987年に農水省農業環境技術研究所からの委託によって、酒匂川流域の水涵養機能評価調査を行い、数種類のトレーサーを用いた涵養機構の解明と、メッシュごとの水涵養機能の評価を行った(神奈川県温泉地学研究所、1988)。

酒匂川水系の河川水の水質については、平野ほか(1976)によって、過去の同水系における水質調査のレビューと独自の分析結果から、流下に伴う水質の変化や、水質の経年変化についての報告がなされている。

### 3. 数値標高モデルデータを用いた地形解析

#### 3.1. データ

流域平均標高の算出には、国土地理院より「数値地図

50mメッシュ」として発行されている、数値標高モデル(Digital Elevation Model、以下DEMと称す)データから、流域が含まれる富士山・須走・大室山・中川・御正体山・大山・秦野・山北・駿河小山・印野・御殿場・関本・小田原北部の13の図幅分のデータを用いた。これらのデータは、国土地理院発行の1/25,000地形図(2次メッシュ)を緯度方向に1.5、経度方向に2.25ずつ、合計200×200のグリットに分割し、地形図に描かれた等高線を基に、各グリットの中心点の標高を数値化したものである。

各グリットの実際の距離は地点によって異なるが約50mであることから、一般的に50mメッシュと呼ばれている。本研究地域の場合、対象地域の北側、1/25,000地形図「大室山(2次メッシュコード533920)」を基準とした。図幅の表示範囲の緯度方向(5)及び経度方向(730)の実距離はそれぞれ、9245m、11325mであることから、各グリットの緯度(南北)方向、経度(東西)方向の実距離及び面積を、それぞれ46.125m、56.625m、0.00261km<sup>2</sup>として解析を行った。

表1 地形解析及び分析結果一覧  
Table List of sampling points and sub basin calculations

流域番号	最低標高 (m)	最高標高 (m)	平均標高 (m)	流域面積 (km <sup>2</sup> )	流域平均斜面方向 (°)	16方位 (東を0° 東回り)	支流名	1998年8月11~14日採水				1999年3月2~5日採水			
								水温 °C	伝導度 μS/cm	pH	δ <sup>18</sup> O ‰	水温 °C	伝導度 μS/cm	pH	δ <sup>18</sup> O ‰
101	566	3727	1410	14.6	11.4	ESE	鮎沢川	21.6	114	7.55	-8.3	8.3	132.4	8.21	-8.1
102	419	1491	674	21.9	334.1	ENE									
103	290	3727	828	118.4	12.8	ESE									
104	565	1368	881	5.6	63.3	SSE	須川	15.9	188	7.84	-8.3	6.6	273.0	8.69	-8.1
105	465	1340	795	5.3	53.5	SE	須川	15.8	103	7.87	-8.5	10.4	105.8	8.18	-8.3
106	258	3727	763	171.5	39.2	SE	鮎沢川	18.7	148	7.62	-8.5	13.2	156.5	8.30	-8.6
107	383	596	481	0.5	122.7	SSW	西沢川	18.1	127	7.81	-8.0	11.1	123.9	8.25	-7.9
108	160	1605	796	171.1	90.4	S	河内川	18.7	137	7.64	-8.3	8.1	123.4	7.89	-8.2
109	491	960	732	2.2	318.3	NE	内川	18.7	69	7.78	-8.4	5.4	92.2	8.24	-8.3
110	61	3727	707	420.1	63.8	SSE									
111	39	3727	677	475.8	63.9	SSE	酒匂川	23.5	164	7.98	-8.3	12.0	160.0	8.31	-8.5
112	14	3727	674	477.8	63.9	SSE	酒匂川	21.9	164	7.91	-8.3	14.5	185.0	8.75	-8.5
113	0	3727	586	590.5	54.4	SE									
201	639	1297	958	5.6	44.4	SE	世附川	17.2	56	7.85	-8.7	5.6	63.7	8.04	-8.6
202	565	1359	913	11.4	77.5	SSE									
203	356	1359	837	37.1	36.4	SE	世附川	20.6	135	7.58	-8.2	6.3	188.0	8.05	-8.0
204	645	1356	967	4.3	60.1	SSE	大又沢	18.2	93	7.81	-9.0	5.8	114.6	8.04	-8.8
205	612	1245	943	4.6	113.5	SSW	大又沢	17.9	74	7.61	-8.9	7.1	82.5	7.88	-8.7
206	524	1356	909	14.4	70.6	SSE									
207	357	1356	828	22.8	74.4	SSE	大又沢	19.7	104	7.92	-8.2	7.1	173.2	7.94	-8.1
208	671	1532	1085	2.3	87.4	S	河内川	15.3	92	8.70	-9.3	8.1	83.4	8.15	-9.2
209	463	1581	935	24.0	132.9	SW									
210	361	1581	891	31.3	113.0	SSW									
211	340	1581	869	33.6	121.4	SSW									
212	320	1581	834	39.2	110.0	SSW									
213	718	1605	1094	13.9	146.3	WSW									
214	381	1605	1010	28.5	137.1	SW									
215	385	1486	878	6.9	89.9	S	中沢	18.6	91	8.41	-8.7	8.5	98.6	7.82	-8.5
216	335	1172	708	4.6	176.1	W									
217	297	1605	829	156.4	92.5	S	河内川	22.7	96	8.11	-8.5	8.3	109.0	7.97	-8.3
301	352	1221	753	9.9	62.8	SSE	中津川	19.2	103	7.82	-8.5	8.6	113.2	8.24	-8.3
302	106	1221	508	32.7	47.3	SE									
303	104	1376	528	12.8	65.0	SSE									
304	54	1376	481	50.2	57.0	SSE	川音川	22.7	154	8.03	-8.2	15.6	189.1	8.58	-7.9
401	373	1210	743	8.2	282.0	NNE	狩川	14.9	74	7.81	-8.5	9.6	79.5	8.22	-8.4
402	179	1210	637	11.6	273.5	N	狩川	17.0	90	7.67	-8.4	8.4	95.4	8.34	-8.4
403	217	1160	641	2.7	342.8	ENE	狩川	21.0	108	7.34	-8.2	-	-	-	-
404	14	1210	300	75.5	316.1	NE	狩川	23.6	187	7.80	-8.2	16.4	87.0	8.2	-8.2

### 3.2. 流域平均標高及び平均斜面方向の算出

流域平均標高などを算出するには、ARC/INFOなどに代表されるGISアプリケーションを用いる方法もあるが、本研究ではパソコンの表計算ソフトを用いて、各グリットごとに流域を示すコード番号をつけ、各コードごとに集計する方法を用いた。

流域平均標高を算出した地点と水系の模式図を図2に示した。計算を行った小流域は、今回採水調査を行った23地点の他に、水系などを考慮して合計38流域を設定した。

流域番号は、酒匂川及び鮎沢川などの名称で呼ばれている本流地域 (no.101 ~ no.113)、丹沢湖より上流の流域 (no.201 ~ no.217)、川音川流域 (no.301 ~ no.304)及び狩

川流域 (no.401 ~ no.404)の四地域に分類し、それぞれ100番台から400番台の流域番号によって区別し、基本的に富士山山頂を起点として、上流から下流へ、及び時計回りに番号が増加するように、流域番号を設定した。

以下に流域平均標高算出の作業手順を示す。

- (1) 1/25,000地形図上に、流域境界線を描き、200行×200列の線を描く。
- (2) 各小流域ごとに流域コード番号を設定し、200行×200列の表に各グリットの流域コード番号を入力する。
- (3) 国土地理院発行の50mDEMデータを200行×200列の表に加工する。
- (4) (2)と(3)で作成した流域コード番号と標高データの二つの表を重ね合わせ、同一グリット番号同士の二つ

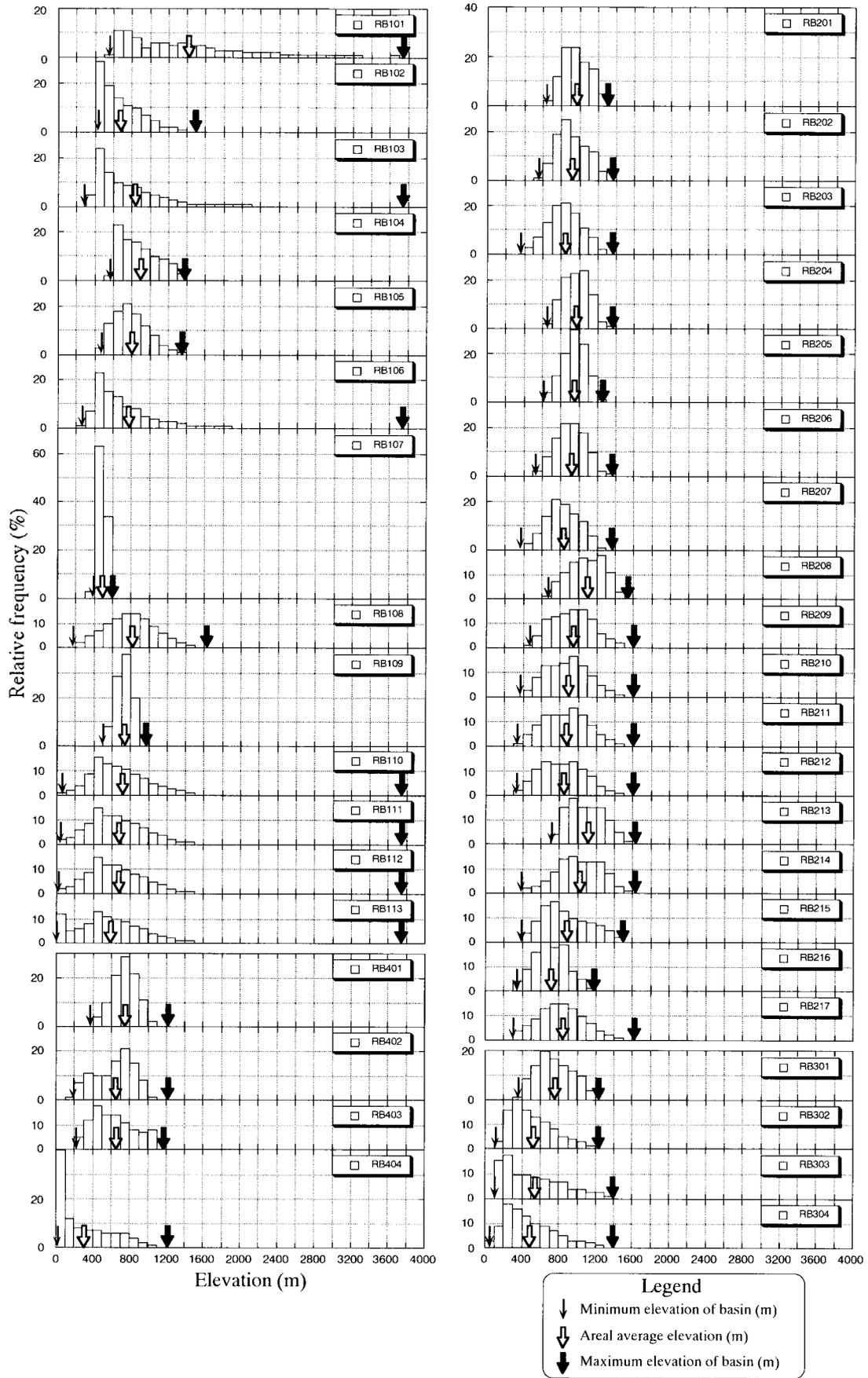


図3 流域標高分布ヒストグラム  
Fig.3 Histograms of elevations in the Sakawa watershed

の値(流域コードと標高)を1セットとした、40000行×2列のデータに変換する。

- (5) 対象流域が含まれる全ての図幅について、同様のデータを作成する。
- (6) 同じ流域コードごとに集計する。
- (7) 対象流域及び、対象流域の上流に位置する全ての小流域の標高値とグリット数の合計から、流域平均標高及び流域面積を算出する。またデータ内から最大値及び最小値を検索し、流域内の最高標高と最低標高を求める。

また、流域平均斜面方向は、各グリットの中心点の標高値を示している国土地理院発行の50mDEMデータ(200行×200列データ)を、各グリット境界線の交点の値(201行×201列データ)に変換し、各グリットの四隅の標高値から各グリットの平均斜面方向を以下の(1)~(3)式によって求め、流域平均標高と同様の集計方法によって、各流域ごとの平均斜面方向を算出した。

グリットの行方向の境界線を左上より1, 2, ..., m, n, n+1列方向の境界線を同じく左上より1, 2, ..., n, n+1とした場合、グリットmnを取り囲む四隅(左上、左下、右上、右下)の交点の標高Hはそれぞれ( $H_{mn}$ ,  $H_{(m+1)n}$ ,  $H_{m(n+1)}$ ,  $H_{(m+1)(n+1)}$ )

となる。また緯度方向及び経度方向の実距離をそれぞれ  $d_{Lat}$ ,  $d_{Long}$  とする。このとき、グリットmnを構成する四辺の境界線のうち、緯度(南北)方向の二辺の傾き  $G_{Lat}$  の平均は、(1)式で表される。

$$G_{Lat} = \frac{(H_{mn} - H_{(m+1)n}) + (H_{m(n+1)} - H_{(m+1)(n+1)})}{2 \times d_{Long}} \quad (1) \text{式}$$

同様に、経度(東西)方向の傾き  $G_{Long}$  は(2)式によって表される。

$$G_{Long} = \frac{(H_{mn} - H_{m(n+1)}) + (H_{(m+1)n} - H_{(m+1)(n+1)})}{2 \times d_{Long}} \quad (2) \text{式}$$

上記(1)(2)式で表された緯度方向及び経度方向の傾きを合成し、合成ベクトルの中心からの方位角  $\theta$  を(3)式によって算出し、グリットmnの斜面方向とした。

$$\cos \theta = \frac{G_{Long}}{\sqrt{G_{Lat}^2 + G_{Long}^2}} \quad (3) \text{式}$$

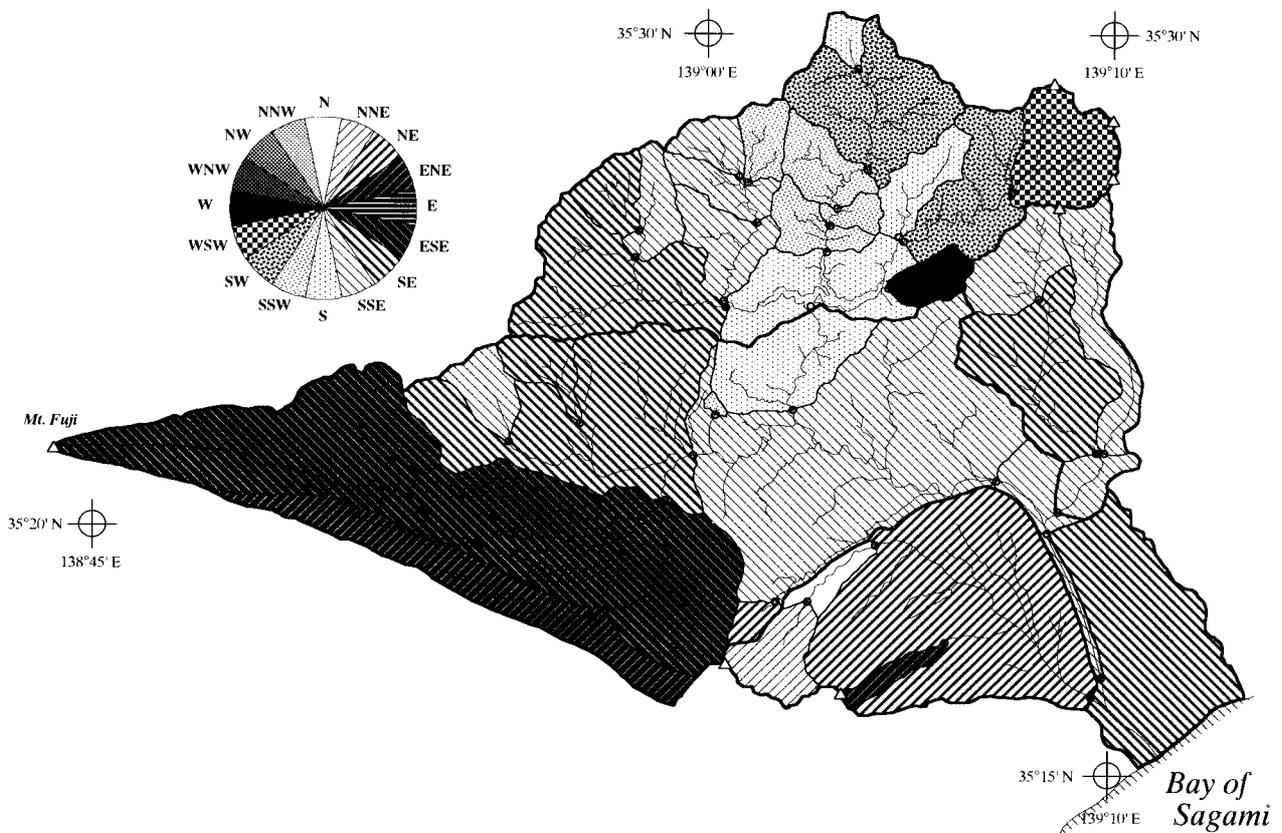


図4 流域平均斜面方向  
Fig.4 Average slope directions of the sub basins

### 3.3. 地形解析結果

DEM データを用いて求められた各小流域の最低、最高、流域平均標高、流域面積及び流域平均斜面方向を表 1 に、各小流域内における標高 100m ごとの頻度分布を、図 3 に、さらに流域平均斜面方向を 16 方位に分類して表したものを図 4 に示した。

流域最下端 (no. 113) における解析結果から、酒匂川流域は流域面積 590.5km<sup>2</sup>、平均標高 586m、平均斜面方向は南東方向 (東を 0° とした時計回りで 54.4°) であった。また丹沢 (no. 201 ~ 217)、川音川 (no. 301 ~ 304) 及び狩川 (no. 401 ~ 404) の各小流域ごとに見ると、源流域を占める丹沢湖流域 (丹沢湖より上流、no. 217) では平均標高が 829m、川音川流域 (no. 304) が 481m、狩川流域 (no. 404) が 300m の順番であった。また解析を行った小流域中、最も流域平均標高が高かったのは、鮎沢川最上流の富士山東麓 (no. 101) の 1410m であった。

流域の斜面方向では、丹沢湖流域東側の中川 (no. 208 ~ 212)、玄倉川 (no. 213 ~ 216) 流域において、西 ~ 南向きの斜面が多く見られる一方、同じ丹沢湖流域西側の世附沢 (no. 201 ~ 203) と大又沢 (no. 204 ~ 207) 流域では、反対に南東から南南西の斜面が多く見られた。また狩川流域 (no. 401 ~ 404) では、箱根外輪山北麓を源流に、北 ~ 東北東方向に向かって流下していることが明らかになった。

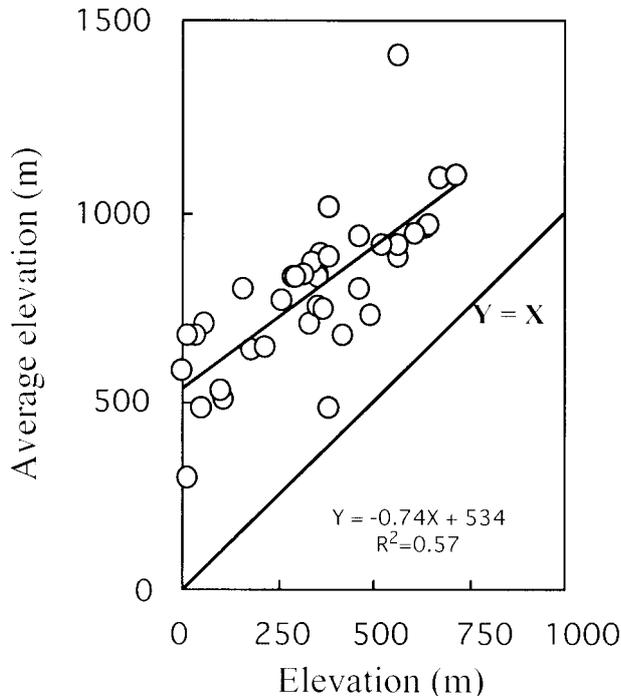


図 5 地点標高と流域平均標高との関係  
Fig.5 The relationship between sampling point elevation and average basin elevation.

また丹沢湖流域 (no. 201 ~ 217) や川音川流域及び狩川流域の上流 (no. 301、no. 401) では、流域平均標高と最頻出標高がほぼ同じであったのに対し、酒匂川本流域 (no. 101 ~ 113) や、狩川、川音川の下流域では、流域内に山地や平野部など、複数の地形が含まれることなどから、平均標高と最頻出標高との間には大きな差が見られた。

DEM によって求められた各流域の流域平均標高と、採水地点標高にあたる流域最低標高との関係を求めたのが図 5 である。一次回帰の結果、両者の間には (4) 式のような相関が認められた。

$$Y = -0.74X + 534 \quad R^2 = 0.57 \quad (4 \text{ 式})$$

この図において、Y = X の直線に最も近い場所にプロットされているのは、酒匂川本流に注ぐ支流の一つにある流域 (no. 107) である。この流域は、最低、平均及び最高標高がそれぞれ 383m、481m、596m と、流域内の標高差が約 200m と小さく、流域面積も 0.5km<sup>2</sup> と他流域と比べて小さいことが理由として考えられた。

### 4. 採水調査結果

採水調査は、平成 10 年度の夏季 (1998 年 8 月 11 ~ 14 日) 及び冬季 (1999 年 3 月 2 ~ 5 日) に行った。調査を行った平成 10 年度は、全般的に降水量が多く、気象庁の小田原地域気象観測所における降水量によると、1968 ~ 1999

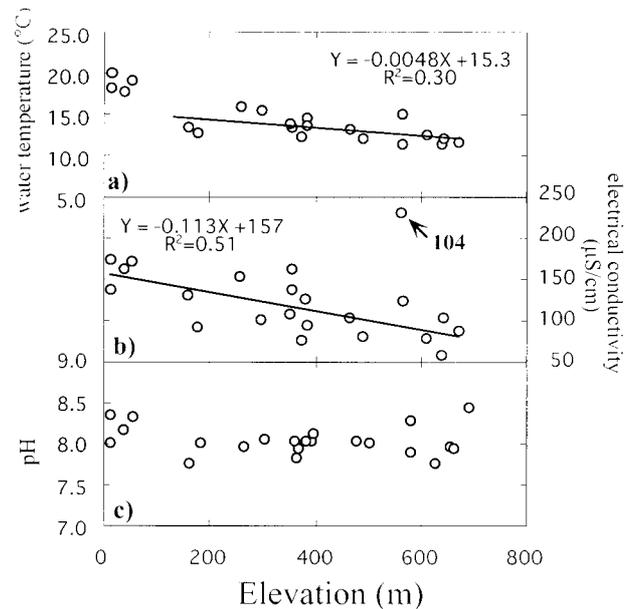


図 6 地点標高と水温、電気伝導度及び pH との関係  
Fig.6 The relationship between sampling point elevation and (a) water temperature, (b) electrical conductivity, (c) pH.

年における平均年降水量が1939mmであるのに対し、1998年(暦年)では2879mm(同じく1998年度では2753mm)と、平均値の約1.5倍(同年度では1.4倍)であった。夏季の採水を行った1998年8月は平均の2.7倍にあたる528mmの降水があったが、これは同月下旬(27~31日)の大雨(4日間の総雨量が481mm)によるものであり、採水日およびその前日に顕著な降水は認められなかった。また冬季の採

水期間中にも降水は見られなかったことなどから、直前の降水による影響は無視できるものとして取り扱った。

現地では水温、電気伝導度及びpHを測定を行い、試料を持ち帰り、酸素同位体比の分析を行った。水温及びpHはHORIBA pH Meter D13、電気伝導度はYOKOGAWA Model SC82によって測定し、酸素同位体比の分析は、炭酸ガス平衡法により、軽元素質量分析装置(VG(現

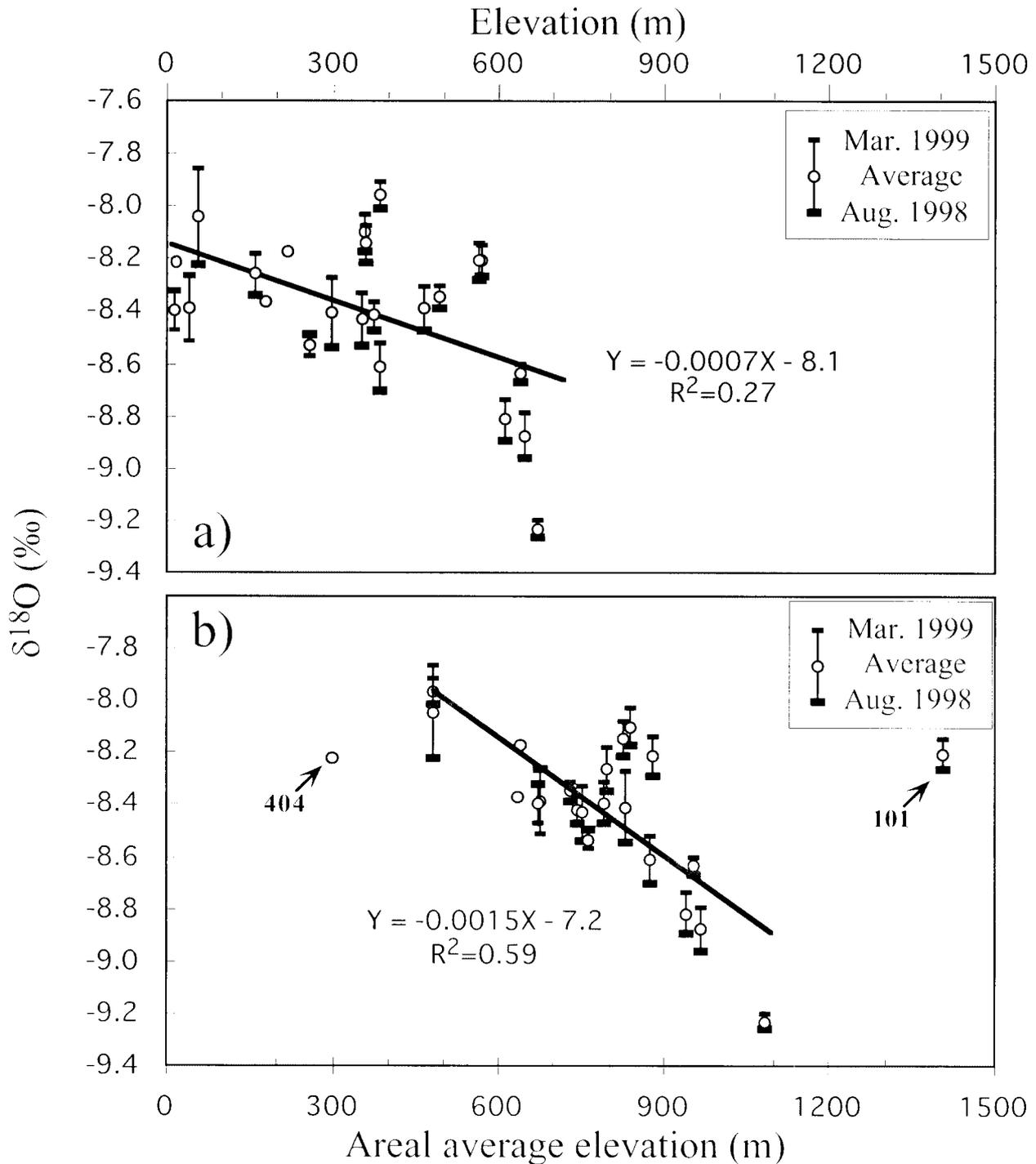


図7 地点標高と河川水の酸素同位体比との関係  
Fig.7 The relationship between sampling point elevation and  $\delta^{18}\text{O}$  of streamwater.

Micromass 製 PRISM )によって行った。

採水地点及び分析結果を表 1 及び図 2 に示した。なお表 1 及び図 2 には、次章で説明する地形解析を行った全ての小流域が記載されており、採水は図 2 において 印で示した 23 地点において行った。また表 1 では、採水していない地点における水質データ部分をハッチがけで示した。また 3 月の調査では、狩川流域の 1 地点( no.403 )において、河川水量が少なく採水が行えなかった。

採水地点の標高と、河川水の水温、電気伝導度、pH の平均値との関係を図 6a ~ c に示す。採水地点の標高と河川水温との関係では、平野部に入り、流速の低下による気温の影響が大きくなると考えられる標高 0 ~ 100m までを除いた区間では、100m あたり 0.48 の河川水温の低下傾向が認められた。また地点標高と電気伝導度との間には、データのおかしいと思われる 1 地点( no.104 )を除くと、標高とともに電気伝導度が上昇する傾向が認められた。また標高と pH との間には明瞭な関係は認められなかった。

採水地点の標高と、8 月、3 月及び平均の酸素同位体比の関係を図 7a に示す。図 7a において、平均値 ( 印 ) のみのプロットは、一回のみの採水( no.403 ) 及び、8 月と 3 月の同位体比の差が 0.05‰以下( no.402 , 404 )であった地点を示している。

採水を行った地点は、河内川の最上流地点( no.208 )における 671m から、酒匂川下流で狩川と合流する直前( no.112 )における 14m までの標高差約 650m にわたり、採水した 23 地点の標高の平均は 352m となった。このときの河川水の酸素同位体比の幅は、採水地点によっては大きな変化を示すところも見られたが、全体では夏季 9.3 ~ 8.0‰( 平均 8.5‰)、冬季 9.2 ~ 7.9‰( 平均 8.4‰)と、殆ど変化は認められなかった。採水地点の標高と酸素同位体比との間に相関は低く、一次回帰直線の傾きから求めた、標高 100m あたりの平均の酸素同位体比の変化は、0.07‰と一般的な高度効果の値に比べてかなり小さい値であった。

## 5. 考察

### 5.1. 流域平均標高と河川水の酸素同位体比との関係

図 7a において示された採水地点標高と河川水の酸素同位体比との関係を、流域平均標高との関係で再プロットしたのが図 7b である。この図において、流域平均標高が最も高い 1 地点( no.101 )と最も低い 1 地点( no.404 )が、それぞれ流域平均標高と酸素同位体比との間に認められる負の相関関係からはずれたところにプロットされている。この 2 地点のうち、上流の no.101 の地点では、富士山東麓に位置するという地形的に特殊な条件下から、また下流の

no.404 では三保ダム( no.217 )において取水された水が、農業用水として流域内に放流されているという人為的な理由から、それぞれ他の小流域とは異なる傾向の酸素同位体比を示したものと考えられた。

そこでこれら 2 地点を除いた 21 地点における夏季と冬季二回の採水の平均値から一次回帰を行った結果、図中の直線 ( 5 式 ) に示される高度効果が認められた。

$$Y = -0.0015X - 7.2 \quad R^2 = 0.59 \quad (5 \text{ 式})$$

100m あたり 0.15‰ / 100m という高度効果は、水谷 ( 1986 ) による富山地方の河川水や、宮下 ( 1992 ) による長野県菅平における河川水の流域平均標高をもとに算出した高度効果の値とほぼ同程度の値であった。

また、高度効果の算出から除外した 2 地点のうち、富士山東麓に位置し最も高い流域平均標高を持つ流域 ( no.101 ) では、河川水の同位体比から高度効果を用いて流域平均標高を逆算すると、半分以下の 667m となった。この流域において流域平均標高が 667m となるためには、流域の最下端である採水地点の 566m から上流に向かって標高 724m までの 2.18km<sup>2</sup>、全体の約 14.9% までとなってしまう。実際には蒸発による濃縮等の影響によってもう少し上流域までが実際の集水域となっているものと思われるが、この流域では極めて下流域からの涵養のみが、流域下端への流出に寄与していることが、河川水の同位体比と流域平均標高との関係から推察された。

### 5.2. 流域平均斜面方向と河川水の酸素同位体比との関係

降水の同位体比は、標高や降水量だけでなく、降水をもたらす原因となっている気団によっても大きく変化することが知られている( 水谷、1986、Sanjo、1990 など )。気団の違いに起因する卓越風の方向の違いは、結果的に斜面の方向によって同位体比的に異なった降水をもたらしていることが考えられる。

図 8a に流域平均斜面方向と酸素同位体比との関係を、同じく図 8b に、流域平均斜面方向と、前項で求めた河川水の高度効果から算出した標高 0m( y 切片 ) における値を示した。図 8b における太線は ( 5 式 ) における y 切片を示している。

斜面方向と同位体比との関係を直接プロットした図 8a では、明瞭な関係は認められなかったが、高度効果の値を用いて標高を均一にした図 8b では、前項において高度効果の算出から除外した 2 地点( no.101 , 404 ) の他に、( 5 式 ) における y 切片の値から大きくはずれる地点が幾つか認められた。図 8 において 印で示した地点は、丹沢湖より上流の地域を示している。今回のこの流域における採水は、主に南東斜面に偏っており、南東斜面との比較は十分に行

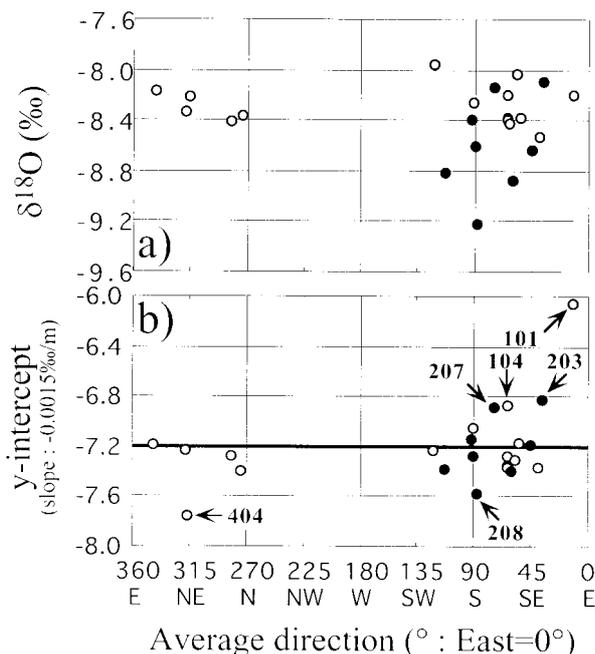


図8 流域平均標高と河川水の酸素同位体比との関係  
 Fig.8 The relationship between the average basin elevation and  $^{18}\text{O}$  of streamwater.

えなかったが、斜面方向が南から東向きになるに従って、あまり明瞭ではないが、y切片値が大きくなる傾向が認められた。

## 6. まとめ

酒匂川流域においては、河川水の酸素同位体比と流域平均標高との間に相関関係が認められ、河川水の高度効果は100mあたり0.15‰であった。

また丹沢湖より上流の流域において、斜面方向と高度効果の値から求めたy切片値との間に、は、緩やかな相関が認められた。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、採水及び安定同位体比の分析に関して、温泉地学研究所 板寺一洋技師には多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

## 参考文献

- Clark, Ian and Frits, Peter (1997) Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis publishers, 328p.
- Dabssgar, W. (1964) Stable isotopes in precipitation, Tellus, 48, 106
- 原美登里 (1998) 神奈川県における流域変更が取水・排水河川に与える影響, 日本水文科学会誌, 28(3), 83-96.
- 平野富雄、鈴木孝雄、大木靖衛、福原健一、柳内志保子 (1976) 酒匂川水系河川の水質について, 温研報告, 7(3), 115-134
- 井上義光 (1993) 足柄平野の地下水, 開成町史研究, 7, 67-92.
- 板寺一洋 (1999) 酸素同位体比を指標とした地下水涵養源推定の試み 酒匂川右岸地域の自噴地下水を例として, 温地研報告, 31(1), 53-56.
- 板寺一洋 (2000) 足柄平野南部の地下水の酸素同位体比, 温地研報告, 31(2), 117-120.
- 神奈川県 (1961-1965) 酒匂川総合開発基礎調査報告書, I-V.
- 神奈川県温泉地学研究所 (1988) 酒匂川流域の水涵養機能調査報告書, 温地研報告, 19(4), 88p.
- 健全な水環境の確保に関する懇談会 (1998) 健全な水環境の確保に関する懇談会最終報告書,
- 宮下雄次 (1992) 長野県菅平における降水及び河川水の酸素同位体比について, 平成3年度筑波大学卒業論文, 60p.
- 宮下雄次 (1999) 足柄平野及び大磯丘陵における過去30年間の地下水位観測結果, 温地研報告, 31(1), 57-73.
- 水谷義彦 (1986) 水文学に望まれる諸問題 安定同位体水文学, ハイドロロジー, 16(2), 74-82
- Sanjo, Kazuhiro (1990) Environmental isotope hydrology of Mt. Tsukuba, Doctor degree's thesis, Doctoral program in Geosciences, the University of Tsukuba, 101p.
- 早稲田周、中井伸之 (1983) 中部日本・東北日本における天然水の同位体組成, 地球化学, 17, 83-91.
- 藪崎志保、嶋田純、宮岡邦任、宮下雄次、吉田誠 (2000) 安定同位体を用いた足柄平野における地下水流動系の区分, 日本水文科学会誌, 30(1), 3-13.