

長野県菅平における降雪及び積雪と河川水の 酸素同位体比について

Oxygen Isotope of Snowfall, Snowpack and Surface Water in Sugadaira, Nagano Prefecture

宮下 雄次*・田瀬 則雄**

Yuji MIYASHITA and Norio TASE

I はじめに

融雪流出にともなう水質変動についての研究は、桜井・中本(1982)による研究などがある。彼らは長野県菅平における融雪流出について、融雪期に農耕地起源であると思われる大量の窒素及びリンが、菅平湖に流出している現象を明らかにした。

また柘植(1989)は、菅平盆地部の融雪流出を電気伝導度によって融雪流出成分と地下水流出成分とに分離を行い、融雪流出成分は全流出の10%程度を占める程度であり、さらに耕地から硝酸態窒素などの肥料起源の物質が、融雪の開始とともにすみやかに流出するという現象を明らかにした。

Maule and Stein(1990)は、カナダにおいて酸素同位体比とシリカを用いて流出成分の分離を行い、融雪期に湖のPH値が一時的に高くなる現象に、融雪水の果たす役割を明らかにした。

近年の水文学の分野において、環境同位体をトレーサーとして用いる方法が、同位体の分析技術の発達も手伝って、数多く報告されるようになってきている。水の環境同位体元素を用いる方法は、水中の溶存成分を指標とする場合と異なり、他の物質との吸着や化学変化などが無いため、水体の挙動を推測する上で、重要な手がかりを与えてくれるものである。

流出解析に環境同位体を用いた研究は、田中

(1989)によってまとめられている。環境同位体によって分離されたハイドログラフから、いずれも流出に占める地下水流出成分の割合が、一般に考えられているものよりもはるかに大きいことが示されている。

また融雪流出を解明する手段としても、環境同位体は融雪水と地下水・河川水を分離する指標として用いられており、上で挙げた Maule and Stein (1990)の他にも、Dincer *et al.*(1970)や Rodhe (1981)による研究などが挙げられる。これらの研究においては、融雪水の同位体比の値は、時間的には変動するものとして取り扱われている場合が多いが、空間的には流域全体で同一のものとして取り扱われている場合が一般的である。

実際には、標高の違いによって、積雪の同位体比に変化がみられること(早稲田・中井, 1983 ほか)や、積雪からの蒸発によって同位体濃縮が起こっていることなどが明らかにされている。

本研究においては、環境トレーサーを用いて融雪流出を解明するための基礎として、山地流域において、降雪と積雪の同位体比がどのような関係にあるのかについて調べ、さらに積雪の同位体比がどのように存在しているのかを明らかにし、河川水との関係を考察することを目的とした。

*筑波大学自然学類 (現 筑波大学大学院環境科学研究科) **筑波大学地球科学系

II 安定同位体について

水を構成する元素の安定同位体には、 ^1H , ^2H (D), ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O があり、これらが9種類の組合せで天然水中に存在している。天然水中の水素及び酸素の同位体比は、普通(1)式で示される様な、標準試料を基準にした千分率偏差(%)で表される。

$$\delta\text{D or } \delta^{18}\text{O} = \frac{(R_{\text{Sample}} - R_{\text{Standard}})}{R_{\text{Standard}}} \times 1000 \text{ (‰)} \quad (1)$$

ここでRはD/H及び $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ を示す。標準試料は、標準平均海水(SMOW = Standard Mean Ocean Water)が用いられている。

自然界での水の安定同位体比は、その質量の違いから、蒸発や凝結、水蒸気の移動の時などにその挙動が異なってくる。その影響が水素および酸素の同位体比に表れ、分別効果として次に挙げる5つにまとめられている。つまり、温度効果、緯度効果、高度効果、内陸効果、そして雨量効果である。

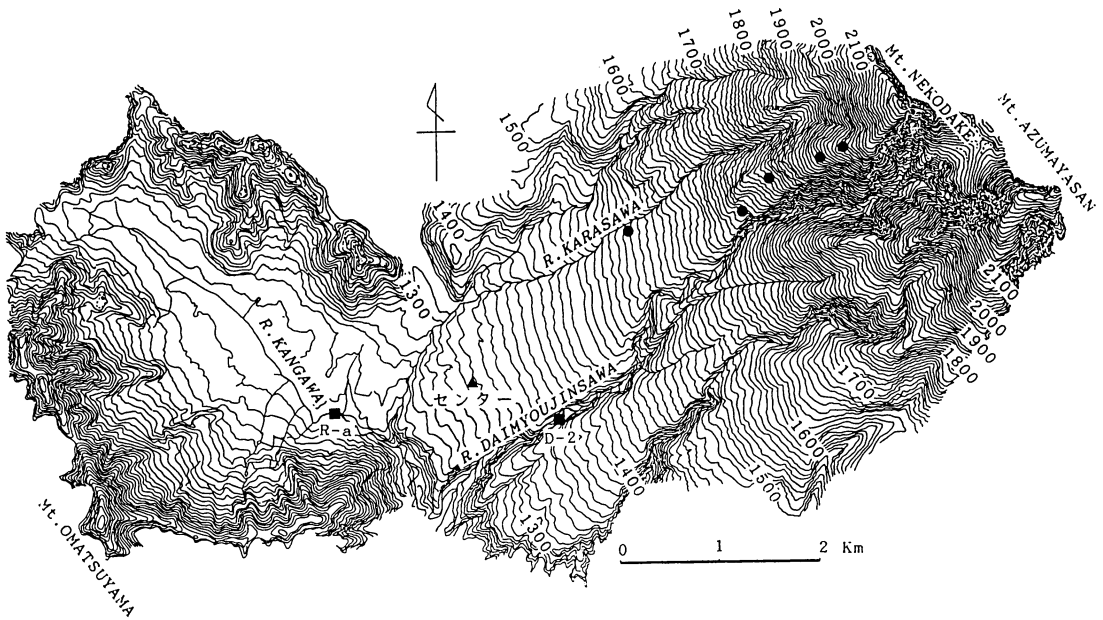
このうち温度効果と緯度効果は、水の気相と液相間

の相変化の時の温度により支配されると考えられている分別である。また内陸効果と雨量効果は水蒸気中の『重い』水分子の消費による、同位体比変化によるものと考えられている。高度効果についてはこれら両方に起因するものと考えられる。

III 研究地域の概要

菅平盆地は長野県の北東部に位置し、周囲を根子岳(2,207m)・四阿山(2,300m)・大松山(1,649m)に囲まれ、根子岳・四阿山の噴火によってせき止められた川が湖沼を形成した後、湿地化したものである。このため盆地の地下水位は1.5m前後と高く、またかつての湖沼面と言われている標高1,250m付近には湧水が多く存在する(東浦・小林, 1965)。根子岳山頂からは、南西方向に $5^{\circ} \sim 22^{\circ}$ 平均 8° のなだらかな斜面が広がり、唐沢と大明神沢の二河川が流下している(第1図)。

根子岳斜面の植生は、標高1900~2000m程度までシラカンバ・ダケカンバなどが広がり、それ以上はクマザサなどに覆われている(田内・林, 1981)。



第1図 研究地域

盆地部の中央を流れる神川の周囲は湿地となっているが、現在では畑作を中心とした農業あるいはグランドなどの土地利用のために、川底の掘り下げや暗渠排水が行われており、湿地の陸地化が進んでいる。

この地域の積雪については Yasunari and Ueno (1987)の研究があり、積雪の最も多くなる2月下旬における根子岳南西斜面の積雪は、40cm~100cm位、また雪の多い年には200cm近くになる。そして標高が高くなるにしたがって、均一ではないが積雪量が多くなる傾向が明らかにされている。

IV 研究期間

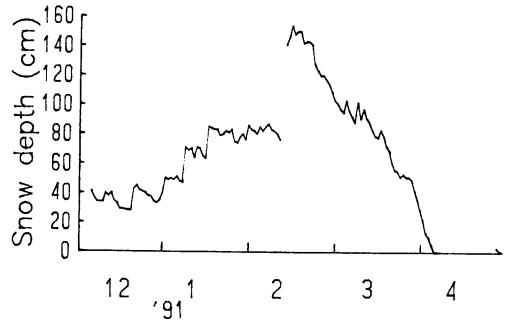
1990年12月12日から1991年3月23日までの期間において、筑波大学菅平高原実験センター（以下単にセンターと称す）において、降雪の採取を行った。当センターにおいて毎回の降雪ごとに、単位面積当たりの積雪を融解させ積雪水量のデータをとっており、本研究ではその水を分けてもらい試料とした。また1991年3月3日に、当センター圃場における積雪断面において、深度10cmごとの積雪を採取した。さらに1992年2月23日に根子岳南西斜面において積雪調査を行い、スノーサンプラーによるコアの採取を行った。

V 調査結果

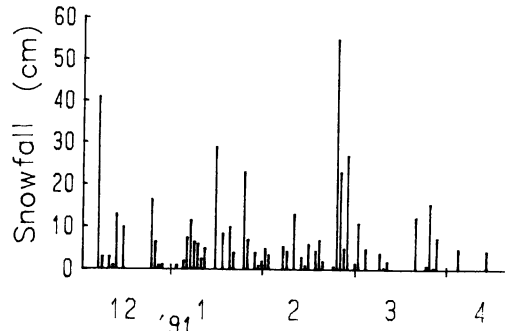
1) 積雪の状況

センターで行っている気象観測によると、この年の積雪は1990年12月12日から1991年4月10日までの119日間と、5月3日・4日の2日間観測されている。この期間のセンターにおける積雪深と降雪深を図2、3に示す。この中で91年2月17日は記録的な大雪となり、菅平地域では除雪作業が間に合わず交通が麻痺状態となった。このため、当センターにおいても観測作業を行うことが出来ず、この日の気象データは欠測となっている。第2図の積雪深のグラフが不連続なのはこのためで、第3図の積雪深のグラフに記入してある値は、AMeDAS 観測網での菅平のデータから推計したものである。

融雪の完了は一般的に標高の低い方から高い方へ



第2図 センターにおける積雪深



第3図 センターにおける降雪深

向かって進行する。調査地域ではセンターにおいて融雪が完了したのが第3図に示されるように4月10日であり、その後も根子岳山頂に向かって積雪下限線が上昇し、5月19日の段階では斜面の一部に残雪が残っているのみであった。そしてセンターの融雪が完了した6週間後の6月2日までに、斜面全体において融雪が完了した。

また今回は、定性的な取り扱いしか出来なかったが、1991年3月4日と同年4月5日のLANDSATによる衛星データから融雪状況の推計を行った。それらを写真1a, 1bに示す。これらは同衛星のTMセンサーによるBAND 1~3から合成した写真である。白色で表現された積雪が3月から4月にかけてかなり減少しており、路面などが一部露出しているのを見て取ることができる。さらに3月始めの段階においては、菅平湖の水位はかなり低下しており、湖底の一部が露出しており、さらに湖水の一部が結氷し

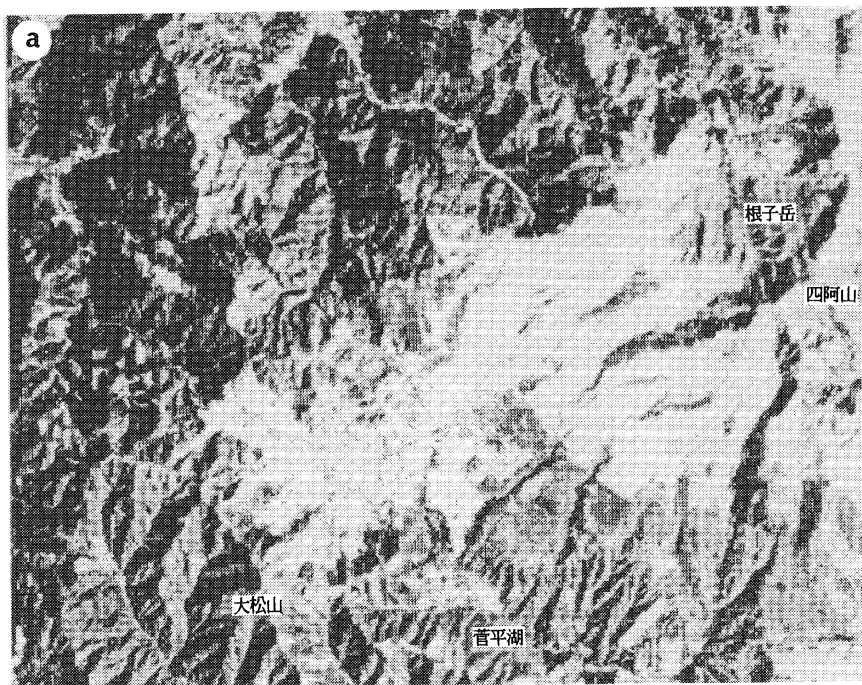


写真1a Landsatによる1991年3月4日の菅平の衛星写真

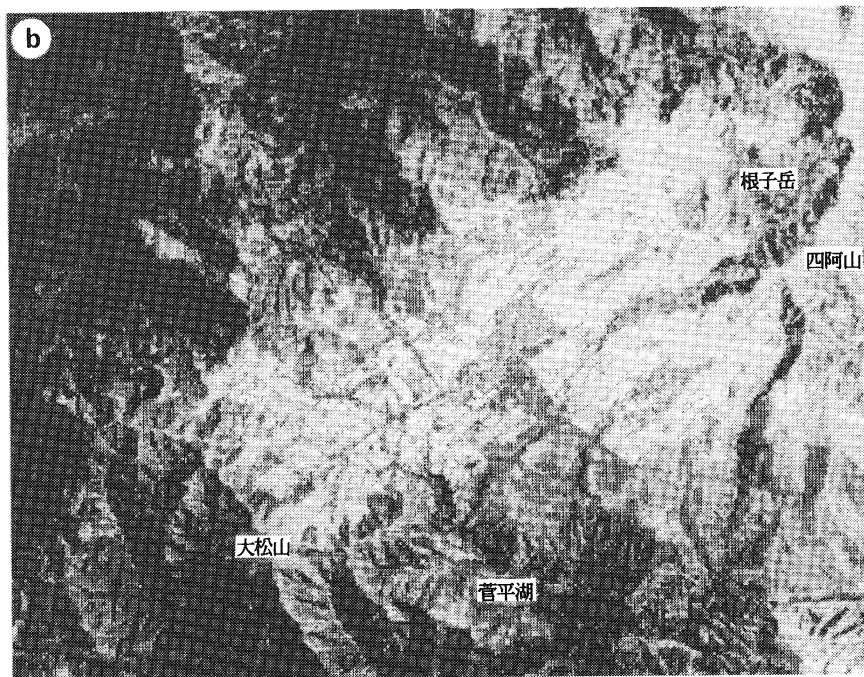


写真1b Landsatによる1991年4月5日の菅平の衛星写真

ていた為、結果的に菅平湖表面全体に積雪が存在している状況であった。それが4月始めの時期には、融雪水が菅平湖に流入したため、水位が上昇し開水面が表れていた。この変化が3月と4月の衛星写真を見比べることによりはっきりと識別することが出来る。

2) 降雪と積雪の同位体比

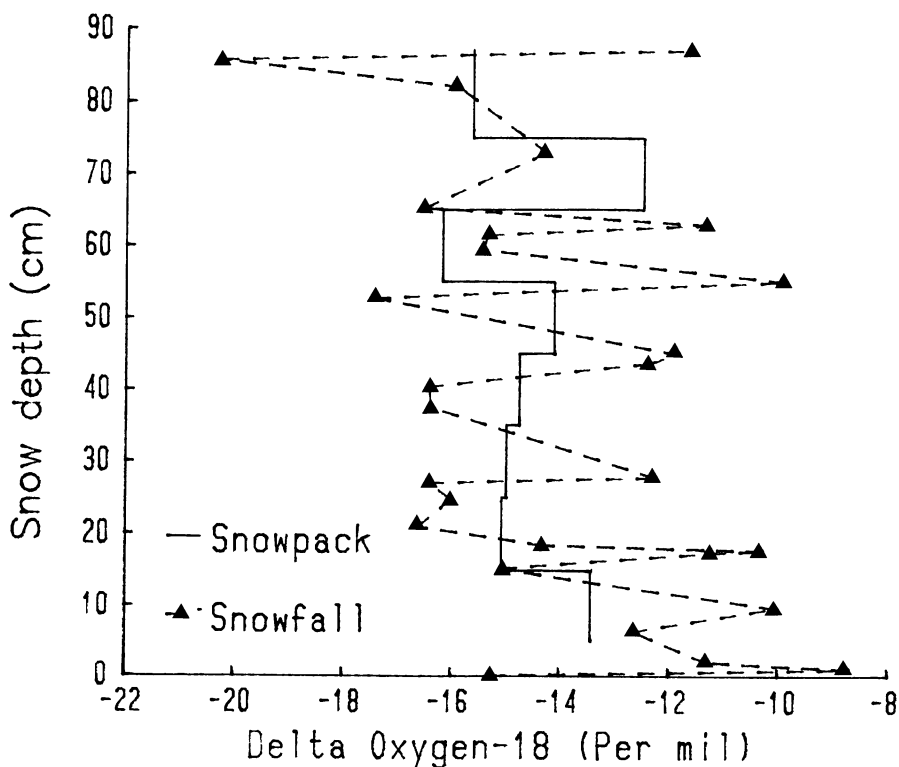
センターにおける降雪の酸素同位体比は -8.7% から -20.3% の間で変動している。また積雪と比較するために1991年3月3日までの降雪を降雪水量から加重平均したセンターでの降雪の平均値は -14.60% であった。

1991年3月3日に当センター内圃場で積雪断層の検査を行った。

調査時の積雪深は87cmあり、表層3cmに当日早

朝に降った新雪が積もっていた。積雪断面にそって、10cm毎に4~5cmの幅で積雪を採取し、酸素同位体比を測定した。積雪の同位体比の値は最大 -12.5% 、最小 -16.2% 、密度による加重平均は -14.53% であった。

1991年3月3日までのセンターへの降雪を、積雪深で重み付けしたのち積雪断面と重ね合わせたものが第4図である。この図からは、積雪の試料の採り方が10cmごとと間隔が荒かったため、降雪ごとの同位体比の値が平均化されてしまっているが、おおまかな傾向は表れていると言える。また、これら二つの同位体比の平均の値が -14.60% と -14.53% であり、その差は 0.1% 以下である。このことは、酸素同位体比の分析精度が 0.1% であることから、この二つはほぼ同じ値を示していると言える。この結果より、ある地点における冬季の降雪全体の同位体比は、過



第4図 センターへの降雪及び積雪の酸素同位体比

度に融雪が進行したり、雪崩などにより積雪後の雪の移動などの影響が無い限り、積雪の全層のコアを採取することにより得られると考えられる。

3) 根子岳における積雪の同位体比

前述の結果を踏まえ、1992年2月23日に根子岳南西斜面の積雪調査を行い、高度ごとに全層コアの採取を行った。この時のコアの採取には、内径31.5 mmのアクリル管のスノーサンプラーを使用した。

試料採取は第1図に黒丸で示してある5地点において行った。標高差は2006mから1495mまでの約500 mあり、積雪は斜面中腹では100cm前後、山頂付近の2000m地点で60cm、斜面下部の1500m地点で62 cmと、中腹に積雪深が最大になり、頂上と麓に向かって多少減少するという積雪状況であった。

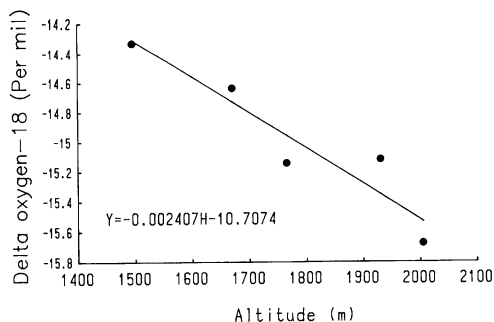
根子岳における2月23日における積雪の酸素同位体比の高度変化を第5図に示した。図中において高度による回帰直線を実線で示した。回帰式は次式の様になり、高い相関が得られた。

$$\delta^{18}\text{O} = -0.002407H - 10.7074 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.8869 \quad (H: \text{地点高度 } \text{m})$$

このことより、根子岳における積雪においても、高度効果による同位体比変化が起こっているということがいえる。この $-0.24\text{‰}/100\text{m}$ という高度効果の値は、早稲田・中井(1983)による、富士山や八方尾根における雨や雪の高度効果の値と、同程度のものである。

4) 融雪期における河川水の同位体比変化



第5図 根子岳における積雪の同位体比変化

河川水は神川においてR-a、大名神沢においてD-2の地点において融雪開始以前より採水を行った。河川水はそれぞれの採水地点毎に、ある程度の変動の幅を持ち高度に依存している値を持つものと思われる。河川水の1990年10月から1991年8月までの同位体比の変化を第6図に示す。

積雪の同位体比は、菅平盆地は最低部で1240m、根子岳山頂で2207mあることから、(2)式より -13.7‰ ～ -16.0‰ 程度であるものと考えられる。融雪時に強い蒸発による同位体濃縮が起こらないと仮定すれば、融雪水と河川水には同位体的に1～4‰程度の差があり、相対的に『軽い』水の河川への涵養によって河川水の同位体比が低下すると考えられる。

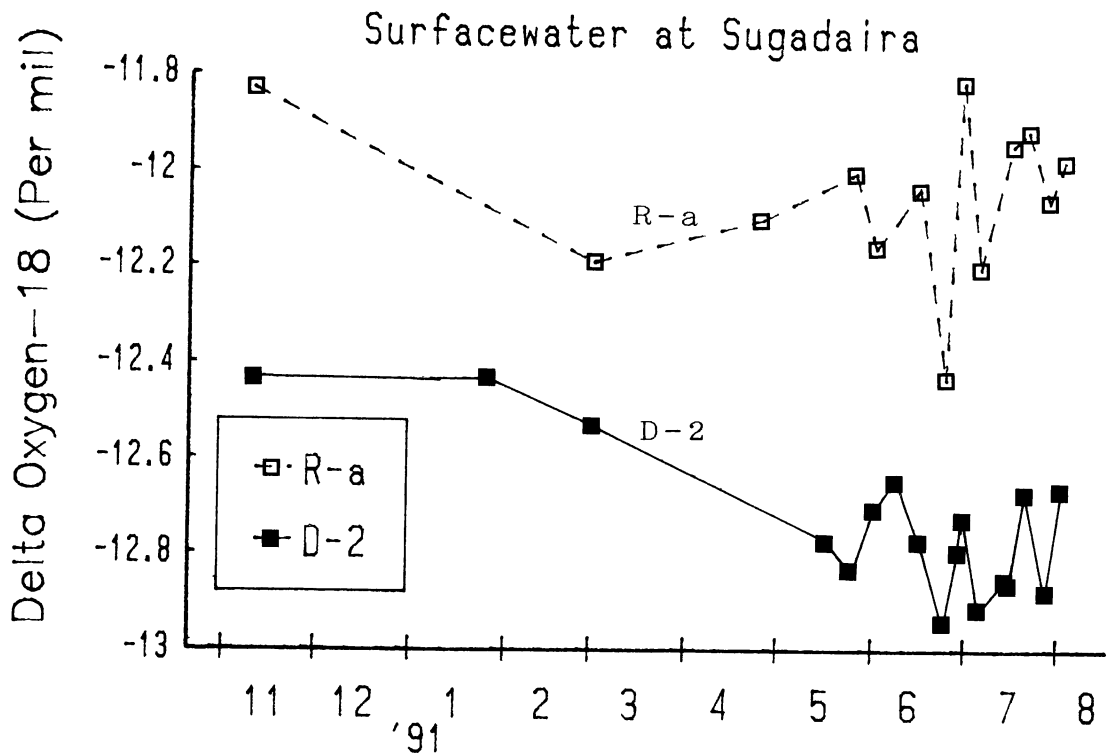
河川水の同位体比の融雪に伴う変化は、神川においては余り明確にはみられないが、大明神沢においてはかなり明確にその傾向を見て取ることが出来る。その原因としては、神川流域は盆地部のため、湿地部を除き、道路の除雪などの人間活動の影響などがでているものと思われる。反対に大明神沢流域では、ほとんど人間が住んでおらず、土地の利用度も低いいため、融雪流出現象が乱されにくいものと思われる。

融雪開始前にあたる1月頃までの河川水の同位体比は、R-aにおいては11月10日に -11.8‰ 、D-2では11月11日と1月26日で -12.4‰ であった。それが融雪の始まる2・3月頃から同位体比が低下し、根子岳で融雪が完了した6月2日までに、R-aにおいて 0.3‰ 、D-2で 0.4‰ の同位体比低下が測定された。

実際の融雪流出には日変動があり、日単位での融雪流出の分離をすることも、同位体比変化と流量を測定することで行うことができる。しかし今回は融雪の進行と河川水の同位体比変化を知るための採水方法であったため、ハイドログラフの分離などは行わなかった。

VI まとめ

山地における降雪と積雪、そして融雪流出との同位体的関係を明らかにすることを目的として、長野県菅平高原において降雪、積雪及び河川水の酸素同位体比を測定した。さらにLANDSATのデータから



第6図 河川水の同位体比変化

融雪の進行状況の推定を行った。

この結果、毎回の降雪の同位体比は、積雪に良好に保存されており、積雪全層の試料を採取することによりその地点における降雪全体の同位体比を得ることが出来ることが分かった。さらに、根子岳斜面において積雪の同位体比を測定した結果、同位体比は高度効果にしたがって、(2)式に示されたような変化をしていることが明らかになった。

そして融雪期の河川水については、融雪が開始する時期に呼応して0.3~0.4‰の同位体比の低下が観測された。

謝 辞

本研究を行うに当たり、長野県菅平高原実験センターの職員の方々には、分析試料の採取をしていただくなど、多大なる便宜を計って頂いた。また菅平町役場の方々並びに菅平町牧場組合の方々には、現

地調査において便宜を計っていただいた。ここに記して感謝致します。

なお本研究には科学研設重点領域研究(2)「衛星データによる被植地形地における熱収支・水収支過程の解析」(代表:河村武;課題番号:02228206)の一部を使用させて頂きました。

文 献

- 桜井義男・中本信忠(1982):融雪期における菅平高原からの窒素及びびんの流出量とその流出特性について 水温の研究, 26, 3, 11-18.
- 田中正(1989):流出, 気象研究ノート 167号, 67-89.
- 田内裕之・林一六(1981):菅平の植生図示とその解析 *Hikobia Suppl.1*, 265-276
- 柘植俊朗(1989):菅平高原における融雪期の流出特性 筑波大学修士課程修士学位論文(未発表)
- 東浦将夫・小林徹(1965):菅平における湧水の水文学的研

究 ハイドロロジー, No.1

- 早稲田周・中井信之(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
- Dinçer, T., Payne, B.R., Florkowski, T., Martinec, J., and Tongiorgi, E. (1970) : Snowmelt runoff from measurements of tritium and oxygen-18. *Water Resources Research*, **6**, 110-124.
- Maule, C.P and Stein, J. (1990) : Hydrologic flow path

definition and partitioning of spring meltwater.

- Water Resources Research*, **26**, 2959-2970.
- Rodhe, A (1981) : Spring flood meltwater or groundwater? *Nordic Hydrology*, **12**, 21-30.
- Yasunari, T. and Ueno, K (1987) : The snow cover environment in Sugadaira, central Japan. *Annual Report of the Institute of Geo-science, the University of Tsukuba*, No.13, 58-64.