



Title	サハリン南部における積雪調査
Author(s)	野村, 睦; MNOMURA, Mutumi; 笹, 賀一郎 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 65, 69-78
Issue Date	2002-03-25
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.65.69">https://doi.org/10.14943/gbhu.65.69</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14304">https://hdl.handle.net/2115/14304</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	65_p69-78.pdf



## サハリン南部における積雪調査

野村 睦

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター天塩研究林

笹 賀一郎

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター札幌研究林

佐藤 冬樹・柴田 英昭・植村 滋

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター森林圏北管理部

藤原滉一郎

北海道大学名誉教授

(2002年1月17日受理)

## Snow Survey in the Southern Sakhalin, Russia

Mutumi NOMURA

Teshio Experimental Forest, Field Science Center for North Biosphere, Hokkaido University

Kaichiro SASA

Sapporo Experimental Forest, Field Science Center for North Biosphere,

Hokkaido University

Fuyuki SATOH, Hideaki SHIBATA, Shigeru UEMURA

Northern Forestry Research and Development Office, Field Science Center

for North Biosphere, Hokkaido University

and

Koichiro FUJIWARA

Professor emeritus, Hokkaido University

(Received January 17, 2002)

We carried out snow survey at 10 sites in the southern Sakhalin, Russia in March 2000. These sites are located from the Sea of Japan side to the eastern inland and altitudinal range is from 10m to 360m. The measurements of snow depth (HS) and snow water equivalent (HSW), the observation of stratification and the sampling of snowpack were made at each sites. The sample was analyzed in order to investigate stable isotope compositions ( $\delta D$  and  $\delta^{18}O$ ).

HSW measured in low area was ranged from 80mm to 170mm and the average was 137mm. It was about half of HSW in the northern Hokkaido, Japan. Both HS and HSW increased with altitude. Maximum HS and HSW were 123cm and 403mm. Average density increased with increase in HS or HSW. It showed that the formation of density was controlled by load only without the effect of snowmelt.

$\delta D$  and  $\delta^{18}O$  were high at the Sea of Japan side and decreased toward the east. It indicates that snowfall is provided by westerly wind. Deuterium excess parameter (*d*-parameter) was about 25 ‰ at the western 7 sites but at the eastern 3 sites it was under 20 ‰. *d*-parameter over 20 ‰ means that the source of snowfall is the moist air mass formed on the Sea of Japan where active evaporation from sea surface occurred. In the eastern area of lower *d*-parameter, the snowfall from another source may contribute somewhat.

At almost site depth hoar was dominant. In Japan, the area where depth hoar grows is limited. The dominancy of depth hoar in Sakhalin was probably caused by colder weather.

## I. ま え が き

ロシア共和国サハリン州は、世界の中でも有数の多雪域である日本に隣接する。また、もっとも低緯度で結氷するオホーツク海にも接しており、地球科学の立場から興味深い地域である。この報告ではサハリン南部で行なった積雪調査の結果について述べる。積雪の性質は降雪特性や堆積後の気象条件によって形成される。したがって、積雪特性の記述は気象学・雪氷学・水文学の基礎として重要である。

サハリン南部に位置し我が国では最北域の北海道では、これまで多くの広域積雪調査が行なわれてきた(たとえば、秋田谷と遠藤, 1980; 石井ほか, 1991; 石井ほか, 1992)。これらの結果によれば、北海道は積雪がおもにしまり雪から形成される西部としもざらめ雪の卓越する東部に分けられる。このような隣接域との類似性あるいは相異を探ることがこの調査の第一の焦点である。また、今回は調査地点の積雪全層のサンプルを採取して安定同位体組成 ( $\delta D \cdot \delta^{18}O$ ) の分析も行ない、この結果からも積雪特性の把握を図った。

## II. 調査地点と方法

調査はサハリン南部の内陸部のユジノサハリンスク (Yuzhno-Sakhalinsk) から日本海側のホルムスク (Kholmsk) にかけての 10 地点で 2000 年 3 月 17 日と 18 日の 2 日間にかけて行なった。この 2 日間に顕著な降雪はなかった。調査地点を Fig. 1 に示す。調査地点の最低高度はホルムスクの海岸近傍の 10 m であり、最高点は高度 360 m の Kholmskly 峠である。いずれの地点でも道路から数 10 m から 100 m ほど離れた開地で調査を実施した。Kholmskly 峠では周囲の状況から地吹雪による積雪の再配分が顕著に生じていると判断したので 100 m ほど離れた二地点で測定を行なった。

各地点では積雪深と積雪水量の測定、積雪全層の採取、積雪層構造の観察を行なった。積雪深・積雪水量はスノーサンプラーを用いて数回の測定から求めた。積雪全層の採取もスノーサンプ

ラーを用いて行なった。採取した積雪は室温で融解後、安定同位体 ( $\delta D \cdot \delta^{18}O$ ) の分析に供した。層構造の観察は積雪断面を設け行なった。

以下の議論では、ユジノーサハリンスクと北海道の気象データを用いる場合がある。これらは気象庁監修「気象庁月報」(財)気象業務支援センター発行)の世界気象資料・地上気象観測資料・地域気象観測資料から引いたデータである。

### III. 結果と考察

Table 1 に層構造の観察以外の調査結果を示す。Table 1 は以下の議論の基本データである。

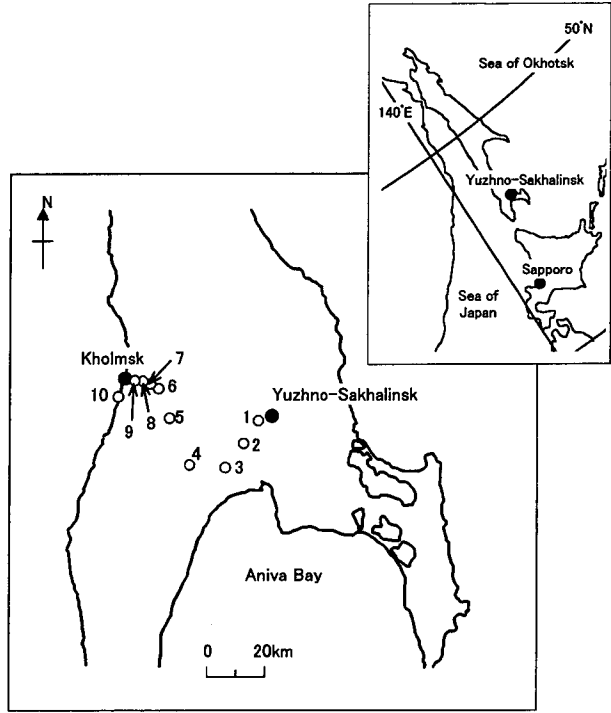


Fig. 1. Study area and sites. ○ : study sites. ● : principal cities.

#### 1. 調査年の冬期の気温と降水量

Fig. 2 に世界気象資料によるユジノーサハリンスクの気温を示す。図に見られるように11月中旬から日平均気温は氷点下になり、3月末まで平均気温がプラスになる日はごくわずかである。最低気温の極値は1月下旬の-28℃だった。平年値と比較すると、調査年の11-3月の平均気温は-7.9℃で、平年値(1951年

Table 1. Results of snow survey and stable isotope component.

Site No.	Site Name	Altitude m	Snow Depth cm	Water Equivalent mm	Mean Density g/cm <sup>3</sup>	$\delta^{18}O$ ‰	$\delta D$ ‰	<i>d</i> ‰
1	Yuzhno-Sakhalinsk	30	68	153	0.22	-14.2	-95.1	18.5
2		30	76	160	0.21	-15.8	-108.8	17.6
3	Petropavlovskoye	20	62	83	0.13	-13.1	-88.7	16.1
4		60	79	170	0.21	-15.0	-96.3	23.7
5	Bambuchek	100	100	248	0.25	-15.3	-95.0	27.4
6		240	119	377	0.32	-15.0	-94.3	25.7
7		300	123	403	0.33	-13.6	-82.8	26.0
8-1	Kholmskly Pass	360	88	242	0.27	-13.8	-86.1	24.3
8-2	Kholmskly Pass	360	117	389	0.33	<i>No Data</i>		
9		200	55	176	0.32	-13.6	-84.6	24.2
10	Kholmsk	10	44	118	0.27	-11.5	-69.7	22.3

*d*: Deuterium excess parameter  
 Site name: near village, city or pass

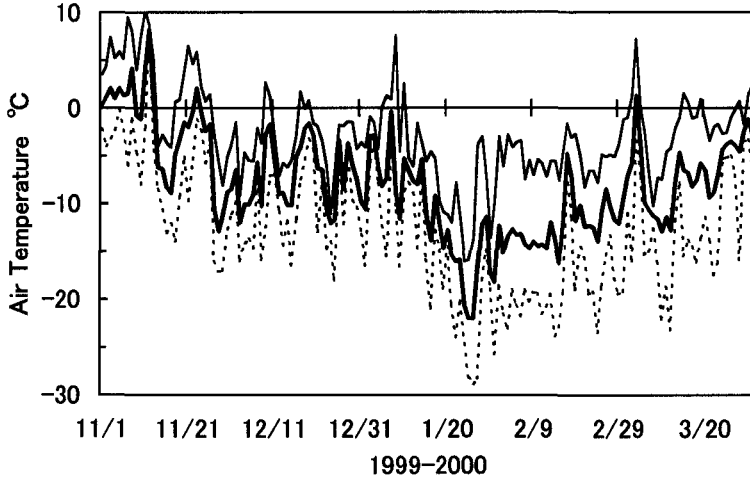


Fig. 2. Air temperature at Yuzhno-Sakhalinsk. Thick solid line: daily mean temperature. Thin solid line: daily maximum temperature. Broken line: daily minimum temperature.

から1980年の中の19年平均)の $-8.8^{\circ}\text{C}$ よりも $1^{\circ}\text{C}$ ほど高かった。とくに最寒月の1月の平均気温は $-11.4^{\circ}\text{C}$ で、平年値の $-14.1^{\circ}\text{C}$ に比べ、 $2.7^{\circ}\text{C}$ も高かった。調査年は比較的温暖だった。

降雪は10月中旬頃から見られるようである。積雪データはないが、11月初旬から連日降雪があるので、この頃から長期積雪が始まったのであろう。11月から3月までの降水量の平年値(統計期間は気温と同じ)は258 mmであり、12月から3月までだと191 mmである。調査年の冬の降水量データは、2月がゼロであるなど不自然なので平年値との比較はできなかった。かわりに冬期の降水がほとんど降雪であることを考え、今回の調査で得た積雪水量の値と比較した。Table 1に示したようにユジノーサハリンスクの積雪水量は153 mmである。この年はやや寡雪だったようである。

## 2. 北海道北部の積雪水量との比較

積雪の量を表わすには、積雪深を用いることが多いが、水文学的には積雪水量の方が重要である。そこで、Table 1の積雪水量とサハリンに隣接する北海道北部の積雪水量の比較を試みた。ところで、積雪水量は日本の通常の気象業務では測定されていない。ここでは、降水量と地面融雪量から積雪水量を推定し比較の対象にした。北海道のデータは $44.5^{\circ}\text{N}$ 以北の14地点の地域気象観測資料を用いた。積雪水量の値は1999年11月26日から2000年3月18日までの降水量の和から1日あたり $0.5\text{ mm}$ の地面融雪量を減じて求めた。積算の開始日を11月26日にしたのは、地上気象観測資料によると、この地域に含まれる稚内・北見枝幸の長期積雪の開始日が11月26日だったからである。また、 $0.5\text{ mm day}^{-1}$ の地面融雪は、対象地域に含まれる幌延で観測した例(野村ほか, 1999)を参考に決めた。

Fig. 3に結果を示す。北海道北部の推定積雪水量は163 mmから387 mmの範囲にあり、平均

値は 264 mm だった。これに対し、サハリン南部で得られた値の範囲は北海道北部のそれと同程度で平均は 229 mm だった。しかしながら、北海道の値は高度 50 m 以下の地点で求められており、サハリンにおいても高度 60 m 以下の地点のデータを用いると、その平均値は 137 mm と北海道北部の半分程度だった。日本では北陸地方がもっとも積雪が多く、北海道はそれに比べると少ない。さらに北海道北部は北海道の中でも、さほど積雪の多いところではない。

なお、平年値の降水量と比べてみると、稚内の 12 月から 3 月までの値は 343 mm (統計期間 1961 年-1990 年の 30 年) である。北海道北部もこの年は比較的雪が少なかった。また、1. で触れたユジノーサハリンスクの平年値と比較すると、稚内は 150 mm ほど大きい。

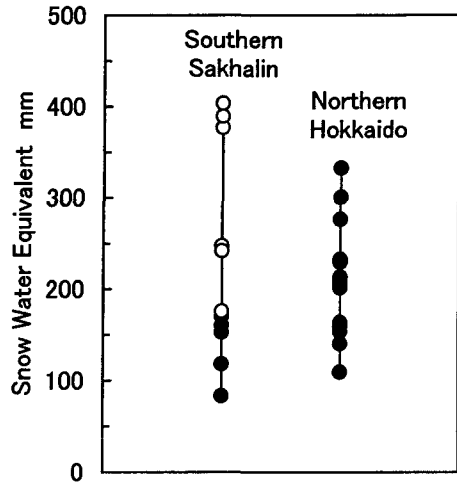


Fig. 3. Measured and estimated snow water equivalent at the southern Sakhalin and the northern Hokkaido. ● : the data under 60m a.s.l. ○ : the data over 100m a.s.l.

### 3. 積雪の安定同位体組成

Fig. 4 に  $\delta^{18}\text{O}$  の分析結果と、 $\delta\text{D}$  と  $\delta^{18}\text{O}$  から求めた  $d$  パラメータを示す。元になる値は Table 1 に示したとおりである。図には  $\delta\text{D}$  は示していないが、その変化傾向は  $\delta^{18}\text{O}$  とほぼ同じである。

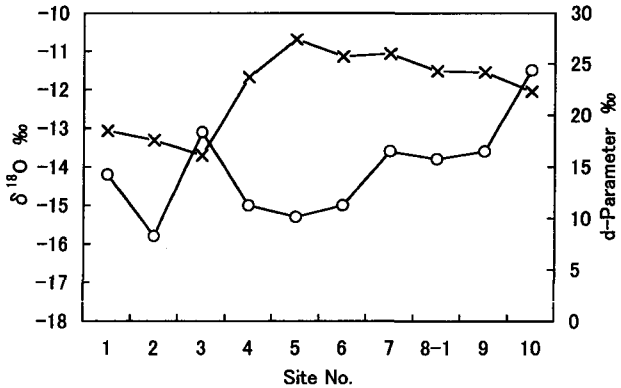


Fig. 4.  $\delta^{18}\text{O}$  and Deuterium excess parameter ( $d$  parameter) at each site. ○ :  $\delta^{18}\text{O}$ . × :  $d$  parameter

$\delta^{18}\text{O}$  は西海岸のホルムスク (Site 10) でもっとも高く、東に向かうにつれ低下している。Site 3 の値がこの傾向から外れるが、おおむね西側

で高く東側で低いとみなしてよいだろう。降水の同位体組成の形成には降水量効果・高度効果・内陸効果が知られている。すなわち、降水量・高度が大きいほど、内陸に入るほど  $\delta^{18}\text{O}$  や  $\delta\text{D}$  は小さくなる。今回の結果では同位体組成と積雪水量・高度との間に明瞭な相関関係は見られなかった。おそらく、この地域の降雪が西から吹く季節風によってもたらされるため、西側で同位体組成の大きな雪が降り、東側にいくほど組成の小さい雪が降るという機構によってほぼ分布が決まっているのであろう。Site 3 で組成が大きい理由は、次の  $d$  パラメータを含めて考える。

$d$  パラメータは Deuterium excess parameter を意味し、Dansgaard (1964) によって次のよ

うに定義されている。

$$d = \delta D - 8 \times \delta^{18}O$$

$d$  は海水の蒸発速度が大きいほど大きくなる値なので、降水をもたらす気団の水蒸気の生成条件を表わす指標になる。Fig. 4に見られるように、Site 4から10までは  $d$  が約 25% で一定であるのに対し、東側の Site 1から3までは 20%未滿と小さくなっている。このことは Site 4以西の積雪は、同じ気団を供給源とする降雪が堆積したものであることを意味している。これに対し、東側の3地点では、Site 3の  $\delta^{18}O$  が他地点の傾向と異なることも合わせて考えると、西側とは違う降雪パターンが存在するのかもしれない。

早稲田と中井(1983)は中部日本・東北日本で降水・地表水の  $d$  パラメータを調べている。それによると、冬期の降水の  $d$  パラメータは夏期のそれが 10%以下であるのに比べかなり大きく 20%を超えることもある。また、地表水の  $d$  パラメータは太平洋側から日本海側にかけて高くなっていること、とくに融雪流出時は 20%を超えていることを示している。これらのことから、彼らは、冬期の降水をもたらす大陸性気団の  $d$  パラメータは大きく、夏期の降水の供給源である海洋性気団の  $d$  パラメータは小さいものと推測している。このような結果をもとに今回の結果を見ると、西側の7地点の降水が大陸性気団によってもたらされていることは明らかであろう。一方、東側の3地点にはより  $d$  パラメータの小さな気団によってもたらされる降水が含まれている可能性がある。この3地点は南にある Aniva 湾から比較的近い位置にある。また、調査地点の中ではオホーツク海にもっとも近い。これらの海は調査時期には結氷しているため、水蒸気の供給源にはなり得ないが、早い時期にもたらされた降水の一部はこれらの海起源であるのかもしれない。今回はごく少数のサンプルによる議論なので明瞭な結論は述べられない。ここでは、サハリン南部では東西において異なる降雪型がある可能性を指摘するにとどめる。

#### 4. 高度と積雪水量の関係

一般に積雪水量は高度に対して直線的に増加することが知られている。そこで、高度と積雪水量の関係を調べたところ、Fig. 5に見られるように直線関係があると言えそうである。図の傾向線は吹きはらいが生じている可能性のある Site 8-1を除いて描いてある。図の傾向線から積雪水量の高度に対する増加率を見積ると 100 mあたり約 80 mm になる。北海道北部で積雪水量が最

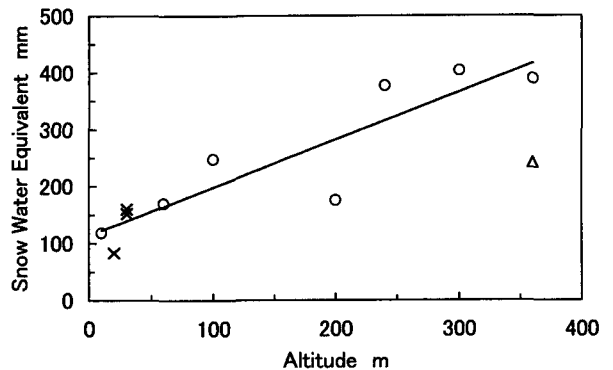


Fig. 5. Relationship between altitude and snow water equivalent. × : the data at Sites 1 to 3. △ : the data at Site 8-1. ○ : the data at other site. Solid line: the trend line estimated except Site 8-1.

大になる3月に積雪水量の高度変化を調べた結果(Nomura, 1994;野村ら, 1999)によれば, この増加率は数10 mmから100 mm程度である。増加率はおおむね北海道北部と同程度と言えよう。

Fig. 5では3.で指摘したように降雪パターンの異なっている可能性のあるSite 1から3までを区別できるように示してある。しかし, この3地点が他地点と違う傾向にあるかどうかはわからない。

## 5. 積雪深と積雪水量の関係

Fig. 6に積雪深と積雪水量の関係を示す。図中に描いた傾向線は各地点の密度が等しいならば原点を通るが, 実際は積雪深が多くなると密度が大きくなるので, そのようにはなっていない。積雪深の増加による密度の増加は, 荷重の増加による圧密の進行を意味する。密度の形成過程には気温などの気象条件も密接に関わっている。また雪質も重要な因子である。たとえば, 顕著な融雪が生じ積雪全層が濡れると, 積雪粒子は急速にざらめ化し, 全層が均質化に向かう。このような状況になると,

全層密度は積雪深に依らず比較的一定になる。このような点に注目し河島ら(1987)は, 積雪深と積雪水量の関係が積雪の堆積環境を表わすものとして日本各地の積雪特性を整理している。河島ほか(1987)は積雪深の増加に対する密度の増加が顕著に見られる地域として北海道を挙げている。そして, 比較的寒冷なこの地域では, 融解による雪質の変化が少なく, もっぱら乾き雪の圧密過程が密度形成を支配していることがその理由だとしている。サハリンは北海道に比べさらに寒冷であることから, 北海道同様かそれ以上に乾き雪の圧密が密度形成に重要である。このようなことがFig.6に示したような積雪深と積雪水量の関係を生じさせたのであろう。

Fig. 6は, Fig. 5と同様にSite 1から3までの区別をつけられるようにしてある。しかし, 他地点と異なった傾向はなかった。

## 6. 積雪の層構造

積雪の層構造は降雪パターンや堆積してからの気象条件などの影響を受けて形成される。このため層構造を調べることは, その地域の冬期の気候特性を明らかにするために有効な手段である。Fig. 7に各地点の積雪層構造を示した。雪温は測定しなかったが, 目視観測ではいずれの地点も

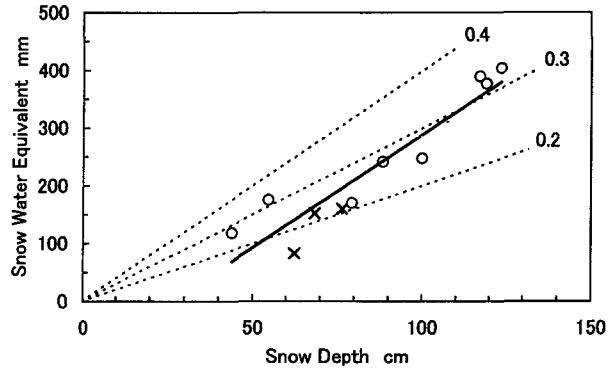


Fig. 6. Relationship between snow depth and snow water equivalent. × : the data at Sites 1 to 3. ○ : the data at other site. Solid line: the trend line for measured data. Broken line: the isopleth of density. The numerical values in figure mean density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

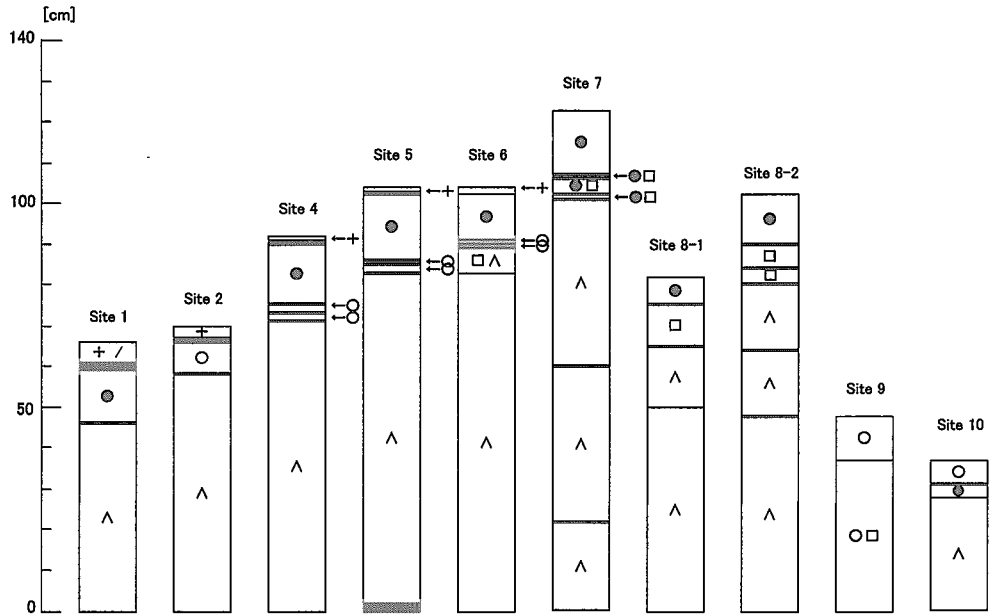


Fig. 7. Stratification of snowcover. + : new snow. / : lightly compacted snow. ● : compacted snow. ○ : granular snow. □ : solid-type depth hoar. △ : depth hoar. Thick solid line or painted rectangular means ice layer. No observation at Site 3.

乾き雪の状態だった。図に見られるように、上部は複数の氷板を含むしまり雪で、その下はしもざらめ雪が形成されており、どの地点も似たような成層をしていた。ただし、Site 9は底面までざらめ雪が存在し、全層が濡れた履歴をもっているようである。Site 9は南向き斜面に位置する。

各地点で見られる上部の氷板は比較的近い時期に暖候日があり融雪が生じたため形成されたと考えられる。どの地点でも上部に氷板が形成されていることから、この暖候日はサハリン南部全体で共通するものであろう。Fig. 2のユジノーサハリンスクの気温を見ると、3月初旬に最高気温が7℃を超え、平均気温もプラスになった日がある。この程度の気温であれば、積雪に融解の痕跡を残す可能性が高い。

一方、Site 7とSite 8には積雪内部にも氷板が見られる。この氷板は局所的な気象条件で形成されたものと推測される。しかし、これらの地点はいずれも高度300m以上にあり、今回の観測ではもっとも高度の大きい地域にある。高度が大きく気温の低い地域でのみ氷板が形成された理由は不明である。

多くの地点では土壤凍結を認めた。しかし、底面水があったのはSite 5だけだった。北海道で土壤凍結が起こるのは積雪の少ない東部や、地吹雪などで積雪層が薄くなった場所であり、積雪深が100cmを超えるようなところで土壤凍結はまず見られない。100cmを超えるような地点でも土壤凍結が見られるのは寒冷な気候を反映したものであろう。

いずれの地点でも卓越する雪質はしもざらめ雪だった。Site 9では全層にざらめ雪が存在する

が、多くの部分にしもぎらめ雪が混在しており、大局的には他地点と同様にしもぎらめ雪を形成する「乾燥温度勾配過程」(前野, 1986)が雪質の形成に支配的であるとみなせよう。北海道で行なわれた広域積雪調査の報告(秋田谷と遠藤, 1980; 石井ほか, 1991, 1992)や気候値からの推定(石坂, 1995)によれば、北海道東部がしもぎらめ雪の卓越する地域として挙げられている。また気象要素からの推定(秋田谷と遠藤, 1980)ではオホーツク海側もしもぎらめ雪が発達する可能性がある。北海道北部日本海側はおおむねしまり雪が卓越している。北海道でしもぎらめ雪の卓越する地域は、比較的積雪が少なく、また晴天日が多いため気温が低く、積雪層に強い温度勾配のかかりやすい地域である。サハリン南部の平地の積雪は北海道北部に比べかなり少ない(Fig. 3)。このため、しもぎらめ雪が発達しているものと考えられる。さらに、北海道に比べより寒冷であるので、積雪深の大きい山間部でもしもぎらめ雪が卓越するのであろう。

#### IV. あとがき

サハリン南部で積雪調査を行なった。その結果、積雪水量は隣接する北海道北部に比べ100 mm以上少ないこと、しもぎらめ雪が卓越していることなどを認めた。また、積雪の安定同位体組成から、サハリン南部では基本的に大陸性気団によって降雪がもたらされているが、東部には異なった降雪パターンがある可能性を指摘した。今回の調査は限られた地点の一回だけのものなので、不明な点は多く残っている。しかし、この報告は今後のサハリンにおける地球科学的研究の一助になるものと考ええる。

**謝辞** 現地調査にあたってはロシア共和国サハリン営林局の全面的な支援を受けた。Чекурдаев Г. А. 局長をはじめとする職員の皆様には厚く御礼申し上げます。安定同位体の分析は京大大学生態学研究センターの杉本敦子助教授に依頼したところ、快く引き受けていただいた。杉本氏と分析にあたった同センターの秋保舞氏に感謝いたします。

#### 文 献

- 秋田谷英次・遠藤八十一, 1980. 北海道における厳冬の積雪特性, 低温科学物理篇, A39, 55-61.  
Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation, *Tellus*, 16, 436-468.  
石井吉之・秋田谷英次・佐藤和秀, 1991. 北海道内の広域積雪調査-1991年2月-, 低温科学物理篇資料集, 50, 9-24.  
石井吉之・秋田谷英次・野村睦, 1992. 北海道内の広域積雪調査-1992年2月-, 低温科学物理篇資料集, 51, 9-22.  
石坂雅昭, 1995. メッシュ気候値から推定した日本の雪質分布, 雪氷, 57, 23-34.  
河島克久・山田知充・若浜五郎, 1987. 日本海沿岸積雪地域の堆積環境区分とその積雪特性, 低温科学物理篇, A46, 1-13.  
前野紀一, 1986. 雪の構造と圧密機構, 基礎雪氷学講座 I 雪氷の物性と構造(前野紀一・福田正己編)第5章, 131-155, 古今書院.  
Nomura M., 1994. Studies on the delay mechanism of runoff to snowmelt. Contributions from the Institute of

Low Temperature Science, **A39**, 1-49.

野村睦・佐藤冬樹・芦谷大太郎・榎本浩志, 1999. 気温と降雪深による山地の積雪深と積雪水量の推定, 北海道大学農学部演習林研究報告, **56**, 11-19.

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.