HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	光学繊維を利用した積雪深記録計
Author(s)	高橋, 修平; 油川, 英明
Citation	低温科學. 物理篇, 34, 79-86
Issue Date	1977-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18300
Type	departmental bulletin paper
File Information	34_p79-86.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Shûhei TAKAHASHI and Hideaki ABURAKAWA 1976 A Snow Depth Recorder Using Optical Fibers. *Low Temperature Science Ser. A, 34.* (With English Summary p. 85)

光学繊維を利用した積雪深記録計*

高橋修平
(北海道大学大学院　理学研究科)
油川英明
(低温科学研究所)

(昭和51年10月受理)

I. まえがき

山岳地帯の積雪に関して，最近水資源の立場から，あるいは雪害対策のうえから，積雪量の詳しい調査が望まれてきている。経費や人手をあまりかけずに山岳等の積雪量を調査するためには，山岳地帯でも使用できる安価な積雪量（深）自記記録装置の開発が必要となる。これまでそのような試みはある程度なされているが，未だ実用に至っていない。例えば大沼他[1,2]による積雪自記計は，ピンホールを適当な間隔にあけた細長い暗箱を利用し，太陽像の軌跡を感光紙に記録させその結果から積雪面の位置を知る装置である。これは操作が簡単であり費用もあまり必要としないなどの利点はあるが，精度が10 cm程度であり日照の有無が直接記録に影響するため，記録の解析には困難が予想される。

次に，森林地帯などでは立ち木に付着したコケ類の状況を調査することにより，その地域の最大積雪深を知る方法[3]や，それに類似した方法で，細い棒に針金を一定の間隔で多数とりつけ積雪の沈降力による針金の曲り具合いから最大積雪深を知ると云う簡単な装置も考えられている。しかしこれらは最大積雪深の値のみを知ることが目的であるのでその値を得た月日はもちろん，積雪深の変化に関しては全く知ることができない。

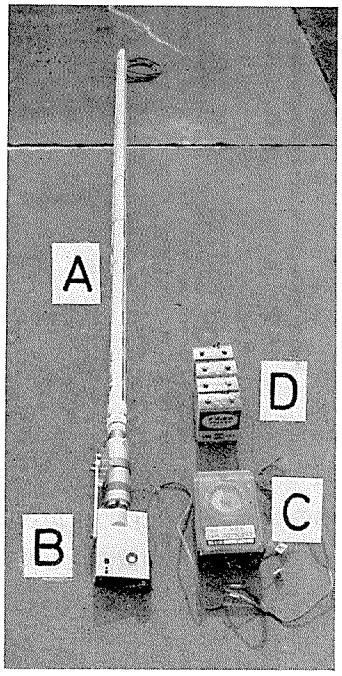
一方，平野部における積雪量に関しては，ラジオアイソトープ，光，レーザー等を利用した積雪深計や積雪の重量を計測する積雪量計など種々の記録装置が考案され，実用化もされている。これらの装置は時々刻々の積雪深を隔測し即時にその地域の積雪状況を知ることができ，また測定精度も1 cm以下で非常に良いが，山岳地帯の積雪調査にこれらを利用することは装置の使用条件や設置条件，あるいは価格の面から考えて，ほとんど不可能である。

以上述べたように，山岳用の積雪（深）記録装置はまだ充分には実用化されていないと考えられるので，著者らは山岳などでも使用可能な自記積雪深記録計の開発を試みた。以下にその結果を報告する。

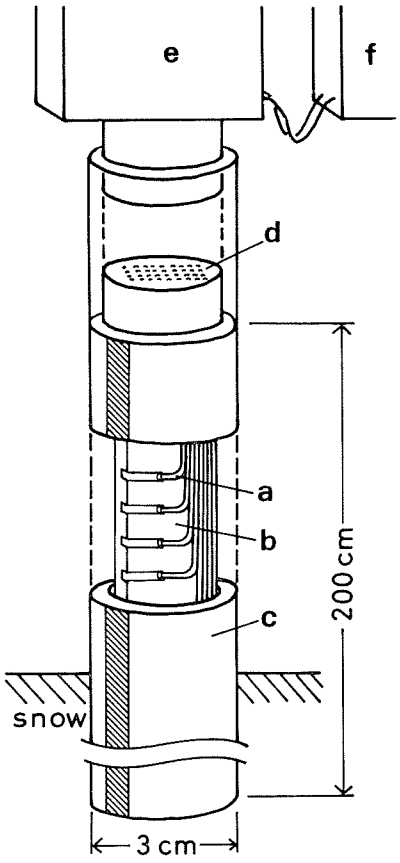
II. 装置の概要

考案した積雪深計は，光学繊維と市販の8 mmカメラを利用して積雪面の位置を長期間連

* 北海道大学低温科学研究所業績　第1801号



第1図 積雪深計の外観
A：感部（長さ2m），B：8mm カメラ，C：タイマー，D：乾電池

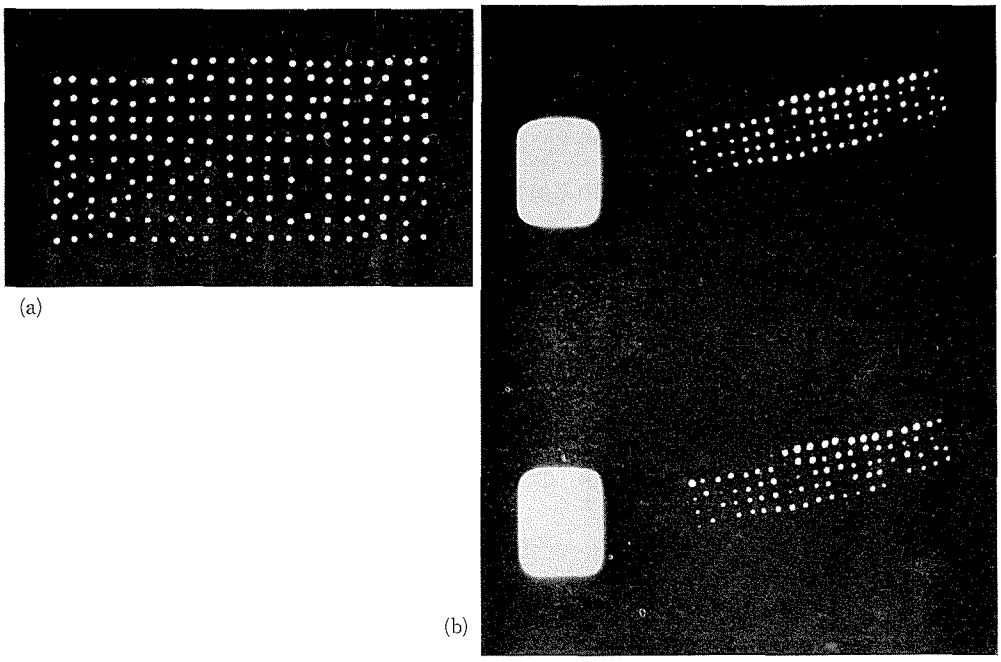


第2図 積雪深計の原理図
a：光学繊維（直径0.2 mm），b：塩化ビニール板，c：アクリル樹脂パイプ，d：撮影部（光学繊維の端面が格子状に配列してある），e：8 mm カメラ，f：タイマー

続記録する装置であり，第1図にその外観を示す。光学繊維とはガラスまたはプラスチック繊維のまわりを，これよりも屈折率の小さい物質の皮膜で覆ったもので，端面への光の入射角がある値（最大受光角）より小さい時には，屈折率のちがいにより，入射した光は繊維の管壁で全反射を起こし，光学繊維が曲げられていても光は自由に管内を伝わるという性質をもったものである。

積雪深計の感部にこの光学繊維（以下から単に繊維と言う）の一端を一定間隔に並べ，それを積雪中に垂直に立てて，自然光を利用し雪面上の部分と雪面下の部分とをその繊維の他端の明暗により識別するのが今回考案した積雪深計の原理である。

第2図にその原理図を示す。感部は直径0.2 mm の繊維 a 200本を1 cm 間隔で塩化ビニール板 b に固定し，それを長さ2 m 直径3 cm の透明なアクリル樹脂パイプ c に封入したものであり，図では内部の様子がわかるようにパイプの一部を切って示してある。パイプの斜線部分は採光部で透明な部分であり，それ以外は白く塗装してある。また，繊維の固定の様子を示す為に，板 b はその断面図を表わしてあるが，繊維は板上の幅1 mm の溝の中に端から8 mm 奥に埋め込まれており，このことによって最大受光角は従来の約45°から上下方向4°に狭められて指向性が強められ，融雪期などに感部のまわりに生ずる雪面のくぼみによる記録の誤差をな



第3図　(a)　格子状に配置された光学繊維（第1行の初めの6本は欠けている。第1行左から右，第2行左から右……の順で，これらの点は上から下へ1cm間隔で下っていく高さの感部と対応している）
(b)　8mmフィルムによる測定記録例（1976年7月20日，ウエンシリ岳雪渓にて）

るべく小さくするようにしてある。

繊維の他端は上部aで1カ所に集められ記録の解析を容易にするため第3図(a)のように1mm間隔で10行20列の格子状に配列してある。その結果，2mの感部における積雪面の変化はわずか1cm×2cmの小区画内で判別できることになる。

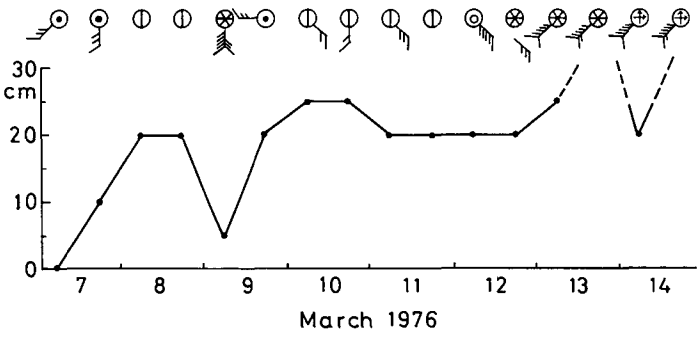
記録の方法は，この小区画の部分を市販の8mmカメラeで1コマ撮影をし，そのフイルムから明かるい点の数をかぞえて雪面の高さを計測する。第3図(b)にその記録の1例を示す。雪面下では明かるさは急激に減少するのでフイルムに感光された明かるい点は感部の雪面上に出ている部分であると判断される。また繊維を固定した間隔の距離によって積雪面の検知精度は1cmであり，実際の雪面との対応は極めてよい。第3図(b)の記録されたフイルムからこの時雪面上に出ている感部の長さは93cmであることがわかる。

fは8mmカメラの1コマ撮影の時間間隔を設定するタイマーで，8mmカメラと導線でつながっており，1時間1コマから24時間1コマ撮影まで任意に設定できる。このタイマー及び8mmカメラは6Vの乾電池で全て作動し，24時間の消費電力は1時間1コマ撮影の場合で27mW程度である。1コマ撮影の間隔を長くすれば消費電力はそれに反比例して小さくなる。しかも装置はタイマーによって設定された時間毎の断続的な作動であることから，乾電池の寿命はより長く保たれることになる。また市販の8mmフイルムは約3600コマ程度あるので1日24コマ撮影なら3カ月，1日12コマ撮影なら約半年間の連続記録が可能である。

III. 測 定 結 果

試作した積雪深記録計を用いて，山岳積雪の積雪深を長期間記録したのでその結果を報告する。

1976年3月から4月にかけて大雪山系旭岳において積雪深の観測を行なった。この時期の旭岳は未だ積雪期であり気温は −10°C 以下を記録することも度々あった。積雪深記録計を設置した場所は，旭岳石室付近の南西にのびるやや平坦な尾根上の南東に少し傾斜した地点で，標高は1,700 m である。この地域は風が強く，寒気の厳しい所でもあるのでカメラやタイマーなどの記録部分は防水した箱に格納して雪面下に埋めた。その時，この部分の雪温は約 −3°C であった。3月7日に積雪深記録計を設置した時にはこの地点の積雪深は約 2.5 m であり，記録計の感部は約 40 cm 程度雪面上に出るように埋設した。



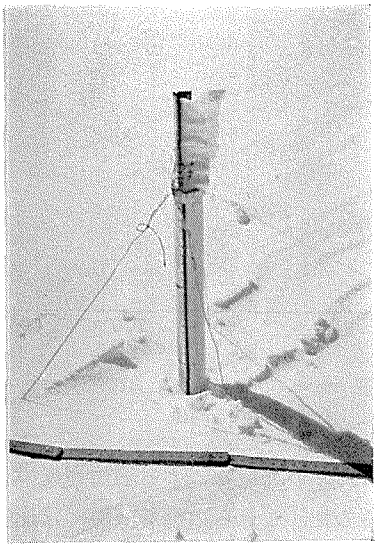
第4図 旭岳における積雪深変化量の測定結果

第4図に，3月7日からの積雪深変化量の記録を示す。3月14日以降は予想に反して感部を越える積雪深となり，記録によれば4月初めまで埋没していた。気象資料は，約1km 離れた旭岳ロープウェイ姿見駅での定時観測によるものであるが，積雪深計の記録はこの気象条件とよく対応している。

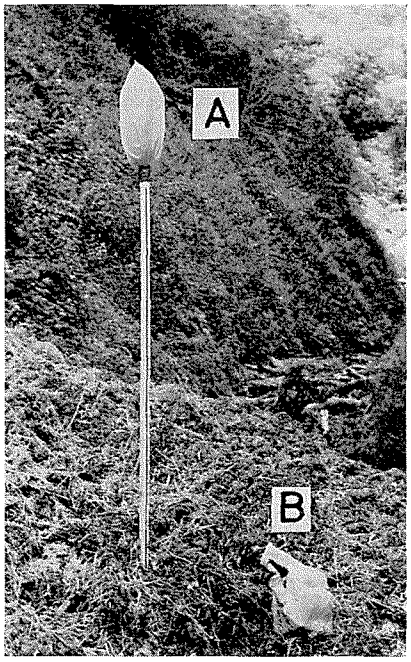
7日は降雪があり，積雪深は増加した。8日は晴れで雪面は安定だったが，夜半から9日朝にかけて風力9 (風速 24 m/s) の強い南風が吹き，雪面は大きく侵蝕された。11日～12日は天候は穏やかであり，雪面は安定していた。13日になって，降雪を伴った風力7～8の南西風が吹き出し，感部を越える積雪深となったが，14日になると降雪が止み，地吹雪となって雪面は侵蝕され，一旦は測定可能になったが，その後はまた埋没してしまった。

測定地点は南西方向に伸びた尾根上であることを考えると降雪を伴った強い風の天候状態の時，風向が尾根の伸びている方向と同じ場合には積雪は増加し，異なる場合には雪面は侵蝕され積雪は逆に減少すると考えられる。このような風向に依存する積雪深の増減は山岳積雪について興味ある問題の一つである[4]。

3月7日は濃霧であり，着氷現象が激しかった。第5図にその翌日の積雪深計の様子を示す。このような型式の積雪深記録装置で最も懸念される問題の一つは感部への着雪・着氷であるが，この写真でわかるように補強用の鉄アルグル材へは着氷しているけれども感部への着氷は全く見られない。これは感部が円柱状であること及び表面の塗装による効果と考えられる。また7日から8日にかけて風速が 6 m/s 前後であったにもかかわらず感部の周囲の雪面はほとんど乱されていない。これも感部が外径3 cm の細い円柱である為と思われる。

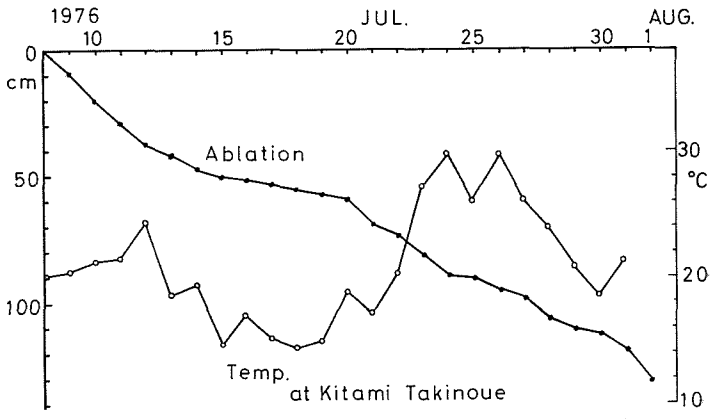


第5図　旭岳における装置への着氷状況（1976年3月8日）



第6図　ウエンシリ岳雪渓における設置例（1976年8月1日）
（A：8 mm カメラ部分，B：タイマー部分）

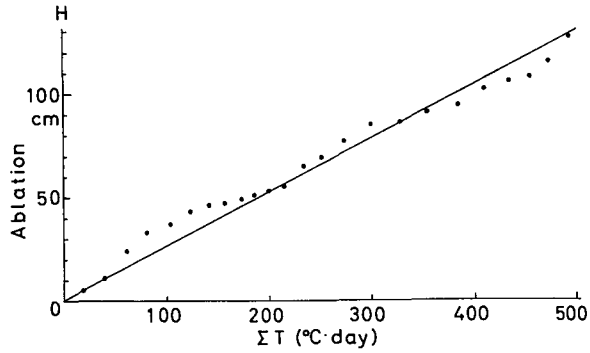
次に同年7月7日から北見山地ウエンシリ岳雪渓（標高約400 m）にこの積雪深記録計を設置し，融雪量の測定を行なった。記録装置を設置した様子を第6図の写真に示す。この雪渓はなだれによって涵養されたもので，表面は厚さ2～3 cm の植物性堆積物でおおわれている。この時期は融雪期で気温も高く，また風も比較的おだやかな地点なので記録部分は取り扱い易いように雪面上に出してある。写真のAは8 mm カメラでありBはタイマー及び乾電池を収納した箱である。25日間の雪面低下の記録を第7図に示す。またこの図の気温は測定地点より約10 km 離れた北見滝の上町の日平均気温である。雪面低下量と気温の変化が良い対応を示している。最も融雪が盛んな時は7月10日，と同23日，8月1日頃であり，最高で1日12 cm もの雪面低下量が記録されている。また融雪の少なかった時は7月17日，同25日頃であり，最低は1日1 cm であった。尚この25日間で雪面は131 cm 低下しており，平均積雪密度を0.60 g/cm^3 とすれば[5]，総融雪量は78.6 g/cm^2 となる。



第7図　ウエンシリ岳雪渓における雪面低下量の測定結果
観測点より約10 km 離れた北見滝ノ上の気温を同時に示す

この融雪量と気温との関係を調べる為に，縦軸に雪面低下量，横軸に積算気温をとったグラフを第8図

に示す。観測期間中，日平均気温は0°C以上であり，積算気温は，雪渓現場における数回の気象観測により北見滝の上町ならびにやはり約10km離れた西興部村の日平均気温を現場の値に換算し，積算して求めた。両者に直線関係があるとして，その傾きを求めると0.25 cm/°C·dayであり，平均密度0.60 g/cm³として融雪熱量に換算すると，12 cal/cm²·°C·dayとなる。この値は大雪山「雪壁雪渓」での値[6]の約1/7である。これは表面を覆った厚い堆積物による融雪遅延の効果によるものと思われるが，観測地点の地形や高度が異なるので，これらの値を直接には比較できないであろう。



第8図 ウエンシリ岳雪渓における雪面低下量と積算気温の関係

このような積雪深計による融雪期の雪面低下の測定に関しては，感部の周囲にできる雪穴の度合いが測定精度のうえで問題になるが，今回の測定期間中には雪穴のくぼみはそれ程発達せず，装置を設置して25日経過後で感部の周囲には1～2 cm程度のくぼみができただけであり，感部の指向性を考慮すれば，記録のうえで大きな誤差にならなかったと考えられる。この雪渓は積雪表面にゴミが多いということもあるが，このようにくぼみが小さかったと云うことは感部として熱伝導率の小さいアクリル樹脂パイプを白く塗装して使用したためであろう。このことは積雪期の旭岳における結果と同様にこの種の積雪深記録計の感部に関する問題が一応解決されたものと思われる。

IV. ま と め

光学繊維の光を伝える性質を利用して積雪面検知精度1 cmで半年以上記録可能な簡易積雪深記録計を試作した。1 cm間隔で配置した直径0.2 mmの光学繊維の明暗により，積雪面の高さを検知するのがその原理である。

この積雪深計を用いて1976年3月に積雪期の大雪山系旭岳で，また7月には融雪期の北見山地ウエンシリ岳雪渓において，約1カ月間の積雪深の変化量を測定した。それらの記録を最寄りの観測所の気象資料と比較検討した結果良い対応がみられた。また感部には白く塗装した直径3 cmのアクリル樹脂パイプを用いてあるので感部への着雪・着氷現象はみられず，また感部周囲の積雪面の乱れや融雪期の雪穴も小さく，測定記録への影響は少なかった。それ故，この装置は積雪期でも，融雪期でも精度1 cm程度で測定が可能である。記録部分は，8 mmカメラを用いタイマーにより1～数時間毎の1コマ撮影を行ない半年以上の記録ができる。これらは全て乾電池で作動する。このためこの装置全体の持ち運びは容易であり設置も至って簡便である。記録部は感部の上にしても下にしてもよく，厳冬期の山岳地帯のように極端に気温が低く風の強い所では記録部分を雪面下に埋設して障害を少なくすることができる。

尚，この装置の感部が細いアクリル樹脂のパイプであることは上に述べたような利点はあるが，場合によっては感部の強度不足も考えられる。このような場合には肉厚の厚いパイプを使用するか，あるいはパイプの中に補強材を封入すればよい。実際，旭岳で使用した感部はアクリル樹脂パイプの中に鉄製の補強材を入れたものであった。また感部が2m以上になると持ち運びも設置も不便になると思われるが，その場合には装置を複数個使用するとか，あるいは光学繊維の利点を生かして屈曲性のある感部を作製するなどの方法が考えられる。またこの装置の製作費用はこれまで市販されている長期積雪深記録計に比べ非常に少なくて済む。

以上のことから，この積雪深記録計は山岳地帯などの積雪深観測に適していると思われる。

おわりに，この積雪深記録計による積雪深の測定に際して低温科学研究所助教授鈴木義男氏，同大学院生水津重雄氏・西村浩一氏及びウエンシリ岳雪渓研究グループの各位の協力を得た。気象観測資料は網走管区気象台及び大雪ハイランド旭岳ロープウェイ営業所より提供をうけた。また，本論文の推敲にあたり低温科学教授石田完氏，同助手成瀬廉二氏より有益な助言をうけた。ここに記して深く感謝の意を表する。

文　献

1) 大沼匡之・小島忠三郎 1950 積雪自記計の試作. 雪氷, **12**, 240-243.
2) 大沼匡之・浅田暢彦・大場多蔵 1954 Snow-Recorder について. 雪氷, **16**, 22-27.
3) 石川政幸・高橋喜平 1972 ブナに着生するコケによる積雪深の推定. 雪氷, **34**, 119-123.
4) 油川英明・対馬勝年・佐藤尚之 1972 大雪山における硬化雪の研究 II. 低温科学, 物理篇, **30**, 129-143.
5) 成瀬廉二他 1976 北見山地ウエンシリ岳の雪渓調査 (1976年). 低温科学, 物理篇, **34**, 147-162.
6) 若浜五郎他 1968 大雪山の雪渓調査 IV (第4, 5年度). 低温科学, 物理篇, **27**, 181-194.

Summary

Using optical fibers as the sensor capable of detecting the difference of brightness between the upper and the lower part of the snow surface, a snow depth recorder has been designed and used with successful results, which is proved relatively inexpensive and easy in handling even in a mountainous region, compared with many types of conventional snow depth meters. The outside view is shown in Fig. 1 and the device illustrated in Fig. 2.

Two hundred optical fibers (a) (0.2 mm in diameter) are fixed on a board (b) at intervals of 1 cm and enclosed into a transparent achrylic acid resin pipe (c) (3 cm in diameter and 2 m in length) painted in white except the portion of a vertical strip with a width of 5 mm which serves as a slit for the sensing of a light with the tip of each optical fiber. The tip of each fiber is buried in a groove 8 mm apart from the edge of the board (b) to limit the incident angle of a light and to detect the snow surface clearly. Other tips of the fibers are gatherd at the end (d) of the pipe and arranged in a lattice to make an analysis easy. An 8-mm movie camera (e) takes a picture of the lattice at intervals of several hours optionally controlled by a timer (f). The camera and the timer can work with a dry battery (6 Volts) for more than half a year. The total weight is about 8 kg.

Using this instrument, the changes of snow depth were observed in Hokkaido in

1976 for about a month at Mt. Asahidake in March and at Mt. Uenshiridake in July, as shown respectively in Figs. 4 and 7 with the meteorological data at the nearest observation station of each site. The observation at Mt. Asahidake in the accumulation season disclosed that, as to the snow depth at a mountainous ridge, it tended to increase when the wind blows sideway parallel to the ridge and tended to decrease otherwise. The observation at Mt. Uenshiridake during the ablation season showed that the ratio of ablation to accumulated temperature was about 0.25 cm/°C·day, which is much smaller than that of the snowpatches in Mt. Daisetsu Area. The small value might be mainly due to the effect of dirt on the snow surface 2–3 cm in thickness, and partly because of topographic and climatic differences between the two locations.

Favored by the shape and materials of the instrument, icing to the sensor was not observed, and such observational errors were small that were caused by the disorder brought about on the snow surface around the sensor due to winds and ablation. Compared with the conventional instruments of this kind, the snow depth recorder comprising optical fibers has enough accuracy and conveniency to be used in a mountainous region in addition to the fairly low cost of making.