

## 雪氷圏の変動を追うー妙高・ヒマラヤ・南極ー

横山 宏太郎

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

中央農業総合研究センター北陸研究センター農業気象災害研究チーム

## 1. はじめに

新潟県の雪深い地に生まれ、これまで雪と氷を友として遊び、学んで来ました。雲南懇話会での演題は上のようでしたが、いつのまにか、これまでの活動を振り返るといった内容になりました。まげてしばらくおつきあい下さい。

## 2. 雪の中に生まれ、妙高に遊ぶ

私は新潟県高田市（現在は上越市）の中心部から約20kmの山あいの集落で生まれました。子供のころの遊びの思い出は、なぜか冬のことがほとんどです。雪下ろして高く積もった雪の山に「かまくら」を作ったり、家の前の坂でそり滑りをしたり、裏山でスキーをしたことが思い出されます。

小学校4年、高田市内に移りました。それはちょうど1957（昭和32）年、日本の南極観測が始まった年でした。新聞や子供向けの雑誌の南極の記事に、自分も行って見たいとも思ったようです。当時はそんなに子どもの遊び道具も多くないので、野外の遊びの機会が多かったのでしょう。小学校では笹ヶ峰（妙高）でキャンプ、中学校では笹ヶ峰から火打山登山、高校ではたびたび妙高登山、そうこうしているうちに山登りが好きになり、ヒマラヤも面白そうだなと思うようになりました。そこで、ヒマラヤに行くのに一番便利そうに思えた京大山岳部をめざしました。大学では山登りばかりでなにも勉強しなかった点は反省しています。卒業後の進路として、南極・ヒマラヤへの一番近道と考えた大学院、地球物理学科で雪氷を研究することにしました。これは、上田 豊さんや井上治郎さんら、先輩の進路を参考にした結果です。

## 3. まず南極へ

そのころ、名古屋大学と京都大学の先生と学生達を中心にヒマラヤの氷河調査の計画が進んでいましたが、第14次日本南極地域観測隊（1972-74）への参加の話があり、まず南極へ行くことになりました。これには、たぶん学部で測地学講座においていただき、測量ができることと、登山の経験が役立ったのだと思います。雪氷担当隊員として参加、越冬し、「みずほ高原における雪氷学的研究」の計画の中で南極氷床の質量収支をあきらかにするため、氷床の流動、氷厚、基盤地形、涵養量の観測を行いました。氷床の流動測定は、氷床上に設置した測量基点を4年の間隔をおいて2回測量し、その差から流動量を算出します。基点は、三角形を互い違いに並べ鎖状につないだ形に配置しました。これを「三角鎖」と呼びますが、このときの三角鎖は全長約250キロメートル、測点数164、三角形は162個でした。14次は2回目の測量でしたが、3ヶ月にわたる雪上車の内陸旅行、うち正味約1ヶ月をかけてついに測量が完了しました。各点の動きなどが計算され、水平流速は多くの測点で年間十数メートル、最大値は年間21.3メートル、といった結果が得られました<sup>1)</sup>。これは世界初の大規模な氷床流動測定でした。現在ではGPSを用いるのが一般的です。

氷床の厚さも重要な観測項目です。アイスレーダーという装置で氷の内部へ電波を発射し、戻ってくるまでの時間から氷の厚さが計算できます。氷の表面の高さと差し引きすれば、基盤の地形がわかります。内陸旅行のルート沿いに観測を続け、縦断面、横断面の形がそれぞれ数百kmにわたってわかりました。

内陸旅行のナビゲーションでは、いまは GPS やレーダーが使われますが、当時はルート上に立てられた標識旗を、ポイントとポイントの間の距離と磁方位を記録した「ルート方位表」をもとにコンパスと雪上車の距離計を使い、順にたどっていました。登山の経験者が活躍する場面です。この標識旗は、雪尺も兼ねています。旗竿の雪面上の長さを測って記録します。次に測ったときに竿が短くなっていけば、それだけ雪がたまったことを示しています。表面質量収支を測る単純な方法ですが、いまでも続けられています。

このときの内陸旅行では、ささやかながら地理学上の発見といえる南やまとヌナターク群調査も経験できました(図1)。その報告<sup>2)</sup>が私の初めての論文です。

#### 4. ヒマラヤへ

南極 14 次隊のあとは、ヒマラヤの登山や調査に参加しながら大学院に長く在学しました。どちらかという登山とその偵察行が多く、貴重な体験もたくさんできました。なかでも 1985 年のブータンヒマラヤ、マサ・コン峰初登頂は、一番の思い出です。

氷河は気候が変われば変化します。これまでの変化の様子は、たとえばモレーンなどから推測されます。氷河はこれからどのように変化するのか。まず「今」を記録しておけば、あとでもういちど測って変化を知ることができる、と考えました。「今」を記録する方法の一つとして、写真測量を使ってみよう。簡単に言えば、立体視できるように 2 枚の写真を撮り、これから地図を作るわけです(図2)<sup>3)</sup>。ネパールのいくつかの氷河について実施しましたが、再測と解析はまだ途中です。

1979 年秋、日本山岳会チョモランマ登山隊偵察隊の一人として、外国人の入域が可能になって間もないチベットに向かいました。ちょうど 2 年前にはネパール側からチベットの境にあるランタン・リの偵察に向かい、ティルマンのゴルからチベット方向を眺め、いつになったらいけるのだろう、と思っていたのですが。成都からラサへ飛ぶ途中、ナムチャバルワやギャラ・ペリが見え、遠くにミニアコンカが雲を突き抜けて上半身を見せている。その南はいつも雲海が遙か雲南まで続いているようでした。「雲南は面白そうな山があっても天気が悪くてたいへんそうだ」などといっていたものです。

1989 年、その雲南へ行くことになりました。日中合同梅里雪山峰学術登山隊(一次隊となる)です。登山は敗退でしたが、安仁屋さんの助言もあって、面白い研究ができました。氷河の変動をシミュレーションするため、質量収支モデルに地殻変動による山脈の上昇を組み合わせたモデルを開発して適用したところ、この地域の氷河の変動は、気候変動だけではなく 500~600m の山脈の上昇が加わった結果と考えられることがわかりました<sup>4)</sup>。

一方、登山では楽しいこともたくさんありましたが、残念ながら逆のことも何度かありました。別ルートから梅里雪山の登頂を目指した二次隊が遭難したことは、痛恨の極みとしか言いようがありません。

#### 5. 妙高の雪にもどる

1982 年から武庫川女子大学にお世話になりました。ここでは、雪と氷の研究というわけにはいきませんので、こじつけのようですが広い意味での気候学の一つの分野として、人間と衣服と環境の関係を研究する「被服気候学」を担当することになりました。その分野もたいへん面白かったのですが、お誘いがあったので、1988 年、当時の農林水産省北陸農業試験場に移りました。図らずも出身地・上越市に、そして妙高山をめぐる雪氷のフィールドに戻ったわけです。

その頃はちょうど地球環境、温暖化の問題が取り上げられ始めたころでした。日本は、地球規模で見れば雪氷圏の縁辺部にあたり、降積雪は不安定です。特に北陸地域は世界屈指の多雪地帯でありながらきわめて低緯度であり、降積雪の条件が不安定で時間的・空間的変動が大きく、研究対象として非常に興味深いところ。一方、多雪地帯としては世界に例のないほど人口密度が高く、生活面、産業面で降積雪の影響は非常に大きい。たとえば農業にとっては施設や作物に雪害を引き起こす一方で、農業用水源としても重要です。利雪、克雪の両面で、

雪の情報が求められています。また地球環境変化にともなう降積雪状況の変化予測は、社会基盤整備など長期的な計画には不可欠の情報です。

そこで、降積雪の分布と変動をテーマに掲げて研究を始めました。特に山地の積雪は水資源として重要ですが、観測データが少なく、実態はよくわかっていませんでした。妙高山周辺のスキー場のリフトを利用してなるべく高いところのデータも集めるようにしました。その結果、これまでは安定していると思われていた山地の積雪もかなり変動が大きいことがわかりました。気象データを入力に用いる積雪モデルで地域全体の様子を計算してみると、調査（地点ごとの情報）と同様の傾向が確かめられました。この間、2006 冬（2005 年から 06 年の冬）は「平成 18 年豪雪」と名付けられた豪雪の冬でしたが、2007 冬は極端な暖冬少雪でした。積雪調査の結果では両者その間の積雪の最大・最小でした。全体としては暖冬少雪傾向ですが極端な変動が起こるという状況は、IPCC も警告する、温暖化と極端な気象状況の発現と見ることもでき、今後注意が必要です。

地球環境が変化したら降雪・積雪はどう変わるのか。井上 聡氏と共同で、大循環モデルに基づく気候変化シナリオを入力として、おもに統計的モデルによって現在から 100 年後までの日本国内の降積雪の変動を推定しました<sup>5)</sup>。北陸平野部などを中心に降積雪が激減する（図 3）、また融雪期に見られる河川流量のピークはなくなるという結果は大きな反響を呼び、各方面で引用されています。

降水量は重要な気象要素の一つです。しかしその測定には、降水量計自体によって開口部付近の気流が乱されるため、降水の一部は測器に入らないという「捕捉損失」が発生します。しかもそれは雪の場合に特に大きく現れるので、雪の研究には大問題です。また、地域や国により測器が異なると降水量を比較できないことにもなります。そこで、世界気象機関（WMO）が推奨する方法に準じ、国内で一般的に用いられている転倒ます式（ヒーター付き）、温水式、溢水式の 3 種類の降水量計を対象として長期比較観測を行い、それぞれの捕捉率を風速の関数として表しました（図 4）<sup>6)</sup>。これにより測定された降水量を補正すれば真値に近い値が得られるので、結果は多くの論文・研究発表で降水量の補正に用いられています。地球環境変化の予測をするモデルの入力には、このような補正をした降水量を使うべきだと考えています。

## 6. 再度南極、山岳積雪、それから

私が雪氷分野に戻った頃、南極でも地球環境変化の解明のため、「氷床ドーム深層掘削観測計画」が始まりました。それでまた南極のお手伝いをするようになりました。昭和基地から 1000km 内陸、標高 3800m を越え、気温は地上最低記録を更新する -90℃ の可能性もある（と予想しましたがこれまでの最低は -79.7℃）地点に新たに基地を作り、越冬して氷の掘削を行うというものです。大量の物資を長距離輸送する計画の立案にはヒマラヤの経験が役立ちました<sup>7)</sup>。1993-95 年、第 35 次日本南極地域観測隊では越冬隊長を務めました。この隊でドームふじ基地（当時は観測拠点）が完成し、95 年からの第一期掘削では約 2500m（約 32 万年分）、2007 年に終了した第二期掘削では約 3000m（約 74 万年分）の氷コア試料が採取されました<sup>8)</sup>。多くの研究者の手で試料の解析が進められています。

北アルプスの大日岳（標高 2501m）山頂付近で 2000 年 3 月、雪庇が崩壊し、二人の尊い命が失われました。この事故の検討から、雪庇、特に大日岳のような巨大雪庇についてはほとんどわかっていないことが明らかになりました。「安全で楽しい登山」を実現するには、対象である山を、そこで起きる諸現象を含めてよく知る必要がありますと考え、これを研究することになりました。主な調査は 2005 年 4 月 17～27 日に、雪氷研究者、登山家、山岳ガイドら総勢 51 名が参加し、雪庇の形の測量や、トレンチを掘削して断面の調査などを行いました（図 5）。これに対し、川田邦夫・飯田肇・横山の連名で「大日岳巨大雪庇の形成機構に関する研究」として秩父宮記念山岳賞（第 10 回）をいただきました。この研究が「積雪地形」という概念を示したこと、巨大雪庇の解明に前進したこと、また登山家、山岳ガイドと雪氷研究者の協同作業であったこと、さらには市販図書や「山岳」で成

果を広く示したこと<sup>9, 10, 11)</sup>を評価していただいたのではないかと考えています。受賞を励みに、この5月にも立山室堂付近で調査を行うなど、さらに研究を進めているところです。

南極に関わった2年間は、つくば市にある農業環境技術研究所に移っていたのですが、帰国後はもとの北陸農業試験場に戻していただきました。それから組織は独立行政法人になり、つくばの中央農業総合研究センターに併合され、やがて研究室制が廃止され現在の体制となりました。昨年3月に定年退職し、4月からは、同じ職場で、非常勤でお手伝いをしています。

これまで妙高・ヒマラヤ・南極といったフィールドを主体に活動してきました。研究の大枠として「雪氷圏の変動を追う」といっては見ましたが、もとはといえば、おもしろそう、行ってみよう、やってみよう、と興味おもむくままですから、せっかくの機会をいただきながら、ここでまとまった成果をお見せすることもできないのは申し訳ないことです。

これまでに紹介したほかにも、ネパールヒマラヤ地殻変動調査隊で精密測量を担当し、ヒマラヤの地殻変動を初めて測地的に観測したこと、南極から持ち帰った古いルート標識旗が発端となった南極における繊維物理学研究では、これまで知られていなかったような繊維の変化が観察されたことなど、興味深い研究にも参加することができました。

このようにたくさんの「おもしろいこと」に関わってこられたのは、ほんとうに幸運であったと言えるでしょう。しかし、それはまた多くの方々のお世話になったからできたことでもあります。この場を借りて心からお礼申し上げます。ありがとうございました。

了

#### 文献

1. 横山宏太郎 (2006) やまと山脈三角鎖再測量、南極観測隊—南極に情熱を燃やした若者達の記録—日本極地研究振興会、206-209
2. Yokoyama, K (1976) Geomorphological and glaciological survey of the Minami-Yamato Nunataks and the Kabuto Nunatak, East Antarctica 南極資料 5 6 P14-19
3. Yokoyama, K and S. Iwata (1980) Ground photogrammetry of glaciers in Khumbu Himal, Nepal Himalayas, Glaciers and climates of Nepal Himalayas, Report of the Glaciological Expedition of Nepal, part IV P67-70
4. M. Aniya and K. Yokoyama (1991) Glacial limits, climate and uplift in the Mt. Meylixueshan area of Yunnan Province, China: a simulation modelling approach, The Holocene 1, 3, P273-280
5. 井上 聡・横山宏太郎 (1998) 地球環境変化時における降積雪の変動予測、雪氷 60, 367-378
6. 横山宏太郎、大野宏之、小南靖弘、井上聡、川方俊和 (2003) 冬期における降水量計の捕捉特性、雪氷 65, 303-316
7. 横山宏太郎 (2002) 高所と極寒、タクティックスとロジスティックス、登山医学 22, 19-22
8. 渡邊興亞、上田豊、藤井理行、横山宏太郎、高橋修平、庄子仁、古川晶雄 (2002) 南極大陸の氷を掘る！極地選書 2, 国立極地研究所 248pp
9. 横山宏太郎、飯田肇、川田邦夫 (2007) 大日岳の巨大雪庇、北アルプス大日岳の事故と事件 (ナカニシヤ出版) 115-168
10. 川田邦夫、飯田肇、横山宏太郎 (2007) 大日岳の積雪地形研究 —巨大雪庇の現地調査— 山岳 A50-A63
11. Kawada, K., K. Yokoyama, H. Iida, K. Yamamoto, G. Iwatsubo and K. Ogino (2006) Gigantic snow cornice on Mt. Dainichi Northern Alps, Japan, Japanese Alpine News 7, 317-328

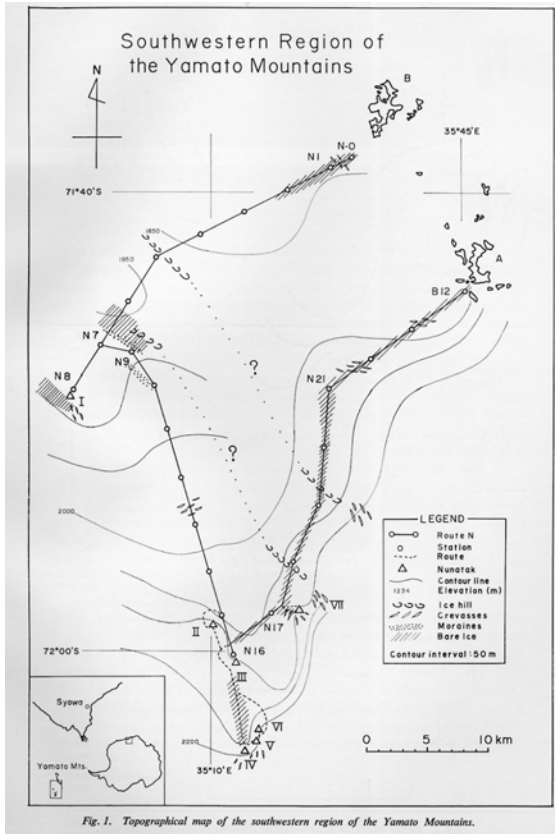


図1 南やまとヌナターク群初調査時に作成した地図、文献2より

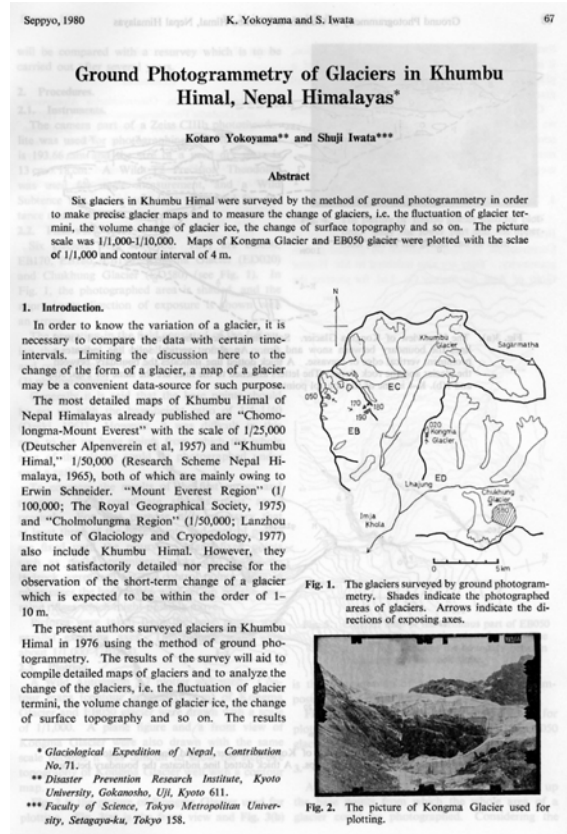


図2 氷河の写真測量、文献3より

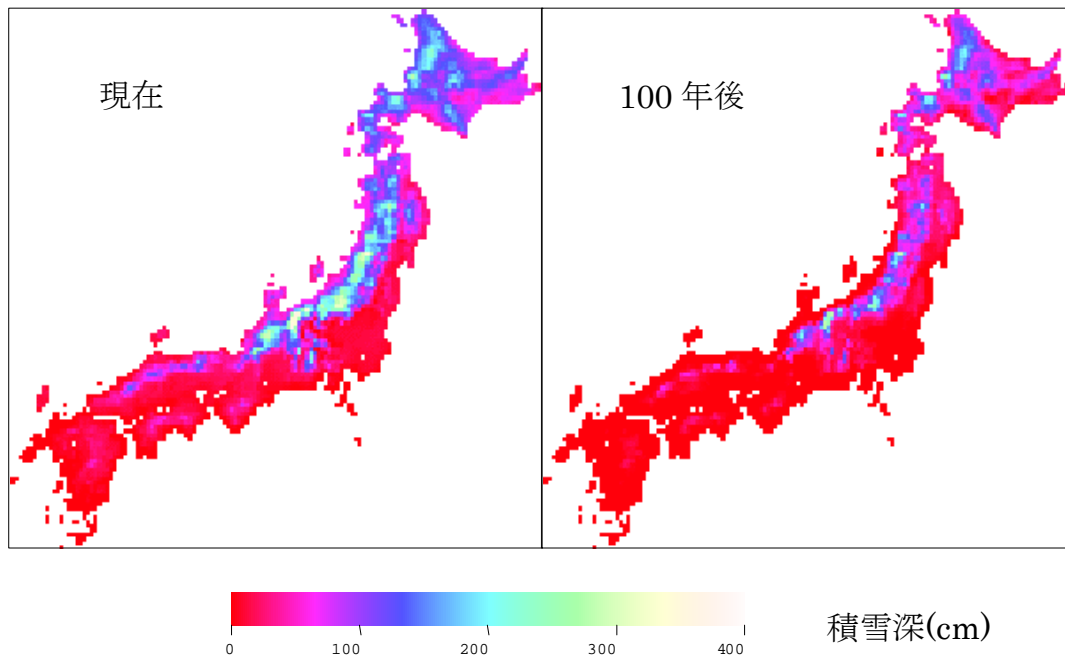


図3 現在と100年後の積雪深、文献5より

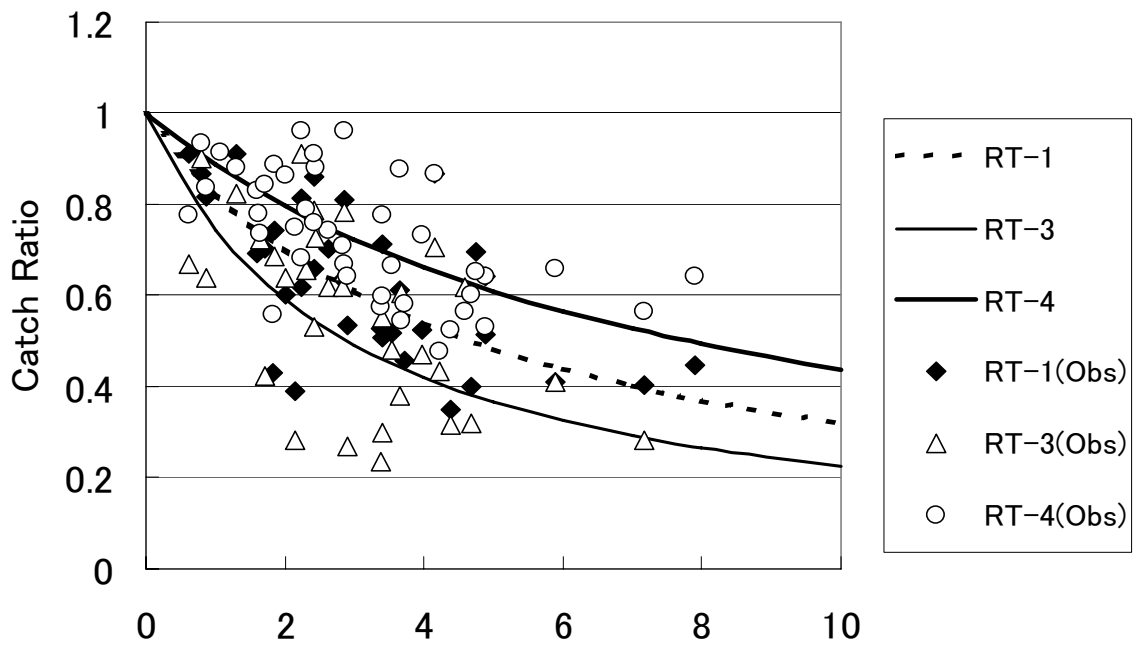


図4 風速に対する3種類の降水量計の捕捉率、プロットは観測結果、曲線は回帰曲線。RT-1=転倒ます式、RT-3=温水式、RT-4=溢水式。文献6より

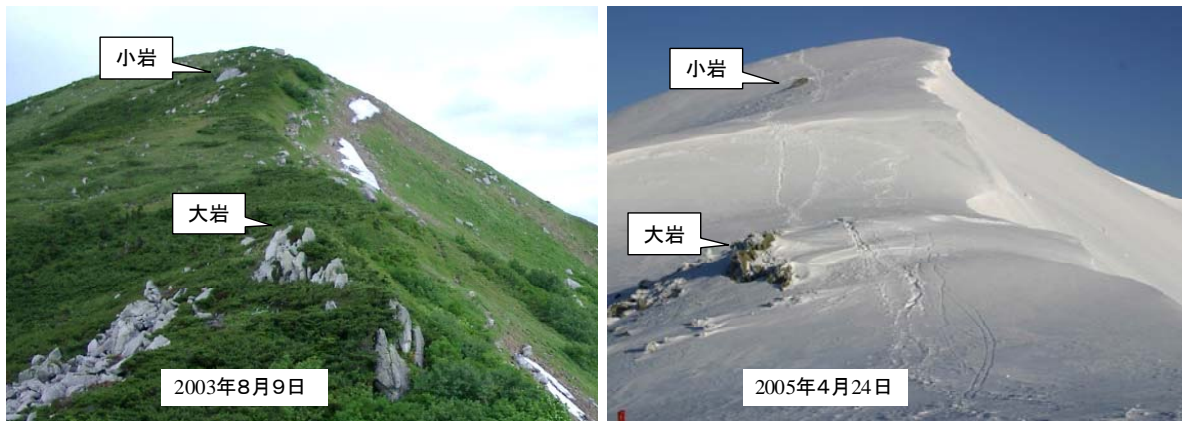


図5 大日岳山頂付近の状況、左は8月、右は4月。岩の位置を参考に見ると、4月には山体の右側に大きく積雪が張り出していることがわかる。文献10より