

凍土の融解期における大雪山白雲岳 火口湖の消滅

高橋伸幸*

I はじめに

大雪山北部に位置する白雲岳では山頂火口部に例年融解期の5月中旬以降一時的に湖が出現する(写真1)。しかし、この湖は、半月ほど存在した

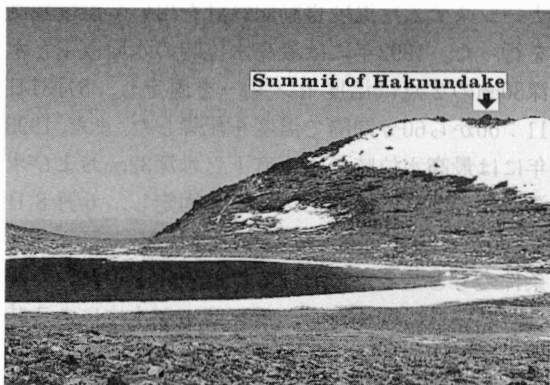


写真1 融解期に出現した白雲岳火口湖

後、急速に消滅する。この湖水の涵養は、ほとんど融雪水によってなされるが、地形的排水条件(後述)が限られている白雲岳火口付近において、その存続は融雪水の供給量と湖水面からの蒸発量とのバランス、および湖底への水の浸透速度によって支配される。しかし、この時期、急速な湖の消滅をもたらすような蒸発量の増大を考え難いことから、湖消滅の支配的要因は、湖底における浸透能の急速な変化とみることができると考えられる。この場所が大雪山の高山帯であるということを考慮した場合、この浸透能の急速な変化をもたらす原因が、冬期に形成される凍土層の融解であることは十分に予想される。

1992年および1993年の融解期に湖水中に温度計を設置し、その温度変化から水位の低下時期、すなわち湖の消滅時期を推定した。それと併せて周辺部での気温観測から、凍土の融解に密接に関係するこの時期の気温条件を明らかにした。

II 研究地域

白雲岳(図1)は、角閃石しそ輝石普通輝石安山岩からなるドーム状の形態を呈した火山体であり(国府谷ほか, 1968)、大雪山火山群の中で第3位

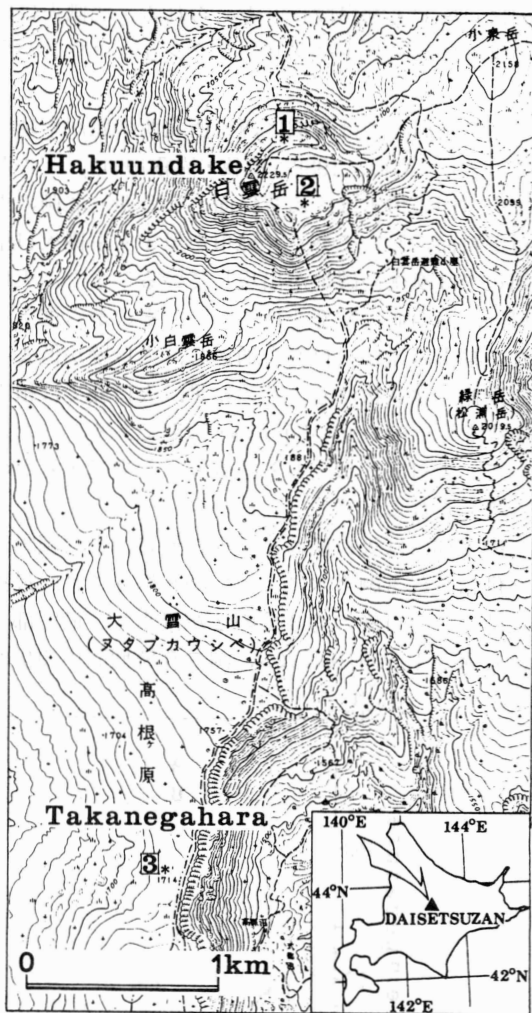


図1 研究地域

- 1, 3 : 気温観測地点
- 2 : 火口湖内の温度観測地点

* 北海学園大学教養部

の標高(2230m)を有する。山頂部には火口の形態が残存し、直径約300mのきわめて平坦な火口底とそれを取り巻く火口壁とがある。火口底の標高は2170m前後であり、火口壁西側に白雲岳の最高点がある。火口底の最低部にはアースハンモックが形成され、その周辺には白雲岳北側の北海平に見られる凍結割れ目多角形土(曾根・高橋, 1986)と同様の多角形土が発達している。火口底周縁部には比高数10cm程度の段丘状地形が断片的に分布している。これは、火口湖出現時の観察から火口湖に対応する湖岸段丘と考えられる。北側火口壁の脚部には階状土やソリフラクションロウプが発達している。

白雲岳周辺では冬期に西～西北西の風が卓越する(曾根・高橋, 1988; 高橋・佐藤1994)。そのため火口内の積雪は、風背斜面となる西～北側の火口壁斜面において多く、鈍頂を呈する東側火口壁周辺では風衝砂礫地が出現している。また、火口壁は、南西側に鞍部を持つため、そこから進入した冬期卓越風は火口底を通過し、火口壁が低まった東側へ吹き抜ける。その結果、火口底では積雪が少なく、せいぜい30～50cm程度である。したがって、火口底では、ある程度凍土が発達するものと考えられる。

融雪期には火口底および火口壁斜面上の積雪から供給される融雪水によって湖が涵養され、最拡大時には火口底の約3分の2が浸水し、最深部では水深が1 m前後に及ぶ。湖の存続期間中の排水

は、おもに火口南東側の火口壁最低鞍部から行われている。なお、温度観測を開始した1992年5月31日および1993年6月8日の時点では、湖水面は最高水位にあり、火口壁最低鞍部から排水がなされていた。

III 火口湖における温度観測

1. 方法

火口湖内の南部に観測点を設け(図1, 地点2), サーミスター温度センサーとKADEC-U型(コナーシステム)温度自動記録計を用いて温度観測を行った。1992年には最高水位時の水面直下と水深30cmの2点に温度センサーを固定し、5月31日11:00から60分間隔で温度を記録した。また、1993年には最高水位時の水面直下と水深32cmおよび水深52cmの3点に温度センサーを固定し、6月8日8:00から30分間隔で温度を記録した。このような条件のもとで各点における温度変化を追跡した場合、熱容量の関係から、センサーが水中にある時と水位低下に伴ってセンサーが離水した時とでは温度変化パターンに違いが生ずることが予想され、それによって水位低下時期を推定することができる。なお、本観測では、湖最深部に温度計を設置することができなかつたため、湖が完全に消滅した時期を特定することはできなかった。

2. 結果

1) 1992年の温度変化パターン

図2に1992年5月31日～6月6日の最高水位時

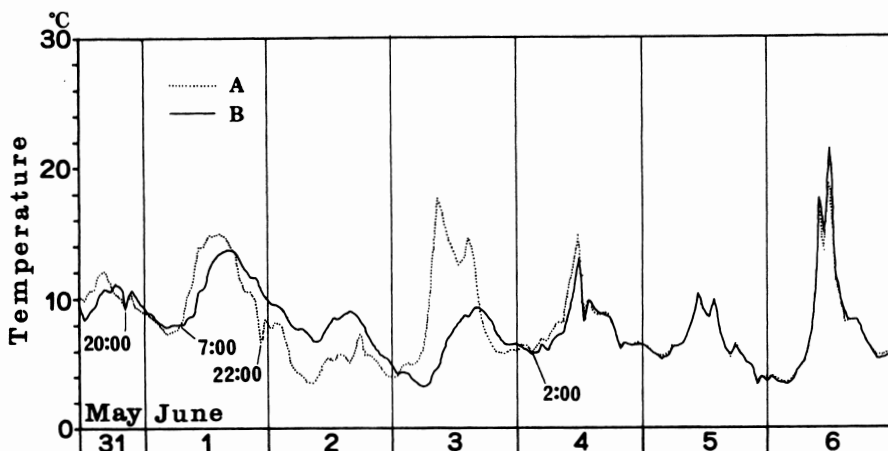


図2 1992年の白雲岳火口湖における融解期の温度観測結果(5月31日～6月6日)

A: 最高水位時の水面直下に設置した温度センサーによる記録

B: 最高水位時の水深30cmに設置した温度センサーによる記録

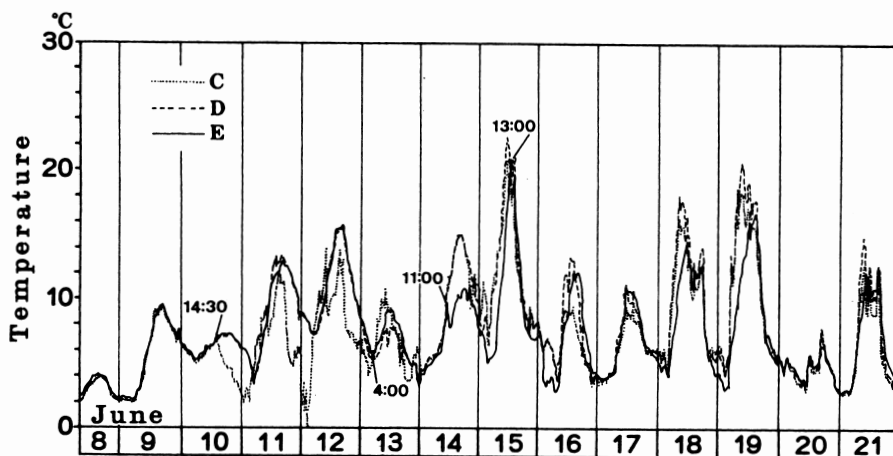


図3 1993年の白雲岳火口湖における融解期の温度観測結果(6月8日～6月21日)

- C：最高水位時の水面直下に設置した温度センサーによる記録
- D：最高水位時の水深32cmに設置した温度センサーによる記録
- E：最高水位時の水深52cmに設置した温度センサーによる記録

の水面直下(A)と水深30cm(B)に設置した温度センサーによって記録された温度変化を示した。5月31日の日中にAがBの温度を上回り、両者の変化パターンに違いが生ずるが、31日の20:00から6月1日の早朝にかけては同じように推移する。そして、6月1日7:00を過ぎてからAの温度上昇・低下がBに先行するようになり、両者の変化パターンに顕著な差が生じるようになる。6月1日における最高値付近の温度は、両者ともに緩やかに推移するが、22:00頃からAにおいて急激な温度変化が見られるようになる。これに対し、Bの温度変化は穏やかに推移する。このような傾向は、6月3日に顕著となり、6月4日2:00まで続く。しかし、これ以後、6月4日の昇温時にはBの温度変化に遅れが生じるものの両者は、再び同様な変化パターンを描くとともに、日最高値の前夜で急激な温度変化を示すようになる。

2) 1993年の温度変化パターン

図3に1993年6月8日～6月21日の最高水位時の水面直下(C)と水深32cm(D)、水深52cm(E)に設置した温度センサーによって記録された温度変化を示した。観測開始から6月10日14:30までは3点とも同じ変化曲線を描いたが、それ以後Cの変化曲線だけがずれを生じ、D、Eとは異なった推移を見せるようになる。その後、DとEとの変化曲線の間で多少の差異は生じるものの、6月10日以降の傾向は6月13日4:00まで継続する。

この間、DとEは比較的緩やかな温度変化を繰り返すのに対し、Cは変動が激しく、最高値や最低値付近で急激な温度変化を繰り返す。6月13日はEに対してDが低めに経過し、しかも小刻みな変動を繰り返すが、夜間に入ると再び同じ推移を示す。6月14日に入るとさらにCの変化曲線も重なり、この状態で11:00まで昇温が続く。しかし、これを過ぎるとEだけが一時的に急激な温度低下を示し、6月15日の13:00までCとDに比べ低温の状態推移する。一方、CとDは、6月15日以降もほぼ同じ周期で昇温と降温を繰り返しながら推移する。しかし、日中の高温出現時には、Dの値がCの値を上回る。6月15日以降のEの推移は、昇温時においてCとDの推移に遅れる傾向があり、日最高気温はDの値を下回ることが多いが、降温時にはほとんど同じ値で変化する。

IV 水位低下時期

1. 1992年の場合

温度計を設置した5月31日の昇温時に、Aの温度変化とBの温度変化との間に生じたずれは、両者の温度環境に一時的な差異が生じたことによるものと考えられ、降温時にはこの差異は解消されている。温度の変化パターンに顕著な差が生じ、しかも、それが持続するのは6月1日の7:00以降であり、AとBとの間に決定的な温度環境の違いが生じたことを意味する。6月1日の昇温時に

おけるAの温度変化は、Bの変化に比べ急速である。これは、Aが離水したことにより気温変化を敏速に据えられるようになったこと、一方、Bは依然として熱容量の大きい水中にあるため気温変化の影響が即座に現れないことによるためであろう。降温時においても、Bの温度変化はAに比べて緩やかであり、Aにおいて22:00に生じた急激な温度低下もBには現れていない。このような傾向が6月2日から3日にかけても続くことから、この期間中、Aは離水した状態で、Bは水中にある状態で経過したと考えられる。6月3日に最も顕著な違いが生じた後、6月4日に入るとBの温度変化パターンがAの温度変化パターンに同調するようになる。Bの温度変化パターンはそれまでとは異なり、日最高値の前後において急激な昇温と降温が見られる。これは、両者とも同じ温度環境、離水した状態に置かれるようになったことを示すものと考えられる。

以上のことから、1992年における白雲岳火口湖の水位低下は6月1日の7:00に始まり、6月3日までに30cm(日平均約11cm)に達したと推定される。このことは、凍土層の存在を前提として考えた場合、湖を維持するための不透水層としての凍土層の役割が衰退し始めたと解釈される。これ以降の水位低下状況については不明であるが、熱容量の大きい水が地中へ浸透していくことを考えれば、凍土が急速に融解することは明らかであり、11cm/日を大きく上回る急速な水位低下が生じ、間もなく湖の消滅がもたらされたであろうことは十分に予想される。

2. 1993年の場合

1993年は全国的に冷夏であり、北海道では6月から8月にかけて各地で平年の気温を4~7℃も下回った(藤井, 1994)。大雪山の高山帯においても、この傾向は顕著に現れており(高橋, 1995)、凍土の融解、白雲岳火口湖の消滅にも影響がでたものと思われる。

湖水中の異なった水深に設置した温度計が異なった温度変化パターンを示すようになったのは、6月10日の14:30以降である。1992年の場合と同様に考えれば、まずCのみが離水したとみられる。6月11日の昇温時には、一見すると3者とも同じような変化を示しているようであるが、Cだけは、

その間にも小刻みな変動を見せており、再び水没してDやEと同じ温度環境になったとは考え難い。Cだけが離水した状態は、6月13日の4:00まで続く。これを過ぎると、Dの温度変化曲線もEの曲線からずれて小刻みな変動を見せるようになり、Dも離水し始めたことを示唆する。すなわち、約2日半の間に水位が32cm低下したことになる。この間の平均低下速度(約12cm/日)は、1992年の水位低下開始後の低下速度(約11cm/日)とほぼ同じ値である。6月14日の昇温時には3者の温度変化曲線がほとんど重なり、この時点で、すでにEのところまで水位が低下していることが推定される。1日足らずの間に水位が20cm低下したことになり、この間の平均低下速度は24cm/日となる。しかし、11:00になるとEにおいてのみ温度低下が見られ、その後の昇温も抑えられる。この現象は、昇温に伴い融解水の供給が増大して湖の水位が上昇したことにより、再びEのみが水没したためと解釈される。6月15日になると、Eの昇温と降温は、CおよびDの温度変化と同調するようになり、再度Eが離水したと考えられる。6月15日から16日にかけて生じたEの変化曲線のずれは、15日の高温出現による融雪水供給の増加量と排水量とのバランス関係がE付近において微妙な水位変動をもたらした結果とみられる。

6月17日以降、3者の温度変化パターンはほとんど同調している。ただし、6月17日や18日のように比較的高温状態が出現するときには、Eのみに昇温の遅れが生じ、最高温度も他2者を下回る。この原因に関しては、適切なデータに基づいて検討する必要があるが、日中の昇温時に火口壁斜面上の残雪から流下する冷気が閉塞凹地である火口底に貯り、最も下位に位置するE点はその影響を受け易くなるという可能性も指摘できる。

V 水位低下時の気温条件

1. 気温データ

1992年には白雲岳山頂部(2210m)において融解期の気温データが得られている。この気温観測では、地上約120cmに設置したサーミスター温度センサーとK A D E C-U型温度自動記録計を用いて、60分間隔で温度測定を行った。

1993年の場合には、白雲岳山頂部での気温デー

タが得られなかったため、白雲岳の南方約3.5kmの高根ヶ原(1770m)において得られた融解期の気温データとを用いて同時期における白雲岳山頂部の気温を推定した。なお、高根ヶ原における気温観測では、白雲岳山頂部で行った観測方法と同じ方法を用いた。また、気温減率に関しては1992年の

融解期における白雲岳山頂部での気温データと、同時期に得られた高根ヶ原での気温データとから両地点間での気温減率を以下のように見積もった。

図4は、1992年5月18日～9月22日の白雲岳山頂部と高根ヶ原における日平均気温から日平均気温減率をもとめ、その推移を示したものである。

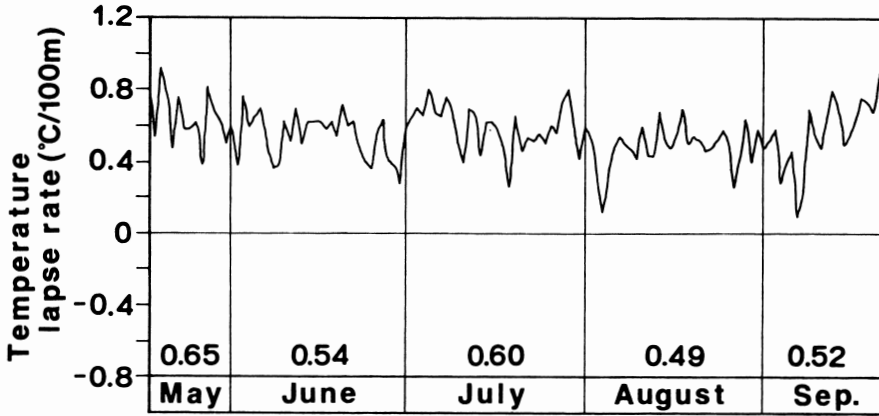


図4 1992年における白雲岳山頂部(地点1:2210m)―高根ヶ原(地点3:1710m)の間の日平均気温減率の推移と月平均気温減率(5月18日～9月22日)

また、同時に月平均気温減率を値で示した。これらを見ると日毎の変動が大きく、月毎の平均値でも差異が生じている。このことから、本研究のようにある特定の時期を対象とする場合、単純に平均値を用いることは適当でない。また、同時期であっても年によって気温推移が異なるパターンを

示すことがあるため、そのことも考慮に入れる必要がある。

図5には高根ヶ原における1992年と1993年の5月および6月の日平均気温の推移を示した。前述したように、1993年の暖候季には低温現象が出現しており、高根ヶ原の気温データでは5月下旬頃

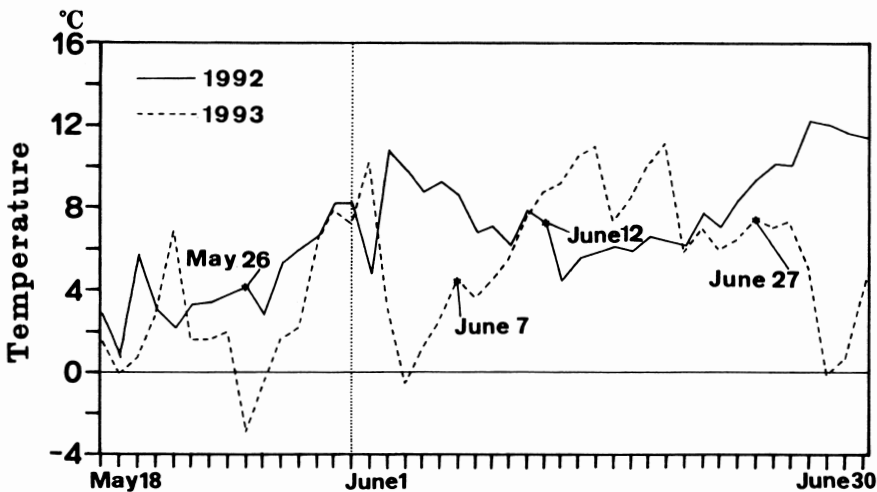


図5 白雲岳山頂部における1992年および1993年の5月・6月の日平均気温の推移

からその傾向が読みとれる。したがって、1992年と1993年のこの時期における気温推移パターンには大きな違いが見られる。このような気温推移パターンの中で、1992年5月26日～6月12日の部分と1993年6月7日～6月27日の部分とを重ね合わせてみた場合、他の期間に比べ顕著な類似性が認められる。つまり、約2週間のずれをもって同様な気温変化が生じたことになる。このことから、それぞれの期間における大雪山中央部の気温環境が類似したものであったと推測できる。また、この期間中に湖で温度観測を行っており、水位の低下も生じている。したがって、1992年5月26日～6

月12日における高根ヶ原と白雲岳山頂部の気温データから両地点間の気温減率を求め、この値を1993年6月7日～6月27日前後の白雲岳山頂部における気温推定に用いることが、本研究ではより適当であると考えられる。この方法により得られた1992年5月26日～6月12日の平均気温減率は $0.58/100\text{m}$ であり、この値からもとめられた両地点間(標高差500m)の気温差は 2.9°C である。

2. 気温状況

図6は、1992年5月2日～6月30日の白雲岳山頂部における日平均気温の推移を示したものである。これによると、5月13日や5月20日に日平均

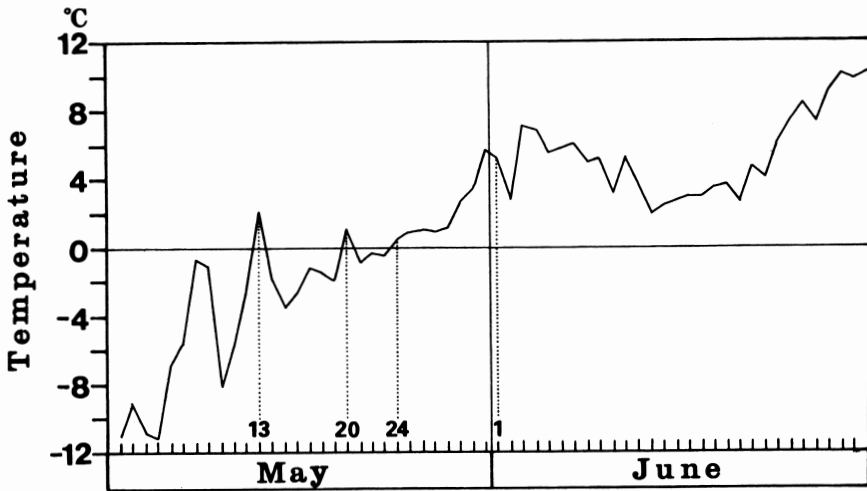


図6 白雲岳山頂部における1992年5月・6月の日平均気温の推移
5月1日は欠測日

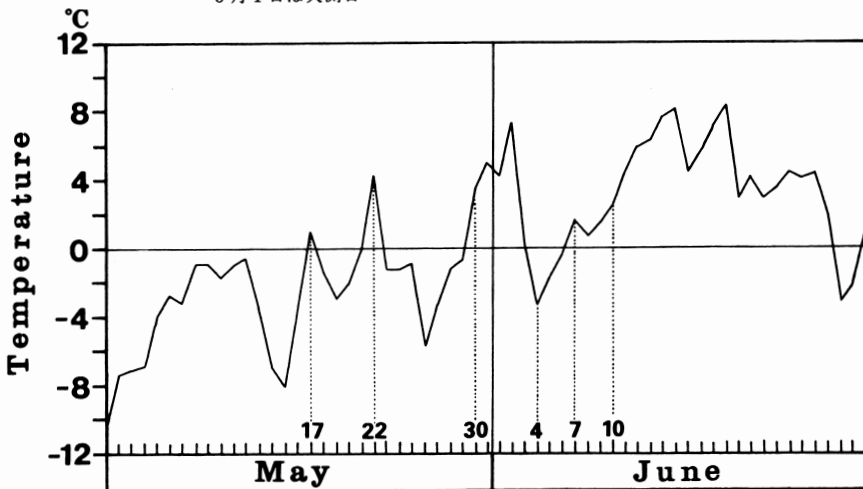


図7 高根ヶ原の気温および気温減率から推定した1993年5月・6月の白雲岳山頂部における気温推移

気温が0℃を上回るが、連続して0℃を上回り、しかも、上昇傾向を示すのは5月24日からである。そして、日平均気温が5℃を上回った後の6月1日に水位低下が始まる。6月2日に2.9℃まで下がるが、6月3日以降は5℃を越える日が連続する。1992年の場合、その後融解期間を通して日平均気温が0℃を下回ることはない。

図7は、上記の方法で推定した1993年5月1日～6月30日の白雲岳山頂部における日平均気温の推移を示したものである。5月17日と5月22日に一時的に日平均気温が0℃を上回るが、連続して0℃を上回るのは5月30日からである。しかし、6月4日になると0℃を下回り、低温傾向は6月6日まで続く。6月7日以降再び連続して日平均気温が0℃を上回るようになり、日平均気温2.6℃を記録した6月10日に水位低下が始まる。その後、気温は上昇傾向を示し、6月中旬には日平均気温8℃前後にまで達する。しかし、6月28日と6月29日にはマイナスの気温が記録されている。

水位低下時前後の気温変化パターンは、1992年と1993年とは異なり、水位低下日の日平均気温にも違いがみられる。ところで、日平均気温が最初に0℃を越えた日(1992年5月13日、1993年5月17日)から水位低下が始まる前日(1992年5月31日、1993年6月9日)までの融解指数は、1992年の場合が19.3day・℃、1993年の場合が29.2day・℃である。一方、凍結指数は、1992年の場合が14.3day・℃、1993年の場合が26.9day・℃である。このように、いずれの年においても、水位低下が始まる前日には融解指数が凍結指数を上回っているが、両年ともさらにその前日(水位低下が始まる2日前)までは凍結指数が融解指数を上回っていた。水位低下開始後は、ほとんど一方的に融解指数が加算されてゆく。

VI おわりに

融解期の白雲岳火口に出現する湖は、ほとんど融雪水によって涵養されるため、その出現時期は、その年の気温条件によって大きく左右される。また、その消滅時期に関しても上述してきたように、気温条件、とくに凍結・融解指数が大きく関わっていることは明らかである。そして、凍結・融解指数が凍土の存在と密接な関連を持つことから、

白雲岳火口湖の成立と消滅に関しては、気温条件に支配される凍土の存在と融解を考えざるを得ない。

大雪山の高山帯では、永久凍土をはじめとして多くの凍土現象が出現しているが、本研究の結果からもわかるように、白雲岳火口湖の出現もその一つであり、気候条件がその支配的要因となっている。

湖の出現により、白雲岳火口底の地形形成環境は大きく変化する。火口底には、アースハンモックをはじめとして何種類かの周氷河地形が分布するが、これの形成に関しても、湖の出現が影響を及ぼしていることは明らかである。今後、このような地形形成との関連から白雲岳火口湖の存在・消滅の意義を検討する必要がある。

本研究には1992年度・1993年度文部省科学研究費補助金(一般研究C、課題番号04680251)の一部を使用した。

参考文献

- 国府谷盛明・小林武彦・金 結祐・河内晋平(1968):5万分の1地質図および説明書「旭岳」,北海道開発庁。
曾根敏雄・高橋伸幸(1986):北海道大雪山北海平における凍結割れ目多角形土の冬期観測,地理学評論,59A,654~663。
曾根敏雄・高橋伸幸(1988):1985年通年観測地からみた大雪山の気候環境,東北地理,40,237~246。
高橋伸幸(1995):大雪山の高山帯における1992-1993年の気温・日射量観測資料,北海学園大学「学園論集」,84号,印刷中。
高橋伸幸・佐藤 謙(1994):高山風衝砂礫地にみられる冬季卓越風指標としての“しっぽ状”植生,季刊地理学,46,136~146。
藤井 亨(1994):北海道における1993年夏季の低温と冷害について,北海道地理,68号,21~28。