

白馬岳高山帯の山火事跡地における 地表環境のモニタリング

Geo-environmental Monitoring on Post-fire Alpine Slopes
of Mount Shirouma-dake, Northern Japanese Alps.

白馬岳の高山帯で発生した山火事の地表環境に及ぼす影響を考察するために、山火事発生以後、その跡地で地表環境を継続的にモニタリングしてきた。山火事はとくにハイマツ群落に多大な被害を与えた。ハイマツの枝葉が焼けることで、林床が露出し、地表は雨、風、雪などの影響を直接受けるようになっている。山火事後の3年間では山火事に起因する顕著な土砂流出は発生していない。しかし、今後、焼失ハイマツ群落で現在地表を保護しているリターが流出してしまうと、降雨による流水や融雪水の影響を地表が直接受けるようになること、斜面物質が凍結融解作用を受けやすくなること、あるいは積雪グライドによって枯死したハイマツの根拔けが生じること、などによって、新たな斜面侵食が開始される可能性がある。

佐々木 明彦 Akihiko Sasaki

信州大学・山岳科学総合研究所
日本山岳文化学会自然・環境保護分科会

荻谷 愛彦 Yoshihiko Kariya

専修大学

池田 敦 Atsushi Ikeda

筑波大学

鈴木 啓助 Keisuke Suzuki

信州大学・山岳科学総合研究所

1. はじめに

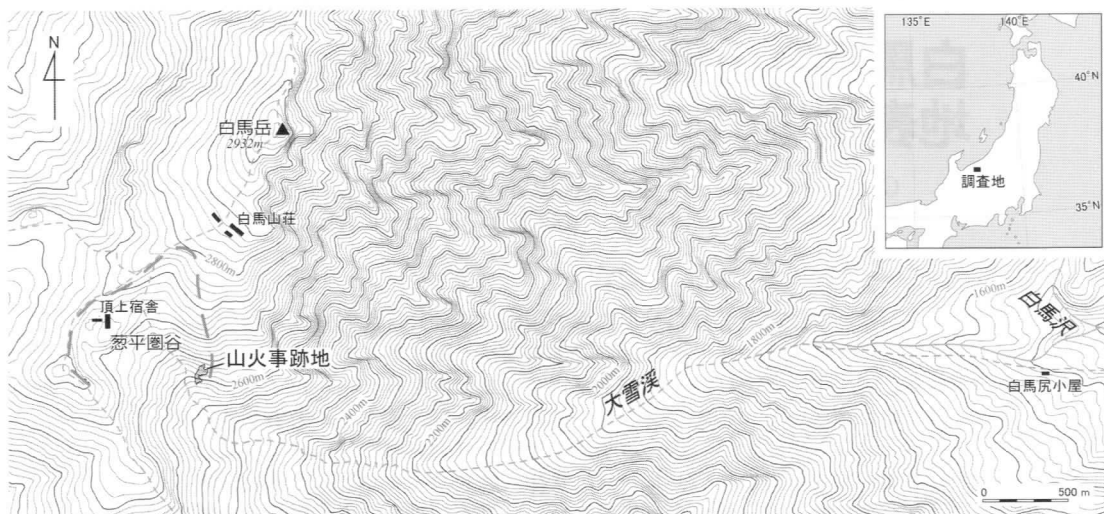
2009年5月9日午後1時過ぎに白馬岳の高山帯において山火事が発生した。長野県警察大町警察署調べでは、スキーヤーあるいはスノーボーダーによる火の不始末が原因と考えられているが、自然発火であるか人為による発火であるかにかかわらず、高山帯での火事はたいへん珍しく、火事によって生じる自然への様々な影響を記録することは重要な意義をもつ。筆者らは、山火事発生からの3年間に、山火事を契機とした地形変化が生じているか否かを確認するために、植生焼失域とその周辺の斜面で地形調査を実施してきた。本稿では、これまでに得られた地表環境のモニタリング結果を報告し、今後起こりうる地表環境の変化について考察する。

2. 山火事跡地の概況

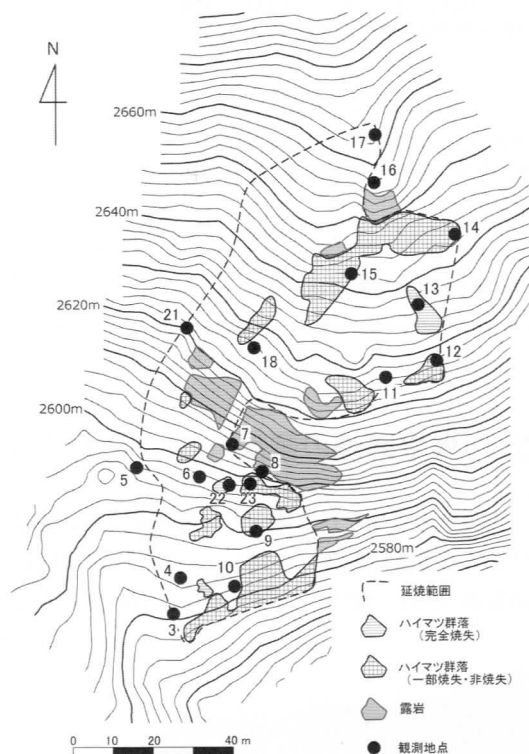
山火事の発生した斜面は、白馬大雪溪の谷頭部にみられる葱平園谷（小疇ほか、1974）の東縁にあたる（図1、図2）。この付近は、いわゆる「大



〔図1〕 山火事跡地



〔図2〕 山火事跡地の位置 基盤地図情報の数値標高モデルを用いて地形図を作製した



〔図3〕 山火事延焼域と観測地点
荻谷ほか (2009) をもとに作製

雪渓ルート」の登山道が直近を通り、豊富な高山植物がみられる「お花畑」として知られている。山火事は、ハイマツ群落や高茎草本群落を焼いて、2時間ほどで鎮火した。ハイマツは、葉のみならず樹枝までが焼けた部分も多く、樹枝が焼けたハイマツは直ちに枯死した。一方、葉のみが焼け落

ちたハイマツは、葉で作られる栄養が回らなくなり、いずれ全体が枯死することが考えられる。ただし、草本類は地上部は焼けたものの地下部が被害を免れたため、山火事の影響をほとんど受けなかった (高橋, 2009)。

山火事による延焼域の正確な範囲を明らかにするために、トータルステーションを用いた測量を実施した。その結果、延焼域は0.59haであることが明らかとなった (図3)。

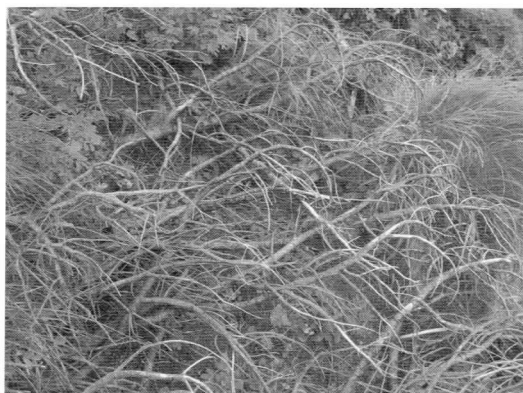
山火事延焼域の標高は2578~2664mであり、斜面方位は南~南南西向きである。山火事延焼域の傾斜分布は18~46°で、平均傾斜は32°である。また、山火事延焼域の大半は凸型斜面である (荻谷ほか, 2009)。

また、延焼域のなかで、ハイマツの葉が完全に焼失したハイマツ群落と、葉の一部のみ焼失および非焼失のハイマツ群落の範囲を明らかにした (図3)。

3. 調査方法

(1) 地形変化の観察

作製した地形図 (図3) をもとに、延焼域及びその周辺の斜面に立ち入り、目視観察を主たる方法として、地形変化や地表の状況を観察した。その際、延焼域に分布する微地形にとくに着目した。初めての観察は、2009年6月1日であり、以後はこの際に撮影された写真をもとにして、地形の変化の有無を定期的に観察した。



〔図4〕 消失ハイマツ群落 (地点 22)



〔図5〕 非消失ハイマツ群落 (地点 23)

(2) 地温観測

地温観測は、延焼域の下部斜面(図3)において、隣り合う焼失ハイマツ群落(地点22、図4)と非焼失ハイマツ群落(地点23、図5)のそれぞれで実施した。観測地点の標高は2598m、斜面方位は南向き、斜面傾斜は約35°である。

焼失ハイマツ群落および非焼失ハイマツ群落の各点において、地表面からの深さ1cm、10cm、40cmにデータロガー(TR-52S:ティアンドデイ社)に接続した温度センサーを埋設し、2009年10月19日より毎正時1時間おきに地温を記録した。

センサー埋設時には、土層構造の擾乱を最小限におさえるために、ドリルを用いて径1cmの縦穴を作成し、センサーを挿入した後に隙間を埋めてセンサーを固定した。

(3) 積雪グライド量の観測

葉が焼失したハイマツの枯死によって、ハイマ

ツの根が腐った場合に、積雪クリープ¹⁾および積雪グライド²⁾などによってハイマツの根が引き抜かれる可能性がある。そこで、積雪の挙動を把握するために積雪グライド計を自作し、斜面に設置した(図6)。

積雪グライド計は、木製板に幅8cm、長さ90cm、厚さ0.1cmの金属板を張り付け、底面に磁石を取り付けた木製の移動杭を金属板に載せたものである。積雪層がクリープおよびグライドを起こすと、その合成移動量を移動杭の移動量によって計測できる(大丸・大原、2004)。

積雪グライド計は、地温観測地点と同様の、焼失ハイマツ群落(地点22)と非焼失ハイマツ群落(地点23)に設置した。前述のように、これらの斜面は南向きで傾斜は約35°と条件が同じであるため、両群落における積雪の挙動の差を明らかにできる。



〔図6〕 積雪グライド計の設置状況 (地点 22)

4. 調査結果

(1) 地形変化の現況

延焼域は、前述の通り葱平圏谷の左岸に位置する。斜面の形状は縦・横断方向とも凸型を呈する(図3)。後述するように、延焼域分布する微地形やその形成プロセスを考慮すると、延焼域の斜面は周氷河性平滑斜面であると考えられる。同様の斜面は白馬岳の主稜線付近に広く分布する(高山地形研究グループ、1978)。

延焼域の周氷河性平滑斜面上には、以下に述べる高山帯特有の微地形が分布する。

①植被階状土: 一般に高山の風衝地にみられる

階段状の微地形である。平らな部分は植被を欠いて角礫がみられ、その前面の崖（ライザー）はイネ科草本や矮低木に被覆される（図7）。角礫の部分では年周期・日周期の凍結融解作用が働き、年間数cm以下の速度で物質が斜面下方に移動するが、その動きを崖の部分の植生が鈍化させるために、階段状の地形が形成される。

植被階状土のライザーの植生が焼失することで、物質移動が活発化し、ライザーが崩壊する可能性が考えられる。山火事直後の2009年6月1日には、ライザーに生育するハイマツが焼け、また草本類は冬季に枯れた地上部が焼けていた。同9月2日には、草本類は回復していた。その後、2010年と2011年の継続観察を行ってきたが、山火事を契機とした土砂の流出は認められていない。



〔図7〕 植被階状土（地点14）
破線部が平坦部と崖の境界

②ソリフラクション・ロウブ： 一般に高山の風衝地や残雪砂礫地にみられる、舌状の微地形である。ロウブのはほぼ全体が植被を欠いた角礫からなる（図8）。角礫はソリフラクションによって年間数cm以下の速度で移動する。

山火事によってソリフラクション・ロウブ周囲の植生が焼失することで裸地化が進み、周囲から斜面物質の流入が生じ、ロウブの拡大が助長される可能性がある。

山火事直後の2009年6月1日には、ロウブの周囲の草本類は焼けていたが、それらは冬季に枯れた地上部である。同9月2日には、草本類は回復していた。その後、2010年と2011年の継続観察を行ってきたが、山火事を契機としたロウブの拡大や土砂の流出は認められていない。



〔図8〕 ソリフラクション・ロウブ（地点17）
礫は矢印の方向に移動する



〔図9〕 ノッチ（地点3） 矢印の部分がえぐられ、その上の斜面物質が庇状に飛び出ている

③ノッチ： 一般に高山の風衝地にみられる庇状の微地形であり、階段状の微地形のライザーが風や流水の作用でえぐられ、植生の根が土壌や斜面物質を支えて、庇状になる。底を支える植生が焼失した場合、土壌や斜面物質が崩れて、裸地化が進行すると考えられる。

2009年6月1日には、ノッチの上面を覆う草本類の一部が焼けていた。しかし、同9月2日には草本類は回復し、ノッチの顕著な崩壊は生じていなかった。2010年および2011年の観察では、ノッチをつくる礫の抜け落ちが認められたが、これは通常の地形プロセスによるものと考えられる。山火事を契機とする土砂移動は現在までは生じていない。

（2）地温状況

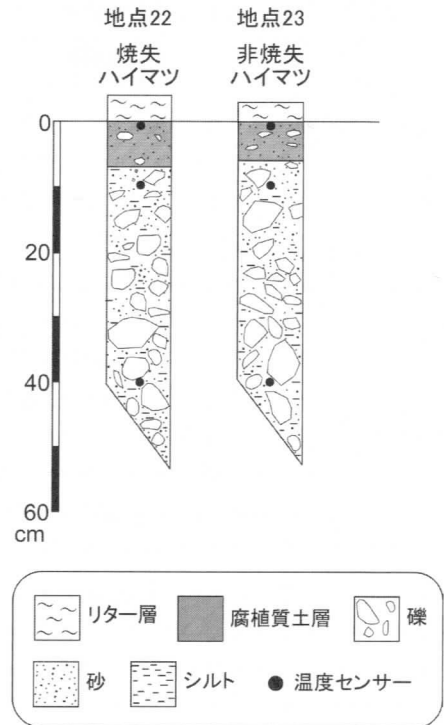
地温センサー埋設地点の土層構造を明らかにするために、それらの近傍において試孔を掘削し、

土層断面を記載した(図10)。

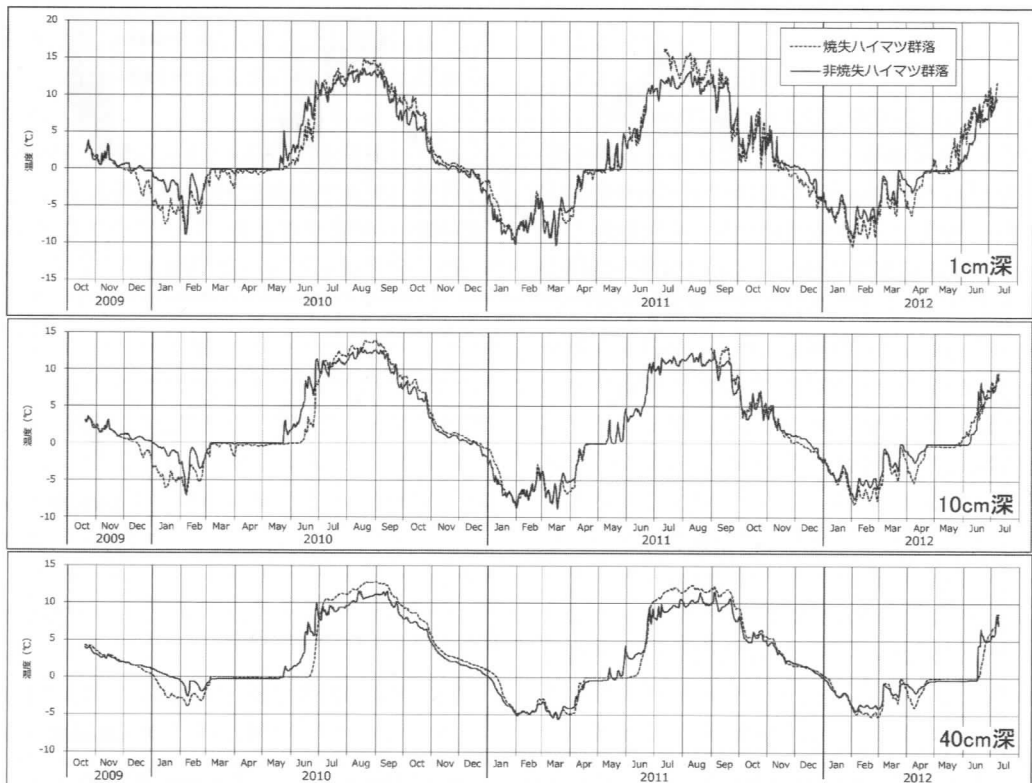
焼失ハイマツ群落では、地表から7cm深までが腐植質土層であり、それ以深は3cm以下の角礫を主体とする砂礫層となっている。また、非焼失ハイマツ群落では、地表から6cm深までが腐植質土層であり、それ以深は3cm以下の角礫を主体とする砂礫層となっている。また、地表には、厚さ3~4cmのハイマツのリター層³⁾がみられる。以上のように、両群落における表層部の土層および斜面構成物はほぼ一致する。

地温データは、2009年10月20日から2012年7月10日まで得られているが、ハイマツ焼失域における1cm深の2011年6月25日~7月12日と同10cm深の2011年4月20日~8月30日は欠測となっている。ハイマツが焼失した群落と焼失しなかった群落とでは、以下に述べるような違いが地温状況に認められる。

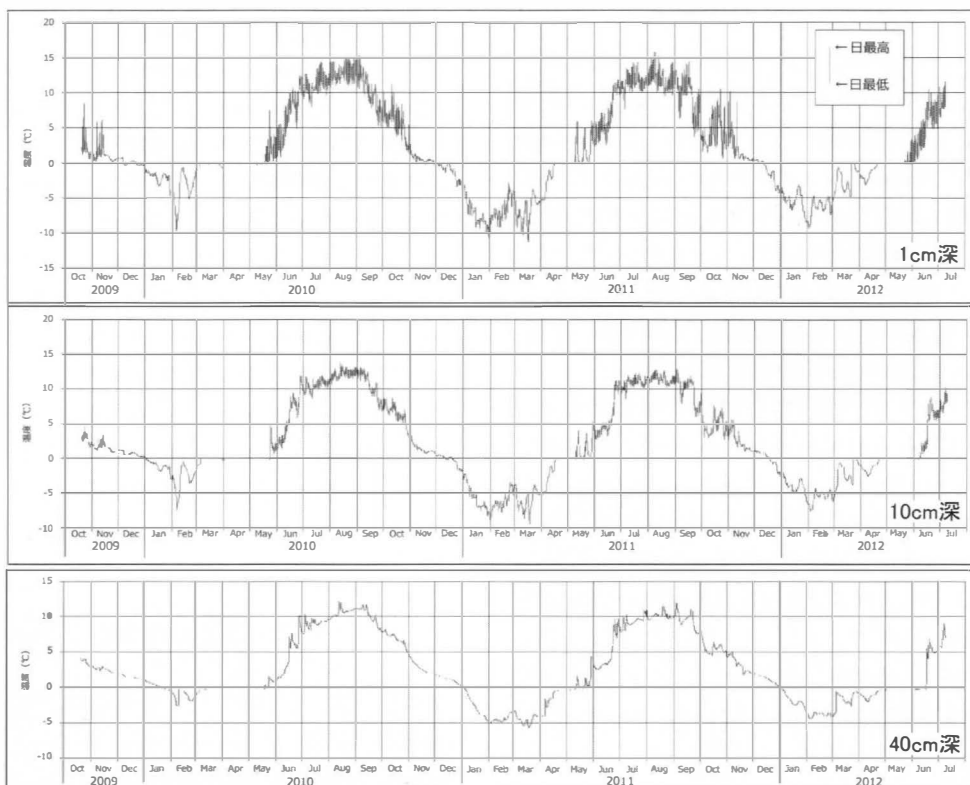
焼失ハイマツ群落と非焼失ハイマツ群落における日平均地温(図11)の比較から、山火事が地温状況に明らかに影響を与えていることがわかる。夏季には非焼失ハイマツ群落に比べ焼失ハイ



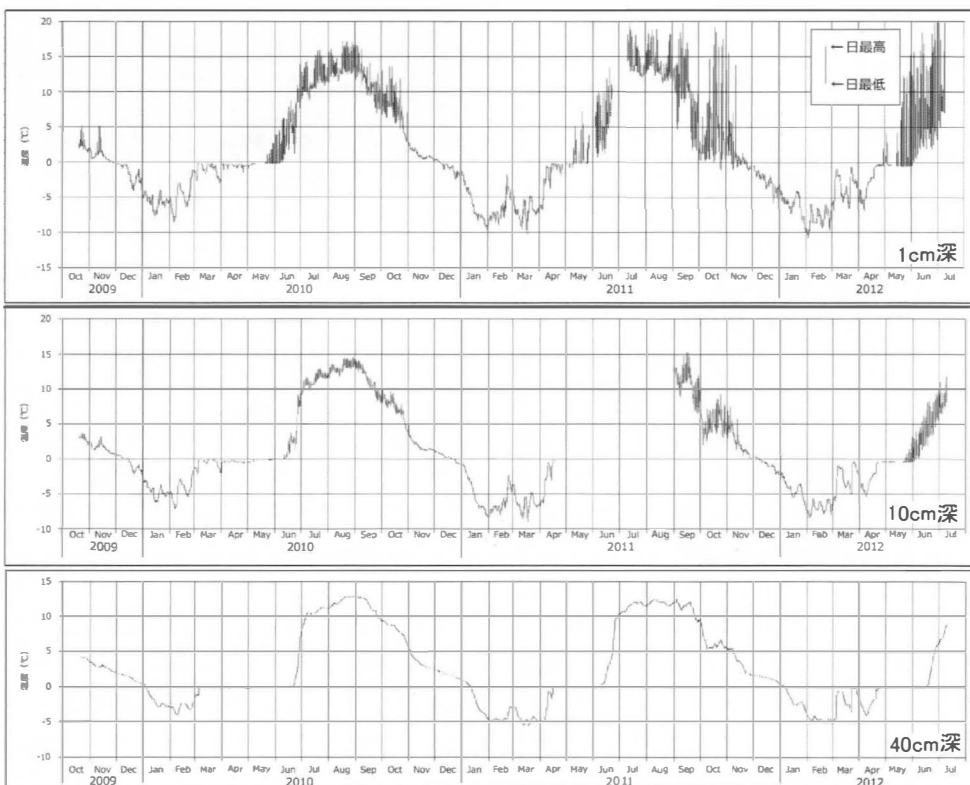
[図10] 地温観測地点の土層断面



[図11] 焼失ハイマツ群落および非焼失ハイマツ群落における日平均地温の状況



[図12] 非焼失ハイマツ群落における地温状況



[図13] 焼失ハイマツ群落における地温状況

マツ群落における地温が高くなる。これは、2010年、2011年とも同様で、2012年も同じ傾向にある。夏季における地温の昇温は、1cm深で最も顕著であり、10cm深と40cm深でも同様に認められる。両群落の日最高地温と日最低地温を示した図12および図13によれば、ハイマツ焼失群落における1cm深の夏季の地温の日較差はとくに大きくなっている。

11月後半から12月上旬にかけて地表面温度が0℃以下になる。2009年や2011年の初冬は、焼失ハイマツ群落の1cm深地温が非焼失ハイマツ群落の1cm深地温より1週間早く0℃以下になったが、2010年の初冬は逆になった(図11)。

2009年や2010年では、11～12月の凍結移行期に1cm深での日周期の凍結融解は生じていない(図12、図13)。しかしながら、2011年の12月には、非焼失ハイマツ群落の1cm深で日周期の凍結融解は生じないものの、焼失ハイマツ群落の1cm深では13回の日周期の凍結融解が生じた。

焼失ハイマツ群落における40cm深の地温が0℃以下になる期間は、非焼失ハイマツ群落でのそれに比べて2009-2010年の冬季は約40日間、2010-2011年の冬季は約20日間、それぞれ長い。しかし、2011-2012年の冬季は両者に差は認められない。

融解移行期である4～6月に、非焼失ハイマツ群落の地温は基本的に0℃で推移するが、焼失ハイマツ群落における1cm深あるいは10cm深の地温は、0℃以下で変動する。

(3) 積雪グライド量

2011年10月12日に設置した積雪グライド計は、2012年7月10日の改測時に、非焼失ハイマツ群落で0.9cm、焼失ハイマツ群落で3.8cmの移動を、それぞれ記録した。これが積雪期間の積雪グライドの総量である。

4. 考察

山火事跡地での微地形の目視観察の結果、顕著な地形変化はこれまでは生じていないと考えられる。しかしながら、焼失したハイマツ群落では、林床を覆うリター(図10)が降雨や融雪にと

もなって発生する地表流によって、今後流出する可能性が考えられる。ハイマツ焼失域においてハイマツが枯死した場合、リターの供給の停止→リターの流出→土層の侵食→斜面構成物の侵食という過程を進む可能性がある。

積雪グライドによる地表への影響評価は、2011-2012年の積雪期間の観測結果だけにとどまるが、積雪グライドが微弱ながら発生していることが明らかとなった。そのグライド量は他の多雪山地での観測値(たとえば、大丸・大原、2004)に比べて明らかに小さいが、積雪層にくわえ込まれた枯死したハイマツの幹を引き抜くことは十分に起こりうると考えられる。積雪グライド量は斜面の位置によって異なることが明らかとなっている(大丸・大原、2004)ので、たとえば地点12や地点13など、斜面上部に新たな積雪グライド計を設置し、積雪グライドと枯死したハイマツの動態をモニタリングする必要がある。

一方、地温状況にはハイマツの焼失の影響が明らかに現れている。夏季における地温の昇温ならびに日較差の増大は、ハイマツ群落の林冠が焼失し、日射が地表に直接到達するために生じていると考えられる。

また、1月から6月はじめまでの期間に、少なくとも40cm深までの土層と斜面構成物は凍結状態にある。焼失したハイマツ群落の40cm深における2009-2010年および2010-2011年の凍結期間は、非焼失のハイマツ群落のそれに比べ、明らかに延長されている。これは凍結移行期に焼失ハイマツ群落では地表が寒気に直接接するためであると考えられる。一方、融解移行期には、非焼失ハイマツ群落では凍土と融解水とが共存するゼロカーテン状態にあるが、焼失ハイマツ群落では、1cm深あるいは10cm深の地温が、気温変化の影響を受けて変動していると考えられる。これも群落の林冠が焼失した影響であると考えられる。

ところで、非焼失ハイマツ群落と焼失ハイマツ群落のいずれでも、2009-2011年には日周期の凍結融解作用は生じていない。一般に高山帯などの無植被砂礫斜面の地表では、秋季から冬季にかけて数10回の凍結融解の交代が認められる(たとえば松岡、1991)。ハイマツが焼失したとはいえ、本調査地において地表での日周期の凍結融解

が生じていないのはリターによる断熱効果が大きく影響していると考えられる。ハイマツのリターの断熱効果は、大雪山や北アルプス常念岳のハイマツ群落においても確認されている（高橋・佐藤、1996；高橋・長谷川、2001）。すなわち、リターの存在は冬季の降温期間には地温低下の抑制に、春季以降の昇温期間には地温上昇の抑制にそれぞれ影響を与える。したがって、焼失したハイマツ群落に現在残っているリターが今後流出した場合、そこでは秋季から冬季に日周期の凍結融解作用が生じ、また凍結深度も現在より深くなると考えられる。そうなった場合、土砂移動のポテンシャルは現在の数倍以上に高まると考えられる。2011-2012年の凍結移行期に13回の凍結融解が生じたのは、リターが失われつつあり、リターによる断熱効果が減じているためかもしれない。

5. まとめ

白馬岳高山帯で発生した山火事が地表環境にどのような影響を及ぼしているかを調査した結果、山火事後の3年間では大きな地形変化は生じていないことが明らかとなった。ただし、葉が焼失したハイマツ群落では、林冠が無くなったことに加え、地表を保護しているリターの供給も無くなった。この結果、流水によってリターの流出が顕著になった場合、土層および斜面構成物の侵食という段階に至る可能性がある。また、断熱材として地温変化を抑制しているリターが無くなってしまうために、焼失ハイマツ群落では凍結融解作用にともなう新たな土砂移動が発生する可能性がある。さらに、積雪グライドの発生によるハイマツの抜根、及びその後の裸地化や土壌侵食の発生が考えられる。凍結融解や、地表流による侵食、雨滴侵食に対して地表面がさらに脆弱になると考えられる。

〔受付 2012. 8. 4〕

〔査読後受理 2012. 8. 9〕

謝 辞

本研究を進めるにあたり、下平敦所長（当時）、有井寿美男流域管理調整官（当時）、尾近茂白馬森林官（当時）をはじめとする中信森林管理署の皆様にお世話になりました。心より感謝申し上げます。

本稿のとりまとめには日本学術振興会学術研究助成基金助成金（課題番号：24501288）の一部を使用しました。

〔注〕

- 1) 積雪クリープは、重力による積雪層の内部変形によって積雪が斜面下方に撓む現象である。積雪層中に取り込まれている植物は、積雪クリープの発生により斜面下方に引っ張られる。
- 2) 積雪グライドは、ザラメ化して硬化した積雪層底面が地表面を滑ることによって生じる積雪層の重力移動である。積雪クリープと同様に、積雪層中に取り込まれている植物は、積雪グライドの発生により斜面下方に引っ張られる。
- 3) 地表面に堆積する未分解の落葉・落枝の層を指す。

〔参考文献〕

- 荻谷愛彦・原山 智・池田 敦・鈴木啓助（2009）：白馬岳山火事による地形および地質への影響、白馬高山植物等保護管理調査事業報告書、林野庁中部森林局中信森林管理署・信州大学山岳科学総合研究所、37-54
- 小嶋 尚・杉原重夫・清水文健・宇都宮陽二郎・岩田修二・岡沢修一（1974）：白馬岳の地形学的研究、駿台史学、35、1-86
- 高山地形高山地形研究グループ（1978）：「白馬岳高山帯の地形と植生」、164p
- 大丸裕武・大原偉樹（2004）：八幡平におけるパッチ状雪食地の形成過程、地形、25、341-358
- 高橋耕一（2009）：白馬岳の山火事跡地における植生回復、白馬高山植物等保護管理調査事業報告書、林野庁中部森林局中信森林管理署・信州大学山岳科学総合研究所、7-35
- 高橋伸幸・佐藤 健（1996）：大雪山のハイマツ群落内における夏季の地温環境、地理学評論、69、693-705
- 高橋伸幸・長谷川裕彦（2001）：北アルプス南部、常念乗越における気温・地温状況、北海学園大学学術論集、109、141-166
- 松岡憲知（1991）：赤石山脈の高山環境における地温の通年観測、地形、12、41-49