

奥秩父亜高山帯の樹木立枯れ実態と環境要因

- 樹木立枯れの原因は酸性雨か -

自然環境担当 小川和雄

1 はじめに

1970年代後半に、酸性雨によって欧米の湖沼が酸性化したり、森林衰退が広がっていると報道されて以来、日本では山岳部での樹木立ち枯れ現象が数多く報告されてきた。

この間、欧米では多くの研究が行われ、樹木衰退の原因は複雑であり、証明が難しいものの、旧東欧地域では主として二酸化硫黄(SO₂)の関与が、その他の地域ではオゾン(O₃)の影響の可能性や、樹種によっては気象要因や窒素降下物等の土壌蓄積の影響も懸念されること等が報告されている。一方、日本では、山岳部の樹木衰退に関する研究そのものが極めて少ないため、未だ明らかになっていないにもかかわらず、「酸性雨や酸性霧が観測された」という報告のみをもって「酸性雨が原因」との考えが広く浸透している。さらに、小中学校の環境副読本には、必ずといってよいほど「酸性雨で枯れる森」の記述や写真が掲載されている現状にある。

亜高山帯にみられる針葉樹の縞枯れ現象については1950年代から既に生態学の立場から研究され、いくつかの仮説も立てられたが、酸性雨や大気汚染などの環境測定は殆ど行われていなかった。近年、酸性雨の生態系への影響が懸念され始めたことから、改めて山岳部の樹木立ち枯れ現象が注目されるようになったが、現在まで、現場での環境条件を含めた調査は、数える程しか行われていない。

多面的な環境保全機能を発揮して国民生活を支えてきた森林・樹木の衰退が、仮に人為的な原因で進行しているとすれば、将来に禍根を残す大問題であり、その原因は早急に解明される必要がある。また、根拠のないまま、子供達の副読本に「森林衰退は酸性雨の影響」と記載されていることへの危惧から、筆者らは1997年以降、本格的にはセンターが開設された2000年以降、奥秩父亜高山帯にみられるシラビソ等の立ち枯れ現象を研究課題とした。その目標は、立枯れ実態を把握すること、環境条件を調査すること、そして、その原因を絞り込むことに置き、これまで定期的に現地調査を行ってきた。以下に結果の概要を示す。

2 調査の概要

奥秩父亜高山帯における樹木の立ち枯れ実態を把握し、立枯れ要因を絞り込むため、現地登攀して立ち枯れ分布調査と環境調査を行った。調査対象地域は秩父多摩甲斐国立公園内で、甲武信岳(h=2475m)から埼玉県最高峰である三宝山(h = 2483m)を経て十文字峠付近、及び雁坂峠(2188m)から破風山(2318m)間を対象にした。同地域は亜高山帯で、シラビソを中心とした針葉樹林が優先している。なお、甲武信岳の埼玉側は荒川の源流、長野側は千曲川の源流域として知られている。

2.1 立ち枯れ実態調査

1999年5月以降、冬季を除き毎月現地登攀し、立ち枯れ域を地図上に記録した。雁坂峠(標高2188m)から破風山(2318m)間の調査ではGPS(カシオ2241J)を用いて立ち枯れ域の位置(緯度経度、標高)を確認し、尾根筋沿いの広がり巻き尺で計測するとともに、立ち枯れ木の胸高直径や樹高調査、倒木の年輪調査などを実施した。また、1966年以降、概ね5年置きに埼玉県で撮影されている航空写真(7千分の1~2万分の1撮影)を4~5倍に拡大し、立ち枯れ域確認と、その変化の判読を試みた。

2.2 環境条件調査

土壌pH調査:立ち枯れ域、健全域を考慮して、各地点3か所ずつA₀層下の土壌を採取し、常法にしたがってpHを測定した。

降水成分調査:1997年6月から甲武信小屋で、1999年6月からは雁坂小屋で柴田製降水採取装置による全降水の採取を開始し、2002年10月まで、冬季を除き概ね1ヶ月間ずつ全降水を採取した。降水は全量計量後、100ccを持ち帰り、pH、ECを計測後、イオン成分をイオンクロマトグラフィーにより定量した。

オゾン濃度調査:2001年6月から2002年9月にかけて雁坂小屋敷地内で、日中晴れそうな日に紫外線吸収

式モデル1150で、オゾン濃度を連続計測し、10分間隔でデータロガーに記録した。

気象調査：2000年11月以降、2002年11月現在まで雁坂小屋管理地内の百葉箱で、気温、湿度、地温および日射量を1時間値で計測(T&D社製おんどり)しているほか、雁坂峠の北側斜面1か所、雁坂嶺への南側斜面2か所(立ち枯れ域と健全域)で林内の気温、湿度、地温を連続計測した。

2.3 シラビソの栽培試験

長野産のシラビソ苗を5000分の1アールポット(黒土2:赤玉土1)に植え付け、2機の人工気象室及び3連のオープントップチャンバー(OTC)内で栽培した。人工気象室2機の湿度は平均75%と63%とし、灌水量は年間1500mm相当量とした。OTCは浄化空気と外気、及び外気追従2倍オゾン濃度の3区分で、灌水量は同様に1500mm相当量とし、いずれも伸長成長を計測した。

3 調査結果

3.1 立ち枯れ実態

三宝山(2483m)の南側山腹には斜面にそって水平方向に3~4層の曲線状の典型的な縞枯れが形成されており(写真1)、その他地域の立ち枯れ域とは明らかに規模、形状が異なった。縞枯れは白骨化したシラビソの立ち枯れ木が縞状に分布しているためであるが、同地域内にシラビソの稚樹が高密度に再生していた。一部にはダケカンバの侵入も見られた。甲武信岳・三宝山などの北側斜面でも枯損木は数多く点在したが、まとまった立ち枯れ域はなく、倒木更新などが明瞭にみとめられた。

甲武信岳から木賊山方面の立ち枯れ域は、主として尾根筋直下の南側斜面に、所々概ね数百m²程度以上のまとまりとして分布していた。これらの立ち枯れ域の倒木の大半は強風のためか一斉に尾根側方向に倒れており(写真2)、露出した根の垂直方向の深さは10~20cm程度と極めて浅かった。

雁坂峠から東破風山にかけて尾根筋に沿って南東から南西斜面に様々な規模のシラビソ立ち枯れ域が点在していたが、その多くには稚樹が密生していた。立ち枯れ域は主として尾根~尾根直下付近に分布し凹部の風衝地とみられるところが多かった。その中でも、特に谷地形の上部が中心になっており、経験的には日中、谷風の強いところと推定された(写真3)。

雁坂嶺から東破風山まで、約2.1kmの間に、尾根筋登山道から樹木に遮られないで観察できた立ち枯れ地点は22か所にのぼった。立ち枯れ域の登山道に沿った巾は平均25mであり、少なくとも、区間の4分の1が立ち枯れていた。また、航空写真(写真7)からは尾根直下に長い立ち枯れ域が概ね1列に断続的に連なっていることが判読され、これを縞枯れと呼ぶとすれば、かなり特殊な状態といえよう。また、雁坂嶺を西に下って東破風山の中腹に登り、振り返って雁坂嶺を観察すると(写真4)、尾根に直角に南北方向に幾重にも立ち枯れ域が奥行きをもって分布しており、見方によっては縞枯れ状態とみることもできる。

立ち枯れ域は、場所によって、規模も、下草の状態も、立ち枯れ木の胸高直径もかなり異なった。大半の立ち枯れ域にはシラビソの稚樹が密生しているが(写真5,6)、その稚樹も尾根を下るにしたがい生長して徐々に成木に近づく傾向がみられた。立ち枯れ木の胸高直径は3.7cmから15.4cmまでで平均8.4cmであった。その中の5地点について倒木円盤の年輪を計数してみると、その範囲は33年から80年、平均55年とばらつきが大きく、少なくともシラビソ固有の寿命で枯れたのではないことは推察された(図1)。

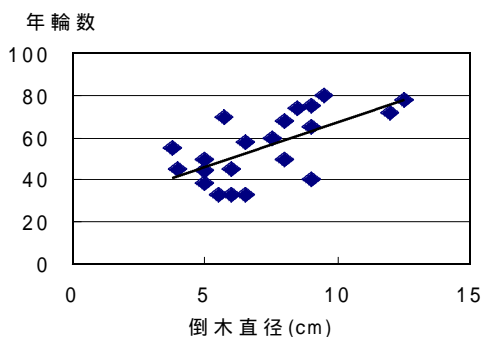


図1 雁坂における立ち枯れ域倒木の胸高直径と年輪数

立ち枯れ域にはシラビソの稚樹が密生しているが(写真5,6)、その稚樹も尾根を下るにしたがい生長して徐々に成木に近づく傾向がみられた。立ち枯れ木の胸高直径は3.7cmから15.4cmまでで平均8.4cmであった。その中の5地点について倒木円盤の年輪を計数してみると、その範囲は33年から80年、平均55年とばらつきが大きく、少なくともシラビソ固有の寿命で枯れたのではないことは推察された(図1)。

3.2 空中写真からみた立ち枯れ域の変化

1) 甲武信岳周辺

立ち枯れ時期を把握するため、埼玉県が昭和41年以降、概ね5年に1回、秋期に県全域を撮影している航空写真のうち、甲武信岳付近を2500分の1~4000分の1に拡大プリントし、目印となる甲武信小屋と三宝山間の距離で縮尺を確定し、甲武

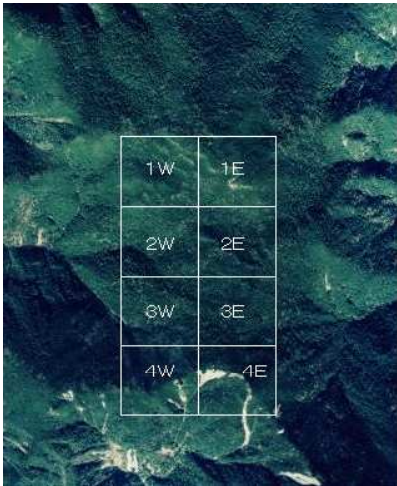


図2 甲武信岳～三宝山の衰退域判読座標 (1990年航空写真)

信小屋を南東の起点として北方1416mを4分割、西方818mを2分割、計8メッシュに分割し(図2)、その中の植生面積に占める衰退樹木面積の割合(%)とその明瞭度をABCで判読した。Aはきわめて明瞭、Bは容易に判読できる、Cはかろうじて判読できる程度とした。表1に示したとおり、航空写真上では1966年は広範な面積が衰退していたが、1995年には著しく回復していた。ただし、航空写真上では立ち枯れはあっても、稚樹が育ってくるとカラー写真は緑色となって、回復と評価されることになる。実際には依然として、多くの場所で立ち枯れ木そのものは残っている。衰退域の回復について、たとえば昭和50年には、縞枯れが三宝山の南斜面に3層から4層、それに甲武信岳と三宝山の間あたりにも、その痕跡がみられたが、1995年の同じ場所の写真では、縞枯れがかなり薄くなっており、中間の縞はほとんど消滅していた。また、1966年の航空写真では甲武信岳北側斜面から三宝山南側斜面にかけて広範囲に台風によるものといわれる倒木がみられが、1995年の写真ではほとんど再生していた。

表1 航空写真による樹木衰退域の判読結果 (甲武信岳から三宝山周辺, %)

| | 1966 | | 1975 | | 1985 | | 1995 | |
|---|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 1 | 70A | 50A | 60A | 50A | 40B | 30B | 30B | 20B |
| 2 | 10C | 40C | 5C | 30C | 0 | 10C | 0 | 5C |
| 3 | 30C | 20C | 20C | 10C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 30A | 30B | 30B | 20B | 5C | 10C | 0 | 5C |
| | W | E | W | E | W | E | W | E |

2) 雁坂嶺周辺

雁坂嶺付近の立ち枯れの変化を把握するために、昭和50年(モノクロ)と平成7年(カラー)の航空写真を比較した(写真7)。平成7年の写真では、少なくともともS50年にあった立ち枯れ域の一部が消えていることがわかる。また、S50年は、見ようによっては何列かの縞枯れにも見えるが、H7年では縞というより、尾根直下が一行、とぎれながら立ち枯れている、という状態で、全体として立ち枯れ域が尾根に

近づいているように見える。もっとも、前述のように、立ち枯れ域が消えたといっても、写真上、稚樹が育ち、緑に見えること、立ち枯れ木が倒れ、稚樹に覆われて見えなくなったことの双方に起因しているものと考えられる。土砂崩壊地域は平成7年のほうが拡大している。

3.3 土壌のpH

土壌は健全林、衰退林を考慮しながら、できるだけリター(A₀層)の下の土壌を各3カ所ずつ採取し、持ち帰って、pHを計測した。土壌は亜高山帯特有の強酸性ポドゾル土壌で、浅い母岩の上にシラビソ等の落葉落枝が未分解のリター層を厚く形成しており、土壌の採取が困難なほどであった。甲武信岳周辺13地点では、土壌のpHは立ち枯れ域内外で差はなく、4.16～5.54の酸性であった。雁坂の土壌も立ち枯れ域内外9地点の土壌pHは3.7から4.7と強い酸性を示し、立ち枯れ域内のpHに差は無かった。

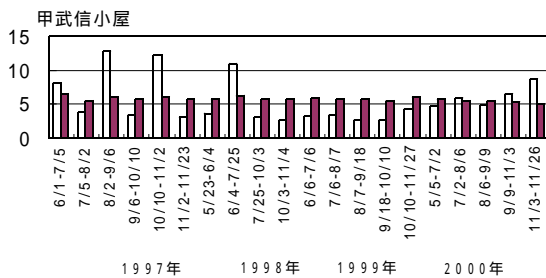
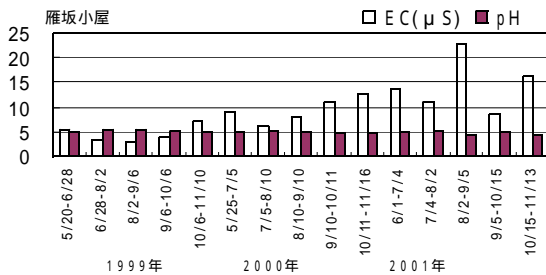


図3 甲武信、雁坂小屋降水のpH、EC推移

3.4 降水の性状

降水の分析結果を図3に示す。甲武信岳で1997年から2000年にかけて4年間、月別に採取した全降水は極めて清浄であり、pHは5.32～6.55、ECは2.7～12.7 μS/cm(浦和は20～30 μS/cm)であった。溶解イオン成分濃度も極めて低く、地上部で酸性化の原因となっているSO₄²⁻濃度(図4)は0.11～1.65(年平均で0.29～0.61、但し2000年度は0.89) μg/ml、NO₃⁻濃度は0.15～1.06(年平均0.25～0.43、但し2000年度は1.20) μg/mlで、概ね平地部浦和の数分の1～10分の1程度

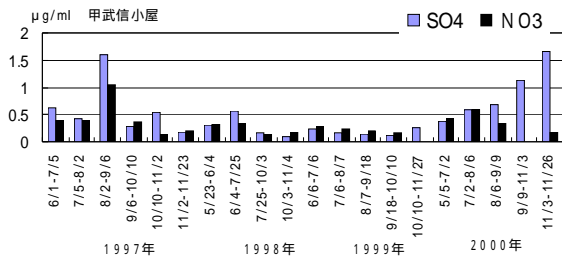
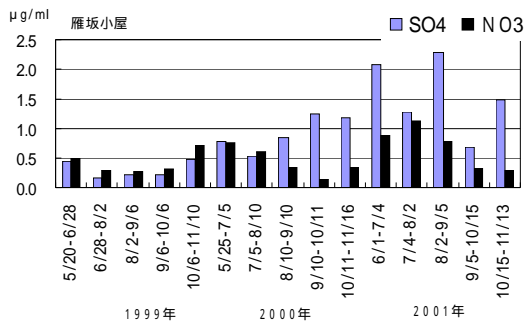


図4 甲武信、雁坂小屋降水のSO₄²⁻、NO₃⁻濃度

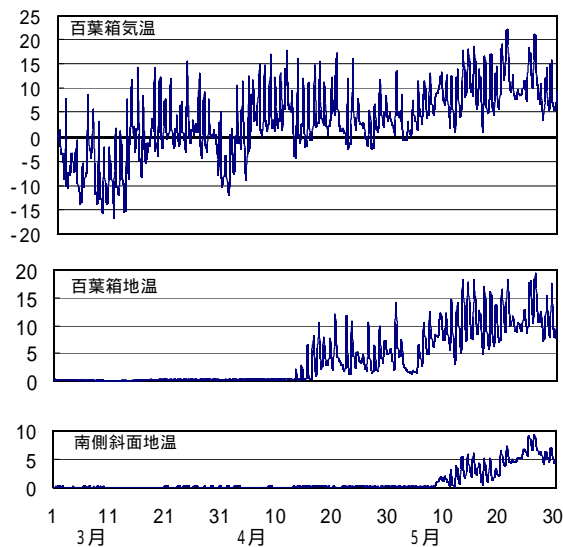


図5 雁坂小屋及び雁坂嶺南側斜面における春先の気温、地温の変化(2001年)

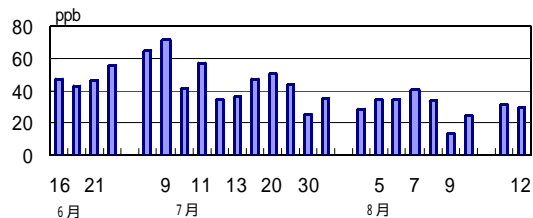


図6 雁坂のオゾン濃度日中12時間平均値推移

人工気象室2機でのシラビソへの灌水量を年間1500mm相当量とし、湿度を平均75%と63%と変化させて試験した結果、伸長初期の湿度が高いと伸長生長が盛んになったが、6月下旬以降は湿度に関係なく伸長生長がほとんど停止し、差はみられなかった。浄化空気と外気、及び外気追従で2倍オゾン濃度を10月中旬まで暴露したが、調査期間中ではオゾン濃度による伸長生長の差はみられなかった。

であった。雁坂小屋で1999年5月以降、概ね1か月ごとに3年間にわたり全量採取した降水も極めて清浄であり、2000年の夏以降に三宅島噴煙の影響を受けるまではpHは4.94から5.20の範囲で推移した。ECは3.10 μ S/cmから12.6 μ S/cmで推移し、10 μ S/cmを超過することは少なかった。硫酸、硝酸イオン濃度もそれぞれ0.17から1.24 μ g/ml、0.14から0.74 μ g/mlで、同期間における市街地浦和の3分の1～5分の1以下であった。その他各種のイオン成分濃度も平地の測定結果と比べて著しく低かった。1都11県で毎年実施している全降水調査地点の山岳部(八方や市ノ瀬、奥多摩、堂平)と比較しても著しく低かった。

甲武信岳周辺、雁坂嶺周辺のいずれの地域についても、少なくともこのような清浄な降水で、強酸性ポドゾル土壌や、そこに優占種として生育している樹木に悪影響を与えているとは考えにくい。

3.5 気象条件

樹木に覆われていない雁坂小屋管理地内百葉箱での気象観測の結果によれば、2001年3月始め迄、気温は氷点下、地温は積雪により0 で推移していた(図5)。気温は3月中旬には急上昇して日最高気温が10 ～15 を記録するようになったが、地温は依然として0 が続き、4月中旬ようやく0 を上回った。雁坂嶺南側斜面の健全な森林内部の地温上昇は5月上旬であり、気温と地温の上昇時期には1ヶ月半の乖離がみられた。同時期5月、日中の湿度は北側斜面に比べて南側斜面の方が低かった。

3.6 オゾン濃度

雁坂小屋敷地内でオゾン濃度を2002年6月から9月にかけて概ね午前7時から午後6時まで24日間計測した。図6に日中12時間値に集計して結果を示す。7月を中心に、日中、概ね雨が降らなかった時間の測定結果であるが、日中のオゾン濃度レベルは6月下旬から7月上旬が高く、以降、徐々に低下傾向を示した。この間、日平均値の最高値は7月の71.2ppbであった。1時間値の最高値は7月の92.2ppb、最低値は9月の11ppbであった。なお、調査期間中、10分間値での最高濃度は115ppbであった。

6月から9月の時刻変動の月平均値(図7)では、計測日数の少ない9月を除き、全般的に濃度レベルが高く、概ね15時前後に高濃度となる傾向がみられた。

3.7 シラビソ栽培試験結果

人工気象室2機でのシラビソへの灌水量を年間1500mm相当量とし、湿度を平均75%と63%と変化させて試験した結果、伸長初期の湿度が高いと伸長生長が盛んになったが、6月下旬以降は湿度に関係なく伸長生長がほとんど停止し、差はみられなかった。浄化空気と外気、及び外気追従で2倍オゾン濃度を10月中旬まで暴露したが、調査期間中ではオゾン濃度による伸長生長の差はみられなかった。

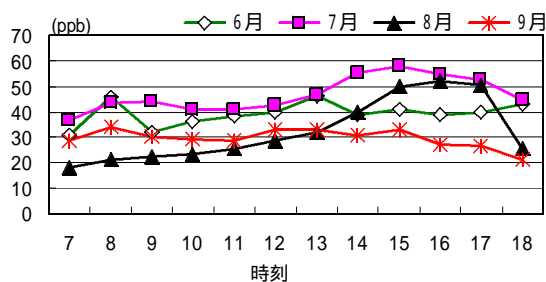


図7 雁坂のオゾン濃度月平均時刻変動(測定日数:6月は4日間、7月は11日間、8月は7日間、9月は2日間)

4 調査結果のまとめ

奥秩父亜高山帯の樹木立ち枯れ実態と環境要因について調査を行った。

雁坂から破風山、甲武信岳周辺の南側斜面尾根筋直下の風衝地、風隙部と思われるところにシラビソの立ち枯れ域が断続的に分布していた。その形状は三宝山の典型的な縞枯れとは異なった。また、立ち枯れ域の多くには稚樹が密生していた。同地域はいずれも表土が薄く、根が極めて浅かった。

同一群落でも立ち枯れ木の年輪数は30年から80年程

度であり、樹齡が原因でないことは明らかであった。

航空写真上、立ち枯れ域は過去30年間、稚樹の伸長によって幾分減少傾向に見え、且つ、尾根筋方向に近づく傾向がみられた。このことは、稚樹の樹高が尾根から下るほど大きくなることから確認された。

降水は極めて清浄であり、S、N等イオン成分も極めて低濃度であり、且つ立ち枯れ域の分布を考えると、雨のシラビソへの直接的影響は極めて考えにくい。さらに奥秩父亜高山帯の土壤はもともと強酸性ポドゾル土壤であることから土壤酸性化による間接的影響も考えにくい。

雁坂付近のオゾン濃度は平均値としては平野部よりも高いが、時間値のピークレベルでは平野部を下回る傾向と推定された。したがって、シラビソがオゾンに弱い樹種であれば、樹勢に影響している可能性はあるが、雁坂付近の実際の立ち枯れ分布が非連続的であり、少なくとも主要因にはなり得ないものと考えられる。

春先の地温と気温の上昇時期の乖離の大きさが目立った。南側斜面では気温の上昇が北側に比べて早く、日最高気温が15 を超えても林内は5月中旬まで積雪が消えず吸水が妨げられている可能性が考えられた。

以上の結果、亜高山帯のシラビソ立ち枯れには、少なくとも酸性雨が影響しているとは考えられなかった。また、オゾンも濃度レベルや立ち枯れ分布からは主要因とは考えにくい、何らかの生長影響を及ぼしている可能性について現段階では消去できず、さらに検討が必要である。立枯れ要因として最も有力と考えられるのは地形・地質条件と局地的な変化の大きい風等の気象要因であろう。今後、継続的なモニタリングが必要である。

参考 < 乾燥ストレスを示唆する条件について >

以下に、可能性の高い乾燥ストレスの影響を示唆する条件について整理した。

奥秩父尾根筋南側斜面の母岩は花崗岩であり、尾根直下は表土が薄く保水力がないこと、根も極めて浅いこと等から、乾燥ストレスを受けやすい厳しい環境条件にある。

山岳部では積雪等により、春先は地温と気温の乖離が生じ、地上部は活性化するが、土壤は凍結して根は不活性の状態である。加えて、南側斜面では葉への直射日光が気温とともに葉を活性化させるが、吸水ができないため乾燥ストレスを増大させている可能性がある。

特に、尾根南側直下で谷筋上部の風衝地では、強い日射で活性の高まった葉に、強い谷風が吹きつけることにより、一層、蒸散が強制されることとなり、局地的に著しい乾燥ストレス状態となることが推察される。

シラビソの伸長期が春から初夏中心であることは乾燥ストレスの影響が一層強くなる可能性を示唆している。

なお、現在進行中の気候変動によって、春先から伸長期にかけて気温上昇が早まれば一層、乾燥ストレスの影響が強まる可能性がある。また、縞枯れの消失や、立枯れ跡地への広葉樹やササ、イネ科植物等の侵入が目立ってきており、亜高山帯という脆弱な生態系の変化の兆しとも考えられる。したがって、今後も現地の気象条件や立ち枯れ域の変化について十分にモニタリングしていくことが必要である。

なお、本研究は嶋田知英、三輪誠、米倉哲志、松本理恵、アマウリ・アルサテと共同で行われた。研究費の一部は住友財団の研究助成を受けた。また、甲武信小屋の降水採取は埼玉県中央環境管理事務所の森下信次氏に、オゾン測定の一部は、雁坂小屋管理ボランティアで登山家の直井道郎氏に御協力いただいた。記して謝意を表す。