

## 2. スキー場における硫安散布の影響に関する研究

(代表) 中村 徹 (農林学系)

田瀬則雄 (地球科学系)

東 照雄 (応用生物化学系)

建元喜寿 (環境科学研究科 学生)

下平勇毅 (環境科学研究科 学生)

### 1. はじめに

スキーは冬期の代表的なスポーツとして、子供から大人まで幅広く親しまれている。わが国には現在およそ 740 カ所のスキー場があり、それらは気候的、地形的制約から山地帯と亜高山帯に集中している。人工降雪機の発達によりスキー場開発が日本海側から太平洋側にまで広がってきたことで、大規模開発に伴う各種の自然災害の危険性は、地域的に拡大することはあっても少なくなっていない。

スキー場の造成には森林伐採や下草の刈り払いはもちろん、土壌の剥ぎ取りなどの地形改変を伴うことが一般的である。また造成後は、裸地への外来牧草の播種や施肥などに加え、定期的な刈り払いが行われるなど、ゲレンデ斜面には常に人為が加えられ、それがスキー場の植生を規定する大きな要因となっている。植生管理や自然災害防止の上では、とくにスキー場造成時の土壌の剥ぎ取りを極力抑えることが重要であると考えられている。

本研究では、これらスキー場が抱える自然環境問題のうち、雪面硬化剤として硫酸アンモニウム（以下、硫安）が大量に散布される問題を取り上げる。スキー場では、とくに春先の競技スキーの際に競技コース上に大量に化学肥料である硫安を散布し、雪を硬くする整備を行うのが一般的である。建元・中村（1998）はスキー場における硫安の散布量は、耕作地での散布量とを比較し、多いところでは約 6 倍になると報告している。また、植物体は窒素を吸収すると葉の色が濃くなるため、夏期にスキー場を遠望すると、競技コースに当たる部分だけ緑が濃くなっていることを確認している。近年は、硫安のかわりに NaCl や PTX（硝酸アンモニウムを主成分とした雪面硬化剤、非常に高価）を用いたり、硫安散布量を控えようという動きはあるものの、おもに硫安による雪面硬化方法に変わりはない。しかし、スキー場において硫安が大量に散布されている事実は、スキー場関係者や競技関係者など、ごく一部にしか知られておらず、このことに関する調査もきわめて少ないのが現状である。

そこで本研究は、スキー場に散布された硫安が河川、地下水、土壌、そして植生へどのような影響をどの程度与えているかを明らかにすることを目的としている。このために、調査研究の協力が得られる長野県野沢温泉スキー場を調査地とし、年間を通して現地調査を行う。水質調査では積雪（水）、河川水、土壌水を採取し、得られたサンプルを実験室において解析する。土壌調査では土壌断面を散布地域と非散布地域とで比較する。植生調査においては、群落レベルで種多様性の変化を、個体レベルで葉色、葉重、葉面積などの変化を明らかにする。

### 2. 研究対象地域

調査地を長野県下高井郡野沢温泉村（北緯 36° 55′，東経 138° 27′）に位置する野沢温泉スキー場とした。この地域では冬期に 2 m を超える積雪が認められ、年平均気温 10.6℃、年

降水量 1760mm (1986~1994 年の平均) で日本海型気候下にある。当スキー場はわが国でもっとも古いスキー場のひとつで、スキー場下部にある日影ゲレンデは 1924 年に開設された。現在では 19 のコース、標高差 1085m, 最長滑走距離 10km, コース総延長 25km にも及び日本でも有数のスキー場に発展した。ここは村営であり、夏期にはスキー場の一部がスポーツ公園、キャンプ場、ミニゴルフ場、牧場などとして利用されている。野沢温泉スキー場では毎年スキー大会が開かれており、その際硫安が雪面硬化剤として施用される。

本研究ではこのうち、スキー場造成時に土壌の剥ぎ取りを行わず、土壌を確保したチャレンジコース (水質, 土壌, 植生) と、土壌を深くまで削剥し今なお植生の回復が遅れているユートピアコース (植生) とで調査を行った。いずれのコースでも、硫安散布場所と散布量を特定することができた。

チャレンジコースは 1982 年に開設され、標高 735~1075m, 傾斜 15~39° でやはり南西に面している。コース長は 1200m であった。チャレンジコースは、造成時の土壌移動が少なく、地形はほぼ原状のままだった。ここでの競技コースは斜面をジグザグに蛇行して下っており、幅約 20m のそのようなかたちで緑が濃くなっている (硫安散布区) のがみられた。

一方、ユートピアコースは 1985 年に開設され、標高 680~900m, 傾斜は 16~32° で南西に面し、コース長 1100m である。ユートピアコースではゲレンデ造成時に大量の土壌を削剥して地形を改変した。ゲレンデに隣接している原地形部分とゲレンデ部分を結ぶ法面の高さから判断して、2~3m の深さの土壌削剥が行われたことが推察された。このゲレンデのほぼ中央に、たて約 100m, 横約 20m の長方形の形で緑の色の濃い部分がある。ここが硫安が散布された部分であった。

両コースは残存孤立林をはさんで近接し、周囲はミズナラ二次林やスギ人工林、カラマツ人工林でおおわれている。いずれのコースもこれらの林を伐開して造成された。

### 3. 研究方法

<水質>チャレンジコースの地下 1.5~2m に埋設された暗渠と、コース脇を流れる川から、暗渠水はほぼ 4 日ごとに、河川水はオートサンプラーにより 4 時間ごとに採水し、一般水質を測定した。また硫安を散布して行ったスキー競技直後から積雪を採取し融解水中の電気伝導度を測定した。

<土壌>チャレンジコースの硫安散布区、非散布区における土壌およびコース脇の自然土壌で土壌断面を観察した。また、硫安散布区、非散布区それぞれの土壌を採取し、風細乾土の 1:5 の水抽出を行った。

<植生>ユートピアコースとチャレンジコースの硫安散布区と非散布区それぞれに 1m×1m の方形枠を 5m 間隔で 10 個、直線上に設け、調査区ごとに全体の植被率を記載した後、すべての出現種それぞれの被度、植物高および地上部現存量(85℃, 24 時間乾燥)を測定した。硫安散布区、非散布区ごとに積算優占度 SDR4 (被度, 高さ, 現存量, 頻度) を算出し、優占度の比較を行った。

### 4. 結果および考察

<水質>今季チャレンジコースに硫安が散布されたのは 3 月 11 日から 16 日の間で、散布総量は 670kg であった。散布後の積雪の電気伝導度(EC)変化は、表層の EC は 550 $\mu$

S/cm、地表面近くでは150  $\mu$ S/cmであったが、3月27日、4月3日には全層で低下した(図1)。散布された硫安は速やかに積雪中を移動し、地表面へ流出したと考えられる。一方、下流の河川(図2)およびゲレンデからの暗渠排水(図3)の測定では、ECの増加や変動はみられず、融雪流出した硫安は地表面から土壤中へ浸透したものと考えられ、消雪後の地下水流出の観測を見守る必要がある。

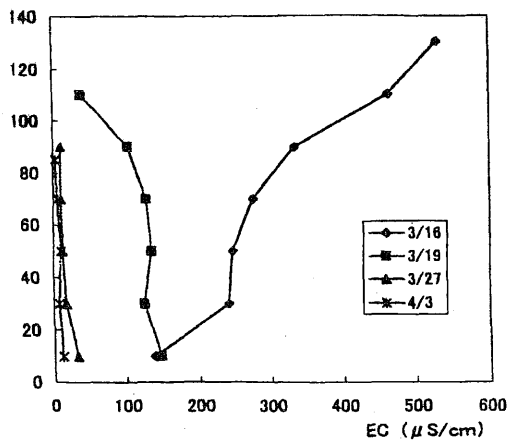


図1 積雪中のECの動態

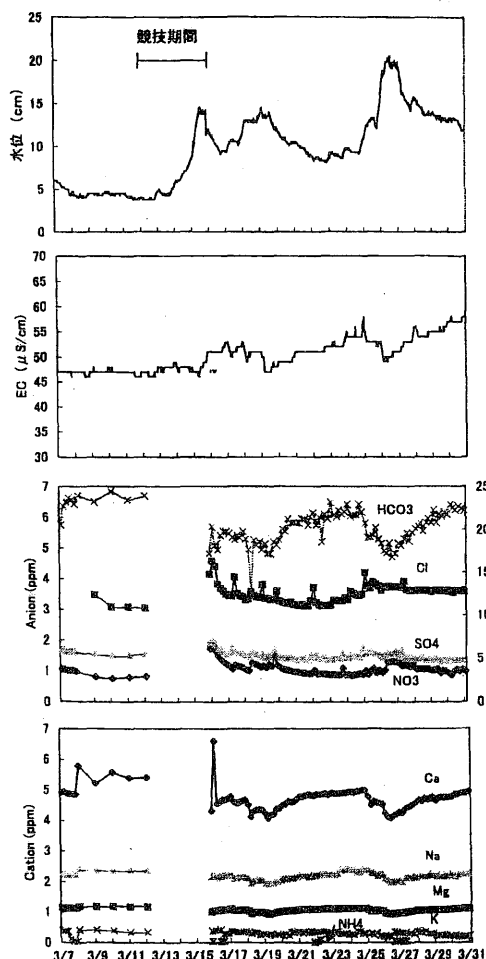


図2 コース脇河川の水質変化

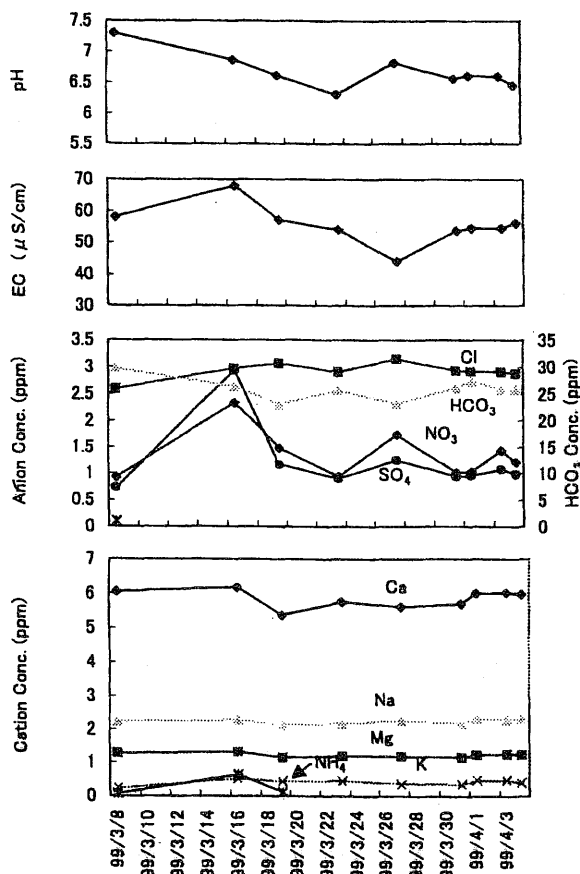


図3 暗渠排水の水質変化

<土壌>1. 断面形態：スキーコース内の土壌では、硫安散布区でも非散布区でも A/Bw1/Bw2/Bw3 という類似した断面が見られた。いずれも断面全面に多少の火山灰の混入が見られ、土性は HC で共通していた。しかし、硫安散布の影響も見られた。硫安散布区においてマット状の O 層が形成され、また次表層の緻密度の低下が顕著であった。

2. 土壌水のイオン濃度：降雪前の 1998 年 10 月 11 日に、チャレンジコース内の硫安散布区と非散布区において土壌を採取した。風細乾土の 1:5 の水抽出を行った結果、硫安散布区では硝酸イオンは 1.0 mg/L とほとんど残留していなかった。硫酸イオンは硫安散布区で 51.2 mg/L、非散布区で 5.8 mg/L と顕著な差がみられた (図 4)。

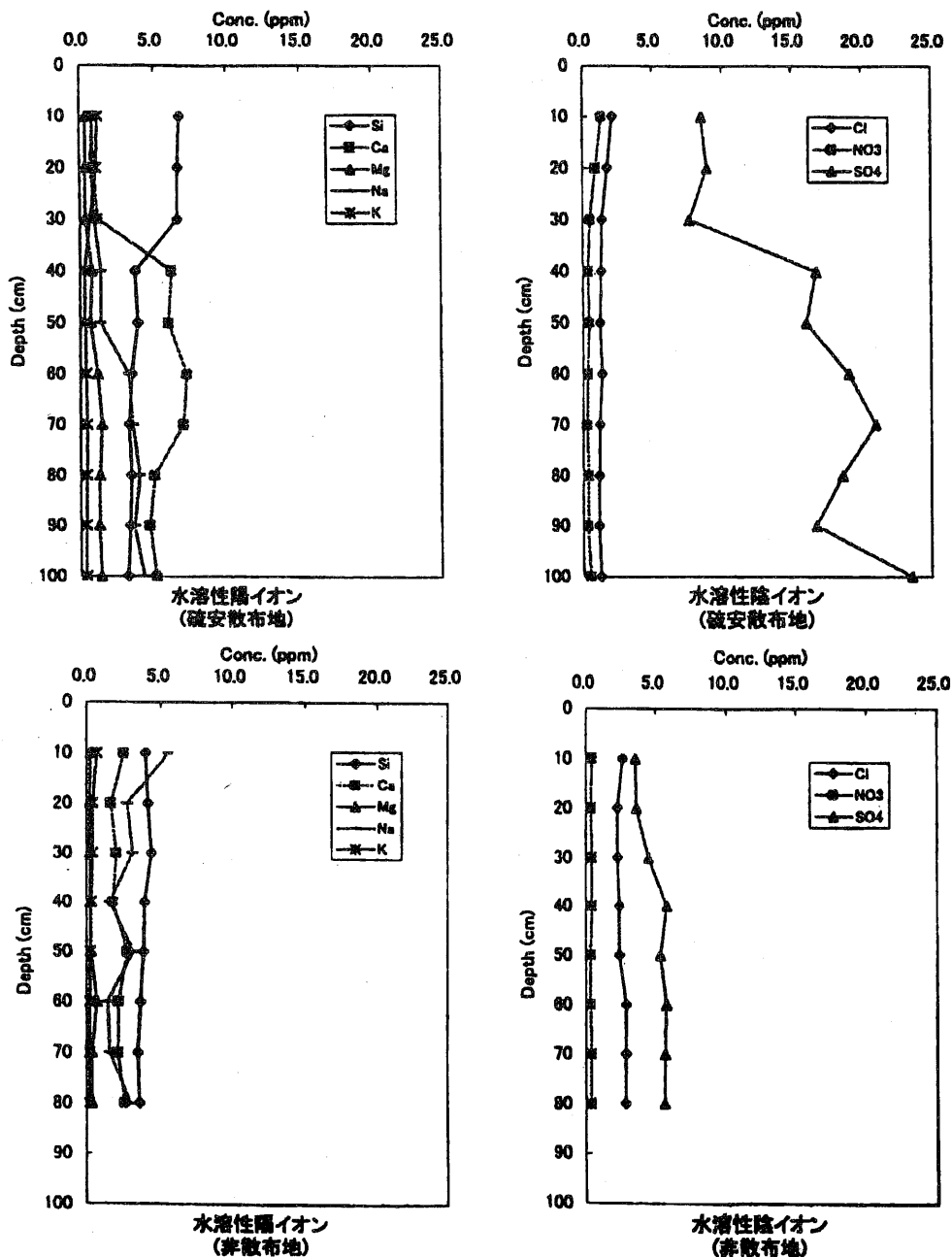


図 4 土壌水のイオン濃度

## <植生>

1. 出現種数の比較：両コースの全調査区に出現した総出現種数は 35 種（うち木本 7 種）であった。このうちチャレンジコースでは計 25 種、ユートピアコースでは合計 29 種が出現し、両コースに共通して出現したのは 19 種であった。

全プロットの平均出現種数は、チャレンジコースでは硫安散布区で  $6.7 \pm 2.0$  種、非散布区で  $11.2 \pm 1.1$  種と、硫安散布区で有意に出現種数が少なかった。非散布区で出現頻度の高いスギナ、タチツボスミレ、コナスビ、ニガナ、シロツメクサなどの地表付近に生育する種が、硫安散布区で出現頻度を大きく減少させている。一方、ユートピアコースでは硫安散布区で平均出現種数が  $6.5 \pm 2.3$  種、非散布区で  $8.5 \pm 1.6$  種と、非散布区でやや多かったが、有意な差は見られなかった。

2. 地上部現存量の比較：チャレンジコースとユートピアコースにおける、硫安散布区と非散布区のそれぞれの群落全体の地上部現存量（乾燥重量； $g/m^2$ ）は、両コースとも硫安散布区で非散布区の 2 倍程度になった。ユートピアコースの群落の現存量は、硫安散布区、非散布区とも、チャレンジコースのほぼ半分であった。

また、種ごとに見てみると、チャレンジコースでは硫安散布区においてオオヨモギの地上部現存量が非散布区より有意に高い値を示し、逆にスギナ、ニガナ、コナスビでは有意に低かった。これら以外の種では有意な差は見られなかった。一方、ユートピアコースでは硫安散布区で、人工播種された外来牧草のレッドトップの地上部現存量が非散布区よりも有意に高かった。

3. SDR の比較：両コースにおける種－順位曲線を見ると、チャレンジコースでは、硫安散布区において優占順位 1 位の種の SDR が増加し 2 位以下を大きく引き離れた。非散布区ではこのような傾向は見られず、硫安散布により優占している種がより優占し、群落構成種の均等度が下がったといえる。それに反し、ユートピアコースではオーチャードグラスやレッドトップなど、人工播種された外来牧草が優占し、硫安散布区と非散布区との間に大きな曲線の形の違いは見られなかった。

4. 地上部現存量と種数の関係：各コースにおける、地上部現存量と単位面積あたりの出現種数の関係を見ると、チャレンジコースの硫安散布区では非散布区に比べ現存量が増加しているだけでなく、現存量と種数が負の相関を持っている。しかし、チャレンジコースでも非散布区においては両者の関係は見られない。また、ユートピアコースでは硫安散布区で地上部現存量が非散布区よりも大きいものの、現存量と種数との関係ははっきりしない。

5. 結論：以上のことから次のような結論が得られる。造成時の土壌削剥程度の異なるスキー場ゲレンデでは、硫安散布の植生への影響は異なる。土壌を削剥したゲレンデではすべての出現種にもれなく施肥効果が現れるが、土壌の確保されているゲレンデでは優占している種に集中的に硫安の効果が現れる。その結果、土壌を確保したゲレンデに大量の硫安を散布すると優占種の被圧を受けて種数が減少する。

## 引用文献

建元喜寿・中村 徹(1998)：スキー場における硫安散布の実態。野外教育研究 Japan Outdoor Education Journal 2 (1), 13-19.