

VI. 平成11年度環境科学研究科プロジェクト報告

1. 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)
佐藤芳徳 (上越教育大学・社会系)
下平勇毅 (環境科学研究科・学生)

1. はじめに

本研究は、スキー場で散布された硫安が河川、地下水、土壌へどのような影響をどの程度与えているかを明らかにし、すでに現れている植生への影響との関係を明らかにすることを目的としている。

アルペンスキー競技では、全競技者が一定かつ最高の条件で滑走が行えるように競技コースの硬化整備が行われる。その雪面硬化剤として硫安(硫酸アンモニウム)が散布使用される。使用量は条件によっては一般作物畑の数倍になり、土壌の酸性化、地下水汚染、植物の異常繁茂・弱体化・枯死、下流域の富栄養化などの問題が懸念されている(建元・中村, 1998)。しかしながら、スキー場における硫安散布とその影響に関する調査研究はほとんどなされていないのが現状である。

本研究では、散布された硫安が積雪中でどのような挙動を示すのか、また植生にどのような影響を与えるのかなどの基礎的な調査を長野県小県郡真田町菅平にある筑波大学菅平高原実験センターのススキ草原において行った。すなわち、積雪前にライシメータ(1m × 1mの亚克力板製)を設置した後、融雪期に硫安を散布し、融雪量、電気伝導度、アンモニアイオン、硫酸イオンなどを測定した。植生への影響は、ススキ草原内に2.5m × 2.5mのプロットを設け、硫安の散布プロットと非散布プロットを比較することにより検討した。

さらに、調査研究の協力が得られた長野県野沢温泉スキー場を調査対象地とし、積雪(水)、河川水、土壌水、地下水の水質分析、土壌の理化学特性の分析および植生調査を硫安散布地域と非散布地域との比較対照により行い、硫安散布の影響を明らかにした。調査は、水質(特に NH_4 、 NO_3 、 SO_4)については融雪期を中心に採水・分析を行った。

これらふたつの調査により、散布された硫安が河川、地下水、土壌へどのような影響をどの程度与えているかを明らかにした。

2. 雪面硬化剤としての硫安

アンモニウム塩などは溶解する場合、熱を吸収する。雪面硬化剤の原理は、塩類を添加することによって雪や氷が解け、その水分中へふたたび塩類が溶け込むことにより、雪と塩類の共融点に達するまで温度が降下し、周囲の雪の水分を氷結、固化させることにある。

雪面硬化剤として、硫安（硫酸アンモニウム）が用いられる最大の理由は、価格が安く、肥料として一般に用いられており環境への影響が少ないと考えられていたためである。

3. 菅平での調査と結果

筑波大学菅平高原実験センターの敷地内に積雪前に4基のライシメータ（1m×1m）を設置した。融雪期に入った1999年3月14日に2基のライシメータに硫安を50g散布し、融雪に伴う硫安の流出を観測した。さらにそのうちの1基については3月25日に再度同量を散布した。観測項目は融雪量、電気伝導度、アンモニアイオン、硫酸イオンである。気温、降水量、日射量などの気象要素については菅平高原実験センターが観測したデータを利用した。

また、ススキ草原に設定したプロットの1つに600g/m²の硫安を散布し、夏季に植生の生育状況を調査した。

(a) ライシメータ実験

図1にライシメータ1（非散布）とライシメータ4（1回散布）の観測期間の融雪量、電気伝導度（EC）、pH、流出量と濃度の変動を示した。図1で測定値のない3月20日から23日は降雪、あるいは低温で融雪がほとんど認められなかった期間である。硫安を散布したライシメータ4は散布直後から高いECを示し、急激に濃度が低下している。とくに硫安は散布した日とその翌日（融雪量が非常に多かった）の2日間でほとんど流出していることがわかる。オーダーは異なるが、自然状態での硫酸イオンの流出量は融雪量に左右されながら徐々に減少する。このことから散布された硫安は速やかに排出されるという特徴を示す。

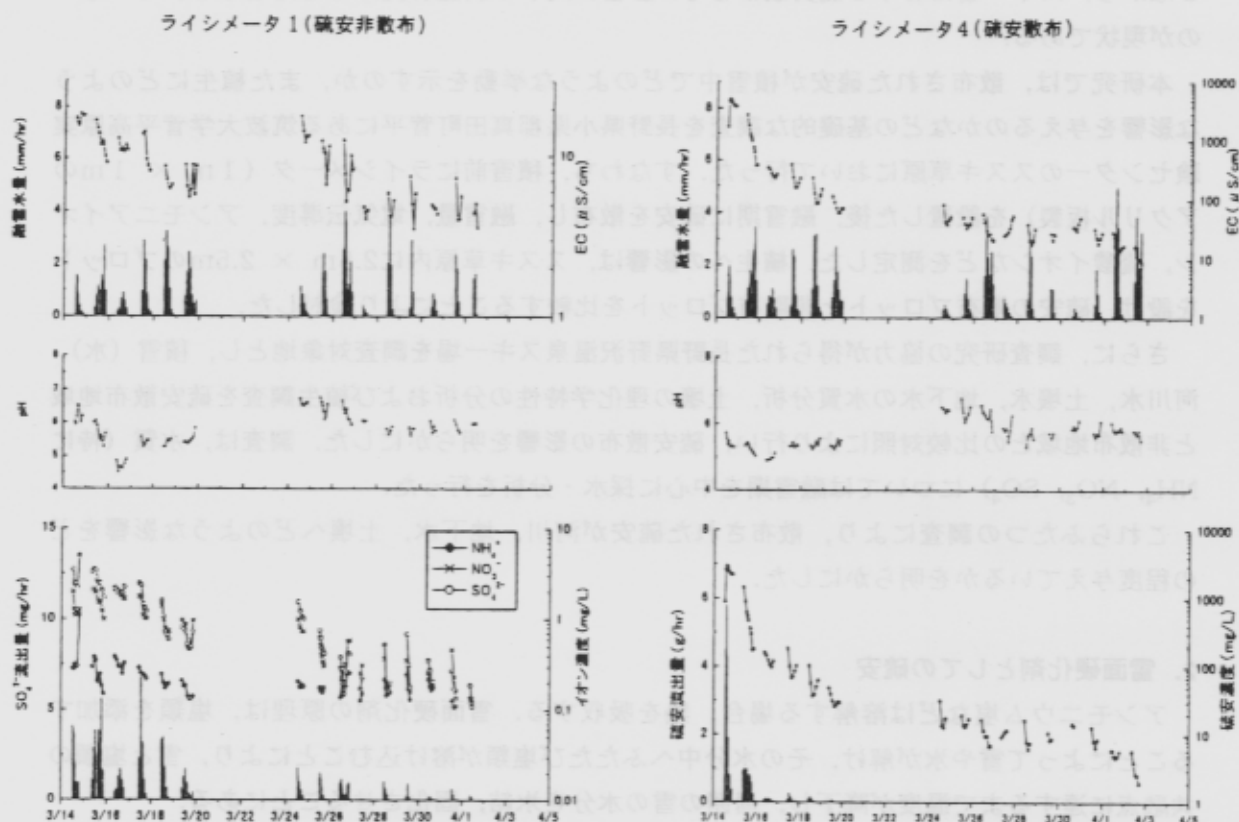


図1 ライシメータ実験結果

(b) 植生への影響

ススキ草原内に2.5m×2.5mの調査プロットを6区画もうけ、1999年3月17日、1区画に600 g/m²の硫安を散布し、非散布区画と比較することにより、植物群落構造に与える影響を調査した。区画内に1m×1mのコドラートを取り、種数、群落高ごとの現存量（器官別）、相対照度等を調査した。

出現した種数は、散布区画で13種、非散布区画で27種と散布区画は半減していることが明らかになった。中村ほか（1999）による野沢温泉での調査より出現種数は多かったが、両区画の差は同様の傾向であった。また、散布区画の群落高が20cmほど高く、群落上層の現存量（葉）が特に多いことが観測された。図2は種ごとに算出したv-value（高さ×被度）と重量との関係を比較したものである。散布区が量的にも重量的にも勝っていることが明瞭に現れている。

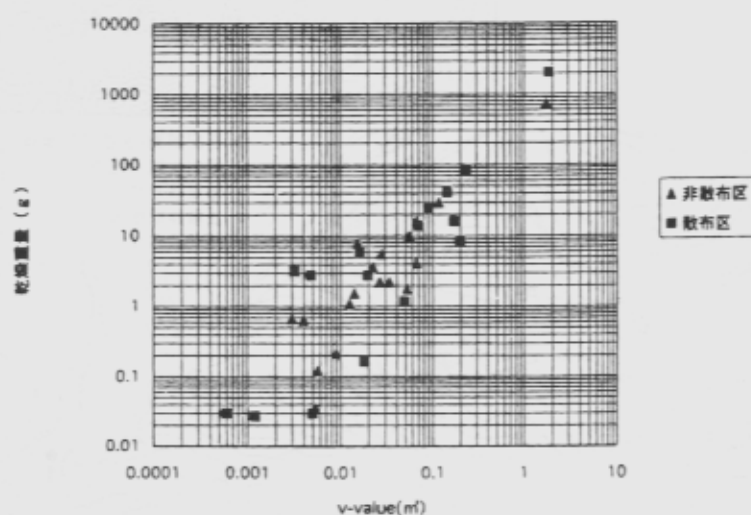


図2 ススキ草原における v-value と重量との関係

4. 野沢温泉村での調査と結果

野沢温泉スキークラブのスタッフの方々との検討の結果、対象ゲレンデとしてチャレンジコースを選定した（図3）。水質を観測したのは図3に示した地点で、自記観測地点（A）では河川水位、電気伝導度（EC）、水温、気温を30分毎に連続測定した。ゲレンデからの集水暗渠（a～d）および周辺河川水（1～6）の水質は適宜採水分析した。

(a) 水系への影響

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日に行われた野沢温泉ダウンヒル3連戦で、散布量は13日が90kg、14日が140 kg、15日が340 kg、16日が100 kgで計670kgとなるが、例年に比べて少なかったとのことである。図4に散布後の積雪の電気伝導度（EC）変化を深度プロファイルとして示した。3月16日のプロファイルでは表層のECは550 μ S/cmと高く、地表面近くでは150 μ S/cmとなっている。3日後の3月19日には積雪深は20cmほど低下し、ECは表層で50 μ S/cmほどに低下したが、中層以下はほぼ同じでやや高い値を維持している。さらに3月27日、4月3日では全層で低下している。なお、アンモニウム

イオンと硫酸イオンの濃度はほぼ同当量流出しており、アンモニアの硝化は生じていない。これらの変化をみると、ライシメータ実験と同様に散布された硫安は速やかに積雪中を移動し、地表面へ流出していると考えられる。

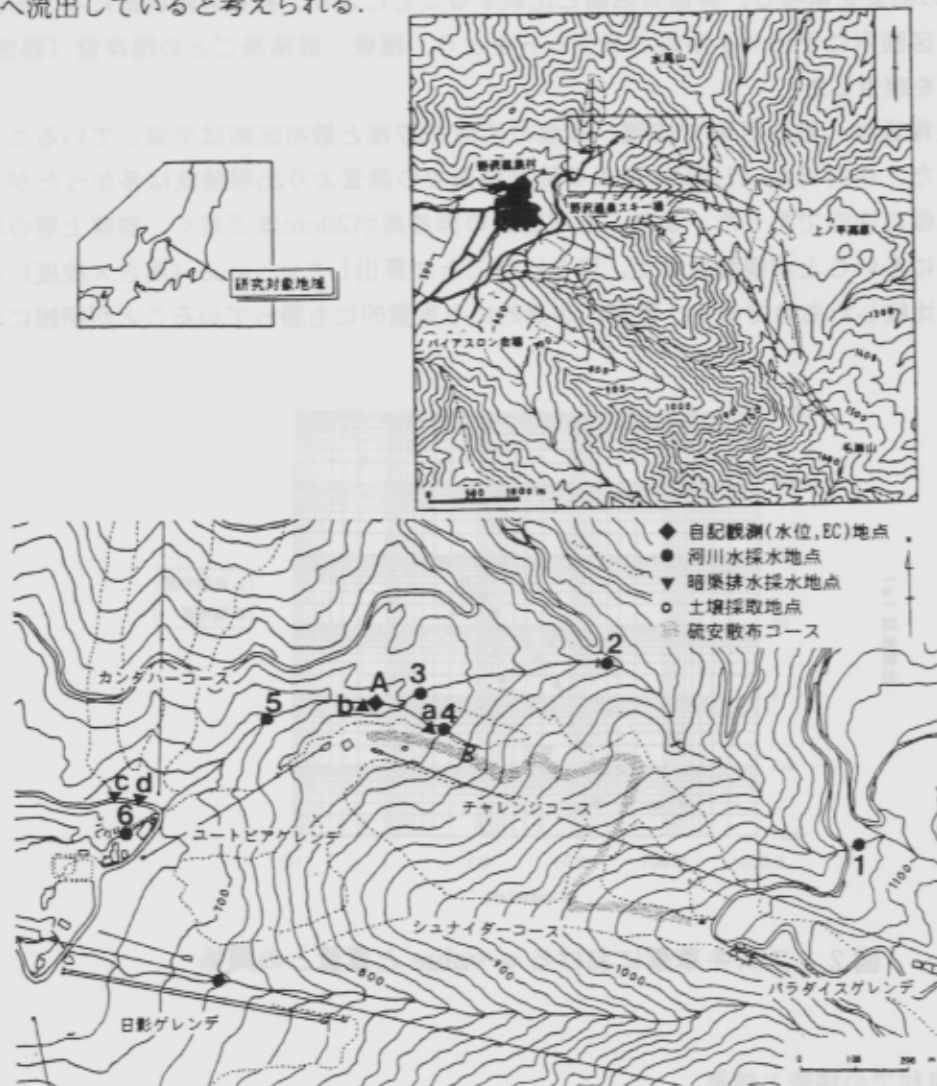


図3 研究対象地域と観測地点

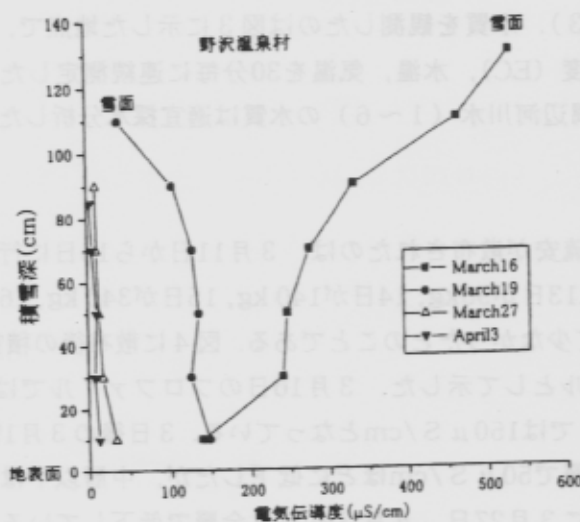


図4 硫安散布後の積雪の電気伝導度変化 (チャレンジコース)

図5に暗渠排水(a)の水質の経時変化を、また図6に河川(A)の水質の経時変化を示した。暗渠排水の水質変化では、競技終了日の3月16日にアンモニウムイオン、硫酸イオン、硝酸イオンの濃度が高くなっているが、極端なものではない。これはアンモニウムイオンと硫酸イオンが土壌を通過する際に吸着されて大幅に濃度が減じられたためであり、また散布コース以外の融雪水の混合による希釈効果も考えられる。また、融雪期の後半には硝酸イオンがとくに増加する傾向がみられた。

一方、河川水の水質の変動には、硫安散布の影響がほとんどみられなかった(図6)。ただし、4月下旬よりカルシウムイオンや重炭酸イオンが増加する傾向が、また6月下旬には硝酸イオンの一時的な増加もみられるので、これらが消雪後の影響であるのか現在検討中である。

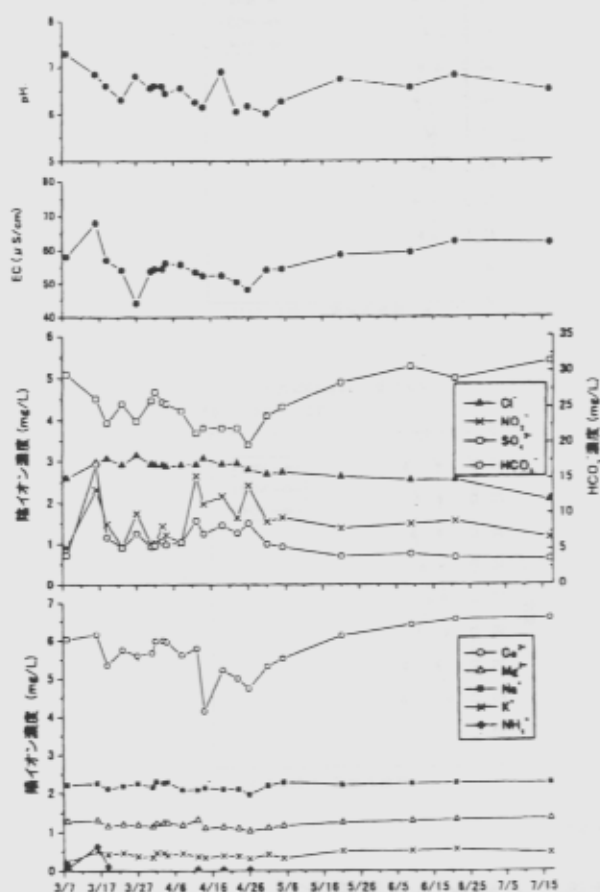


図5 チャレンジコース下の暗渠排水(b)の水質変化

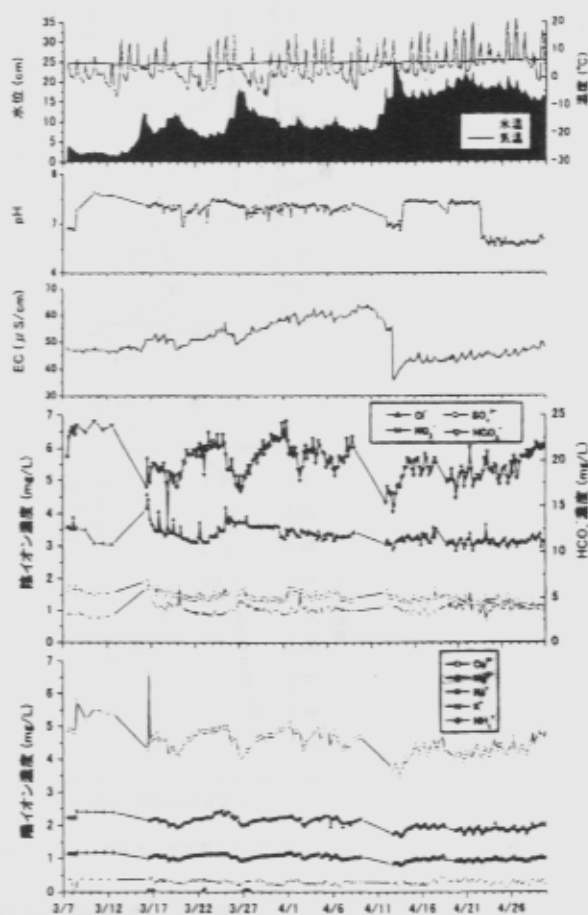


図6 河川水(A)の水質変化

(b) 土壌への影響

降雪前（1998年10月11日）および融雪後（1999年5月5日）に、チャレンジコース内の散布地区と非散布地区において土壌調査を行った。また、深度別に採取した土壌よりKC1抽出によりアンモニウムイオンを、水抽出により硝酸イオンと硫酸イオンを測定した。土壌の種類は酸性褐色森林土で、積雪前では散布地区において硫酸イオンが高濃度で検出されたが、硝酸イオンは低濃度であった（図7）。融雪後ではアンモニウムイオン、硝酸イオンが、表層で若干高いが、ほぼ全層一様に高濃度でみとめられた。しかし、硝酸イオンなどは梅雨期の降雨による洗い出しと植物による吸収により速やかに減少して降雪前の状態へ戻っていくものと考えられる。

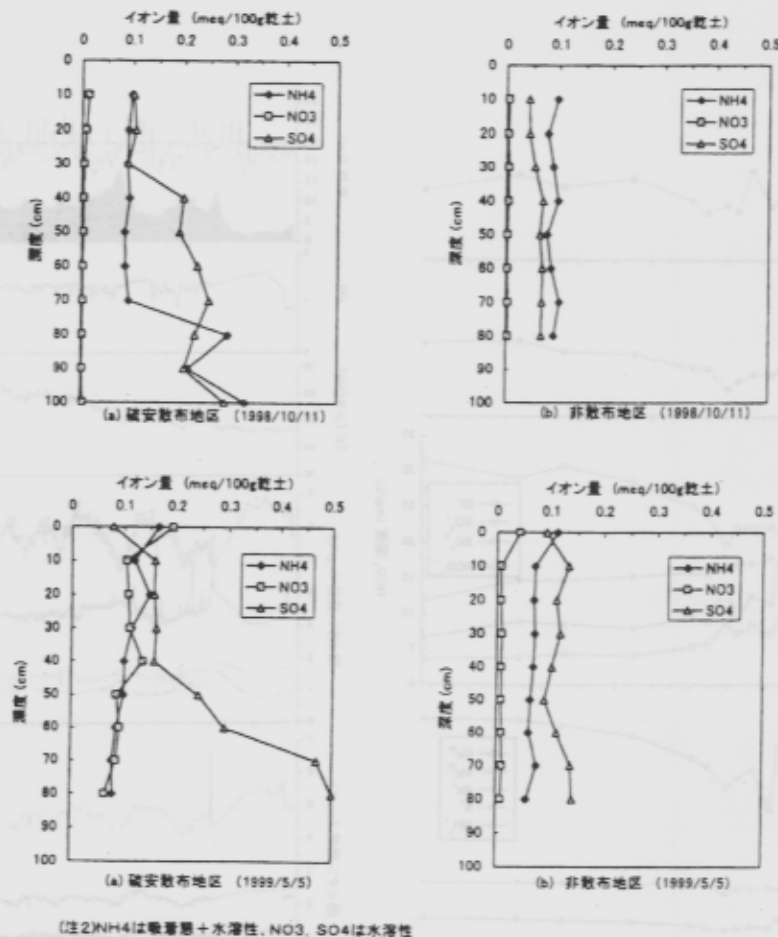


図7 積雪前と融雪後の土壌水の水質変化

(c) 植生への影響

建元・中村（1998）および中村ほか（1999）が指摘しているように、硫酸散布による植生への影響は、葉の濃緑化、肥大化、種の減少である。チャレンジコース内での散布の影響を目視観察により判定して図示したのが図3である。影響の範囲はほぼ散布範囲にとどまっていると考えられ、斜面に沿って下流方向へ広がっているような傾向は認められない。なお、窒素の効果（影響）は初期の生育に大きく現れ、窒素は先に述べたように流出あるいは吸収されて自然状態に近づくものと考えられる。

5. まとめ

現在までの結論は以下のようである。

雪面に散布された硫安は速やかに積雪中を降下し、地表面に達する。この際、アンモニウムイオンと硫酸イオンはほとんど変質することはない。本地域のように地表面に土壌が存在する場合には両イオン共に土壌に保持され、アンモニアイオンはやがて硝化され硝酸イオンとなり、植物に吸収されなかった分は地下水・河川へ流出する。硝化する際、水素イオンが発生するが、土壌が存在する場合にはイオン交換などで緩衝される。硫酸イオンは長期間土壌に保持される。もし土壌が十分存在しない場合には、河川へ速やかに流出することとなり、環境への影響は大きくなる可能性がある。

植生への影響は顕著で、葉の色が濃くなり散布されたコースが明瞭に区別されるほどである。また、種の多様性が減少する傾向がみられる。

全体として、1999 年は散布量が少ないこともあり、河川への直接の影響は、ほとんどなかったと言えそうであるが、積雪量が少ない場合、散布量が多い場合、そして土壌が十分に発達していないコースでは、酸性化や窒素過多の影響などが発生する可能性があると言える。

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 2 : 13-19.
下平勇毅・田瀬則雄・東 照雄・中村 徹ほか (1999) : スキー場において雪面硬化剤として使用される硫安の土壌・地下水・植生への影響. 環境科学会1999年会講演要旨集, 114-115.
中村 徹・建元喜寿・上條隆志 (1999) : 造成時の人為が異なるスキー場ゲレンデにおける硫安散布が植生に及ぼす影響. 植生学会誌, 16 : 141-147.

2. 産業化学物質 2,4,6-トリニトロトルエン工場の作業労働者の健康調査

(代表) 熊谷 嘉人 (社会医学系)

中原 忠篤 (応用生物化学系)

野村 暢彦 (応用生物化学系)

1. はじめに

2,4,6-トリニトロトルエン (TNT) は爆薬の原料として中国をはじめとするアジア諸国で繁用されている産業化学物質である。中国での過去 10 年間に於ける慢性職業性疾患の事例は鉛中毒が最も多く、次いでベンゼン、TNT の順である。TNT 爆薬製造工場では、磨砕、分級、充填、圧縮および梱包などの作業中に吸引、経口および皮膚から TNT に曝露される。ヒトが TNT に慢性的に曝露されると、メトヘモグロビン血症、溶血や再生不良性貧血等の血液障害、肝臓肥大、白内障や生殖毒性など種々の疾患が観察される。これらの疾患の原因を明らかにする目的で、実験動物を使用した研究が広範に行われてきた。たとえば、TNT と動物の各種臓器の酵素溶液とを反応させると、スーパーオキシドや過酸化水素のような活性酸素種が産生されることが明らかにされている。このことは、生体内に摂取された TNT が酸化ストレスを誘発することを示唆している。しかしながら、ヒトを対象とした TNT の曝露と酸化ストレスの誘発との関係を検討した報告はない。

そこで本研究では、中国阜新の TNT 工場を研究フィールドとし、1) 本工場の作業環境の調査；2) 酸化ストレスの誘発に関するバイオマーカーを対象とした患者一対照研究を行うことを目的とした。すなわち、TNT 工場従事者の血液学的指標および生化学的指標を基に TNT 作業労働者と TNT 非曝露者との差異を明らかにすることで、環境中 TNT 濃度と酸化ストレスの誘発との量一反応関係を示す。本研究を行うことは、さらなる作業現場の改善を促すだけでなく、酸化ストレスの誘発が著しい労働者に対する予防的措置にも繋がる。

2. 方法

対象：中国阜新の TNT 工場において、TNT 曝露群として作業労働者 95 名 (男性 59 名、女性 36 人) および TNT 非曝露者として 29 名 (男性 17 名、女性 12 人) を被験者とした。

調査項目：まず全ての労働者に対して質問票を用いて、年齢、職業歴、喫煙習慣や飲酒習慣等を調査した。つぎに内科および眼科検診を行い、採血して血液学的調査 (白血球数、ヘマトクリット値、メトヘモグロビン形成)、酸化ストレスの指標 (グルタチオン、脂質の過酸化、抗酸化酵素活性) ならびに肝臓機能指標 (GPT 活性)、および B 型肝炎の有無等について測定を行った。また、作業現場の TNT 濃度はハイボリウムエアサンプラーで気中粉塵を採取後測定した。Table 1 に研究対象者の年齢、TNT 曝露期間、喫煙歴および飲酒歴をまとめた。対象者の平均年齢は 30 歳半ばで、TNT 暴露期間は男女共に約 10 年であった。喫煙歴と飲酒歴については、TNT 曝露群と非曝露群の間に有意な差は認められなかった。

Table 1. Characteristics of workers participating in the study

Group	Sample (n)	Age (year)	Exposure duration (year)	Smoking (n)	Alcohol intake (n)
Male					
Unexposed	17	35 ± 6	-	14	9
Exposed	59	32 ± 8	10.6 ± 7.4	51	32
Female					
Unexposed	12	35 ± 5	-	1	1
Exposed	36	35 ± 3	12.0 ± 4.9	2	2

Each value is the mean ± SD.

3. 結果および考察

作業環境調査：作業現場での気中 TNT 濃度を測定した結果、1.42 mg/m³ であった。この値は過去 8 年間の気中濃度 (6-10 mg/m³) と比較して顕著に低下しており、この原因のひとつは、本工場の設備近代化に起因する各工程の機械化が挙げられる。しかしながら、包装作業 (0.52 mg/m³) 以外のグライダー作業 (1.32 mg/m³)、混合作業 (2.03 mg/m³) および充填作業 (1.23 mg/m³) の気中 TNT 濃度は、中国での TNT 最大許容濃度 (1 mg/m³) を上回っていた。問診表に基づく臨床所見を Table 2 に示す。

Table 2. Prevalence of clinical symptoms in TNT-exposed and control workers

Symptom	Unexposed (n=29)		Exposed (n=95)	
	n	%	n	%
Headache	4	(13.8)	14	(14.7)
Vertigo	4	(13.8)	14	(14.7)
Insomnia	4	(13.8)	8	(8.5)
Poor memory	0	(0)	7	(7.4)
Loss of appetite	1	(3.5)	4	(4.2)
Nausea	1	(3.5)	5	(5.2)
Vomiting	5	(17.2)	17	(17.9)
Abdominal pain	0	(0)	4	(4.2)

血液学的調査：Table 3 は、工場従事者の白血球数、ヘモグロビン量、ヘマトクリット値およびメトヘモグロビン形成率を示している。白血球数は男性において、TNT 曝露群が非曝露と比較して有意に減少していたが (P<0.05)、女性の場合では両者間での有意差は認められなかった。ヘモグロビン量およびヘマトクリット値は、TNT 曝露および非曝露による変動は見られなかった。メトヘモグロビン形成率 (>1%) は両群ともに 1~2 名のみ観察された。

Table 3. Alterations in hematological parameters by TNT exposure

Group	WBC ($10^3/\text{mm}^3$)	Hb (g/l)	Ht (%)	MetHb (n, >1%)
Male				
Unexposed (n=17)	7.3 ± 1.7	139.7 ± 9.5	48.5 ± 3.6	1
Exposed (n=59)	$6.5 \pm 1.3^*$	138.6 ± 10.5	48.7 ± 3.9	1
Female				
Unexposed (n=12)	6.7 ± 1.1	125.0 ± 10.5	42.7 ± 3.4	0
Exposed (n=36)	6.7 ± 1.5	126.4 ± 8.8	44.2 ± 2.5	2

Each value is the mean \pm SD. *, $P < 0.05$ (vs. unexposed group).

生化学的調査: Table 4 は、工場従事者の血液中グルタチオン (GSH) 量、グルタチオンペー
オキシダーゼ (GSH Px) 活性およびスーパーオキシドジスムターゼ (SOD) 活性を示してい
る。抗酸化物である GSH の血中濃度および赤血球中抗酸化酵素のひとつである GSH Px の酵
素活性は、TNT 曝露群および非曝露群間で有意差は見られなかった。しかし、赤血球抗酸化
酵素のひとつである SOD の酵素活性については、男性において TNT 曝露群の方が非曝露群よ
り有意に高い値を示したが ($P < 0.05$)、女性の場合はむしろ TNT 曝露群の方が非曝露群より低
かった (ただし、有意差なし)。さらに血漿中脂質の過酸化については、女性において TNT 曝
露群は非曝露群より有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。一方、肝臓機能障害の指標である GPT
値は、TNT 曝露と非曝露群で有意な差は観察されなかったが、B 型肝炎陽性患者が、TNT 非
曝露群では全く認められないのに対して TNT 曝露群では 6 名存在した。

Table 4. Alterations in biochemical parameters by TNT exposure

Group	GSH (nmol/mg)	LPO (nmol/ml)	SOD (NU/mg Hb)	GSH-Px (U)
Male				
Unexposed (n=15)	7.5 ± 3.5	6.8 ± 0.5	16.2 ± 1.0	123.9 ± 30.7
Exposed (n=37)	8.4 ± 4.9	6.9 ± 1.3	$17.2 \pm 1.7^*$	127.4 ± 23.8
Female				
Unexposed (n=11)	9.4 ± 4.4	6.1 ± 0.7	18.5 ± 1.7	134.9 ± 22.8
Exposed (n=22)	9.2 ± 7.1	$6.7 \pm 0.7^*$	17.7 ± 1.4	123.1 ± 23.3

Each value is the mean \pm SD. *, $P < 0.05$ (vs. unexposed group)

以上の結果より、女性において酸化ストレスの誘発の指標である脂質の過酸化が TNT 曝
露により上昇していることが明らかとなった。この性特異的な現象の原因のひとつとして、性
特異的な SOD 活性変動の違いが考えられた。すなわち、男性では TNT 曝露により赤血球中 SOD
活性が誘導されるのに対して、女性では SOD 活性がむしろ低下傾向を示した。一般に生体は
酸化ストレスが上昇すると、それに応答して抗酸化系が亢進することが知られている。従っ
て、これらの結果は、女性の方が男性と比較して TNT による酸化ストレスの誘発に対する

応答能の低さが、脂質の過酸化の増加に関連することを示唆している。ただし、TNT 曝露による男性と女性の赤血球 SOD 活性は殆ど等しいことから、これ以外の酸化的ストレスの誘発を示すバイオマーカーの選出が今後要求される。

今回の調査では、メトヘモグロビン形成率やヘマトクリット値からすると、TNT 曝露による顕著な血液毒性は観察されなかった。これは本工場の設備近代化による TNT の気中濃度の著しい低下が関係することが考えられた。しかしながら、作業場によっては中国での TNT の最大許容濃度を上回る所もあることや酸化的ストレスの誘発に係わる指標が増加していることから判断すると、TNT の気中濃度の更なる低下が望まれる。

謝辞

本研究は中国医科大公衆衛生院の孫貴範教授の研究グループおよび阜新職業病研究所の支援により行った。なお、本研究を行うにあたり、李松君（医学研究科 大学院生）の強力を得た。

引用文献

1. Hathaway, J. A.: Trinitrotoluene: A review of reported dose-related effects providing documentation for a workplace standard. *Journal of Occupational Medicine*, 19: 341-345, 1977.
2. Zitting, A., Szumanska, G., Nickels, J. and Savolainen, H.: Acute toxic effects of trinitrotoluene on rat brain, liver and kidney: Role of radical production. *Archives of Toxicology*, 51: 53-64, 1982.
3. Lingyuan, K., Quanguan, J., and Quingshan, Q.: Formation of superoxide radical and hydrogen peroxide enhanced by trinitrotoluene in rat liver, brain, kidney, and testicle in vitro and monkey in vivo. *Biochemical and Environmental Sciences*, 2: 72-77, 1989.
4. 李松、熊谷嘉人、桐谷聖子、下條信弘：SD ラット肝サイトソルによる 2,4,6-トリニトロトルエンの主代謝物 4-アミノ-2,6-ジニトロトルエンのアセチル化、*産業衛生学雑誌*、40 巻：252-253、1998.
5. 桐谷聖子、熊谷嘉人、李松、下條信弘：2,4,6-トリニトロトルエンとその関連化合物の還元的代謝の際に生じる活性酸素の産生、*産業衛生学雑誌*、41 巻：11-12、1999.
6. 本間志乃、岩室妙子、熊谷嘉人、下條信弘：2,4,6-トリニトロトルエンによる精子数減少はテストステロン産生能の低下を伴わない、第 70 回日本衛生学会総会、講演要旨集 p. 129、2000.
7. 桐谷聖子、熊谷嘉人、若山利彦、下條信弘：産業化学物質 2,4,6-トリニトロトルエンの血液毒性発現に係わる還元代謝物生成を触媒する酵素、第 70 回日本衛生学会総会、講演要旨集 p. 118、2000.
8. 李松、菊地智裕、熊谷嘉人、下條信弘：産業化学物質 2,4,6-トリニトロトルエン (TNT) の還元的代謝活性化によるヘモグロビンの修飾：血液毒性に係わるメカニズム、第 70 回日本衛生学会総会、講演要旨集 p. 117、2000.
9. Kumagai, Y., Wakayama, T., Li, S., Shinohara, A., Iwamatsu, A., Sun, G. F., and Shimojo, N.: Zeta-crystallin catalyzes reductive activation of 2,4,6-trinitrotoluene to generate reactive oxygen species: A proposed mechanism for the induction of cataracts. *FEBES Letters*, in press, 2000.

3. 霞ヶ浦の価値の測定と評価に関する方法論の開発と適用

(代表) 安田八十五 (社会工学系)

濱 健夫 (生物科学系)

吉野邦彦 (社会工学系)

川邊みどり (社会工学系)

1. はじめに

人類の歴史上、自然環境の保全が今ほど求められている時代は無いといっても言い過ぎではない。地球温暖化問題等の地球規模の環境破壊問題からダイオキシン問題等の身近なごみリサイクル問題に至るまで、環境汚染問題は地球全体に広がっている。環境破壊を防止し、さらに環境改善を行うためには、環境の価値が適正に評価されなければならない。そこで、本プロジェクト研究においては、主たる研究対象地域に霞ヶ浦流域を選び、環境の価値、ことに経済的価値を測定し、評価するための基礎的方法論を開発し、適用することを主たる研究目的とする。

2. 研究の背景

今日安全な飲料水の確保が極めて困難になってきている。茨城県において県南の水がめである霞ヶ浦の汚染状況は切迫した問題であるといえる。昨今の霞ヶ浦の汚染は一時期 COD 値が 10 mg を超えていた頃と比較して落ち着いたと言われてはいるが依然 8 mg を超える値となっている。水を飲むという行為が人間にとって必要不可欠なことは言うまでもない。我々は、今まで水というものが日常生活にあまりにも強く密接していたがため、水の正確な価値というものを理解していないと思われる。水と空気は“ただ”であるという認識はもはや通用しない状況である。現に、昨今のミネラルウォーターの爆発的な売れ行きは一昔前では考えられない出来事であるといえよう。

このことは何も飲料水に限ったことではない。以前はレクリエーション地として活用されていた霞ヶ浦ではあるが、いまやそのような姿は見えない。もちろん今でもヨットなどのレクリエーションに使われてはいるが、水浴びをする子供などは見ることはできない。我々と水の直接的な関係が徐々に失われてきているのである。

これら霞ヶ浦の汚染の要因に真っ先に考えられるのが常陸川逆水門の閉鎖である。我々はこの点に注意を置いて以下の研究に取り組もうと考える。

3. 研究の目的

上記の問題に対し、今回我々が提案するのは水質の正確な価値の測定である。水は“ただ”ではなく価値ある資源であるということを人々に提言することは非常に重要ではないかと考える。飲料水確保のために整備事業を行うにしても、逆に開発から環境を保護するためにもその対象であるものの価値が判らないと、誤った判断を下してしまうことになる。これらのことから、仮想的市場評価法(CVM)、旅行費用法(TCM)という手法を利用することにより霞ヶ浦の水質価値およびレクリエーション価値を測定したいと考えている。

4. 研究計画の概要

本研究の主たる目的は、水質価値およびレクリエーション価値を測定することである。但し、市場では取引されない非市場財である水という自然資源を取り扱うことに考慮をおかなければならない。そのため、それを測る手法もそれにあったものを選択する。その手法としてCVM、TCMを使う。

CVMはContingent Valuation Methodの略であり日本語では仮想市場評価法と呼ばれる方法である。具体的には公益的機能を取り引きする仮想市場を創設し、その市場において財に対する受益者のWTP(Willingness to pay: 支払意思額)やWTA(Willingness to accept compensation: 受取意思額)をアンケート調査等により直接的に調査することによって評価を行う方法である。

また、TCMはTravel Cost Methodの略であり日本語では旅行費用法と呼ばれている方法である。具体的にはその土地に向かう(主にレクリエーション地が対象とされている)のにかかった費用からその土地の価値を測定する方法である。これもやはりアンケート等の形式によりそこに来ている人からデータを仕入れる形式をとることになる。

2つの手法を使うことの意味はCVMにしろTCMにしろまだまだ発展段階の手法であり問題点もいくつか指摘されている。それを補いあい、より正確に実施するために行おうと考えている。もちろんそれにより完全に問題点が除去されるわけではないが、現時点ではその方法が一番正確ではないかと考えられる。

CVMにより逆水門が閉鎖されてからとそれ以前におけるWTAの測定を行おうと考える。従来WTPによる事前評価を行った研究はかなりあるが、WTAによる事後評価はほとんどと言っていいほど行われていない。我々はそれに取り組んでみようと思う。またTCMにより現在の霞ヶ浦のレクリエーション価値を測定する。既存研究としてかつては住民にたいする直接的な意思を聞き出すCVM手法をとっていたが、現在のCVMは一段とバイアスを取り除く手法が開発され、算術的な平均を出す手法から、統計的な値を割り出すことへと進展し、なおかつ既存研究では対象を水道水のみに絞られていたが、基金を仮定した場合におきかえてさらに住民にとってのレクリエーション価値なども含まれた総合的に見た霞ヶ浦の価値を導き出してみようと試みる。

この2つの手法は共にアンケートに頼る手法であるので、それ相応のサンプル数が必要となってくる。現段階で考えているのは現地周辺で直接聞き取りする方法と、その地域に関連してはいるが少し離れた地域住民に郵送でアンケートをお願いする方法を採る。サンプル数は霞ヶ浦周辺人口が70万人であるので、その5%(35000)を有効回答とすることを目標とする。これはどういうことかということ、アンケートにおける抵抗回答を予期した依頼アンケート数が必要となってくるということである。

以上の手法を用いて、霞ヶ浦の水質の経済的価値を測定する。現段階で考えているのはまず価値の測定を行うことではあるが、その後、その価値を用いて霞ヶ浦に関する開発事業の社会的費用便益分析を行おうと考えている。今後飲料水の確保などにおいて開発事業の必要性は高まってくるがその事業を評価することも同時に必要不可欠となってくるであろう。

5. 既存研究の展望と本研究の特徴

昨今、環境問題に対する市民意識が高まるにつれて今まで当たり前のように供給されていた水に対する見方も自然と変わってきた。日本において“水と空気はだだ”という考え方はも

はや通用しない。これは飲料水に限ったことではない。水の汚染による影響は我々の生活に深く入り込んできている。このように水の汚染に関して我々は他人事ではいられなくなってきているのである。

ではどのような行動を取ればよいのか。これに関してはいくつもの意見が存在するだろうが、我々は水の正確な価値を測定することを目的として行いたい。水という自然資源が貨幣ベースでどれほどの価値があるものなのかを考え、今後の開発などにおいて費用便益分析を行うときの参考にする。上記の調査研究においてはCVM、TCMという手法を利用して考えていく。この2つの手法は昨今環境問題を論じるときによく使用されている手法である。

我々はこの手法を利用して、汚染の著しい霞ヶ浦の水質価値およびレクリエーション価値を測定する。以前（財）河川環境管理財団において研究助成金を頂き研究を行った（1991年—1993年）が、この時はCVMの手法がまだ確立しておらず今から見るとバイアス等の問題点が存在する。このことから最近統計的手法を用いて行われている2段階2項評価方式を使用したいと考えている。この方式によりバイアスは大きく軽減されるであろう。また、我々の独自性としては、従来はWTPを求める事前評価が多々行われてきたが、我々はWTAを求める事後評価を行う。この結果として、逆水門を閉じたことによる評価が可能となるであろう。またTCMにより、レクリエーション価値を測定する。これも以前の研究で行ってはいるが、手法の発展および時代の変化により以前とは違った数値が出ることは自明であり比較、分析を行ってみる。

6. 結論と課題

6.1 結論

平成11年度の調査研究で得られた結論を要約すると下記ようになる。

本調査研究は、霞ヶ浦を対象として2つの視点から取り組んだ。一つは、CVMを用いた霞ヶ浦の環境価値を測定した。アンケート調査結果より、湖北流域全体の支払意思額（WTP）は、990,000,000 円/年、霞ヶ浦流域全体のWTPは、3,060,000,000 円/年、茨城県全体のWTPは、9,576,000,000 円/年である。WTPを決定するのは、年収と世帯人数でありそれぞれ高いほう多いほうがWTPの値が高いといえる。

さらに、水質改善を前提とした、霞ヶ浦に対する対策費としては現在の投入費に加え、湖北流域部では10億円/年、霞ヶ浦流域部では31億円/年、茨城県全体では96億円/年の財政投入余地があることがわかった。以上を受けて、本調査における結果は今後の霞ヶ浦浄化対策における一つの指標となりうる。

次に、従来の環境価値測定法の欠点を指摘し、それを補う手法の開発に取り組み、それを用いて霞ヶ浦のレクリエーション価値の測定を行った。これにより、従来の手法の欠点がわかり、今後はRPデータとSPデータを結合させた環境財測定を行うことが望まれる。この手法を用いることにより、より正確性を持つ環境財価値の評価と測定が可能となる。

6.2 今後の課題

自然環境財である霞ヶ浦の価値を測ることが本報告書の中心議題である。それに対して、現在最も多く利用されている方法であるCVMを用いてまず霞ヶ浦の「飲用価値」を測定した。次に、その最も利用されているCVMにも欠点はあるとして、それを補う新しい手法の開発に

取り組んだ。成果は前節の通りだが、付け加えて、これらの取り組みは霞ヶ浦を対象としてだけでなく、他の自然環境にも今後応用されていくべき成果を残したといえる。自然環境の破壊は現在大きな問題である。本報告書は社会工学的なアプローチにより自然環境の尊さを考えていった。本報告書が今後自然環境保全問題を考えていく上での一つのきっかけとなっていくことを期待する。

謝辞

研究科プロジェクト研究に関連する研究として（財）河川環境管理財団から、河川整備基金助成事業による調査研究を受け、ことに環境の経済的価値の評価と測定に関する研究を平行して進め、中間報告書にまとめた。

プロジェクト研究には、各教官の指導する学生等が多数参加した。ことに社会工学系安田研究室の水環境プロジェクトメンバーは、修士論文・卒業論文等に取り組み、また調査研究報告書の作成に参加、協力してくれた。河川環境管理財団及びプロジェクト研究の学生メンバーに感謝する。

筑波大学社会工学系安田研究室水環境プロジェクトメンバー：

勝田由佳子、兼光里果、沼田和敏、荒井康子、磯部真弓、渡辺昌明、樋山英和

引用文献

1. 学術論文

安田八十五・渡辺健（1980），流域下水道事業の費用負担に関する研究，地域学研究（日本地域学会誌），第10巻，昭和55年8月，pp103-118

安田八十五（1984），資源・環境開発事業の公平な費用配分，日本経済政策学会年報，第32巻，昭和59年5月，pp96-101

舟木賢徳・安田八十五（1994），生産高変化法による開発プロジェクトの事後評価－霞ヶ浦常陸川逆水門の事例研究－，環境科学会誌，第7巻第3号，平成6年8月，pp203-223

明石達郎・安田八十五（1994），リスク－便益分析による環境政策の評価と測定－高度浄水処理事業の事例研究－，日本リスク研究学会誌，第6巻第1号，平成6年12月，pp96-104

安田八十五・明石達郎（1995），小型合併処理浄化槽整備に関する公共政策の評価，浄化槽研究（日本環境整備教育センター），第7巻第1号，平成7年8月，pp35-43

安田八十五・舟木賢徳（1996），霞ヶ浦の水質改善政策の経済的評価－琵琶湖との比較研究にもとづいて－，MACRO REVIEW（日本マクロ経済学学会誌），第8巻第2号，平成8年3月，pp81-91

沼田和敏・安田八十五・古屋秀樹・岡本直久（2000），RPデータとSPデータの補完性を用いた環境財評価の妥当性の分析－霞ヶ浦の環境価値評価に関する事例研究－，環境経済・政策学会2000大会報告要旨集，平成12年9月

2. 調査研究報告書

安田八十五編著（1993）親水型水域環境整備の政策評価分析、河川整備基金助成事業調査研究報告書、（財）河川環境管理財団

安田八十五編著（1994）小型合併処理浄化槽整備の最適化政策に関する研究、（財）日本環境整備教育センター

