論文

生物活動による積雪中の窒素化合物の消費

鈴木啓助, 渡辺泰徳

要 旨

林冠環境の異なる3地点(コナラ林, アカマツ林, 林外)において, 積雪中の化学物質濃度および生物量の変化を調べた。積雪中の陰イオン濃度は, アカマツ林内でコナラ林内および林外よりも高くなっている。各地点とも積雪中の Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 濃度は, 融雪の進行によって低下する。しかしながら, 積雪中の PO_4^{3-} 濃度は, いずれの地点でも融雪最盛期に増加する。その濃度が, アカマツ林内とコナラ林内で林外よりも高いことから, 積雪中の PO_4^{3-} は有機物の二次生成物と考えられる。顕微鏡観察によると, 林内の積雪中には細菌・カビ・藻類の存在が認められるが, 積雪初期には低密度で, 融雪最盛期に増加する。積雪中のクロロフィルaとフェオフィチンaの濃度は, アカマツ林内においてコナラ林, 林外よりも高い。また, アカマツ林内およびコナラ林内のクロロフィルa濃度は, 融雪最盛期に増加し, 藻類が増加することを示している。積雪中のバクテリア数は, アカマツ林内>コナラ林内>林外の順であり, 融雪最盛期に多くなる。積雪融解試料による培養実験の結果, アカマツ林内の試料を明所に置いた場合のみ, NO_3^- 濃度が減少し, 25日目以降 NO_3^- が検出されない。積雪融解試料に緑藻を添加した培養実験では, アカマツ林内の試料で, 2週間でクロロフィルaとして $14.7\mu\text{g}/\ell$ の緑藻が増加した。この結果から窒素の消費量を見積もると, 藻類の増加によって積雪中からNとして $220\mu\text{g}/\ell$ が消費されたことになる。

キーワード: 温暖積雪地域, 雪氷藻類, クロロフィル, 燐酸, 培養実験

Key words: snowy temperate area, snow algae, chlorophyl, phosphate, incubation experiment

1. はじめに

積雪-融雪過程での化学物質の動態は, 積雪地域での物質循環や陸水環境を考える際に, きわめて重要な位置を占める。これまでの研究では, 積雪における化学物質の収支の見積もりから, 融雪時には, 積雪中から NO_3^- などの一部が消失すると報告されている(Hoham *et al.*, 1989; Jones, 1991; Suzuki *et al.*, 1994)。特に針葉樹林内の積雪において顕著であり, 林内降水中においても, 1日以内に NH_4^+ と NO_3^- の一部が消失すると報告されている(Suzuki *et al.*, 1994)。これらの研究では, Nを含むイオンのみが消失することから, 微生物による消費の可能性が指摘されている。空中に浮遊している細菌やカビなどの微生物が, 降水粒子に取り込まれて落下したり, 樹冠・樹幹上や土壌由来の各種微生物が, 乾性沈着などにより, 積雪中に堆積する可能性は高

い。その中で, 独立栄養生物である藻類の働きが, 雪氷中での化学物質の動態に関与していることが考えられる。

雪氷藻類に関する研究の歴史は古く, 高山地域や氷河上で稀にみられる「赤雪」などの着色した雪は, 雪氷藻類によるものであることが知られている(Kobayashi, 1967; Kol, 1968)。そして, Kol (1968)によれば, 雪氷藻類として110種が記載されている。雪氷藻類の中には, 5°C 以下の水温中で光合成速度が最大になる種類もある(Hoham, 1975)。さらには, 雪氷藻類の繁殖に最適なpHが, 種類ごとに異なることも知られている(Hoham and Mohn, 1985)。

近年は雪氷中における化学物質の動態に関する研究も急速に進展している。しかしながら, 化学物質の動態と雪氷藻類の相互関係を意識した研究は, これまでほとんど行われていない。雪氷藻類にとっては, 降水や乾性沈着などによって, 大気中からもたらされる窒素や燐が, 唯一の栄養塩類と考えられるし, 雪氷上に融解した液体の水の存在も必要不可欠と考えられる。また, 雪氷中の

化学物質の動態に、生物活動が関与しているとするれば、これまでのように物理・化学的な側面のみの研究では不十分である。

そこで、本研究では積雪中の微生物活動と化学物質の挙動に関する予備的な観察と実験を行い、興味ある結果が得られたので報告する。

2. 研究方法

積雪試料の採取および積雪・融雪に関する調査は、福島県南会津郡田島町の東京都立大学学外施設周辺において行った。当地域の植生は、コナラ・ミズナラを主とする落葉広葉樹二次林が優占し、一部にアカマツ林が分布する。調査期間は、1994年12月から1995年4月にかけての冬季間である。

気象観測露場は、学外施設近傍の標高754mの尾根部に設置した。露場において、気温を通風型の白金抵抗測温体で、積雪深を雪面反射光式積雪深計 (KADEC-S6) で、降水量を転倒マス式雨雪量計で自動計測した。また、融雪水量を、2m×2mの積雪ライシメータと転倒マス式流量計によって自動計測した。

コナラ林内とアカマツ林内および林外において、積雪期間中に1~2週間ごとに、積雪全層をAdirondack式採雪器で採取した。コナラは冬季に落葉するが、アカマツは冬季も落葉しないため、林冠環境が両地点で大きく異なる。積雪試料は、融解後ガラス繊維濾紙 (Whatman: GF/F) で濾過し、濾紙上の粒状物質について有機炭素、有機窒素、有機燐および植物色素の分析を行った。有機炭素と有機窒素はCHNコーダー (Yanaco, MT-5) で、また、有機燐は、過硫酸カリウムで酸化分解後、モリブデン青法で定量した。植物色素は、メタノール抽出後、蛍光法によりクロロフィルaとフェオフィチンaを測定した。積雪融解試料の一部はグルタルアルデヒドで固定し、DAPI染色した後、蛍光顕微鏡を用いて生物観察とバクテリアの計数を行った。さらに、積雪融解試料の濾液中の主要化学物質濃度はイオンクロマトグラフ (DIONEX: 2020 i/SP) で、 PO_4^{3-} 濃度はモリブデン青法で測定した。

さらに、積雪中の化学物質による生物繁殖の可能性を調べるため室内実験を行った。コナラ林内、アカマツ林内および林外で採取した積雪試料を融解し、それぞれ200ml づつ2個の三角フラスコに入れ、ひとつを日中は陽の射す窓際 (明所)、もうひとつを暗所に置いた。両者とも温度条件は約20℃に設定した。そして、数日間ごとにそれぞれの試料から10mlを採取し、イオンクロマトグラフにより主要化学物質濃度を測定した。

また、コナラ林内、アカマツ林内および林外で採取した積雪の融解試料に、諏訪湖で採取した緑藻 (*Scenedesmus*) を培養した。初めに、それぞれの試料のクロロフィルaを測定し、温度約20℃の明所に2週間置いた後、再びそれぞれの試料のクロロフィルaを測定した。

3. 結果および考察

3.1 調査期間の気象条件

1994~95年冬季の調査地における降水量、気温、積雪深、融雪水量の変化を図1に示す。降水量は、気温3℃を閾値として、降雨と降雪に分別して図示した。気温は日最高気温と日最低気温を図示した。積雪深は毎日9時の値を図示した。また、融雪水量は1日当たりの流出高として示した。

図1 調査地における日降水量 (Pr)、日最高・最低気温 (Ta)、積雪深 (HS)、積雪下面融雪水量 (RO) の変化

Fig. 1 The variations of daily precipitation (Pr), air temperature (Ta), snow depth (HS) and snowmelt runoff (RO) during the winter season in 1994-1995.

1994年12月5日に冬型の気圧配置のもとで、日降水量31.0mmの降雪を記録し、12月6日から今冬季の積雪継続期間に入った。12月中は、気温の上昇や降雨のために頻繁に融雪が起こっている。しかし、1月に入ってから降雨もほとんどなく、順調に積雪深が増加し、2月1日に1994~95年冬季の最深積雪深139cmを記録した。研究対象地域は温暖積雪地であり、冬季間にも気温の上昇

や降雨により融雪が頻繁におこる(鈴木, 1995)。しかしながら, 1995年の1, 2月, 降雨の観測された回数も少なく, 積雪下面に達する融雪が, 明瞭には起こっていない。さらに, 2月中の降雪量も少なく, 3月上旬まで積雪深は約1m前後で安定している。3月15日には, 対象地域が移動性高気圧に覆われ, 最高気温が10℃を超え活発な融雪が起こり, 17日に1994~95年冬季の最大日降雪量48.7mmを記録している。その後は周期的に活発な融雪があり, 4月7日に積雪が消失した。

3.2 積雪中における陰イオン濃度の変化

コナラ林内とアカマツ林内および林外において採取した, 積雪全層中の陰イオン濃度の変化を, 採取時の積雪深の変化とともに図2に示す。

図2 林外, コナラ林内およびアカマツ林内における積雪深と積雪中の陰イオン濃度の変化

Fig. 2 The variations of snow depth (HS) and anion concentration of total snow pack at the open site, the deciduous forest site and the coniferous forest site.

前述のように, 2月初頭まで積雪深は増加するが, この間は, 林外>コナラ林内>アカマツ林内の順で積雪深が大きい。その後, 3月14日までは積雪下面での融雪量が少なく, 各地点での積雪深も安定して推移する。しかしながら, 2月3日から17日にかけて, 林外の積雪深の低下量が大きく, 17日以降はアカマツ林内の積雪深と同程度になっている。これは, 2月3日から17日にかけては晴天の日が多く, 林外の積雪表面で, コナラ林内より

も, 圧密が進んだためと考えられる。3月14日以降は, 融雪が進行し各地点で積雪深が減少する。その際に, 林外の方がアカマツ林, コナラ林よりも積雪深の低下速度が大きいのは, 積雪表面に達する日射量の差異によると考えられる。

積雪中の Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 濃度は, いずれもアカマツ林内で, コナラ林内および林外よりも高くなっている。また, コナラ林内と林外では, 本格的な融雪が始まるまでは, これらの陰イオン濃度がほとんど同じ値を示す。冬季間はコナラ林は落葉しており, 積雪中への陰イオンの集積に, 樹冠の影響が無いといえる。一方, アカマツ林は冬季間も枝葉面積が大きく, 積雪中への陰イオンの集積を大きくしている。つまり, 降雪が枝葉に一時貯留される際に, 蒸発の効果でイオン濃度が濃縮されたり, 乾性沈着による化学物質の捕集を枝葉がより効率的に行い, 降水時にはそれらを取り込みながら落下するために, アカマツ林内の積雪中で陰イオン濃度が高くなると考えられる。なお, 融雪期前の主要陰イオン濃度で, イオンによって増減に差異が見られるのは, 降水時の濃度の変動によるものである。降水時の化学物質濃度変動については, 稿を改めて報告する。

本格的な融雪が始まるまで, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 濃度に大きな差異の認められないコナラ林内と林外で, 融雪時には濃度に差異が生じる。いずれも, 林外で濃度の低下が速い。これは, 前述のように, 林外で融雪の進行速度が速いことに対応する。各地点とも積雪中の Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 濃度は, 融雪によって低下する。

積雪中の PO_4^{3-} 濃度は, 他の主要な陰イオン濃度とは異なる変動を示す。アカマツ林以外では, 12月から2月にかけての積雪中では, PO_4^{3-} 濃度は検出限界以下の低濃度である。アカマツ林内においても, 本格的な融雪が始まるまで, 積雪中の PO_4^{3-} 濃度は低く安定しているが, 融雪時には次第に濃度が増加している。コナラ林内の積雪中では2月28日から, 林外の積雪中では3月14日から PO_4^{3-} 濃度が検出され, いずれも時間の経過とともに増加する傾向にある。積雪中における PO_4^{3-} の供給源として, 有機物の微生物分解による生成の可能性が指摘されている(Jones and Sochanska, 1985)が, 本研究においても, アカマツ林内やコナラ林内で, PO_4^{3-} 濃度が高いことから, 積雪中に検出される PO_4^{3-} は有機物の分解による二次生成物と考えられる。

3.3 積雪中における生物量の変化

積雪中における生物量の指標として, クロロフィルaとフェオフィチンa濃度およびバクテリア数を測定した。それぞれの, 林外, コナラ林内, アカマツ林内の積雪中

図3 林外, コナラ林内およびアカマツ林内における積雪中のクロロフィルa, フェオフィチンa濃度と両者の比およびバクテリア数の変化

Fig. 3 The variations of the concentrations of chlorophyll-a and phaeophytin-a, the ratio of chlorophyll-a / phaeophytin-a and the amount of bacteria in total snow pack at the open site, the deciduous forest site and the coniferous forest site.

における変化を図3に示す。積雪中のクロロフィルaは光合成を行う藻類あるいは植物の生物量に対応し、フェオフィチンaはそれらの藻類が活性を失った量および落葉中のクロロフィル分解産物量を示すと考えられる。

積雪中のクロロフィルa濃度は、アカマツ林内でコナラ林内や林外よりも高い。林外の積雪中のクロロフィルa濃度は、対象期間を通してきわめて低い値を示す。コナラ林内の積雪中のクロロフィルa濃度も、3月中旬までは林外同様低い値を示すが、融雪最盛時には $0.2 \sim 0.3 \mu\text{g/l}$ になる。アカマツ林内の積雪中では、対象期間を通してクロロフィルa濃度が $0.2 \mu\text{g/l}$ を上回り、1月初旬までの積雪初期と融雪最盛期には $0.8 \mu\text{g/l}$ にまで達する。また、2月の最寒時には、アカマツ林内でもクロロフィルa濃度が低下する。このことから、アカマツ林内においても、積雪中に融雪水の存在する時期のみ、藻類の活動が活発であることが推察できる。林外の積雪中では、融雪最盛期にも藻類の活動の痕跡を確認することができない。一方、コナラ林内では、融雪最盛期には積雪中である程度の藻類の存在が認められる。

積雪中のフェオフィチンa濃度は、林外では対象期間を通してきわめて低い値を示す。コナラ林内でも3月中

旬までは値が小さく、融雪最盛期に $2 \mu\text{g/l}$ 前後のフェオフィチンa濃度を示す。アカマツ林内の積雪中のフェオフィチンa濃度は、3月中旬までは $3 \mu\text{g/l}$ 前後で安定し、融雪最盛期には $8 \mu\text{g/l}$ まで増大する。積雪中のクロロフィルa濃度は、アカマツ林内では積雪期の初期にも比較的高濃度であるが、フェオフィチンa濃度には積雪期初期の高濃度が観測されない。フェオフィチンaはクロロフィルの分解産物の指標と考えられ、クロロフィルa濃度とフェオフィチンa濃度の比は、活性のある藻類で高く、分解途上のもので低くなる。湖沼のプランクトンなどでは、この比が通常1~10の範囲のことが多い。しかしながら、本研究ではいずれの試料でも比は0.4以下であり、一般の陸水に比べて藻類の活性が低いことがわかる。また、積雪中への樹皮などの混入が、この比を低くしている可能性もある。

積雪中のバクテリア数は、一部の試料については測定することができず、図3に示す試料についてのみ測定した。いつの時点においても、積雪中のバクテリア数は、アカマツ林内>コナラ林内>林外の順であり、どの地点でも積雪初期から時間の経過とともに増加する傾向にある。バクテリアは従属栄養生物であるため、積雪中の有機物を消費して増殖するが、融雪期にクロロフィルa濃度が大きい試料中では、藻類などの増加によって固体数が増えるものと考えられる。

顕微鏡による定性的な観察では、特に林内の積雪中に各種の微生物の存在が確認される。主なものとしては、従属栄養生物である菌(カビ)類と細菌類、独立栄養生物であるシアノバクテリア(らん藻)と珪藻・緑藻である。前者は、有機物を栄養源として増殖するので、積雪初期の積雪中での存在は、樹冠・樹幹上に生育していたものが落下することによってと考えられる。しかし、融雪期の試料中には、明らかにその場で増殖したと考えられる細菌のコロニーや伸長した菌類が、有機物破片上に観察される。光合成生活を送る後者の群も、積雪初期には積雪中で増殖するとは考え難く、樹冠・樹幹上で生育していたものが降水時に落下したり、土壌表面で生育していたものが風によって舞い上げられたりしたものと考えられる。積雪初期には珪藻類が比較的多いが、融雪期の林内試料では緑藻とらん藻の比率がやや高い傾向が見られる。

3.4 積雪融解試料の培養実験

培養実験に用いた積雪試料は、融雪最盛期初期の3月21日に採取した。それぞれの地点における積雪試料の初期条件として、濾液中の陰イオン濃度、試料中に粒状で含有する有機炭素、有機窒素、有機燐の各濃度およびク

表1 培養実験に用いた積雪融解試料の初期条件

Table 1 Initial conditions of snow meltwater for the incubation experiment.

site	solution ($\mu\text{eq/l}$)				particle ($\mu\text{g/l}$)			pigment ($\mu\text{g/l}$)	
	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Org-C	Org-N	Org-P	Chl-a	Phaeo-a
open	14.2	2.8	4.5	1.1	945.0	44.6	3.6	0.01	0.27
deciduous	25.9	4.4	9.7	1.5	2972.5	153.8	8.7	0.17	1.72
.../open	(1.8)	(1.6)	(2.2)	(1.4)	(3.1)	(3.4)	(2.4)	(17.0)	(6.4)
coniferous	35.7	5.9	13.3	2.2	3213.3	207.5	12.1	0.44	3.69
.../open	(2.5)	(2.1)	(3.0)	(2.0)	(3.4)	(4.7)	(3.4)	(44.0)	(13.7)

クロフィル a, フェオフィチン a 濃度を表1に示す。ここに示したすべての項目について、その濃度が、アカマツ林内>コナラ林内>林外の順になっている。コナラ林内とアカマツ林内のそれぞれの濃度については、林外の濃度との比も付記した。陰イオン濃度および有機炭素、有機窒素、有機燐化合物の各濃度は、コナラ林内で林外に比べて1.4~3.4倍、アカマツ林内で2.0~4.7倍と高い値を示す。さらに、有機炭素、有機窒素、有機燐化合物の各濃度は、陰イオン濃度に比べて倍率が高くなっている。一方、藻類の活動に関連するクロロフィル a 濃度は、林外に比べてコナラ林内で17倍、アカマツ林内では44倍にも達している。化学物質濃度の林外との差異にも増して、藻類の繁殖は、林内で林外よりも格段に活発である可能性を示している。

積雪融解試料による培養実験の結果を図4に示す。いずれの試料においても、 Cl^- 濃度は培養実験によってほとんど変化しない。林外とコナラ林内の試料については、 SO_4^{2-} 濃度もほとんど変化しない。アカマツ林内の積雪融解試料の SO_4^{2-} 濃度については、暗所の試料ではほとんど変化しないが、明所の試料では31日間で $13.3 \mu\text{eq/l}$ から $11.5 \mu\text{eq/l}$ まで濃度が減少し、約14%の SO_4^{2-} が消失したことになる。Hoham *et al.* (1989) によっても、藻類の繁殖する積雪中で、 SO_4^{2-} 濃度の減少が測定されており、藻類の同化作用による SO_4^{2-} の消費が考えられる。

アカマツ林内の積雪融解試料の NO_3^- 濃度は、 Cl^- や SO_4^{2-} 濃度とは大きく異なる変化を示す。暗所に置いた試料では、31日経過後もほとんど変化しないが、明所に置いた試料では、約2週間経過後から NO_3^- 濃度が減少を始め、25日目以降は NO_3^- が検出されない。初期条件としては、アカマツ林内の積雪融解試料の濾液には $5.9 \mu\text{eq/l}$ の NO_3^- が含まれていた。25日間で $5.9 \mu\text{eq/l}$ の NO_3^- が消費されたことになる。明所の試料のみから NO_3^- が消費されていることから、藻類による消費が考えられる。コナラ林内の試料中にも、初期条件で 4.4

図4 培養実験による積雪融解試料中の陰イオン濃度の変化

Fig. 4 Concentration changes of anionic species in the snow meltwater by the incubation experiment.

$\mu\text{eq/l}$ の NO_3^- が含まれているにもかかわらず、明所の試料からも NO_3^- 濃度の減少が認められない。コナラ林内の積雪試料中には、初期の段階で藻類が存在しなかった可能性もあるが、藻類の繁殖には PO_4^{3-} が必須であり、 PO_4^{3-} 濃度の差異が制限要因になっている可能性がある。

3.5 積雪融解試料中の緑藻の培養実験

林外、コナラ林内、アカマツ林内で採取した積雪の融解試料に、緑藻 (*Scenedesmus*) を添加し、明所に2週間培養した後の藻類の増加量を、クロロフィル a の増加量として測定し、表2のような結果を得た。コナラ林内の積雪試料でも、アカマツ林内の積雪試料の約1/2の藻類の増加が測定される。さらに、林外の積雪試料でも、藻類を添加すれば、アカマツ林内の積雪試料の約2割の藻類の増加が認められる。

次に、この培養実験結果に基づいて、アカマツ林内の積雪試料からの窒素の消費量を見積もる。藻類中のクロロフィル a 量は有機炭素の1%で、窒素は炭素の15%と仮定すると、藻類の増加によって、アカマツ林内の積雪中から、Nとして $220 \mu\text{g/l}$ が消費されたことになる。これがすべて NO_3^- とすれば $16 \mu\text{eq/l}$ に相当する。実際には、アカマツ林内の積雪試料の濾液中には $5.9 \mu\text{eq}$

表2 緑藻 (Scenedesmus) の添加による培養実験の結果

Table 2 Results of the incubation experiment with Scenedesmus.

site	increase of chlorophyll-a ($\mu\text{g/l}$)
open	3.3
deciduous	7.3
coniferous	14.7

/lの NO_3^- があり, Nに換算すれば $83\mu\text{g/l}$ にすぎない。藻類の消費量はこれを上回るが, 積雪試料中の粒子状物質として, 有機態のNが $207.5\mu\text{g/l}$ あり, Nとしては賄えることになる。コナラ林内の積雪試料中にも, Nとして $215\mu\text{g/l}$ が含まれていながら, 藻類の増加によるNの消費量は $110\mu\text{g/l}$ にすぎない。アカマツ林内とコナラ林内の積雪試料による緑藻の培養実験結果の差異は, 緑藻の添加量は同量であるから, 両者のわずかな PO_4^{3-} 濃度の差(3割強)が, 制限要因になっている可能性がある。

4. まとめ

温暖積雪地域の, 林冠環境の異なる3地点(コナラ林, アカマツ林, 林外)において, 積雪中の化学物質濃度および生物量の変化を調べた。さらに, 積雪融解試料を用いて, 積雪試料のみの場合と緑藻を添加した場合の培養実験を行った。

積雪中の陰イオン濃度は, アカマツ林内でコナラ林内および林外よりも高くなっている。これは, 針葉樹の枝葉による濃縮効果や, 乾性沈着物質の補集効果によると考えられる。各地点とも積雪中の Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 濃度は, 融雪の進行によって低下する。しかしながら, 積雪中の PO_4^{3-} 濃度は, いずれの地点でも1, 2月中は低濃度で, 融雪最盛期に増加する。その濃度が, アカマツ林内とコナラ林内で林外よりも高いことから, 積雪中の PO_4^{3-} は, 有機物の二次生成物と考えられる。

積雪中のクロロフィルaとフェオフェチンaの濃度は, アカマツ林内においてコナラ林, 林外よりも高い。また, アカマツ林内およびコナラ林内のクロロフィルa濃度は, 融雪最盛期に増加し, 藻類の活動が積雪中に液体の水が存在する融雪時に活発になることを示している。積雪中のバクテリア数は, アカマツ林内>コナラ林内>林外の

順であり, 融雪最盛期に多くなる。

積雪融解試料のみによる培養実験の結果, アカマツ林内の試料を明所に置いた場合のみ, NO_3^- 濃度が減少し, 25日目以降 NO_3^- が検出されない。アカマツ林内の試料を明所に置いた場合には, 試料中の SO_4^{2-} 濃度も僅かに減少し, 31日間で約14%の SO_4^{2-} が消失する。

積雪融解試料に緑藻を添加した培養実験によれば, アカマツ林内の試料では, 2週間でクロロフィルaとして $14.7\mu\text{g/l}$ の緑藻の増加があった。この結果から窒素の消費量を見積もると, 藻類の増加によって, アカマツ林内の積雪中から, Nとして $220\mu\text{g/l}$ が消費されたことになる。これは, 積雪融解試料の濾液中の NO_3^- のみでは賄えず, 粒子状物質として含まれる有機態窒素の寄与が必要である。コナラ林内の積雪融解試料にも窒素がありながら, 緑藻の増加量がアカマツ林内の約1/2にすぎないのは, 積雪融解試料中の PO_4^{3-} 濃度が制限要因になっている可能性がある。

今後は, アカマツ林内やコナラ林内で融雪期に増殖する藻類の同定を行い, 繁殖の制限要因の可能性のある PO_4^{3-} 濃度についても, その値を変数とする培養実験などを行う必要がある。積雪中の化学物質の挙動と微生物活動の相互関係を調べる試みは, まだ始まって間もないが, 窒素酸化物による降雪の酸性化が, 微生物の増殖を促したり, 逆に毒性物質が抑制することも考えられる。雪氷上での藻類の増殖は, アルビードを低下させ, 雪氷の融解に正のフィードバックをもたらすことが考えられ, 地球温暖化に関連しても, 今後さらに研究を進展させるべき課題のひとつである。

謝辞

本研究の一部には, 文部省科学研究費補助金・一般研究(B)(課題番号: 06453198, 研究代表者: 鈴木啓助)の一部を使用した。

文 献

- Hoham, R. W., 1975: The life history and ecology of the snow algae *Chloromonas pichinchae* (Chlorophyta, Volvocales). *Phycologia*, **14**, 213-226.
- Hoham, R. W. and Mohn, W. W., 1985: The optimum pH of four strains of acidophilic snow algae in the genus *Chloromonas* (Chlorophyta) and the possible effects of acid precipitation. *Journ. Phycology*, **21**, 603-609.
- Hoham, R. W., Yatsko, C., Germain, L. and Jones,

- H. G., 1989: Recent discoveries of snow algae in Upstate New York and Quebec Province and preliminary reports on related snow chemistry. Proceedings of the 46th Annual Eastern Snow Conference, 196-200.
- Jones, H. G., 1991: Snow chemistry and biological activity: a particular perspective on nutrient cycling. Seasonal Snowpacks, eds. Davies, T. D., Tranter, M. and Jones, H. G., Springer-Verlag, 173-228.
- Jones, H. G. and Sochanska, W., 1985: The chemical characteristics of snow cover in a northern boreal forest during the spring runoff period. Ann. Glaciol., **7**, 167-174.
- Kobayashi Y., 1967: Coloured snow with Chlamydomonas nivalis in the Alaskan arctic and Spitzbergen. Bull. Nat. Sci. Mus. Tokyo, **10**, 207-210.
- Kol, E., 1968: Kryobiologie. Biologie und Limnologie des Schnees und Eises I. Kryovegetation. eds. Elster, H.-J. and Ohle, W. Die Binnengewasser, **24**, 216pp.
- 鈴木啓助, 1995: 温暖積雪地における渓流水質変動. 地学雑誌, **105**, 1-14.
- Suzuki, K., Ishii, Y., Kodama, Y., Kobayashi, D. and Jones, H. G., 1994: Chemical dynamics in a boreal forest snowpack during the snowmelt season. Snow and Ice covers, eds. Jones, H. G., Davies, T. D., Ohmura, A. and Morris, E. M., IAHS, 313-322.

Consumption of nitrogen compound from snowpack by microbiological activity

Keisuke SUZUKI and Yasunori WATANABE
Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University,
Minami-Ohsaka1-1, Hachioji 192-03, Japan

Abstract: The variations of anion concentration and biological activity in the snowpacks were studied at an open site, a deciduous forest site and a coniferous forest site. Concentrations of major anions in the snowpack are higher at the coniferous forest site than at both the open site and the deciduous forest site. Concentrations of major anions gradually decrease as the snowmelt progressed. Concentration of PO_4^{3-} in the snowpack increases as the snowmelt progressed. Concentration of chlorophyll-a in the snowpack is higher at the coniferous forest site than at both the open site and the deciduous forest site. Concentrations of chlorophyll-a in the snowpack at both deciduous and coniferous forest site increase during the snowmelt season. Activity of snow algae is considered to be large during the snowmelt season.

By the incubation experiment, NO_3^- of the sample collected at coniferous forest site is consumed probably by the snow algae. Consumption of nitrogen by *Scenedesmus* is estimated by the incubation experiment as $220 \mu\text{g}/\ell$ from the snow-pack.

(1995年11月2日受付, 1996年1月30日改稿受付, 1996年2月3日受理, 討論期限1997年1月10日)