

## 環境負荷の軽減方法を探るための実験から

金子有子・籠谷泰行<sup>1)</sup>・徳地直子<sup>2)</sup>・草加伸吾

### 要約

より環境負荷の小さな森林施業方法を検討するため、高島市に小面積実験区を設け、異なる方法で森林を管理し、伐採方法や伐採後の処理の違いによる物質循環への影響の違いを調査した。実験処理区は、1) 植生除去区(伐採後、再生してくる植生を常に除去した状態で管理する)、2) 遮光遮熱区(伐採後、再生植生を除去すると共に、遮光遮熱シートで被陰して地表温度の上昇を抑えた状態で管理する)、3) 植生導入区(伐採後、自然に再生してくる植生を保持すると共に人為的な植生導入も行い、植生の早期回復を促進する)、4) 下部残存区(硝化の盛んな斜面下部を緩衝帯として伐り残し、斜面中・上部は伐採後植生除去処理)、5) 対照区(何も手を加えない非伐採区)の5通りである。土壌中の無機態窒素動態については、伐採後の土壌無機態窒素現存量は植生除去区=遮光遮熱区=植生導入区>>下部残存区=対照区、土壌無機態窒素生成速度は植生導入区>植生除去区=遮光遮熱区>>下部残存区=対照区の順であった。いずれも下部を切り残した処理区と対照区との間には有意な違いがみられなかった。これらの結果から、斜面下部への緩衝帯の設置が環境負荷を軽減する効果を持つことが示された。また、伐採後早期に下層植生を導入することによって植生の回復に伴う窒素吸収が生じ、伐採攪乱の継続時間を短く抑えることが可能であることが示唆された。土壌浸透水質では、硝酸態窒素濃度が伐採後有意に増加することや斜面中部は斜面下部より硝酸態窒素濃度が低い傾向が再確認された。下部残存区での硝酸態窒素濃度は実験処理区の中で最も低く、伐り残された斜面下部では盛んな硝化が起こらず、斜面上中部からの側方浸透流の影響も緩和されていた。植生の早期導入は、夏場の流出を秋に遅らせる効果は見られたものの、流出を止めるほどの効果はなかった。これらの結果から、間伐や皆伐の際に斜面下部を伐らずに残すことが、伐採後の硝酸態窒素の生成と流出を抑制する上で極めて有効であることが明らかになった。土壌ガス代謝については、伐採による変動要因を推定するため、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oについて年間発生・吸収量を求めた。年間CO<sub>2</sub>発生量においては、既存植生および伐採後の再生植生が除かれることによる効果(主に根の呼吸量の減少分)が-29%、伐採後の土壌温度上昇により有機物の分解が促進されることの影響が+24%と推定された。

### 1. はじめに

プロジェクト研究「環境負荷の軽減を図るための森林管理方法の検討」では、平成14-17年度にわたり、森林の環境創造機能を維持しながら木材生産を行うためにはどのような施業方法が望ましいのかを探るため、流出窒素汚濁負荷等の環境負荷を軽減する可能性のある森林管理方法の検証を目的として、森林伐採に伴って起こる硝酸態窒素流出の原因解明を目指した野外

での小面積実験を実施した(金子、2004a;金子、2004b;金子・徳地、2006a)。

本稿では、主要な研究項目に関する実験結果の一部から、小面積実験区における森林管理の影響を各項目別に報告する。3節は徳地、4節は草加、5節は籠谷と共同で金子がまとめ、1、2節と全体は金子がまとめた。

### 2. 方法

#### 2.1 小面積実験の概要

1) 滋賀県立大学

2) 京都大学フィールド科学教育研究センター

小面積実験では、窒素を中心とした物質循環系の変動機構に重点を置いた。これまでの流域伐採実験による研究等から、土壌浸透水や森林流出水における硝酸態窒素濃度上昇の主要な要因としては、以下の2つが考えられている。1) 伐採によって無機態窒素を吸収していた植物体が失われ、植生による吸収量が減少するため、渓流水へ窒素等が流亡する。2) 伐採跡地では直射日光により地表面が暖められ、地温上昇によって微生物活性が高まることで地表での窒素無機化が盛んになり、土壌から流亡しやすい形態である硝酸態窒素の生成が促進されるため、窒素の流亡が促進される。しかし、植生の再生と共にこれらの影響は消失し、渓流水の水質も回復する。

そこで、小規模実験では、2要因のそれぞれがどの程度寄与していたかを知るため、実験処理として、①伐採後、再生してくる植生を常に除去した状態で管理する、②伐採後、再生植生を除去すると共に、遮光遮熱シートで被陰して地表温度の上昇を抑えた状態で管理する、③伐採後、自然に再生してくる植生を保持すると共に人為的な植生導入も行い、植生の早期回復を促進する、④何も手を加えない、の4通りの方法で各実験区を管理した。これらの処理の組み合わせにより、異なる5つの方法で森林を管理することとした。1) 植生除去区(伐採後処理①)、2) 遮光遮熱区(伐採後処理②)、3) 植生導入区(伐採後処理③)、4) 下部残存区(硝化の盛んな斜面下部を緩衝帯として伐り残し、斜面中部より上方のみを伐採し、伐採した斜面中部より上方は伐採後処理①)、5) 対照区(非

伐採区、処理④)である。これらの処理の影響を比較することにより、1) - 2)からは温度の効果、3) - 1)からは植物の吸収効果の評価を試みた(表1)。また、斜面下部に非伐採区を設けることの効果や硝酸態窒素の吸収能力が高い植物を導入することの効果もあわせて評価しようとした。斜面下部に非伐採区を設けることは、水辺域を保護する欧米等の森林管理指針に習った。高島市におけるこれまでの流域伐採試験でも、土壌浸透水の観測結果から、伐採後、斜面上部では硝酸態窒素はほとんど発生せず、斜面中下部、特に下部で硝化が激しく起こっていることが示されている(Kusaka & Hamabata, 2001a)。

## 2. 2 調査地の概要

調査地は、滋賀県高島市朽木麻生にある高島市森林公園「くつきの森」内に設定した。調査地の植生はコナラの優占する落葉広葉樹二次林である。2002年4月に、ほぼ同一方向の連続した森林斜面A、B、Cに、幅10m、斜面方向に長さ30mの実験区をそれぞれ7、6、4区画、合計17区画設置した。そのうちの15区画に、5通りの処理区をそれぞれ3区画ずつ設置した(金子、2004a; 金子、2004b)。小面積実験区では、2003年12月5日から実験区内の伐採作業が開始され、12月中に伐採区画の全木伐倒が完了した。そして、積雪期をはさみ2004年3月中旬までに伐倒した材の搬出が完了した。実験区毎の処理作業は2004年4月に開始し、2006年3月まで継続した。

野外実験において各処理を行う実験区の配置については、伐採前の各調査項目のデータを検

表1 異なる処理方法の概要と影響評価

処理	処理区名	伐採	伐採後の処理方法				影響評価	
			植生除去	遮光遮熱	萌芽更新	植生導入	温度効果	植物吸収効果
1	植生除去区	○	○	×	×	×	○	×
2	遮光遮熱区	○	○	○	×	×	×	×
3	植生導入区	○	×	×	○	○	○	○ (再生・導入植生)
4	対照区	×	×	×	×	×	×	◎ (既存植生)

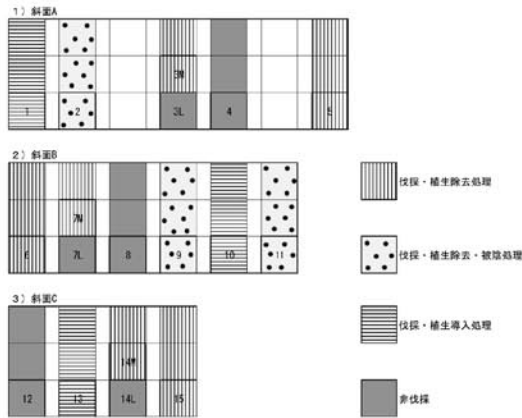


図1 小面積実験区における各処理の配置

討したところ、斜面A、B、C間で無機態窒素の生成速度や土壌浸透水の濃度等に違いが見られたため、斜面毎にすべての処理の実験区が含まれるように配置した(図1、写真1)。各調査項目についてキャリブレーションを行い、処理間の伐採前の初期条件を評価した結果、処理実施前には処理間で大きな違いがなく、処理実施後に生じる処理間での違いを処理による違いであるとみなせることが確認された(金子・徳地、2006a)。

### 3. 土壌窒素動態からの評価

#### 3.1 目的

森林皆伐が森林の水土保持機能に与える影響に関しては、旧琵琶湖研究所のプロジェクト研究をはじめとして国内外での研究例があるが、現在、木材価格の低迷などによる林業不振や森林の環境保全機能の低下への危惧から、皆伐施業は減ってきている。また、現在必要とされている間伐などの森林管理が森林の環境保全機能に与える影響を推察するには皆伐の結果を用いるのは適当とはいえない。さらに、戦後に行われた大面積一斉造林地はもはや間伐が必要な林齢を過ぎ、なんらかの施業が必要であると考えられる。そこで本研究では、間伐などの森林施業が森林の環境保全機能への与える影響評価の把握と、より環境負荷の低い森林施業方法の開



写真1 小面積実験区全景(2004年8月撮影)

(グラビア6頁参照)

発を目的とした。17年度は16年度まで行ってきた研究で提案された伐採方法や、伐採後の植栽樹種の結果を踏まえ、伐採後の土壌中の窒素の動態の変化について示し、伐採により窒素流出量を規定する要因および、伐採攪乱の継続時間について考察を行った。

#### 3.2 方法

土壌窒素動態の調査は2002年6月に開始した。各実験区において、 $A_0$ 層を除く0-10cmの土壌を採取した。土壌サンプルの繰り返し数は3である。採取された土壌サンプルは実験室に持ち帰り、24時間以内に粗大有機物と根はハンドソーティングにより取り除き、その後2mmの篩で篩い、生土の細土を得た。生土の細土は2MKClを約1:10(w/w)になるように加えて、1時間浸透後、No.6(Advantec社製)のろ紙でろ過し、ろ液を得た。また、生土細土数gを105°Cで24時間乾燥させ、乾燥前後の重量変化から含水率を求めた。

土壌中の無機態窒素の現存量は、2MKCl抽出液について、アンモニア態窒素はインドフェノール法、硝酸態窒素はスルファニルアミド・ $\alpha$ -ナフチルエアミン法の比色法により、オートアナライザー3(ブランルーベ社製)を用いて、それぞれの濃度を測定した。

また、純無機化速度、および、純硝化速度を

測定するため、採取され、篩別された生土を、最大容水量の60%になるように水分を調整し、25°Cの暗条件下で28日間培養した。培養期間中はほぼ1週間に1度、水分を調整した。実験培養後は上記と同様に2MKCl溶液で抽出し、抽出液を得た。抽出液中のアンモニア態窒素および硝酸態窒素を分析し、初期の値を引いて、培養期間中の無機態窒素の生成速度とした。

### 3.3 結果

#### 3.3.1 土壌無機態窒素現存量の変化

伐採の前後で土壌中の無機態窒素の現存量を比較した(図2)。土壌中の無機態窒素の現存量は2002年、2003年に比べ、伐採後の2004年には増加した。その後、2005年には植生導入区において、無機態窒素現存量は著しく減少した。その他の処理では大きな違いは見られなかった。

無機態窒素の現存形態も、伐採前のアンモニア主体から硝酸態主体に変化した。無機態窒素の現存量の増加は、施業方法により異なった。伐採後の無機態窒素現存量は、植生導入区=植生除去区=遮光遮熱区 > (下部残存区中部(M)=下部残存区下部(L)=対照区)の順であった。2005年は無機態窒素現存量に大きな違いがみられなかった植生導入区を除いて、主要な形態に違いはみられなかった。一方、2005年に無機態窒素現存量の減少がみられた植生導入区では主要な形態も、伐採前同様のアンモニア態を主体とする組成にもどった。

#### 3.3.2 土壌の窒素無機化特性の変化

伐採の前後で土壌中の窒素無機化特性を比較した(図3)。土壌中の窒素無機化特性は、2002年に比べ、2003年、伐採後の2004年には高まった。伐採に関わらず2003年、2004年に大きな違いはみられなかった。しかし、生成される無機態窒素の形態は、伐採前のアンモニア主体から硝酸態主体に変化した。無機態窒素の現存量の増加は、施業方法により異なった。伐採後の無機態窒素生成速度は、植生導入区>植生除

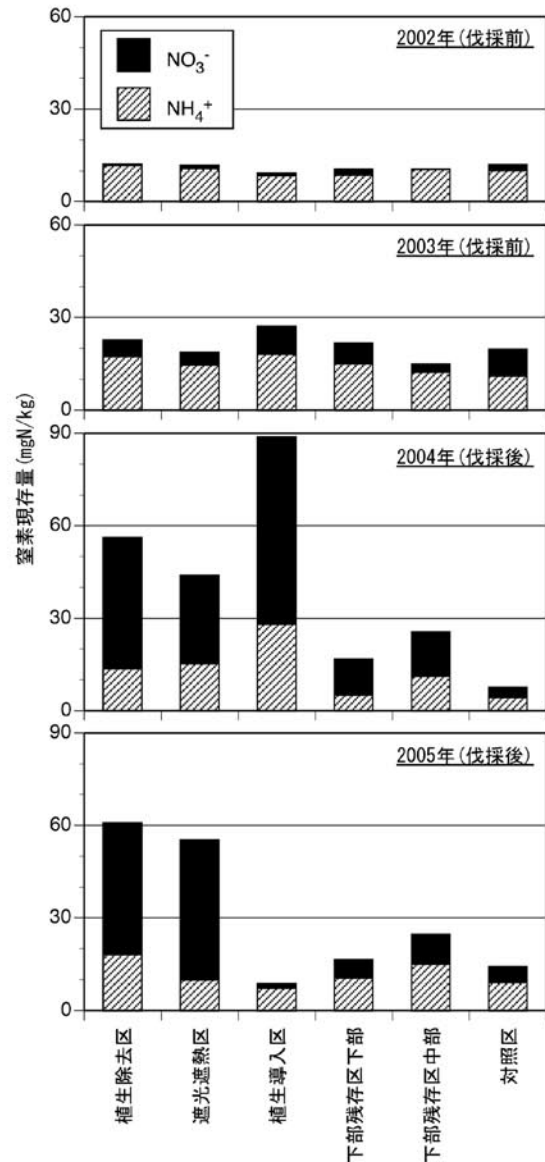


図2 伐採の前後における土壌の無機態窒素現存量の変化

去区=遮光遮熱区>(下部残存区中部(M)=下部残存区下部(L)=対照区)の順であった。また、硝化率が低かった下部残存区中部(M)では、伐採後の生成速度への影響は小さかった。

2005年にはすべての処理区において、無機態窒素生成速度の大きな低下がみられた。

### 3.4 考察

#### 3.4.1 伐採後の影響の継続

施業方法による窒素の動態は、伐採によって大きく変化した。すなわち、2004年の伐採後で

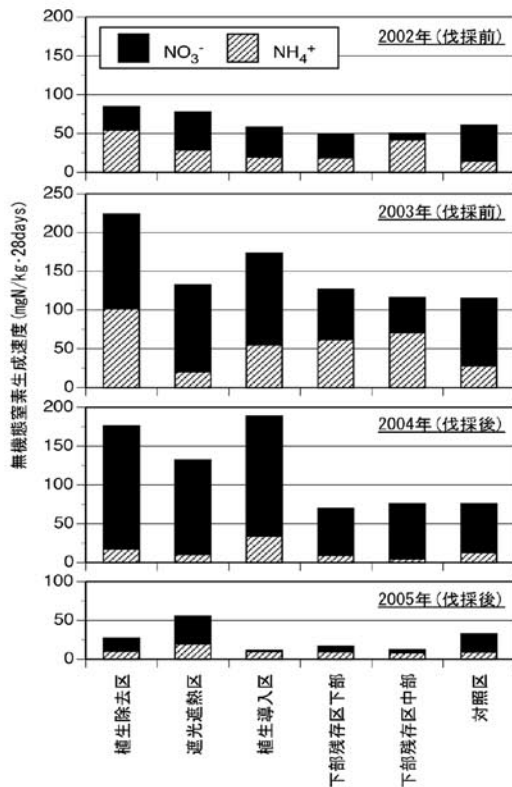


図3 伐採の前後における土壌の窒素無機化特性の変化

は、1. 速度：植生導入区\* > 植生除去区 = 遮光遮熱区 ≥ (下部残存区中部 = 下部残存区下部 = 対照区)、2. 現存量：植生導入区 = 植生除去区 = 遮光遮熱区\* > (下部残存区中部 = 下部残存区下部 = 対照区) であった(\*と()内には有意な違いがみられた)。

しかしながら、2005年には、植生導入区において無機態窒素現存量が大きく減少し、伐採の影響が小さくなっている様子がみられた(図2)。このことは、植生の回復によって、植生が窒素を吸収し、現存量を減少させたと考えられる。

無機態窒素生成速度においては、すべての処理区で2005年に低下した。このことから、伐採の影響は、伐採後1年目に最大に達するが、その後沈静化することがわかる。また、植生による窒素の吸収は無機態窒素生成速度には大きな影響を与えないが、無機態窒素を吸収することによって土壌中の無機態窒素現存量を減少させることがわかった。この吸収速度は植生によって異なるため、おそらく萌芽更新する樹種や人為的な植生の導入によって、伐採した生態系か

らの窒素の下流への流出はコントロールできる可能性が示された。

### 3. 4. 2 処理の有効性の検討

今回の研究では、伐採前に植生に吸収されていた窒素を以下の3つの方法によって処理することを考えた。

#### ①伐採・植生導入処理

導入された植生により、伐採前に植物が吸収していた窒素を吸収させることを図った。しかし、導入された植生の枯死や、植生による被覆のために地表面の乾燥が緩和され(安藤、2004年度成果報告会より 56%vs54%)、伐採・植生除去と変わらない結果となった(図2)。その後植生が回復するにつれ、植生による窒素の吸収が生じて土壌中の無機態窒素現存量を低く抑えることが明らかになった。

#### ②伐採・遮光遮熱処理

遮光遮熱シートにより地温の上昇が抑制でき、窒素の無機化が抑えられるのではないかと考えた。結果としては、図2、図3で示したように、他の処理に比べ、若干生成が抑制される傾向があった。伐採攪乱の継続時間については、遮光遮熱シート被覆を行わない場合と大きな違いはみられなかった。

#### ③硝化活性の高い部位の除去

硝化活性が高いと考えられる斜面下部(L)での伐採を行わないと、その直上斜面で伐採を行っても硝酸が生成されない(図2)。この原因として、側方移動による影響の遅れや、移動経路での脱窒などによる除去が生じている可能性も考えられる。これらが総合的にはたらいて窒素の流亡が抑えられるのだろう。伐採攪乱自体が小さいので、その影響の継続時間については、あきらかにはできなかった。

## 3. 5 結論

1) 施業方法が森林生態系の物質循環に及ぼす影響について検討を行った。遮光遮熱シートによる地表面の冷却・早期植生導入・緩衝帯の設

置による環境負荷の軽減を図った。

2) 土壌の窒素動態からみると、緩衝帯の設置が、従来法よりも環境負荷を軽減する効果をもつことが示された。

3) 伐採後、植生を導入することによって、植生の回復に伴う窒素吸収により、攪乱の継続時間を短く抑えることが可能であることが示された。

#### 4. 土壌水硝酸濃度からの評価

##### 4. 1 目的

高島市森林公園でこれまで10年間にわたって実施してきた対照流域法による伐採実験により、伐採流域では硝酸活性が盛んになり、対照とした森林流域に比べ、数年間にわたり晴天時10倍から20倍、降雨時30倍から400倍に渓流水の硝酸濃度が増加する結果が得られている

(Kusaka & Hamabata, 2001a ; 濱端ほか、2002)。

大面積皆伐は少なくなったが、斜面上部から溪流沿いの谷底まですべて伐採する小面積皆伐が依然として主流であることや下流水系や止水域では依然として富栄養化が問題となっていること、社会状況の変化で再び広く小面積皆伐が行われる可能性も大きいこと等から、本実験を行った。各実験処理が伐採前から伐採後にかけて下流域に及ぼす負荷の大きさを評価するため、側方浸透流として斜面下部に達し、やがて直接渓流水として流出する可能性の高い土壌浸透水（重力水）の水質をモニタリングし、下流域に負荷の少ない森林管理とはどういうものかを、一部具体的な施業提案の負荷削減効果の検証も含めて、明らかにすることを目的とした。ここでは、土壌水中の硝酸濃度について処理間における相違の有無を検討した。

##### 4. 2 方法

土壌浸透水を採取するため、原則としてテンションフリーライシメーターを各処理区下端中央の土壌深度20cmに斜面に平行に設置した。土

壌浸透水試料は約1ヶ月ごとに回収し、電気伝導度（EC）、pH、採取量等を記録し、実験室に持ち帰って、ワットマンガラス繊維濾紙（GF/F）でろ過後、さらに0.2ミクロンのフィルターを通してから、イオンクロマト（ダイオネクス社製：DX-AQ）を用いて、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 等について分析した。

2003年1月から2003年12月末までのデータを伐採前、伐採が終了した2003年12月末から2004年12月末までのデータを伐採1年目、2005年1月から2005年12月までのデータを伐採2年目のデータとして解析した。

#### 4. 3 結果と考察

##### 4. 3. 1 伐採前の初期条件

伐採前の各処理区における土壌浸透水中の硝酸イオン濃度を見ると、各処理区とも値は低く、下部残存区中部と植生除去区がやや低めだが、処理間で有意な違いはなかった（図4；森林環境研究会、2004；森林環境研究会、2005）。

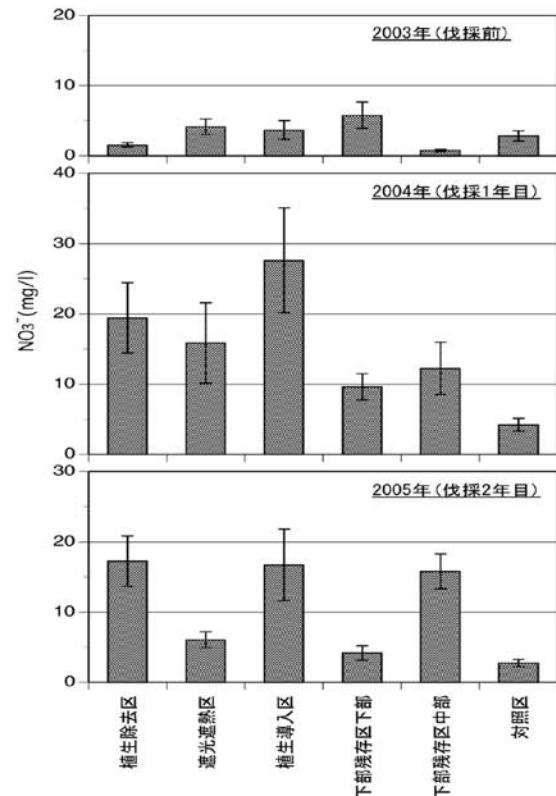


図4 伐採前後における土壌水硝酸濃度の変化

バーは標準誤差を表わす。サンプル数は2003年が26、2004年が31、2005年が27である。

#### 4. 3. 2 伐採後2年間の気象条件

伐採1年目と2年目の今津の気象条件を見ると、年間降水量と年平均気温は、1年目が2,037mmと14.8℃、2年目が1,902mmと13.8℃であった。1年目は台風が日本に10個も上陸した年で、本試験地でもこのうちの7個に影響を受けた。このため、8、9、10月の合計雨量が1,107mmと夏場に強い降雨が多かったこと、また、年平均気温も1年目の方が1℃高かったことが気象的な特徴である。2年目は、年間降水量が1年目より7%ほど少ない上に、8、9、10月の合計雨量は261mmと平年よりもかなり雨が少なかった。

#### 4. 3. 3 伐採1年目の結果

土壌水中の硝酸濃度の増加は伐採後すぐには現れず、伐採後半年を経過した7月以降に顕著になった。これは先に行った流域伐採実験と同様の結果であり、伐採後、土壌浸透水への流出までに約半年間の時間的遅れが出るのが再確認された。このことは、伐採後すぐには無機態窒素まで分解が進まず半年ほどかかることを意味すると考えられる。

伐採1年目は、下部残存区以外で、土壌浸透水の硝酸イオン濃度が対照区に比べ著しく上昇した。一方、下部残存区は対照区と同レベルで、処理区中、最も値が低かった(図4)。遮熱遮光区は、植生除去区に対して有意に低い値であった(図4)。これは、遮光遮熱シートの被覆により、夏場の地温(土壌深度5cm)が2~2.5℃低下したことの効果であると思われる。

#### 4. 3. 4 伐採2年目の結果

伐採1年目と2年目の気象条件の違いに対し、対照区の値は、1年目4.2mg/l、2年目2.75mg/lであった。2年目の方がやや低い値であるが大きな変化はなかった(図4)。同様に、植生除去区と斜面中部区では、それぞれ1年目19.4mg/lと2年目17.3mg/l、1年目12.2mg/lと2年目15.8mg/lで、ほとんど変化がなかった(図4)。

一方、伐採1年目から2年目にかけて硝酸イオン濃度に減少が見られた処理区は、遮熱遮光区、植生導入区、下部残存区であった(図4)。遮熱遮光区では、1年目は15.9mg/lであったのに対し、2年目は6.1mg/lと2年目は大きく減少していた。植生導入区も1年目27.6mg/lから2年目16.7mg/lへと大きく下がった。下部残存区も2年目に下がり、1年目には対照区と有意に差があったが、2年目には少し高い程度となった。

植生導入区での2年目の低下は、1年目には少なかった侵入種のダンドボロギクが2年目には林地全面を覆い、それが窒素を吸収したためと考えられる。しかし、硝酸イオン濃度の季節変化を見ると、ダンドボロギクの成長期である6~9月は低い値だが、ダンドボロギクの枯れる10~11月には濃度が上昇し、吸収された窒素が土壌に回帰してくる現象が見られた。

また、下部残存区においては、平年の気象条件であれば1年目よりも2年目の流出濃度が高くなると考えていた。2年目にはリターの減少で表層土壌が直接雨に打たれるようになることから側方浸透流が増えると考えられるためである。しかし、実際は2年目の方が低かった。これは先述の通り、1年目が台風の当たり年であったことによる影響もあると考えている。

#### 4. 3. 5 処理の有効性の検討

##### ①伐採・植生導入処理

植生導入区での土壌水硝酸イオン濃度の季節変化は、草本植生導入の効果を評価する上で大きな意味を持つ。なぜなら、導入植生でも侵入植生でも、草本による栄養塩吸収効果はある程度はあると思われる。しかし、夏場は草本の吸収によって硝酸イオン濃度が低くなっても、秋になると植物体が枯れて分解し、吸収された栄養塩が土壌に回帰してくるので、年平均値としては結果的に同じ程度の濃度レベルになっていたからである。やや効果があると考えられるのは、夏の植物活性期に下流に供給されてしまう

栄養塩の流出を遅らせ、秋に流出させることで、下流の生態系への影響をより低くするかも知れないという点である。一方、回帰時に一斉に分解して流出する傾向があるため、急激に酸性化が起って pH が非常に低くなり、局部的に土壤が他の皆伐地に比べより酸性化してしまう現象が生じる可能性もある。

#### ②伐採・遮光遮熱処理

遮光遮熱シートにより地温の上昇は抑制することができていた。植生除去区に比べ、硝酸イオン濃度は低い傾向があった。

#### ③硝化活性の高い部位の除去

下部残存区の斜面上方に位置する斜面中部区からは2年目には植生除去区とほぼ等しい硝酸イオン濃度 (15.8mg/l) の土壤水が供給されているにも関わらず、その斜面下方の下部残存区では土壤水の硝酸濃度が低く保たれており、これは当初から主張してきた方法である下部の保存が有効であることを証明するものであると考えられる (Kusaka & Hamabata, 2001b)。この水平距離 10m 幅のものでもかなり効果があったと考えられるが、どのくらいの幅が適当であるかという点はこの結果からはまだいえない。少なくとも 30m 程の林が続く斜面においては、下部 10m ほどの林が残っていれば伐採後 2 年目までは非常に有効であった。

### 4. 4 結論

1) 水環境保全的な森林管理方法を評価するため、斜面レベルでの伐採実験を行った。硝酸イオン濃度から見て、伐採前は各処理区間に有意な差はなかった。

2) 伐採した処理区の土壤水硝酸濃度は、伐採半年後以降から対照区に比べて有意に増加し、流域実験での結果が追認された。

3) 下部残存区の土壤水硝酸濃度は、処理区の中で最も低く、斜面下部の林分を切らずに残したことが、硝化の激しく起こる場を硝酸の発生源とさせず、斜面中・上部からの側方浸透流の影響をも緩和していると考えられた。このこと

から、斜面下部の森林を切り残すことは、森林から下流域への窒素流出を抑制し、水環境を保全する上で、最も効果的であると示唆された。

4) 遮光遮熱シートで温度上昇を抑制した処理はある程度効果があった。

5) 草本植生を導入した処理では、夏場の流出を秋に遅らせる効果は見られたものの、流出を止めるほどの効果はなかった。

## 5. 土壤ガス代謝からの評価

### 5. 1 目的

森林土壌のガス代謝機能は森林生態系の物質動態の中でも重要な位置を占めている。中でも、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ )、メタン ( $\text{CH}_4$ )、亜酸化窒素 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) の発生・吸収は、地球温暖化にも関係している。こういったガス代謝機能が、森林伐採やその後の異なる林地処理によってどのように変化するかを明らかにすることは、これらが環境にもたらす影響について考える上で欠かすことができない。本研究では、土壤の  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  の発生・吸収速度を伐採・林地処理の前後にわたって測定し、これらが伐採・処理によりどのような影響を受けるか、また伐採に伴うどのような要因の影響により伐採後の変動がもたらされるのかを明らかにすることを目的とした。

### 5. 2 方法

小面積実験区において土壤の  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  の発生・吸収速度を測定した。A 斜面では 10m × 10m の小区画毎に 2 点ずつ測定点を設置した。B、C 斜面では、下部残存区 (7 区と 14 区) では斜面中部・下部の小区画に 2 点ずつ測定点を設置し、それ以外では下部の小区画のみに 2 点ずつ測定点を設置した。これらの測定点に容積 8.9 L のチャンバーを設置し、チャンバー内空気を 0、20、40 分後に真空バイアル瓶 (容積 30 mL) に採取した。採取したサンプル空気を研究室に持ち帰り、ガスクロマトグラフ TCD、FID、ECD を用いて  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  の濃度を測定し、それぞれのガス放出・吸収速度を求めた。この測定は



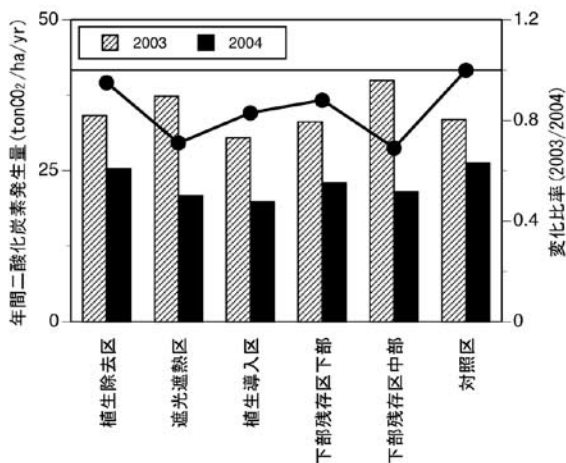


図5 各処理区の年間CO<sub>2</sub>発生量と対照区の変化率(2004/2003)を1とした時の変化比率

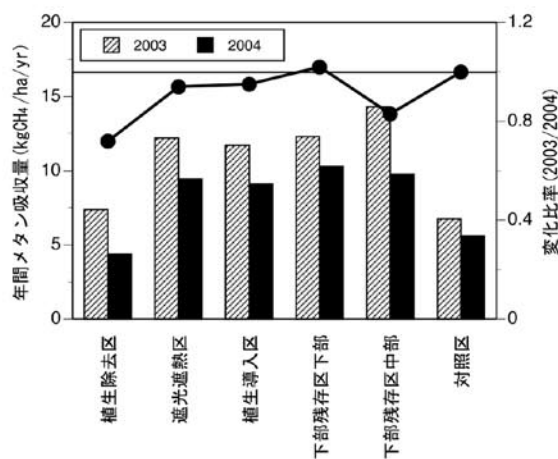


図6 各処理区の年間CH<sub>4</sub>吸収量と対照区の変化率(2004/2003)を1とした時の変化比率

2003年8月13日から行った。測定時には、地温(土壌深度5cm)とADR土壌水分計(大起理化学工業株式会社製、DIK-311A)により表土の含水率をあわせて測定した。本報告ではA斜面での測定結果をまとめる。

### 5.3 結果

#### 5.3.1 二酸化炭素発生量の変化

CO<sub>2</sub>発生速度は夏に最高となる季節変動を示した。3L区と4区上部での平均CO<sub>2</sub>発生速度の変動範囲は、それぞれ109.2-691.6mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hr、151.0-758.1mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hrであった。伐採後、CO<sub>2</sub>発生速度はどの処理区でも伐採前より低下した。遮光遮熱区(2区)では、地温上昇が抑えられたことによりCO<sub>2</sub>発生速度も低い傾向が認められた。ただし、植生導入区については、伐採後1年目の2004年に導入したウイーピングラブリグラスが導入後3ヶ月程度ではほぼ全滅したため(全国的に蔓延したとされる病気によると思われる)、2004年に関しては植生導入の効果は評価できなかった。

これらの処理区毎の発生・吸収速度の季節変動の結果を基に、年間のCO<sub>2</sub>発生量を求めた結果、処理による影響に差が認められた。そこで、2003年から2004年の対照区における変化率を1としてその他の処理区の変化比率を求めて比較

したところ、遮光遮熱区、植生除去区の変化比率はそれぞれ0.71、0.95であった(図5)。これらの結果から、年間土壌呼吸量については、1)既存植生および伐採後の再生植生が除かれることによる効果(主に根の呼吸量の減少分)は-29%、2)伐採後の土壌温度上昇により有機物の分解が促進されることの効果は+24%、と推定された。

#### 5.3.2 メタン吸収量の変化

CH<sub>4</sub>吸収速度の季節変動は、夏に高い傾向が見られた。その変動範囲は0.073-0.176mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/hrであった。土壌含水率の高い測定点ではCH<sub>4</sub>発生が観測された。発生速度の最高値は4.44mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/hrであった。CO<sub>2</sub>と同様に、処理区毎の吸収速度の季節変動の結果を基に、年間吸収量を求めた(図6)。また同様に、対照区の変化率を1としてその他の処理区の変化比率を求めたところ、遮光遮熱区、植生除去区の変化比率はそれぞれ0.94、0.72であった(図6)。

#### 5.3.3 亜酸化窒素発生量の変化

N<sub>2</sub>Oの観測結果では、N<sub>2</sub>O発生は場所により時折観測された。期間を通じての最高値は0.337mg N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/hrであった。土壌含水率が高く、地温が高い場合にN<sub>2</sub>O発生が観測されることが

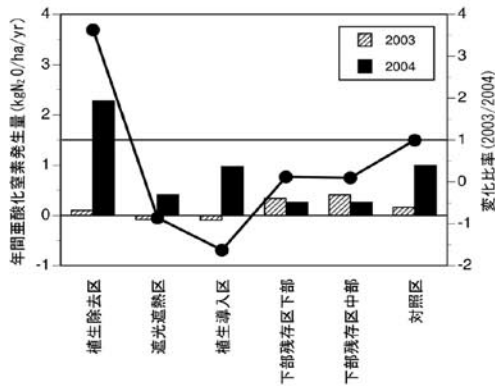


図7 各処理区の年間 N<sub>2</sub>O 発生量と対照区の変化率 (2004/2003) を1とした時の変化比率

多かった。N<sub>2</sub>O についても年間発生量を求めたが、明瞭な傾向は認められなかった (図7)。

## 6. まとめ

3節、4節で述べたように、小面積実験区における研究からは、間伐や皆伐の際に斜面下部を伐らずに残すことが、伐採後の硝酸態窒素の生成と流出を抑制する上で極めて有効であることが明らかになってきた。すなわち、流域の地力維持にとっても望ましく下流への汚濁負荷を軽減するためには、伐採する場所の選定が重要であり、谷部のような場所は極力伐採を控える、やむを得ず谷部を伐採する場合は小面積に抑え、特に早期の植生回復を促す必要のあることが分かった。

谷部は陸域と水域の相互作用系として重要で代替不可能な機能を持っており、生物多様性維持機能も特に高いため、谷部を伐り残し自然林に誘導する施業を行えば、汚濁負荷の軽減だけでなく、生物多様性の増進も図れる可能性がある。このような谷部水辺域に対する認識は世界的には広く定着しており、特に欧米では森林地帯における水辺管理指針が確立している。日本でも、北海道森林管理局のパイロットフォレスト、関東森林管理局森林技術センターの水辺林修復・再生試験、同茨城森林管理署の水辺林再生事業、東京都での人工林の水辺林への誘導を含む水辺林造成事業、埼玉県の水辺林修復・造成試験研究、神奈川県や栃木県での生態系を考

慮した森林管理の取り組み等、国有林や都道府県有林で先進的な試験研究事業が展開されている (金子・徳地、2006b)。

## 謝辞

本プロジェクト研究においては、琵琶湖・環境科学研究センターの中島拓男専門研究員、滋賀県立大学の濱端悦治助教、立命館大学の樋口能士助教に研究計画の立案から試験地設定までの議論や研究の遂行に関わっていただきました。試験地の選定や現場作業に際しては、森林文化協会の海老沢秀夫氏、島田佳津比古氏、「くつきの森」の中村哲氏に多大なるご支援を賜りました。また、4節の研究を推進するにあたっては、京都大学大学院農学研究科近藤和真氏、上田実希氏に多大なご協力をいただきました。5節の研究においては、山田長四郎氏、中岡紹一氏、若狭喜弘氏に現地調査の補助、打越崇子氏、高田千都子氏に分析・データ整理の補助をしていただきました。ここに記して、深く感謝いたします。

## 引用・参考文献

- 金子有子・濱端悦治(2004a)：環境負荷の軽減を図るための森林管理方法の検討。滋賀県琵琶湖研究所所報, 21, 43-45.
- 金子有子(2004b)：小面積実験で探る硝酸態窒素生成のメカニズム。オウミア, 79, 1-2.
- 金子有子・徳地直子(2006a)：環境負荷の軽減を図るための森林管理方法の検討—土壌無機態窒素に関する野外操作実験の初期条件—。平成16年度試験研究報告, 27-32, 滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター。
- 金子有子・徳地直子(2006b)：森林の生態学的管理にむけて—環境負荷の軽減を図るための森林管理方法の検討—。びわ湖・みらい, No. 3, 3, 滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター。
- 森林環境研究会(2004)：平成14年度琵琶湖研究所委託研究報告書「小面積実験区における森林管理の影響評価」。
- 森林環境研究会(2005)：平成15年度琵琶湖研究所委託研究報告書「小面積実験区における森林管理の影響評価」。
- 森林環境研究会(2006)：平成16年度琵琶湖・環境科学研究センター委託研究報告書「小面積実験区における森林管理の影響

響評価」.

Kusaka, S. and Hamabata, E. (2001a) : The influence of forest clear-cutting on nitrate-nitrogen load downstream in a Lake Biwa watershed, "Toward sustainable management of lakewatershed ecosystems, Proceedings of the Shiga-Michigan Joint Symposium 2001" , S46-49.

Kusaka, S. and Hamabata, E. (2001b) : The increase in nutrient load downstream from clear-cut forests and tentative proposals for countermeasures. Proceedings of the 9th International Conference on the Conservation and Management of Lakes. Otsu.

濱端悦治・國松孝男・草加伸吾 (2002) : 「硝酸態窒素の流出に及ぼす森林伐採の影響—琵琶湖集水域での野外実験から—」. 月刊 海洋, 34(6)396-401.