■ 研究論文

落葉の堆肥化初期における踏圧が 化学的性質および微生物活性に及ぼす影響

Effect of Trampling on the Changing of the Chemical Characteristics and Microbial Activities of Composting Forest Leaf Litter During the First Stage

市川 貴大* 市川明日香

Takahiro ICHIKAWA Asuka ICHIKAWA

Abstract : Forest leaf litter collections and composting have been carried out as maintenance activities in Satoyama, Japan. The purpose of this study is to clarify the degree of trampled forest leaf litter and changing of chemical characteristic and microbial activity differences between trampled and not trampled forest leaf litter in Satoyama. Microbial activity (Absorbance at 490nm = A₄₉₀) of composting forest leaf litter rose to below the composting after one year regardless trampled and not trampled. Trampled forest leaf litter had no effect on the changing of the chemical and biological characteristics of composting beyond a limit of period (about 6 month). In the composting first stage, forest litter collections have been compressed because of trampling, resulting in confirming an increase of content weight and microbial activity. The carbon mineralization and huminification was promoted by means of trampling forest leaf litter. Hence, trampled forest leaf litter was an effective contribution toward composting during the first stage.

Keywords : *compost, forest leaf litter, microbial activity, Satoyama, trampling*

キーワード : 堆肥, 落葉, 微生物活性, 里山, 踏圧

1. はじめに

里山とは森林の摂理と農山村に住む人々の生活上の必要性との妥協のもとでつくられ維持されてきた森林と人とが共生する生態系のことで、林学でいう農用林（伝統的な農業に不可欠な堆肥をつくるために必要な落葉・落枝や低木・下草を集めるための林のことで、薪炭林や二次林ともよばれる）といわれている^{1), 2), 34), 39)}。1960年代以降、燃料革命、肥料革命が広まるとともに、円高の定着、貿易自由化により里山と農業との関係性は喪失し、さらに、都市化や林地開発等の進行により里山は荒廃していった^{1), 2), 43)}。近年、里山の開発のみならず、長年の放棄などによる里山崩壊の危機感から、保全活動が各地で展開されており^{23), 48)}、落葉かき（落ち葉かき）や落葉堆肥づくりも各地で実施されるようになっていく^{24), 42)}。

一般的に窒素含量の少ない植物遺体（C/N > 30）を微生物が分解する場合、植栽された植物と微生物の間で無機態窒素の奪い合いがおこり、植物が一時窒素不足になる（窒素飢餓）^{36), 44), 47)}。樹木の落葉の C/N 比は概ね 50~150 であり⁴⁷⁾、土壤中に直接混入すると植栽した植物について窒素飢餓がおこることが推察される。また、新鮮有機物を土壤に施用すると糖類を分解する細菌や糖糸状菌とよばれるピシウム菌（*Pythium* spp.）が激しく増加し、植栽された植物の根を壊死させることが多く、一方、堆肥を施用した場合はピシウム菌の被害はないといわれている²⁷⁾。すなわち、里山保全活動の一環として落葉かき直後の落葉をそのまま土壤に施用すると、植栽された植物について窒素飢餓や根の壊死など、生育不良が引き起こされる可能性が考えられ、落葉を土壤で施用するためには堆肥化することが必要である。

落葉分解に関する研究は、リターバックやマイクロコズムなどにより有機物分解の時間経過にともなう化学的・生物学的性質の変化は数多く報告されている²⁹⁾⁻³¹⁾。また、微生物の量や活性は樹種や林齢、土壤型などにより変化することが指摘されている^{3), 18), 45)}。しかし、既往の報告は森林生態系内で有機物分解のメカニズムを

明らかにするためのもので、落葉堆肥化という人為的な利用という観点からは研究されてこなかった。

慣習では堆肥は1年程度野積みしたものを畑にすきこんでおり²⁸⁾、市川ら¹³⁾は落葉かき直後の落葉、堆肥させてから1, 2, 3, 4~5年後の落葉堆肥の化学的・生物学的性質と植物の生育に及ぼす影響について調査した結果、落葉かき直後の落葉と堆肥化1年後の有機物について、重量含水率や窒素含有率、C/N比、腐植化を示す指標（A₆₀₀）、水抽出態溶存炭素量、微生物バイオマス炭素量、微生物活性を示す指標（A₄₉₀）で有意な差がみられ、また、植物の生育試験結果から堆肥化1年後以降の有機物を化学肥料とともにすきこめば植物の生育を促進させることを明らかにした。しかし、落葉のみを堆肥化させてから1年未満の化学的・生物学的性質の変化については明らかにされていない。また、堆肥化を行うときに材料を積み際に踏圧を実施するが、カヤなどの粗雑な有機物は強めに固く踏圧し、イナワラなどのやわらかい有機物は軽めに踏圧するなど、有機物の硬軟によって適宜加減するとあり、さらには地域や農家によっても異なるといわれており²⁸⁾、落葉を踏圧する程度については不明確となっている。

そこで本研究では、落葉を踏圧することによる圧縮の程度を把握するとともに、踏圧の有無による落葉堆肥化による化学的性質および微生物活性を同一条件下にて1ヵ月ごとに測定することで、落葉の堆肥化初期（1年間）における踏圧にともなう有機物分解のメカニズムの変化を明らかにすることを目的とした。

2. 調査地の概況

調査地の概況を図-1、表-1に示す。調査地は栃木県塩谷郡塩谷町にある特定非営利活動法人塩谷町旧熊ノ木小学校管理組合（以下、星ふる学校「くまの木」）の裏山にある43~51年生のコナラ（*Quercus serrata* Thunb.）を中心とした雑木林である（以下、コナラ広場）¹⁴⁾。コナラ広場は戦前から薪炭林として利用され、萌芽更新により再生が図られてきた。しかし、燃料革命により炭

* とき農林倶楽部

や薪などが不必要となり、周辺はスギやヒノキが全面に植栽されたが、炭焼窯があった約 2000 m² のコナラ広場のみ植林されずに、そのまま管理放棄され、林床には全面に 2 m 程度のアズマネザサが繁茂していた。2008 年に里山保全活動を行う「くまの木里山応援団」を結成し、アズマネザサや枯死木等の除去を開始したが、落葉かきは未実施である。このため、コナラ広場の上層木は萌芽更新により再生したコナラですべて覆われており、中層木にアオハダやヤマザクラ、下層木にヤマツツジやニシキギが点在し、林床は整然と刈払られていた。

コナラ広場の標高は約 300m で、沢に隣接したほぼ傾斜のない平坦地である。上層木の樹高、胸高直径、立木本数、胸高断面積合計はそれぞれ 20.3m、26.8cm、1100 本、71.9m²ha⁻¹ である。土壌深 1 m までの土壌断面の調査結果を表-2 に示す。Ao 層の厚さは 3～5 cm、土壌は土壌深 1 m 付近で B 層が出現するなど、

崩積土が堆積した弱湿性褐色森林土 (Be) である。

3. 調査方法

2009 年 3 月、調査地内に 1 m × 1 m、深さ 40cm の木杵を 1 つ、および、1 m × 3 m、深さ 10cm の木杵を 2 つ設置した (図-2)。林床に堆積している落葉 (主に Ao 層のうち L 層に相当) をかき集め、かき集めた落葉を重量含水率が均一になるよう十分に混和したのち、各木杵内に収まるように踏圧せずに敷きつめた。かき集めた落葉はコナラが大部分であるが、アオダモやアズマネザサの葉とともに隣接する林分からスギやヒノキ、ホノノキの葉の混入も一部みられる。踏圧については芝生の踏圧に関する研究^{6), 19), 21)}を参考に行った。すなわち、体重 60kg の人間が麦踏み要領によりゴム底の長靴にて落葉を踏圧した。踏圧回数と落葉厚に関する調査については、落葉厚をそれぞれ 10、20、30、

表-1 調査地の概況

樹種	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	立木本数 (ha ⁻¹)	胸高断面積合計 (m ² ha ⁻¹)
上層木 コナラ	20.3±3.1	26.8±10.7	1100	71.9
中層木 アオハダ、ヤマザクラ	5.1±0.8	5.9±1.7	700	2.0
下層木 ヤマツツジ、ニシキギ	—	—	—	—

*, 平均値±標準偏差

表-2 土壌断面

層位	層厚 (cm)	層界の状態	土色	土性	土壌構造	水湿状態	石礫	指標硬度* (mm)	圧入抵抗* (kPa)	堅密度	根系
Ao	3~5										
A ₁	32~35	判	7.5YR2/2	埴土	団粒状	潤	なし	7.5	87	しょう	多い
A ₂	69~73	判	7.5YR2/3	埴土	塊状	潤	なし	15.8	332	軟	あり
B			7.5YR4/6	埴壤土	塊状	湿	小礫あり	13.9	253	軟	なし

*, 山中式土壌硬度計法⁴¹⁾による

栃木県塩谷郡塩谷町

コナラ広場整備前

コナラ広場整備後

図-1 調査地の概況 (コナラ広場) と林相写真

図－2 調査地内の踏圧区と無踏圧区の概要と落葉の状況

40cm に設定し、踏圧を 1～10 回実施し、落葉厚の変化を 6 か所で測定した。

また、落葉厚を 10cm、踏圧回数を 2 回として、1 m × 3 m、深さ 10cm の木枠について踏圧をする枠（踏圧区）と踏圧しない枠（無踏圧区）を設置した。なお、踏圧区については毎月試料採取後に踏圧を 2 回おこなった。2009 年 3 月から 2010 年 2 月にかけて、無踏圧区と踏圧区において、毎月第 3 週の日曜日に落葉堆肥化による化学的・生物的性質（重量含水率、pH (H₂O)、EC、炭素 (C) 含有率、窒素 (N) 含有率、C/N 比、腐植化を示す指標 (A₆₀₀)、微生物活性を示す指標 (A₄₉₀) の変化を把握するために、1 試料あたり 25cm × 25cm の落葉堆肥を踏圧前に回収し、4 か所から供試試料を採取した。落葉堆肥は無踏圧区と踏圧区において、土壌と接している落葉は菌糸により分離困難となるため、土壌が混入しないように回収した落葉堆肥についてポリシートを用いて十分混和したものを供試試料にした²⁵⁾。落葉厚については毎月第 3 週の日曜日、踏圧直後に無踏圧区と踏圧区にて 6 か所で測定した。2009 年 12 月から 2010 年 2 月にかけて、凍結により落葉堆肥が表層土壌に氷結したため、試料が採取できなかった。

供試試料の重量含水率は通風乾燥機にて 80℃、2 日間乾燥させて求めた。化学的性質については、供試試料の pH (H₂O)（試料：H₂O = 1：10）をガラス電極法（堀場製作所 pH メーター D-52）¹⁵⁾ で測定した。EC（試料：H₂O = 1：10）を電気伝導率計（HANNA HI18733）¹⁶⁾ で測定した。炭素 (C) 含有率、窒素 (N) 含有率を CN コーダー法（柳本製作所 CN コーダー MT-700）⁴⁶⁾ で測定した。簡易な腐植量や腐植化の程度を示す波長 600nm における吸光度 (A₆₀₀) については、鈴木・熊田^{11), 13), 35)} の方法で測定した。すなわち、風乾試料 0.25g に、0.5M 水酸化ナトリウム (NaOH) と 0.1M ピロリン酸ナトリウム (Na₂P₂O₇) を 1:1 の割合で混合したアルカリ性溶媒を 20mL 加え、3 分間振とう後 15 分間静置し、ろ過し抽出液を得て、抽出液を分光光度計 (APEL PD-303S) にて測定した。生物的性質については、FDA 加水分解

図－3 踏圧回数と落葉厚の関係

■, 落葉厚 10cm; ●, 落葉厚 20cm; ▲, 落葉厚 30cm; ★, 落葉厚 40cm
縦棒、標準偏差。
図中の異なるアルファベットについては平均値間に有意差があることを示す (Tukey の方法, $p < 0.05$) ($n=6$)。

解活性法による微生物活性 (A₄₉₀)^{8), 12)} を活性の指標として測定した。

踏圧回数と落葉厚に関する調査については、落葉厚 10, 20, 30, 40cm それぞれについて、踏圧回数による落葉厚の変化を一元配置分散分析の後、Tukey の多重比較検定を行った。踏圧区と無踏圧区の落葉厚の経時変化についても、一元配置分散分析の後、Tukey の多重比較検定を行った。重量含水率、pH (H₂O)、EC、炭素 (C) 含有率、窒素 (N) 含有率、C/N 比、腐植化を示す指標 (A₆₀₀)、微生物活性を示す指標 (A₄₉₀) は、踏圧区と無踏圧区において毎月の変化を調べるために Kruskal-Wallis 検定を行った。また、重量含水率、pH (H₂O)、EC、炭素 (C) 含有率、窒素 (N) 含有率、C/N 比、腐植化を示す指標 (A₆₀₀)、微生物活性を示す指標 (A₄₉₀) の関係について、相関係数を算出して t 検定を行った。これらの分析の有意水準は 0.05(*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$) に設定し、統計処理には統計解析ソフト R. 2.11.0³²⁾ を用いた。

4. 結果と考察

踏圧回数と落葉厚の関係を図－3 に示す。落葉厚にかかわらず、踏圧回数の増加により圧縮される傾向にあるが、圧縮厚は短くなる。また、圧縮前の落葉厚が長いほど、踏圧により圧縮されやすい。一般的に堆肥化のための材料の踏圧は、微生物の働きを高めるために強すぎも弱すぎもしないこととしている²⁸⁾。本研究では踏圧による圧縮がむらなくおこなわれ、かつ、強すぎも弱すぎでもない落葉厚 10cm にて 2 回均一に踏圧することで、踏圧の有無による落葉の化学的性質および微生物活性の変化を明らかにする。

踏圧の有無による落葉の化学的性質および微生物活性の変化を図－4 に示す。踏圧区の落葉厚は無踏圧区に比べ 3～6 月で 2.3～3.4cm、7～11 月で 1.5～1.8cm 圧縮されていた。また、無踏圧区では 3 月に比べて 4～6 月に 3.8～4.8cm 圧縮され、7～11 月には 5.8～6.2cm 圧縮されていた。一方、踏圧区では 3 月に比べて 4 月に 3.4cm 圧縮され、5 月から 11 月にかけては毎月 2 回踏圧をしているにもかかわらずこの期間の圧縮厚は 1.8cm であった。落葉厚 10cm における踏圧回数 10 回に相当する落葉厚は、無踏圧区では 7 月、踏圧区では 4 月であった。したがって、踏圧をすることにより 1 ヶ月程度で圧縮され、踏圧の落葉厚に及ぼす

影響は堆肥化初期に限定されること、無踏圧では4ヵ月程度かけてゆっくりと圧縮されることがわかった。

重量含水率は踏圧区、無踏圧区ともに3月の21.3%から月数の経過とともに上昇し、6～11月で概ね70～80%でほぼ一定となった。pH (H₂O) は踏圧区、無踏圧区ともに3～11月にかけて5.2～5.7で推移した。ECは踏圧区で11.7～74.3、無踏圧区で9.7～88.6であり、踏圧区、無踏圧区ともに月数の経過とともに低下している傾向がみられた。C含有率は踏圧区、無踏圧区ともに月数の経過とともに低下しており、特に6～9月に踏圧区で無踏圧区に比べて6～11g低かった。N含有率の踏圧区、無踏圧区の違いは認められず、月数の経過とともに上昇し、11月では3月の1.5倍となっていた。C/N比の踏圧区、無踏圧区の違いは8月を除いて認められず、月数の経過とともに低下し、3月の35.8から11月には22.6～22.8となっていた。8月のC/N比は踏圧区で無踏圧区に比べて1.2低かった。腐植化程度 (A₆₀₀) は踏圧区、無踏圧区ともに0.816～1.162で、8～9月にかけて踏圧区で無踏圧区の1.1～1.2倍であった。微生物活性 (A₄₉₀) は4～6月の踏圧区で無踏圧区の1.2～1.7倍、7月以降はほぼ同様であり、測定期間中で最も高くなるのは踏圧区では6月、無踏圧区では8月であった。

7月以降で落葉厚は踏圧区と無踏圧区でほぼ変化がみられなくなり、重量含水率および微生物活性 (A₄₉₀) も同様の傾向を示した。そこで、3月から7月の落葉厚、重量含水率、微生物活性 (A₄₉₀) の関係を検討したところ、踏圧区では落葉厚と重量含水率、落葉厚と微生物活性 (A₄₉₀)、重量含水率と微生物活性 (A₄₉₀) それぞれにおいて相関関係にあり ($r=-0.953$, $p<0.05$; $r=-0.908$, $p<0.05$; $r=0.974$, $p<0.01$)、無踏圧区では重量含水率と微生物活性 (A₄₉₀) において相関関係にあった ($r=0.919$, $p<0.05$) (図-5)。土壌水分含量と細菌数については毛管水と吸湿水の領域で有意な相関がみられる⁴⁰⁾。また、細菌は主に土壌の飽水孔隙中で、放線菌や糸状菌は気相孔隙中に生育し、細菌に富む土壌では呼吸活性が放線菌、糸状菌に比べて細菌が高いこともあるとしている²²⁾。したがって、踏圧を行うことにより落葉が圧縮され、落葉の重量含水率と微生物活性 (A₄₉₀) を高めていることが考えられる。また、踏圧の有無にかかわらず、重量含水率が高くなることで、微生物活性 (A₄₉₀) が高まるといえる。堆肥化過程では、初期に易分解性有機物を基質として細菌が著しく増殖し^{17), 26)}、細菌は糸状菌に比べて乾燥に弱いといわれている³³⁾。また、細菌は糸状菌に比べて小型であるため、単位生物量あたりの活性は高い²⁰⁾。したがって、踏圧を開始してから数ヵ月は無踏圧区に比べて落葉が圧縮で湿りやすいことから、細菌が増殖しやすいことが推察され、このことが微生物活性 (A₄₉₀) を高めていると考えられる。また、7月以降は踏圧区、無踏圧区ともに落葉厚、重量含水率、微生物活性 (A₄₉₀) は月数の経過とともにほとんど変化していなかったことから、踏圧を開始してから数ヵ月以上経過すると、踏圧による物理的・生物学的性質の変化はみられなくなる。

落葉の有機物分解について、分解年数とともにC含有率は低下し、N含有率は若干の増加がおこった後に減少し、C/N比は低下する^{4), 38)}といわれており、本研究においても踏圧の有無にかかわらず、月数の経過とともにC含有率は低下し、N含有率は上昇し、C/N比は低下していた。落葉堆肥では堆肥化4～5年後でN含有率は減少に転じ、pH低下とECの上昇がみられることから、硝化がおこなわれていることが推察されている¹³⁾。本研究では堆肥化1年未満での研究であることから、踏圧の有無にかかわらずNの不動化がおこっており、pHとECの月数の変化にともなう明瞭な変化はみられなかった。

北関東地方での落葉広葉樹林の広葉のC/N比は落葉落枝で概

図-4 踏圧の有無による落葉の化学的性質および微生物活性の変化
■, 踏圧区; ○, 無踏圧区 縦棒, 標準偏差。
図中の異なるアルファベットについては平均値間に有意差があることを示す (Tukeyの方法, $p<0.05$) ($n=6$)。
*, ** は踏圧区と無踏圧区で有意差があることを示す (Kruskal-Wallis検定, *, $p<0.05$; **, $p<0.01$) ($n=4$)。

ね35～41、林床で概ね28～35であり¹⁰⁾、本研究における木柵につめた落葉はL層を中心に竹ぼうきにてかき集められたことから、落葉のC/N比は36と、宇都宮市での落葉かき直後の落葉 (C/N比, 32)¹³⁾とほぼ同様であり、新鮮落葉と林床に堆積した落葉が混和された状態である。堆肥化に最も適したC/N比は一般的に30程度であるといわれている^{7), 27)}。本研究では、踏圧の有無にかかわらず6月には30以下となっていた。微生物活性 (A₄₉₀) が測定期間中最も高くなるのは前述したように踏圧区では6月、

図－5 落葉厚と重量含水率の関係 (a), 落葉厚と微生物活性 (A₄₉₀) の関係 (b), 重量含水率と微生物活性 (A₄₉₀) の関係 (c)

■, 踏圧区; ○, 無踏圧区 縦棒・横棒, 標準偏差。
 *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$, (n=5)。

無踏圧区では8月であった。落葉堆肥化について市川ら¹³⁾は微生物活性 (A₄₉₀) について堆肥化1年後の有機物で最も上昇し、その後堆肥化年数とともに微減していることを報告している。高橋ら³⁷⁾はチップ材を含む剪定枝葉の数ヶ月間の堆肥化にて、微生物活性 (A₄₉₀) は切りかえすごとに増加し、以後減少することを示し、堆肥化初期に易分解性有機物が急激に消費され、攪拌することで難分解性有機物に覆われていた易分解性有機物が急激に分解されたと推察している。したがって、踏圧の有無にかかわらず微生物活性 (A₄₉₀) は堆肥化1年未満に最も上昇すること、また、最も上昇する頃は易分解性有機物が急激に消費されることで、堆肥化に最も適したC/N比である30を下回ることが明らかにされた。

腐植化程度 (A₆₀₀) について、市川ら¹³⁾は落葉かき直後の落葉で最も低く、堆肥化1年後に上昇し、堆肥化年数による違いはみられないことを示した。本研究における調査開始時の落葉は市川ら¹³⁾での落葉かき直後の落葉と比べて、腐植化程度 (A₆₀₀) を除いた化学的性質および微生物活性はほぼ同様であり、腐植化程度 (A₆₀₀) については異なっていた。すなわち、本研究における調査開始時の落葉の腐植化程度 (A₆₀₀) は市川ら¹³⁾の堆肥化1年後の有機物の値とほぼ同様であった。市川ら¹³⁾の調査地では1995年からコナラを中心とした広葉樹林で落葉かきが行われている⁵⁾が、本調査地では数十年管理が放棄されていたコナラを中心とした広葉樹林で落葉かきを行った。北関東地方での落葉広葉樹林のAo層の厚さは2～3cmであり^{9), 10)}、本研究では3～5cmである (表－2)。このことから、管理放棄により落葉落枝が蓄積された本調査地で落葉かきを行ったことから、腐植化程度 (A₆₀₀) が市川ら¹³⁾の落葉かき直後の落葉より高かったことが考えられる。

踏圧の有無による落葉の化学的性質の変化は、踏圧区で無踏圧区に比べてC含有率は6～9月で減少し、C/Nは8月で低く、腐植化程度 (A₆₀₀) は8～9月にかけて高くなっていた。このことから、踏圧により落葉の微生物活性 (A₄₉₀) の高くなる速度が無踏圧に比べて速まり、炭素の無機化が促進され、さらに腐植化が促進されることが推察された。10月以降は踏圧区と無踏圧区の化学的性質および微生物活性はほぼ違いがみられず、市川ら¹³⁾の堆肥化1年後の有機物の値とほぼ同様であった。したがって、踏圧による落葉堆肥の化学的性質および微生物活性の変化に及ぼす影響は一定期間 (6ヵ月程度) に限定的であることが明らかにされた。

5. まとめ

本研究では踏圧による落葉の圧縮の程度、および、踏圧の有無による短期間での落葉堆肥化による化学的性質および微生物活性の変化を調査した。

踏圧による落葉の圧縮の程度については、落葉厚にかかわらず、踏圧回数の増加により圧縮される傾向にあるが、圧縮厚は短くなる。また、圧縮前の落葉厚が長いほど、踏圧により圧縮されやすいことが明らかにされた。さらに、踏圧をすることにより1ヵ月程度で圧縮され、踏圧の落葉厚に及ぼす影響は堆肥化初期に限定されること、無踏圧では4ヵ月程度かけてゆっくりと圧縮されることがわかった。

微生物活性 (A₄₉₀) が測定期間中最も高くなるのは踏圧区では6月、無踏圧区では8月であった。C/N比は踏圧の有無にかかわらず6月には30以下となっていた。したがって、踏圧の有無にかかわらず微生物活性 (A₄₉₀) は堆肥化1年未満に最も上昇すること、また、最も上昇する頃は堆肥化に最も適したC/N比である30を下回ることが明らかにされた。

10月以降は踏圧区と無踏圧区の化学的性質および微生物活性についてはほぼ違いがみられないことから、踏圧は堆肥化初期において堆肥化の促進に有効であるといえ、一定期間 (6ヵ月程度) をこえると踏圧の落葉堆肥化による化学的・生物的影響はみられなくなることが明らかにされた。

3月から7月の落葉厚、重量含水率、微生物活性 (A₄₉₀) は踏圧区でそれぞれ有意な相関関係にあり、無踏圧区では重量含水率、微生物活性 (A₄₉₀) でのみ有意な相関関係にあった。したがって、踏圧を行うことにより落葉が圧縮され、落葉の重量含水率と微生物活性 (A₄₉₀) を高めていることが考えられる。また、踏圧の有無にかかわらず、重量含水率が高くなることで、微生物活性 (A₄₉₀) が高まるといえる。

踏圧区で無踏圧区に比べてC含有率は6～9月で減少し、C/Nは8月で低く、腐植化程度 (A₆₀₀) は8～9月にかけて高くなっていた。このことから、踏圧により落葉の微生物活性 (A₄₉₀) の高くなる速度が無踏圧に比べて速まり、炭素の無機化が促進され、さらに腐植化が促進されることが推察された。

謝辞

本研究を行うにあたり、千葉大学大学院園芸学研究科環境園芸学専攻の小林達明教授、高橋輝昌准教授をはじめとする再生生態学研究室 (旧緑地植物学研究室) にご協力いただいた。また、星

ふる学校「くまの木」の遠藤正久理事長には試料の採取を行う上での便宜をはかっていただくとともに、くまの木里山応援団の会員の皆様には情報提供をいただいた。とちぎ農林倶楽部の星野治子副部長には調査に協力していただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

補注及び引用文献

- 1) 有岡利幸 (2004a) : 里山Ⅰ : 法政大学出版局, 262pp
- 2) 有岡利幸 (2004b) : 里山Ⅱ : 法政大学出版局, 265pp
- 3) Bauhus, J., Paré, D. and Côté, L. (1998): Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1077-1089
- 4) Berg, B. and McClaugherty, C. (2004) : 森林生態系の落葉分解と腐植形成 (大園享司訳) : シュプリンガー・フェアラーク東京, 285pp
- 5) グリーントラストうつのみや (2000) : 長岡の森に遊ぶ ワーキンググループ活動報告書Ⅰ : 井上総合印刷, 112pp
- 6) 本田 侑・山野辺寛 (1959) : 日本芝の生育に及ぼす踏圧の影響—踏圧頻度と生育との関係—造園雑誌 22, 16-20
- 7) 堀 大才・三戸久美子 (2003) : 木質廃棄物の有効利用 : 博友社, 137pp
- 8) 市川貴大・高橋輝昌・浅野義人・小林達明 (2002) : FDA (フルオレセイン・ジアセテート) 加水分解活性を用いた森林土壌の微生物活性の簡易測定 : 森林立地 44, 15-22
- 9) 市川貴大・深澤文貴・高橋輝昌・浅野義人 (2002) : 落葉広葉樹天然林のヒノキおよびスギによる人工林化が土壌の養分特性に及ぼす影響 : 森林立地 44, 23-29
- 10) 市川貴大 (2004) : 落葉広葉樹林のスギ・ヒノキ人工林化が土壌養分動態特性に及ぼす影響 : 千葉大学大学院自然科学研究科博士論文, 178pp
- 11) 市川貴大・浅野義人 (2005) : 緑地土壌の有機物含有量の簡易測定 : 土木学会論文集 797, 95-100
- 12) 市川貴大・市川明日香・浦川梨恵子 (2008) : FDA (フルオレセイン・ジアセテート) 加水分解活性を用いた有機物中の微生物活性の簡易測定 : 森林立地 50, 175-177
- 13) 市川貴大・市川明日香・浦川梨恵子 (2010) : 里山保全活動における落葉堆肥化—堆肥化年数の違いによる化学・生物的变化と植物生育に及ぼす影響— : 森林立地 52, 11-18
- 14) 市川貴大 (2011) : しもつけの心 里山保全活動へのいざない①～⑩ : 井上総合印刷, 26pp
- 15) 亀和田国彦 (1997) : pH (ガラス電極法) : 土壌環境分析法編集委員会編「土壌環境分析法」, 博友社, pp.195-197
- 16) 亀和田国彦 (1997) : 電気伝導率 (EC) : 土壌環境分析法編集委員会編「土壌環境分析法」, 博友社, pp.202-204
- 17) 金澤晋二郎 (2002) : 肥効の高い堆肥の製造と新しい腐熟検定法 : 土と微生物 56, 45-54
- 18) 金澤晋二郎・伊月亜有子・河越幹男 (2005) : 天然林土壌における培養法および直接検鏡法による微生物数量 : 日本土壌肥料学雑誌 76, 459-470
- 19) 北村文雄 (1965) : 日本芝園芸品種栽培の基礎的研究 (第1報) —生育におよぼす踏圧並びに刈込の影響について— : 造園雑誌 28, 12-17
- 20) 木村真人 (1991) : 土壌中の微生物とその働き (その1) —土壌の微生物, 微生物の特徴— : 農業土木学会誌 59, 415-420
- 21) 近藤三雄・小沢知雄 (1977) : 芝生地の収容力に関する基礎的研究 (Ⅰ) —踏圧—土壌硬度に対する芝生地の根群の抵抗性からみた収容力について— : 造園雑誌 40, 11-23
- 22) 松口龍彦・蘭 道生・石沢修一・鈴木達彦 (1973) : 土壌構造と微生物の生育 : 土壌の物理性 28, 9-14
- 23) 中川重年 (2001) : 里山保全の全国的パートナーシップ : 武

- 内和彦・鷺谷いづみ・恒川篤史編「里山の環境学」, 東京大学出版会, pp.124-135
- 24) 中川重年 (2004) : 森づくりテキストブック 市民による里山林・人工林管理マニュアル : 山と溪谷社, 223pp
 - 25) 日本土壌協会 (2000) : 堆肥等有機物分析法 : 財団法人 日本土壌協会, 217pp
 - 26) 仁王以智夫 (1996) : 物質循環における土壌微生物の役割 : 岩坪五郎編「森林生態学」, 文永堂出版, pp.154-188
 - 27) 西尾道徳・藤原俊六郎・菅家文左衛門 (1988) : 有機物をどう使いこなすか : 農山漁村文化協会, 178pp
 - 28) 農山漁村文化協会 (1974) : 有機質肥料のつくり方, 使い方 : 農山漁村文化協会, 288pp
 - 29) 大政正隆・森 經一 (1937) : 落葉に関する二・三の研究 : 帝室林野林試研報 3 : 39-101
 - 30) Osono, T. and Takeda, H. (2005): Decomposition of organic chemical components in relation to nitrogen dynamics in leaf litter of 14 tree species in a cool temperate forest. *Ecological Research* 20: 41-49
 - 31) Prescott, C. E. (1996): Influence of forest floor type on rates of litter decomposition in microcosms. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 1319-1325
 - 32) R Development Core Team (2010): R version 2.11.0 The R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>
 - 33) 鈴木 彰 (2003) : 土壌微生物を制御する水, 空気, 温度, pH : 堀越孝雄・二井一禎編「土壌微生物生態学」, 朝倉書店, pp.20-34
 - 34) 四手井綱英 (2009) : もりやはやしー日本森林誌 : 筑摩書房, 248pp
 - 35) 鈴木正昭・熊田恭一 (1973) : 腐植の簡易定量法に関する一考察 : 日本土壌肥料学雑誌 44 : 144-145.
 - 36) 高橋輝昌 (2007) : 植栽基盤整備と緑の循環 : 森本幸裕・小林達明編「最新 環境緑化学」, 朝倉書店, pp.111-126
 - 37) 高橋輝昌・米田伸吾・石井匡志・荻野淳司 (2008) : 堆肥添加と頻繁な切り返しによる剪定枝葉の堆肥化特性 : ランドスケープ研究 (オンライン論文集)1, 40-43
 - 38) Takeda, H. (1995) : A 5 year study of litter decomposition process in a *Chamaecyparis obtusa* Endl. Forest. *Ecological Research* 10 : 95-104
 - 39) 武内和彦 (2001) : 二次的自然としての里地・里山 : 武内和彦・鷺谷いづみ・恒川篤史編「里山の環境学」, 東京大学出版会, pp.1-18
 - 40) 田中 博 (1974) : 土壌細菌数と土壌水分ポテンシャル (土壌水分吸引力, pF , Bar) の関係 : 土と微生物 16, 70-76
 - 41) 田中 樹 (1997) : 山中式土壌硬度計法 : 土壌環境分析法編集委員会編「土壌環境分析法」, 博友社, pp.33-35
 - 42) 津布久隆 (2008) : 補助事業を活用した里山の広葉樹林管理マニュアル : 全国林業改良普及協会, 108pp
 - 43) 恒川篤史 (2001) : 日本における里山の変遷 : 武内和彦・鷺谷いづみ・恒川篤史編「里山の環境学」, 東京大学出版会, pp.39-50
 - 44) 植田 徹・松口龍彦 (1994) : 窒素の循環 : 木村真人ら著「土壌生化学」, 朝倉書店, pp.111-131
 - 45) Witkamp, M. (1966): Decomposition of leaf litter in relation to environment, microflora, and microbial respiration. *Ecology* 47: 194-201
 - 46) 山田 裕 (1997) : CN コーダー : 土壌環境分析法編集委員会編「土壌環境分析法」, 博友社, pp.222-226
 - 47) 米林陽陽 (1997) : 土壌の有機物 : 久馬一剛編「最新土壌学」, 朝倉書店, pp.43-53
 - 48) 依光良三 (1999) : 森と環境の世紀 住民参加型システムを考える : 日本経済評論社, 292pp

(2011.8.20 受付, 2012.8.15 受理)