

## 三瓶演習林の土壌断面の観察

山下多聞<sup>1,\*</sup>・橋本 哲<sup>2</sup>・藤巻玲路<sup>2</sup>・尾崎嘉信<sup>1</sup>・葛西絵里香<sup>1</sup>・黒崎勇登<sup>1</sup>

### Descriptions of two soil profiles in the Sambe Forest, Shimane University

Tamon YAMASHITA<sup>1,\*</sup>, Tetsu HASHIMOTO<sup>2</sup>, Reiji FUJIMAKI<sup>2</sup>, Yoshinobu OZAKI<sup>1</sup>,

Erika KASAI<sup>1</sup> and Isato KUROSAKI<sup>1</sup>

**Abstract** We investigated two soil profiles 3-m deep in the Sambe Forest and determined some physico-chemical and biological properties of soils to describe the characteristics of deeper soil layers that were hard to reach. Deeper soil layers are expected to play important roles in the potential ecological services of forest ecosystems. One profile was made at the ridge part of a slope under a secondary forest. Another was made at the lower slope under a cedar plantation. Soil type was Cambisols at the ridge and Andisols at the lower slope. The two soil types are typical ones in the forest. Both soils reserved more than 1000 mm of water within a profile. Organic carbon stored in the soils was 20 kg m<sup>-2</sup> at the ridge and 39 kg m<sup>-2</sup> at the lower slope. Fine root was found even at the deepest layer and the biomass of fine roots was 1.3 kg m<sup>-2</sup> at the ridge and 0.8 kg m<sup>-2</sup> at the lower slope. Soil water distributed evenly from the top soil to the deepest layer. Soil organic carbon and fine root biomass concentrated mostly to the top soil. Deep soil water might contribute to the stability of stream discharge running through the forest and to water supply for the deep rooting trees during draught.

**Keywords :** Deep profiles, Fine root biomass, Soil moisture, Soil organic carbon, Soil organic nitrogen

### はじめに

水源涵養機能や洪水緩和機能そして大気中の二酸化炭素濃度緩和機能など森林生態系の発揮する生態系機能は我々の日常生活を支えている。近年、悪化する酸性降水や地球温暖化の進行にともない森林生態系の木材生産

機能だけでなく公益的生態系機能は注目されている。

地上に繁茂する森林の樹冠部はこれまでも多くの研究者を惹きつけてきて、光合成など物質生産機能は多くの知見が蓄積してきた。それに対し、公益的機能の重要な担い手である森林土壌とくに人力で到達することが困難な大深度の土壌層中での有機物動態や水循環は十分な調査がなされていない。

そこで本研究では、地下3mまで土壌断面を掘り下げ、土壌の理化学性、土壌水分、土壌有機物の表層から3m深までの垂直分布に焦点をあて、深層土壌の生態系機能に果たす役割を検討したい。

<sup>1</sup> 附属生物資源教育研究センター森林科学部門 Forest Science Section, Education and Research Center for Biological Resources

<sup>2</sup> 農林生産学科 Department of Agriculture and Forest Sciences

\* 責任著者 Corresponding author

## 材料と方法

### 1. 調査地

土壌断面調査は、島根県飯南町角井にある島根大学三瓶演習林獅子谷団地7林班（東経132°39′，北緯35°9′）で行った。三瓶演習林獅子谷団地は面積約215 haで、そのうち約47 haが針葉樹人工林になっている。三瓶演習林獅子谷団地の最低標高は約280 m，最高標高は約620 mである。獅子谷団地の土壌は三瓶山の噴出物の影響を受けた黒色土と石見花崗岩を母岩とする褐色森林土がみられる。三瓶演習林の気象条件は、2008年から2012年の平均で年降水量が1,980 mm，年平均気温が13.3°Cであった。冬季12月下旬から翌年2月にかけて0.5 m程度の積雪がみられる。

林床の積雪が若干残る2017年2月下旬に調査をおこなった。土壌断面は尾根部に1断面と斜面下部に1断面作成した。尾根部の断面は7林班に小班（標高460 m）の落葉広葉樹を中心とした二次林下に、斜面下部の断面は7林班ほ小班（標高380 m）の47年生スギ人工林下に、それぞれ小型パワーショベルによって地表面から地下3 mまで掘削し作成した。

### 2. 断面調査の概要

尾根部と斜面下部ともにまず土壌層位の観察および記載を行った。斜面下部では、土壌断面の右端に位置したスギ樹幹近くとスギ樹幹から2 m離れた断面左端近くにおいて12 cmプローブを装着したTDR土壌水分測定装置（Fieldscout TDR-100）により体積含水率 [% v/v] を測定した。同様に土壌硬度計（DIK-5553，大起理化）により土壌硬度指標 [mm] を測定した。

土壌断面を地表面から地下に向かい0-0.1 m，0.1-0.2 m，0.2-0.35 m，0.35-0.5 m，0.5-1.0 m，1.0-1.5 m，1.5-2.0 m，2.0-2.5 m，2.5-3.0 mの9層に分割し、各層で土壌試料を採取した。尾根部では全層位において試料採取したが、斜面下部の断面は2.5 m以深で未風化層となり硬く試料採取が困難であった。土壌水分、細土重と細根量の測定のためにそれぞれ100 mL容の採土円筒で土壌試料を採取しポリ袋に密封し実験室に持ち帰った。別途、化学分析用の土壌試料を各層位から採取し、風乾保存した。

### 3. 土壌の理化学性と細根量

土壌水分の測定のため100 mLの土壌試料を電気乾燥

機にいれ105°Cで24時間以上かけて絶乾した。絶乾前後の重量変化から単位体積あたり水分量を求め、土壌層位厚との積から土壌水分貯留量を求めた。絶乾重の測定後、2 mmメッシュのフルイを用い湿式篩別によりレキと細土に分別し細土重 [g cm<sup>-3</sup>] とレキ重 [g cm<sup>-3</sup>] を求めた。TDRによる体積水分率に加え、これらの値から含水比を以下のように求めた。

$$\text{含水比} = (\text{絶乾前重} - \text{絶乾後重}) / (\text{絶乾後重} - \text{レキ重})$$

土壌試料中の細根をハンドソートにより土壌粒子および粗大有機物から選り分けた。細根は直径5 mm以下の根とし、根径5-2 mm，2-1 mmおよび1-0 mmの3クラスに分別した後、風乾重量を測定し、単位体積あたり細根量を求めた。

風乾保存していた土壌試料のうち細土を乳鉢で粉碎し、NCアナライザ（スミグラフNC-22F，SCAS）により炭素濃度 [% w/w] と窒素濃度 [% w/w] を求めた。これら濃度と細土重から土壌炭素および土壌窒素蓄積を求めた。

## 結果

### 1. 土壌断面の記載

尾根部の土壌断面を図1に示す。A層は表層5 cmで、その下側には1 mを超えるB層がみられた。深さ1.1-1.3 m以深の土壌層位はC層およびCR層と判定されたが風化がすすみ採土円筒による試料採取が可能な状態であった。A層の土色は10YR2/3であった。B層上部の土色は10YR4/2で、B層下部の土色は10YR4/4であった。C層は10YR5/6で、CR層は10YR6/8であった。当該土壌は乾性褐色森林土であると考えられる。

斜面下部の土壌断面を図2に示す。IA<sub>1</sub>層とIA<sub>2</sub>層は合わせて1 mに及び、その下側には最大1 mのIB層がみられた。IB層の下にIIA層とIIB層があった。IIA層とIIB層にはレキが多く含まれ、深さ2.5 mより深いところでは未風化のCR層が出現した。IA<sub>1</sub>層の土色は7.5YR1.7/1で、IA<sub>2</sub>層の土色は7.5YR3/1であった。IB層からIIA層の土色は7.5YR3/3であった。IIB層の土色は7.5YR5/6であった。当該土壌は弱湿性黒色土であると考えられる。

### 2. 土壌の理化学性

尾根部と斜面下部のレキ重を図3aに示す。尾根部に

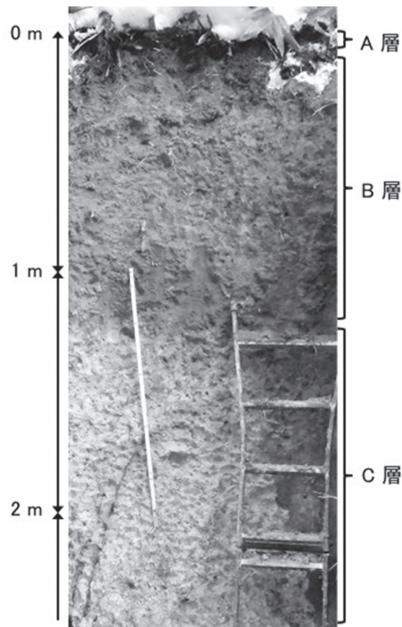


図1 尾根部の土壤断面

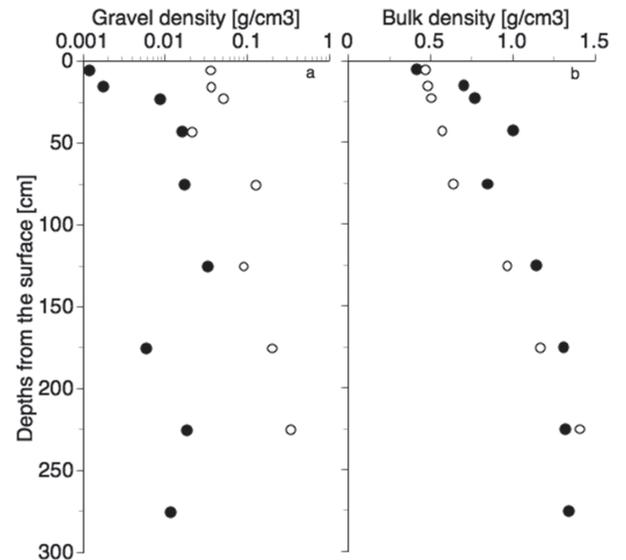


図3 土壤各深さの単位体積当りレキ重 (a) と細土重 (b) [ $\text{g cm}^{-3}$ ]. ●は尾根部を, ○は斜面下部を示す.

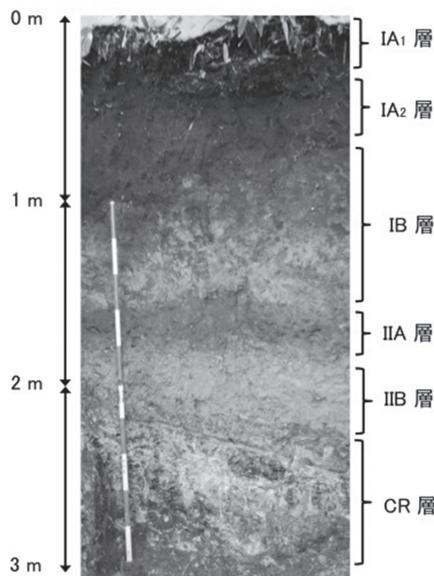


図2 斜面下部の土壤断面

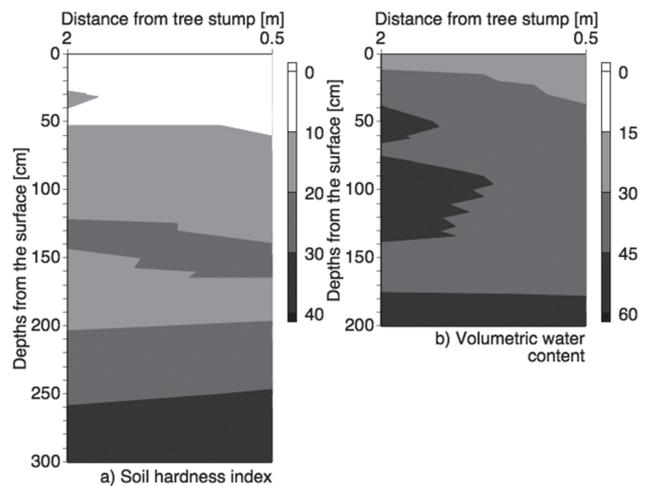


図4 土壤硬度 (a) [mm] と体積水分率 [% v/v] の分布. 硬度は図右側のスケールにあるように色の濃淡で示され, 白は柔らかく黒は硬い. 図の右方向にスギの根株がある.

比べ斜面下部の土壤は多くのレキを含むが, とくに斜面下部の下層土壤に多くのレキがみられた.

尾根部と斜面下部の細土重を図3bに示す. 深さ2 mまでの層位では尾根部の方が大きな値を示した. ただし表層10 cmの層位だけは斜面下部の土壤で大きな値を示した.

斜面下部の土壤硬度分布を図4aに示す. 表層で柔らかく深層で硬い傾向にあるが, IB層に相当する表層から120 cmから150 cmの深さに周囲より若干硬い層が

分布していた.

斜面下部においてTDR水分計で求めた土壤の体積水分率分布を図4bに示す. 深さ2 m以深では前述のようにレキが多くTDRプローブが挿入できず現地での測定はできなかった. 測定できた範囲では, 表層で値が小さく, 深層で値が大きくなる傾向にあった.

土壤含水比を図5に示す. 尾根部も斜面下部も表層から深層にむかって含水比は低下していた. 尾根部では最表層の含水比が突出して高く, 2層目以深での変化は少ない. 斜面下部では表層から深層に徐々に含水比が低下していた. 尾根部と斜面下部を比較すると, 最表層では

両者近い値を示したが、深さ10 cmから2 mまでは斜面下部の値が高かった。

3. 土壤水分貯留量

尾根部と斜面下部の土壤中に貯留される水分量を図6に示した。林床表面から1 mの土壤に貯留される水分は尾根部も斜面下部も約400 kg m<sup>-2</sup>つまり400 mmの貯留量であった。どちらの断面も表層1 mよりも深い層位により多くの水分を貯留していた。土壤層位0.5 m当りの貯留水分量は尾根部では2.0-2.5 m層、斜面下部では1.0-1.5 m層がもっとも大きな値を示した。断面全体と

しては、尾根部では3 mの断面中に1,256 mm相当の、斜面下部では2.5 mの断面中に1,007 mm相当の水分が貯留されていた。

4. 土壤中の有機態炭素と有機態窒素

尾根部と斜面下部の土壤中に蓄積される炭素量を図7に、窒素量を図8に示した。炭素と窒素どちらも表層ほど多く蓄積していた。水分とは異なり、炭素と窒素どちらも斜面下部の黒色土に多く蓄積していた。

斜面下部の2層目0.5-1 mの層は最表層0-0.5 mの層に匹敵する炭素蓄積量がみられた。表層1 mの土壤

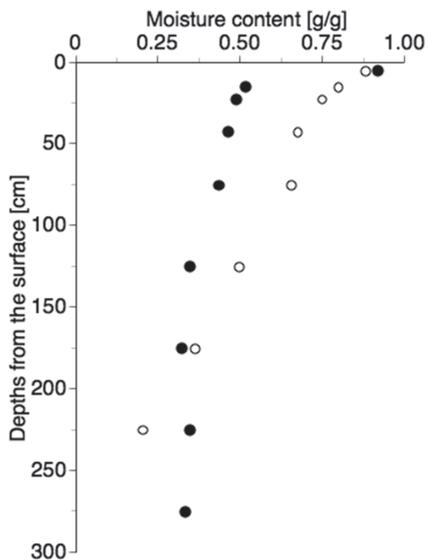


図5 土壤各深さの土壤含水比 [g g<sup>-1</sup>]. ●は尾根部を, ○は斜面下部を示す。

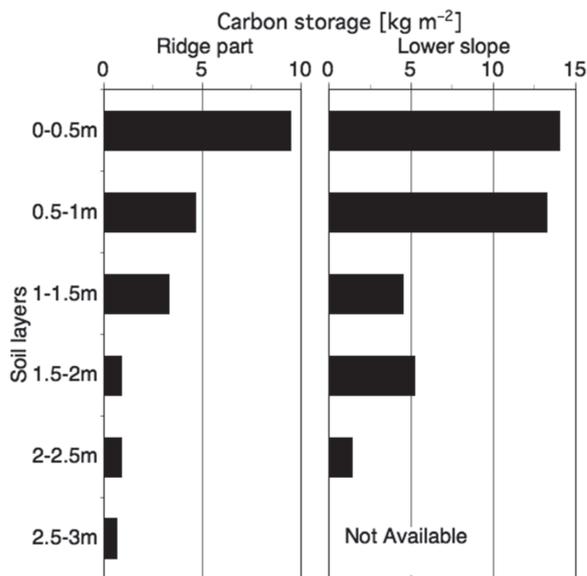


図7 土壤炭素貯留量 [kg m<sup>-2</sup>]

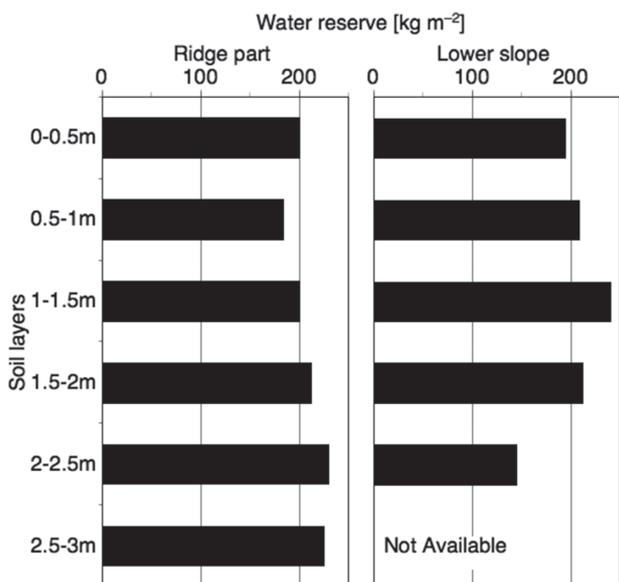


図6 土壤水分貯留量 [kg m<sup>-2</sup>]

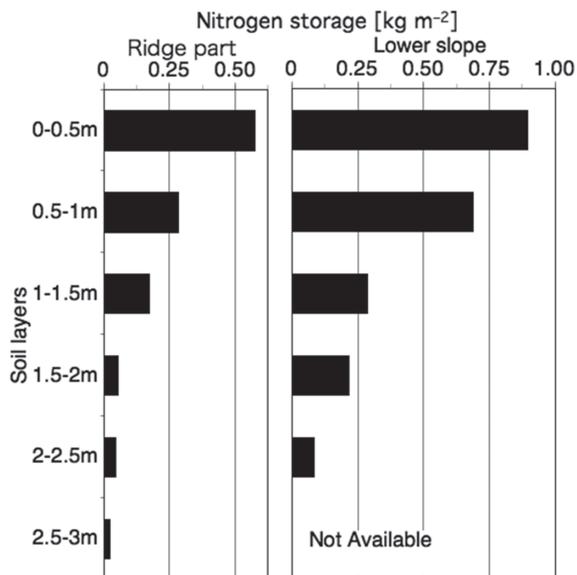


図8 土壤窒素貯留量 [kg m<sup>-2</sup>]

に蓄積する炭素量は、尾根部で  $14.2 \text{ kg m}^{-2}$ 、斜面下部で  $27.4 \text{ kg m}^{-2}$  であった。断面全体では尾根部 3 m で  $20.3 \text{ kg m}^{-2}$ 、斜面下部 2.5 m で  $38.8 \text{ kg m}^{-2}$  であった。

表層 1 m の土壤に蓄積する窒素量は、尾根部で  $0.87 \text{ kg m}^{-2}$ 、斜面下部で  $1.59 \text{ kg m}^{-2}$  であった。断面全体では尾根部 3 m で  $1.19 \text{ kg m}^{-2}$ 、斜面下部 2.5 m で  $2.19 \text{ kg m}^{-2}$  であった。

## 5. 細根量

表層から断面下部までの積算細根量を図 9 に示す。尾根部と斜面下部ともに表層 0-1 m に分布する細根がもっとも多く総細根量の 70% 以上がみられた。尾根部では表層 0-1 m について 2-3 m 層に多くの細根が分布した。

直径階別では尾根部では全細根量の 9% が 5-2 mm, 31% が 2-1 mm, 60% が 1-0 mm で、斜面下部では全細根量の 29% が 5-2 mm, 31% が 2-1 mm, 40% が 1-0 mm であった。斜面下部においては、より太い根の比率が高かった。

断面全体に分布する総細根量は、尾根部 3 m では  $1,302 \text{ g m}^{-2}$ 、斜面下部 2.5 m では  $806 \text{ g m}^{-2}$  であった。

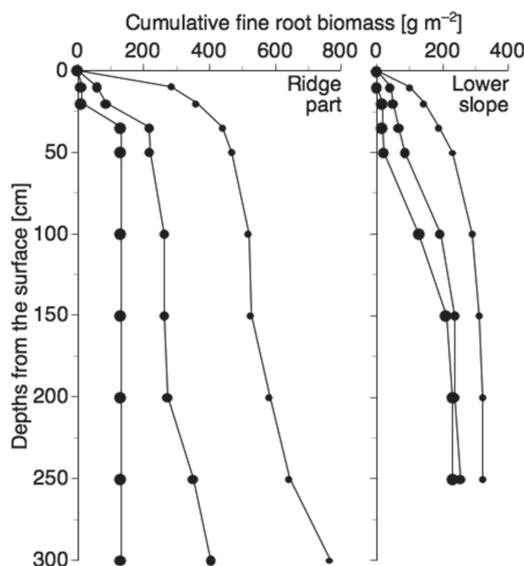


図 9 積算細根量。●は根径 5-2 mm を、●は根径 2-1 mm を、●は根径 1-0 mm をそれぞれ示す。

## 考 察

通常の森林土壤調査では土壤断面深度は 1 m 程度とされることが多い。本研究の結果からも 2.5 m ないしは 3 m の断面にみられる細根や有機物の 70% 以上が 1 m 以内に分布することが明らかになり (図 9, 図 10, 図 11), 森林土壤の表層 1 m がもつ生物活動における重要

性が裏付けられた。

一方で、森林土壤の水分貯留量は表層 1 m と同等ないしはそれ以上の貯留量が 2 m 以深の土壤層にみられることが明らかになった (図 6)。藤枝 (2007) によれば我が国の森林土壤の場合、土壤孔隙と土壤深の積として定義される土壤保水容量は 200-500 mm であるとし、花崗岩と火山灰を母材とする流域の保水容量が高いことを示している。また降水量と損失雨量から求めた流域貯留量の最大値は筑波山麓の 666 mm としている (藤枝 2007)。本研究では、降水量や孔隙サイズによらず定容サンプルを絶乾させる前後の重量変化から瞬間的な総水分量を求めており、単純な比較は困難であるが、土壤断面のどの層位も土壤深 1 m あたりの貯留量は 400 mm 程度となり断面全体で 1,000 mm を超えるこれまでの知見を大きく上回る数値が得られた。これは測定方法の違いによるものだけでなく、林床に雪の残る季節に行われた野外調査をもとにしており、蒸発散が限られた状況での値であることに注意が必要であろう。

アマゾン流域の森林と牧草地での研究例では、深さ 2 m の土壤断面のもつ水分貯留量は 800-950 mm であること、降水量の季節変化にともない雨期に上昇し乾期に低下することを報告している (Hondett ら 1995)。また別のアマゾン流域の季節林で深さ 8 m の土壤断面のもつ植物利用可能水分量は 56 mm から 941 mm まで大きく変動することが報告されている (Jipp ら 1998)。気候はアマゾン地帯と我が国とで大きく異なるが、これらの研究では我々の得た数値に近い土壤水分貯留量を示すとともに、表層土壤だけでなく深層土壤の水分も地表面での水分収支に素早く反応することが示された。我々の調査地においても、蒸発散のさかんな 4 月から 8 月の間に土壤水分貯留量がどの程度低下するか検証する必要がある。

土壤中の有機物量の指標として有機炭素蓄積量が挙げられる。我が国の森林土壤の有機炭素蓄積は 0.3 m 深までの平均で  $9.0 \text{ kg m}^{-2}$ 、1.0 m 深までの平均で  $18.8 \text{ kg m}^{-2}$  であるとされ、本研究の調査地と同じ乾性褐色森林土と弱湿性黒色土は深さ 1 m の土壤層中にそれぞれ  $17.2 \text{ kg m}^{-2}$  と  $33.0 \text{ kg m}^{-2}$  の有機炭素を蓄積している (Morisada ら 2004)。我々の調査対象とした土壤の炭素蓄積は日本の同タイプの土壤に比べ若干少ないことが明らかになった (図 7)。尾根部と斜面下部ともに最深部まで細根が分布しており (図 9)、細根を通じた水分や養分の吸収だけでなく地上から土壤中への無機炭素供給や枯死脱落にともなう有機物供給の場としても 1 m

を超える大深度層位が重要であることを示した。

本研究で得られた値を ha 単位の数値に外挿すると有機炭素蓄積量は尾根部で 203 Mg ha<sup>-1</sup>, 斜面下部で 388 Mg ha<sup>-1</sup> となった。Fukuda ら (2003) は日本の針葉樹人工林の平均的な地上部バイオマスに含まれる炭素蓄積はヒノキ人工林で 58 Mg ha<sup>-1</sup>, スギ人工林で 77 Mg ha<sup>-1</sup> であると報告しているが, 土壌中にはさらに多くの有機炭素が蓄積されていることが明らかである (Morisada ら 2004, 本研究)。しかし, 土壌炭素蓄積も必ずしも定常状態にあるとは言えず, Liski ら (2002) は過去 20 年の間にフィンランドの森林において土壌炭素蓄積が少しずつ増加する傾向にあることを示している一方で, Singh ら (2007) は亜熱帯地域における強度の耕作により土壌有機炭素が減り続けていたことを示した。土壌水分同様に土壌炭素も一回の調査に終わらず定期的なモニタリングの必要があるといえる。

## 結 論

藤枝 (2007) も Morisada ら (2004) も多くの国内での研究事例では, 土壌深度 1 m までのデータを扱っている。しかし, Hondett ら (1995) や Jipp ら (1998), また本研究において調査対象となった褐色森林土や黒色土の場合 1 m より深い土壌層位に無視できない量の水や炭素が蓄積されていることが明らかである。つまり, 森林土壌の水源涵養機能や炭素隔離機能を評価する場合, 風化の進行により深い土壌が生成しているような立地ではこれまでより深い土壌層まで調査対象としなければ過小評価になる可能性が示された。

## 謝辞

野外調査及び実験室での化学分析にあたっては森林学教育コースの学生に協力いただいた。ここに記して感謝いたします。

## 引用文献

- 藤枝 基久 (2007) 森林流域の保水容量と流域貯留量. 森林総合研究所研究報告 **6** (2) : 101-110.
- Fukuda, M., T. Iehara & M. Matsumoto (2003) Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. *Forest Ecology and Management* **184**: 1-16.
- Hodnett, M.G., L. Pimentel da Silva, H.R. da Rocha & R. Cruz Senna (1995) Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. *Journal of Hydrology* **170**: 233-254.
- Jipp, P.H., D.C. Nepstad, D.K. Cassel & C. Reis de Carvalho (1998) Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally-dry Amazonia. In: (Ed. by A. Markham) *Potential Impacts of Climate Change on Tropical Forest Ecosystems*, pp. 255-272, Springer.
- Liski, J., D. Perruchoud & T. Karjalainen (2002) Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management* **169**: 159-175.
- Morisada, K., K. Ono & H. Kanomata (2004) Organic carbon stock in forest soils in Japan. *Geoderma* **119**: 21-32.
- Singh, S.K., A.K. Singh, B.K. Sharma & J.C. Tarafdar (2007) Carbon stock and organic carbon dynamics in soils of Rajasthan, India. *Journal of Arid Environments* **68**: 408-421.