

未熟な土壤条件下における若齢針葉樹人工林の炭素・窒素貯留量 *

渡邊仁志・井川原弘一**・大洞智宏・横井秀一・中川 一 ***

The carbon and nitrogen storage of some young coniferous forests afforested in immature soil *

Hitoshi WATANABE, Koichi IGAWAHARA **, Tomohiro OBORA,
Shuichi YOKOI and Hajime NAKAGAWA ***

未熟土壤に植栽されたスギ, ヒノキ, アカマツ人工林(19年生)で, 林分に含まれる炭素・窒素貯留量を推定した。その結果, 単位面積あたりの鉱質土壤, 堆積有機物, 粗大有機物, 下層植生, 植栽木に存在する炭素貯留量は, $121.0 \sim 149.6 \text{ MgC ha}^{-1}$, 窒素貯留量は $5.10 \sim 7.04 \text{ MgN ha}^{-1}$ と推定された。炭素および窒素のほとんどが, 鉱質土壤に含まれており, それに続いて植栽木に多く含まれていた。本調査地のように, 未熟土壤に植栽され, 成長が抑制された林分における炭素・窒素貯留量は, 同齢の林分と比較して少ないと考えられる。森林の炭素貯留量を高精度で算定するためには, 立地区分を正確に行い, その区分に対応した樹種ごとの炭素・窒素貯留量について検討する必要がある。

キーワード: スギ, ヒノキ, アカマツ, 立地区分, 未熟土壤, 現存量, 炭素, 窒素

I はじめに

京都議定書の発効やその第一約束期間の開始を受け, 炭素吸収源としての森林への期待が高まっている。森林の炭素吸収量を正確に推定するために, その森林における現存量や炭素貯留量のデータの収集が求められている。それらの量は立地, 樹種, 林齢, 林分構造などによって異なることから, 様々なタイプの森林における調査が必要である。

針葉樹造林には適地適木が原則であり, 従来, 立地に適した樹種が植栽してきた。これまで炭素貯留量の調査が行われてきた林分(蜂屋ら, 1965; 相浦, 1988; 渡邊ら, 2004; 渡邊・茂木, 2005など)も, 生育状況が良好であることが多いため, その他の立地条件における炭素貯留量に関する情報は少ない。しかし, 森林の炭素貯留量を広範囲, 高精度で算定するためには, 適地ではない立地に植栽され, 成長が悪い森林についても評価しなければならない。

森林の炭素貯留においては, 土壤中の有機物が重要な役割を担っている。土壤有機物には植物への養分供給の役割があり, 養分の供給量の過少は, 林木の成長

を制限し, 森林の炭素固定に影響を及ぼすからである。中でも窒素は, わが国の土壤では天然に供給される量が最も少ない養分のひとつであり(河田, 1989), 林木の成長への影響は大きい。このことから, 本研究では, 炭素貯留量の推定と同時に窒素貯留量の推定も行った。

岐阜県南東部の丘陵地帯には, 新生代第三紀の未固結堆積物を母材とする黄色系・赤色系乾性褐色森林土壤が広範に分布する。これらの土壤は砂質で未熟性が強いため, 林木の成長も概して悪い(真下ら, 1974)。岐阜県可児市にあるマツ枯れ被害跡地更新試験地(中川ら, 1981)は, このような立地条件にあり, いくつかの樹種の成長過程や施業履歴が記録されている。この試験地における炭素・窒素貯留量が明らかになれば, 生育不良な立地環境に植栽された樹木の炭素・窒素貯留量やその動態の検討に有効である。この試験地では, 土壌調査(渡邊・中川, 2001), 植栽木の現存量調査(大洞ら, 2002), リターフォール量調査(井川原・中川, 2002)の結果が報告されている。本報告では, 既報の結果とあわせて, まだ報告されていない他の部分の現存量や炭素・窒素貯留量を推定し, この試験地の

* 本研究の一部は, 第112回, 第113回, 第114回日本林学会大会, および第49回, 第50回日本林学会中部支部大会において発表した。

** 現勤務先: 岐阜県林政課, *** 元岐阜県下呂農林事務所

炭素・窒素貯留量を明らかにした。

II 調査地および調査方法

1. 調査地の概況

岐阜県可児市大森にあるマツ枯れ被害跡地更新試験地に調査地を設置した。この試験地は標高約170mの東向き斜面下部にあり、平均傾斜は約17度である。地質は新生代第三紀の未固結堆積物（土岐砂礫層）である。土壤型は乾性褐色森林土壤（偏乾亜型）および赤色系乾性褐色森林土壤（偏乾亜型）で、未熟性が強く乾燥傾向にあった（渡邊・中川、2001）。南東に約7km離れた多治見地域気象観測所（標高120m）における平年値（観測期間は1979～2000年）は、平均気温14.6℃、年降水量1674mmであった（気象庁Webサイト、<http://www.jma.go.jp/>）。

試験地がある可児市南部は、過去に過度な森林利用が行われた地域で、森林荒廃や土壤流失が著しかった。明治時代には山林の保護育成のため、治山工事や緑化のための植林が行われた（可児町、1979）。試験地は保安林に指定されており、1898年に復旧治山事業によってクロマツが植栽された。このクロマツが枯損したため、更新に適した樹種を検討するため、1981年にスギ、ヒノキ、アカマツ、およびその他の樹種を植栽し、マツ枯れ被害跡地更新試験地を設置した（中川ら、1981）。植栽本数は、スギが2500本/ha、ヒノキが3600本/ha、アカマツが4800本/haであった。植栽の翌年から7年間下刈りが行われ、その後、1995年に除伐、1997年に間伐が実施された。

調査地は、この試験地のスギ植栽試験地(400m²)、ヒノキ植栽試験地(400m²)、アカマツ植栽試験地(200m²)とした。同一斜面の下部にスギ植栽試験地とヒノキ植栽試験地が隣接し、これらと比べるとやや斜面上部の凸型地形にアカマツ植栽試験地が位置している（図-1）。

2. 調査方法

2000年1月、植栽木の胸高直径(DBH:cm)、樹高(H:m)、枝下高(H_b:m)を測定した。このときの林齡は19年である。炭素・窒素貯留量を推定するための調査は、2000年5月～2001年1月に、調査林分を5つの部分（植栽木、下層植生、粗大有機物；1997年の間伐によって発生した伐倒木あるいは切り株、堆積有機物；A₀層、鉱質土壤）に分けて行なった。

(1) 現存量調査と土壤断面調査

植栽木の胸高直径分布をもとに、大きさが偏らないよ

うに試料木（スギ5本、ヒノキ5本、アカマツ4本）を選んで伐倒し、幹、枝、葉（スギとヒノキは緑色部分、アカマツは針葉が束生する部分より先）に分別した。幹の生重量を測定し、円板を1mごとに採取した。枝、葉は全量を秤量した。円板と枝、葉の一部を乾燥用試料として抽出し、乾燥重量(80℃、48時間)を測定した。乾燥用試料の乾物率（乾燥重量/生重量）を試料木の生重量に乗じて、試料木の地上部の乾燥重量とした。

試料木のうち、3個体について地下部（根株と根）の掘り取りを行った。根株、およびそれを中心とする樹冠半径の1/2を半径とする円の内側（内円部）と、樹冠半径を半径とする円を斜面方向に2分した半円のうち内円部を除く部分（外円部）を掘り起こし、試料木の根を深さ70cmまで採取した。採取した根株と根を持ち帰り、乾燥重量(80℃、48時間)を測定した。地下部の乾燥重量は、

$$\begin{aligned} \text{地下部の乾燥重量} &= \text{根株の乾燥重量} + \text{内円部} \\ &\quad \text{の根の乾燥重量} + \text{外円部の根の乾燥重量} \\ &\quad \times 2 \end{aligned} \tag{1}$$

で表される。

試料木の各器官の乾燥重量とDBH、または $DBH^2 \cdot H$ の関係を、単純相対成長式で近似した。

$$\text{各器官の乾燥重量} = a X^b \tag{2}$$

ただし、XはDBHまたは $DBH^2 \cdot H$ 、aとbは係数である。(2)式に各個体のDBHまたは $DBH^2 \cdot H$ を代入し、当てはまりがよかった方の式から、各植栽試験地における全個体の乾燥重量を算出した。

粗大有機物は、植栽試験地の全域を対象に調査した。伐倒木の末口直径、元口直径、長さと、切り株の切り口直径、地際直径、高さを計測し、Smalian式（梢端の場合円錐の求積式）により、材積を計算した。乾燥用試料（計30個）の材積と乾燥重量(80℃、48時間)を測定した。乾燥用試料の容積密度と、粗大有機物の材積から、粗大有機物の乾燥重量を推定した。

各植栽試験地に4m²の方形枠(2箇所)を設置し、枠内に生育する植栽木以外の植物（下層植生）を、木本種、草本種それぞれの地上部と地下部に分けて採取した。また、各植栽試験地に0.5m²方形枠(2箇所)を設置し、枠内の堆積有機物をL層、F層、H層に分けて採取した。下層植生、堆積有機物の乾燥重量(80℃、48時間)を測定した。

植栽木、粗大有機物、下層植生、堆積有機物のヘクター

表-1 調査地の林分概況

| 植栽試験地 | 林齢* | 胸高直径** | 樹高** | 枝下高** | 立木密度 | 材積 |
|-------|-----|----------|---------|---------|-----------------------|------------------------------------|
| | (年) | (cm) | (m) | (m) | (本 ha ⁻¹) | (m ³ ha ⁻¹) |
| スギ | 19 | 8.8±2.9 | 7.0±1.2 | 1.8±0.5 | 1710 | 50 |
| ヒノキ | 19 | 10.5±2.3 | 8.2±1.3 | 2.1±0.6 | 1680 | 68 |
| アカマツ | 19 | 10.9±2.2 | 7.9±1.1 | 4.0±1.0 | 1750 | 73 |

* 2000年1月現在の林齢である。

** 平均値±標準偏差を示す。

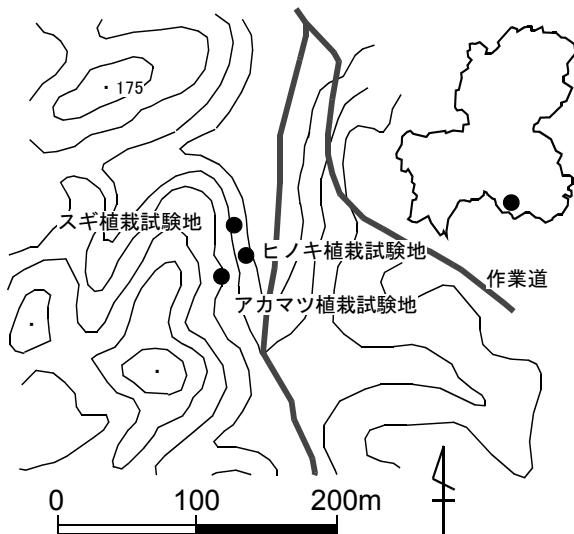


図-1 植栽試験地の配置

ルあたりの乾燥重量を求め、これを各部分の現存量とした。

堆積有機物を採取した地点で土壤断面調査を行い、深さ70cmまでの土壤層位を区分した。各層位で2点の土壤円筒試料(100cc)と炭素・窒素分析用の土壤試料(化学分析試料、約500g)を採取した。土壤円筒試料から、細土(<2mm)、石礫、根の乾燥重量(105°C、24時間)を測定し、常法(河田・小島、1976)に基づいて、細土容積重を求めた。化学分析試料から、石礫、有機物を除去し、細土のみを風乾した。

(2) 炭素・窒素貯留量の推定

試料の炭素・窒素含有率は、土壤の化学分析試料(各2点)、その他の測定部分(植栽木、下層植生、粗大有機物、堆積有機物)の乾燥試料(各2点)を微粉碎後、乾式燃焼法(ヤナコ社製CNコーダーMT-700)で測定した。この測定値と試料の含水率から、絶乾状態における試料の炭素・窒素含有率(%)を求める、測定部位ごとに平均した。

鉱質土壤の炭素・窒素貯留量(土壤深70cmまで)は、

$$\text{炭素または窒素貯留量} = \sum (\text{各土壤層位の炭素または窒素貯留量}) \quad (3)$$

で計算される。ここで、

$$\begin{aligned} \text{ある土壤層位の炭素または窒素貯留量} &= \text{平均層厚} \times (\text{炭素または窒素含有率} / 100) \\ &\times \text{細土容積重} \end{aligned} \quad (4)$$

である。また、その他の測定部分の炭素・窒素貯留量は、

$$\text{炭素または窒素貯留量} = \text{現存量} \times (\text{炭素または窒素含有率} / 100) \quad (5)$$

である。

III 結果と考察

1. 林分構造と林分の成長

植栽試験地の林分概況を表-1に示す。立木密度は1700本ha⁻¹前後で、植栽試験地間で大きく変わらなかった。植栽密度から本数が減少した理由は、スギ植栽試験地においては主に自然枯死、アカマツ植栽試験地においては主に間伐、ヒノキ植栽試験地においてはその両方によるものである。平均樹高、平均胸高直径、材積は、スギ植栽試験地が小さかった。平均樹高を樹高成長曲線(岐阜県林政部、1984;岐阜県林政部、1992a;岐阜県林政部、1992b)と比較すると、スギ植栽試験地は地位級5(5段階評価で1が最高)以下、ヒノキ植栽試験地は同4、アカマツ植栽試験地は同3に相当していた。また、林分密度管理図(岐阜県林政部、1984;岐阜県林政部、1992a;岐阜県林政部、1992b)によると、収量比数はスギ植栽試験地では0.39、ヒノキ植栽試験地では0.48、アカマツ植栽試験地では0.58であった。

2. 現存量

試料木の大きさと各器官の重量を表-2に示す。試料木の地上部重量は、スギでは5.9~55.3kg、ヒノキでは

表-2 試料木の大きさと各器官の重量

| 樹種 | 試料木 | 胸高直径 [*] (cm) | 樹高 [*] (m) | DBH ² H | 地上部重量 | | | 地下部 重量 (kg) |
|--|-----|---------------------------|------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| | | | | | 幹 (kg) | 枝 (kg) | 葉 (kg) | |
| スギ | 1 | 5.5 | 4.5 | 136.1 | 3.2 | 0.4 | 2.4 | 5.9 |
| | 2 | 8.4 | 7.3 | 515.1 | 10.3 | 1.0 | 6.9 | 18.2 |
| | 3 | 9.7 | 7.3 | 686.9 | 17.5 | 2.1 | 7.6 | 27.2 |
| | 4 | 12.4 | 8.5 | 1307.0 | 14.5 | 3.2 | 11.6 | 29.3 |
| | 5 | 12.9 | 10.3 | 1714.0 | 28.9 | 7.6 | 18.7 | 55.3 |
| ヒノキ | 1 | 8.1 | 7.0 | 459.3 | 9.5 | 2.3 | 4.8 | 16.7 |
| | 2 | 9.1 | 8.3 | 687.3 | 11.4 | 2.1 | 3.9 | 17.4 |
| | 3 | 11.1 | 8.9 | 1096.6 | 18.3 | 5.0 | 7.8 | 31.2 |
| | 4 | 12.5 | 10.9 | 1703.1 | 30.4 | 3.2 | 5.5 | 39.2 |
| | 5 | 14.4 | 9.7 | 2011.4 | 33.9 | 6.6 | 9.1 | 49.5 |
| アカマツ | 1 | 8.6 | 7.4 | 547.3 | 12.0 | 2.4 | 1.4 | 15.8 |
| | 2 | 10.4 | 5.9 | 638.1 | 11.9 | 5.8 | 2.4 | 20.1 |
| | 3 | 10.7 | 8.3 | 950.3 | 19.8 | 5.9 | 1.8 | 27.5 |
| | 4 | 13.8 | 8.5 | 1618.7 | 26.9 | 9.8 | 5.1 | 41.7 |
| | | | | | | | | |
| * 大洞ら(2002)による。 四捨五入による端数処理のため合計と内訳数字の計が一致しないことがある。 | | | | | | | | |

表-3 単純相対成長式へのあてはめ結果

| 樹種 | 器官 | X | a | b | 決定係数 |
|------|------|--------------------|-------|-------|----------|
| スギ | 幹 | DBH ² H | 0.069 | 0.797 | 0.903 * |
| | 枝 | DBH ² H | 0.001 | 1.112 | 0.937 ** |
| | 葉 | DBH ² H | 0.056 | 0.763 | 0.981 ** |
| | 根株・根 | DBH ² H | 0.087 | 0.612 | 0.802 |
| ヒノキ | 幹 | DBH ² H | 0.033 | 0.911 | 0.981 ** |
| | 枝 | DBH | 0.052 | 1.767 | 0.707 |
| | 葉 | DBH | 0.378 | 1.158 | 0.609 |
| | 根株・根 | DBH | 0.042 | 2.157 | 0.999 * |
| アカマツ | 幹 | DBH ² H | 0.070 | 0.809 | 0.959 * |
| | 枝 | DBH | 0.006 | 2.863 | 0.916 * |
| | 葉 | DBH | 0.004 | 2.725 | 0.904 * |
| | 根株・根 | DBH | 0.012 | 2.850 | 0.960 |

表中のXは、単純相対成長式に採用した変数、aとbはそのときの係数。

* p < 0.05, ** p < 0.01で有意。

16.7～49.5kg、アカマツでは15.8～41.7kgであった。単純相対関係式で表した各器官の乾燥重量とDBHまたは $DBH^2 \cdot H$ の関係を示す(表-3)。スギの根、ヒノキの枝、葉、アカマツの根については、有意な近似式が得られなかった($p > 0.05$)。しかし、近似式の決定係数は比較的高かったので、他の式と同様、現存量の推定を利用した。

植栽木の現存量を表-4に示した。スギ、ヒノキ、アカマツの現存量は、47.8 Mg ha⁻¹～69.1 Mg ha⁻¹で、このうち地上部現存量(幹、枝、葉の現存量を合計したもの)

は、38.4 Mg ha⁻¹、46.4 Mg ha⁻¹、48.4 Mg ha⁻¹であった。

スギ若齢林を調査した15事例(四大学および信大合同調査班、1966；西村・川村、1978；坂上、1982a；坂上、1982b；安田・阪上、1984；根岸ら、1988；片桐ら、1990；相浦、1997)によると、12～24年生スギ人工林の植栽木の地上部現存量は、40.4～204.7 Mg ha⁻¹であった。また、ヒノキ若齢林では、28年生林分の52.3～115.9 Mg ha⁻¹(原田ら、1969)、10年生林分の48.2～59.8 Mg ha⁻¹(牧瀬ら、1992)などの報告がある。同様に、アカマツ若齢林については、10～25年生の高密度林分

表-4 植栽木の現存量と炭素・窒素貯留量

| 植栽試験地 | 部 位 | 器 官 | 現存量 (Mg ha ⁻¹) | 炭 素 含有率 (%) | 窒 素 含有率 (%) | 炭 素 貯留量 (MgC ha ⁻¹) | 窒 素 貯留量 (MgN ha ⁻¹) |
|-------|-----|------|-------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| スギ | 地上部 | 幹 | 21.4 | 50.4 | 0.34 | 10.8 | 0.07 |
| | | 枝 | 3.6 | 50.5 | 0.50 | 1.8 | 0.02 |
| | | 葉 | 13.4 | 53.8 | 1.14 | 7.2 | 0.15 |
| | 地下部 | 小計 | 38.4 | | | 19.8 | 0.24 |
| | | 根株・根 | 9.4 | 48.5 | 0.41 | 4.6 | 0.04 |
| | 合 計 | | 47.8 | | | 24.4 | 0.28 |
| ヒノキ | 地上部 | 幹 | 30.7 | 50.4 | 0.34 | 15.5 | 0.10 |
| | | 枝 | 5.9 | 50.3 | 0.60 | 3.0 | 0.04 |
| | | 葉 | 9.8 | 52.9 | 1.39 | 5.2 | 0.13 |
| | 地下部 | 小計 | 46.4 | | | 23.7 | 0.28 |
| | | 根株・根 | 12.0 | 50.2 | 0.45 | 6.0 | 0.05 |
| | 合 計 | | 58.5 | | | 29.7 | 0.33 |
| アカマツ | 地上部 | 幹 | 32.7 | 50.8 | 0.31 | 16.6 | 0.10 |
| | | 枝 | 10.9 | 52.6 | 0.71 | 5.7 | 0.08 |
| | | 葉 | 4.8 | 54.2 | 1.67 | 2.6 | 0.08 |
| | 地下部 | 小計 | 48.4 | | | 25.0 | 0.26 |
| | | 根株・根 | 20.7 | 50.6 | 0.49 | 10.5 | 0.11 |
| | 合 計 | | 69.1 | | | 35.4 | 0.37 |

四捨五入による端数処理のため合計と内訳数字の計が一致しないことがある。

表-5 下層植生の現存量と炭素・窒素貯留量

| 植栽試験地 | 部 位 | 現存量 (Mg ha ⁻¹) | 炭 素 含有率 (%) | 窒 素 含有率 (%) | 炭 素 貯留量 (MgC ha ⁻¹) | 窒 素 貯留量 (MgN ha ⁻¹) | |
|-------|-----|-------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------|
| スギ | 地上部 | 木本 | 7.3 | 50.9 | 1.30 | 3.7 | 0.09 |
| | | 草本 | 1.9 | 44.6 | 1.04 | 0.8 | 0.02 |
| | 地下部 | 木本 | 12.3 | 49.7 | 0.53 | 6.1 | 0.07 |
| | | 草本 | 2.0 | 47.0 | 0.91 | 0.9 | 0.02 |
| | 合 計 | | 23.5 | | | 11.6 | 0.20 |
| ヒノキ | 地上部 | 木本 | 3.2 | 49.9 | 1.46 | 1.6 | 0.05 |
| | | 草本 | 0.1 | 47.1 | 1.31 | 0.0 | 0.00 |
| | 地下部 | 木本 | 4.7 | 49.9 | 0.72 | 2.3 | 0.03 |
| | | 草本 | 0.2 | 47.9 | 1.38 | 0.1 | 0.00 |
| | 合 計 | | 8.2 | | | 4.2 | 0.08 |
| アカマツ | 地上部 | 木本 | 5.0 | 51.8 | 1.09 | 2.6 | 0.05 |
| | | 草本 | 0.2 | 48.0 | 1.07 | 0.1 | 0.00 |
| | 地下部 | 木本 | 5.9 | 50.5 | 0.73 | 3.0 | 0.04 |
| | | 草本 | 0.1 | 47.4 | 0.90 | 0.0 | 0.00 |
| | 合 計 | | 11.2 | | | 5.7 | 0.10 |

四捨五入による端数処理のため合計と内訳数字の計が一致しないことがある。

の 53.9 ~ 104.6 Mg ha⁻¹ (蜂屋ら, 1989), 12 ~ 16 年生の高密度林分の 53.7 ~ 129.9 Mg ha⁻¹ (外館, 1978; 外館, 1979), 29 年生林分の 106.6 ~ 117.4 Mg ha⁻¹ (丹羽, 2006) などがある。既存の調査事例の結果と比べると、本調査の結果 (表-4) はいずれも少ないといえる。

下層植生の現存量を表-5 に示した。試料採取時の観

察によれば、スギ植栽試験地とアカマツ植栽試験地では、低木層がよく発達しており、草本層はネザサ、ワラビが優占していた。ヒノキ植栽試験地の草本層は乏しかったが、低木層の植被率は比較的大きかった。下層植生の現存量は 8.2 ~ 23.5 Mg ha⁻¹ で、スギ植栽試験地で多かった。

堆積有機物の現存量を表-6 に示した。堆積有機物の

表-6 堆積有機物と粗大有機物の現存量と炭素・窒素貯留量

| 植栽試験地 | 部 分 | 層 位 | 現存量* | 炭 素 | 窒 素 | 炭 素 | 窒 素 |
|-------|-------|-------|------------------------|---------|---------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | | (Mg ha ⁻¹) | 含有率 (%) | 含有率 (%) | 貯留量 (MgC ha ⁻¹) | 貯留量 (MgN ha ⁻¹) |
| スギ | 堆積有機物 | L | 3.6 | 48.8 | 1.53 | 1.7 | 0.05 |
| | | F | 3.5 | 27.5 | 1.28 | 1.0 | 0.05 |
| | | H | 6.0 | 16.2 | 1.01 | 1.0 | 0.06 |
| | 計 | | 13.1 | | | 3.7 | 0.16 |
| ヒノキ | 堆積有機物 | 粗大有機物 | 2.9 | 51.3 | 0.37 | 1.5 | 0.01 |
| | | L | 3.7 | 51.2 | 1.32 | 1.9 | 0.05 |
| | | F | 6.0 | 50.0 | 1.83 | 3.0 | 0.11 |
| | | H | 19.7 | 26.8 | 1.17 | 5.3 | 0.23 |
| アカマツ | 堆積有機物 | 計 | 29.4 | | | 10.2 | 0.39 |
| | | 粗大有機物 | 7.1 | 51.3 | 0.37 | 3.6 | 0.03 |
| | | L | 7.2 | 51.2 | 1.36 | 3.7 | 0.10 |
| | | F | 19.4 | 39.5 | 1.60 | 7.7 | 0.31 |
| アカマツ | 堆積有機物 | H | 15.6 | 14.5 | 0.75 | 2.2 | 0.11 |
| | | 計 | 42.2 | | | 13.6 | 0.52 |
| | | 粗大有機物 | 9.0 | 51.3 | 0.37 | 4.6 | 0.03 |

* このうち、堆積有機物については、渡邊・中川(2001)による。

四捨五入による端数処理のため合計と内訳数字の計が一致しないことがある。

表-7 鉱質土壌の炭素・窒素貯留量

| 植栽試験地 | 層 位 | 平均層厚* | 細土容積重 | 炭 素 | 窒 素 | 炭 素 | 窒 素 |
|-------|-----|-------|-----------------------|---------|---------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | (m) | (kg m ⁻³) | 含有率 (%) | 含有率 (%) | 貯留量 (MgC ha ⁻¹) | 貯留量 (MgN ha ⁻¹) |
| スギ | A | 0.14 | 976.3 | 3.6 | 0.20 | 48.5 | 2.7 |
| | B | 0.56 | 1265.9 | 0.6 | 0.05 | 43.1 | 3.4 |
| | 計 | 0.70 | | | | 91.7 | 6.1 |
| ヒノキ | A | 0.18 | 999.5 | 3.4 | 0.18 | 59.0 | 3.1 |
| | B | 0.53 | 1204.7 | 0.7 | 0.05 | 42.9 | 3.2 |
| | 計 | 0.70 | | | | 101.9 | 6.2 |
| アカマツ | A | 0.14 | 1031.6 | 1.7 | 0.09 | 24.3 | 1.2 |
| | B | 0.57 | 1077.2 | 0.6 | 0.05 | 37.3 | 2.8 |
| | 計 | 0.70 | | | | 61.7 | 4.1 |

* 土壌断面2地点の平均値。

四捨五入による端数処理のため合計と内訳数字の計が一致しないことがある。

現存量は試験地間で差がみられ、特にアカマツ植栽試験地で多かった。小野ら(2002)が全国で調べた林相区分ごとの堆積有機物量16.6 Mg ha⁻¹(スギ林), 10.0 Mg ha⁻¹(ヒノキ林), 23.0 Mg ha⁻¹ (アカマツ林)と比較すると、本調査の結果はヒノキ(29.4 Mg ha⁻¹)とアカマツ(42.2 Mg ha⁻¹)の植栽試験地で多かった。ヒノキ人工林では、しばしば下層植生の衰退と堆積リター や表層土壌の流失が問題になっている(例えば赤井、1977)。本試験地は、緩傾斜で下層植生が比較的多いために、堆積リター の移動が起こりにくく、ヒノキ植栽試験地の堆積有機物量が多かったと考えられる。アカマツ植栽試験地の堆積有機

物については、次の項(III-3)で検討する。

また、粗大有機物の現存量は2.9~9.0Mg ha⁻¹であった(表-6)。アカマツ植栽試験地では、1997年に61%(本数率)の強度間伐が実施されたことから、粗大有機物の量が多いと考えられた。

3. 炭素・窒素貯留量

植栽木の炭素貯留量は、スギでは24.4 MgC ha⁻¹、ヒノキでは29.7 MgC ha⁻¹、アカマツでは35.4 MgC ha⁻¹であった(表-4)。窒素貯留量は、スギでは0.28 MgN ha⁻¹、ヒノキでは0.33 MgN ha⁻¹、アカマツでは0.37 MgN ha⁻¹

表-8 調査地のCN比

| 部分 | スギ 植栽試験地 | ヒノキ 植栽試験地 | アカマツ 植栽試験地 |
|-------|-------------|--------------|---------------|
| 植栽木 | 幹 | 149.1 | 149.1 |
| | 枝 | 101.0 | 84.0 |
| | 葉 | 47.2 | 38.2 |
| 下層植生 | 根株・根 | 118.6 | 103.0 |
| | 地上部* | 40.0 | 34.3 |
| | 地下部* | 87.5 | 68.3 |
| 粗大有機物 | | 138.6 | 138.6 |
| 堆積有機物 | L | 31.9 | 38.9 |
| | F | 21.5 | 27.3 |
| | H | 16.0 | 23.0 |
| 鉱質土壌 | A | 18.2 | 19.3 |
| | B | 12.6 | 13.6 |

* 加重平均値。

であった（表-4）。炭素貯留量、窒素貯留量とともにスギ、ヒノキ、アカマツの順に多かった。測定部分のCN比（炭素と窒素の含有率の比）を表-8に示す。葉は窒素含有率が高いため、非同化器官と比べてCN比が低かった。

下層植生の炭素貯留量と窒素貯留量は、それぞれ4.2～11.6MgC ha⁻¹, 0.08～0.20MgN ha⁻¹であった（表-5）。また、粗大有機物では、同様に1.5～4.6MgC ha⁻¹, 0.01～0.03MgN ha⁻¹であった（表-6）。

堆積有機物の炭素・窒素貯留量を表-6に示した。炭素・窒素含有率は、L層、F層、H層と下層ほど低い傾向にあった。炭素貯留量は合計3.7～13.6MgC ha⁻¹、窒素貯留量は合計0.16～0.52MgN ha⁻¹であった。CN比は、L層で31.9～38.9、H層で16.0～23.0であった（表-8）。

堆積有機物の炭素・窒素貯留量は、アカマツ植栽試験地で最も多かった。その原因として、堆積有機物層における有機物（堆積リター）の分解速度の違い、あるいは堆積リターの供給源であるリターフォール量の違いが考えられる。堆積リターの分解速度を検討するために、各層におけるCN比を植栽試験地間で比較すると、CN比には大きな差がみられなかった（表-8）。このことから、堆積リターの分解速度は、植栽試験地間でほぼ同じであると推測され、アカマツ植栽試験地の堆積リターの分解が特別に遅れているとはいえない。一方、本調査地のリターフォール量（2001年1月から12月までの1年間）は、スギ植栽試験地で0.89Mg ha⁻¹ yr⁻¹、ヒノキ植栽試験地で1.64Mg ha⁻¹ yr⁻¹、アカマツ植栽試験地で2.32Mg ha⁻¹ yr⁻¹であった（井川原・中川、2002）。アカマツ植栽試験地のリターフォール量は、他の植栽試験地に比べて多かった。これらのことから、アカマツ植栽試験地の堆積有機物の炭素・窒素貯留量が多いのは、リターフォールとし

て林床に供給される有機物の量が多かったためだと考えられる。

鉱質土壌（深さ70cmまで）は、A層、B層に区分された（渡邊・中川、2001）。表-7に、鉱質土壌の炭素・窒素貯留量を示した。細土容積重は、すべての植栽試験地でA層の方が小さかった。鉱質土壌の炭素貯留量は、61.7～101.9MgC ha⁻¹、窒素貯留量は4.1～6.2MgN ha⁻¹であった。国内の土壤調査報告を収集した結果（Morisada et al., 2003）によると、赤褐色系・黄褐色系褐色森林土（本調査地の赤色系・黄色系褐色森林土と同じ意味）と乾性褐色森林土の炭素貯留量（深さ70cmまで）は、115～140 MgC ha⁻¹であった。これと比較すると、本調査の結果（表-7）は、どの植栽試験地でも少なかった。母材の性質とかつての土壤流亡の結果、土壤の未熟性が強いためと推察される。

植栽試験地間で比較すると、鉱質土壌の炭素・窒素貯留量は、アカマツ植栽試験地で特に少なかった（表-7）。これは、鉱質土壌のA層の炭素・窒素含有率が低いことに起因する。含有率は炭素、窒素のいずれも低いことと、CN比はその他の植栽試験地と比較して大きく違わなかった（表-8）ことから、アカマツ植栽試験地では、堆積有機物層から鉱質土壌への腐植の浸透が悪いことが推察される。アカマツ植栽試験地は、その他の植栽試験地と比較して、斜面上部の凸型地形にある。このような地形の差が炭素や窒素の蓄積に影響しているのではないかと考えられる。

4. 未熟な土壤条件下における炭素・窒素貯留量

以上の結果から、本調査地における植栽木、下層植生、粗大有機物、堆積有機物、鉱質土壌に存在する炭素貯留

表-9 調査地の炭素貯留量

| 植栽試験地 | 植栽木 | 下層植生 | 粗大有機物 | 堆積有機物 | 鉱質土壤 | 合計 |
|-------|------------------|-----------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------|
| スギ | 24.4 (18.3) | 11.6 (8.7) | 1.5 (1.1) | 3.7 (2.8) | 91.7 (69.0) | 132.8 (100.0) |
| ヒノキ | 29.7 (19.8) | 4.2 (2.8) | 3.6 (2.4) | 10.2 (6.8) | 101.9 (68.1) | 149.6 (100.0) |
| アカマツ | 35.4 (29.3) | 5.7 (4.7) | 4.6 (3.8) | 13.6 (11.3) | 61.7 (50.9) | 121.0 (100.0) |

単位はMgC ha⁻¹。括弧書きは、炭素貯留量の合計に対する各部分の割合(%)を示す。

四捨五入による端数処理のため合計と内訳数字の計が一致しないことがある。

表-10 調査地の窒素貯留量

| 植栽試験地 | 植栽木 | 下層植生 | 粗大有機物 | 堆積有機物 | 鉱質土壤 | 合計 |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| スギ | 0.28 (4.2) | 0.20 (2.9) | 0.01 (0.2) | 0.16 (2.4) | 6.09 (90.3) | 6.74 (100.0) |
| ヒノキ | 0.33 (4.7) | 0.08 (1.2) | 0.03 (0.4) | 0.39 (5.5) | 6.22 (88.3) | 7.05 (100.0) |
| アカマツ | 0.37 (7.3) | 0.10 (2.0) | 0.03 (0.7) | 0.52 (10.3) | 4.07 (79.8) | 5.10 (100.0) |

単位はMgN ha⁻¹。括弧書きは、窒素貯留量の合計に対する各部分の割合(%)を示す。

四捨五入による端数処理のため合計と内訳数字の計が一致しないことがある。

量は、スギ植栽試験地では 132.8 MgC ha⁻¹、ヒノキ植栽試験地では 149.6 MgC ha⁻¹、アカマツ植栽試験地では 121.0 MgC ha⁻¹ と推定された（表-9）。同様に窒素貯留量は、スギ植栽試験地では 6.74 MgN ha⁻¹、ヒノキ植栽試験地では 7.05 MgN ha⁻¹、アカマツ植栽試験地では 5.10 MgN ha⁻¹ と推定された（表-10）。炭素・窒素貯留量の分布比率をみると、鉱質土壤中には、炭素貯留量の約 50～70%，窒素貯留量の約 80～90% が含まれておらず、植栽木中には、炭素貯留量の約 18～30%，窒素貯留量の約 4～7% が含まれていた。炭素および窒素のほとんどが、鉱質土壤に含まれており、それに続いて植栽木に多く含まれていたといえる。既存研究の結果と比較した（III-2, III-3）ところ、本調査地では、堆積有機物の現存量は多かったが、植栽木の地上部現存量や鉱質土壤の炭素貯留量は少なかった。このことから、未熟な土壤に植栽されたスギ、ヒノキ、アカマツ若齢林における総炭素貯留量（表-9）は、同齢の林分と比較して少ないと考えられる。また、直接比較はできなかったが、総窒素貯留量（表-10）についても同様に、同齢の林分と比較して少ないと推察される。

渡邊ら（2004）、渡邊・茂木（2005）は、本試験地とほぼ同様の調査を行い、適潤性褐色森林土壤におけるスギ、ヒノキ、アカマツ林分（33～35年生）の植栽木に

含まれる炭素貯留量を推定している。これによると、スギ、ヒノキ、アカマツの植栽木に含まれる炭素貯留量は、それぞれ 275.5 MgC ha⁻¹、153.6 MgC ha⁻¹、88.6 MgC ha⁻¹ で、その量はスギ、ヒノキ、アカマツの順に多かった。これらの報告では、造林木が成長に適した立地（いずれの樹種も地位級1）に植栽されているために、樹種ごとの成長差が、炭素貯留量に大きな差をもたらした（渡邊・茂木、2005）と推定している。

一方、本調査地では、植栽木に含まれる炭素・窒素貯留量は、アカマツ、ヒノキ、スギの順に多かった（表-9、表-10）。成長に適した立地（渡邊ら、2004；渡邊・茂木、2005）と本調査地における植栽木の炭素貯留量を比較すると、その差が最も大きかったのはスギで、最も小さかったのはアカマツである。スギは、成長に適した立地に植栽されると、成長が良好で炭素貯留量は大きくなるが、未熟で貧栄養な立地に植栽されると、成長が不良で炭素貯留量は小さくなる。一方、アカマツは、未熟で貧栄養な土壤に植栽された場合でも、成長への影響がスギほどは大きくないことから、炭素貯留量は比較的多いと考えられる。両樹種の立地条件への応答の違いが、本調査地におけるスギとアカマツの炭素貯留量の差をもたらしたと推察できる。

生育適地に植栽され元来の成長が可能な場合と、本調

査地のように未熟土壤に植栽され成長が抑制される場合とでは、同樹種であっても、その炭素・窒素貯留量は大きく異なるといえる。森林の炭素貯留量を高精度で算定するためには、立地区分を正確に行い、その区分に対応した樹種ごとの炭素・窒素貯留量について検討する必要がある。

謝 辞

マツ枯れ被害跡地更新試験地の設定は、野々田三郎、木村等の両氏（当時、岐阜県林業センター）の、2000年の現地調査は、中村基氏（当時、岐阜県林業短期大学校）、長屋公三氏（当時、岐阜県森林科学研究所）の協力のもとに実施した。論文の執筆にあたっては、岐阜県森林研究所の森林環境部長の古川邦明氏、ならびに杉山正典氏、茂木靖和氏に有益なご助言を頂いた。試験地の設定と現地調査の実施にあたり、岐阜県可児市ならびに可児市大森財産区管理会の関係諸氏の協力を得た。本研究は、文部科学省科学研究費地域連携推進研究「木曽三川のエコロジカル流域管理計画」（補助金 No.11794029）の一環として実施した。この実施にあたっては、岐阜大学流域圏科学研究センターの秋山侃教授にご尽力を賜った。ここに記して、各位に謝意を表する。

引用文献

- 相浦英春（1988）ボカスギ人工林の生産力. 富林技研報 1 : 11-19.
- 相浦英春（1997）氷見市針木地内に成立するカワイダニスギ若齢林の生産力と成育経過. 富林技研報 10 : 59-75.
- 赤井龍男（1977）ヒノキ林の地力減退問題とその考え方. 林業技術 419 : 7-11.
- 岐阜県林政部（1984）アカマツ人工林林分材積表・林分収穫予想表. 88pp, 岐阜県.
- 岐阜県林政部（1992a）スギ人工林林分収穫表・林分密度管理図. 21pp, 岐阜県.
- 岐阜県林政部（1992b）ヒノキ人工林林分収穫表・林分密度管理図. 25pp, 岐阜県.
- 蜂屋欣二・土井恭次・小林玲爾（1965）アカマツ林の林分成長の解析、岩手地方壮齢人工林の一例. 林試研報 176 : 75-88.
- 蜂屋欣二・竹内郁雄・柳秋一延（1989）高密度のアカマツ林の一次生産の解析. 林試研報 354 : 39-97.
- 原田洸・佐藤久男・堀田庸・只木良也（1969）28年生スギ林およびヒノキ林の養分含有量. 日本林学会誌 51 : 125-133.
- 井川原弘一・中川一（2002）針葉樹人工林のリターフォール量と含有炭素量・窒素量. 岐阜県森林研研報 31 : 7-12.
- 可児町（1979）可児町史、通史編. 1399pp, 岐阜県可児郡可児町, 岐阜.
- 片桐成夫・金子信博・小畠靖（1990）手入れ不足のスギ人工林の物質循環、地上部および土壤の養分集積量と養分還元量. 島根大農研報 24 : 21-27.
- 河田弘（1989）窒素（N）の形態と循環および可給性（森林土壤学概論、河田弘, 399pp., 博友社, 東京). 223-242.
- 河田弘・小島俊郎（1976）環境測定法（IV），森林土壤. 190pp, 共立出版株式会社, 東京.
- 牧瀬明弘・山本譲・秋田豊・中井勇・山本俊明（1992）徳山試験地における植栽密度を異にしたヒノキ幼齢林の成長と林分現存量. 京大農演集報 23 : 69-80.
- 真下育久・有光一登・八木久義・小林繁男（1974）：土壤細説、主として山地・丘陵地地域の土壤（林野土壤）（土地分類基本調査「美濃加茂」, 土じょう各論・経済企画庁, 64pp, 経済企画庁). 1-53.
- Morisada K., Ono K. and Kanomata H. (2003) Organic carbon stock in forest soils in Japan. Geoderma 119 : 21-32.
- 中川一・野々田三郎・木村等（1981）マツ枯れ被害跡地更新試験. 岐阜県林セ業務報告（昭和 55 年度）: 22-25.
- 西村武二・川村奉文（1978）高知大学農学部演習林における森林生産力調査（II），12 年生スギ造林地の生産力について. 高知大演報 6, 45-54.
- 丹羽花恵（2006）壮齢アカマツ人工林における地上部現存量. 岩手林技セ研報 14, 38-40.
- 大洞智宏・渡邊仁志・中川一（2002）未熟な土壤条件下における針葉樹人工林の地上部現存量調査. 中森研 50 : 39-40.
- 小野賢二・鹿又秀聰・森貞和仁（2002）日本の森林における堆積有機物量の評価手法の検討. 日林関東支論 53 : 143-144.
- 坂上俊郎（1982a）タテヤマスギ幼齢林の生産力. 富山県林試研報 8 : 9-16.
- 外館聖八郎（1978）天然生アカマツ放置林分における現存量の推移. 日林論 89 : 189-190.
- 外館聖八郎（1979）天然生アカマツ筋刈林分における現存量の推移. 日林論 89 : 319-320.
- 渡邊仁志・中川一（2001）植栽樹種が土壤発達におよぼす影響について. 中森研 49 : 29-32.

渡邊仁志・茂木靖和・大洞智宏・中川一（2004）適潤性褐色森林土壤における壮齢アカマツ人工林の炭素貯留量. 岐阜県森林研所報 33 : 13-18.

渡邊仁志・茂木靖和（2005）壮齢スギ, ヒノキ人工林における林分の炭素貯留量. 岐阜県森林研研報 34 : 11-16.

安田洋・阪上俊郎（1984）タテヤマスギ若齡林の養分現存量. 富山県林試研報 10 : 1-15.

四大学および信大合同調査班（1966）森林の生産力に関する研究(III), スギ人工林の物質生産について. 63pp, 日林協, 東京.