

東京大学千葉演習林における炭素蓄積量の推定 —1995年と1909年の比較—

白石則彦*1・土田絢子*1,*3・泉 桂子*1,*4・鈴木 誠*2

Estimation of Carbon Storage and Its Change in the Tokyo University Forest in Chiba

—Comparison between 1995 and 1909—

Norihiko SHIRAISHI*1, Ayako TSUCHIDA*1,*3,
Keiko IZUMI*1,*4 and Makoto SUZUKI*2

第1章 研究の背景と目的

近年、森林のもつ多様な機能が注目を集めている。中でも樹木体内に炭素を長期間蓄積する機能は、地球温暖化防止の国際的枠組みの中で政治的にも大きなウエイトをもつようになった。

1997年「気候変動枠組条約締約国会議第3回会合」(COP3)で採択された「京都議定書」により、二酸化炭素吸収源として森林が認められることとなった。同議定書、およびその後一連の締約国会議(COP6, COP7と略称される)では第一約束期間(2008~2012年)の温室効果ガス削減量に1990年以降行われた植林や林地への転用による吸収量増加に加え、「森林管理」による吸収量も盛り込まれることが決定した。「森林管理」による吸収量の値は日本の場合3.9%を上限として認められている(COP7, マラケシュ合意(橋本・高村, 2002))。京都議定書ではこれらの国際的取り組みを機能させるために、附属書Iの締約国(いわゆる先進国)は「1990年以降における炭素蓄積を設定し、およびその後の年における炭素蓄積の変化量に関する推測を可能にするための資料を提供する」(京都議定書第3条第4項, 引用に当たっては(高村・亀山, 2002)を参照した)ことが規定され、森林・林業分野にもデータ収集の使命が課せられている。

また、いわゆる「持続可能な森林経営」のための「基準と指標」においても、森林の炭素吸収の働き、およびそのモニタリングは重視されている。モントリオール・プロセスの基準5では「地球的炭素循環への寄与の維持」が、これに関連する指標5.a「森林生態系の総バイオマス及び炭素蓄積量、そして、妥当ならばこれらの森林クラス、齢級及び遷移段階ごとの区分」、5.b「炭素の吸収・放出を含む地球上の全炭素収支への森林生態系の寄与(植物体現存量、倒木、根株中の炭素量、泥炭及び土壌中の炭素量)」、5.c「地球上の炭素収支への林産物の寄与」がうたわれて

*1 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻

*1 Department of Forest Science, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

*2 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林千葉演習林

*2 University Forest in Chiba, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

*3 現在日経BP社

*3 Nikkei Business Publications Inc.

*4 現在日本獣医畜産大学

*4 Nippon Veterinary and Animal Science University.

いる。

これらの国際的動向を背景として、わが国においても森林の炭素蓄積機能の定量的評価が求められている。適切な評価のためには森林の広域的・長期にわたるモニタリングやインベントリーが不可欠である。しかし1999年度より始まった全国森林資源モニタリング調査においても、上記のモントリオール・プロセスで定められた炭素循環に関するデータの収集体制が未だ整っていないとは言い難い。なぜならこのモニタリング調査は全森林クラスを網羅しておらず、また森林土壌調査が組み込まれていない(白石, 1999)からである。

一方、森林に関わる炭素循環の研究史を振り返ってみると、これまでに単木あるいは林分レベルを対象に炭素蓄積量を推定した研究が異なる森林クラスで行われている。これらの成果には、三重県内の広葉樹林を対象とした炭素蓄積量の定量化(KAWAGUCHI and YODA, 1986)、熱帯地域における森林の炭素固定能に関する学際的研究(林野庁, 1993, 1994)、北海道における森林クラス別炭素固定能力の評価(白石ら, 1997)、大学キャンパス内樹木の炭素固定能力の定量化(丹下, 1999)、熱帯地域における産業植林の炭素固定能力評価(例えば山田ら, 1999, 2000a, b, c)などがある。しかし、 10^3 ha程度の面積を占める一森林経営体あるいは地域を対象として森林の炭素蓄積量を推定した研究例はほとんどなく*⁵、さらに同じ森林について数十年にわたる経時変化を解析した例は見られない*⁶。

さて東京大学千葉演習林では、1905年以降経営計画の編成時における森林簿、林相図が保存されており、これらを用いて過去の森林の概況をある程度推定することができる。そこで本研究では千葉演習林を対象とし、こうした貴重な資料を用いて1995年と1909年の炭素蓄積量を推定・比較し、その結果をGISによって図化することを目的とした。

第2章 研究の方法と対象地の概況

2-1 対象地域

本研究では東京大学農学部附属千葉演習林(以下、「千葉演習林」, 1995年の総面積2,226.05 ha)を対象とする。

千葉演習林は1894年に設置された日本で最初の大学演習林であり、現在まで100年以上の経営実績を持っている。経営に関する資料も豊富に保存されており、森林の経時変化を解析するには格好のフィールドである。千葉演習林は房総半島の南東部に位置し、気候は一般に海岸性で温暖多雨である。総面積2,226.05 haのうち、人工林面積(808 ha)がその37%を占める。残りの大部分は二次林を含む天然生林である。

千葉演習林の林相を体系的に把握するには第8期経営案(1965~1974年)より導入された「森林区画法」が有用である(表-1)。これは演習林内の森林を植生や人為の加わった程度に応じてA~Eの5クラスに分類するものである。Aクラスは自然保護区、風致林を含む主としてモミ・ツガ天然生林*⁷である。この森林も後述のようにかつて下木が薪炭林として伐採された記録がある。Bクラスは広葉樹天然生林(二次林、一部にモミ・ツガの混生した林を含む)で、いわゆる薪炭林施業後の萌芽更新により成立した林である。Cクラスは一般的なスギ・ヒノキ・マツの

*⁵ 例えば角張らの研究グループは、オーストラリアの半乾燥地域を対象として 10^3 ~ 4 haスケールに対し樹木による炭素固定能力の評価を目指している(角張, 2001)。

*⁶ 山田らの一連の研究は時系列解析を含んでいるが熱帯産短伐期樹種でありいずれも8~10年程度のスケールである。

*⁷ 後述のように千葉演習林の経営の歴史を見ると多くの林分は人間による利用の影響を受けている。よって本論では「天然生林」と記述する。

表-1 千葉演習林における森林クラス区分と林相図との対応関係

Table 1. Relationship between Forest Classification and Vegetation Map of Tokyo University Forest in Chiba.

| 森林クラス | 地種 | 林種 | 林相図との対応 | 面積 |
|-----------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|-----------|
| Forest Classification | Land Classification | Forest Management Type | Category in Vegetation Map | Area (ha) |
| A | 施業実験林 | 中林 | モミ・ツガ天然生林 | 179.48 |
| B | 施業実験林 | 低林 | 広葉樹天然生林(二次林) | 747.10 |
| C | 施業実験林 | 高林 | スギ・ヒノキ・マツ人工林 | 699.30 |
| D | 特別研究林 | 試験林・保護林他 | その他の人工林・見本林 | 532.16 |
| E | 除地 | 建物敷地・苗畑他 | 苗畑・作業所 | 68.01 |
| 計 | | | | 2226.05 |

出典：(東京大学千葉演習林, 1997) および東京大学千葉演習林林相図。

注) 一つの小班の中に複数の林相を含むものもあるため、林相図と森林クラスとの対応は必ずしも一対一でない。

人工造林地である。Dクラスは各種見本林・品種試験地のように系統の保存・展示を目的にするもの、Eクラスは苗畑、採穂園、刈上場、作業所構内である。各森林クラスは林相図と表-1のように対応している。

2-2 研究方法

本研究では炭素蓄積量の算出に際し、小班ごと材積 (m³) に炭素密度 (kg/m³) を乗じて炭素量に変換する「積み上げ法」を用いる。積み上げ法は比較的狭い地域の第一次生産力の評価に用いられる(内嶋, 1993)。「積み上げ法」の特徴は、植物体に蓄積された累積成長量(すなわち樹木でいうところの材積, 以下「材積」とする)を単木レベルで直接・間接に計測し、それを全林木について合計することによって生育期間中に生産・固定された炭素の総量を推定しようとするにある。本研究で用いた炭素蓄積の算出方法は白石ら(1997)になった。

次に樹木に積み上げ法を適用する場合の材積から炭素重量への変換の根拠を示す。

木材は化学的にはセルロース, ヘミセルロース, リグニンから構成されている。その構成比は樹種により, また部位により微妙に異なるが, 全乾状態における原子レベルでみた炭素, 水素, 酸素の構成比はおおむね 1.5:2:1 で, 樹種によらずほぼ類似している。この構成比と原子量を考慮すると, 重量の約 50% が炭素で占められていることになる(農林水産省, 1982)。したがって細胞中で遊離している水分を除いた木材細胞の構造物のみ全乾密度が分かれば, 炭素の密度はその半分と推定することができる。樹種別の木材細胞の構造物のみ全乾密度を示したのが表-2である。以下これを用いて積み上げ法の計算を行う。この表の計算の根拠は以下の通りである(木材部ら, 1975)。

木材は乾燥させると体積も縮小するため, 乾燥前の体積に対する乾燥後の重量の比(または密度)を考える。このような密度を容積密度数 R (kg/m³) といい, 全乾密度 r_0 (g/cm³) と(1)式のような関係にある。

$$R = r_0 \frac{100}{100 + 28r_0} \times 10^3 \quad (1)$$

表-2 千葉演習林における樹種別炭素密度一覽
Table 2. Carbon Density of Tree Species in The University Forest in Chiba.

| 樹種 Species | 炭素密度 Carbon density | | | 樹種 Species | 炭素密度 Carbon density | | | | |
|---------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------|--------|
| | τ_{15} g/cm ³ | τ_0 g/cm ³ | C_t kg/m ³ | | τ_{15} g/cm ³ | τ_0 g/cm ³ | C_t kg/m ³ | | |
| カヤ | 0.51 | 0.47 | 415.13 | 207.56 | カマツカ | 0.85 | 0.82 | 663.60 | 331.80 |
| イヌガヤ | 0.60 | 0.56 | 482.94 | 241.47 | ネムノキ | 0.55 | 0.51 | 445.45 | 222.73 |
| アハツマツ | 0.52 | 0.48 | 422.74 | 211.37 | カラスザンショウ | 0.50 | 0.46 | 407.50 | 203.75 |
| ツガ | 0.50 | 0.46 | 407.50 | 203.75 | ヒメユズリハ | 0.65 | 0.61 | 519.96 | 259.98 |
| モミ | 0.44 | 0.40 | 361.32 | 180.66 | アカメガシワ | 0.58 | 0.53 | 464.25 | 232.13 |
| スギ | 0.38 | 0.34 | 314.43 | 157.22 | シラキ | 0.74 | 0.70 | 585.46 | 292.73 |
| ヒノキ | 0.44 | 0.40 | 361.32 | 180.66 | ヤマウルシ | 0.66 | 0.61 | 523.64 | 261.82 |
| ヤマモモ | 0.70 | 0.66 | 556.53 | 278.26 | ハゼノキ | 0.70 | 0.66 | 556.53 | 278.26 |
| イヌシデ | 0.69 | 0.65 | 549.25 | 274.62 | ヌルデ | 0.61 | 0.57 | 490.38 | 245.19 |
| コナラ | 0.82 | 0.78 | 642.49 | 321.25 | アオハダ | 0.70 | 0.66 | 556.53 | 278.26 |
| ツカバネガシ | 0.86 | 0.83 | 670.60 | 335.30 | クロガネモチ | 0.68 | 0.63 | 538.30 | 269.15 |
| アカガシ | 0.87 | 0.84 | 677.58 | 338.79 | モチノキ | 0.80 | 0.76 | 624.79 | 312.39 |
| ウラジロガシ | 0.83 | 0.79 | 649.54 | 324.77 | モミジ* | 0.65 | 0.61 | 519.96 | 259.98 |
| ウラシ | 0.96 | 0.93 | 739.69 | 369.85 | オオモミジ | 0.65 | 0.61 | 519.96 | 259.98 |
| スダシイ | 0.61 | 0.57 | 490.38 | 245.19 | イトハカエデ | 0.65 | 0.61 | 519.96 | 259.98 |
| クリ | 0.60 | 0.56 | 482.94 | 241.47 | イトヤカエデ | 0.65 | 0.61 | 519.96 | 259.98 |
| マナハシイ | 0.61 | 0.57 | 490.38 | 245.19 | メウリカエデ | 0.63 | 0.59 | 505.20 | 252.60 |
| ケヤキ | 0.69 | 0.65 | 549.25 | 274.62 | シナノキ | 0.50 | 0.46 | 407.50 | 203.75 |
| ヤマグワ | 0.60 | 0.56 | 482.94 | 241.47 | ヤブツバキ | 0.84 | 0.80 | 656.58 | 328.29 |
| イヌビロ | 0.55 | 0.51 | 445.45 | 222.73 | サカキ | 0.73 | 0.69 | 578.25 | 289.13 |
| フサギクラ | 0.66 | 0.61 | 523.64 | 261.82 | ヒサカキ | 0.77 | 0.73 | 603.40 | 301.70 |
| カワラ | 0.50 | 0.46 | 407.50 | 203.75 | ハラ | 0.50 | 0.46 | 407.50 | 203.75 |
| ホオノキ | 0.49 | 0.45 | 399.85 | 199.92 | ハリギリ | 0.52 | 0.48 | 422.74 | 211.37 |
| シメジ | 0.63 | 0.58 | 501.50 | 250.75 | クマノミズキ | 0.67 | 0.63 | 534.64 | 267.32 |
| ヤブニッケイ | 0.61 | 0.57 | 490.38 | 245.19 | ヤマボウシ | 0.70 | 0.66 | 556.53 | 278.26 |
| クワノキ | 0.65 | 0.61 | 519.96 | 259.98 | カキ | 0.87 | 0.84 | 677.58 | 338.79 |
| カゴノキ | 0.70 | 0.66 | 556.53 | 278.26 | カキ | 0.72 | 0.67 | 567.41 | 283.71 |
| ハリバシノキ | 0.50 | 0.46 | 407.50 | 203.75 | リュウキュウマメガキ | 0.74 | 0.70 | 585.46 | 292.73 |
| シロダモ | 0.60 | 0.56 | 482.94 | 241.47 | クロバシ | 0.58 | 0.54 | 468.00 | 234.00 |
| サクラ* | 0.62 | 0.58 | 497.80 | 248.90 | エゴノキ | 0.66 | 0.62 | 527.31 | 263.65 |
| ヤマザクラ | 0.60 | 0.56 | 482.94 | 241.47 | ヒイラギ | 0.87 | 0.84 | 677.58 | 338.79 |
| ウミスズクラ | 0.65 | 0.61 | 519.96 | 259.98 | マルババオダモ | 0.71 | 0.67 | 563.79 | 281.89 |
| アスナギ | 0.66 | 0.62 | 527.31 | 263.65 | ヤチダモ | 0.55 | 0.51 | 445.45 | 222.73 |

注1) 炭素密度は容積密度に0.5を乗じて求めた。
柱2) 現地調査時に一部樹種が判明しなかったもの(*)は属の値を用いた。

ただし、 R は容積密度数 (kg/m^3)、 r_0 は含水率を 0 まで下げた場合の全乾密度 (g/cm^3) さらに、木材の密度としては全乾密度のほか気乾密度 (含水率 15% における密度) が一般的であるため、両者を関係づけておくと汎用性が高い。含水率を変えた場合の木材の密度は、様々な樹種に共通で全乾密度 r_0 と含水率 u を変数として (2) 式のような実験式で表される。

$$r_u = r_0 \frac{100 + u}{100 + 0.8r_0u} \quad (2)$$

ただし、 r_u は含水率 u (%) における木材の密度 (g/cm^3)

u を 15% とした場合、気乾密度との関係が得られる。この気乾密度の値は平井 (1996) に掲載されているものを用い、一部佐伯 (1982) を参照した。気乾密度は同一樹種でもある程度のレンジの間に分布しているが、ここでは平均値をもって代表させた。

上記の方法を千葉演習林に適用するに当たり、本研究では下記 2 点に特に留意した。

①炭素密度 (全乾状態の木材 1 m^3 当たり) に占める炭素重量 (kg/m^3) は樹種固有の値であるため、樹種ごとの材積データが必要とされる。人工林については植栽樹種のみから構成されるとみなしたが、天然生林 (A クラス, B クラス) については樹種に関する情報がないため、現地調査および文献調査を行い、樹種構成を推定することとした。詳細については後述する。

②樹木の材積として把握されるのは通常幹材積のみなので、炭素量に係数 α を乗じて枝・根部分も合わせた炭素蓄積量 (ton) を算出した (3) 式)。これについては林野庁で試算された換算係数 (人工林は 1.7, 天然林は 1.9) がある*⁸。これに乗じて枝・根部分も合わせた炭素蓄積量 (ton) を求めた。本来ならば樹種別の換算係数が望ましいが、本研究では $10^2 \sim 3 \text{ ha}$ 程度の広範なスケールの炭素蓄積量を推定するので人工林・天然生林に 2 分する方法を採用した。

$$\begin{aligned} C &= c_s + c_r \\ &= c_s + \alpha c_s \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 C は樹木内の総炭素蓄積量 (ton, 以下同じ)、 c_s は幹材積中の炭素蓄積量、 c_r は枝・根部分の炭素蓄積量、 α は換算係数

最後に上記により得られた 1995 年時点と 1909 年当時の炭素蓄積量を林相図と関連づけて GIS に入力し比較を行った。ここで GIS の手法を用いたねらいは次の二つである。

①1909 年森林簿には低林・中林の材積記載がなかったが、林相図には両森林の林齢が記載されていたため、林相図記載の林齢から材積を推定し、その炭素蓄積量を求める。

②両期間の林相の変化、およびそれに伴う炭素蓄積量の変化、地理的分布を一目で比較できるようマッピングを行う。

そこでまず千葉演習林の小班界をデジタイジングし、各小班に ID を入力した。そして各小班の ID に森林クラス、炭素量を示した表を関連させ、それらを比較するために色分けをして出力した。使用したソフトウェアは TNTmips である。

2-3 用いた資料

小班ごとの幹材積を求める資料として「東京帝國大學農科大學附属千葉縣演習林第二次經營案」(1909 年) 中の森林調査簿 (1909 年), 「第 11 次森林現況簿」(1995~2004 年), 「第 11 期

*⁸ 林野庁 (1996) 資料による。

試験研究計画」(1997～2004年, 東京大学農学部附属千葉演習林, 1997), および林相図(1909年: 縮尺10000分の1, 1997年: 同縮尺)を使用した*9。これらはいずれも千葉演習林より提供を受けたものである。

これまでの調査により, 千葉演習林設置後, 1897年に「清澄山林施業按乙之部」が, 1905年に「千葉縣下演習林經營方案」が編成されたことが知られている。特に「經營方案」は千葉演習林の第1次經營計画として位置づけられている(泉ら, 2000)。しかし, その林相図からGISデータを作成するには困難があったため, 今回の調査では第2次經營案の森林調査簿および地図を資料として用いた。

2-4 現地調査の目的および方法

現地調査の目的は, 標準地を設けて千葉演習林の森林区画Aクラス, Bクラスにおける①各クラスにおける構成樹種(種別), ②林齢と樹種グループ(後述)の相関関係, ③千葉演習林の林況(踏査による), を把握することである。

調査は1999年11月上旬に5日間かけて行った。現地調査の対象は千葉演習林の森林区画Aクラス, Bクラスである。Aクラス, Bクラスに属する林地面積は926.58 ha, 231小班に及ぶ。したがって標準地の設定に当たっては, 森林簿の材積データを基礎情報として齢階に基づく層化抽出を行った。天然生林(二次林)はかく乱後の時間の経過により林相が変化することが知られている(例えば, 山中, 1994)ため, Aクラス, Bクラス全ての小班を20年ごとの齢階(森林簿記載の林齢は伐採, すなわちかく乱後の経過年数を表すため)に分け, それぞれ異なる齢階からできるだけ面積の大きな小班を3箇所ずつ抽出した(表-3)。

千葉演習林の經營の経緯からして植栽可能地の多くは人工林に転換されており, 天然生林として残っているのは地形が悪く条件の良い場所である。そのため標準地設定に当たっても傾斜の急峻なところが多く, 崖になっている個所や斜面傾斜が約50度になっている個所があり, 0.1 haの連続したプロットを設定できない場合があった。そのため各小班の調査プロットは合計面積で約0.1 haを確保できることを目標に複数個所に分かれることも可とした。プロットは区画を確定してコンパスで面積を測量し, その後プロット内を毎木調査した。毎木調査の内容は, 胸

表-3 現地調査の対象個所

Table 3. Location and other details of survey sites.

| 林小班 Compartment | 林小班 Compartment | 年齢階(年生) Age class (year) | プロット面積 (ha) Area | プロット内 総材積 (m ³) Volume | 主な構成樹種(総材積に占める割合) Major dominant tree species (percentage in total volume) |
|--------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------|--|--|
| 20A | 桧尾 | 40～59 | 0.09 | 39.5 | モミ(27%), スダジイ(17%) |
| 24A2 | 荒檜 | 60～79 | 0.15 | 45.0 | モミ(25%), ツガ(23%) |
| 10A1 | 相ノ沢 | 80～ | 0.07 | 23.2 | モミ(44%), リュウキュウマメガキ(17%) |
| 29B10 | 仲沢 | 0～19 | 0.06 | 12.5 | コナラ(45%), ヤマザクラ(15%) |
| 12B1 | 土沢 | 20～39 | 0.12 | 20.9 | スダジイ(17%), アカガシ(13%) |
| 37B3 | 長尾 | 40～59 | 0.12 | 17.3 | ウラジロガシ(30%), アカガシ(13%) |

*9 通常GISによる解析には基本図も用いられる。1909年には基本図も現存しているが, その精度は林相図と同等であった。なお1905年には5000分の1の基本図が調製されているが, 4年のずれがありその間林小班区分に変更が生じている可能性も考えられるので, 1909年林相図によって解析を行った。

高直径が 5 cm 以上の生立木についての樹種、胸高直径、樹高である。胸高直径は輪尺で 2 方向を測定し、樹高は測竿を用いた。

第 3 章 解 析

3-1 A クラス・B クラスにおける構成樹種別材積の推定

さて、上記の胸高直径および樹高から材積を求めるに当たっては、①千葉演習林調製の材積表、②林野庁計画課による立木幹材積表（東日本編）の材積式（林野庁計画課，1970），を用いた。材積式は (4) 式のとおりである。

$$\text{直径 } 4\sim 60 \text{ cm} \quad \log v = 1.8344 \log d + 1.0988 \log h - 4.344 \quad (4)$$

$$\text{同 } 62 \text{ cm 以上} \quad \log v = 1.7655 \log d + 1.0738 \log h - 4.1747$$

ただし、 v =材積、 d =胸高直径、 h =樹高、 \log は 10 を底とする常用対数

材積は樹高の比較的高い樹木については材積表、樹高の比較的低い樹木については材積式を用いて求めた。樹高の比較的高い樹木では①材積表、②材積式による値がともに近い値であったためと、樹高の比較的低い樹木では材積表を用いると過大な値が得られたためである。その原因は、材積表が胸高直径のみ 1 変数を用いるのに対し、材積式は胸高直径と樹高の 2 変数を用いていることによるものと考えられる。また、今回の調査では、胸高直径が大きくてもそれに対する樹高の値が小さい樹木が多かったため、材積表では値が大きく出ると考えられる。また、材積表は昭和以前に調製されていたもので、当時は薪炭林施業が積極的に行われており、森林の利用実態やそれによって実現される林相も現在のそれらと大きく異なっていたことも原因と思われる。

①材積表、②材積式により樹種ごとの材積を計算、合計したものの一例が表-4 である。この現地調査結果と森林簿の値とを比べると、現地調査結果から面積比率を乗じて推定した小班の材積は森林簿の材積より A では平均 1.79 倍、B では平均 1.57 倍大きな値であった。よって現地調査

表-4 現地調査結果による天然林樹種構成の一例 (37B3 長尾)

Table 4. Observed tree species and estimated volumes in a survey site (Nagao, 37B3).

| | 樹 種 Species | 材 積 (m ³) Volume | 割 合 (%) Percentage | |
|-----|----------------|--|-----------------------|------|
| | ウラジロガシ | <i>Quercus salicina</i> | 5.23 | 30.3 |
| | アカガシ | <i>Quercus acuta</i> | 2.27 | 13.1 |
| | エンコウカエデ | <i>Acer mono</i> var. <i>marmoratum</i> | 1.66 | 9.6 |
| | ヤブニッケイ | <i>Cinnamomum japonicum</i> | 1.45 | 8.4 |
| | ヤマザクラ | <i>Prunus jamasakura</i> | 1.03 | 6.0 |
| | アカメガンソウ | <i>Mallotus japonicus</i> | 0.92 | 5.3 |
| | カラスザンショウ | <i>Fagara ailanthoides</i> | 0.84 | 4.9 |
| | リュウキュウマメガキ | <i>Diospyros japonica</i> | 0.45 | 2.6 |
| | アラカシ | <i>Quercus glauca</i> | 0.41 | 2.4 |
| | ヤブツバキ | <i>Camellia japonica</i> | 0.40 | 2.3 |
| | サカキ | <i>Cleyera japonica</i> | 0.34 | 1.9 |
| | スダジイ | <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i> | 0.34 | 1.9 |
| | ケヤキ | <i>Zelkova serrata</i> | 0.27 | 1.6 |
| | モチノキ | <i>Ilex integra</i> | 0.25 | 1.4 |
| | その他 | <i>Others</i> | 1.44 | 8.3 |
| 合 計 | Total | 17.29 | 100.0 | |

に基づく小班材積は正の偏りがあることがわかった。この原因はまず A, B クラスの林地総面積に対する現地調査プロット面積の抽出率が A 0.08%, B 0.03% と極めて小さいこと、その次には調査対象とした小班内部が急斜面で崖になっている場所も多いのに対し、現地調査箇所はコンパス測量の可能な比較的地形の安定した場所選ばれたことが影響していると考えられる。千葉演習林の斜面は谷底に近づくほど傾斜を増し、最後には垂直な崖になり、谷底は平らに削られている。しかも地層が軟らかい砂岩や泥岩からなり、侵食されやすいため、崖部分には樹木が生育しにくいと考えられる。このような場所が現地調査のプロットから外れた結果、調査値が正の偏りをもつに至ったと判断した。

3-2 天然生林の樹種グループ構成の推定

炭素密度は樹種によって異なるため、各小班の炭素蓄積を推定するに当たり問題となるのは天然生林（本論にいう A クラスおよび B クラス）の樹種構成である。前項で述べたように、千葉演習林内は地形の起伏が激しく現地調査プロットは比較的地形条件のよい場所に限られた数および面積でしか設定できなかった。また小島ら（1986）は、同演習林で常緑広葉樹二次林の胸高断面積について類似の調査を行ったところ、プロット間のばらつきが大きく、特に落葉樹やアラカシ、アカガシ、スタジイなどは地形と優占度が強い相関をもつことから現地調査に基づいて常緑広葉樹天然生林の蓄積構成の推定を行うには問題があると述べている。

そこで天然生林の樹種構成を推定するに当たり、現地調査の結果をそのまま当てはめるのはバイアスが大きいのと考えられるので、A クラス、B クラスをそれぞれ大まかに二つの樹種グループに分け、齢階ごとの 2 グループの材積割合について、これまでの研究例に基づいた仮定を行うこととした。

日本の潜在自然植生は、相観に基づいて大きく 4 つのグループに分けられる（中西ら、1983）。

- ① 常緑広葉樹林グループ
- ② 落葉広葉樹林グループ
- ③ 常緑針葉樹林グループ
- ④ 落葉針葉樹林グループ

これらをふまえ A クラスを③常緑針葉樹（モミ・ツガなど）グループと広葉樹（①常緑・②落葉含む）グループに、B クラスは①常緑広葉樹（ウラジログシ、アカガシなど）グループ、その他（②落葉広葉樹であるコナラ、カエデ属などの一部③常緑針葉樹を含む）グループに大別した。A クラスでこのようなグループ分けをした理由の一つには、1909 年の中林（A クラスに相当する）に関するデータが現存する資料からは上木（モミ・ツガなどの針葉樹）のみしか参照できず、林分全体の材積を把握するに際しては上木と下木（常緑および落葉広葉樹）との割合を用いることが有用であると判断したことがある。

まず、現地調査の結果と表-2 を用いて A クラス 3 プロットにおける③常緑針葉樹グループと①および②からなる広葉樹グループ、B クラス 3 プロットの①常緑広葉樹グループ、②および③のその他グループそれぞれの単位面積当たり炭素蓄積量を (5) 式によって求め、次に 3 プロットの平均値を計算した（表-5）。

$$C_{jk} = \sum p_{jki} C_i = \sum \frac{v_{jki}}{V_{jk}} \cdot C_i \quad (5)$$

表-5 各クラスにおけるグループ別樹種構成割合の仮定

Table 5. Assumption of the proportion of broad-leaved trees and coniferous trees in class A and B.

| 齡 級 Age class (year) | A クラス Coppice with standerds | | | | B クラス Coppice | | | |
|--|--|------|--------------------------------|------|--|------|--|------|
| | 広葉樹 ¹⁾ Broad-leaved trees (%) | | 針葉樹 Coniferous trees (%) | | 常緑広葉樹 Ever-green broad- leaved trees (%) | | 落葉広葉樹・常緑針葉樹 Deciduous broad-leaved trees and Coniferous trees (%) | |
| 0~19 | 10 | (—) | 90 | (—) | 60 | (22) | 40 | (78) |
| 20~39 | 20 | (—) | 80 | (—) | 65 | (52) | 35 | (48) |
| 40~59 | 30 | (73) | 70 | (27) | 70 | (63) | 30 | (37) |
| 60~79 | 35 | (51) | 65 | (49) | 75 | (—) | 25 | (—) |
| 80 以上 | 40 | (55) | 60 | (44) | 80 | (—) | 20 | (—) |
| 炭素密度 ²⁾ Carbon density (kg/m ³) | 264.6 | | 180.6 | | 256.1 | | 265.1 | |

注 1) A タイプの広葉樹は落葉・常緑を含む。

注 2) 炭素密度は現地調査プロットからの推定値。

注 3) 各樹種グループの割合は文献調査からの仮定の値。()内は現地調査による値(参考値)。

ただし、 j =各森林クラス A, B を示す添え字。 k =森林クラスにおける樹種グループを示す添え字, A (常緑針葉樹, 広葉樹), B (落葉広葉樹, その他)。 i =樹種を表す添え字。 C_{jk} は森林クラス j 内樹種グループ k における単位面積当たり炭素蓄積量, p_{jki} は樹種 i が森林クラス j の樹種グループ k に占める材積割合, C_i は各樹種固有の炭素密度, V_{jk} は森林クラス j 内樹種グループ k の総材積, v_{jki} は各森林クラス内各樹種グループ内のある樹種 i の材積

まず, A クラスの針葉樹グループと広葉樹グループの炭素密度を比較すると, 広葉樹グループは針葉樹グループに比べて炭素密度の値が大きく, 樹種構成の仮定が炭素蓄積量の推定結果に影響を与えることが看取できる。

そこで次に③常緑針葉樹グループと①および②からなる広葉樹グループが A クラスの中で年齢階が進むにつれ, どのような材積割合を示すのかを既存の研究例に基づいて仮定する。

本多静六によれば千葉演習林は気候帯上常緑広葉樹林を極相とするものの, モミ・ツガ林の下木が薪炭利用され, かつその伐期は 25 年と短いためにモミ・ツガが優占する林ができたという(東京帝国大学農学部演習林, 1926)。現在の A クラスは本多のいうモミ・ツガ林が短伐期の薪炭利用をされなくなり, 下木の常緑・落葉広葉樹が増加しつつある遷移段階にあたりと考えた。千葉演習林の森林簿中にも A クラスの林齢は中林施業によって下木を伐採した年からの年数として記されている。

さてモミ・ツガ林の生態学的位置づけに関しては研究者の間でも見解の相違が見られ, 現在のところこれらを極相林とする立場, 遷移の途中段階とする立場の 2 種がある。本研究は梶(1975)が提唱した房総半島におけるコナラ・アカマツ林→モミ林→常緑広葉樹林という遷移系列を採用する。梶(1975)によればモミの稚樹はコナラ林>>モミ・ツガ林>常緑広葉樹林の順で発生しやすく, 既存のモミ・ツガ林の下にはモミの稚樹が侵入しにくいことが指摘されている。また豊田ら(2000)は, 東京都八王子市での調査に基づいて, 天然生モミの老齢大径木が虫害(モミノアカ

ハラマイマイ)で枯死した後、モミが残存している林分でもさらにモミの個体数が減少し、イイギリ、ホオノキなどの落葉広葉樹が点生しアラカン、スダジイなどの優占する常緑広葉樹林に移行していく可能性が高いと言及している。現地調査の踏査やプロット測定の結果から千葉演習林ではモミ・ツガで樹冠が閉鎖されることはなく、広葉樹の下木が侵入できる条件が整っていると考えられる。また、モミの生存年限は約100~150年(蒲谷, 1975; 橋詰ら, 1993; 林, 1969)とされ、かつ現在千葉演習林ではモミ・ツガの更新技術が確立されておらず経営上の問題となっていること(東京大学農学部附属千葉演習林, 1997)から、林齢の経過につれ相対的に針葉樹の割合が低下し、広葉樹の割合が増加すると仮定した。

よってAクラスでは林齢が低い(すなわち下木の伐採が行われた時点から時間が経過していない)ほど下木の常緑・落葉広葉樹の割合が低く、常緑針葉樹(モミ・ツガ)の割合が高いと考えられ、林齢の増加と共に下木である広葉樹の材積が相対的に増加し、モミ・ツガの材積が相対的に減少すると考えられる。その割合の決定にはAクラスの代表的な展示林である27林班A1小课堂沢風致林(面積9.12 ha, 1922年設定)における1958年のデータを参照した。これによれば林齢66年生で上木(針葉樹)の材積割合は64%であった。よってこれを参照して林齢が高いほど針葉樹の割合が低くなるよう仮定した。

次にBクラスについて見ると、①常緑広葉樹とその他(②落葉広葉樹・③常緑針葉樹)グループの炭素密度は表-5のとおり近似している。両グループの割合を変えることによりBクラスの炭素密度がどのように変わるか比較したところ、グループ別割合の仮定による平均炭素密度の違いは256.1~265.1 kg/m³とAクラスに比べると相対的に小さいが、ここでもグループ別の樹種構成を仮定しておく。

Bクラスについては、梶(1975)におけるコナラ・アカマツ林→(モミ林)→常緑広葉樹林という遷移系列を仮定した。

小島ら(1986)は千葉演習林内Bクラスの樹種構成およびその胸高断面積合計を齡階別、地形別(斜面上部・中部・下部)に分けて測定している。この結果を見ると、落葉広葉樹は林齢による樹種別の優占度の違いが不明瞭であり、胸高断面積合計に占める落葉広葉樹その割合は60年生10~50%、50年生20~35%、40年生10~50%、30年生5~30%、20年生15~60%であった。しかし、落葉広葉樹は斜面上部よりも下部での優占度が高い傾向が観察された。また、常緑広葉樹のうちアカガシ、スダジイ、アラカン、ウラジロガシの4種は林齢による樹種別の優占度の違いが不明瞭であるが、前3者については地形の違いによる優占度の違いが見られた。続いて蒲谷ら(1987)は千葉演習林内Bクラスの固定試験地を対象に71, 76, 86年生の構成樹種およびその胸高断面積を測定した。その結果から、常緑広葉樹天然生林における胸高断面積合計に常緑広葉樹のそれが占める割合を求めると71年生93%、76年生94%、86年生96%(ただし元資料で樹種名が「その他」のものは落葉広葉樹または常緑針葉樹の範疇に含めた)と小島ら(1986)の報告に比べてかなり高い。また千葉演習林によればカシとその他の樹木混交率はおおむね2対8である(東京大学農学部附属千葉演習林, 1997)という。なお現地調査の結果によれば、Bクラスの常緑広葉樹グループの材積合計に占めるカシ類の割合は56~73%であり、上述の蒲谷ら(1987)における常緑広葉樹の断面積合計に占めるカシ類のその割合は34~93%であった。常緑広葉樹の中にカシが占める割合はかなりばらつきがある。

以上の文献調査の結果から次の2点を仮定した。①梶(1975)の遷移系列に基づき林齢の経過

とともに常緑広葉樹の材積割合が増加し、その他の材積割合が低下する、②そこでの常緑広葉樹の材積割合は小島ら(1986)、蒲谷ら(1987)を参照して60年生から80年生以上にかけて75~80%とする、これらの仮定に基づいた常緑広葉樹グループ、その他グループの材積割合を表5

表-6 千葉演習林におけるクラス別炭素蓄積量総括表(1995)
Table 6. Summary of the amount of carbon in each forest class and age class in 1995.

| | 年齢階級 Age Class (year) | 面積 Area (ha) | 森林グループおよび 樹種別炭素蓄積量 | | 小計 Subtotal (ton) | 単位面積 あたり炭素量 Amount of carbon per ha (ton/ha) |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|--|---|-------------------------|--|
| | | | 広葉樹 Broad-leaved trees | 常緑針葉樹 Coniferous trees | | |
| Aクラス Coppice with standerds | 20~39 | 26.3 | 485.0 | 1,324.0 | 1,809.0 | 68.7 |
| | 40~59 | 174.8 | 3,729.4 | 5,938.4 | 9,667.8 | 55.3 |
| | 60~79 | 154.5 | 4,798.6 | 6,081.6 | 10,880.2 | 70.4 |
| | 80以上 | 25.2 | 2,149.0 | 1,466.5 | 3,615.5 | 143.5 |
| | 小計 | 380.8 | 11,162.0 | 14,810.5 | 25,972.5 | 68.2 |
| Bクラス Coppice | | | 常緑広葉樹 Ever-green broad-leaved trees | 落葉広葉樹 Deciduous broad-leaved trees | | |
| | 0~20 | 17.3 | 227.1 | 329.0 | 556.1 | 32.1 |
| | 20~39 | 397.7 | 6,252.4 | 11,215.2 | 17,467.6 | 43.9 |
| | 40~59 | 382.4 | 5,393.2 | 12,154.5 | 17,547.7 | 45.9 |
| | 60~79 | 107.7 | 1,535.6 | 4,449.5 | 5,985.1 | 55.6 |
| | 80以上 | 40.1 | 573.3 | 2,215.1 | 2,788.4 | 69.5 |
| 小計 | 927.9 | 13,754.5 | 30,034.3 | 43,788.8 | 47.2 | |
| Cクラス Plantation | | | スギ <i>Cryptomeria japonica</i> | ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i> | | |
| | 0~20 | 13.3 | 15.5 | 11.7 | 27.2 | 2.0 |
| | 20~39 | 228.8 | 8,225.1 | 4,410.9 | 13,336.0 | 58.3 |
| | 40~59 | 50.4 | 3,354.3 | 1,372.2 | 4,986.7 | 99.0 |
| | 60~79 | 232.5 | 19,066.3 | 6,676.2 | 27,042.9 | 116.3 |
| | 80以上 | 176.8 | 20,928.6 | 6,007.0 | 27,524.2 | 155.6 |
| 小計 | 688.5 | 51,574.3 | 18,466.3 | 72,889.8 | 105.9 | |
| Dクラス Others | — | 64.8 | — | — | 967.0 | 14.9 |
| 合計 Total | — | 2,062.0 | — | — | 143,618.1 | 69.6 |

注1) Bクラスの落葉広葉樹には一部常緑針葉樹を含む。紙幅の関係から落葉広葉樹のみ項目に記述した。
 注2) Cクラスの小計はスギ・ヒノキ・アカマツの計。紙幅の関係から前2者のみを示した。
 すなわちこの小計からスギ・ヒノキを除いた差がアカマツの値である。
 注3) 単位面積あたり炭素量の小計・合計欄は各森林クラスの平均値。

に示した。

3-3 1995年における各クラス別炭素蓄積量の推定

1995年におけるA～Dの各森林クラス別の炭素蓄積量を計算した結果を表-6に示す。

Aクラス、Bクラスは表-5および(5)式を使って炭素蓄積量を求めた。Aクラスでは20～39年生で単位面積当たりの炭素蓄積量が大きく40～59年生のそれに比べ逆転している。Aクラスで20～39年生に含まれる小班は二つのみであり、これらの小班の特徴が齢階全体に影響を与えている。これらの小班は特別自然保護区であり、保護樹もあるため、単位面積当たり蓄積が比較的高いと考えられる。80年生以上で単位面積当たりの炭素蓄積量が60～79年生の約2倍になっているが、これは単位面積当たりの材積が大きいことに加えて、炭素密度の大きい広葉樹の割合を高く仮定したことが原因である。BクラスはAクラスに比べると林齢に対する単位面積当たりの炭素蓄積量の増加率が小さい。

Cクラスに関しては第11期試験研究計画の樹種・齢階ごとの材積総括表（東京大学農学部附属千葉演習林，1997）を用い、本表の値で各小班の樹種別齢階別の単位面積当たり材積を代表させ、これにそれぞれの樹種の炭素密度（表-2）を乗じて炭素蓄積量を推定した。Cクラスでは伐採したばかりの小班が4.27haあったため、0～19年生の炭素蓄積量は著しく小さい。単位面積当たりの炭素蓄積量をCクラス（人工林）とAクラス、Bクラス（ともに天然生林）とで比べると、単位面積当たり平均炭素蓄積量が多い順からCクラス、Aクラス、Bクラスであった。齢階別にみると20～39年生まではAクラス、Bクラスの方が大きな値をとっているが、それ以上の齢階ではCクラスが最大である。80年生以上ではAクラスとCクラスが比較的大きな値を示している。AクラスはCクラスよりも材積が少ないにもかかわらず、これに比肩しうる炭素蓄積量を示しているが、これはAクラスにおける広葉樹の割合の多さ（約40%）に起因している。

Dクラスに関しては、森林簿記載の材積にそれぞれの樹種の炭素密度（表-2）を乗じて炭素蓄積量を求めた。

3-4 1909年における千葉演習林の炭素蓄積量の推定

1909年の森林現況簿に記載されている項目は以下のとおりであった。

1. 林ノ小字
2. 林班，小班
3. 面積
4. 地況（傾斜，深淺，其の他の特徴，地位）
5. 林況（林形，樹種，林齢，齢級，材積）
6. 摘要
7. 将来施業要略

ここで、面積の単位は町歩、材積の単位は石であったため、それぞれ1町歩=0.9917ha、1石=0.278m³として換算した。5.の林況のうち林形は高林，中林，低林（資料では「矮林」）に分けて記載され、高林が現在のCクラス，中林がAクラス，低林はBクラスに相当する（表-1参照，以下高林，中林，低林は1909年の状態を，Aクラス，Bクラス，Cクラスは1995年の状態を指す）とした。中林の材積は上木しか記載されておらず，下木の材積は記載がなかった。低林で森

表-7 千葉演習林における林種別炭素蓄積量総括表 (1909)

Table 7. Summary of the amount of carbon in each forest management type and age class in 1909.

| | 年齢階 | 面積 | 小計 | 単位面積あたり炭素量 |
|--|---------------------|--------------|-------------------|-------------------------------------|
| | Age Class (yaer) | Area (ha) | Subtotal (ton) | Amount of carbon per ha (ton/ha) |
| 中林 (上木のみ) Coppice with standerds (standerds only) | 0 (更新中) | 105.7 | 3,480.2 | 32.9 |
| | 1~20 | 147.1 | 5,092.1 | 34.6 |
| | 20~40 | 324.5 | 8,819.5 | 27.2 |
| | 40~60 | 234.5 | 7,821.5 | 33.4 |
| | 小計 | 811.8 | 25,213.3 | 31.1 |
| 中林 (上木+下木) Coppice with standerds (total) | 0 (更新中) | 105.7 | 3,480.2 | 32.9 |
| | 1~20 | 147.1 | 5,871.1 | 39.9 |
| | 20~40 | 324.5 | 11,854.9 | 36.5 |
| | 40~60 | 234.5 | 12,436.2 | 53.0 |
| | 小計 | 811.8 | 33,642.4 | 41.4 |
| 低林 Coppice | 0 (更新中) | — | — | — |
| | 1~20 | 7.8 | 74.5 | 9.5 |
| | 20~40 | 10.6 | 56.6 | 5.3 |
| | 60~79 | — | — | — |
| | 80以上 | — | — | — |
| 小計 | 18.4 | 131.1 | 7.1 | |
| 高林 Plantation | 0~20 | — | — | — |
| | 20~39 | 10.5 | 494.5 | 47.1 |
| | 40~59 | 12.8 | 712.1 | 55.5 |
| | 60~79 | 23.6 | 1,934.1 | 82.0 |
| | 80以上 | 5.5 | 788.3 | 143.9 |
| 小計 | 52.4 | 3,929.0 | 75.0 | |
| 合計 Total | | 882.6 | 37,702.5 | 42.7 |

注) 単位面積あたり炭素量の小計・合計欄は各森林クラスの平均値。

林簿中に記載されている小班は三つのみであり、残りの小班は記載されていなかった。

1909年の森林簿に記載されている中林の材積は上木のみだったので、上述のAクラスで用いた仮定を適用し、上木=針葉樹グループ、下木=広葉樹グループと置き換えて下木の材積を算出した。低林はBクラスに相当するためBクラスの樹種構成に関する仮定を適用して、炭素蓄積量を求めた。高林は現在のCクラスと同様、植栽樹種の材積から炭素蓄積量を求めた(表-7)。

中林の上木はどの年齢階でも単位面積当たりの炭素蓄積量はほぼ27~34 (ton/ha)で一定している。これは下木に比べて上木のモミ・ツガが高齢であるために上木の成長量が頭打ちとなっているためと考えられる。上木・下木合わせた単位面積当たりの炭素蓄積量を見ると、40年生まではほぼ一定の値である。これは上木の値が一定していることに加え、1~39年生では表-5の仮定により下木の材積を小さく見ていることが原因と考えられる。現在のAクラスと炭素蓄積量の値を比較すると、40~59年生では中林53.0 (ton/ha)、Aクラス55.3 (ton/ha)と近似しているのに

表-8 中林上木炭素蓄積量の利用集落別分布 (1909)

Table 8. Distribution of amount of carbon in standerds among coppice with standerds in each village utilized the coppice in 1909.

| 部落名 village | 面積 Area (ha) | 総炭素蓄積量 Amount of carbon (ton) | 単位面積あたり炭素蓄積量 Amount of carbon per ha (ton/ha) |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------|--|
| 折木沢 <i>Orikisawa village</i> | 442.1 | 1,442.5 | 32.7 |
| 黄和田畑 <i>Kiwadabata village</i> | 239.0 | 8,962.9 | 37.5 |
| 四方木 <i>Yomogi village</i> | 130.5 | 1,807.9 | 13.8 |

注)「面積」は各部落への払下特売に充てられた中林の面積を示す。

対し、20～39年生では中林 36.5 (ton/ha)、Aクラス 68.7 (ton/ha) となっている。これは1909年当時の森林利用が一部モミ・ツガの伐採を伴っていたためと考えられる。中林上木炭素蓄積量の利用集落別分布をまとめたものが表-8である。千葉演習林で当時用いられていた1905年編成「千葉縣下演習林經營方案」(千葉演習林の第一次經營計画)は低林を順次伐採してスギ・ヒノキの法正林を実現させることをねらいとしていたが、実質的な伐採個所の決定要因となっていたのは四方木、黄和田畑、折木沢3集落への林産物払下契約であった(泉ら、2000)。第1整理期(1906～1910)で195町歩を伐採する計画がたてられ、その伐採対象は黄和田畑および四方木への払下個所(地図北東および南東部)であった。表-8を見ると四方木集落への払下対象個所は他の2集落へのそれに比べ、上木の単位面積当たり炭素蓄積量が約半分となっている。四方木集落への払下個所には清澄地域が含まれており、近世からこの地域では建具生産が盛んであった。また1905年の千葉演習林資料にはアカマツやスギとともにモミの価格調査結果が記されている。蒲谷(1975)も四方木集落への払下対象地のうち、中林が残存していたのは1898年当時既に荒瀬沢・仁ノ沢・真根坂以北であり、それ以南にモミ・ツガ林が見られなかったことに言及している。これらの記述から当時四方木集落では、上木をある程度伐採利用できる技術が整っていたものと考えられる。

低林のうち森林簿に記載があるのは3小班のみであり、地域的な特徴の大きく出たデータである。

高木の単位面積当たり炭素蓄積量を1995年のCクラスのそれと比べると60～79年生でCクラスの方が34 (ton/ha)ほど大きく、他の年齢でも大体10 (ton/ha)ほどCクラスの方が大きい。

3-5 炭素蓄積地図の作成

3-5-1 1995年の林相図

1995年の林相図はモミ・ツガ天然生林、広葉樹天然生林、スギ人工林、ヒノキ人工林、マツ人工林、その他の人工林、見本林、苗畑・作業所、の7つに色分けされている(表-1参照)。この色分けは一部小班界とは異なっており、特に天然生林の場合は一つの小班にA、Bクラスの森林が混在しているところが数多くある。この場合、森林簿ではどちらの森林クラスが広いかによって、当該小班をAまたはBクラスに統一している。また、人工林の場合でもスギ、ヒノキ、マツの森

林が一つの小班に混在していることがある。本論では千葉演習林全体を対象とした炭素蓄積量の把握を目的としているので、小班(741個)内の林相は統一して扱うこととした。そこでここでは小班の属性を林相図の色分けではなく、森林簿における森林クラスや材積の情報に基づいて入力することとした。その区分は、Aクラス(林相図のモミ・ツガ天然生林、以下同様)、Bクラス(広葉樹天然生林)、Cクラス(スギ、ヒノキ、マツ人工林)、Dクラス(その他)、とした。入力は、まず林相図に緯度経度の座標を設定し、林相図から林班、小班界を全てデジタイジングした。その後700余りの小班全てにID番号を打ち込み、そのID番号ごとに森林クラスと炭素蓄積量(ton)を加えた表を添付した。そして1995年と1909年の2時期における炭素蓄積量の分布を比較するために各小班の炭素蓄積量を入力した地図上の面積で割り、単位面積当たりの炭素蓄積量(ton/ha)を求めた。

3-5-2 1909年の林相図

1909年林相図はスギ林、低林、松林、モミ林、クスノキ林、野原、施業外地、未立木地、伐採予定地に区分されている。1909年林相図には中林という区分がなく、低林がI, II, III 齡階(それぞれ20年ごと)に色分けされていた。また奥山地区(1897年に新たに国有林から演習林となった地域、蒲谷(1975)によればうち73%が中林であったとされる)がほとんど低林となっていたことから、低林と中林を区別せず両者を併せて「低林」に図化されていることが推測された。よってこの林相図における「低林」は1995年のAおよびBクラスに相当するものとした。この林相図の「低林」には一部×印が記されていた。この印は1905年林相図に上木を示すものと明記されていたので、1909年林相図においても×印のあるところは中林、ないところは低林としてGISに入力した。

また1909年林相図は林班・小班界があり、林班界は識別できるが、奥山地区では中林および低林の小班界を識別することが困難であった。よって奥山地区の中林は林産物払下契約先の集落(四方木、黄和田畑、折木沢)別に区分することにした。しかし森林簿にはこの3集落に属する一部の小班しか材積の記載がなかったために、同一集落への払下対象地で同齡階のものには同一の単位面積当たり炭素蓄積量(ton/ha)を入力することで近似した。また低林も材積の情報が少ないため、同じ集落でかつ同じ齡階にある中林下木の単位面積当たり炭素蓄積量(ton)を適用して推定することとした。高林は小班界がはっきりしていたので小班ごとに炭素蓄積量(ton)と単位面積当たりの炭素蓄積量(ton/ha)を添付した。

第4章 考 察

4-1 森林簿からのデータに基づく1995年と1909年の炭素蓄積量の比較

2時期の炭素蓄積量の結果をまとめると表-9のとおりである。

まず各森林クラスにおける平均の単位面積当たり炭素蓄積量を見てみると、中林は1909年当時全炭素蓄積量の約89%を占めているが、その単位面積当たり炭素蓄積量は1995年Aクラスの約60%に止まっている。この理由は1909年の中林はすべて60年生以下だったのに対し、1995年のAクラスは100年生以上の小班を少なからず含むという質的な違いにある。また1995年のCクラスは1909年の高林に比べて高い値を示している。これは1909年は80年生以上の人工林が極めて少なかったが、1995年は80年生以上の人工林が多いという齡階構成の違い

による。この2時期で千葉演習林全体の炭素蓄積量を比較すると約3.8倍に増加している。

しかしこの2時期で炭素蓄積量推定対象とする面積が約2.3倍異なっていることは注意すべきである。1909年の面積は森林簿中に材積が記載してある小班しか算入していない。しかし1895年時点で既に千葉演習林の面積は2,128 haに達している。1909年の森林簿には高林の約91%を占めていた10年生以下の林分、伐採跡地、および短伐期の低林などの材積は記載されておらず、これらの林分は解析の際に抜け落ちている。しかしこれら未加算林分の多くは比較的単位面積当たりの材積が小さく、炭素蓄積への寄与が小さいと判断できる。よってこれら未加算の林分がもつ炭素蓄積を考慮しても、1995年の炭素蓄積は1909年に比べて大きく増加していることは間違いない。

また、1995年の1時期で人工林(Cクラス)と天然生林(Aクラス, Bクラス)を比較してみると、単位面積当たり炭素蓄積量の多い順にCクラス, Aクラス, Bクラスであった。人工林は炭素蓄積量増大に大きな役割を果たしていることが示された。千葉演習林では創設以来、植栽可能地を人工植栽によって人工林へと転換してきた(東京大学農学部附属千葉演習林, 1997)ことは木材生産のみならず炭素蓄積量増大という面でも大きく貢献している。

4-2 GIS地図に基づく1995年と1909年の炭素蓄積量の比較

千葉演習林における林相の変化を表した図-1, 図-2を比較すると、1995年は赤色の人工林が千葉演習林全体に広がり、「植栽可能地がほぼ全て人工林に変わっている」との記述を裏付ける結果となっている。Aクラスについて見ると、1909年の中林は演習林に広く存在していたが、1995年のAクラスは比較的少なく、シイ・カシ類天然生林である低林およびBクラスについて見ると1995年の方が広い。中林が低林や人工林に変化していったことがうかがわれ、現在のモミ・ツガ林の更新問題が経営上、技術上の大きな問題点である(東京大学農学部附属千葉演習林, 1997)という千葉演習林の見解を裏付けるものとなっている。

森林簿などの資料から推定した演習林全体における単位面積当たりの平均炭素蓄積量は1995年が69.6 (ton/ha)で1909年が42.7 (ton/ha)であった。このことを単位面積当たりの炭素蓄積量で塗り分けた地図(図-3, 図-4)で確認してみると、1995年は1~50 (ton/ha) 50~100 (ton/ha) 両レベルが多く、1909年はほぼ全林にわたって1~50 (ton/ha) レベルで占められている。1909年は単位面積当たりの炭素蓄積量が100 (ton/ha) 以上を示す小班は清澄の一部、すでにスギの植林が行われていた個所のみであった。無色の部分は炭素蓄積が極めて低いと考えられる地域、すなわち高林の10年生以下の林分や野原、未立木地、民有地である。当時は木材を薪炭などのエネルギーとして盛んに使っていたため、演習林に立木として残存する炭素蓄積量はわずかであった。炭素蓄積のみに着目して一見すると、1909年当時は均一で様な森林であったが、このことはまず第一に資料の制約から中林・低林について同齢階・同一集落の利用に供される林分を同一の炭素蓄積を持つと仮定したこと、第二に当時の森林が地域のエネルギー源として盛んに利用されていたことに起因していると考えられる。一方、1995年の地図は1909年のそれに比べて全体に多様かつ高い炭素蓄積をもつ森林が広がっている。この原因はまず第一に1995年は資料の制約が少なく小班の属性について詳細な情報が得られたこと、第二に現在では1909年当時に比べ木材利用のあり方が大きく変化し、高蓄積の林木が森林内に多く残存していること、第三に90年間の演習林経営によって中林・低林に人工林が植栽され、林相が大きく変化しているこ

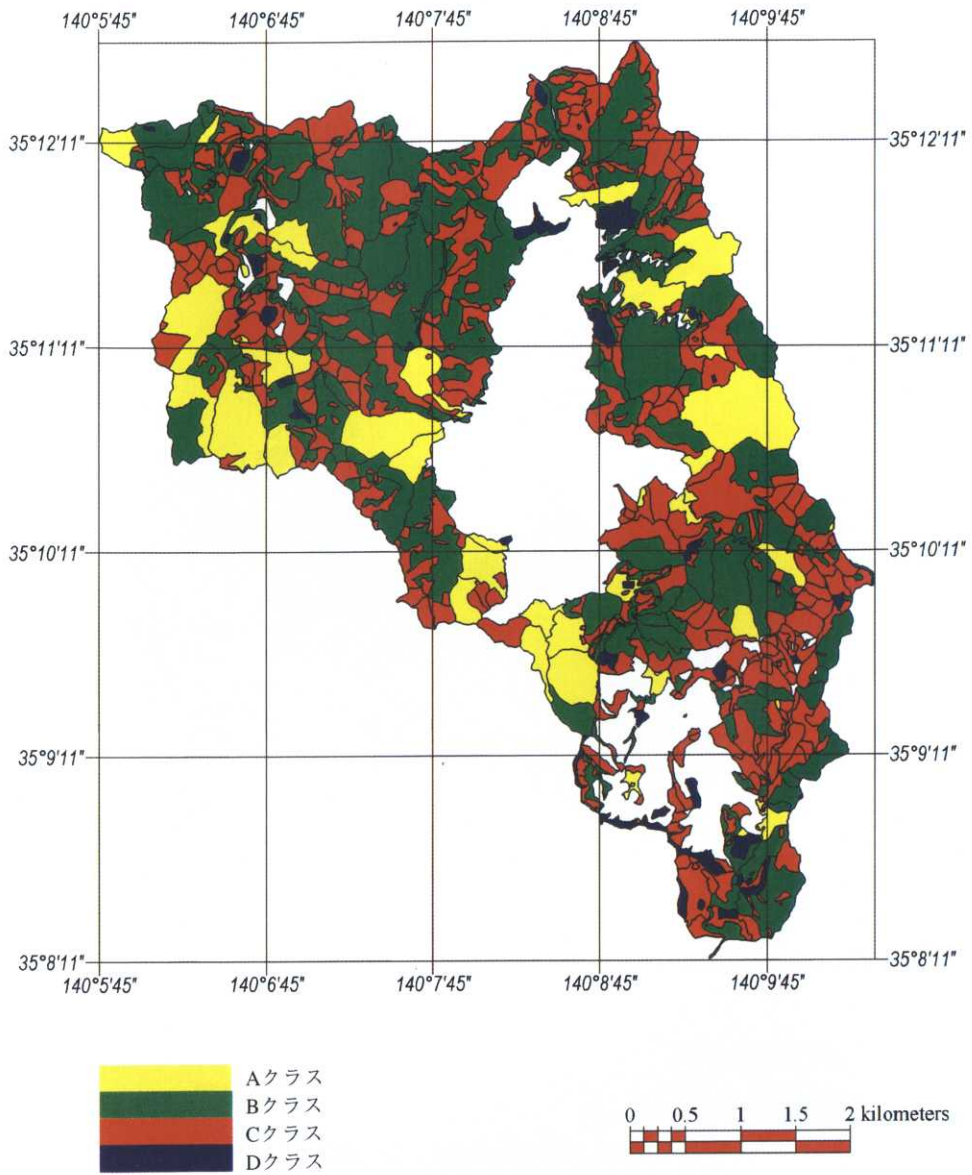


図-1 1995年の森林クラス区分図

Fig. 1. The forest type classification map in 1995.

とにあると考えられる。1995年における100~150 (ton/ha) レベルのほとんどがCクラスの70~80年生の林分であり、150~200 (ton/ha) レベルにはCクラスの90年生前後の小班が集まっている。また、200~300 (ton/ha) レベルの小班は、森林クラスによらず100年生前後の林分である。

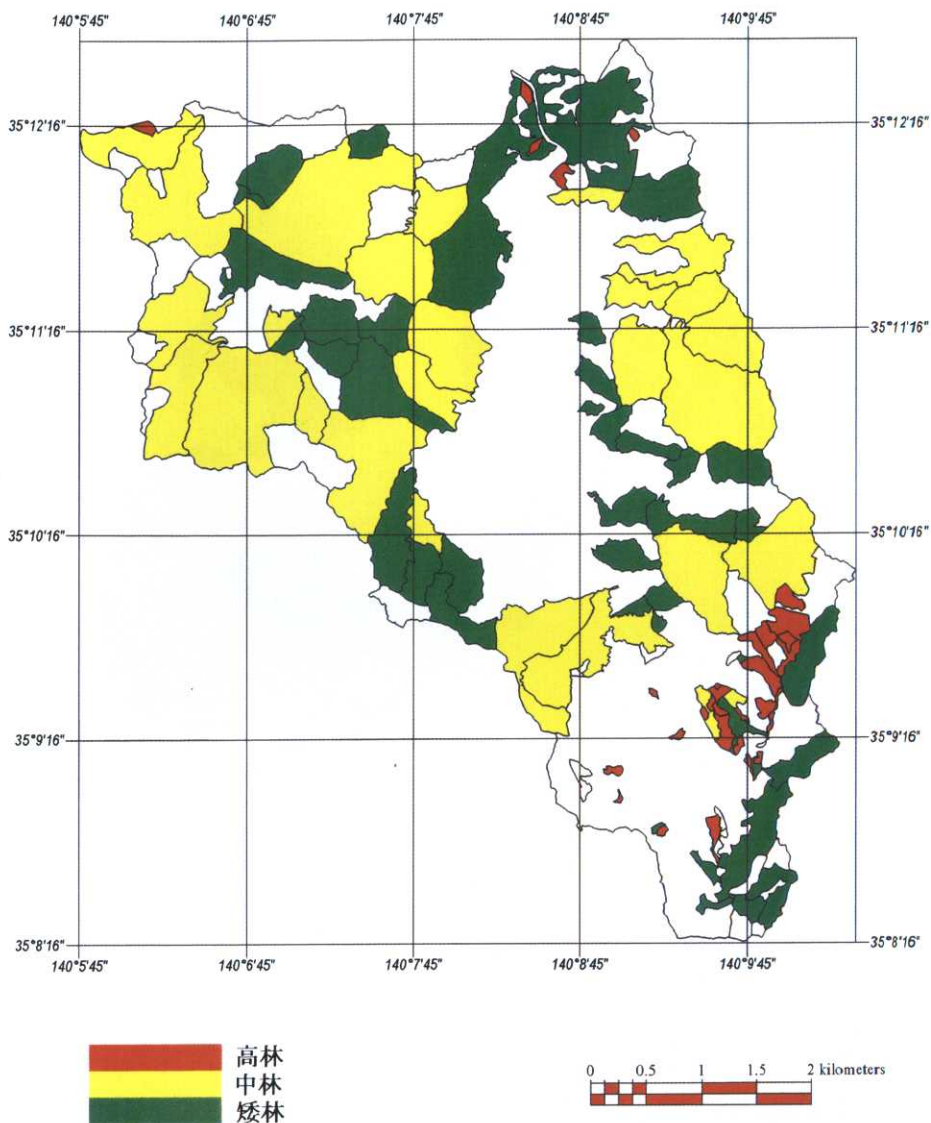


図-2 1909年の森林クラス区分図
 Fig. 2. The forest type classification map in 1909.

4-3 GIS 地図と資料結果との比較

千葉演習林の面積とその炭素蓄積量について資料から求めた値と GIS 地図で得られた値を比較して表-9 に示した。

1995年の千葉演習林の林地総面積では GIS と資料とで 6% の誤差を生じた。同じく炭素蓄積量の誤差は 0.05% であった。面積の小さい小班ほどデジタル化で誤差が出やすく、C クラスは A クラス、B クラスに比べ小班数 420 と最も多く (A クラス 45、B クラス 186)、1 小班当たり平均面積も 1.96 ha と小さい (同じく 8.59 ha、5.10 ha) ため (東京大学農学部附属千葉演習

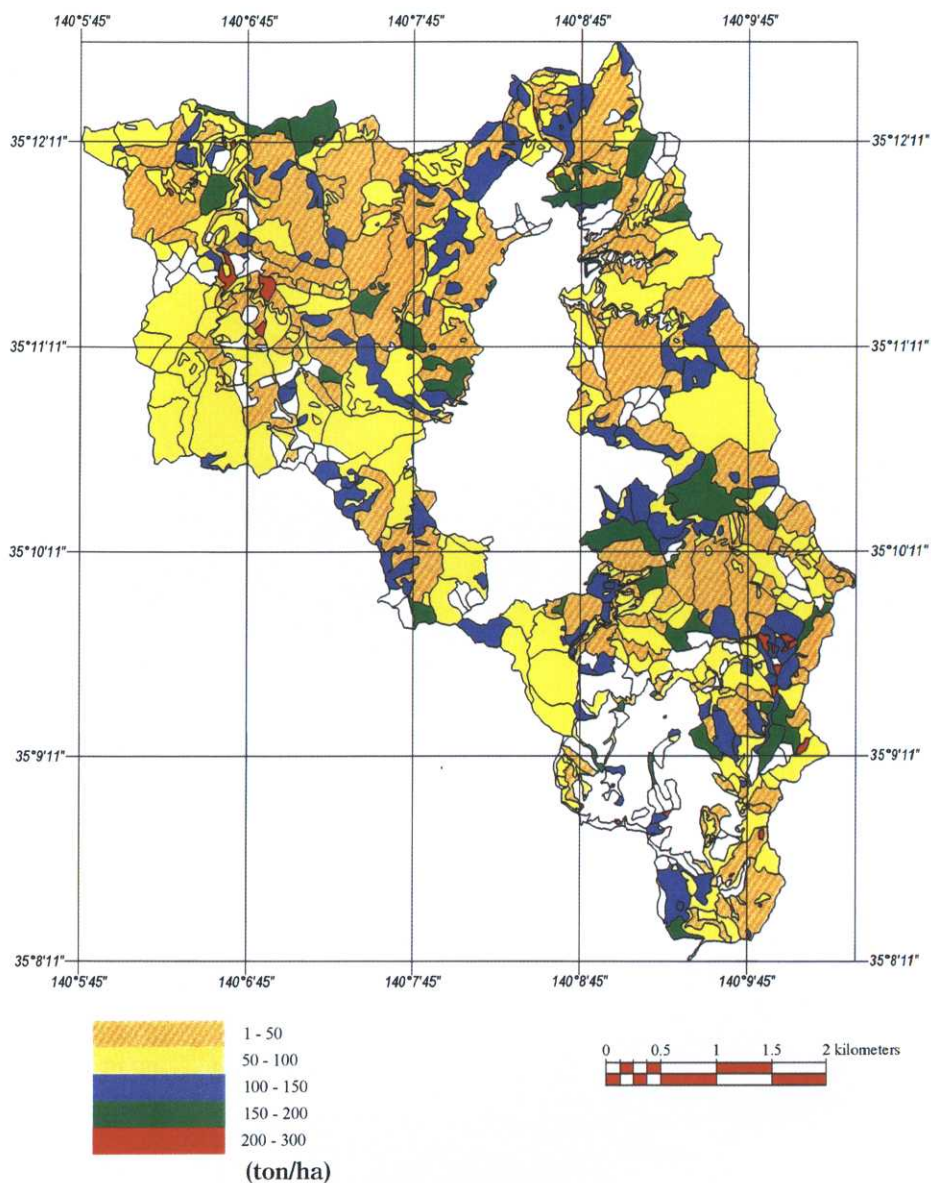


図-3 1995年の炭素蓄積量分布図
 Fig. 3. The carbon stocking map in 1995.

林, 1997), GIS 地図と資料の値で特に大きな差が出たと考えられる。

1909年の炭素蓄積量推定に関してはGIS 地図を用いることで森林簿に記載のなかった882 haの低林を新たな分析対象に加え、合計1,617 haの面積を扱うことができた。これは森林簿中の中林・低林は材積が記載されていない小班が大半であったのに対し、森林簿と地図情報とを組み合わせることでこれらの林分と同じ集落・同じ齢階に属する林分の単位面積当たり炭素蓄積量を補うことができたためである。これらの中林・低林は地図情報とその属性を結びつけて解析が可

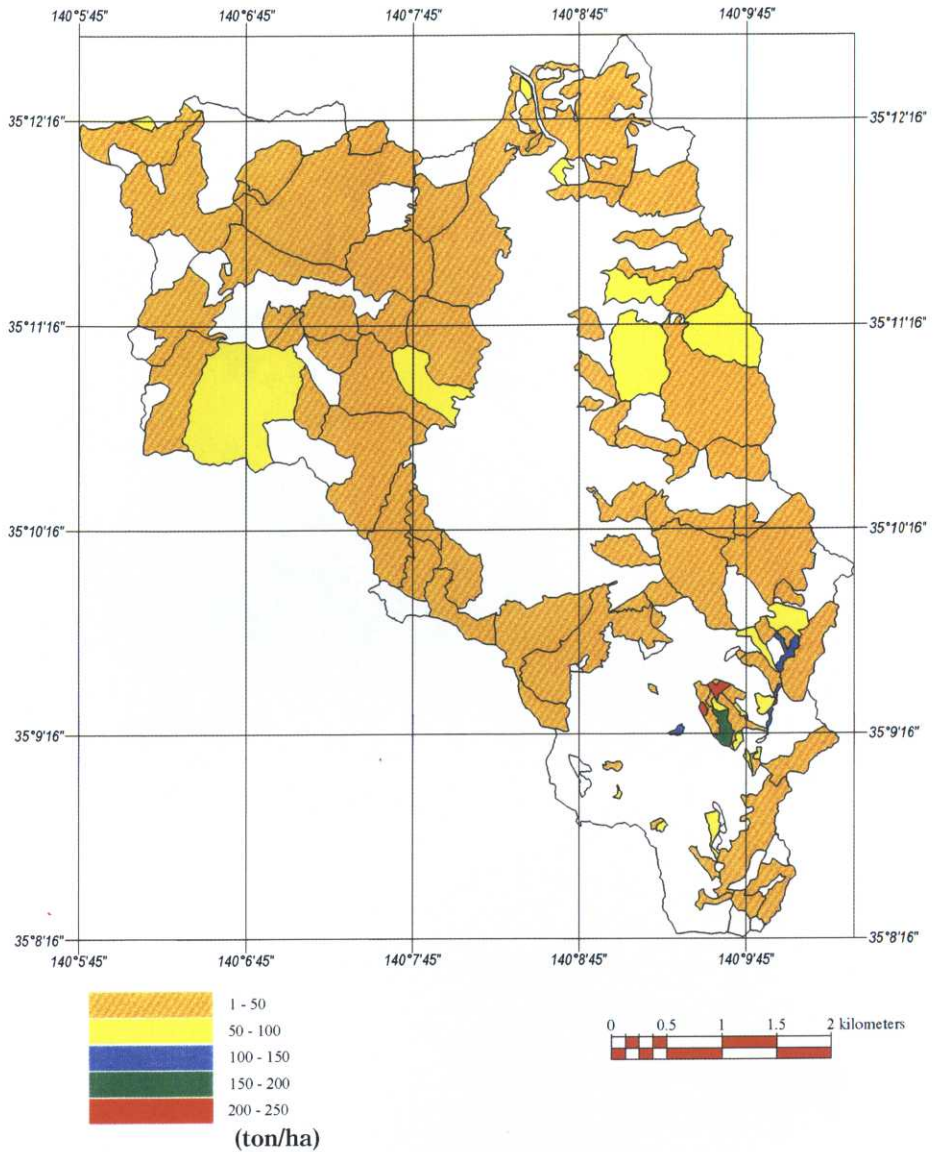


図-4 1909年の炭素蓄積量分布図

Fig. 4. The carbon stocking map in 1909.

能な GIS という手法によって初めて今回復元できたものである。森林簿中で材積に関する記載のなかった中林・低林について推定をすることができた。これにより GIS 地図上で推定される炭素蓄積量は 47,233 (ton) と求められ、森林簿とともに GIS 上でも 1909 年と 1995 年の 2 時期間の炭素蓄積量を比較することが可能となり、森林簿による比較結果を補完することができた。GIS によって得られた 1909 年と 1995 年の値を比較すると 2 時期間で炭素蓄積は約 3.1 倍に増加しているという結果が得られた。前述のように森林簿からのデータに基づく 2 時期間の比較では炭

表-9 千葉演習林における森林簿および GIS から得られた炭素蓄積量の比較 (1995, 1909)

Table 9. Comparison of the amount of carbon estimated between by inventory database and that by GIS mapping in 1909 and 1995.

| | 面積 Area (ha) | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|---------------------|-----|
| | 1909 | | 1995 | | 両時点の比 ¹⁾ | |
| | 森林簿 | GIS | 森林簿 | GIS | 森林簿 | GIS |
| A クラス (中林) Coppice with standerds | 811.8 | 54.8 | 380.8 | 388.6 | 0.5 | 7.1 |
| B クラス (矮林) Coppice | 18.4 | 966.5 | 927.9 | 963.0 | 50.4 | 1.0 |
| C クラス (高林) Plantation | 52.4 | 595.7 | 688.5 | 807.0 | 13.1 | 1.4 |
| D クラス (その他) Others | — | — | 64.8 | 64.0 | — | — |
| 合計あるいは平均 Total/Average | 882.6 | 1,617.0 | 2,062.0 | 2,222.6 | 2.3 | 1.4 |

| | 炭素蓄積量 Amount of carbon (ton) | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|----------|-----------|-----------|---------------------|------|
| | 1909 | | 1995 | | 両時点の比 ¹⁾ | |
| | 森林簿 | GIS | 森林簿 | GIS | 森林簿 | GIS |
| A クラス (中林) Coppice with standerds | 33,642.4 | 38,228.0 | 25,972.5 | 25,973.0 | 0.8 | 0.7 |
| B クラス (矮林) Coppice | 131.1 | 5,078.0 | 43,788.8 | 44,267.0 | 334.0 | 8.7 |
| C クラス (高林) Plantation | 3,929.0 | 3,927.0 | 72,889.8 | 73,075.0 | 18.6 | 18.6 |
| D クラス (その他) Others | — | — | 64.8 | 64.0 | — | — |
| 合計あるいは平均 Total/Average | 37,702.5 | 47,233.0 | 143,618.1 | 144,278.0 | 3.8 | 3.1 |

| | 単位面積あたり炭素量 Amount of carbon (ton/ha) | | | 炭素蓄積増加量 Carbon sequestration (ton/ha/year) |
|--------------------------------------|---|-------|---------------------|--|
| | 1909 | 1995 | 両時点の比 ¹⁾ | 1995 |
| | 森林簿 | 森林簿 | 森林簿 | 森林簿 |
| A クラス (中林) Coppice with standerds | 41.4 | 68.2 | 1.6 | 0.47 |
| B クラス (矮林) Coppice | 7.1 | 47.2 | 6.6 | 0.58 |
| C クラス (高林) Plantation | 75.0 | 105.9 | 1.4 | 0.99 |
| D クラス (その他) Others | — | 14.9 | — | — |
| 合計あるいは平均 Total/Average | 42.7 | 69.6 | 1.6 | 0.70 |

注) 「両時点の比=1995年の値/1909年の値」である。

素蓄積の増加は3.8倍であった。両方法の結果より、1995年の千葉演習林における総炭素蓄積量は1909年のその約3.8～3.1倍と推定される。また2時期間の炭素蓄積量の地理的分布の変化も解析できた。特に1909年の中林上木の材積には地域ごとの格差が認められ、演習林内でも払下対象集落によって森林利用の実態が異なっていたことが示唆された。

以上の結果から森林簿とGISを組み合わせることで、森林簿単独では得られなかった新たなデータを得ることができたといえ、GISは地図情報に基づいて過去の林相を復元する有用な手法といえる。

第5章 結 論

本研究では1995年の千葉演習林の炭素蓄積量と1909年のそれとを推定し、比較することによって以下の知見を得た。

①1995年の千葉演習林における総炭素蓄積量は1909年のその約3.8～3.1倍と推測される。両時点における分析対象可能な森林面積の違いを考慮しても、この期間において千葉演習林内の炭素蓄積量の増加が認められる。

②1995年の千葉演習林における炭素蓄積量を天然生林と人工林とで比較すると、人工林は天然生林に比べ単位面積当たりの平均炭素蓄積量が約1.5倍である。

③千葉演習林における針葉樹と広葉樹との単位材積当たり炭素密度は針葉樹が157.22～180.66 kg/m³、広葉樹が265.1～264.6 kg/m³であり、針葉樹に比べ広葉樹の方が単位材積当たりの炭素密度が約1.5倍多い。

④千葉演習林における単位面積当たり炭素蓄積量と森林クラスとの相関を見ると、炭素蓄積100～200 (ton/ha)は人工林の70～90年生、200～300 (ton/ha)は森林クラスにかかわらず100年生以上の小班が多い。

本研究によって現在千葉演習林では約2,200 haの林地に14万ton余りの炭素が蓄積されていると推定された。千葉演習林は学術研究の場としてでなく炭素固定装置としても役割を果たしていることが示唆された。

しかし、地球温暖化対策として森林を持ち出すことの危険性はすでに指摘されている。森林を単なる炭素吸収源とみなすことは森林の多様な機能、多面的な働きを失わせるものだという指摘である(オーバーチュアー・オット, 2001)。また、総炭素蓄積量では針葉樹人工林が天然生林に比べ優位であることが示された一方、広葉樹の方が単位材積当たりの炭素密度が大きく、また100年生以上の林分であれば単位面積当たりの炭素蓄積量はその林相を問わず高い値を示すことが示唆された。これらの結果から自然条件にあった多様な森林の維持していくことが炭素蓄積量の維持にも資すると考えられる。

本研究では積み上げ法による炭素蓄積量の推定を行ったが、その前提となる天然生林の樹種構成については植物生態学および植物社会学のこれまでの知見に基づき、いくつかの仮定をおいて解析せざるを得なかった。当地域の天然生林遷移についてより詳細なデータや新たな生態学上の知見が得られれば、より精度の高い炭素蓄積量にアップデートする必要がある。あるいは森林の構成や遷移についてより詳細なデータが得られる森林に対して本研究の手法を用いて炭素蓄積量を推定することが可能である。また本研究で示唆されたように、GISは地図という情報源から林相を推定できる有用な手法である。本研究では1995年と1909年という2時期のデータを扱っ

たが、両時期の中間時点の地図や森林簿を用いて炭素蓄積や林相の経時変化をより詳しく解析することも可能である。

京都議定書以降の締約国会議によってわが国では温室効果ガス排出抑制または削減の義務が6%と定められ、うち3.9%までが森林管理による除去量として認められることとなった。この数字をどう評価するかは意見の分かれるところであるが、森林・林業分野に対しては今後よりいっそう森林の炭素蓄積量およびその固定量に関するデータを収集し、提供することが求められよう。このことは京都議定書という国際的約束に当たって、森林・林業分野がなし得る最低限の説明責任であり、本研究もその一つとなれば幸いである。

要 旨

東京大学農学部附属千葉演習林を対象として森林簿およびGISによって1995年と1909年の炭素蓄積量を推定し、時期の違いおよび手法の違いによる炭素蓄積量の比較を行った。結果は表に加え、GISによる炭素蓄積地図として示した。その解析には林木材積に樹種固有の炭素密度を乗じて炭素蓄積量(ton)を求める「積み上げ法」を用い、天然生林樹種構成は現地調査と文献から推定した。千葉演習林全体の炭素蓄積量は1909年から1995までの間に約3.8~3.1倍増加した。また、1995年の千葉演習林における人天別炭素蓄積量を比べると、単位面積当たり平均炭素蓄積量で約1.5倍人工林の方が大きかった。千葉演習林における単位面積当たり炭素蓄積量と森林クラスとの相関を見ると、炭素蓄積量100~200(ton/ha)は人工林の70~90年生、200~300(ton/ha)は森林クラスにかかわらず100年生以上の林分が多かった。

キーワード：千葉演習林, 炭素蓄積量, 森林簿, 積み上げ法, 地理情報システム

引 用 文 献

- 橋詰隼人ら (1993) 図説実用樹木学. 214 pp. 朝倉書店, 東京.
- 橋本征二・高村ゆかり (2002) 京都議定書と森林等吸収源—COP3以降の交渉の経緯とボン合意・マラケシュ合意の評価および今後の課題—. 環境と公害 **31**(3): 53-60.
- 林 弥栄 (1969) 有用樹木図説 (林木編). 472 pp. 誠文堂新光社, 東京.
- 平井信二 (1996) 木の大百科. 1208 pp. 朝倉書店, 東京.
- 泉 桂子・箕輪光博・大橋邦夫・鈴木 誠 (2000) 千葉演習林沿革史資料(4)—千葉演習林第1次経営計画「千葉縣下演習林経営方案」—. 演習林 (東大) **39**: 1-58.
- 蒲谷 肇 (1975) 房総丘陵の植生に関する生態学的研究 I—モミーツガ天然林の分布と構造. 東大演報 **68**: 1-23.
- 蒲谷 肇・小島克己・鈴木貞夫・山中征夫 (1987) 常緑広葉樹天然生林の樹種構成, 林分材積の15年間の変化. 日林論 **98**: 401-403.
- 梶 幹男 (1975) 房総半島におけるモミ林の生態的位置に関する研究. 東大演報 **67**: 51-62.
- 角張嘉孝 (2001) 半乾燥地の生態系を活かした二酸化炭素固定増大の可能性. 熱帯林業 **52**: 21-31.
- KAWAGUCHI, Hideyuki and YODA, Kyoji (1986) Carbon-cycling Changes during Regeneration of a Broadleaf Forest after Clear-cutting I. Changes in Organic Matter and Carbon Storage. Jap. J. Ecol. **35**: 551-563.
- 小島克己・石原 猛・根岸賢一郎 (1986) 東大千葉演習林における照葉樹二次林の樹種構成及び胸高断面積合計. 日林論 **97**: 331-332.
- 木材部・林産化学部 (1975) 南洋材の性質 21 南洋材の材質および加工性の評価. 林試研報 **277**: 87-130.
- 中西 哲・大場達之・武田義明・服部 保 (1983) 日本の植生図鑑. 208 pp. 保育社, 東京.
- 農林水産省林業試験場監修 (1982) 木材工業ハンドブック改訂3版. 1099 pp. 丸善, 東京.
- 林野庁 (1993) カーボン・シンク・プロジェクト推進調査事業 平成4年度. 219 pp. 国際緑化推進セン

- ター. 東京 (研究代表者: 内嶋善兵衛).
- 林野庁 (1994) カーボン・シンク・プロジェクト推進調査事業 平成5年度. 256 pp, 国際緑化推進センター. 東京 (研究代表者: 内嶋善兵衛).
- 林野庁計画課 (1970) 立木幹材積表 東日本編. 176 pp, 日本林業調査会, 東京.
- S. オーバーテュアー・H. E. オット (2001) 京都議定書: 21世紀の国際気候政策. (岩間徹・磯崎博司監訳). 438 pp, シュプリンガー・フェアラーク東京, 東京.
- 佐伯 浩 (1982) 木材の構造. 218 pp, 日本林業技術協会, 東京.
- 白石則彦 (1999) わが国のモニタリングシステムの現状と問題点. 森林科学 27: 35-37.
- 白石則彦・石橋 聡・佐野 真 (1997) 森林による炭素固定能の評価. 日林北支論 45: 110-113.
- 高村ゆかり・亀山康子編 (2002) 京都議定書の国際制度—地球温暖化交渉の到達点—. 382 pp, 信山社, 東京.
- 丹下 健 (1999) 都市のグリーン・シンク. 森林科学 27: 35-37.
- 東京大学農学部附属千葉演習林 (1997) 第11期試験研究計画. 演習林 (東大) 37: 1-74.
- 東京帝国大学農学部演習林 (1926) 造林實習日誌 清澄演習林本多教授指導. 148 pp, 東京.
- 豊田武司・谷本丈夫 (2000) 多摩森林科学園 (旧浅川実験林) における森林遷移. 森林総研研報 377: 1-60.
- 内嶋善兵衛 (1993) 気候と植生. 地学雑誌 102(6): 745-762.
- 山田麻木乃・花水恭二・川添哲也・丹下 健・森川 靖 (1999) 産業植林早生樹種の炭素固定量評価 (1) 西オーストラリアの *Eucalyptas blobulus* 人工林. 熱帯林業 46: 23-30.
- 山田麻木乃・花水恭二・大道 隆・丹下 健・森川 靖 (2000a) 産業植林早生樹種の炭素固定量評価 (4) パプアニューギニアの *Acacia mangium* 人工林及び総まとめ. 熱帯林業 49: 20-33.
- 山田麻木乃・松田 学・丹下 健・森川 靖 (2000b) 産業植林早生樹種の炭素固定量評価 (3) 南アフリカの *Eucalyptas grandis* 人工林. 熱帯林業 48: 18-24.
- 山田麻木乃・鶴見和恒・原口直人・川添哲也・山ノ下卓・丹下 健・森川 靖 (2000c) 産業植林早生樹種の炭素固定量評価 (2) ベトナムの *Acacia mangium*, *A. auriculiformis*, *Eucalyptas camaldulensis* 人工林. 熱帯林業 47: 33-39.
- 山中二男 (1994) 日本の森林植生【補訂版】. 223 pp, 築地書館, 東京.

(2003年7月4日受付)

(2004年9月6日受理)

Summary

Forests have recently been highlighted for their long-term carbon absorbing function with the expectation that they can moderate global warming. This study aims to estimate the amount of carbon storage at two different times in the University Forest in Chiba where management plans have been kept since 1905. The amount of carbon in the years 1909 and 1995 were estimated, mainly with calculations based on the inventory database. Though carbon density differs by species, there was no precise species composition information in inventory database for either year. So temporal field measurement plots were established to estimate the species composition of the present natural forests. In addition to the estimated results, GIS maps were made from forest type maps for comparing the two times. As a result firstly, the total amount of carbon storage in the University Forest in Chiba in 1995 is estimated to be about 3.1 to 3.8 times larger than that in 1909. Secondly, plantation forest is superior to natural forest in terms of carbon absorption. Plantation forest absorbs about 1.5 times more carbon per hectare. Therefore, this study revealed that the afforestation activities since the establishment of the University Forest in Chiba is effective from the viewpoint of carbon storage. In the near future, it will also be necessary to develop a method to estimate carbon in the soil, which will lead to an estimate of the total amount of carbon storage in the forest.

Key words: the University Forest in Chiba, amount of Carbon absorption, inventory database, summation method, GIS

Abstract

Carbonization of *Trachycarpus fortunei* H. WENDLAND and Its Quality

Haruo SAWADA, Kazuo HIRANO, Toshihiro SAITOH, Kazuya OOMURA,
Mieko AIKAWA and Hideo SAKAI

When making charcoal from *Trachycarpus fortunei* H. WENDLAND, the temperature must be kept lower than that used when making charcoal from *Quercus mongolica*. A larger amount of charcoal was obtained from the region near the root of *Trachycarpus fortunei* and the expenditure percentage of charcoal made increased by cutting off the leaf sheath fiber. *Trachycarpus fortunei* charcoal was very soft and had a hardness level of 1. The moisture absorption percentage of the charcoal made from the desheathed *Trachycarpus fortunei* was 6.9%, and that of the charcoal made from the leaf sheath fiber was 9.0%.

Estimation of Carbon Storage and Its Change in the Tokyo University Forest in Chiba —Comparison between 1995 and 1909—

Norihiko SHIRAISHI, Ayako TSUCHIDA, Keiko IZUMI and Makoto SUZUKI

The amount of carbon storage in the University Forest in Chiba was estimated in order to describe the change of forests during the 20th century. The forest inventory databases for the years 1909 and 1995 were used for estimation. The amount of carbon storage in 1995 was 3.8 times larger than that in 1909. This drastic increase was realized by the increase of plantation forests as well as aging of the stands. The estimation results were presented in the form of maps using GIS software.