

透明かつ検証可能な手法による吸収源の評価に関する研究

(1) 森林のバイオマス生長量に関する研究

独立行政法人森林総合研究所

森林管理研究領域	資源解析研究室	家原敏郎・細田和男
	(元)資源解析研究室	福田未来
北海道支所	天然林択伐チーム	石橋 聡
東北支所	森林資源管理研究グループ	西園朋広
関西支所	森林資源管理研究グループ	近藤洋史・田中邦宏
四国支所	流域森林保全研究グループ	小谷英司
九州支所	森林資源管理研究グループ	野田巖

(研究委託先)

早稲田大学人間科学部	天野正博
------------	------

平成 13～15 年度合計予算額	59,790 千円
(うち、平成 15 年度当初予算額	18,905 千円)

[要旨] 京都議定書では、吸収源の測定手法が科学性、説明可能性(透明性)をもち、かつ第三者によって検証可能なものでなければならぬとされた。森林の炭素吸収量の推定には、IPCC のデフォルト方式として林分幹材積成長量に拡大係数等のパラメータを乗じて求める方法が提示された。そのため、拡大係数を求めるためのバイオマスデータについても透明性、検証可能性確保のため調査データの蓄積が必要である。まず、森林バイオマス調査に関する既存研究論文を収集しバイオマス拡大係数(=地上部バイオマス/幹バイオマス)及びT/R率(=地上部バイオマス/地下部バイオマス)を求め、IPCC のグッドプラクティスガイダンスに示された林齢区分で整理し、日本の樹種別バイオマス拡大係数の概数値を把握するとともに、データが不足し精度が悪い樹種、林齢区分を明らかにした。次に、効率的に実施できるバイオマス調査法を策定し、国有林に設置した固定試験地 39 プロットでバイオマス調査を実施した。調査データを既存データに追加することによってヒノキ、カラマツ、トドマツではバイオマス拡大係数の精度を向上させることができ、ほとんど測定例がなかったエゾマツ、アカエゾマツのデータも取得することができた。林野庁の調査事業の測定結果も追加すると、21 年生以上のスギ、ヒノキ、カラマツのバイオマス拡大係数は、95%信頼区間 0.01～0.02 と大変良い精度で推定され、それぞれ 1.23、1.23、1.15 となった。

[キーワード] 二酸化炭素、吸収源、バイオマス、人工林、固定成長試験地

1. はじめに

京都議定書では、森林の二酸化炭素吸収のカウントについては、測定手法が科学的であり、手法や精度について第三者に説明が可能で(透明性の原則)、かつ第三者によって検証可能なもので

なければならない(検証可能の原則)と定められた。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、吸収量カウントのデフォルト方式として、林分の幹材積成長量にバイオマス拡大係数(=地上部バイオマス/幹バイオマス)、T/R率(=地上部バイオマス/地下部バイオマス)及び容積密度数、炭素含有率を乗じて炭素吸収量を求める方法を気候変動枠組条約の締約国会議に提示した。日本においても現在のところ全国規模で統計データがあるのは樹種別の林分面積や幹材積であり、ほぼこの方法で京都議定書報告を行うこととなると考えられる。

従って、日本の森林における二酸化炭素吸収量の推定には、林業統計の樹種別幹材積を、樹種別拡大係数を用いバイオマス量に変換する必要がある、そのため樹種別の幹・枝・葉等の乾燥重量データが必要である。日本では、1960～1980年代にかけて森林生態学分野において森林バイオマスが多数測定され研究蓄積がある。しかしながら、樹種によってはデータがほとんどなく精度に問題があり、また調査年代が古くそれぞれの調査方法の詳細部分が不詳なこと、測定した場所が未保存で具体的に示せないことなど、透明性や検証可能の点で問題があり、レビューによる審査がある京都議定書報告に、文献資料だけで耐えられるかどうか疑問である。

2．研究目的

以上のような背景から本サブテーマでは、林分成長の記録があり調査地の保存の点で問題がない国有林内に設置された主要人工造林樹種(スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツ等)の固定試験地で、短期間でのバイオマス成長量を評価するモデルを開発するとともに、モデルに必要なパラメータの科学的な計測手法の開発に関する研究を行った。この研究により幹から枝・葉を含む全地上バイオマス量への拡大係数パラメータ、下層植生のバイオマス量データ等を取得した。また、別途整理した既存の文献資料、他の事業による測定結果と合わせて、バイオマス拡大係数の精度向上を図った。

本課題では、国有林内に設置された既存の収穫試験地や固定試験地を多数利用した。一部のプロットではサブテーマ2に関わる森林土壌中の炭素変動量の測定を行い、長期にわたる成長の測定結果をサブテーマ3、4に提供した。調査によって多数の円板試料が取得されたが、その試料はサブテーマ5の容積密度に関する研究に受け渡した。

3．研究方法

バイオマス拡大係数については研究論文等に記載された根拠のあるデータが求められているので、日本の森林におけるバイオマス測定に関する研究論文、報告、図書のほとんど全てを収集し、文献目録を作成しその測定値についてのデータテーブルを作成した。これらの文献からのデータをIPCCのグッドプラクティスガイダンスに定められた林齢の区分で分類し、既存データによるバイオマス拡大係数の精度を求めた。

次に、事業ベースでも効率良く実施できるバイオマス調査手法を策定し、その方法で全国の固定試験地39プロットでバイオマス調査を実施し、バイオマス拡大係数(=地上部バイオマス/幹バイオマス)等のパラメータを取得した。既存データに、本研究の調査および林野庁の調査事業によって得られたデータを加え、精度を再計算することにより、バイオマス拡大係数の精度向上を図った。

4. 結果・考察

(1) 既存データによるバイオマス拡大係数の検討

国連気候変動枠組条約締約国会議は IPCC に対して、2003 年中に森林の CO₂ 吸収量インベントリ-の優良事例を集めたグッドプラクティスガイダンスを作成することを要請した。グッドプラクティスガイダンスには、バイオマス拡大係数に関するデフォルトデータ等も含まれている。京都議定書締結国は、その国のバイオマス拡大係数パラメータを用意し、第 1 約束期間が始まる前にレビューの審査を受けなければならないが、途上国等でもどうしてもデータが集まらない場合にはデフォルトデータを使ってよいこととされている（ただし 3 条 4 項の規定を使用す

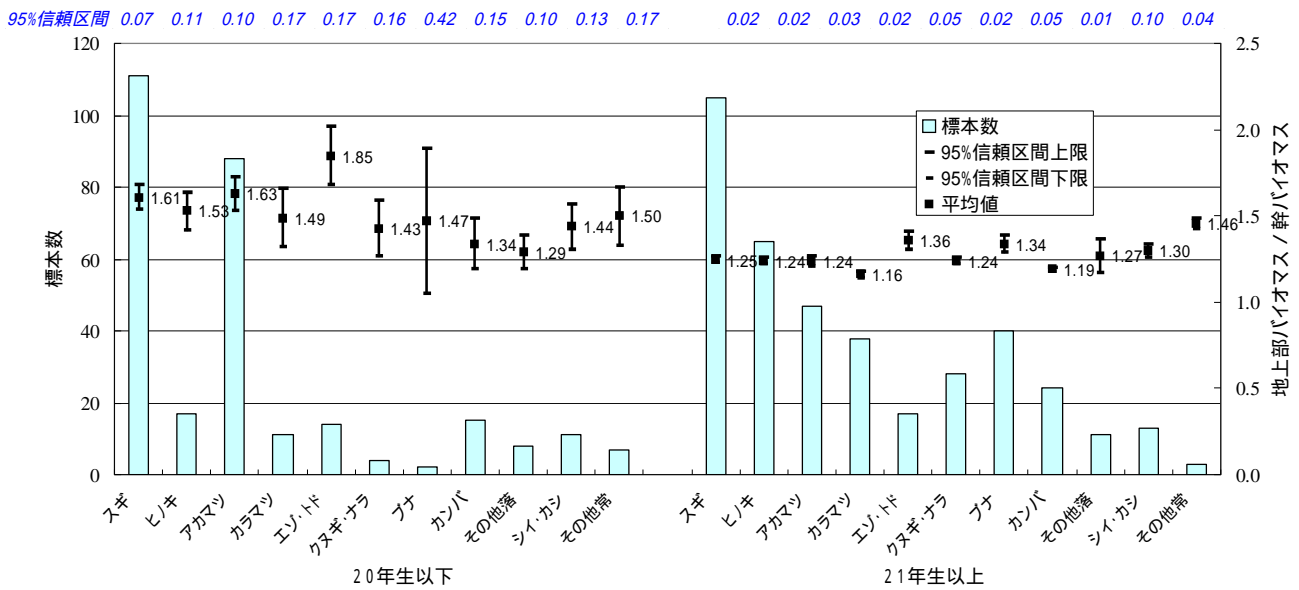


図 - 1 . 文献データによる樹種別バイオマス拡大係数

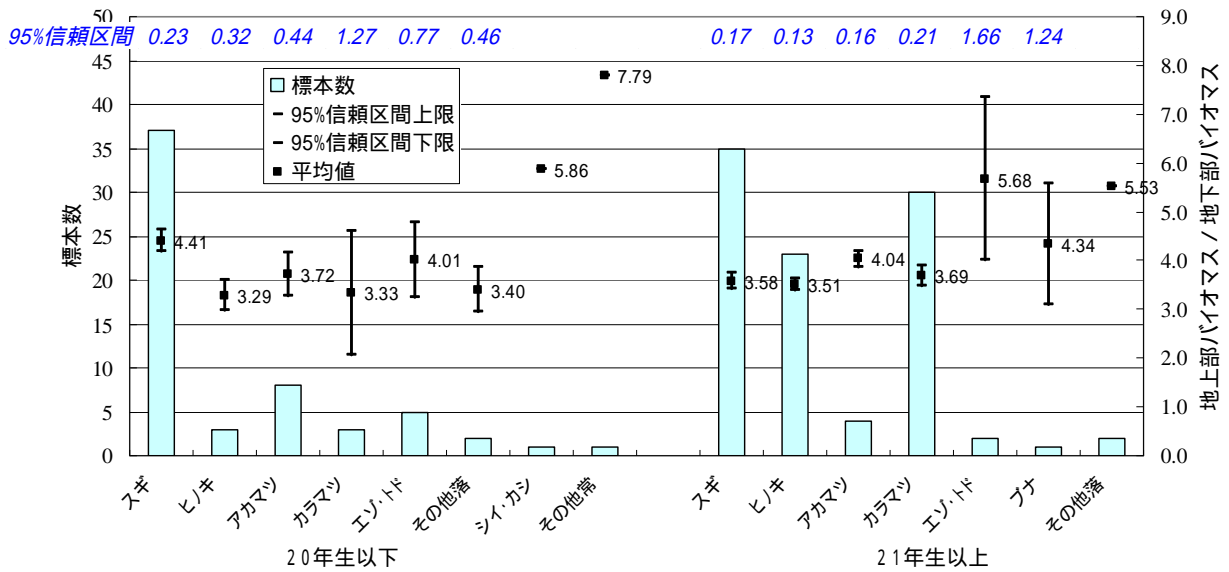


図 - 2 . 文献データによる樹種別 T / R 率

る国は、自国のパラメータを用意しなければならないと解釈されている)。拡大係数は幼齢林と壮齢林以上でかなり異なる¹⁾ことから、グッドプラクティスガイダンスでは林齢 20 年生以下と 21 年生以上に分けてパラメータを求めることとされた。

本研究では、森林バイオマス測定に関する既存の研究論文、報告、図書など598編を収集し、これから林分毎のバイオマス拡大係数および、T/R率を求め、グッドプラクティスガイダンスの林齢区分に従って樹種別に整理した(図1, 2)。既存文献からは針葉樹主要人工造林樹種(スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツ)について合計513プロットのデータが得られた。また、ここでは広葉樹(166プロット)についてもデータの整理を行った。

バイオマス拡大係数は、林齢 21 年以上では本州・四国・九州で植栽されるスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツについては測定プロット数が多く、95%信頼区間も 0.01~0.03 というよい精度を示すことがわかった。それに対し北海道でのみ植栽されるエゾマツ・トドマツ及び広葉樹の各グループは測定数が少なく、精度も悪く 95%信頼区間で 0.04 以上のものが多かった。バイオマス拡大係数の樹種別平均値はスギ、ヒノキ、アカマツが 1.23~1.25 でほぼ同じ値であったのに対し、エゾマツ・トドマツとブナ及び常緑広葉樹は 1.30 以上でやや大きく、落葉針葉樹であるカラマツは 1.16 でやや小さい値を示した。ブナ以外の落葉広葉樹は、スギに近い値を示した。

林齢 20 年以下のバイオマス拡大係数は、おおむね 1.4 以上で林齢 21 年以上よりかなり大きい値を示したが、スギとアカマツ以外では、測定数が各 20 プロット以下であり精度も悪いことがわかった。また、林齢 20 年以下では成長に伴って幹の比率が急速に増加するため、測定例が 100 あまりのスギとアカマツでも 95%信頼区間は 0.07 と 0.10 であり、林齢 21 年以上に比べかなり広がった。

根のバイオマス量の測定は、根の掘り起こしに多大の労力と経費がかかり、林地を相当荒らすことから森林所有者の調査許可もおりにくく、地上部バイオマス調査に比べ測定例が著しく少ない。既存文献から全部で163プロットのデータを収集したが、林齢別樹種別に分類すると20プロット以上の測定があるのは、スギと21年以上のカラマツおよびヒノキのみであり、その他はわずかな数例ずつの測定例があるのみであった。樹種別のT/R率の平均値は3.3から5.7の範囲内にあり、21年生以上のスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ、20年生以下のスギでは測定数は地上部バイオマスに比べかなり少ないにもかかわらず精度は比較的良かった。

IPCCグッドプラクティスガイダンスのバイオマス拡大係数、T/R率のデフォルト値作成作業の中で、IPCCより日本のバイオマス拡大係数の提出を求められたので、本課題の結果をもって対応した。IPCCは樹種別でなく気候帯別に報告するよう求めたので、複数の樹種を込みにして計算し、表1及び表2のようにまとめIPCCに提出した。

以上のように整理することによって、日本のバイオマス拡大係数についてのベースデータを得ることができた。また、バイオマス拡大係数の精度向上のためには、精度が悪い樹種、林齢区分を中心に、追加データを収集する必要があると考えられた。林齢 21 年以上ではエゾマツ、アカエゾマツ、トドマツはなおデータ収集を続ける必要があり、林齢 20 年以下ではスギの信頼区間を目標にして、スギ以外の樹種についてデータ収集を行うべきであると考えられた。

表 - 1 . 森林タイプ別バイオマス拡大係数

20年生以下	温帯		北方	
	針葉樹	広葉樹	針広混交	針葉樹
最小	1.2	1.16	1.12	1.18
最大	3.88	2.03	2.37	2.37
平均	1.6	1.42	1.61	1.69
標本数	233	32	30	27
中央値	1.49	1.35	1.55	1.6
標準偏差	0.41	0.21	0.41	0.36
平均値の				
95%信頼区間	下限 1.55	1.34	1.45	1.55
	上限 1.66	1.49	1.76	1.83
21年生以上	温帯		北方	
	針葉樹	広葉樹	針広混交	針葉樹
最小	1.04	1.03	1.14	1.04
最大	1.68	2.01	1.89	1.89
平均	1.24	1.3	1.27	1.23
標本数	319	95	47	70
中央値	1.23	1.26	1.24	1.20
標準偏差	0.10	0.14	0.14	0.02
平均値の				
95%信頼区間	下限 1.23	1.27	1.23	1.19
	上限 1.25	1.33	1.32	1.26

注) 温帯針葉樹：スギ、ヒノキ、アカマツ

温帯広葉樹：クヌギ・コナラ、ブナ、その他落葉樹、シイ・カシ

北方針広混交：エゾマツ・トドマツ、カンバ

北方針葉樹：エゾマツ・トドマツ、カラマツ

表 - 2 . 森林タイプ別 T / R 率

20年生以下	温帯		北方	
	針葉樹	広葉樹	針広混交	針葉樹
最小	2.64	3.16	2.84	2.05
最大	6.53	7.79	7.79	4.91
平均	4.23	4.72	4.37	3.75
標本数	47	5	10	8
中央値	4.32	3.63	3.98	3.97
標準偏差	0.76	2.05	1.53	0.96
平均値の				
95%信頼区間	下限 4.01	2.18	3.27	2.95
	上限 4.45	7.26	5.46	4.56
21年生以上	温帯		北方	
	針葉樹	広葉樹	針広混交	針葉樹
最小	2.61	2.82	2.82	2.49
最大	4.60	6.48	6.59	6.59
平均	3.58	4.54	4.92	3.87
標本数	62	6	9	33
中央値	3.61	4.36	4.94	3.63
標準偏差	0.44	1.35	1.42	0.89
平均値の				
95%信頼区間	下限 3.47	3.12	3.83	3.55
	上限 3.70	5.96	6.01	4.18

(2) 効率的なバイオマス調査法の策定

バイオマスの測定法は、造林学や森林生態学の長い研究蓄積によりいくつかの標準的な方法が教科書等²⁾で紹介されている。バイオマス調査は大変手間と労力を必要とするものであり、細かく測定すると1本の立木の測定に数日を要する場合もある。ここでは、データをできるだけ多数集める必要があることから、正確さを確保しつつ効率的に行える地上部バイオマス調査の方法を策定した。

特徴としては、枝の付着部位を基準とする層別刈取法を採用し、全部の枝ではなくサンプル大枝のみを枝葉にわける方法を使った。そして、比較的サンプル木の数が少なくても断面積比で推定する手法²⁾で林分のバイオマス量に拡張している。調査は立木の毎木調査、下層植生のバイオマス調査、倒木のバイオマス調査、立木のバイオマス調査からなっている。手法は下記のとおりである。

立木の毎木調査

収穫試験地の調査方法（収穫試験地施行要綱）に準拠する方法とした。胸高直径は全ての立木について測定し、樹高は毎木調査または1プロットにつき約100本測定した。樹高未測定木は、直径と樹高の関係を表す樹高曲線で樹高を推定した。樹高曲線はネスルンド式とした。

下層植生のバイオマス調査

試験地のプロット内に、1×1mの小プロットをランダムに20個設定する。小プロット内を坪刈りし、葉・非同化部分・枯れた部分に分け、全生重量を測定する。それぞれ100～300gのサンプルを取り生重を測定し、熱風乾燥機で85～90の温度で4日間乾燥させ乾重を測定する。

倒木のバイオマス調査

試験地のプロットのほぼ中央に0.01haの円形プロットを設定し、元口直径5cm以上の倒木の元口直径、末口直径、長さを測定する。5本の倒木から試料円板を採取し生重を測定する。実験室で試料の体積を測定し、85～90で4日間乾燥させ乾重を測定する。全倒木と試料円板の体積の比から、倒木の乾重を計算する。

林木のバイオマス調査の手法

プロットから平均的な枝葉のつきかたをしている優勢木1本、中庸木2本(平均直径よりやや大きい木、やや小さい木)、劣勢木1本をサンプル木として選び伐倒し、高さ0.0m、0.2m、1.2m、2.2m・・・以上1mごとにチェーンソーで玉切りする。各玉から枝を切り離し全ての大枝、枯枝の生重を測定する。大枝を3本程度選びその枝について枝・葉・枯葉(枝)に分け生重を測定する。枝・葉・枯枝(葉)より300g程度のサンプル採取し、生重を測定、サンプルを紙袋に入れ実験室に持ち帰る。幹は玉ごとにつり上げて生重を測定する。玉の元口より厚さ約5cmの円板を採取し、生重を測定して円板を持ち帰る。測定には精度を維持するため電子つり秤または電子台秤を用いる。

持ち帰った枝・葉・枯枝(葉)は85~90℃で2日間、円板は85~90℃で4日間乾燥し、乾重を測定する。最終的な乾重と、サンプルの生重、大枝の生重、玉切った1mごとの生重の関係から、サンプル木1本あたりの幹および枝、葉、枯枝(葉)の乾重を求め、(1)式で林分のバイオマス量に拡張する。ここでGは林分、 g_i はサンプル木4本の胸高断面積、 w_i はサンプル木の乾重である。

$$W = G / g_i \cdot w_i \quad (1)$$

(3) バイオマス調査の実施

以上に示した手法で、表3および図3に示した固定試験地39プロットでバイオマス調査を行っ

表-3. バイオマス調査を行った固定試験地

収穫試験地名	場所	林齢(年)	調査年度
北海道支所	利根別トドマツ	北海道岩見沢市 間伐区	60 13
	森野エゾマツ	北海道白老町 間伐区	67 13
	余別アカエゾマツ	北海道稚丹町 間伐区	69 13
	当別エゾマツ	北海道当別町 間伐区	72 14
	上芦別七夜アカエゾマツ	北海道白老町 間伐区	44 14
	余市カラマツ	北海道仁木町 間伐区	46 14
	羊ヶ丘実験林アカエゾマツ	札幌市豊平区 間伐区	27 15
	新冠トドマツ	新冠郡新冠町 間伐区	53 15
	丸山エゾマツ	千歳市 間伐区	49 15
	苫小牧アカエゾマツ	苫小牧市 間伐区	43 15
東北支所	朝日沢カラマツ	山形県最上町 間伐区	53 14
	小槻沢カラマツ	岩手県遠野市 間伐区	52 15
資源解析研 (関東森林 管理局)	横向カラマツ	福島県猪苗代町 間伐区	49 14
	内野スギ	群馬県黒保根村 比較区	49 14
	"	" 間伐区	46 13
	"	" 比較区	46 13
	立石ヒノキ	栃木県黒羽町 間伐区	51 13
	"	" 比較区	51 13
	安良沢カラマツ	栃木県日光市 間伐区	46 14
(東京分局)	小下沢スギ	東京都八王子市 間伐区	43 13
	荻の入スギ	静岡県河津町 間伐区	82 13
	富士ウラジロモミ	静岡県富士宮市 比較区	49 15
(中部森林 管理局)	富士里スギ	長野県信濃町 間伐区	47 14
	"	" 無間伐区	47 14
(名古屋分 局)	裏谷ヒノキ施業比較	愛知県設楽町 中度間伐区	75 14
	"	" 弱度間伐区	75 14
	一ツ梨ヒノキ	岐阜県清見村 間伐区	49 14
	一ツ梨カラマツ	岐阜県清見村 間伐区	48 14
	阿木恵那スギ	岐阜県中津川市 間伐区	50 15
	阿木恵那ヒノキ	岐阜県中津川市 間伐区	50 15
	濁河カラマツ	岐阜県小坂町 間伐区	51 15
	秋神カラマツ	岐阜県朝日村 間伐区	52 15
関西支所	茗荷淵ヒノキ	三重県熊野市 間伐区	51 13
四国支所	西又東又山スギ	高知県馬路村 間伐区	51 13
	"	" 比較区	52 13
	下る川山スギ	高知県大野見村 強度間伐区	45 15
	"	" 無間伐区	45 15
九州支所	仁川1号ヒノキ	熊本市 間伐区	71 13
	竜田山実験林ヒノキ	熊本市 間伐区	86 14

注) 比較区 = 無間伐林、 間伐後の土壌炭素量変化調査を実施

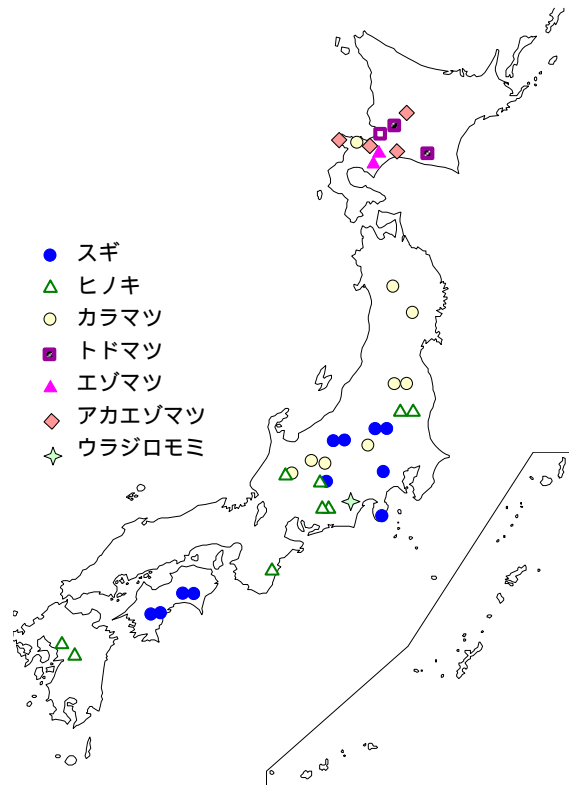


図-3. バイオマス調査プロットの分布

た。対象とした固定試験地の多くは、国有林が林分の成長に関する統計データを採取する目的で作った収穫試験地とよばれる成長量試験地で、古いものは1930年代に試験地が設定され、以後5～10年毎に、森林総研または森林管理局によって成長量調査が継続されている。収穫試験地は全国で約210カ所あるが、バイオマス調査の対象地として、CO₂を盛んに吸収している40～80年生の林分で、できるだけ間伐を行ったプロットと無間伐のプロットをペアで設定してある試験地から選んだ。データの少ないカラマツ、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツに重点をおき、全国に調査地をできるだけまんべんなく配置するようにした。アカマツは、多くの試験地がマツクイムシ被害を受けてなくなっており、バイオマス調査の対象として好適なものはなかった。

(2)で示した手法によるバイオマス調査の所要時間は以下のものであった。下層植生のバイオマス調査は、通常調査員5名で0.5日以内であるがササ等が密生する場合はより時間を要した。倒木のバイオマス調査は、調査員3名、伐倒手1名でほぼ1時間以内で実施できた。立木のバイオマス調査は、伐倒から生重測定、サンプル採取、サンプル発送までで、スギ、ヒノキでは、調査員5名、伐倒手2名で約2日/4本、カラマツ、トドマツ、エゾマツは枝から葉をむしりにくく、同じ人数で3～5日/4本を要した。スギ、ヒノキでは1プロットについて約3日の行程で調査が可能であった。習熟すると効率的な作業手順・作業仕組みができ能率が上がり、本手法は作業時間が比較的短く実行性で問題は少なかった。

各プロットにおける、バイオマス測定結果を表4に示す。生立木のバイオマス量は、幹・枝・葉の合計でスギでは192～470 t/ha(測定したプロットの林齢範囲43～82年)、ヒノキは196～369 t/ha(林齢49～86年)、カラマツは126～244 t/ha(林齢46～53年)、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツでは118～295 t/ha(林齢27～72年)であった。葉のバイオマス量は常緑針葉樹であり葉が数年間生存しているスギ、ヒノキ、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツでは12～27 t/haであり、毎年落葉するカラマツはかなり少なく、1.2～3.4 t/haであった。枝はおおむね15～30 t/haの範囲のものが多く、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツで多く、カラマツで少ない傾向があった。以上のように、バイオマス量については成長が良く立木本数が多いスギ、ヒノキはかなり多く、成長の遅いトドマツ、エゾマツ等と落葉針葉樹であるカラマツは少ないという結果となり、これは既往の研究結果²⁾と矛盾するものではなかった。

本研究では生立木に付着している枯れ枝葉の量も測定した。スギとカラマツではおおむね4 t/ha以下であり大きな量ではなかったが、枯れ枝葉が残りやすいヒノキ、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツでは10 t/ha以上ある林分が多かった。枯れ枝葉の量については通常、森林の生産生態学の研究では考慮されず、本章の(1)で調べた既存文献では測定例が少なかったため、今回の調査は貴重な測定例と考えられる。林分内での炭素収支を考えると無視できない量であるため、今後のバイオマス調査では、枯れ枝葉についてもできるだけデータを収集する必要があると考えられた。

本研究で得られたバイオマス拡大係数の値は、スギで1.09～1.27、ヒノキで1.09～1.26、カラマツはやや小さく1.05～1.21、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツは大きい値を示し1.23～1.93であった。

珍しい樹種であるが、富士山ろくにはウラジロモミの人工林があり収穫試験地があったので測定したところ、バイオマス拡大係数は1.25であった。図4よりウラジロモミの値は同じモミ属のトドマツとほぼ同様な値であると考えられた。また、同じ林齢で間伐区と無間伐区がペアになっ

ている試験地が7つあった（うち1つは中度間伐区と、本数間伐率が大変小さい間伐が1回行われた弱度間伐区）が、うち4組で間伐区のバイオマス拡大係数が大きく、残り3組も同じかわずかに小さい程度であった。測定結果より、林分あたりの枝葉の量は両区で大差ないのに対し、幹の量が無間伐区で大変多いためバイオマス拡大係数が小さくなったと考えられた。

京都議定書報告でのパラメータの重要性が認識されるようになったことから、本研究開始以後林野庁の事業においても盛んにバイオマス調査が行われるようになった。本研究の測定結果から計算されたバイオマス拡大係数と林齢の関係を、既往文献のデータ及び林野庁事業での測定結果とあわせて示すと図4のようになった。図4で本研究による測定結果は、各樹種とも既往文献のデータの分布範囲内におさまり、既往の研究結果と矛盾するものではなかった。また異常な数値が出なかったことから、測定法についてもこの手法で問題はないと考えられた。

表5に既往文献によるバイオマス拡大係数に、本研究及び林野庁事業による測定結果を加えて得られたバイオマス拡大係数の精度を示す。本研究によってデータが追加されたのは21年生以上の区分である。ヒノキ、カラマツ、トドマツでは本研究での追加測定によって、わずかではあるが精度を向上させることができた。ヒノキとスギについては測定数も多く、林野庁事業によるデータ追加によっても平均値が変わっておらず、スギ1.23、ヒノキ1.23を確定値としてもよいと考えられた。カラマツも1.15で変わっておらず、この値に収束する可能性が高い。また、エゾマツ

表 - 4 . バイオマス調査結果

収穫試験地名	場所	林齢 (年)	平均 直径 (cm)	平均 樹高 (m)	立木本 数 (本/ha)	立木バイオマス量 (t/ha)			バイオマ ス拡大 係数	下層植生バイオマ ス量(t/ha)		枯枝葉(t/ha)		
						幹	枝	葉		葉	非同化 部分	立木	下層植 生	
内野スギ	群馬県黒保根村	間伐区	46	23.4	17.9	1529	203.97	13.30	17.65	1.15	0.009	0.097	3.14	0.002
内野スギ	群馬県黒保根村	比較区	46	19.4	17.8	2444	236.10	11.40	16.05	1.12	0.015	0.047	3.85	0.011
小下沢スギ	東京都八王子市	間伐区	43	21.8	16.6	1397	179.70	13.94	15.82	1.17	0.021	0.186	3.64	0.008
荻の入スギ	静岡県河津町	間伐区	82	32.0	21.1	721	228.15	21.54	11.07	1.14	0.546	1.105	1.51	0.098
富士里スギ	長野県信濃町	間伐区	47	24.9	19.1	905	150.82	13.48	27.35	1.27	0.194	0.799	4.64	0.034
富士里スギ	長野県信濃町	無間伐区	47	24.4	22.1	1514	282.35	12.65	26.52	1.14	0.222	0.343	12.79	0.007
阿木恵那スギ	岐阜県中津川市	間伐区	50	26.6	21.1	1201	260.55	15.99	16.20	1.12	0.277	0.683	3.68	0.102
西又東又山スギ	高知県馬路村	間伐区	51	28.3	24.7	1222	331.12	17.41	13.68	1.09	0.006	0.014	3.85	0.001
西又東又山スギ	高知県馬路村	比較区	52	22.7	22.8	2385	356.87	17.86	16.45	1.10	0.005	0.011	3.19	0.005
下る川山スギ	高知県大野見村	強度間伐区	45	34.7	28.8	741	243.44	13.24	12.63	1.11	0.080	0.221	2.26	0.001
下る川山スギ	高知県大野見村	無間伐区	45	27.2	26.3	1690	425.01	19.22	25.58	1.11	0.071	0.201	3.59	0.005
立石ヒノキ	栃木県黒羽町	間伐区	51	19.6	16.5	1842	198.66	21.32	15.35	1.18	0.089	0.486	11.75	0.026
立石ヒノキ	栃木県黒羽町	比較区	51	19.3	17.9	1845	192.81	19.38	16.33	1.19	0.018	0.066	10.39	0.011
阿木恵那ヒノキ	岐阜県中津川市	間伐区	50	23.6	16.3	1483	219.22	15.65	12.49	1.13	0.032	0.092	10.19	0.076
裏谷ヒノキ施業比較	愛知県設楽町	中度間伐区	75	26.0	19.4	1187	281.37	30.70	12.86	1.15	0.114	0.317	9.70	0.070
裏谷ヒノキ施業比較	愛知県設楽町	弱度間伐区	75	24.3	20.7	1563	333.77	21.05	13.90	1.10	0.130	0.342	9.84	0.034
一ツ梨ヒノキ	岐阜県清見村	間伐区	49	24.6	15.7	987	153.50	26.41	13.48	1.26	0.006	0.013	15.26	0.001
茗荷淵ヒノキ	三重県熊野市	間伐区	51	24.5	19.1	1170	194.24	22.40	11.54	1.17	0.041	0.125	4.77	0.051
仁川1号ヒノキ	熊本市	間伐区	71	27.6	20.9	846	231.32	14.87	7.00	1.09	3.248	5.205	1.60	0.159
竜田山実験林ヒノキ	熊本市	間伐区	86	27.2	21.5	670	178.24	14.42	3.65	1.10	1.562	1.867	3.80	0.000
余市カラマツ	北海道仁木町	間伐区	46	25.2	21.3	520	103.91	18.48	3.31	1.21	2.000	7.843	2.20	3.408
朝日沢カラマツ	山形県最上町	間伐区	53	23.6	21.6	835	177.58	13.79	3.41	1.10	0.468	0.834	2.42	0.049
小槻沢カラマツ	岩手県遠野市	間伐区	52	26.8	26.4	649	186.20	10.97	2.45	1.07	0.720	0.758	1.60	0.110
横向カラマツ	福島県猪苗代町	間伐区	49	24.0	21.6	760	157.90	13.08	3.24	1.10	0.492	0.781	4.40	0.057
横向カラマツ	福島県猪苗代町	比較区	49	21.8	21.2	1100	208.27	12.58	2.44	1.07	0.289	0.677	3.13	0.018
安良沢カラマツ	栃木県日光市	間伐区	46	19.3	16.2	915	93.37	6.53	1.91	1.09	0.936	0.839	0.72	0.347
一ツ梨カラマツ	岐阜県清見村	間伐区	48	27.6	24.3	525	172.26	10.42	2.11	1.07	1.768	8.881	2.90	2.182
濁河カラマツ	岐阜県小坂町	間伐区	51	23.6	20.1	792	155.00	11.87	1.83	1.09	0.853	4.551	1.11	2.493
秋神カラマツ	岐阜県朝日村	間伐区	52	26.5	25.5	785	232.65	9.67	1.22	1.05	0.741	0.421	4.66	0.446
利根別トドマツ	北海道岩見沢市	間伐区	60	30.9	21.1	610	181.57	32.85	15.47	1.27	0.188	0.595	12.45	0.016
新冠トドマツ	新冠郡新冠町	間伐区	53	31.8	20.8	455	135.88	21.03	9.70	1.23	0.628	0.621	5.64	0.159
森野エゾマツ	北海道白老町	間伐区	67	31.8	20.6	530	211.68	58.21	24.79	1.39	0.352	0.944	16.10	0.901
当別エゾマツ	北海道当別町	間伐区	72	33.0	19.8	510	109.25	38.53	22.25	1.56	0.112	0.551	16.64	0.048
丸山エゾマツ	千歳市	間伐区	49	19.1	13.9	1413	126.71	20.11	16.17	1.29	0.057	0.071	9.84	0.001
余別アカエゾマツ	北海道積丹町	間伐区	69	26.0	18.3	945	199.23	31.24	20.26	1.26	0.034	0.059	26.30	0.004
上芦別七夜アカエゾマツ	北海道白老町	間伐区	44	14.4	11.2	1550	84.39	19.36	14.00	1.40	0.076	0.068	10.86	0.014
羊ヶ丘実験アカエゾマツ	札幌市豊平区	間伐区	27	14.7	10.0	2330	141.12	60.07	71.15	1.93	0.000	0.004	-	0.000
苫小牧アカエゾマツ	苫小牧市	間伐区	43	17.3	12.0	1550	103.47	22.89	20.17	1.42	0.007	0.009	13.01	0.000
富士ウラジロモミ	静岡県富士宮市	比較区	49	22.5	13.3	1168	172.19	25.76	16.50	1.25	0.364	0.339	7.55	0.044

注) 竜田山実験林のデータは葉量が異常に少ないため棄却した。
羊ヶ丘実験林は植栽密度が連続的に変化する試験地の同一密度部分で調査したため、伐倒調査木の値を表示した(単位kg)。

とアカエゾマツは、今まで測定数がほとんどなかったが本研究で7プロットの測定を加えることができた。両樹種は、精度がまだかなり悪いので、今後事業ベースでデータを集める必要がある。

次に、測定データからバイオマス拡大係数以外のパラメータとして、下層植生のバイオマス量と林齢との関係を示すと図5のようになった。多くのプロットは2t/ha以下であったが、ササが密生するプロットでは10.6t/haに達したものがあつた。ただし、図5に示したように林齢や樹種との間にはっきりした関係はみられなかった。

(4) 試験地でのバイオマス成長量の評価

固定試験地では定期的に林分の材積が測定されているので、伐採・搬出された量を別にすれば、短期間でのバイオマス成長量を算出するのは容易である。今回調査での生立木の材積から前回調査時点での生立木の材積をひいて、調査期間の年数で割ると材積の純成長量が求められる。これに樹種別の容積密度数とバイオマス拡大係数を乗じ、根の比率を加えて、バイオマス成長量を求めることができる。これに植物体中の炭素含有率（IPCCのデフォルト値0.5）を乗じると、固定試験地の年間の炭素吸収量となる（表6）。

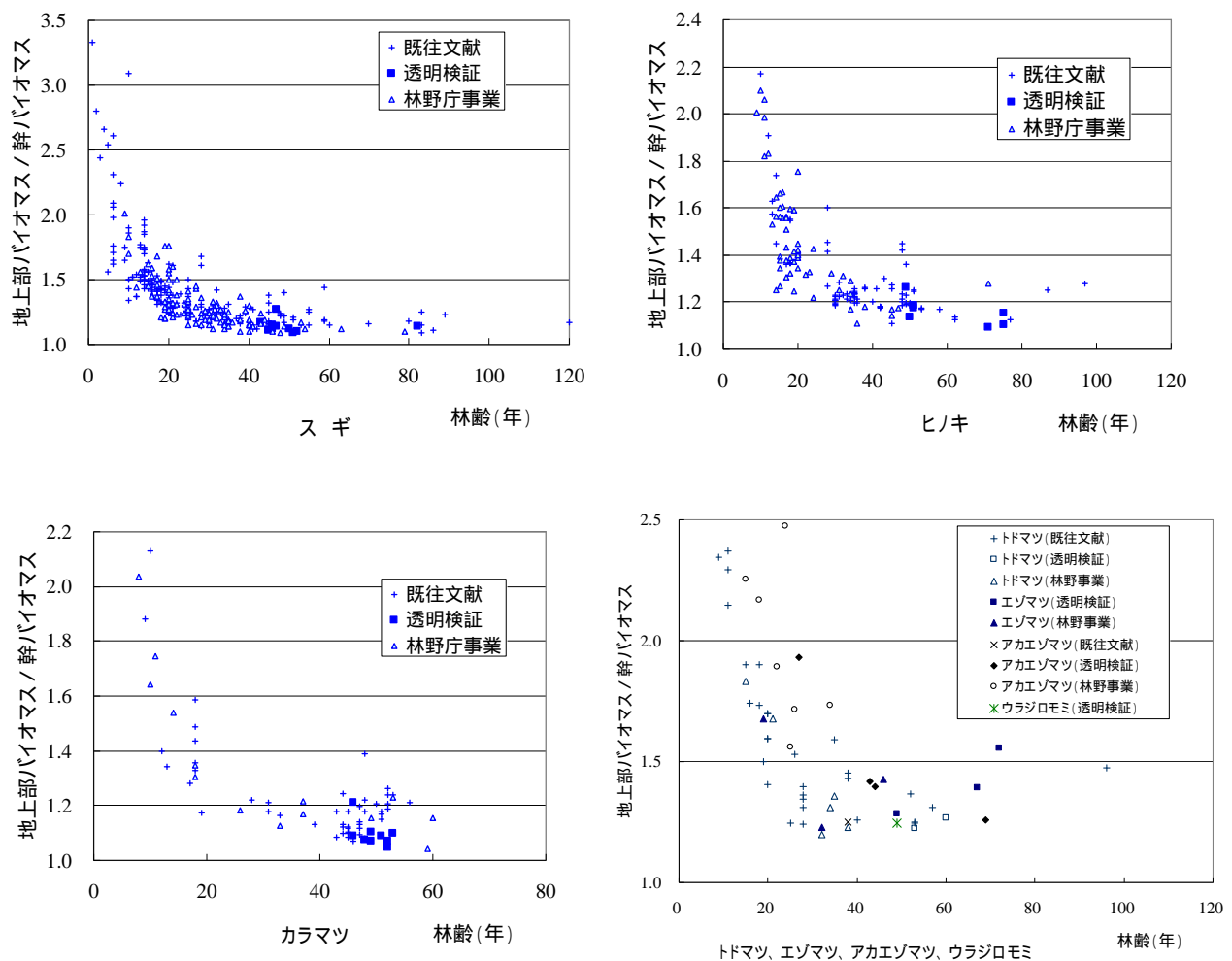


図 - 4 . 既往データと追加測定によるバイオマス拡大係数

表 - 5 . データの追加によるバイオマス拡大係数の精度向上

樹種	既往文献			透明検証調査結果追加			林野庁事業調査結果追加			
	標本数	平均値	信頼区間 誤差率	標本数	平均値	信頼区間 誤差率	標本数	平均値	信頼区間 誤差率	
20年生以下	スギ	111	1.61	±0.07 4.3%			143	1.58	±0.06 3.6%	
	ヒノキ	17	1.53	±0.11 7.0%			56	1.54	±0.06 3.8%	
	アカマツ	88	1.63	±0.10 6.4%						
	カラマツ	11	1.49	±0.17 11.2%			17	1.53	±0.13 8.5%	
	トドマツ	14	1.85	±0.17 9.0%			15	1.85	±0.16 8.4%	
	エゾマツ	-	-	-	-	-	1	1.68	-	
	アカエゾマツ	-	-	-	-	-	2	2.21	±0.08 3.8%	
21年生以上	スギ	105	1.25	±0.02 1.6%	116	1.24	±0.02 1.6%	193	1.24	±0.01 1.2%
	ヒノキ	65	1.24	±0.02 1.6%	73	1.23	±0.02 1.5%	89	1.23	±0.02 1.4%
	アカマツ	47	1.24	±0.03 2.3%			54	1.23	±0.03 2.2%	
	カラマツ	38	1.16	±0.02 1.8%	47	1.15	±0.02 1.7%	55	1.15	±0.02 1.5%
	トドマツ	16	1.36	±0.05 3.9%	18	1.35	±0.05 3.7%	24	1.35	±0.05 3.7%
	エゾマツ	-	-	-	3	1.41	±0.15 10.9%	5	1.38	±0.11 8.1%
	アカエゾマツ	1	1.25	-	5	1.45	±0.24 16.8%	10	1.67	±0.23 14.0%

注) : 当該調査で追加がなかったもの。

表 - 6 . 試験地での短期間の
炭素吸収量の計算方法

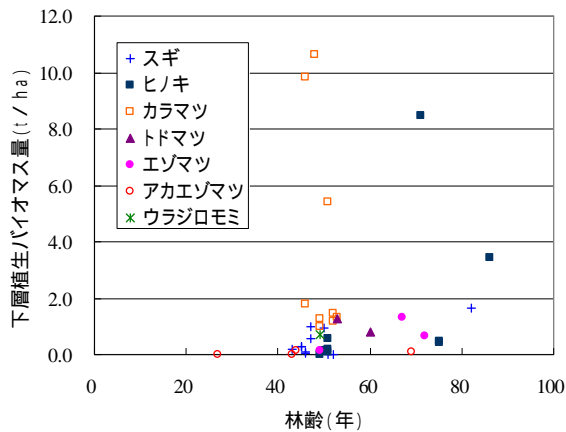


図 - 5 . 下層植生のバイオマス量

横向カラマツ収穫試験地間伐区	期首	期間中の枯損	期末
調査年	1988.10		2001.10
林齢 (年)	35	13年	48
蓄積 (m ³ / ha)	207.03	0.51	404.70
純成長量 (m ³ / ha・yr)		404.7	15.21
容積密度数 (kg / m ³)	×	408	
バイオマス拡大係数 (地上部 / 幹)	×	1.15	
T / R率 (地上部 / 地下部)	×	3.69	
係数 ((地上部 + 地下部) / 幹)	×	1.46	
バイオマス成長量 (t / ha・yr)			9.06
炭素含有率	×	0.50	
炭素吸収量 (t / ha・yr)			4.53

5. 本研究により得られた成果

森林バイオマス調査に関する既存文献資料を収集しバイオマス拡大係数(=地上部バイオマス/幹バイオマス)及びT/R率(=地上部バイオマス/地下部バイオマス)を求め、IPCCのグッドプラクティスガイダンスに示された林齢区分で整理し、日本の樹種別バイオマス拡大係数の概数値を把握することができた。また、グッドプラクティスガイダンスに日本の森林の値としてその結果を報告した。同時に既存データを分析し、データが不足し精度が悪い樹種、林齢区分を明らかにした。

効率的に実施できるバイオマス調査法を策定し、国有林に設置した固定試験地39プロットでバイオマス調査を実施した。調査データを既存データに追加することによってヒノキ、カラマツ、トドマツではバイオマス拡大係数の精度を向上させることができ、ほとんど測定例がなかったエゾマツ、アカエゾマツのデータも取得することができた。

また、開発した調査手法はバイオマス調査に関する林野庁の調査事業でも採用されることにより、データが不足している樹種・林齢に対して統一された手法で重点的に調査を行うことが可能となった。

6. 引用文献

(1) 福田未来・家原敏郎・松本光朗：スギ、ヒノキにおける部位別現存量と林齢との関係、日本林学会関東支部論文集、52, 13-16(2001)

(2) 佐藤大七郎：陸上植物群落の物質生産 I a 森林、95pp, 共立出版(1973)

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表(学術誌・書籍)

福田未来・家原敏郎・松本光朗：日本林学会関東支部論文集、52, 13-16(2001)

「スギ、ヒノキにおける部位別現存量と林齢との関係」

福田未来・家原敏郎・松本光朗：日本林学会関東支部論文集、53, 59-60(2002)

「アカマツ、カラマツにおける部位別現存量と林齢との関係」

家原敏郎：平成13年度炭素吸収源データ収集システム開発事業報告書、58-63、林野庁、東京(2002)

家原敏郎：森林資源データの分析・利用に関する調査報告書、13-18、林野庁、東京(2003)

福田未来・家原敏郎・松本光朗：日本林学会関東支部論文集、54, 61-64(2003)

「日本の主要な森林におけるバイオマス拡大係数について」

M. Fukuda, T. Iehara, M. Matsumoto : Forest Ecology and Management, 184,1-16(2003)

“ Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan ”

Gert-Jan Nabuurs, Toshiro Iehara et al. : IPCC Good practice guidance for land use, land-use change and forestry, 159-194

“ IPCC Good practice guidance for Biomass Default Tables for Section 3.2 ”

細田和男、家原敏郎、松本光朗、福田未来：日本林学会関東支部大会発表論文集、55, 67-68 (2004)

「スギ、ヒノキおよびカラマツ人工林における単木のバイオマス拡大係数」

(2) 口頭発表

福田未来・家原敏郎・松本光朗：第 113 回日本林学会（2002）

「日本の主要針葉樹林における部位別現存量割合と森林炭素蓄積の推定について」

（アブストラクト提出済み）

福田未来・家原敏郎・松本光朗：第 114 回日本林学会（2003）

「プロット調査の推進によるバイオマス拡大係数の精度向上」（アブストラクト提出済み）

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

本研究で策定したバイオマス調査の基本的な測定手法が、林野庁「炭素吸収源データ収集システム開発事業（H13～14）」および「森林吸収源計測・活用体制整備強化事業（H15～18）」で採用され、民有林・国有林でバイオマス調査が統一的手法で多数行われるようになり、京都議定書報告のためのパラメータ作成に貢献した。

本研究でデータが不足している樹種・林齢区分を明らかにしたことから、特に森林吸収源計測・活用体制整備強化事業ではこれら樹種・林齢区分に対して重点的に調査が行われ、各樹種とも精度が向上する見通しとなっている。