

| | | | |
|--------|--|------------------------|-----------------------------|
| 課題名 | 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 | | |
| 担当研究機関 | 独立行政法人森林総合研究所 | | |
| 研究期間 | 平成13 - 15年度 | 合計予算額 (当初予算額 へ入) | 149,660千円 (うち15年度 47,236千円) |
| 研究体制 | <p>(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、一部早稲田大学へ研究委託)</p> <p>(2) 森林土壌中の炭素変動量に関する研究 (独立行政法人森林総合研究所)</p> <p>(3) 長期にわたり計測された林分のバイオマス量の変動予測モデルに関する研究 (独立行政法人森林総合研究所)</p> <p>(4) 長期にわたり計測された林分での異なる施業によるバイオマス生長量の変動評価に関する研究 (独立行政法人森林総合研究所)</p> <p>(5) 人工林樹種の容積密度の計測に関する研究 (独立行政法人森林総合研究所)</p> <p>(6) リモートセンシングを用いた新規植林、再植林、森林減少の計測に関する研究 (独立行政法人森林総合研究所)</p> | | |
| 研究概要 | <p>1. 序 (研究背景等)</p> <p>2000年に、我が国の吸収源に関する数値がSBSTA事務局に提出されているが、積算されている3条3項、3条4項に相当する吸収量は、行政目的で収集された林業統計値から、簡易的に炭素貯留量を換算したもので京都議定書の5条、7条、8条の要件を満たすことができない暫定的な数値である。京都議定書5条の温室効果ガス吸収源による除去推定のための国家制度を確立するためには、3条3項の新規植林、再植林及び森林減少による森林の炭素貯留量の変動、3条4項で想定される森林経営活動による森林の炭素貯留量の変動を、8条のレビューに耐えられる透明かつ検証可能な方法で計測できる手法を開発する必要がある。そこで、森林総研が長期にわたって科学的に管理している全国210カ所の固定試験地に、追加的に1990年以降に新植された森林を試験地として設定すれば、3条3項、4項により獲得される吸収量を算定するのに必要な基本パラメータを信頼性の高いレベルで計測、提出できる。得られた基本パラメータを用いれば、第一約束期間中に個別林分が獲得する炭素量は、幹直径、樹高、一部の環境条件を測定するだけで、科学的に評価できる。また、これらの試験地を用いて人為的活動により獲得できる吸収量も定量的に評価できる。また、新規及び再植林される森林を抽出するためのリモートセンシング技術の開発に関する研究もあわせて行い、基本パラメータ、行政データと組み合わせながら3条3項、4項の吸収源の評価を透明性、検証性を保ちながら行う方法を開発する。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>京都議定書のマラケシュ合意が要求している吸収源としての森林の条件を満たすためには、森林の幹材部分の蓄積からバイオマス量への変換手法、そしてバイオマス量から炭素固定量への変換手法の確立、土壌中炭素の変動量の算定手法、気候を中心とした自然環境要因と人為要因による成長の切り分け、森林施業が成長に与える影響の解明、3条3項と3条4項のダブルカウントを避けるための、新規植林(A)、再植林(R)、森林減少(D)という3条3項対象森林の抽出手法の開発が必要である。当研究はこれらの問題を解決するため、6つのサブ課題を設定し固定試験地の設定、そこを対象とした森林バイオマス、森林土壌中の炭素変動量のモニタリング、それから得られたデータの分析方法、リモートセンシングによるARD対象地の抽出方法といった研究を行い、第一約束期間までに行われる予定の我が国の吸収源調査体系の確立に資することを目的としている。</p> <p>3. 研究の内容・成果</p> <p>(1) 森林のバイオマス生長量に関する研究</p> <p>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の調査データの蓄</p> | | |

積が必要である。

そこで、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(図 1)において、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。

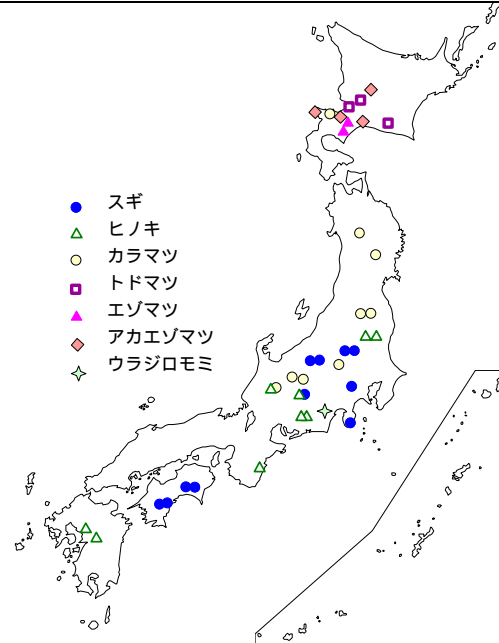


図 - 1 . 調査プロットの分布

(2) 森林土壌中の炭素変動量に関する研究

間伐が土壌中の有機炭素量に及ぼす影響を評価するため本州の代表的な人工林樹種であるスギ、ヒノキ、カラマツの 3 種について、収穫試験地からそれぞれ一ヶ所の間伐区と対照区(無間伐)を選定し、3 年間で合計 2 7 0 0 点の表層土壌サンプルを分析することにより土壌有機炭素集積量を推定した。

スギ林土壌の炭素集積量は、対照区と間伐区で大きな違いは無かった。表層からおよそ 30cm までの層位に土層 1 m に集積する有機炭素の 8 ~ 9 割が分布していた。ヒノキ林土壌では、対照区が比較的緩傾斜な末端斜面を含む立地であるのに対して、間伐予定区は急峻な凸部尾根と谷頭 ~ 上部谷壁斜面が含まれているため、土壌有機炭素集積量は 1 オーダー小さかった。表層から 30cm に 6 ~ 8 割の有機炭素が分布していた。カラマツ林土壌は、緩やかな傾斜の末端斜面に位置し、試験地の対照区と間伐予定区には黒色の A 層厚に違いがあった。30cm までに分布する炭素量の割合は他の試験地とは異なり、1 m 迄の 5 割程度であった。

表層の土壌有機炭素量に間伐がどの様に影響を与えるかについて、間伐前と間伐後 2 年間の年次間の差は、どの樹種でも明瞭には検出できなかった。サンプリング実施者の森林土壌の取り扱いに関する習熟度が大きな問題となる。

(3) 長期にわたり計測された林分のバイオマス量の変動予測モデルに関する研究

温暖化ガス吸収量の評価に際し、1990 年以降の直接的人為影響とそれ以外の切り分けの可能性が強く示されている (COP7)。そこで森林バイオマスの変化に及ぼす気象影響と間伐影響を切り分ける重回帰モデルによる手法を提案するとともに、成果のクロスチェックのため、茨城県のヒノキ林等のデータを用いてプロセスモデルを構築し、林冠葉の炭素収支を解析する。まず、重回帰モデルの作成には 3 つのスギ試験地 (茨城県、静岡県、山口県) で長期にわたり計測された幹成長データを用い、バイオマス変化を推定する重回帰モデルとして下記の重回帰式を作成した。

$$RGR\ stem = 1.84 - 0.0000194 * Stem - 0.0670 * MAT - 7.06 / MAT - 0.266 * Ry - 0.199 / Ry + 0.00248 * SI40 \\ \dots (R^2 = 0.640)$$

ただし、 $RGR\ Stem$: $\sum D^2 H$ の相対成長率 ($m^3 m^{-3} ha^{-1} y^{-1}$)、 $Stem$: 期首 $\sum D^2 H$ ($m^3 ha^{-1}$)、 MAT : 年平均気温 ()、 Ry : 収量比数、 $SI40$: 40 年生時上層樹高 (m)

図 2 は林分幹材積成長に及ぼす気温影響のファクタリングアウト手順を示す。同じ手順を間伐林分モデルに適用したところ、気温の年変化の影響は、 Ry を 0.9 から 0.75 に減らすという平凡な間伐が材積成長に及ぼす影響をマスクする可能性があることが分かった。また、プロセスモデルによる解析では、葉の生産量に対する間伐効果が間伐前の葉量 (LAI)、間伐率、気温によって異なることが分かった。この結果は上記の重回帰モデルの結果と矛盾しなかった。以上、森林バイオマスの変化に及ぼす気温や間伐影響を、重回帰モデルを用いてファクタリングアウトする手法を示した。また要因の効果についてプロセスモデルによる検証を行った。今後、データやパラメータを増やし、モデルの普遍

性を高めるとともに、拡大係数を導入するなどして炭素量を試算する必要がある。

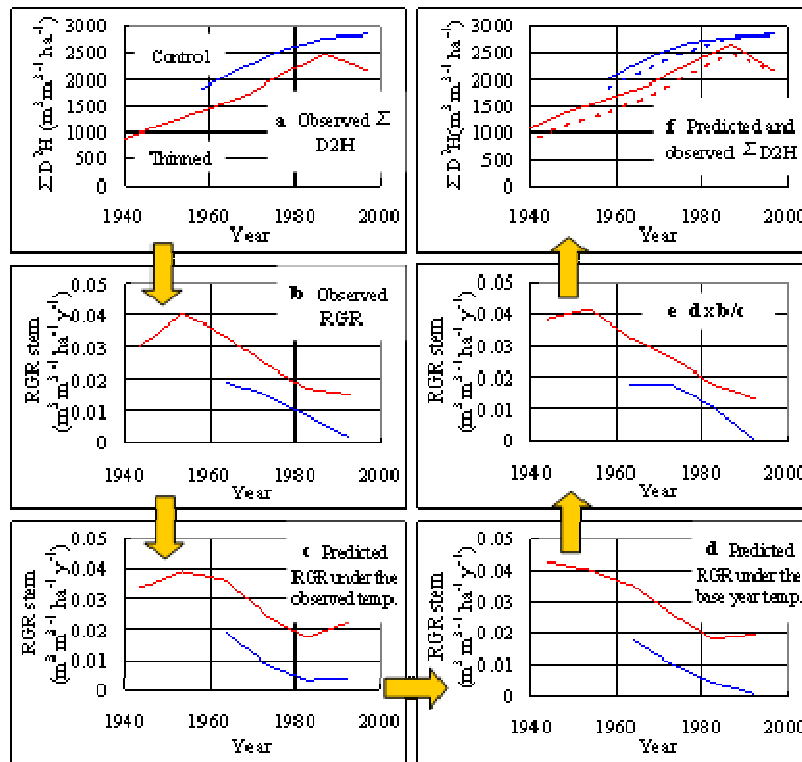


図 - 2 . 林分幹材積成長に及ぼす気温影響のファクタリングアウト手順

(4) 長期にわたり計測された林分での異なる施業によるバイオマス生長量の変動評価に関する研究
 間伐などの育林施業が炭素吸収に及ぼす影響を客観的な方法で計量し実証するため、スギ、ヒノキおよびカラマツの長期固定試験林22ヶ所のバイオマス生長について検討した。この際、単木の胸高直径と樹高から幹、枝および葉の部位別バイオマスを推定するアロメトリー式を作成し、その式を用いて林分全体の地上部バイオマス量を推定した。その結果、樹種にかかわらず間伐後のバイオマス年生長量は、間伐しない場合に比べて一時的に停滞するが、その後回復して間伐しない場合を上回るようになるケースが多いことが分かった。このことから間伐は、間伐後5年から10数年程度の期間に限ってみれば、バイオマス生長すなわち炭素吸収を促進する可能性が高いといえる。また植栽から現在までの累積生長量でみると、間伐量を生長とはみなさない立場においては、間伐するよりも間伐しないほうが生長量が多い場合が多いことが、幹材積ではなくバイオマスで評価した場合でも再確認された。

(5) 人工林樹種の容積密度の計測に関する研究
 本課題では、樹木地上部のバイオマス蓄積量及び木部の容積密度などのデータを取得することを目的として、主要造林樹種の収穫試験地から採取した個体の地上部バイオマスの計測、容積密度の測定及び樹幹内での密度変動について解析した。各樹種について調査区ごとに平均密度を比較すると、ヒノキでは調査区間でほとんど差がみられず地域差は検出されなかった。スギでは、下る川山試験地の強度間伐区を除けば平均値に差はみられなかった。カラマツはスギ及びヒノキに比べて調査区間での平均値の差が大きく、調査区間で有意差がある組み合わせが存在した。また、同一試験地に間伐区と無間伐区があるものについて比較してみると、無間伐区の方が間伐区よりも密度が高い傾向にあった。樹種ごとの全乾容積密度の平均値は、スギ 0.314 ± 0.008 、ヒノキ 0.401 ± 0.010 、カラマツ 0.409 ± 0.013 、ウラジロモミ 0.359 ± 0.017 、エゾマツ 0.338 ± 0.008 、トドマツ 0.323 ± 0.007 、アカエゾマツ 0.370 ± 0.010 であった。調査個体数が多いスギ、ヒノキ、カラマツの中では、調査区間の平均値間で有意差がみとめられたカラマツは誤差率が3.2%と、スギの2.7%やヒノキの2.4%に比べてやや大きな値を示した。気乾密度の樹幹内分布には樹幹下部で密度が低いパターンと密度が高いパターンの2つのパターンが認められた。前者にはスギ及びヒノキが該当し、後者にはカラマツ、エゾマツ、トドマツ、アカエゾマツが該当した。これらのパターンの違いは、若齢時に形成される部分(髄周辺部)の密度が外周部よりも前者では高く、後者では低いことに起因すると考えられる。

(6) リモートセンシングを用いた新規植林、再植林、森林減少の計測に関する研究

LANDSAT TM など中解像度人工衛星画像は広域での土地被覆変化のモニタリングに適するが、衛星画像のみでは ARD(新規植林、再植林、森林減少)という土地利用変化と伐採や造林等の林業活動との区分が困難である。そこで、入手容易な環境省植生図、森林基本図、時系列 LANDSAT TM、空中写真を組み合わせて、1) 1990-2000 年の ARD を抽出する手法と、2) 5 年ごとの森林計画編成時に ARD と伐採・造林などの林業活動をモニタリングする手法の開発を、サブテーマの目的とした。

開発したシステムのデータとして、土地利用図としては、1980 年頃の土地利用図として、環境省植生図を用い、土地利用での森林地図として、2001 年策定の森林基本図を用いた。3-4 年ごとの時系列衛星画像を用いて、1990 年以降の土地利用の変化や伐採・造林などの林業活動による変化を抽出し、変化時期を明らかにした。抽出された変化地は、5 年ごとに撮影された空中写真を判読して、ARD という土地利用の変化、伐採・造林の林業活動、あるいは衛星画像解析の誤差と判別した。

(1) 1990 年から 2000 年にかけての ARD 抽出法 環境省植生図と森林基本図を、単純に森林 - 非森林に 2 値化した場合分けを行い、衛星画像により抽出した変化地をあわせて、ARD 抽出する手法の概要を図 3 に示した。環境省植生図による 1980 年頃の森林 - 非森林を縦軸に、森林計画編成時の 2001 年の森林 - 非森林を横軸とする。2x2=4 通りに場合分けでき、1980 年から 2000 年まで、変化が無い場所と変化した場所が抽出できる。この上に、衛星画像により 2001 年と 1989 年とから変化地を抽出し、対象期間に起こった変化のみを抽出する。この考え方に従い、実際の作業には図 4 の画像を作成した。まず、植生図による森林 - 非森林と植生指数プラスの変化、マイナスの変化をクロスさせ 4 通りの場合分けして、色分けした。この上に、森林基本図の林小班界を重ね合わせた。4 通りの場合分けで、さらに現況での森林基本図の外側であれば、ARD を抽出できる。例として、図 4 の a 地点は、植生図で森林域であるが植生指数でマイナスの変化をしており、さらに森林基本図から除外されており、D(森林減少)の可能性があった。また、時系列衛星画像解析から 1997 年から 2001 年の間に変化していた。空中写真で判読した所、森林が整地されており、D であった。

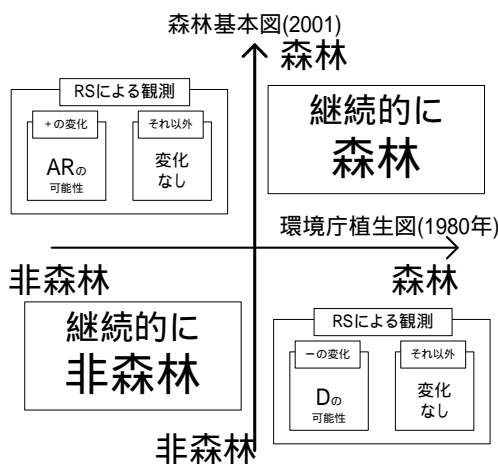


図 - 3

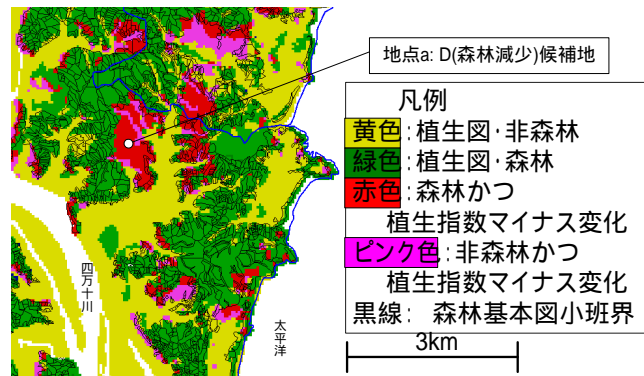


図 - 4

D に関しては変化地を抽出でき、建物用地などは 2000 年センサスの市町村別林地転用と対応した。しかし、道路など線状の変化地は衛星画像では抽出困難であり、空中写真判読の方が適切と考えた。植生図・森林での植生指数によるプラスの変化、すなわち伐採後の造林地は多く抽出できたが、対して AR は抽出できなかった。農地への植林など AR の現地調査の結果、個々の面積が 0.1ha 前後と非常に小さく、リモートセンシングでは抽出が困難とわかった。

(2) 森林計画編成時の林業活動と ARD の抽出法 従来の民有林に関する森林計画は、造林・伐採の届出や土地の転用届をもとに、森林簿と森林基本図を修正し、届出の遺漏に関しては空中写真を判読し、森林基本図に反映させてきた。これらは全て手作業であり、紙上では各資料の突き合わせ等も大きな作業量となった。今回開発したシステムは、今後の森林計画編成時に、林業活動と ARD の抽出に大きく役立つ。手順として、届出を反映した森林基本図から林齢別に表示し、一方で、衛星画像により抽出した変化地を表示する。それぞれを照合して、変化が起こった場所を空中写真かオルソフォトで確認していく。今後は GIS を中心に時系列衛星画像と各資料を有機的に連携していくことにより、林業活動と ARD の抽出精度を、これまで以上に向上させるとともに、人的作業量を軽減することが期待できる。

4. 考察

地上部のバイオマス拡大係数は、IPCCのグッドプラクティスガイダンスで林齢区分に関する考え方が示されたことから、IPCCの基準に準拠した資料の整理を行い、本研究等での測定を追加により、スギ、ヒノキ、カラマツでかなり精度良く推定できた。容積密度数は、試料の追加によりスギ、ヒノキ、トドマツ、エゾマツ、アカエゾマツで精度良く推定できた。また、それぞれ精度が悪い樹種、林齢区分は何であるかが明らかになった。本研究の成果により、京都議定書のCO₂吸収インベントリーに使うパラメータの基礎を固めることができ、今後のデータ収集戦略に役立つと考えられた。

表層の土壌有機炭素量に与える間伐の影響については、間伐後と間伐後2年間に統計的に有為な差は検出されなかった。この結果は、土壌炭素量は間伐によって減少するとはいえないということを示したものと考えられる。ただし、炭素量の変動係数は大変大きく、土壌炭素の変化量推定の困難さを示唆する結果ともなった。

人工林成長の間伐等による人為的影響と自然的要因の切り分け(部分的ファクタリングアウト)については、重回帰モデルによって、間伐に与える気温の影響を評価するモデルが作成された。本研究の結果では、気温によって成長を増加させる場合も、減少させる場合もありうることとなったので、ファクタリングアウトが評価できたわけではないが、今後ファクタリングアウトに関する研究が進展することが期待される。また、長期観測データによる分析で、間伐が林分のCO₂吸収に関してプラスの効果があることが示された。この結果は、間伐を促進する林業政策上有用な情報であるが、一方で間伐による材積を排出と見なす立場では、間伐の実施が不利となるということもわかったので、そのことに十分留意すべきであろう。

以上のように、本研究の実施によって、バイオマス拡大係数と容積密度という、森林のCO₂吸収の推計にとって大変重要なパラメータが、京都議定書のCO₂吸収報告に必要なレベルでおおむね求められたほか、土壌炭素への間伐影響、間伐のバイオマス成長への影響、人工林成長のファクタリングアウトに関するモデルの作成などで行政上有用な知見が得られたと考えられた。

