

研究レポート

No. 44

北方系森林における

二酸化炭素固定量の推定

佐野 真・石橋 聡・小木和彦・白石則彦（現東京大学）

1. はじめに

近年、二酸化炭素等の温室効果ガス濃度の増加による地球の温暖化が深刻な問題となってきた。森林は二酸化炭素を吸収する能力が高く、これは主に樹幹に蓄積されることになる。したがって、森林は空中の二酸化炭素濃度を低め、温暖化を抑えるという大きな機能を持っている。この機能を最大限に発揮するためには樹種や森林の適切な取り扱い方の検討が必要である。

ここでは、樹木の二酸化炭素蓄積の仕組みを考え、天然林や人工林の固定試験地の長期観測データを用いて、それが樹種によってどう変化するのかを調べた。そして、この結果を用いて北海道の主要な樹種の二酸化炭素固定能の違いを分析した。これによって、二酸化炭素の蓄積量を高めるための森林施業に関する重要な知見が得られた。また、札幌営林署奥定山溪団地の流域約11,000haをいくつかの森林タイプに分け、

GIS（地図情報と属性情報を同時に管理するデータベースシステム）を用いて炭素蓄積分布図を作成し、全流域の炭素蓄積量の推定を行った。

二酸化炭素の蓄積を高めるためには、樹種構成に対応した適切で健全な施業を行い、高い森林蓄積を維持することが大切であり、これらの結果が今後の森林の取り扱いに対して活用されれば幸いである。

2. 方法⁴⁾

森林の炭素固定能あるいは生産力を推定するために、これまでさまざまな方法が開発・利用されてきた。それらは大きく分けて次の4つの方法に分類される⁵⁾。

①積み上げ法（収穫法）

②相対成長法（アロメトリー法）

③群落光合成法

④気候学的方法

①～③は比較的均一で狭い地域における植生の

炭素固定能・生産力を推定するために用いられる。一方、④の方法は各気候帯内の標本地で①～③の方法で得たデータを気象観測データと組み合わせる統計的分析を行う方法で、広い範囲の炭素固定能・生産力の地理的変化や総量の評価に用いられる。

ここでは、①の積み上げ法（収穫法）に分類される直接的な方法を用い、北方系森林の炭素固定能を推定する。積み上げ法とは、植物に蓄積された累積成長量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り、生育期間中に生産・固定された総量を推定しようとする方法である。そのためにまず、樹種ごとの単位材積にどれくらいの炭素が含まれているかを推定しなければならない。

3. 幹材積から炭素重量への換算⁴⁾

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。その構成比は樹種やその部位により微妙に異なるが、炭素、水素、酸素の構成比は概ね 1.5 : 2 : 1 で、樹種によらずほぼ一定となっている。この構成比と原子量から木材中の炭素重量は、約50%であると考えられる²⁾。したがって、木材細胞中にある水分を除いた木材細胞そのものの密度が分かれば、炭素の密度はその半分と推定することができる。

立木材積から炭素密度を推定する際、木材は乾燥すると体積も縮小することから、樹種ごとに測定されている全乾密度を利用し炭素密度を推定すると過大評価となる。このため、乾燥前の体積に対する乾燥後の体積の重量の比（または密度）を考慮しなければならない。このような密度を容積密度数といい、全乾密度 r_0 とは（1）式のような関係になっている³⁾。

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

ここで R は容積密度数 (kg/m^3)、 r_0 は含水率が 0 % のときの全乾密度 (g/cm^3) である。

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）も一般的であるため、両者を関係付けておく。含水率を変えた場合の木材の密度は、さまざまな樹種で

共通の関係を示し、全乾密度 r_0 と含水率 μ を変数とし（2）式のような関係が知られている³⁾。

$$r_\mu = r_0 \frac{100 + \mu}{100 + 0.84 r_0 \mu} \text{ --- (2)}$$

ここで、 r_μ は含水率 μ (%) における木材の密度 (g/cm^3) で、 μ を 15 としたとき気乾密度との関係が得られる。

これらの関係式を用い、北方系森林の主な樹種の炭素密度を算出した結果を示した（表－1）。これより、針葉樹は広葉樹と比較して炭素密度が小さい傾向が認められる。また、トドマツ、ヤマナラシ、ドロノキなど成長が早いといわれている樹種は針葉樹・広葉樹を問わず炭素密度が小さいことが特徴的である。

表－1 主な樹種の全乾密度・容積密度数

樹 種	全乾密度 g/cm^3	容積密度 kg/m^3	炭素密度 kg/m^3
スギ	0.33	304	152
トドマツ	0.35	318	159
エゾマツ	0.38	340	170
カラマツ	0.44	389	195
イチイ、アカマツ	0.45	396	198
ヤマナラシ	0.36	325	163
ドロノキ	0.37	333	166
カツラ	0.41	368	184
キハダ、ホオノキ	0.43	383	191
シナノキ	0.44	389	195
ハリギリ	0.45	403	202
オニグルミ、ハンノキ	0.46	410	205
ヤチダモ	0.48	424	212
ブナ、ハルニレ、ミズキ	0.55	478	239
ダケカンバ	0.57	491	246
ウダイカンバ	0.59	504	252
ミズナラ	0.60	511	255
アサダ、エゾイタヤ	0.64	543	271
オノオレカンバ	0.76	629	315

（注）全乾および気乾比重とは、それぞれ乾燥された材の体積に対する重量の比であり、容積密度数とは乾燥前の材積に対する全乾重量の比である。

4. 森林タイプ別の炭素固定能⁴⁾

表－1の結果より、北方系森林の林分タイプごとの炭素固定能を比較した。使用したデータ及び計算結果は表－2に示した。ただし、ここでは幹材積のみを炭素に換算しており、枝や根、葉などは計算から除外した。

まず、天然林については旭川営林支局管内の天然林固定成長量試験地52ヶ所の継続調査デー

タを用いて、試験地ごとの全調査期間の最初と最後のデータから年・ha当たりの粗成長量に相当する量を炭素に換算して求めた。試験地の樹種構成はトドマツ、エゾマツ、ミズナラ、シナノキ、イタヤなどを主体とする針広混交林で、調査期間中に比較的まとまった風倒や枯損が生じている林分も多い。計算の結果、炭素固定能の平均は0.85トン/ha・年で、全体として0.35～1.50の範囲にあった。また、炭素固定能は期首のha当たり立木本数や蓄積と正の相関が認められた。

人工林では、収穫予想表を用いトドマツ、アカエゾマツ、カラマツのいくつかの事例につき炭素固定能を計算した。樹種が共通な場合、炭素の量は材積に比例するため地位指数や収量比数が高いほど炭素固定能も大きくなる。今回の例では、トドマツ人工林（地位指数21）とカラマツ人工林（地位指数20）で年・ha当たり約1.7トンとなり、収量比数や伐期が異なるにも関わらず類似した値が得られた。

二次林では、ウダイカンバ二次林、溪畔ヤナギ類二次林についてそれぞれ調整された密度管理図、実測データにより炭素固定能を計算した。ウダイカンバ二次林の計算例では、他樹種が30%ほど混交することを見込んでおり、さらに主林木のみであること、やや疎仕立てであること、

伐期が長いことなどのため炭素固定能はかなり低い値となった。

5. 炭素固定能からみた天然林の択伐効果⁴⁾

ここでは帯広営林局管内に設定された択伐区と無択伐区が併設されている天然林施業試験地を解析し、択伐施業による炭素固定の効果について検討する。

解析対象地は川湯および足寄試験地で、1950年に設定され、ほぼ5年間隔で40年間にわたり調査が継続されている。川湯試験地は定期的に択伐を行った択伐区のほか無択伐区の対照区が設定されており、トドマツを主体とする針葉樹とシナノキ、オヒョウニレ等の広葉樹が混交した林分である。足寄試験地は上層にエゾマツとアカエゾマツ、下層にトドマツが生育する針葉樹主体の混交林で、川湯試験地と同様に択伐が加えられている。なお、いずれの試験地も植え込みなど更新補助作業が加えられている。

これらの試験地の立木材積を表－1を用いて炭素量に変換し、その推移を図－1に示した。川湯無択伐区は高い炭素蓄積を保っているが、期間によっては減少する場合もあり、調査期間を通じて大きな変化は少ない。一方、択伐が実行された足寄および川湯択伐区では、各期間とも確実に炭素蓄積が増加している。

表－2 北海道における森林タイプ別炭素固定能

森林タイプ	データソース	固定能 (ton/ha年)	注 釈
道北地方針広混交林	旭川営林支局管内天然林施業試験地52箇所の継続調査データより算出	0.85	粗成長量に相当する量, 最低0.35～最大1.50
トドマツ人工林	猪瀬光雄ら:北海道支所レポート29 (1993)・「新しい密度管理図を用いたトドマツの収穫予想表」より	0.81 1.14 1.69	SI=17, Ry=0.6, 60年生, 主林木のみ 同上 主副林木合計 SI=21, Ry=0.8, 60年生, 主副林木合計
アカエゾマツ人工林	白石則彦ら:北方林業47 (1995).「アカエゾマツ人工林…」より	0.80	SI=14, Ry=0.7相当, 60年生, 主材木のみ
カラマツ人工林	猪瀬光雄ら:北方林業45 (1993)「密度管理図をもとにした…」より	1.69 2.25	SI=20, Ry=0.6, 40年生, 主副林木合計 SI=24, Ry=0.7, 40年生, 主副林木合計
本数管理されたウダイカンバ二次林	猪瀬光雄ら:平2年度北海道支所年報「ウダイカンバの成長と…」より	0.41	SI=22, Ry=0.7, 100年生, 主林木のみ
溪畔ヤナギ類二次林	猪瀬光雄ら:日林北支論43 (1995)「ヤナギ・カンバ類の最適…」より	1.59	文献のプロット5Aについて,ナガバヤナギの炭素密度を180kg/m ³ ,林齢を樹幹解析より32年と推定して算出

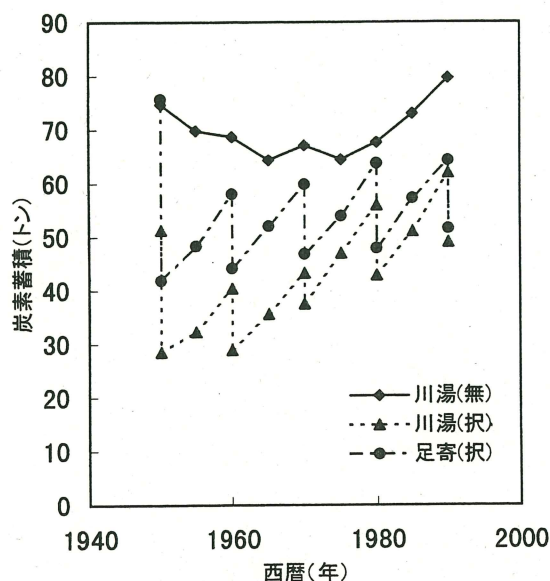


図-1. 天然林試験地の炭素蓄積の推移

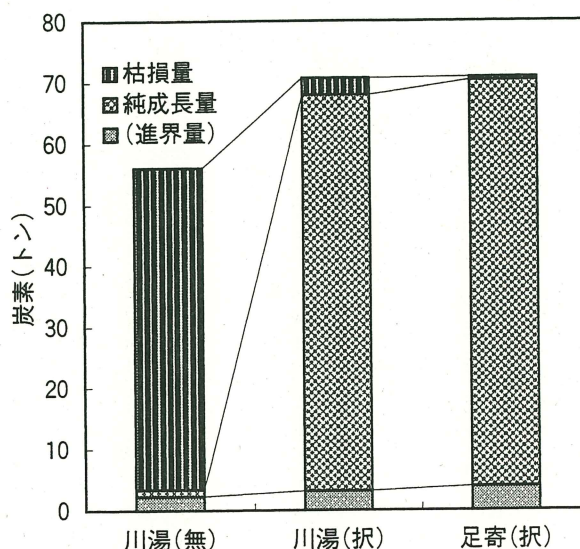


図-2. 炭素固定量(累計)の内訳

次に、調査期間を通した累計の炭素(粗)固定量を比較した(図-2)。無択伐区は択伐区に比べ炭素固定量が20%ほど小さく、かつ炭素固定量の大部分は枯損によって失われている。一方、択伐区では固定量は年・ha当たり約1.7トンに達し、その大部分が純成長量であった。これは用材として収穫された場合、長期間固定されることになる。

すなわち、天然林に対する適切な択伐施業は、世代交代を促して枯損を発生させないという質的側面と、成長の旺盛な個体に置き換わることにより炭素固定能が拡大するという量的側面の両面から、大きな効果があるといえる。

6. 炭素分布図の作成

ここでは、表-1より実際の流域において現在固定されている炭素がどのように分布しているかを推定し、流域全体ではどの程度の炭素が固定されているかを試算した。

対象とした流域は北海道営林局札幌営林署奥定山溪団地の高密路網地帯約1万1千haで、石狩川水系豊平川の上流部にあたる。林況は、主にトドマツ、エゾマツ、アカエゾマツの針葉樹とシナノキ、イタヤカエデ、ミズナラ、カンバ類等の広葉樹が混交しているが、標高が高くなるとトドマツ、エゾマツ、ダケカンバなどが優

占する。峰筋では、更新困難地や岩石地が広く分布している。

対象流域において、空中写真(1985年撮影)により林型区分を行った。この結果対象流域全体の出現林型数は133となった。現地調査をこれらの林型すべてについて実行するには多くの時間と労力が必要となるため、これらの林型を類型化した(図-3)。類型化の手順は、まず針広混交率により針葉樹の多い林分からN、NL、LN、Lへ区分し、さらに樹高と疎密度から1、2、3、4という数字を付加する(数字の小さい方が蓄積が大きい)。したがって、天然林では全部で16の類型があり、そのほかに人工林や高山帯といった区分もある¹⁾。作成された類型区分図をGISへ入力した。

さらに、対象流域の類型区分図をもとに、各類型2カ所の円形プロット(0.04ha)を設定し、類型ごとに針広別の蓄積を調査した。この結果より、類型別に針葉樹蓄積、広葉樹蓄積を算出し、これにそれぞれの平均的な炭素重量への換算率 162kg/m^3 、 198kg/m^3 を乗じha当たり炭素固定量を計算した。これをGISの属性データとして付加し、炭素分布図を作成した(図-4)。また、針広別のha当たり炭素蓄積と面積から、GISの集計機能を利用し流域当たりの炭素貯留量を計算した。その結果、対象流域全体

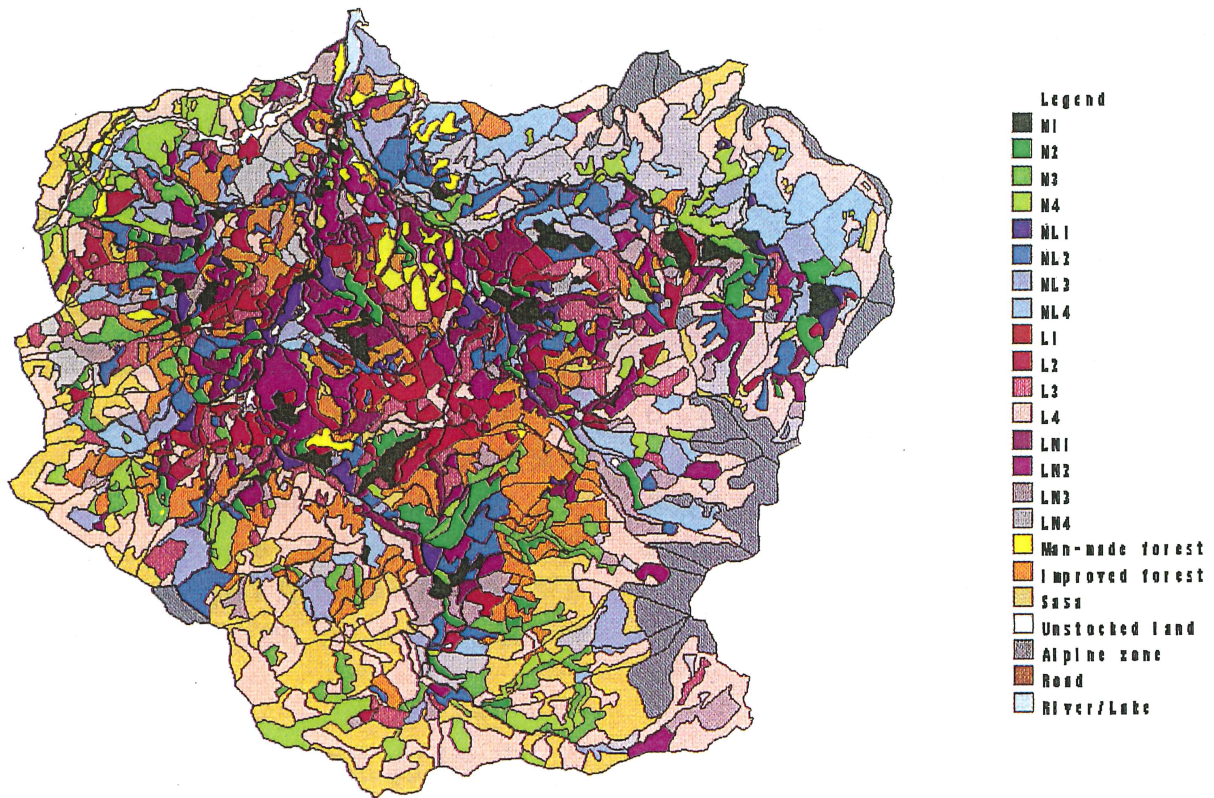


図-3 類型区分図

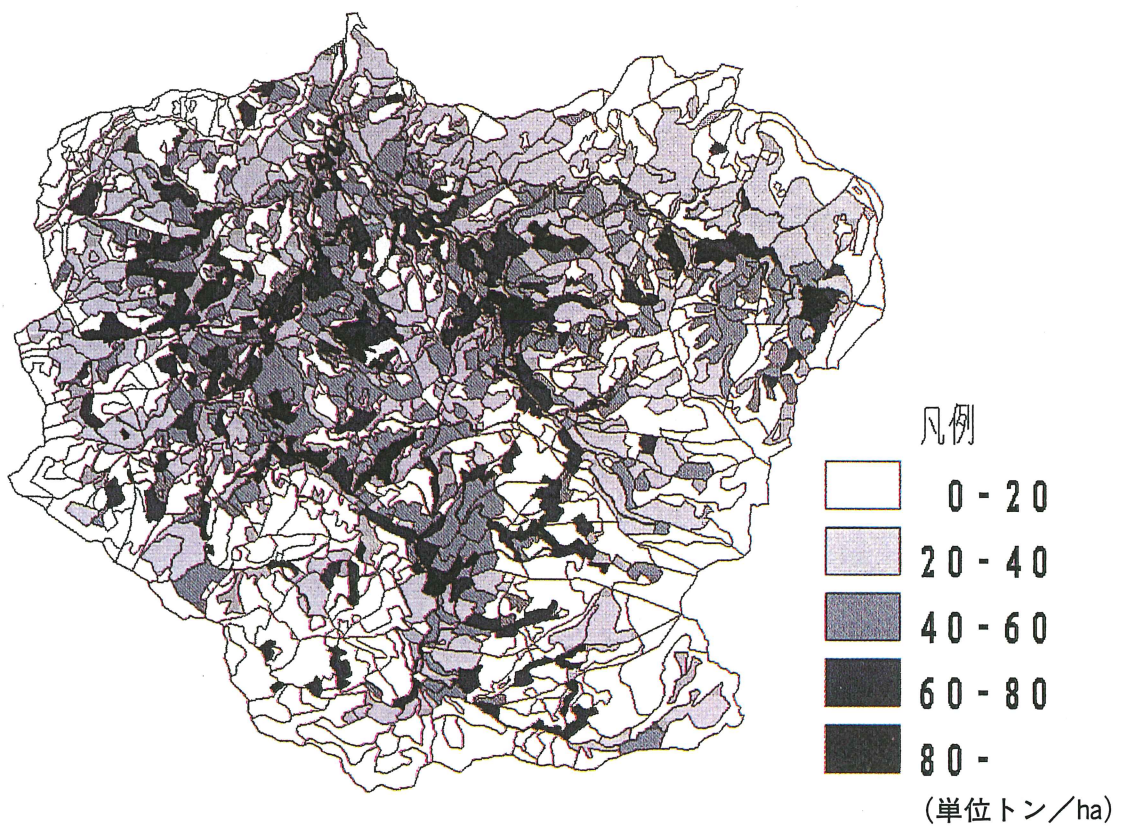


図-4 炭素分布図

で280,800トンの炭素が蓄積されており、ha当たりでは26トンであると推定された。

7. おわりに

二酸化炭素固定の問題は、ここで解析したような事例を積み重ね推定精度を上げるとともに、さらに広域な問題を取り扱って初めて地球環境への影響も明らかになるものと思われる。そのためには、今後はさらに巨視的な視点からの研究が望まれる。

なお、この研究は農林水産省の地球環境プロジェクト内の一つの大課題である「農林水産生態系における二酸化炭素固定能の解明と炭素蓄積容量の維持・拡大技術の開発」の中で行った成果の一部である。

引用文献

- 1) 小木和彦・猪瀬光雄・佐野 真：空中写真による天然林の類型区分図の作成と蓄積推定。日本林学会北海道支部論文集. 39. 119～121. 1991
- 2) 林業試験場編：木材工業ハンドブック. 142. 丸善. 1958
- 3) 林業試験場木材部・林産化学部：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. 1978
- 4) 白石則彦・石橋 聡・佐野 真：森林による炭素固定能の評価. 日本林学会北海道支部論文集. 45. 110～113. 1997
- 5) 内嶋善兵衛他：カーボン・シンク・プロジェクト推進調査事業平成4年度報告書. 国際緑化推進センター. 19. 1993

★羊ヶ丘森林教室から

「次はいつですか？」と教室が終わるたびに聞かれます。何より、嬉しい言葉です。

当初は20名程度の小さな教室でしたが、最近では、ネイチャーウォーキングなどを楽しむ方が多数参加され、大盛況になっています。

平成9年は4回開催させていただきました。内容は例年どおりでしたが、今回新たな試みとして、参加者に実践していただく「きのこを栽培しようーほだ木づくり」を行いました。自分でドリルで木に穴を開け、種駒を軽く小槌で打ち込み、封ローでふさぐ作業に一生懸命取り組んでおられました。その成果は、今年？来年？再来年？でしょうか。ご報告が楽しみです。

(研究情報専門官)



研究レポート No.44

平成9年11月28日

編集 森林総合研究所北海道支所
〒062 札幌市豊平区羊ヶ丘7
電話(011)851-4131