

平成13年度

独立行政法人 森林総合研究所

研究成果発表会

循環型社会を育てる森林と未利用木質資源の有効利用

講 演 要 旨 集

独立行政法人
森林総合研究所

平成13年度

独立行政法人 森林総合研究所

研究成果発表会

循環型社会を育てる森林と未利用木質資源の有効利用

日 時 平成13年10月17日(水) 13:00~16:30
場 所 三会堂ビル9階 石垣記念ホール
東京都港区赤坂1-9-13 Tel. 03-3582-7451
地下鉄銀座線 虎ノ門駅下車徒歩5分

発表課題

1. ブナ林の資源を空から測る

東北支所 森林資源管理研究グループ長 栗屋 善雄 2

2. 緑のダムを検証する

水土保持研究領域 水保全研究室長 藤枝 基久 7

3. 森林の持つ表土流亡防止機能を評価する

水土保持研究領域 治山研究室主任研究官 大倉 陽一 12

4. 新たな利用可能資源としてのヤナギ

北海道支所 チーム長 田内 裕之 18

5. 樹皮タンニンの多彩な機能と用途開発

樹木化学研究領域 樹木抽出成分研究室長 大原 誠資 23

ブナ林の資源を空から測る

東北支所 森林資源管理研究グループ長 栗屋 善雄

地球温暖化が深刻な問題になってくる中で、温室効果気体の一つである二酸化炭素の貯留量やフラックスを正確に把握することが求められています。樹木は光合成によって二酸化炭素を材木として固定し、森林は陸上生態系の中では最も二酸化炭素の貯留量の多い生態系です。ランドサット衛星が打ち上げられて以来、衛星データを用いて広域でバイオマス（材木と葉の量）が推定されてきましたが、残念ながら推定精度があまり高くない例が多いようです。一方、技術革新によって開発された多波長、高地上分解能の光学センサや、レーザ測距儀を応用したレーザスキャナは、従来の衛星搭載の光学センサより詳細な情報を記録できるため、森林バイオマスの推定精度を向上できると考えられます。本講演では航空機搭載の高地上分解能センサ（航空機センサ）とレーザスキャナのデータを用いて、ブナ林を対象に幹・枝の量（蓄積）と樹冠の3次元構造を解析した例を紹介します。

1. 蓄積推定の原理

光学センサは、地表面で反射される太陽光の強さを波長（虹の色）ごとに記録します。緑葉は葉中の色素によって可視光を吸収しますが、葉は光を吸収するだけでなく、反射し透過します。このため、葉層が厚くなるにつれて反射、吸収、透過の量が変化します。また、大きい木は小さい木より濃い影を作ります。これらの結果、小さな林より大きな林のほうが暗く写ります。葉量や個々の木のサイズによって、反射光の強さが変わってくるので、これを利用して蓄積を推定することができます。この場合、木のサイズは反射光から間接的に推定されるので、高い精度での推定は難しくなります。一方、航空機センサでは小さな物体を識別できるだけでなく、従来は256段階で表していた反射光の濃淡を4096段階で表すため、樹冠が作る肌理の情報を活用できるようになり、精度の高い蓄積推定が可能になると期待されます。

レーザスキャナはレーザ光線を地表に向けて発射し、地表からの反射光をとらえて航空機と地表の距離を測定します。この結果から地表面標高を推定し、地面と樹冠の部分に分離して、樹冠面の高さを推定します。孤立木を利用して樹高測定精度を検証したところ、

非常に高い精度で推定できることが分かりました（図1）。光学センサと異なり、レーザスキャナは樹冠高を直接測定しているといってもよいでしょう。樹高と蓄積には密接な関係があるので、比較的高い精度で蓄積を推定できます。

2. 対象地とデータ

青森県八甲田連峰にはブナ林が大面積に広がり、道路沿いには林齢の異なる二次林がパッチ状に連なります。通常、多雪地域のブナは純林を形成し、二次林の場合は上層木の樹冠がよく揃います。研究対象には八甲田山ロープウェイ付近の標高約800mで傾斜が緩く、蓄積の差が大きい林分を選びました。1998年8月、1999年8月、2000年8月に調査を実施して、約90地点で全ての木の高さ（樹高）と1.2mでの幹の直径（胸高直径）を測りました。胸高直径と樹高から毎木の幹と枝の量を推定して各地点での蓄積を計算しました。リモートセンシングのデータとして、1998年9月に航空機データを（図2：p.6）、1999年9月にレーザデータを収集しました。航空機データのメッシュサイズは約3mで、大径ブナの樹冠が識別でき、樹冠の肌理が分かります。レーザデータから作成した樹冠表面の3次元図では、個々の樹冠の形と樹冠の間に点在する地上までの空間（ギャップ）をはっきりと識別できました（図3）。

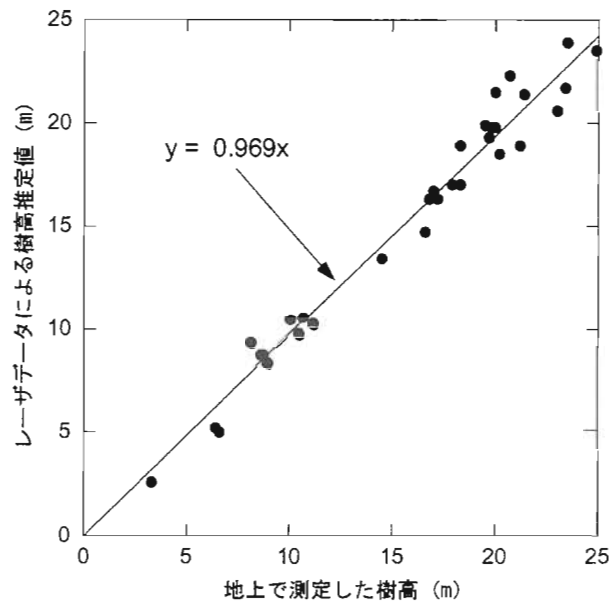


図1. 単木の樹高推定結果

孤立木について地上計測値とレーザデータによる推定値を比較したところ、高い精度で測定できたことが分かった。両者の相関係数は0.99だった。

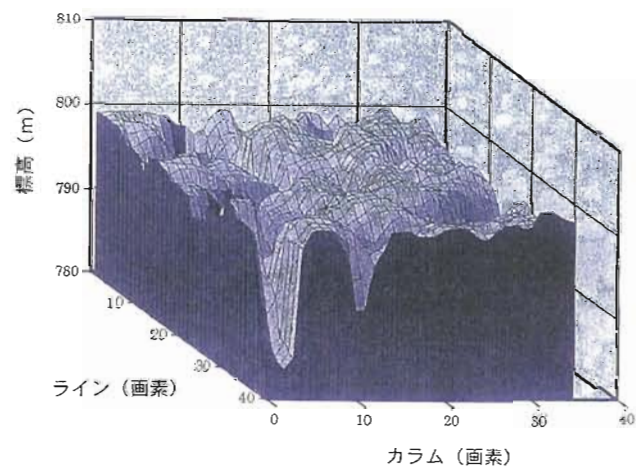


図3. ブナ林の3次元プロファイル

レーザデータで推定された標高をもとに、ブナ林の樹冠の3次元プロファイルを描いた。樹冠の凹凸や地表に到達するギャップの様子が分かる。このブナ林の樹高は20m前後である。画素の間隔を1.5mとして編集した。

3. 蓄積の推定

リモートセンシングデータと地上データの関係を統計的方法で解析して蓄積を推定し、精度を検証しました。航空機データを用いて蓄積推定に有効な波長を検証したところ可視域の赤が最も有効で、明るさと蓄積の相関係数は約0.8でした。一般に衛星センサに比べて航空機センサの場合、相関係数は0.1ほど向上します。バイオマス推定に有効とされる近赤外は蓄積との関係が不明瞭でした(図4, 5)。原因を解析したところ、樹冠の影の濃淡が影響していることが分かりました。樹冠形の揃っている常緑針葉樹の場合、木のサイズに比例して影が大きく、濃くなりますが、樹冠が不定形なブナの場合は影の濃淡が入り交じるので蓄積と影の濃さが比例しません。このため影が明瞭に現れる近赤外では濃淡の差が蓄積推定の障害になります。

一方、樹冠面の高さを表すレーザデータの場合、蓄積との相関係数は0.91と航空機データよりかなり大きくなります。また、航空機データの場合、地形の影が蓄積推定の障害になりますが、レーザデータでは問題になりません。レーザデータと航空機データを単独あるいは組み合わせて、蓄積を推定して精度を検証しました(図6 :p.6, 図7)。その結果、併用した場合は光学データへの地形の影響が表れにくく、高蓄積の林で

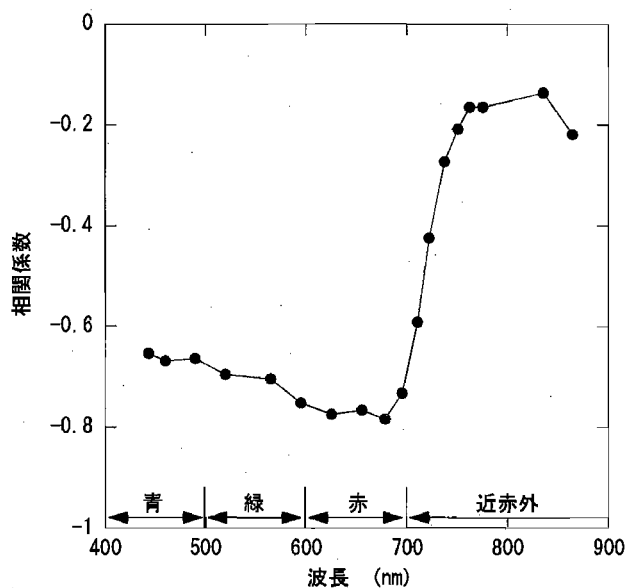


図4. 波長ごとの明るさと蓄積の相関係数
光学センサのデータと蓄積の間には負の相関がある。赤の波長で相関が高いのに対して近赤外では相関が低いことが分かる。

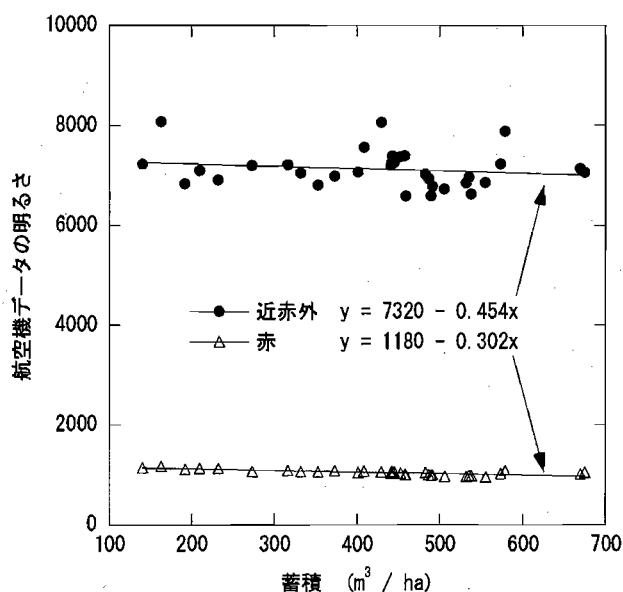


図5. 航空機データの明るさと蓄積の関係
近赤外の方が蓄積に対する航空機データのばらつきが大きいことが分かる。相関係数は赤の場合0.78, 近赤外の場合0.17である。航空機データは数字が大きいほど明るい。

推定精度を改善できることが分かりました。

ところで、レーザデータは樹冠表面の立体的な構造を正確に表しています。この情報を基にすれば、林の3次元構造を推定できるでしょう。そこで、ブナを伐採して、高さ別に幹、枝、葉の分布割合を解析し、その結果を利用してレーザデータから幹、枝、葉の3次元分布を推定しました(図8)。地上調査に基づく垂直分布の推定結果とレーザデータによる推定結果は、幹と枝で極めてよく一致しました。葉の場合は、樹冠が単層の森林で精度が高く、下層木が繁茂する複層の森林では、下層の葉量を正しく推定できませんでしたが、鉛直構造を推定できる見通しが立ちました。リモートセンシングによる林の鉛直構造の推定は国内初の試みで、成長予測に役立つと期待されます。

以上のように、高性能化したセンサによって、従来の衛星センサよりも蓄積推定精度が向上し、森林の垂直構造を推定できることが明らかになりました。このようなデータが普及すれば、広域で蓄積を推定して温暖化問題や森林管理に貢献できると期待されます。本研究は、科学技術庁促進費による研究課題「高精度森林バイオマス解析モデルに関する研究」により実施しました。

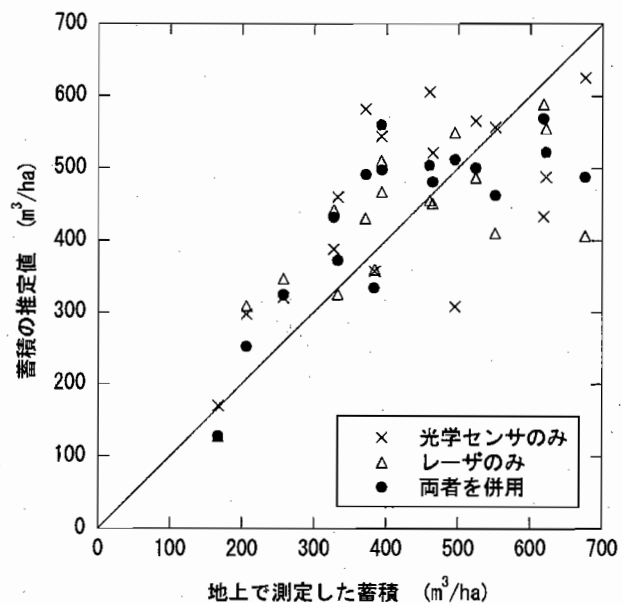


図7. 蓄積推定結果の検証

レーザスキャナと光学センサを併用した場合、高蓄積での推定結果が改善した。相関係数は光学センサのみの場合0.64, レーザのみの場合0.73, 併用した場合0.78だった。

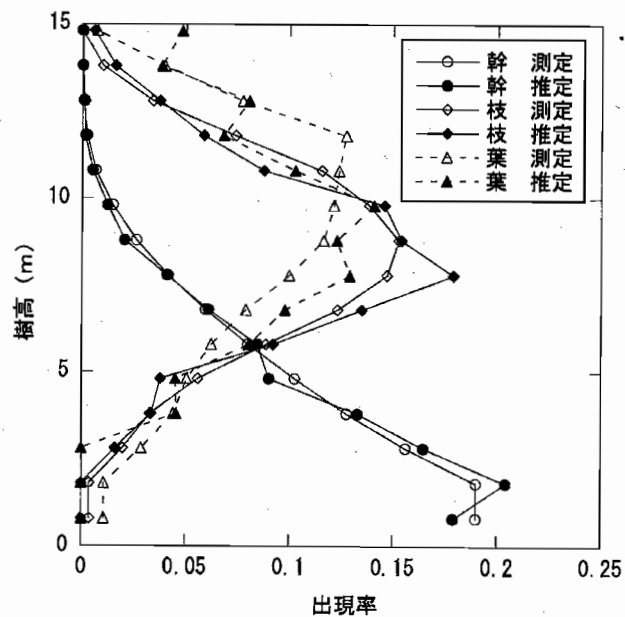


図8. ブナ林の鉛直構造の推定例

若くて多層なブナ林の例。横軸は総量を1としたときの各項目の出現率を表す。凡例中の測定は地上調査データに基づいて推定した値、推定はレーザデータによる推定値。幹や枝が精度よく推定できるのに対して、葉の推定精度が低くなる。

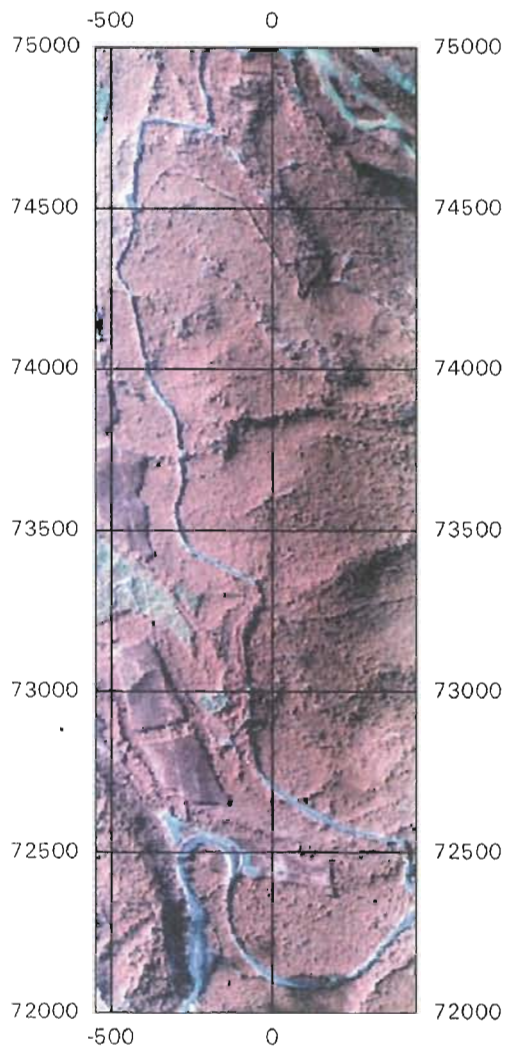


図2. 解析対象地の航空機データ
八甲田山の周回道路沿いに広がるブナ林（淡いエ
ンジ色）で、道路から離れた所にはスギやカラマ
ツの植林地（濃いエンジ色）が広がる。土は青緑
色で表示。

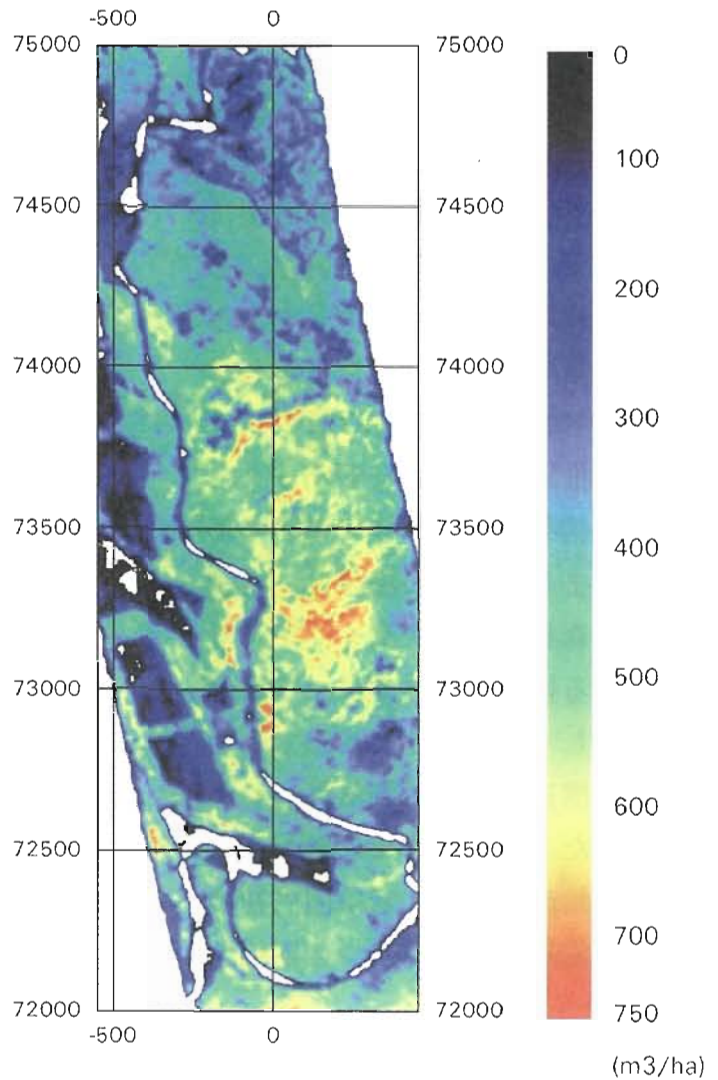


図6. ブナ林の蓄積の推定結果
航空機センサとレーザスキャナのデータを組み合
わせて推定した結果。やや影の影響が出ているが、
蓄積の分布状況がよく分かる。

緑のダムを検証する

水土保持研究領域 水保全研究室長 藤枝 基久

1. 緑のダムとは

緑のダムとは、健全な森林生態系の存在により豪雨時における河川の増水量（直接流出量）を軽減させるとともに、無降雨時の低水流量（基底流量）を安定的に供給する機能と考えられている。しかし、緑のダムの貯水容量やその流量調節機能については、未だ不明な点が多くある。本課題では、既存の森林流域試験や林野土壤調査の結果を活用し、水文学的手法と土壌学的手法の両面から緑のダムの貯水容量の推定を試みた。

図1は、ある一降雨により発生した増水を模式的に示したものである（洪水ハイドログラフという）。この図で、総降雨量（ P : mm）、直接流出量（ Q_D : mm）及び損失雨量（ L : mm）の関係は、(1) 式で表される。また、損失雨量は遮断貯留量（ I_s : mm）、窪地貯留量（ D_s : mm）、土壤水分貯留量（ S_s : mm）の3成分から成り、これらは一時的に森林流域に貯留される雨水である。

$$L = P - Q_D \quad (1)$$

$$L = I_s + D_s + S_s \quad (2)$$

山地流域では窪地貯留量は極めてわずかであるため、森林流域の損失雨量は森林植生による遮断貯留量と土壌層による土壤水分貯留量の和となる。ここで、遮断貯留量とは、雨水が樹冠層や下層植生に雨滴として貯留された後、大気中に蒸発する損失成分である。土壤水分貯留量は雨水が土壌に浸透して土壌孔隙に貯留された後、樹木の根から吸収されて蒸散する損失成分と地中水として山腹斜面を

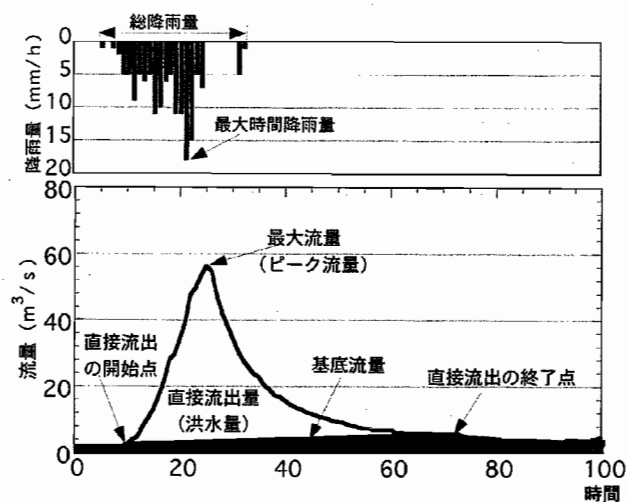


図1. 洪水ハイドログラフ

移動し基底流量をかん養する流出成分とに分けられる。従って、損失雨量（主要成分は土

壤水分貯留量)の多い流域は、①直接流出量を減少させ洪水軽減に貢献すること、②地下水のかん養成分が多いため基底流量の安定供給に貢献すること、が考えられる。すなわち、緑のダムは森林流域の貯留効果ということができる。

2. 水文学的な推定方法

図2は、森林総合研究所宝川試験地の初沢1号沢(6.5 ha)と2号沢(4.4 ha)を対象に代表的な増水を抽出し、総降雨量と損失雨量の関係を示したものである。両者の関係は例えば(3)式で示され、保留量曲線と呼ばれている。ここで、 S (mm)は森林流域の最大保留量(貯留量と同義)、 K は流域の定数である。

$$L = S \cdot [1 - \exp(-K P)] \quad (3)$$

損失雨量は総降雨量の増加に伴い増大し、限りなく最大保留量に近づくが、この値が緑のダムの貯水容量限界と考えられる。流域内の湿潤状態により点がばらつくため、(3)式は平均的な流域の最大保留量を示す。地形及び地質条件が類似する1号沢と2号沢の最大保留量の差は、主に土壌層の厚さの相違に起因するものと推察される。図3は、前述の方法により推定した最大保留量を、堆積岩流域と花崗岩流域に分類して示したものである。おおむね、堆積岩流域は100~200 mm、花崗岩流域は200~500 mmの範囲に分布している。しかし、図3の放牧草地流域(1)や採石場を含む流域(2)で

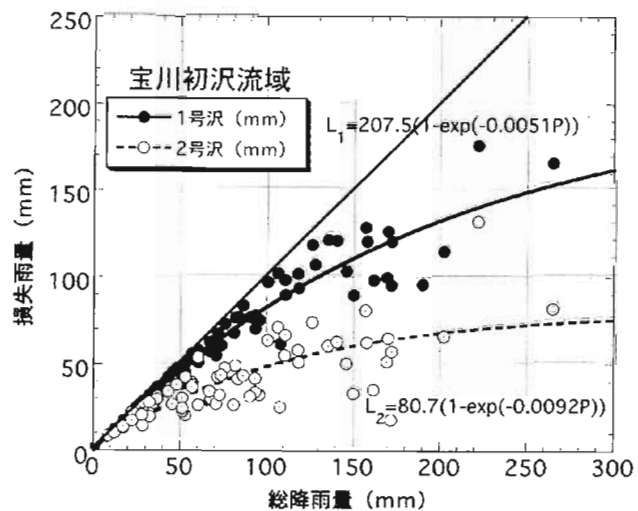


図2. 総降雨量と損失雨量の関係

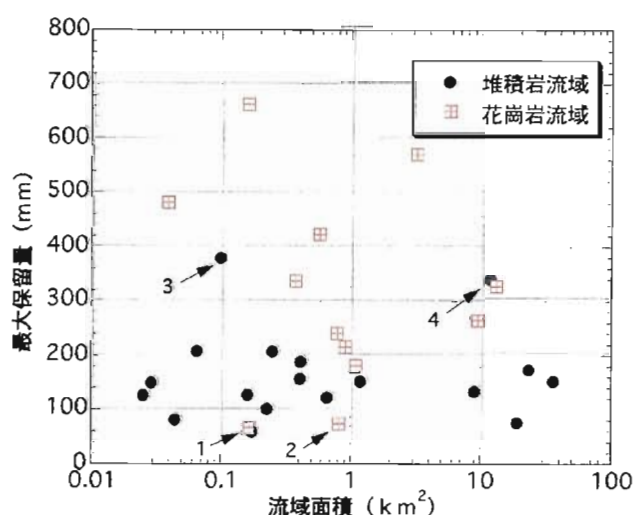


図3. 森林流域の流域保留量

- 1: 荒廃地を含む放牧草地流域, 2: 採石現場を含む流域
3: 基盤岩層が亀裂に富む流域, 4: 火山灰層を含む流域

は、花崗岩流域であっても最大保留量は100 mm以下であり、森林流域の保留量は土壌層の攪乱や喪失と密接な関係がある。

水文学的手法は I_s , D_s , S_s の他に基盤岩層に貯留される水分も評価するため、深層風化を受けた花崗岩流域や堆積岩流域でも基盤岩層に亀裂の多い流域 (3) や火山灰で覆われた流域 (4) では、最大保留量が大きい値を示す傾向がある。

3. 土壌学的な推定方法

土壌学的手法は、堆積有機物 (A0層) を含む土壌層に貯留され得る雨水、すなわち、保水容量 (S_s : mm) により評価される。保水容量は次式により求まる。ここで、 Θ_i は土壌孔隙 (容積%), H_i は土壌層位の厚さ (mm) である。

$$\Theta_i = \Theta_{(0.6)} - \Theta_{(2.7)} \quad (4)$$

$$S_s = \sum (H_i \cdot \Theta_i) \quad (5)$$

図4は、図2と同一流域における保水容量の分布図を示したものである (有光ら, 1995)。また、表1は有光らの方法により推定された流域規模の保水容量を整理したものである (藤枝・吉永, 1994)。なお、 Θ_i を中孔隙量 (pF0.6~1.8) と小孔隙量 (pF1.8~2.7) とに区分して保水容量を示した。

保水容量は花崗岩流域である筑波流域の533 mmを除くと、おおむね200~350 mmの範囲に分布している。これらの数値からも明らかなように、森林流域では通常の総降雨量をほぼ貯留できる容量の孔隙量が存在するものと考えられる。

さて、『森林の公益的機能計量化調査報告書』 (林野庁, 1974) によれば、土壌深を100 cmと仮定し、全国各地の単位面積当たりの土壌貯水量 (保水容量と同義) を130~250 mmと推定してある。資料数が少ないが、表1の保水容量は土壌貯水量の約1.5倍であり、この結果は流域の保水容量の推定に際し、土壌層の厚さをどのように見積もるかが重要な課題であることを示唆するものである。

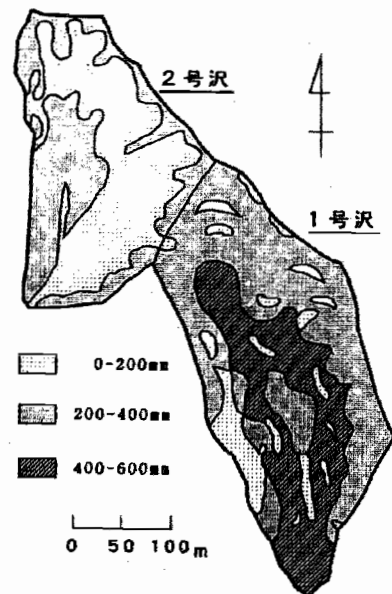


図4. 1号沢及び2号沢の保水容量分布図 (有光ら, 1995)

表1. 森林流域の保水容量

試験流域名	中孔隙量 (mm)	小孔隙量 (mm)	保水容量 (mm)	森林植生	土壌型
定山溪（北海道）	303	21	324	混交天然林	ポドソル・褐色土
常陸太田（茨城）	128	148	276	スギ・ヒノキ林	褐色土
筑波（茨城）	342	191	533	スギ・ヒノキ林	褐色土
宝川1号沢（群馬）	193	147	340	落葉広葉樹	ポドソル・褐色土
宝川2号沢（群馬）	106	80	186	落葉広葉樹	ポドソル・褐色土
山城北谷（京都）	148	140	288	落葉広葉樹	褐色土
南明治山（沖縄）	124	50	174	常緑広葉樹	黄色土

4. まとめと今後の課題

水文学的手法（ S を指標）と土壌学的手法（ S_s を指標）により、緑のダムの貯水容量の推定方法を述べたが、堆積岩流域（基盤岩層に亀裂の多い流域を除く）では両者の間に次式が成立する。ただし、 $0 < \alpha \leq 1$

$$S = \alpha \cdot S_s \quad (6)$$

この式は、森林土壌層を一つの大きな仮想貯留槽（タンク）と仮定した時、土壌学的手法は空の貯留槽の全容量を評価し、水文学的手法は土壌水分の残っている貯留槽への追加容量を評価することを意味する。すなわち、 $\alpha = 1$ は流域内の全粗孔隙量が空気で満たされる強度の乾燥状態を示す。ところが、わが国のような湿潤温帯地域では乾燥状態になっても、①粗孔隙が空の状態になることは希であること、②溪畔部や斜面下部では湿潤状態に維持されている場合が多いこと、などの理由により、 $\alpha < 1$ と考えられる。従って、 α の範囲が定まれば、(6)式は任意の流域において土壌学的手法により緑のダムの貯水容量を推定する方法として利用できる。

森林・林業関係では、全国規模で適地適木調査のための林野土壌調査が行われ、膨大な調査資料がある。また、山地流域では復旧治山工事や理水工法の効果判定のため各地で量水試験が実施されている。これらの貴重な資料を収集し、本報告で述べた統一的手法により検討することにより、流域規模における『緑のダムの貯水容量』がより簡易に推定できるものと考えられる。

参考文献

- 有光一登・荒木 誠・宮川 潔・小林繁男・加藤正樹（1995）宝川森林理水試験地における土壌孔隙量をもとにした保水容量の推定 —初沢小試験流域1号沢および2号沢の比較—, 森林立地37(2), 49～58
- 藤枝基久・吉永秀一郎（1994）森林の水源かん養機能と地下水, 地下水問題この10年とその将来展望, 27～34, 日本地下水学会
- 林野庁（1974）森林の公益的機能計量化調査報告書（Ⅲ）, 47～66

森林の持つ表土流亡防止機能を評価する

水土保持研究領域 治山研究室主任研究官 大倉 陽一

1. はじめに

森林は、最上層を構成する樹木の樹冠部と、その被陰に耐えて生育している稚樹・雑草木、さらに地表面上を覆っている落葉や落枝などの成層構造を持つ。さらに、地表面下では、植物の根系や小動物の活動によって孔隙に富んだ土壤構造が発達している。実は、この森林の構造が表土を保全するのに重要な役割を担っている。特に、下層植生や落葉落枝の存在は大変重要である。

樹木の枝葉や下層植生、落葉落枝による地表面被履がなくなると、降雨の雨滴が地表面上を直接打撃するようになる。そうすると、孔隙に富んだ土壤表層の構造が破壊され、目詰まりが生じ雨水の地下浸透が阻害される。地下に浸透できない雨水は地表流となって、雨滴の打撃により巻き上げられた土粒子を取り込んで流れ去る（表面侵食の発生）。すなわち、下層植生や落葉落枝は、雨滴の地表面打撃を防いで地表流の発生を防ぐとともに、地表流の流速を弱めて土砂の運搬力を減衰させて表土の流下を防止する機能を有する。

ところが、熱帯地域で観られる焼き畑や、森林伐採に伴う作業道の作設や集運材作業が無計画に行われると、下層植生や落葉落枝による地表の被履が破壊されると同時に、地表面が攪乱され表土の孔隙が破壊されることで、表面侵食が発生する。また、半乾燥地域で観られるような耕地造成に伴う広域の森林破壊も、植林などのアフターケアを伴わない点で表面侵食発生の危険性が高い。特に侵食の発生が広域にわたると、地表流の集中による流水の侵食力が増加して、表土のみならず地盤の流失をもたらし、水資源、気候、食料生産に大きな打撃を与える（写真1）。



写真1. 中国黄土高原での、表面侵食が極端に進行している状況

そこで、山地における表面侵食の危険度を、地形や植生などの条件毎に予測して防止対策を立てることが、森林の持続的な利用を可能にするとともに、今後の循環型社会を創造する上で重要なポイントになると考えられる。本研究では山地森林における表面侵食量の予測モデルを開発するとともに、それを流域からの土砂の流出量予測に応用した事例を紹介する。

2. 表面侵食危険度の予測

従来、農地での表土の流出量を予測する手法として、USLE (Universal Soil Loss Equation: 汎用土壌流亡式) が世界的に用いられてきた。これは米国農務省により、数多くの侵食プロット試験から開発された経験式であり、1ヘクタール当たりの年間侵食土砂量を、以下の各係数の積算により予測するものである。すなわち、 R : 降雨の侵食性、 K : 土壌の受食性、 L : 斜面長の侵食営力、 S : 傾斜の侵食営力、 C : 植物の侵食防止効果、 P : 侵食防止策の効果。 C と P については0～1の値を取り、数値が小さいほど侵食量が小さくなる。図1に各係数の算定手順を示す。

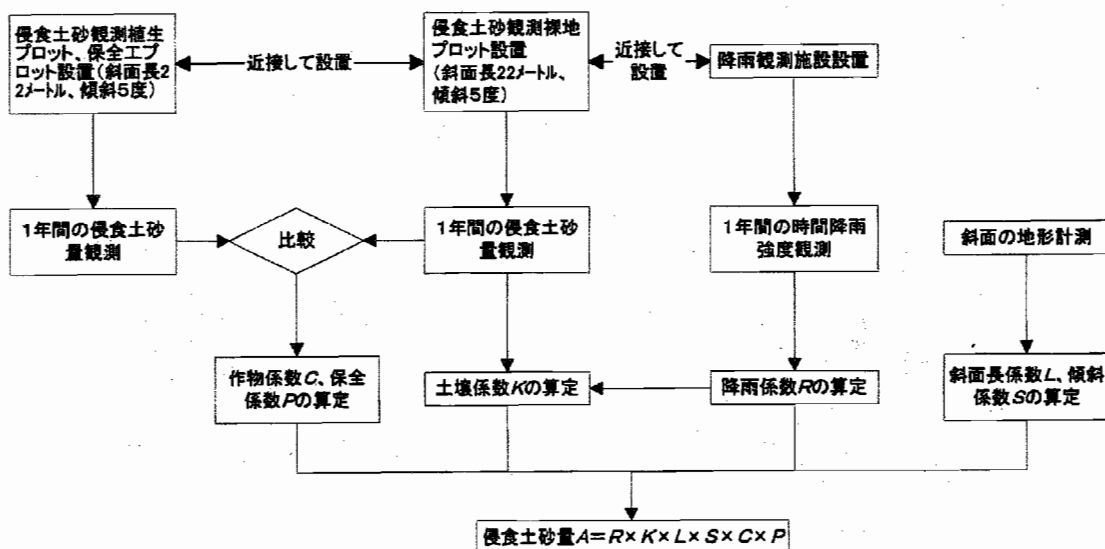


図1. USLEの各係数算定方法

山地森林への適用には解決すべき課題がいくつかある。例えば、農地に比較して山地では斜面長・斜面傾斜が大きく、その適用性が不明である。また、様々な森林植生や侵食防止工の影響が C と P にどう反映するのか未定である。さらに、森林荒廃跡地の植生回復に伴

表1. 作物係数Cと保全係数Pの例

作物係数 C				保全係数 P	
(天然林)		(人工林)		階段工	0.76
エゾマツ・トドマツ	0.023	カラマツ壮齢	0.021	簡易編柵工	0.42
トドマツ-林床ササ	0.0086	カラマツ壮齢-林床ササ	0.0061	草本吹きつけ工	0.0045
アカマツ40年生	0.0045	スギ 幼齢	0.012	木本吹きつけ工	0.046
アカマツ30年生	0.0084	スギ 壮齢	0.0049	丸太柵工	0.29
ブナ	0.0069	ヒノキ壮齢-林床なし	0.036	植栽工(積苗工)	0.23
針広混交林	0.0073	ヒノキ壮齢-林床ササ	0.005	そだ伏工	0.16
灌木林	0.008	モミ若齢	0.011	むしろ伏工	0.017
雑草地	0.298	ヤマハシノキ	0.008	枝条被覆工	0.76

うCの経年変化も考慮しなければならない。そこで本研究では、群馬県水上町の大利根国有林ブナ林内にプロット試験地を設置して、侵食土砂の観測と降雨データの収集を行うとともに、既往文献資料を用いてこれらの点について検討を行った。

プロット試験結果並びに文献調査により、斜面傾斜30度、斜面長50メートル程度まではUSLEにより適切に侵食量が予測できることが明らかとなった。また、代表的な林相に対するC値並びに侵食防止工のP値を算定したので、表1にそれを示す。Cについては、人工幼齢林で値が大きくなる、あるいは林床植生の繁茂により1オーダー程度小さくなる傾向が観られたが、その他の場合には天然林と人工林の間で顕著な差異はなかった。さらに、プロット試験地の経年観測データより、裸地周囲からの植生回復に伴うCの経年変化予測モデルを作成した。

以上より、USLEの山地森林への適用は十分可能と判断されたので、水上のプロット試験地周辺における侵食危険度の予測を試みた。図2 (a) は裸地面上での予測結果を示している。図2 (b) は、Cの経年変化予測モデルをUSLEに組み込んで、(a) から4年経過した後

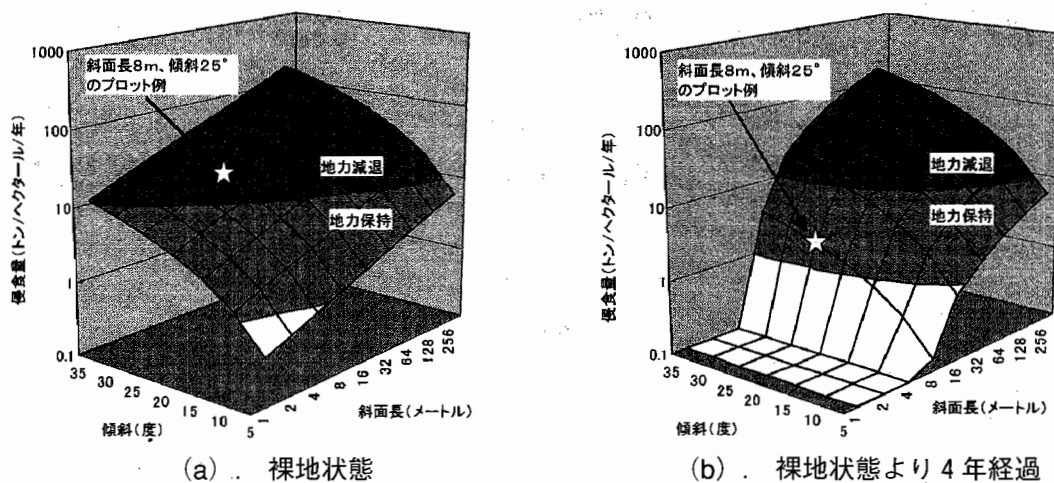


図2. 斜面長と傾斜に応じたUSLEによる侵食危険度の予測

(a) は裸地の状態, (b) は裸地状態から4年経過して、植生の回復が進んでいる状態。

の侵食量を予測した結果を示している。例えば、(a) の中で、斜面長 8 m、傾斜25度の侵食量は地力減退のレベルであるが、4年経過して周囲からの植生回復が進むと、(b) では地力保持の領域に推移している様子が分かる。

3. 樹林帯の浮遊土砂阻止量の予測

森林は、表面侵食の発生を抑えるとともに、表面侵食により発生した浮遊土砂が流下するのを阻止する機能（緩衝機能）も有する。これは地表を流下してきた濁り水が、樹林帯の土壤中を通過する間に濾過されるためである。森林からの流出土砂量を適切に予測するとともに、浮遊土砂の流下防止対策を講ずるためには、この樹林帯の浮遊土砂阻止量を予測する必要がある。

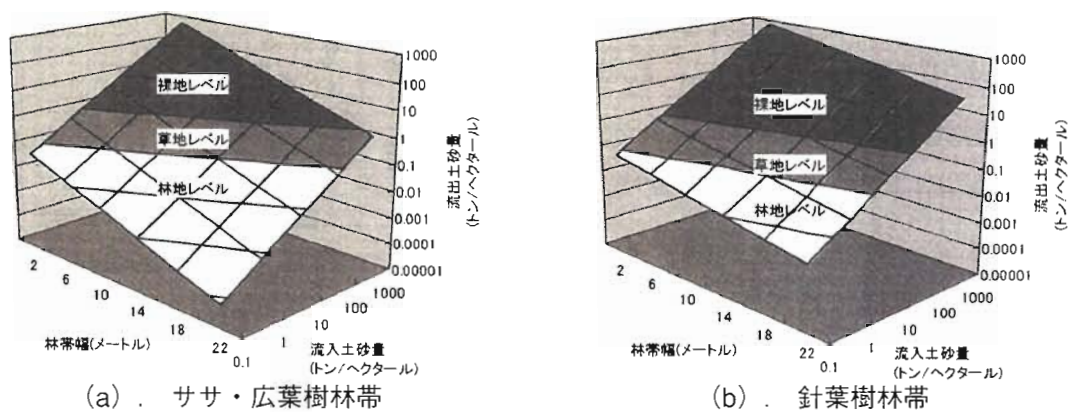


図3. 樹林帯幅と流入土砂量に応じた流出土砂量の予測

図中、裸地レベル、草地レベル、林地レベルとは、それぞれ裸地、草地、林地からの流出土砂量レベルであることを表す。

図3 (a) は既往モデルを用いて、ササを主体とする林帯に土砂が流入した際の、通過林帯幅と林帯からの流出土砂量との関係をグラフ化したものである。そこで、樹林帯を構成する樹種によって、緩衝機能に違いがあるのか確かめるため、森林土壌並びに種々の樹種の落葉を濾材として用いた、浮遊土砂濾過実験を行った（図4）。濾過前後の濁水中の浮遊土砂濃度を比較することにより、広葉樹あるいはササの落葉層の方が針葉樹に比べて約2倍の濾過能力があることが明らか

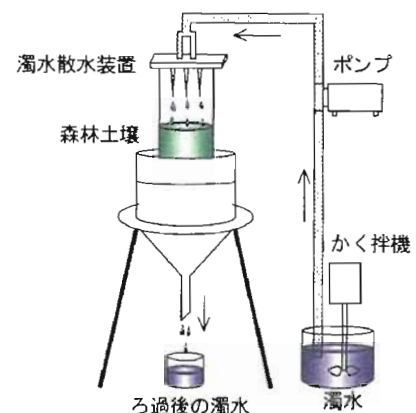


図4. 森林土壌を濾材に用いた濁水濾過実験の様子

となった。これは広葉の方が針葉よりも葉の表面での濁水の滞留時間が長くなり、より多くの浮遊土砂を葉の上に蓄積できるためと考えられる。図3 (b) に、実験結果より算定した針葉樹林帯での通過林帯幅と流出土砂量との関係を示す。図3 (a), (b) より、緩衝林帯の樹種は針葉樹よりも広葉樹の方が望ましいといえる。

4. 流域からの流出土砂量の予測

以上の成果より、斜面上の地形・植生条件に応じた表面侵食量の予測が可能となった。そこで次に、斜面を流下してきた土砂が溪流に流入して、流域から流出する土砂量の予測に、USLEを応用した事例を紹介する。対象流域は、米国カリフォルニア州キャスパークリーク流域試験地であり、1962年より米国林野局により流域出口での流出土砂量の観測が実施されている。流域面積は4.5平方キロメートル程度で、流域全体を50メートル四方の矩形メッシュに区分してUSLEにより侵食量を推定した。

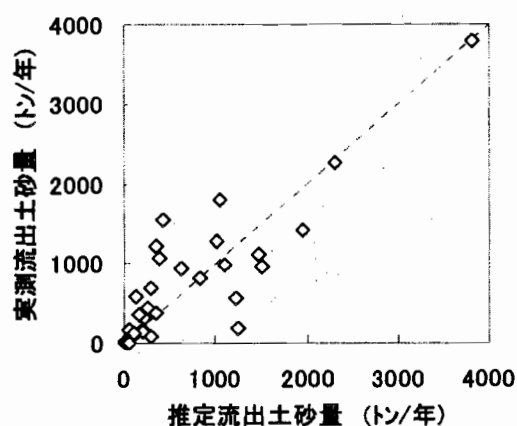


図5. キャスパークリーク流域試験地での実測流出土砂量とUSLEによる予測値との比較

先に述べたように、斜面で発生した浮遊土砂は、樹林帯で捕捉されたり、溪流中に沈滞するなどして全て流域外に出てくるわけではない。そこで、この影響を流達率（侵食土砂量に対する流出土砂量の割合）で表現して、USLEによる予測侵食土砂量と流達率の積により流域からの流出土砂量を推定した（図5）。図は実測値をよく再現しており、USLEが流域からの流出土砂量を推定する際にも有効であることが明らかとなった。

5. まとめと今後の課題

山地森林における広域的な表面侵食危険度の評価手法を提示するとともに、樹林帯の浮遊土砂阻止量の予測手法を提示した。これら両手法は、例えば表面侵食を防止するための荒廃地復旧計画や森林伐採計画策定時の指針となりうる。また、侵食土砂の流下を防止す

るための緩衝林帯の配置計画に活用される。

今後の課題は、総合的な流域土砂管理計画の策定に有効に活用できるように、流域からの流出土砂量の解析例を増やすことである。

参考文献

- 阿部和時（2001） 農林水産業及び農林水産物貿易と資源・環境に関する総合研究，農林水産技術会議，78～79
川口武雄（1985） 森林の土砂流出防止機能，日本治山治水協会，37～39

新たな利用可能資源としてのヤナギ

北海道支所 チーム長 田内 裕之

1. はじめに

温帯から亜寒帯域に分布するヤナギ類は、初期成長が旺盛で挿し木栽培ができ、その上萌芽再生力が強いという特性から、再生可能で持続的な収穫ができるバイオマス資源として有望視されています。ヨーロッパでは、すでにヤナギ類の農地栽培が行われており、資源確保の目的だけでなく、環境・エネルギー政策の一環としてその栽培が推奨されています。

北海道には、14種のヤナギ属樹木が自生しますが、河畔域に広域に生育するエゾノキヌヤナギ、ナガバヤナギ(オノエヤナギともいう)は特に成長の早い樹種とされています。しかし、畑など本来の自生地と異なる場所に植栽した場合、どのような成長を示すかは分かっていません。また、ヤナギは雌雄異株でクローンによる形質や成長差が大きいとされており、その差がどれだけあるのか、優良なクローンをうまく選抜できるのかなど、栽培技術を確立する上で不明な点が多く残っています。農林水産省・先端技術開発研究「新需要創出のための生物機能の開発・利用技術の開発に関する総合研究」(バイオルネッサンス計画第Ⅲ期、平成10~12年)において、「ヤナギの特性解明」に関する研究が北海道支所を中心に行われました。ここでは、その成果について紹介します。

2. 生産力

北海道産のヤナギ5樹種、計54クローンの成長を調べた結果、エゾノキヌヤナギが最も成長量が大いことが分かりました(写真1)。1ha当たり、2500、5000、10000、20000本の密度で挿し木植栽したところ、8年後の1本当た



写真1. 植栽したエゾノキヌヤナギの生育状況
(植栽後4年)

りの材積は密度の低い所ほど材積が大きく、平均で6.8~28.1千 cm^3 となり、クローンによっては成長量に4倍もの差があることが分かりました(図1)。幹の材積成長量は20000本区が最大で、平均すると5~7年生で110~150 m^3/ha となりましたが、その中の優良クローンでは平均年間成長量が30 m^3/ha 、乾燥重量に直すと12~13 ton/ha という生産量を示しました。これは、日本の代表的な植林樹種であるスギやヒノキの成長量をしのぎ、熱帯の早生樹に匹敵するほどでした。

3. 光合成

エゾノキヌヤナギ、ナガバヤナギは河川敷周辺に自生します。河川敷は水分条件がよく、河川によって栄養分が常に供給されている立地です。畑に植栽したヤナギの水利用特性を明らかにし、成長については速効性肥料と遅効性肥料を与え、その生理的特性を探ってみました。光合成を行うと、葉の気孔が開き、水が蒸散します。つまり、気孔が大きく開くと光合成速度が高くなりますが、水の消費量も大きくなります。図2はいろいろな樹種における気孔開度と光合成の関係を示したものです。成長の旺盛なクローンの光合成による二酸化炭素固定能力は、日本産樹種の中で最も優れており、熱帯の早生樹とほぼ同じ値を示しました。ヤナ

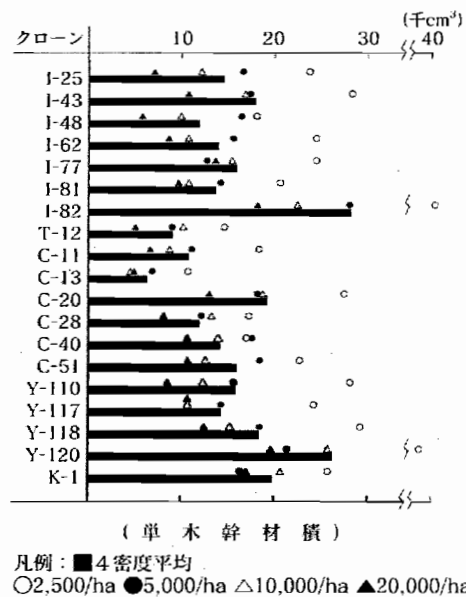


図1. エゾノキヌヤナギ8年生のクローン・植栽密度別単木幹材積

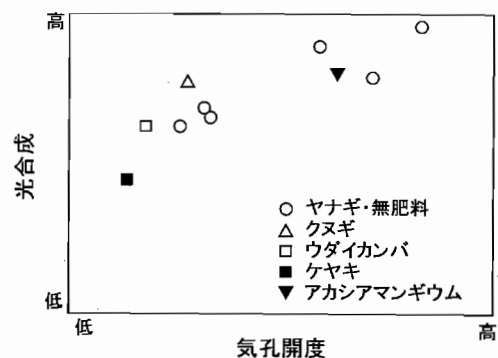


図2. 各樹種における気孔開度(蒸散量)と光合成量(生産力)との関係
アカシアマンガウムは熱帯産の早生樹種

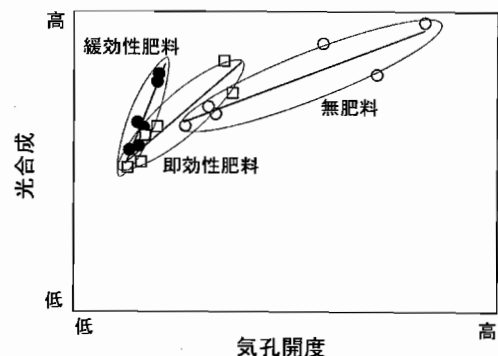


図3. エゾノキヌヤナギ、ナガバヤナギの成長優良クローンにおける施肥に対する気孔開度(蒸散量)と光合成量(生産力)との関係

ギは気孔を大きく開き、効率よく二酸化炭素を取り込むことで光合成を維持していますが、結果として蒸散も大きくなるので、成長には多量の水を必要とすることが分かりました。一方、肥料のタイプ（効き目の長さ）を変えると、図3のように緩効性肥料が蒸散減少に有効なことが分かりました。つまり、ヤナギは光合成、蒸散ともに大きく、成長に多量の水を必要としますが、緩効性肥料の施肥によって、河川敷より乾いた条件の畑地においても、高い光合成能力（生産力）を保ったまま成長できることが分かりました。

4. 雌雄の差

ヤナギは雌雄異株のため、成長量や花や実（繁殖器官）への物質の投資量に雌雄間の差があるかどうかを調査しました。エゾノキヌヤナギ、ナガバヤナギの雌雄各16クローンの挿し木植栽試験では、地上部の成長量（2年生）には雌雄差が認められませんでした（表1）。ヤナギはその年に伸びた枝

（当年枝）に花芽を作り、植栽したヤナギは2年目から花を付けました。繁殖器官への物質投資量（率）の時間変化を見ると、雄の場合は開花期（3月下旬～4月上旬）に、雌の場合は結実期（5月下旬）に最大値を示しました。最大投資率を比較すると、雌株では枝の成長量の8%前後が花芽や実に回されますが、雄株ではそのおよそ半分で、大きな雌雄差が認められました（図4）。従って、成長量が同じなら、繁殖器官へ回すエネルギー（物質）が少ない雄株ほど、我々が利用できる幹・枝の生産効率は高くなり、さらに、これらの物質は春先に地下部から供給されていることから、開花前が

表1. エゾノキヌヤナギ、ナガバヤナギ地上部成長量（植栽後2年目個体）の雌雄差

種名	性別	個体数	乾重 (g)	
			平均値	標準偏差
エゾノキヌヤナギ	オス	86	406.3	371.0
	メス	88	443.1	395.6
オノエヤナギ	オス	88	444.5	288.6
	メス	87	545.6	440.6

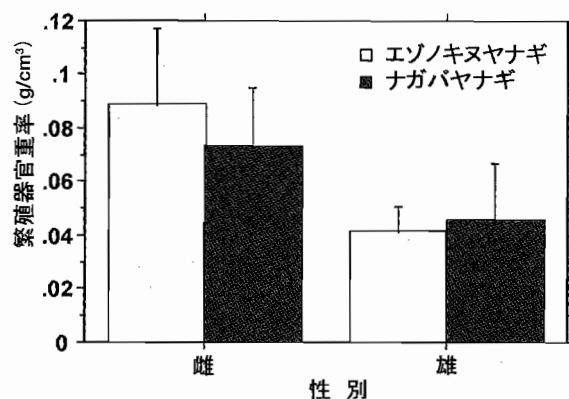


図4. 当年枝における最大繁殖投資率の雌雄差及び種間差
繁殖器官重率とは繁殖器官重（乾重, g）／枝サイズ（根元直径² x 幹長, cm³）。

最も収穫量が高くなることが分かりました。

5. 優良クローンの選抜

より生産効率の高いヤナギを利用するためには、優良なクローンを見つけること（育種選抜）が必要です。そのためには、遺伝率やクローン間差を明らかにしなければなりません。遺伝率とは環境条件にかかわらず現れる形質の割合、つまり遺伝子に支配された強さを表し、この値が大きければ育種効果が高いといえます。いろいろな外部形質において、植栽後3年間の遺伝率を見てみると、直径や幹長などで値が高く、特にエゾノキヌヤナギではシラカンバ等の他種より遺伝率が高いことが分かりました（図5）。また、クローンごとに形質の年次相関を求めると、強い正の関係があることが認められました（図6）。つまり植栽後1年目に高い値を示したクローンは3年後でも同じく高い値を示しました。これらから、エゾノキヌヤナギの場合クローン選抜による高い育種効果が期待できます。また、クローン間の成長の優劣は3年後も変化しないことから、植栽後1年目の測定結果から優良クローンを選抜（早期選抜育種）できることが分かりました。

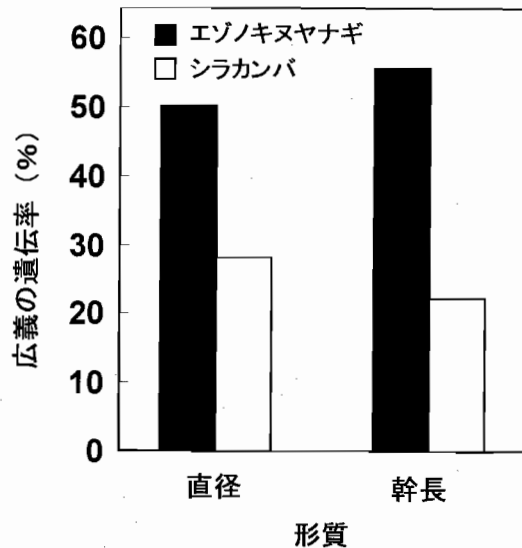


図5. エゾノキヌヤナギとシラカンバの形質（幹の直径及び長さ）における広義の遺伝率の違い

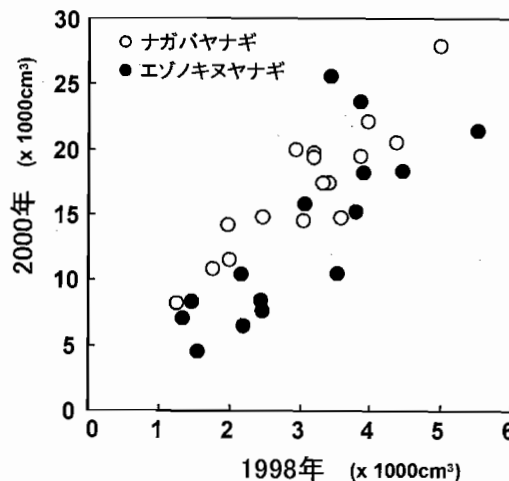


図6. ナガバヤナギ及びエゾノキヌヤナギにおける各クローンの形質（根元直径² x 幹長）の年次相関関係

6. ヤナギの将来

この研究によって、ヤナギを効率よく育てるために必要な情報が得られました。ヤナギは北海道から九州まで広く生育していますが、現在はコストや用途の問題から利用されないまま放置されています。しかし、エネルギーや環境問題などの面から、再生可能な木質資源の有効利用を求められる日が必ず訪れます。将来、北欧のようにヤナギが休耕地に栽培される時には、その技術確立のために、この研究結果が大きく貢献することでしょう。

樹皮タンニンの多彩な機能と用途開発

樹木化学研究領域 樹木抽出成分研究室 大原 誠資

1. はじめに

日本の製材工場から排出される樹皮の量は、1998年の調査で約349万m³/年と推定されている¹⁾。発生する樹皮の一部は家畜敷料、バーク堆肥、燃料として処理されているが、他の主な残廃材（背板、のこ屑等）と比べて未利用率がかなり高く、発生樹皮の28%が焼却または棄却されているのが現状である（図1）。近年の廃棄物に対する規制の強化から焼却処理そのものが困難になってきており、樹皮の有効利用法の開発が

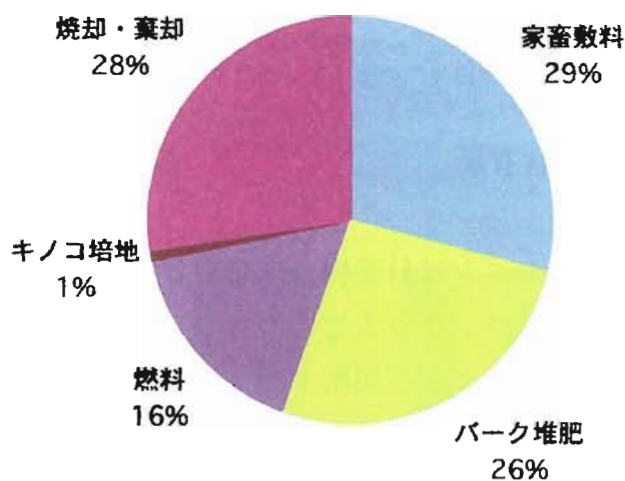


図1. 樹皮の処理法別発生比率

重要な課題となっている。樹皮は、材部に比べて多種多様な二次代謝成分を含有している。中でもタンニン類は多くの高等植物の樹皮に広く分布している天然ポリフェノール化合物で、皮なめし剤、染料、生薬の成分等として古くから利用されてきた。本課題では、モリシマアカシア、ヤナギ、ヒバ等の樹皮に多量に含まれているタンニンの化学特性を解明するとともに、それらの気中ホルムアルデヒド吸着能、抗菌・消臭作用、シロアリに対する抗蟻性、液状炭化物及び重金属吸着材の製造について検討した。

2. タンニンとは

タンニンとは、「温水によって抽出されるポリフェノール成分で、塩化第二鉄によって青色を呈し、アルカロイド及びタンパク質と結合する化合物」と定義されている。タンニンは化学構造の特徴から大きく二つのグループ（縮合型タンニンと加水分解型タンニン）

に分類される。樹皮に広く分布しているのは縮合型タンニンであり、図2に示すようなフラバノールのポリマーの化学構造を有している。フラバノール構成単位のA環及びB環のフェノール性水酸基の置換型が樹種によって異なり、またカキタンニンのようにC環にガロイル基を有するものも存在する。

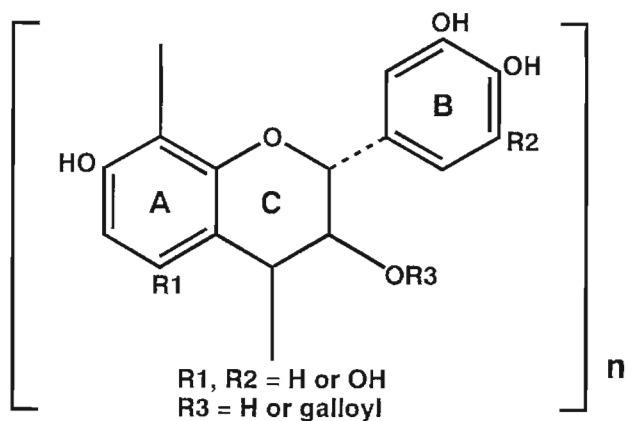


図2. 縮合型タンニンの化学構造

3. 分布・含有量

縮合型タンニンは針葉樹、広葉樹どちらにも広く分布しているが、特にモリシマアカシアやアカシアマンギウム等のアカシア属樹木の樹皮には20～30%に上る多量のタンニンが含まれている。ヤナギ属樹木も一般にタンニン含量が高い。カラマツ、ヒバ等の針葉樹樹皮にもタンニンが広く分布しているが、スギ、ヒノキ樹皮中の含有量は低い（図3）。

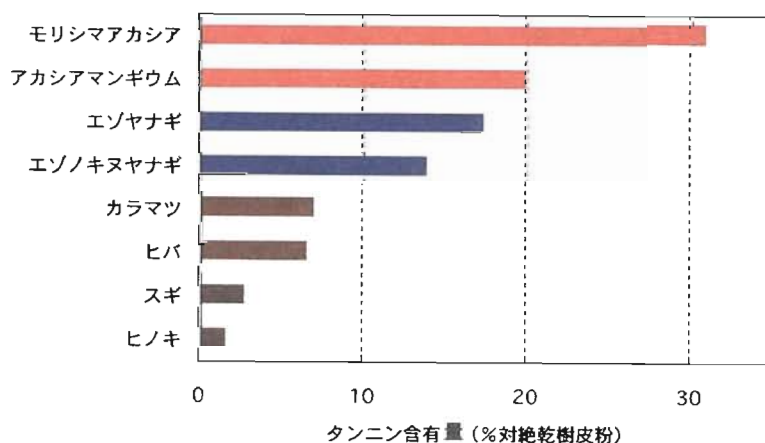


図3. 樹皮中のタンニン含有量

4. 気中ホルムアルデヒドの吸着

ホルムアルデヒドの吸着に関しては茶カテキン類の高い反応性が報告されているが²⁾,

エゾヤナギ樹皮タンニンやアンモニアと気相反応させたアカシアタンニンは、カテキンや緑茶抽出物よりもさらに高いホルムアルデヒド吸着能を示す（図4）。煙草の煙の主成分であるアセトアルデヒドの吸着に関しては、カラマツやエゾヤナギ樹皮タンニンが優れた吸着能を示す。

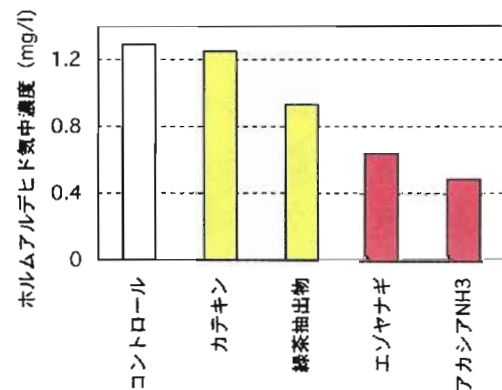


図4. タンニンのホルムアルデヒド吸着能
(アカシアNH3: アンモニア気相処理アカシアタンニン)

5. 抗菌・消臭繊維

モリシマアカシア樹皮抽出物を溶かした水に各種繊維素材を浸漬して加熱処理すると、絹、羊毛、ビニロン、ナイロンは樹皮中の色素成分によって容易に染色される（図5）。染色には樹皮中のタンニン成分が関与しており、特にナイロン、ビニロンでは、樹皮中のタンニンが効率的に繊維素材に吸着している（図6）。タンニンで染色したナイロンは、アンモニアに対する消臭作用を示す。また、タンニンで染色したナイロンを酢酸銅水溶液で処理して銅イオンを吸着させると、大腸菌に対する抗菌性が発現する³⁾。

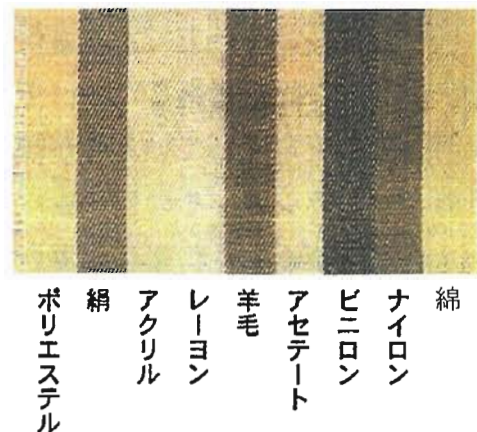


図5. 樹皮タンニンによる繊維の染色性

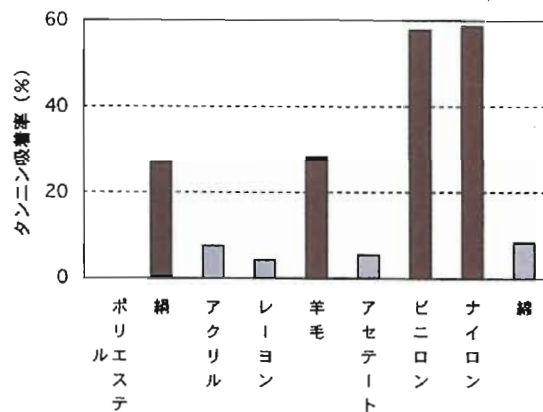


図6. 樹皮タンニンの繊維素材への吸着率

6. シロアリに対する抗蟻性

樹皮タンニン自体にはシロアリに対する抗蟻性は認められないが、各種金属との複合体には顕著な抗蟻性が認められる。カテキン・ニッケル複合体をセルロース粉末に含浸させて強制摂食試験を行うと、無処理及びカテキンのみを含浸したものと比べて殺蟻性が大きく増大し、21日後には100%の致死率を示す⁴⁾。一方、摂食阻害活性については、カテキン・銅複合体に活性が認められる。

7. 液状炭化物

最近、木炭等の木質系炭化物の有する人間の健康に有用な機能が注目されはじめている。一方で木質系炭は形状が不定な固形であるため、その利用方法が限定されているのが現状である。アカシア、その他の樹皮タンニン水溶液を炭化物微粉と混合して激しく攪拌することにより、液状炭化物が製造できる。本液状炭化物を単板等の木質材料に塗布して風乾すると表面に安定な炭化物層が形成され、タンニン、木質系炭双方の機能を活用できる新規な素材である⁵⁾ (図7)。

8. 重金属吸着材

タンニンが重金属吸着能を有することはよく知られているが、タンニンが水溶性であるため、重金属吸着

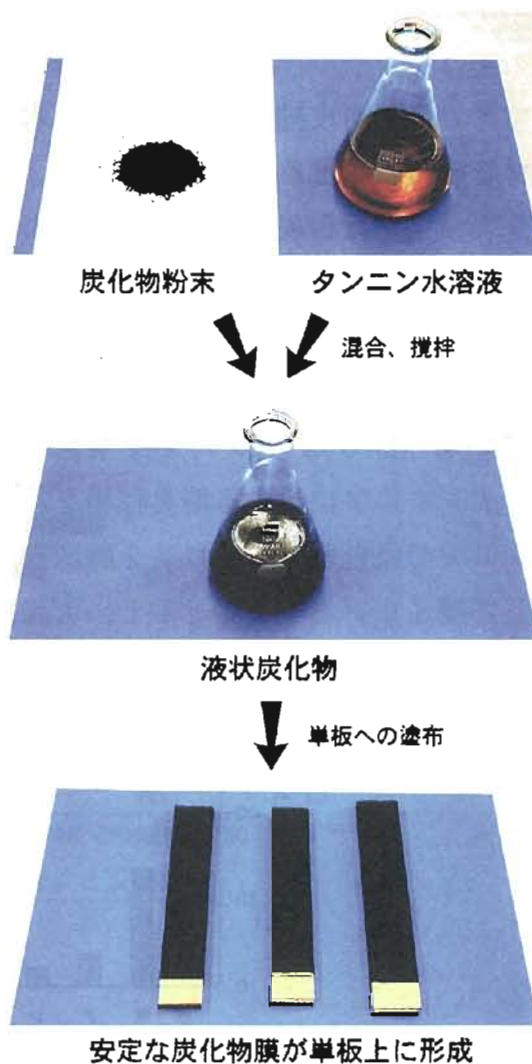


図7. 液状炭化物の調製

材として利用するにはタンニンを不溶化させる必要がある。本課題では、樹皮タンニンを木質系炭微粉と水中で混合することにより、タンニンの不溶化を試みた。図8に示すように、本方法でカテキン及び樹皮タンニンは容易に炭化物に吸着されることが明らかになった。得られたアカシア及びヒバタンニン・炭化物複合体は、水溶液中のカドミウムを効率的に吸着する⁶⁾。

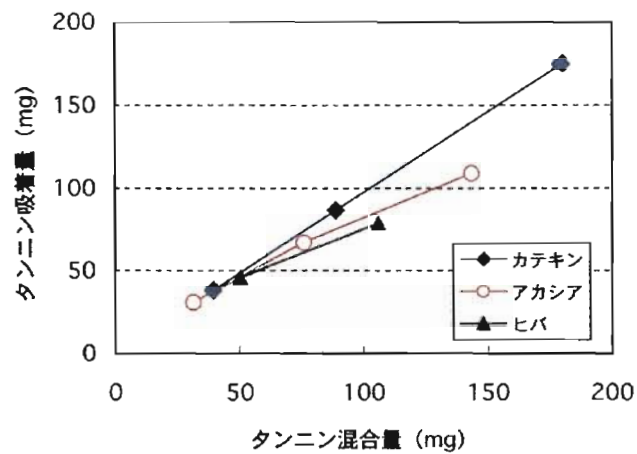


図8. タンニン・炭化物混合系におけるタンニンの炭化物への吸着（炭化物使用量1.0g）

参考文献

- 1) 日本木材総合情報センターほか（1998）製材工場における残廃材の排出量と利用・処理方法の動向，31～42
- 2) 高垣晶子，深井克彦ほか（2000）木材学会誌，46，231～237
- 3) 伊藤繁則，大原誠資（1999）木材学会誌，45，157～163
- 4) W. Ohmura, S. Ohara（2000）Holzforschung, 54, 457～460
- 5) 大原誠資，秋月克文ほか（1999）特願平11-317607
- 6) 大原誠資ほか（2000）第50回日本木材学会研究発表要旨集，京都，p445

平成13年度

独立行政法人 森林総合研究所

研究成果発表会 講演要旨集

平成13年10月16日発行

編集・発行

独立行政法人 森林総合研究所

企画調整部 研究情報科 広報係

〒305-8687 茨城県稲敷郡笠崎町松の里1番地

Tel. 0298-73-3211 Fax. 0298-74-8507

E-mail : kouho@ffpri.affrc.go.jp

URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>