

「資源循環・エネルギーミニマム型システム技術」
平成10年度採択研究代表者

小名 俊博

(王子製紙(株)森林資源研究所 上級研究員)

「高リサイクル性を有する森林資源の開発」

1. 研究実施の概要

リサイクルによるパルプ繊維の劣化と損失を原料から改善するため、高リサイクル性かつ高成長性を有した樹木を迅速に同定・選抜する技術を開発し、選抜木の交雑育種（植林）を実施すると共に、この発生機構を解析することを目的とする。これにより、効率的な森林資源のリサイクルと省エネルギーを達成し、資源循環型社会構築の実現を目指す。生産性の高い森林資源を創出することにより、CO₂固定量を増加させることが見込める。これまでに、リサイクル性に関与していると考えられる樹木各種の細胞比率や形態を、近赤外光フーリエ変換ラマン分光法と多変量解析を組み合わせることにより、木粉を用い非破壊的に定量する方法をユーカリで開発した。これにより、従来長時間を有する作業であった、切片の作成、および顕微鏡による観察が、簡便かつわずか数分といった迅速さで測定可能になった。同様に樹木各種の化学構成成分および構成成分の構造についても測定可能となった。また、この方法は試料の樹齢、材色や蛍光強度に関係なく有効であった。今後は、この手法をアカシアにも応用し、優良樹木の選抜に利用されることが期待される。

2. 研究実施内容

- (1) 近赤外光フーリエ変換ラマン分光法を用いた樹木各種細胞形態の非破壊的定量： リサイクル性に関与していると考えられる樹木構造の解析は重要である。一般的に樹木構造を解析する手法は定量顕微鏡法であり、光学顕微鏡とコンピューターを組み合わせた一種のイメージアナライザーである。この方法は切片を調製するなどの解析に時間が掛かるため、有用な分析技術の開発が重要な課題である。また、この種の分析で振動分光法を用いた報告はなされていなかった。そこで、細胞壁率および細胞長という樹木細胞形態の定量について、*Eucalyptus camaldulensis* および *E. globulus* を用い、近赤外光フーリエ変換ラマン分光法—多変量解析と木粉により非破壊的な定量を検討した。この結果、統計的に有意義な高い相関が顕微鏡を用いた従来法による定量値との間に得られた。このことから、ラマン分光法による樹木各種細胞形態の非破壊的定量が可能であることが判明した。

- (2) 近赤外光フーリエ変換ラマン分光法を用いた樹木各種細胞寸法の非破壊的定量： (1)と同様に、リサイクル性に関与していると考えられる樹木各種細胞寸法の定量について、*Eucalyptus camaldulensis* および *E. globulus* を用い、近赤外光フーリエ変換ラマン分光法—多変量解析と木紛により非破壊的な定量を検討した。細胞寸法として、放射方向並びに接線方向における道管および木繊維細胞の直径、平均直径、および放射方向における道管および木繊維細胞の細胞壁の厚さを検討した。この結果、統計的に有意義な高い相関が顕微鏡を用いた従来法による定量値との間に得られた。このことから、ラマン分光法による樹木各種細胞寸法の非破壊的定量が可能であることが判明した。
- (3) 近赤外光フーリエ変換ラマン分光法を用いた樹木各種化学構成成分および構成成分の構造の非破壊的定量： (1)と同様に、リサイクル性に関与していると考えられる樹木各種化学構成成分および構成成分の構造の解析は重要である。一般的に各種の解析を行うに多大な労力と時間がかかるため、有用な分析技術の開発が重要な課題である。そこで、ユーカリ5樹種を用い、近赤外光フーリエ変換ラマン分光法—多変量解析と木紛により非破壊的な定量を検討した。化学構成成分および構成成分の構造として、ホロセルロース、 α -セルロース、ヘミセルロース、リグニン、抽出物、アルカリ抽出物、全抽出物、リグニンのシリングル核/グアイアシル核比、ヘミセルロースを構成するグルコース、キシロース、ガラクトース、ラムノース、アラビノースおよびマンノースのモル比、および容積密度数を検討した。この結果、スペクトルデータの微分処理の次元を変えることにより、統計的に有意義な高い相関がウェットケミカルな従来法による定量値との間に得られた。このことから、ラマン分光法による樹木各種化学構成成分および構成成分の構造の非破壊的定量が可能であることが判明した。
- (4) ユーカリにおける細胞形態とパルプ特性の関係： 木材の品質を評価する際、測定する木材の性質（指標）はパルプ特性と関係していなければならない。解剖学的な細胞特性については、ユーカリを含む多くの広葉樹でパルプ特性との関係が検討されてきた。しかし、細胞特性並びにパルプ特性の両方に樹幹内変異変異が認められるが（この変異は伐期を決定する際重要でもある）、これに基づいた両者の関係はほとんど検討されていない。一方、放射柔細胞並びに軸方向柔細胞については、その薄い細胞壁および短い細胞長のため紙強度に対する影響が一般に非常に小さいと考えられており、報告もほとんど見られない。以上のことから *E. camaldulensis* (CAM) および *E. globulus* (GLO) の樹幹内変異を用い、放射柔細胞および軸方向柔細胞の細胞比率、細胞壁厚並びに細胞壁率も含め、細胞特性とパルプ特性の関係を検討した。

紙強度に対する繊維長の重要性については、ある一定以上の繊維長になるとほ

とんど影響が認められないことから、個体間変異並びに樹幹内変異が認められているにもかかわらず、育種プログラムにおいては軽視されてきた。しかしながら、本結果から繊維長の再評価が必要であることが示唆された。CAMにおいては、道管ではなく、放射柔細胞および軸方向柔細胞がほとんどのパルプ特性と、GLOにおいてはパルプ収率、未晒白色度およびカップー価と高い相関が認められた。放射柔細胞および軸方向柔細胞の測定結果は、薄い細胞壁や短い細胞長のため紙強度への影響が小さいと考えられているためか、ほとんど報告されていない。GLOにおいて壁率は紙強度およびシート密度の上昇において、壁厚よりも重要であることが判明した。一方、CAMでは軸方向柔細胞とシート密度、細胞全体とシート密度および比引裂き度のみで相関が認められた。また、GLOとは異なり、壁厚が壁率よりも重要であることが判明した。この樹種による違いの原因については木繊維の柔軟性にあると考えられる。両樹種においてパルプ収率を目標にした育種プログラムでは、放射柔細胞および軸方向柔細胞の比率を下げる 것이重要になるかもしれない。

CAMにおいては、木繊維にかかわる特性はほとんどのパルプ特性と高い相関があったが、GLOではほとんど関係がなかった。GLOでは、道管の放射方向径／接線方向径の比が全てのパルプ特性と高い相関があった。このことを含め総合的に考えると、CAMの細胞は、十分柔軟性を持ち、また強固な細胞間結合を形成できるほど、細胞壁は薄く、直径は小さく、そして壁率は低かったと結論される。この場合、細胞間の相互作用が個々の細胞強度の総和を上回るため、壁厚が直径や壁率よりも重要な因子であると考えられる。一方、GLOにおいては、壁も厚く、径も大きく、また壁率も高いことから、細胞はかなり頑強と考えられる。事実、木繊維の柔軟係数はどのパルプ特性とも相関がなかった。この場合、個々の細胞の強度が細胞間の相互作用よりも重要になる。しかしながら、GLOにおいては、道管の放射方向径／接線方向径の比が紙強度と正の相関があり、また道管の直径がCAMよりも著しく大きい。これを考慮しても、道管の比率が11%であることから、個々の細胞強度はさほど重要にはならないであろう。これに対し、放射方向径／接線方向径の比が高い道管は、抄紙工程でつぶれ易く、また木繊維との接触が増えることが予想されることから、道管と木繊維間の結合は非常に重要であったと結論される。以上のことから、GLOの紙強度を育種目標にした場合、道管形態の測定は含まれるべきである。

CAMにおいては、比引裂き強度と耐折強度を除く、用いたパルプ特性全てに対して、1%レベルで有意義な回帰式が細胞特性から得られた。特に軸方向柔細胞比率は、比引裂き度を除く全ての回帰式に取りこまれ、その重要性が確認された。Solids factorも多くのパルプ特性に抽出された。GLOにおいては、用いたパルプ特

性全てに対して、1 %レベルで有意義な回帰式が細胞特性から得られた。特に、道管形態は比引裂き度を除く全ての回帰式に取りこまれ、その重要性が確認された。両樹種において、ほとんど全てのパルプ特性が樹幹内変異を利用した細胞特性により1 %レベルで有意義に予測できることが判明した。また、放射柔細胞および軸方向柔細胞は過去の報告とは異なり、紙強度を含む多くのパルプ特性に対して、多大な影響を及ぼすことが判明した。

以上から、育種プログラムにおいては、細胞特性からユーカリ木の選抜を行う場合、各種細胞の特性についての測定を含める重要性が示唆された。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

- Ona, T., Sonoda, T., Ito, K., Shibata, M., Ootake, Y., Ohshima, J., Yokota, S. and Yoshizawa, N. In situ determination of proportion of cell types in wood by FT-Raman spectroscopy. 545-546, In: *Spectroscopy of Biological Molecules: New Directions*, Eds. Greve, J., Puppels, G. J. and Otto, C., Kluwer Academic Publishers(1999).
- Ona, T., Sonoda, T., Ito, K., Shibata, M., Ootake, Y., Ohshima, J., Yokota, S. and Yoshizawa, N. Quantitative FT-Raman spectroscopy to measure wood cell dimensions. *The Analyst*, Vol. 124: 1477-1480(1999).
- Ona, T., Sonoda, T., Ito, K., Shibata, M., Ootake, Y., Ohshima, J., Yokota, S. and Yoshizawa, N. Rapid determination of cell morphology in Eucalyptus wood by Fourier transform Raman spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, Vol. 53: 1078-1082(1999).
- 小名俊博、有用資源選んで植林も一樹木の構造5分以内に解析一、日経産業新聞、第1面、平成11年9月1日(1999).
- 小名俊博、樹木の細胞構造解析一森林有効利用に道一、日本経済新聞、第33面、平成11年9月14日(1999).
- 小名俊博、樹木構造の解析で新技術を開発、ワールド パルプ アンド ペーパー Future、Vol. 25: 6(1999).
- Ona, T. Analysis of cell morphology in wood by Fourier transform Raman spectroscopy. *New Technology Japan by JETRO*, Vol. 27: 37(1999).