

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 基盤研究(B)
 研究期間： 2007 ~ 2009
 課題番号： 19405029
 研究課題名(和文) ホリスティックな材質測定によるブラジル熱帯林の戦略的持続経営
 研究課題名(英文) Strategic and Sustainable Management of Brazilian Tropical
 Forest by Holistic Measurement of Wood Properties
 研究代表者
 土川 覚 (Satoru Tsuchikawa)
 名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授
 研究者番号：30227417

研究成果の概要(和文)：本研究は、ブラジル熱帯材を対象として、具体的かつ有効な「品質証明」手法を提示することを目的として計画されたものである。綿密な現地調査および可搬型装置による立木・丸太の近赤外反射スペクトル・成長応力・応力波測定を行い、これらから密度・ミクロフィブリル傾角(MFA)・繊維長・強度等を推定した。木材製品の価値を伝えて売買することによる熱帯林の戦略的な持続経営が上記手順によって可能となることが示された。

研究成果の概要(英文)：This research was performed to propose concrete and effective "quality proof" method for Brazilian tropical forest products. The minute field work was projected. The density, micro fibril angle (MFA), fiber length, strength, etc. of Brazilian wood was estimated by near infrared spectra and stress wave. A series of field work and experiments clarified that the strategic and sustainable management of tropical forest could be constructed by holistic measurement of wood properties.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2008年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	12,900,000	3,870,000	16,770,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：ブラジル、熱帯林、材質測定、データベース、品質証明

1. 研究開始当初の背景

(1) 特異かつ貴重なブラジル熱帯林の生物学的研究は、これまでもさまざまな立場や視点から多くの研究者によって実施されてきた。名古屋大学を中心とする研究グループも、ブラジル熱帯林の消失圧力低減を目指し、これを木質バイオマスの有効利用という観

点から具体化することを企て、近年、活発な研究活動を展開している。集中的な学術研究は、主としてブラジル国・マトグロッソ州政府と同連邦大学との連携およびパラナ連邦大学との共同研究により進められている。これに関する日伯の研究者交流も活発であり、今後も斬新なプロジェクトを提案すること

によって、ブラジル熱帯林の消失圧力低減を木質バイオマスの有効利用によって具体化する方途を継続的に検討することが期待されている。

(2) 1980年代後半から、とりわけ熱帯林を中心に、無秩序な伐採による生態系や先住民社会に対する破壊的な影響を懸念する声、国際的に高まった。これを食い止める手段のひとつが木材の「原産地・品質証明」を推進することであり、原産地で適正な方法で管理されているかを認証する機関（森林管理協議会（FSC）等）の活動も世界的に広がっている。バイオマスが再生可能な資源であるためには、その原産地の持続可能性が担保されていなければならない。とりわけ、脆弱な生態系である熱帯林ではなおさらのことである。そのためには、単なる伐採禁止を求めのではなく、「森林を持続可能な方法でマネジメントをし、そこから産出される木材を中心とするバイオマス資源の原産地・品質証明をして、消費者に確実に木材製品の価値を伝えて売買する」＝「熱帯林の戦略的な持続経営をする」ことが、ブラジル森林地帯の地域社会としての安定性を保つうえでも重要である。

2. 研究の目的

本研究は、ブラジル熱帯材を対象として、具体的かつ有効な「原産地・品質証明」手法を提示することを目的として計画されたものである。

樹木の諸特性を細胞・組織・個体レベルで調査するとともに、これに基づいて、ホリスティック（包括的）な材質同定を立木あるいは丸太状態で実施できる手順の確立を試みる。研究グループの構成メンバーがもつ解析技法を縦横に駆使して、これらを効率化・統合化するとともに、ブラジル現地のカウンターパートと緊密な連携を取ることで、本法の導入を図る。

3. 研究の方法

(1) マトグロソ州・パラナ州での調査
マトグロソ州に自生する広葉樹種の材質評価に関する研究の現状を調査するとともに、マトグロソ連邦大学との共同で実施する野外実験の手順について打ち合わせを行う。また、パラナ州における人工林の経営状況の実態を調査するとともに、パラナ連邦大学との共同で実施する野外実験の手順について打ち合わせを行う。

(2) リオグランデ・ド・スル州でのフィールド測定

① リオグランデ・ド・スル州におけるユーカリ人工林（フロスール社）を対象として、立木状態で二次木部表面における成長応力、可視・近赤外反射スペクトル、および応力波

伝播速度を測定する。

② その後、数カ所の部位から、木部サンプルを採取する。採取した試験片は現地に於て保存・固定処理を施し、帰国後、強度測定、各種物性測定を行う。

③ 各樹種とも、成長応力測定個体以外に10-20本程度の個体を選定し、立木状態で可視・近赤外反射スペクトルおよび応力波伝播速度を測定する。これらの樹幹および枝から試験片を採取して日本に搬送し、各種分析を行う。

④ 名古屋大学において、採取サンプルの強度試験および各種材質特性（MFA、密度、繊維長）を測定するまた、光学顕微鏡観察を行ない、木部の組織構成、あて材細胞の有無・発達程度と壁層構成を調べる。

(3) サンパウロ州・パラナ州での調査
サンパウロ州・パラナ州における天然林の有効利用および人工林の経営状況の実態を調査するとともに、ブラジルの固有種であるアロウカリアの野外実験をサンパウロ連邦大学との共同で実施する手順について打ち合わせを行う。

(4) パラナ州でのフィールド測定
アロウカリア人工林において、(2)と同様のフィールド測定を行い、サンプルを名古屋大学に搬送して種々の材質調査を行う。

(5) パラ州・フランス領ギアナでの調査
パラ州における天然林の有効利用に関する実態を調査するとともに、フランス領ギアナの熱帯天然林におけるフィールド測定を(2)と同様の手順で行う。

(6) リオデジャネイロ州・サンパウロ州での調査

リオデジャネイロ州に自生する広葉樹種の材質評価に関する研究の現状を調査するとともに、サンパウロ州における天然バイオマスの工業利用に関する実態調査とEMBRAPAおよびサンパウロ連邦大学との今後の共同研究に関して打ち合わせを行う。

4. 研究成果

(1) 平成19年9月にブラジルを訪問し、サンパウロ連邦大学 Yamaji 教授、マトグロソ連邦大学 Henriques 教授およびパラナ連邦大学 Hosokawa 教授とブラジルフィールド調査等の研究打合せを行った。同年11月にはブラジル・フロスール社およびエントレ・リオ 森林林業研究所において18年生の *Eucalyptus grandis* 15本の材質を調査した。丸太表面における可視-近赤外スペクトルの2次微分値を説明変量として、立木、丸太表面、丸太木口面および製材品における応力波伝播速度からそれぞれ推定したヤング率の検量線を作成した。その結果、丸太表面の伝播速度から推定したヤング率を目的変量とした場合がもっとも高い予測精度を示した。

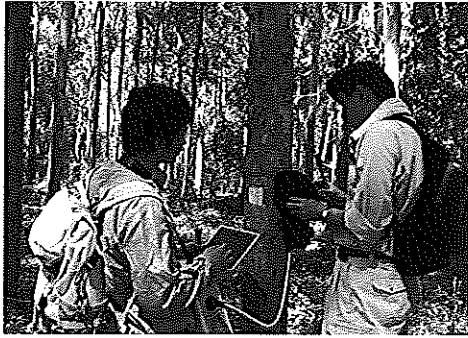


図1 野外測定の様子

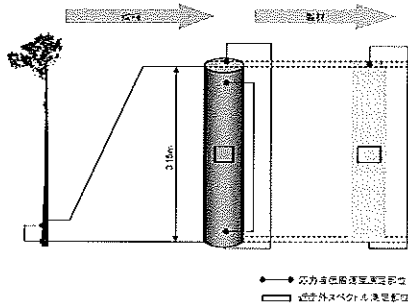


図2 野外測定の手順

可視-近赤外スペクトル測定時における木材内部への光の到達深度は非常に浅いため、スペクトルが含む情報は表面付近に由来するものである。丸太表面の応力波伝播速度から推定されたヤング率の予測精度がもっとも高かったのは、このことに起因すると考えられる。

立木、丸太および板材状での材質測定を応力波および近赤外スペクトルから高い精度で実施できることを証明した。

表1 可視-近赤外スペクトルから推定されたヤング率

応力波伝播速度測定箇所	ファクタ数	予測値標準誤差 (GPa)	相関係数
立木表面	9	0.42	0.82
丸太表面	5	0.33	0.92
丸太髓近傍	5	0.72	0.74
製材品端面	4	0.62	0.65

(2) ブラジルなどの南米では、ユーカリ類を中心に早生樹の植林が盛んに行われている。これらの植林事業の経済的価値を高めるためには、伐採・玉切り時の心割れや製材時の反り・曲がりなどの原因とされる樹幹内残留応力について調査研究することが重要である。*Eucalyptus grandis* の残留応力分布を測定調査し、樹幹直径が残留応力、心割れ率に及ぼす影響について考察した。

丸太の心割れ率と直径との間には有意な相関関係はみられなかった。樹幹内残留応力

解放ひずみの放射方向分布については、髓付近の値は直径にかかわらず同じであったが、表面付近の値は小径個体で大きくなる傾向が認められた。

樹齢、採取場所が異なる同一直径の供試木について残留応力分布を比較したところ、分布パターンには大きな違いがなかった。

(3) 平成20年10-11月にブラジルを訪問し、サンパウロ連邦大学 Yamaji 教授、ARAUPEL 社 Marafiga 氏らとアロウカリア (*Araucaria angustifolia*) の物性評価に関する研究打合せを行った。同種は、ブラジル南部からパラグアイ、アルゼンチン北部にかけて生育する常緑高木である。材質は緻密で木理も通直で美しく、住宅や商用施設の内装などに利用されているが、詳細な物性調査は行われていないことがわかった。

続いて21年1月には、ブラジル・ARAUPEL 社を再度訪問し、同社社有林においてアロウカリア材の野外調査および物性評価に関する非破壊実験を行った。18年生および25年生のアロウカリア20本を調査した。18年生の胸高直径は12-126cm、25年生では69-160cmであった。木口面およびまさ目面切片の組織構造を観察した結果、木口面では軸方向樹脂道と思われる構造が、まさ目面では有縁壁孔が多重配列をなすことが観察された。

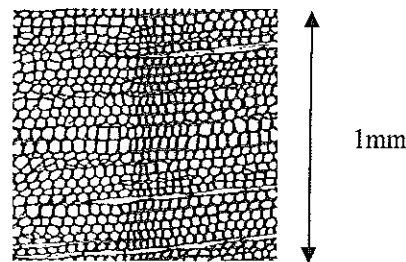


図3 アロウカリアの木口面顕微鏡写真

(4) パラナ州に植林されているアロウカリアを対象として、分光学的手法による非破壊材質評価の可能性について検討した。17年生および35年生の *Araucaria angustifolia* 20本について、胸高直径 (DBH) を測定し、既知の年生から肥大成長速度 (LGR) を算出した。供試木の南北2方向において、胸高部位を中点とする2点間(約2m)の応力波伝播速度 (PVSW) を測定した。その後南北方向における胸高部位の樹皮、形成層を剥離し、ただちに木部の可視-近赤外スペクトルを測定した。スペクトル測定後、スペクトル測定部位における縦方向表面解放ひずみ (LGS) を測定した。その後該当部位の小試験片を作成し、水銀法により気乾密度を測定した。得られた可視-近赤外スペクトル (650-1000 nm)、スペクトル変換: MSC、2nd derivative) を説明変量とし、スペクトル測定部位に対応する各種測定値

を目的変数として PLS 回帰分析を行なった。

表2 アロウカリアの各種物性値

Y-variable	N	Range	Average	SD
Density(g/cm ³)	31	0.49-0.69	0.58	0.03
LGR(cm/year)	31	0.32-1.17	0.71	0.27
LGS	31	-474-80	-297	146
PVSW(m/s)	31	2508-4537	3566	513
PVSW/DBH	31	51.2-184	112	38.3

SD: 標準偏差

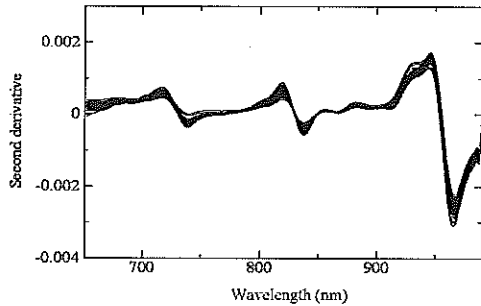


図4 アロウカリアの可視-近赤外2次微分スペクトル

PLS 回帰分析の結果を表3に示す。LGR と密度に関しては、スペクトルから計算された予測値と実測値との間に比較的高い相関が認められたが、LGS と PVSW については、有意な相関が認められなかった (*Eucalyptus grandis* について同様の測定を行った場合には、高い相関関係が認められた)。一方、PVSW を DBH で補正したところ予測精度が向上した。応力波伝搬速度は含水率や密度に依存するが、直径にも依存すると考えられる。今回測定したアロウカリアの応力波伝搬速度は、密度や含水率の変動に加えて直径の影響も受けていると推定された。

表3 PLS 回帰分析の結果

Y-variable	N	F	RMSEV	R ² val	RPD
Density	31	6	0.03	0.63	1.68
LGR	31	9	0.18	0.56	1.48
LGS	31	4	127	0.27	1.15
PVSW	31	9	424	0.34	1.21
PVSW/DBH	31	7	27	0.52	1.42

F: ファクタ数、RMSEV: 予測標準誤差
R²val: 決定係数、RPD: 各目的変数の標準偏差と予測標準誤差の比

密度については、今回予測を行なった目的変数の中でもっとも良い検量線を得ることができた。密度予測モデルのリグレッションベクトルを図5に示す。PLS 回帰分析による密度の予測には、OH伸縮振動第3倍音による吸収(740-750 nm)およびCH伸縮振動第3倍

音による吸収(910 nm付近)が寄与していることが示唆された。

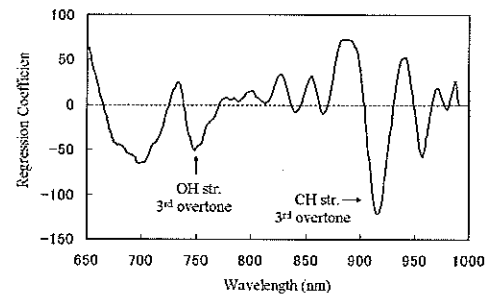


図5 密度予測モデルのリグレッションベクトル

今回調査した物性値は木材の材質を支配する重要な指標であり、これらを可視-近赤外スペクトル測定で代替できれば、単一装置による簡便なフィールド測定によって木材の物理化学的特性を推定することが可能になる。

(5) 熱帯・亜熱帯諸国における早生樹の繊維長の放射方向分布から、樹種・緯度・気候区分による成熟材形成メカニズムの違いを検討した。

温帯・亜熱帯産のユーカリ属 (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus globulus*)、熱帯産のアカシア属 (*Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*)、熱帯産のパラセリアンセス属 (*Paraserianthes falcataria*) を試料として用いた。径級大、中、小3水準のものをそれぞれ数本ずつ採取し、胸高部位より髓を含む南北径方向の長方形試料材を切り出し、髓から半径方向に1cm間隔で測定点を定め、木部繊維長を測定した。

赤道に近い植林地では成熟材形成は直径に依存し、亜熱帯や温帯の植林地では樹齢に依存する傾向がみられた。このことより、成長が速いために未成熟材が多くなるのではないことが立証された。適切な施肥(植栽密度・間伐計画など)を行い、成長速度を調整することによって、早期の育林段階で成熟材を形成させることができる(あるいは未成熟材の比率を抑えることができる)ことが判明した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Kojima, M.; Yamaji, F. M.; Yamamoto, H.; Yoshida, M.; Nakai, T., "Effects of the lateral growth rate on wood quality parameters of *Eucalyptus grandis* from different latitudes in

Brazil and Argentina”, Forest Ecology and Management, 257, 2175-2181, 2009, 査読あり

- ② Kojima, M.; Yamaji, F. M.; Yamamoto, H.; Yoshida, M.; Saegusa, K., “Maturation property of Eucalyptus grandis planted in different latitude and climatic divisions of South America. : A view based on fiber length”, Canadian Journal of Forest Research, 39, 1971-1978, 2009, 査読あり

[学会発表] (計 6 件)

- ① 小堀 光、倉田洋平、稲垣哲也、劉 暢、山本浩之、林 和男、F.M.ヤマジ、土川 寛、可視—近赤外スペクトルのフィール下測定によるアロウカリア材の非破壊材質評価、平成 21 年度日本木材学会中部支部大会、2009 年 10 月 29 日、名古屋市
- ② 小堀 光、稲垣哲也、倉田洋平、山本浩之、林 和男、F.M.ヤマジ、土川 寛、ホリスティックな材質測定によるブラジル熱帯林の戦略的持続経営 第 3 報 アロウカリア材の非破壊材質評価、第 58 回 日本木材学会大会、2009 年 3 月 16 日、松本市
- ③ 三枝晃一朗、児嶋美穂、吉田正人、山本浩之、F.M.ヤマジ、異なる緯度・気候区分での材質比較～Eucalyptus grandis (2)～、第 60 回日本木材学会大会、2009 年 3 月 14 日、宮崎市
- ④ 小堀 光、孫 甜、佐々木康寿、安藤幸世、土川 寛、ホリスティックな材質測定によるブラジル熱帯林の戦略的持続経営 第 2 報 非破壊強度推定手順の検討、第 58 回 日本木材学会大会、2008 年 3 月 19 日、つくば市
- ⑤ 小堀 光、佐々木康寿、山本浩之、児嶋美穂、山下沙織、中井尚毅、土川 寛、ホリスティックな材質測定によるブラジル熱帯林の戦略的持続経営 第 1 報 ユーカリ材の非破壊材質評価、第 58 回 日本木材学会大会、2008 年 3 月 19 日、つくば市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土川 寛 (TSUCHIKAWA SATORU)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授
研究者番号：30227417

(2) 連携研究者

山本 浩之 (YAMAMOTO HIROYUKI)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授
研究者番号：50210555

林 和男 (HAYASHI KAZUO)
愛媛大学・農学部・教授
研究者番号：80111839

佐々木 康寿 (SASAKI YASUTOSHI)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授
研究者番号：90154004

福島 和彦 (FUKUSHIMA KAZUHIKO)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授
研究者番号：80222256

松下 泰幸 (MATSUSHITA YASUYUKI)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・准教授
研究者番号：60335015

吉田 正人 (YOSHIDA MASATO)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・准教授
研究者番号：30242845