総説

[木材学会誌 Vol. 51, No. 1, p. 13-15 (2005)]

木材物性の現状とこれから*1

矢野浩之*2

Wood Physics*1 Past, present and future

Hiroyuki YANO*2

1. はじめに

木材物性研究は、木材の物理的性質を通じて木材を知ることを目的とする。それは、木材乾燥・加工、木質材料製造といった木材利用技術のための基礎的知見を得るためだけでなく、進化・環境適応の結果としての木材の構造とそれにより発現する物性を通じて、木質の本質を考える学問でもある。

21世紀を向かえ、再生可能な木質資源への期待はますます高まっている。それとともに物性研究には、新しい加工技術や利用領域の開拓、高い信頼性に基づく木材利用などに関係し、この二つの学問的役割を高いレベルで融合させ、従来の要素還元的な解析のさらなる深化とともに、それらを俯瞰的・統合的に解釈し、高度な応用技術へとつなげる創造的研究が求められている。本稿では、これまでの物性研究の歴史的流れを踏まえ、この点について私見を述べたい。

2. 木材物性研究の第一世代

経験的記述を離れ、木材物性を科学的、体系的に説き明かした著書は、1936年のKollmannの「TECHNOLOGIE DES HOLZES」あたりからである。その後、同じ著者により1951年に「TECHNOLOGIE DES HOLZES UND DER HOLZWERKSTOFFE」が、また、日本では1961年に梶田の編による「木材工学」

が出版される。そこには、木材の物性、加工技術に関わる、木材物性研究の第一世代とも言える研究が集約されている^{1,2)}。セルロースミクロフィブリルの構造が十分明らかになっているとは言えないながらも、すでに木材物性におけるその重要性ははっきりと認識されており、その細胞壁中での配向と関連づけて、木口面内での膨潤・収縮の異方性が論じられている。また、一定荷重下で時間と共に変形が進行する現象についての解釈が、「レオロジー」という時間をパラメータとした変形学の観点から始められている。

それからしばらくして出版されたのがStammによる「Wood and Cellulose Science」(1964年)である³⁾。本書では、水・溶媒・ガスの収着、寸法安定化処理、圧密化処理、木材中の水分拡散、乾燥、保存処理、接着と、木材やセルロースの加工、木質材料製造の基礎となる物理特性が全27章にわたり系統的に詳述されている。それらを読むと、実用的な観点から見た平衡状態での木材物性は、この時点ではほぼ把握されていることがわかる。寸法安定化や圧密化といった加工技術についても、最近の高圧下での水・熱処理による寸法安定化技術を除けば、40年経った今も、この頃とあまり変わっていない様に思う。

3. 物性研究の躍動期—第二世代—

1950年代頃から、物性研究は電子顕微鏡や種々の物理化学分析装置の発達に伴う木材の微細構造に関する新たな知識に刺激され、分子レベルから細胞壁構造に至る構造と物性の関係把握へと深化していく。その代表が木材のレオロジー研究である。

高分子材料において発達したレオロジー学が木材

*1 Received August 25, 2004; accepted September 30, 2004.

*2 京大生存圏研究所 Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Uji 611-0011

物性研究に応用され、緩和スペクトルあるいは遅延スペクトルといった観点から研究が進められると、その緩和に寄与する構造単位に興味が出てくる。高分子材料で明らかにされている構造と物性の関係を、より複雑な高次構造を有する木材において明らかにしようとする試みは、静的荷重といった長期の静的刺激から、分子や分子鎖の運動単位を反映する振動や誘電といった動的な刺激へと移り、やがて広い周波数範囲にわたって、木材における刺激応答が明らかにされた。

また、水と熱の作用による木材のレオロジー的挙動という、塑性加工、乾燥、木質材料製造やパルプ化といった幅広い領域に影響を及ぼす特性が、リグニンやヘミセルロースといった成分との関係で論じられたのも、1950年代後半から70年代後半にかけてである。荷重下でのたわみ変形が吸湿過程だけでなく、乾燥過程でも増大するといった「メカノソープティブ挙動」が*Nature*に報告されたのは1961年⁴⁾で、その後、木材固有のユニークな研究テーマとして、微細構造との関係を中心に多くの研究が行われた。

この20年間は、日本のみならず、世界においても物性研究、レオロジー研究に活気があった「木材物性研究の黄金期」である。物性研究の第二世代と位置づけられ、その頃の熱気は、いまでも論文等を通じて伝わってくる。

4. 物性研究の成熟期—第三世代—

80年代から現在までが、物性研究の第三世代である。70年代までにあらかた明らかにされた現象や理論に対して、より精緻な解釈、解析を行うべく研究がすすめられた物性研究の成熟期である。特に、成長応力やメカノソープティブ挙動、振動・音響特性については、さらに詳細な検討が進められた。一方で、それまでの木材物性学が高分子科学や複合材料科学など、他の材料科学分野からの理論の導入により発展してきたことに対し、木材ならではの物性研究の開拓を模索する研究者も少なからずいた。その一例として、高温下での急速な水分脱着過程や成分の分解を含む高圧・高温状態といった、木材の粘弾性的挙動がドラスティックに変化する領域についての研究を挙げることができる⁵⁾。

5. レオロジー研究会の試み

しかし、全体として見ると、80年代以降は物性研究者の数も減り、世界的に見ても70年代までと比べ活気に乏しい時代である。これは、定常状態についておおたの理解が進み、木材物性研究がより詳細

な検討・深化に向かうのに対し、木材加工技術、木質材料製造技術あるいは乾燥技術は、扱う樹種が多様化、未利用材からの木質材料製造、高速での木材切削、高温乾燥等、次から次へと起こる市場の要求に対応すべく即効性のある加工技術の開発に向かい、両者に乖離が生じたためと考えられる。

日本木材学会レオロジー研究会では、このような孤立感、閉塞感が漂いだした木材物性研究の現状を打破すべく、多くの研究者のコラボレートにより木材物性を俯瞰的に眺め、整理する講演会を、毎年テーマを設定して開催してきた。

平成7年度の「木にたまる力を考える」では、個別のテーマとして扱われてきた、成長応力、乾燥応力、塑性加工時の残留応力など、樹木の成長過程あるいは木材の加工過程で蓄積される様々な応力について、その絶対値、蓄積される機構を比較した。種々の応力を定量的に比較することは、それらが形成される過程だけでなく、蓄積される個所を知ることにもつながり、結果的には、それぞれの応力について理解が深まった。

個別のテーマを一つの土俵で比較して領域横断的に眺めてみる試みは、平成11年度の講演会「水の関わる木材物性—極低温から超臨界まで—」においてもなされた。水の存在下、種々の構造単位が動きやすくなった状態では、温度の上昇に伴って、水酸基の力学緩和挙動からマトリックス成分のマイクロブラウン運動、さらには超臨界における分解へと木材はダイナミックに変化していく。研究会では、この様子を多くの研究者の協力を得て明らかにするとともに、それを塑性加工、高温乾燥、木質材料製造などの応用研究を横糸に整理した。

さらに、平成13年度には、「高温乾燥」について、木材と水研究会との共同により、物性面からの解釈を試みている。乾燥研究者と物性研究者のコラボレートによる「高温乾燥」の理解を目指し、双方の言語、感覚の摺り合わせから始まり、2回にわたる研究会で、「高温乾燥」の基本的なメカニズムの整理が行われた（これらの成果は、いずれもレオロジー研究会講演会要旨集として出版されている）。

このような専門性の異なる研究者の協働は、創造的研究をインキュベートする。しかしながら、情報の共有が中心となる研究会による取り組みには限界がある。個々の研究者は、専門に深化すればするほど、その領域を抜け出た挑戦には躊躇しがちであり、特に、木材物性という、「始めに木材ありき」の研究は、他の研究分野に比べ、このような状況に陥りやすい。異なる分野の研究者と一定期間半ば強制的に研究を

進められるよう、後押しをするシステム作りが望まれる。

6. これからの物性研究について

現在の物性研究は、「非定常」、「温度・圧力・時間（周波数）の新領域」あるいは「微小部位の力学解析」といったより計測・解析あるいは解釈の困難な領域に入ってきている。特に、今後の木材利用を考えると、非定常状態の解析が重要である。生物材料として、様々な構造レベルで精緻な構造が形成されている木材では、その本質的な特性は、非定常状態においてこそ、顕著に表れると考えられるからである。ここで、非定常とは、変形であれば破壊前の非線形領域、音響であれば音の立ち上がりといった聴覚がより敏感な領域、レオロジーであれば、細胞壁中の水が急激に移動している過程あるいは水分と熱により木材成分の構造が不可逆的に変化している過程である。

現在は、技術の進歩に伴い解析困難な領域に対し多くのデータを得て、それをコンピュータを駆使して総合的に解析出来る様になりつつある。このため、非定常状態の解析でも、定常状態において明らかになった知見を整理し、それを踏まえて解析のパラメータを増やし進めていけば良いように考えがちである。しかし、その結果、非定常状態での振る舞いを特殊解的に解析できたとしても、木材が「わかった」となるだろうか。木材は複雑だからと、その解析までも複雑化し、結果的に木材が見えなくなってしまう恐れがある。

木材の本質的な特性の理解には、要素還元的な解析と共に、複雑な現象を俯瞰し、単純化し、五感を働かせてまとめ上げる努力が必要であろう。さらには、定常というステージで明らかになったことのエッセンスのみを持って、より上位に流れている非定常というステージにひょいと乗り移る創造的な仕事が必要である。

それには、上述した異なる専門性を有する研究者との協働とともに、物性研究者としては、例えば、木材の作り手である樹木に遡って考えてみる必要があると思う。長い時間をかけて行われてきた進化・環境適応の結果として今の植物、樹木があることを考えると、樹木には、その様な構造、物性を有するに至った必然がある。漠然とした言い方ではあるが、その必然を軸とし、「樹の気持ち」にたつて、なぜ木材がその様な変形挙動を示すのか、なぜ木材がその様な複合構造をとる必要があったのか、を考

えることが、複雑な現象を単純化する糸口になると思う。

さらに、木材の本質的な部分を単純明快に表す物理指標の発見あるいは概念の構築も不可欠である。木工芸に長くたずさわると、カンナを一つかけるだけで、その木材の素性「木味（きあじ）」がわかるという。我々木材研究者は、この木味を数値化するために、様々な角度から長年にわたり研究を行っているが、木味を端的に表す単純明快な材料評価指標には未だにたどり着いていない。この点において、長い時間かけて蓄積されてきた経験的知識は貴重であり、明治時代に出版された「木材の工藝的利用」⁶⁾には、今なお学ぶべき点が多い。

また、木材物性の新たな領域として、分子育種などとのコラボレートも挙げられる。木材のパルプ化を容易にするためにリグニン量を少なくする遺伝子操作が行われているが、その様な操作によって樹木がどの様に組織構造を変化させるかは、大変興味のあるところである。物性研究は、総体としての成分・構造変化の把握に役立つであろう。

7. おわりに

今日的な課題である「地球環境と人間活動の調和ある共生」といった観点からは、LCA、マテリアルフロー解析によって物性研究の進むべき方向を考えるとという手段であろう。しかし、個人的には、その様な工学的切り口に、新しいブレイクスルーを産み出す本能的な「ときめき」を感じにくい。固まりとして木材を扱う研究においては、同じ生命体としての樹木に共感あるいは愛着を覚え、木材に触れて種々の現象を解釈しようとする姿勢が大切であり、それは多くの木材研究分野の中でも、特に物性研究に特徴的なスタイルであると思っている。

文 献

- 1) Kollmann, F.: "TECHNOLOGIE DES HOLZES UND DER HOLZWERKSTOFFE", Springer-Verlag, Berlin, 1951.
- 2) "木材工学", 梶田 茂編, 養賢堂, 東京, 1961.
- 3) Stamm, A. J.: "Wood and Cellulose Science", The Ronald Press Company, USA, New York, 1964.
- 4) Armstrong, L. D., Christensen, G. H.: *Nature* **191**, 869-870 (1961).
- 5) 則元 京: 木材工業 **49**, 588-592 (1994).
- 6) "木材の工藝的利用 (復刻版)", 農商務省山林局編纂, 林業科学技術振興所, 東京, 1982.