

第6回(2026年度)リグニン学会賞
福島 和彦（名古屋大学大学院生命農学研究科）
「リグニンの形成と構造に関わる研究」

The Lignin Society Prize for 2026

Kazuhiko FUKUSHIMA

Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

“Studies on the formation and structure of lignin”

1985年3月名古屋大学農学部林産学科卒業、1987年3月名古屋大学大学院農学研究科林産学専攻博士課程前期課程修了、1990年3月名古屋大学大学院農学研究科林産学専攻博士課程後期課程修了、1990年4月名古屋大学農学部助手、1996年3月～1997年1月フランス国立農業研究機構（INRA）にて在外研究員、1997年8月名古屋大学農学部助教授、1999年4月名古屋大学大学院生命農学研究科助教授配置換え、2004年6月名古屋大学大学院生命農学研究科教授



研究の概要

リグニンは主に植物細胞壁に存在し、細胞接着や水分通道機能を付与し陸上植物が生きていく上で欠かせない成分であるが、その分布や化学構造が極めて不均一であるため、従来の研究手法では得られる情報に限界があった。受賞者はこの難題に対して、既存の学問領域の枠にとらわれない独創的な研究手法を駆使し、従来の手法では解明できなかった多くの知見を当該分野にもたらした。また、受賞者が開発した生体分子の可視化技法は、様々な研究分野との共同研究へ展開され、多くの成果に繋がった。受賞者の業績を大きく3点に分けると、リグニンの濃度や化学構造が組織や細胞壁部位により不均一であることを世界に先駆け明らかにしたこと、リグニン生合成においてコニフェリルアルコールからシナピルアルコールに至る新規経路を発見したこと、そして、イメージング質量分析法を当該分野に導入し、リグニン化学構造ならびにコニフェリンのような可動性低分子化合物の分布可視化に成功したことが挙げられる。

1. リグニン化学構造の選択的標識と不均一構造の可視化

リグニンの不均一な形成過程を、放射性同位元素によるリグニン構成単位を選択的標識とマイクロオートラジオグラフィーにより可視化する技法を用いて、生合成的見地から動的に解析した。数種の広葉樹新生木部において、放射性同位体で標識したモノリグノール配糖体を投与し短時間代謝させるとリグニン構成単位を選択的標識ができることを見出し、道管や複合細胞間層においては p -ヒドロキシフェニル(H)及びグアイアシル(G)リグニンが細胞壁分化段階初期に沈着し、木繊維二次壁においてはシリングル(S)リグニンが分化段階後期に沈着するという普遍的な規則が広葉樹全般にあてはまることを見出した¹⁾。また、芳香核5位をトリチウムで標識したモノリグノール配糖体をクロマツ、イチョウの新生二次木部に投与した結果、分化段階初期において縮合型構造(炭素同士の結合)に富むGリグニンが複合細胞間層で生成し、後期においては β -O-4型構造(エーテル結合)に富むリグニンが仮道管二次壁において生成することを明らかにした^{2,3)}。

2. リグニン生合成における新規経路の発見

放射性同位元素で標識したコニフェリンを投与して代謝期間を長くすると S リグニンへの変換が認められたので⁴⁾、ヒドロキシシナミルアルコールの段階で G から S 単位に変換する経路が存在することに着目し、安定同位体で標識したコニフェリルアルコールの挙動を詳細に追跡することにより、シナピルアルコールへと転換する新規代謝経路を発見した⁵⁾。

3. 顕微質量分析によるリグニン及びリグニン前駆物質のケミカルマッピング

世界に先駆けて飛行時間型二次イオン質量分析 (TOF-SIMS) を用いて、従来の方法では困難であったリグニンの未処理、迅速な解析を可能とした⁶⁾。さらに、細胞レベルでのリグニン構成単位のケミカルマッピングにも成功した⁷⁾。また、受賞者はモノリグノール配糖体のような可動性低分子成分の存在位置を可視化するために、凍結固定試料の TOF-SIMS 分析を可能とする特殊な前処理システムを開発した。この方法を用いてコニフェリンおよびシリンジンなど可溶性かつ可動性の低分子前駆体の細胞内局在を可視化し、それらの蓄積する時期や部位がリグニンの形成と密接に関係していることを示し、これらが樹木中でリグニンの真の前駆体として働いていることを明らかにした^{8,9)}。また、圧縮材部を対象に、*p*-グルコクマリルアルコールを含むモノリグノール配糖体などの分布やリグニンの形成活性、リグニンの化学構造を統合的に解析し、これら前駆体の分布や取り込み様式がリグニン構造の多様性と関連することを示した¹⁰⁾。これらのことは、前述のトレーサー実験の結果を支持し、モノリグノール配糖体がモノリグノールの貯蔵・輸送形態として機能することを結論付けた。

- 1) Kazuhiko Fukushima and Noritsugu Terashima: Heterogeneity in formation of lignin. XIII. Formation of *p*-hydroxyphenyl lignin in various hardwoods visualized by microautoradiography. *J. Wood Chem. Technol.*, **10**, 413–433 (1990). <https://doi.org/10.1080/02773819008050250>
- 2) Kazuhiko Fukushima and Noritsugu Terashima: Heterogeneity in formation of lignin XIV. Formation and structure of lignin in differentiating xylem of *Ginkgo biloba*. *Holzforschung*, **45**, 87–94 (1991). <https://doi.org/10.1515/hfsg.1991.45.2.87>
- 3) Kazuhiko Fukushima and Noritsugu Terashima: Heterogeneity in formation of lignin — XI: An autoradiographic study of the heterogeneous formation and structure of pine lignin. *Wood Sci. Technol.*, **22**, 259–270 (1988). <https://doi.org/10.1007/BF00386021>
- 4) Naoyuki Matsui, Fang Chen, Seiichi Yasuda, and Kazuhiko Fukushima: Conversion of guaiacyl to syringyl moieties on the cinnamyl alcohol pathway during the biosynthesis of lignin in angiosperms. *Planta*, **210**, 831–835 (2000). <https://doi.org/10.1007/s004250050686>
- 5) Fang Chen, Seiichi Yasuda, and Kazuhiko Fukushima: Evidence for a novel biosynthetic pathway that regulates the ratio of syringyl to guaiacyl residues in lignin in the differentiating xylem of *Magnolia kobus* DC. *Planta*, **207**, 597–603 (1999). <https://doi.org/10.1007/s004250050523>
- 6) Kaori Saito, Toshiyuki Kato, Hitomi Takamori, Takao Kishimoto, and Kazuhiko Fukushima: Identifying the characteristic secondary ions of lignin polymer using ToF-SIMS. *Biomacromolecules*, **6**, 678–683 (2005). <https://doi.org/10.1021/bm050147o>
- 7) Kaori Saito, Yoko Watanabe, Manabu Shirakawa, Yasuyuki Matsushita, Tokanori Imai, Takayoshi Koike, Yuzou Sano, Ryo Funada, Kazumi Fukazawa, and Kazuhiko Fukushima: Direct mapping of morphological distribution of syringyl and guaiacyl lignin in the xylem of maple by time-of-flight secondary ion mass spectrometry. *Plant J.*, **69**, 542–552 (2012). <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04811.x>
- 8) Dan Aoki, Yuto Hanaya, Takuya Akita, Yasuyuki Matsushita, Masato Yoshida, Katsushi Kuroda, Sachie Yagami, Ruka Takama, and Kazuhiko Fukushima: Distribution of coniferin in freeze-fixed stem of *Ginkgo biloba* L. by cryo-TOF-SIMS/SEM. *Sci. Rep.*, **6**, 31525 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep31525>
- 9) Dan Aoki, Wakaba Okumura, Takuya Akita, Yasuyuki Matsushita, Masato Yoshida, Yuzou Sano, and Kazuhiko Fukushima: Microscopic distribution of syringin in freeze-fixed *Syringa vulgaris* stems. *Plant Direct*, **3**, 1–8 (2019). <https://doi.org/10.1002/pld3.155>
- 10) Naoki Maeda, Dan Aoki, Syunya Fujiyasu, Yasuyuki Matsushita, Masato Yoshida, Hideto Hiraide, Hayato Mitsuda, Yuki Tobimatsu, and Kazuhiko Fukushima: The distribution of monolignol glucosides coincides with lignification during the formation of compression wood in *Pinus thunbergii*. *Plant J.*, **121**, e17209 (2025). <https://doi.org/10.1111/tbj.17209>