

第4回（2024年度）リグニン学会賞  
梅澤 俊明（京都大学生存圏研究所）  
「リグニン及び関連化合物の生合成と生分解」

The Lignin Society Award for 2024

Toshiaki UMEZAWA

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Biosynthesis and biodegradation of lignin and related compounds

1980年3月京都大学農学部林産工学科卒業，1982年3月京都大学大学院農学研究科林産工学専攻修士課程修了，1982年4月京都大学木材研究所助手，1993年4月京都大学木質科学研究所助教授，2005年7月京都大学生存圏研究所教授，2023年4月京都大学名誉教授，京都大学生存圏研究所特任教授



研究の概要

受賞者は、大学院学生時代以来一貫してリグニン及び関連化合物の生合成と生分解に関する研究に従事してきた。リグニンの微生物分解に関する研究では、リグニンペルオキシダーゼによるリグニンの側鎖分解と芳香核開裂の反応機構を詳細に解明し、当該分野の体系化に貢献した。リグニン及び関連化合物の生合成に関する研究では、大型イネ科植物のリグニン特性解析を進めると共に、イネ科植物特有のリグニン生合成経路を発見する等、イネ科植物のリグニン生合成研究の進展に貢献した。また、リグニンの増量や構造単純化を図るイネの代謝工学とソルガムの育種を進め、得られた成果の社会実装に向けた国際共同研究を推進した。さらに、リグニンを始めとするリグニン関連化合物の生合成機構解明を進め、リグニン及び関連化合物の生合成機構の体系化に貢献した。

1. リグニンの微生物分解機構の解明

木質バイオマスの地球上における分解サイクルの基盤とリグニンの微生物変換への基盤を解明するため、二量体から合成リグニンに至る種々のリグニンモデル化合物を用い、白色腐朽菌によるリグニン分解の反応機構の解明に関する研究を進めた。特に、酵素によるリグニン芳香核開裂反応を初めて同定する等、リグニンペルオキシダーゼによるリグニン側鎖の分解機構並びに芳香核開裂反応機構を安定同位体標識実験に基づき詳細に解明した<sup>1)</sup>。

2. リグニン生合成と代謝工学

樹木を凌ぐ高いリグノセルロースバイオマス生産性を示す大型イネ科植物の重要性に着目し、迅速リグニン評価分析系を確立すると共に、大型イネ科植物のリグニン特性解析を進めた。さらに、イネをモデル植物として用いることにより、イネ科植物に特有のリグニン生合成代謝経路を発見する等、イネ科植物におけるリグニン生合成機構の解明と体系化に貢献した<sup>5-9)</sup>。次いで、リグニンの積極的利用を目指したリグニンの増量や構造単純化を図るイネの代謝工学並びにイネ科実用植物ソルガムの選抜育種を実施した<sup>10)</sup>。さらに、これらの成果の社会実装を目指し、熱帯荒廃草原の植生回復とバイオマス生産地への転換に有効なソルガムの育種に関する国際共同研究を推進した。また、リグニン改変組換え植物を活用したリグノセルロース超分子構造の解析も進めた。

### 3. リグニン関連化合物の生合成

リグニンと生合成的に近縁関係にあり、抗腫瘍性等の有用生理活性を示すものが多いリグナンや、ノルリグナン、ネオリグナン等のフェニルプロパノイド二量体は、一般に光学活性を有し生合成過程が立体化学的に厳密に制御されている。これに対し、リグニン生合成過程は立体化学的に制御されておらず、この立体化学的制御機構の差異について、古くからリグニン化学者を含む多くの植物化学者の多大な興味を引いてきた。以上の背景の下で、フェニルプロパノイド二量体の生合成機構、特に立体化学制御機構の解明を進め、それらの生合成に関わる多くの新規酵素の同定と機能解明に貢献した<sup>2-4)</sup>。特に、リグナン生合成における基質のエナンチオマーの選択性に関する機構の詳細解明<sup>2-3)</sup>、ノルリグナン生合成における異なる酵素サブユニット組成を鍵とする特異な立体化学制御機構の発見<sup>4)</sup>、理化学研究所との共同研究によるネオリグナン生合成における立体化学制御に関わるディリジェントタンパク質と酸化酵素ラッカーゼの同定等の成果を挙げた。これらの成果に基づき、リグニン生合成とフェニルプロパノイド二量体の生合成における立体化学制御機構の統一的な理解が可能となった。

- 1) Umezawa, T., Higuchi, T., Mechanism of aromatic ring cleavage of  $\beta$ -O-4 lignin substructure models by lignin peroxidase, *FEBS Lett.*, **218**, 255–260 (1987)
- 2) Umezawa, T., Davin, L.B., Lewis, N.G., Formation of the lignan, (-)-secoisolariciresinol, by cell free extracts of *Forsythia intermedia*, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **171**, 1008–1014 (1990)
- 3) Nakatsubo, T., Mizutani, M., Suzuki, S., Hattori, T., Umezawa, T., Characterization of *Arabidopsis thaliana* Pinorensinol Reductase, a new type of enzyme involved in lignan biosynthesis, *J. Biol. Chem.*, **283**, 15550–15557 (2008)
- 4) Yamamura, M., Suzuki, S., Hattori, T., Umezawa, T., Subunit composition of hinokiresinol synthase controls enantiomeric selectivity in hinokiresinol formation, *Org. Biomol. Chem.*, **8**, 1106–1110 (2010)
- 5) Koshihara, T., Yamamoto, N., Tobimatsu, Y., Yamamura, M., Suzuki, S., Hattori, T., Mukai, M., Noda, S., Shibata, D., Sakamoto, M., Umezawa, T., MYB-mediated upregulation of lignin biosynthesis in *Oryza sativa* towards biomass refinery, *Plant Biotechnol.*, **34**, 7–15 (2017)
- 6) Takeda, Y., Koshihara, T., Tobimatsu, Y., Suzuki, S., Murakami, S., Yamamura, M., Rahman, Md. M., Takano, T., Hattori, T., Sakamoto, M., Umezawa, T., Regulation of *CONIFERALDEHYDE 5-HYDROXYLASE* expression to modulate cell wall lignin structure in rice, *Planta*, **246**, 337–349 (2017)
- 7) Takeda, Y., Tobimatsu, Y., Karlen, S.D., Koshihara, T., Suzuki, S., Yamamura, M., Murakami, S., Mukai, M., Hattori, T., Osakabe, K., Ralph, J., Sakamoto, M., Umezawa, T., Downregulation of p-*COUMAROYL ESTER 3-HYDROXYLASE* in rice leads to altered cell wall structures and improves biomass saccharification, *Plant J.*, **95**, 796–811 (2018)
- 8) Takeda, Y., Suzuki, S., Tobimatsu, Y., Osakabe, K., Osakabe, Y., Ragamustari, S.K., Sakamoto, M., Umezawa, T., Lignin characterization of rice *CONIFERALDEHYDE 5-HYDROXYLASE* loss-of-function mutants generated with the CRISPR/Cas9 system, *Plant J.*, **97**, 543–554 (2019)
- 9) Miyamoto, T., Takada, R., Tobimatsu, Y., Takeda, Y., Suzuki, S., Yamamura, M., Osakabe, K., Osakabe, Y., Sakamoto, M., Umezawa, T., *OsMYB108* loss-of-function enriches p-coumaroylated and triclin lignin units in rice cell walls, *Plant J.*, **98**, 975–987 (2019)
- 10) Miyamoto, T., Takada, R., Tobimatsu, Y., Suzuki, S., Yamamura, M., Osakabe, K., Osakabe, Y., Sakamoto, M., Umezawa, T., Double knockout of *OsWRKY36* and *OsWRKY102* boosts lignification with altering culm morphology of rice, *Plant Sci.*, **296**, 110446 (2020)