

# Hitz バイオマス開発共同研究講座

大阪大学大学院工学研究科

Hitz バイオマス開発共同研究講座 招へい教授

中澤慶久

## 1. はじめに

本共同研究講座は Hitz 日立造船と大阪大学大学院工学研究科との間で設立した生物資源の利用に関するバイオマス開発の共同研究講座である。当講座の発足は、1999 年より開始した NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の植物科学プログラム（植物物質生産プログラム / 植物機能改変プログラム）による 11 年間の共同研究が起源となっている。そして、産業化へと結びつけるため、2010 年 1 月に当共同研究講座の設立となった。講座の特徴は、植物バイオマス資源の工業利用に関する技術開発である。対象としているバイオマス資源は、木本植物のトチュウ（杜仲：*Eucommia ulmoides*）である。同種は、高純度のトランス型ポリイソプレン（TPI、製品名：トチュウエラストマー）を温帯圏で産生する機能を有し、次世代バイオマス資源として期待されている。このバイオマス資源の機能探査のため 11 年という長期基礎研究が実施され、TPI の生合成研究、遺伝子解析、遺伝子組換えによる合成酵素の機能評価、細胞生物学的評価、

ハイスループット分析技術の開発という基盤技術を構築している。この成果は、「生化学の七不思議」とされてきたゴムの生成機構を解くこととなった。また、2008 年には提案公募型 ODA 事業（NEDO）により、持続可能かつ環境負荷の少ない生産技術開発によって、トチュウエラストマーの量産化実証試験を中国大陸の黄土高原で検証しパイロット生産の段階に達している。図 1 は共同研究講座設立までの経緯と状況を俯瞰したものである。

現在、当共同研究講座では新規用途開発や原料安定供給のために必要な技術開発を行い、トチュウエラストマーの高機能化学合成素材および高付加価値素材の開発を目指している。更に、国家プロジェクトによる産業用化学物質のリファイナリー開発に取り組んでいる。また、グリーンポリマーとして、工学研究科の情報やリソースを活用した新製品（性能）の探査を目的とした産業用途開発に取り組んでいる。本稿は、国家プロジェクトによる共同研究から産業化という、日立造船と大阪大学の取組について紹介する。

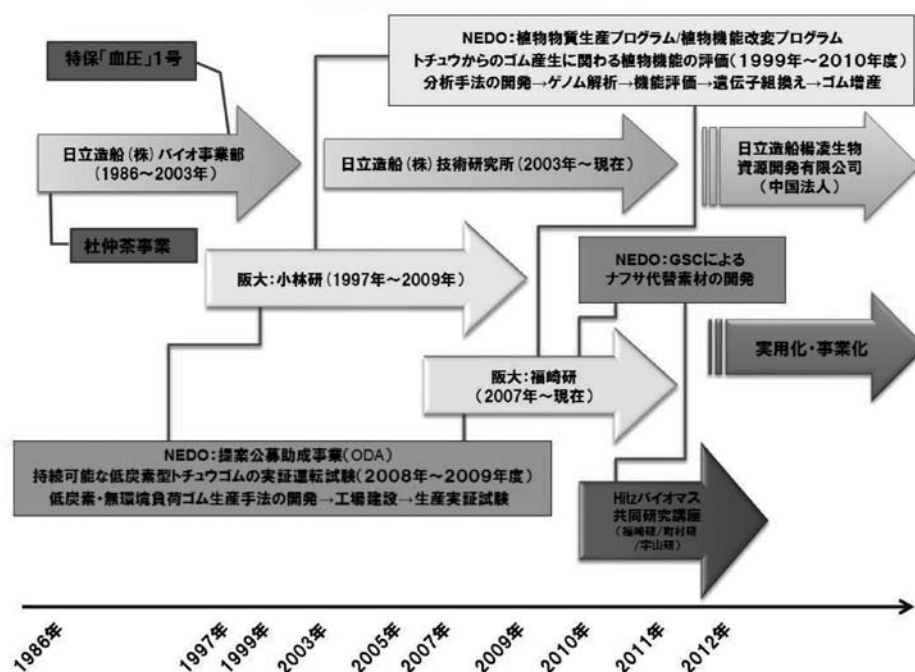


図 1 日立造船と大阪大学の共同研究（共同研究講座設立までの俯瞰図）

## 2. トチュウバイオマス

トチュウは中国原産の木本植物であり、固形・繊維状の高分子 ( $10^6\text{M}$  超) TPI を高純度で含有する<sup>1)</sup>。TPI の長鎖合成反応は困難であり、バイオマス資源より調達することが現実的である。また、樹皮が生薬原料として用いられ、葉は茶葉原料および特定保健用食品の機能成分として利用される特用樹木である。

中国中南部原産であり、標高 2,500m 以下に自然分布する落葉性の高木である。クロンキスト分類ではトチュウ科 1 属 1 種とされるが、APG 植物分類では、ガリア目トチュウ科である。雌雄異株の風媒受精であり、ニレ科種子に似た分果の翅果形態である。トチュウの特徴は、目視できる全草の TPI である。学名の *Eucommia* は、ラテン語の「Eu: 良質の」「*commia*: ゴム質の」という形態特徴を示している。トチュウの分類と分布などを図 2 に示した。



図 2 トチュウの分類と分布

また、中国では現存する野生種の多くが 1970 年代に伐採され、1980 年代には絶滅危惧種に指定されている。しかし、退耕還林政策や農民の自主的造林により、栽培面積は 20 万 ha に達している。

トチュウエラストマーの原料は、種子の果皮を用いるため、種子生産を目的とした栽培林が必要である。そのため、種子の多産系統を選抜育種し、栄養繁殖によって種子多産系統の栽培に成功している。この手法により、雌性制御による種子生産性を高めることに成功しており、大規模に種子バイオマスを取得することが可能となった(図 3)。

天然ゴムは、熱帯圏にてプランテーションされるが、トチュウは温帯域や寒冷地でも生育するなどの地球上の耕地面積を広く利用できる特徴を有する。この広範

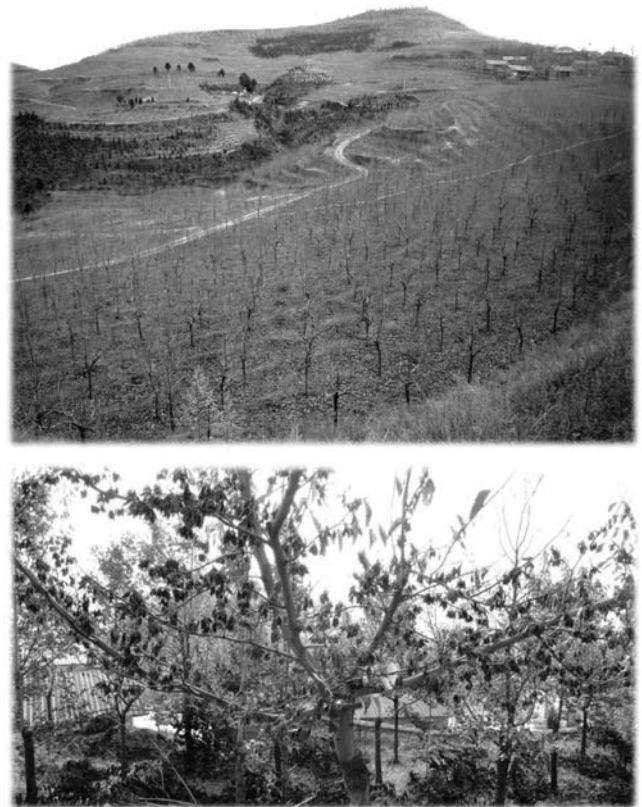


図 3 トチュウ大規模栽培林 (中国)

圃な栽培適応帯と乾燥帯(雨量 600mm/ 年程度)でも生育することから、温帯圏の乾燥荒地(黄土高原など)への適応種として植林 CDM (Clean Development Mechanism) の可能性を検討している。昨年メキシコで開催された COP16 では、環境省のポスター展示として植林 CDM の公開を行った(図 4)。本成果も共同研究講座の研究成果である。

## 3. トチュウエラストマー

植物の産生する長鎖ポリイソプレンは、シス型ポリイソプレン (CPI) と TPI に分かれる。CPI 産生植物は多くの植物種が存在し、中でもパラゴムノキ (*Hevea brasiliensis*) の CPI は天然ゴムとして産業界必須の原料ゴムである。

TPI については、トチュウ、グッタペルカノキ (*Palaquium gutta*)、バラタゴムノキ (*Mimusops balata*) など少数の植物から産生される。*P. gutta* 由来の TPI はカメラのグリップ部や歯科材料の根管充填材として使用されてきたが、ナフサから化学的に代替され、化成品や医薬品原料として使用されている。その他、TPI は低融点、高弾性を示す熱可塑性エラストマーで絶縁体の特徴を持っている。

Kew bull.<sup>2)</sup> にはトチュウを Gutta-percha from a

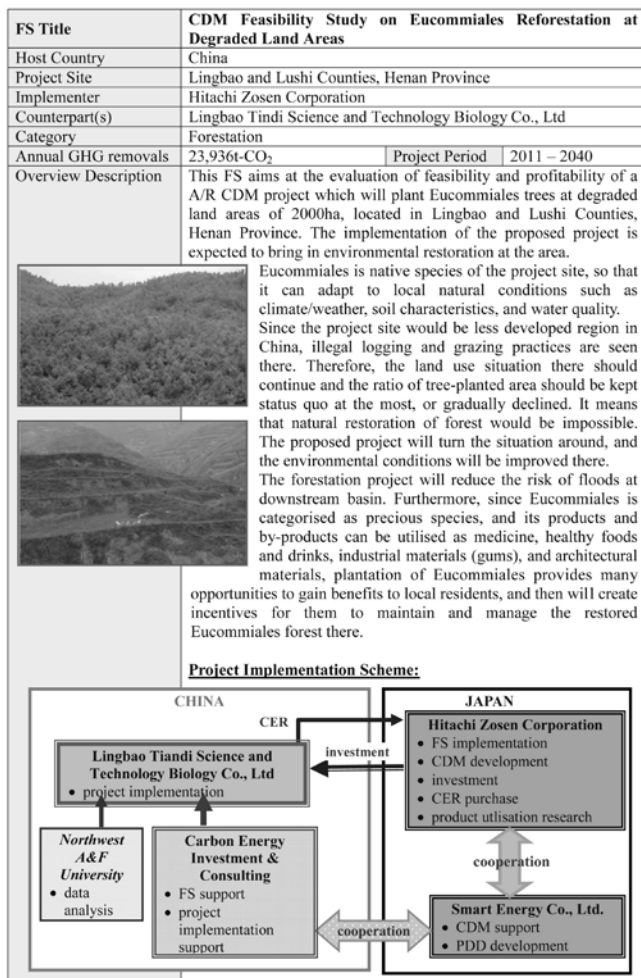


図4 COP16でのポスター展示（環境者ブース）

Chinese tree と呼び、当時ゴルフボールとして利用されていた *P. gutta* から産生された Gutta-percha と同じとされてきた。しかし、*P. gutta* から産生されるゴムは乳液状であり、トチュウからは固形状であることから、Bamba ら<sup>3,4)</sup>はトチュウゴム (Eucommia-Rubber: EU-rubber) と区別している。当講座では、トチュウから産生される鎖状 TPI を EU-rubber として定義しており、Gutta-percha とは区別している。更に、EU-gum という記載<sup>5)</sup>もあるが、これは葉より加工された夾雑物の多い低分子 TPI ( $\overline{Mn}=6.0 \times 10^3$ ) として位置付けしている。そして、Eu-rubber は商用で用いる際の商標として、トチュウエラストマー (Eucommia-elastomer) と称している。

トチュウエラストマーの化学的特性について、サイズ排除クロマトグラフ (SEC) による分子量分布プロファイルの相違点を化学合成 TPI (シグマ発売) 比較し図5に示した。

前者は、高分子領域を中心とした峰型の分子量分布であり、後者の分子量分布は低分子から高分子の広範囲 TPI で構成される。両者は同一の化学構造である

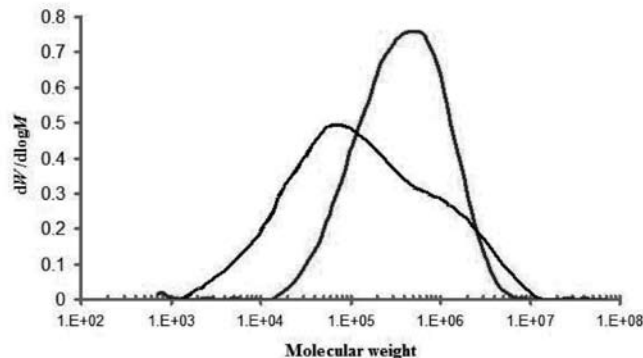


図5 トチュウエラストマーと合成 TPI の分子量分布特性  
トチュウエラストマー (右) の場合は分子量がシャープであり、市販品 TPI (左) はブロード

鎖長特性の違いに特徴がある。両者の機能の違いについて、単用で用いられることは少ないため機能評価は困難である。目的の機能により様々な化合物と配合されるため「混ぜてみなければ分からない」というのが正確な回答である。更に、後者から前者を分画することも可能であるが、精製コストは高額となる。また前者については、上記の分子量分布以外に重合反応物が存在しており、分子量分布のみから機能性を判断することは困難である。

トチュウエラストマーの特性をあげると、①植物由来の TPI について安定量産化技術開発を確立している。②分子量分布は合成型 TPI と違う高分子領域である。③天然化合物である故の重合反応物が混在する。④トチュウエラストマーは鎖長末端がアシル化して停止しており、動物試験による PCA 反応試験等から低アレルギーである。⑤物理化学的特性として、低温での熱可塑性があり、可塑剤を含まない状態でも形成加工が容易である。引張り強度、耐摩耗性、耐振動吸収性について、天然ゴムより優れていることが立証されている。

#### 4. トチュウエラストマーの安定生産

前述のとおり、トチュウエラストマー原料は種子の果皮である。この器官は  $10^6$ M に達する高分子 TPI を 30% 程含有する。TPI の抽出方法の定石は有機溶媒による手法であり、大規模工業生産には適している。しかし、栽培地の多くが山間部であることや、有機溶媒による環境負荷も高く、設備投資が必要である。そこで、上記の問題を回避する新規抽出法として、生物学的手法による TPI 抽出法の開発を行った。本手法は、果皮を木材腐朽菌等により植物組織を崩壊させたのち、水洗によって取得する手法である。本開発は、先

に述べた NEDO 助成による ODA により実証試験を実施した。現在では、製造手法を改良してパイロットプラントの製作に取りかかっている。図 6 は、腐朽分解法により取得したトチュウエラストマーである。



図 6 トチュウエラストマー

トチュウエラストマーの生産は、日立造船の独資による中国法人（日立造船楊凌生物資源開発有限公司：本年 6 月設立）にて実施する方針である。同法人は、中国・陝西省楊凌区の農業ハイテク師範区に 3ha の用地を確保して、トチュウエラストマーの生産試験から遺伝子組換えによる品種改良を予定している。原料の育種から自社栽培農園の運営、原料から生産、販売までを一貫した事業として取り組んでいる。

## 5. Hitz バイオマス開発共同研究講座

当講座は、工学研究科生命先端工学専攻の福崎英一郎教授をメンター講座として、福崎教授（兼業）、馬

場准教授（兼業）、町村准教授（兼業）、運営スタッフとして招へい教授 1 名、特任准教授 1 名、特任助教 1 名、招へい研究員 15 名で構成されている。常勤者 13 名であり、うち 5 名は中国法人の開発を兼業している。現在は、トチュウエラストマーの事業化という観点で取り組んでいるが、将来はバイオマスの生物工学的研究および環境関連技術開発に関して、代謝物解析にも取り組み、生産性・分解性などの諸情報を取得すると同時に、日立造船におけるバイオ領域の開発基盤を担う組織を目指している。

## 6. おわりに

トチュウエラストマーにご興味のある方は、お気軽に申し付け下さい。当共同研究講座ではアライアンス開発によるトチュウエラストマー用途開発に取り組んでいます。

（電話 / FAX : 06-6879-4165）

（e-mail : nakazawa@bio.eng.osaka-u.ac.jp）

### <参考文献>

- 1) Archer, B. L. and Audley, B. G.. *Phytochemistry*, 1973, 2, 310-43
- 2) Anonymous. *Kew Bull*: 1901, 89-94
- 3) Tangpakdee, Jitladda et al. *Phytochemistry*, 1997, 45(1), 75-80
- 4) Bamba T. et al. *Planta*, 2002, 215 (6) , 934-9
- 5) Yan R-F. "China Forestry Publishing House publisher", 1999, 102-110.

(学界)