

高生産性エネルギー環境植物の分子育種

実施予定期間：平成20年度～平成22年度
代表機関：国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科
代表者：横田 明徳
国内参画機関：株式会社植物ハイテック
代表者：富澤 健一
国内参画機関：国立大学法人琉球大学農学部
代表者：川満 芳信
国外参画機関：インドネシア共和国 ボゴール農業大学
代表者：Sony Suharsono
国外参画機関：ボツワナ共和国 農務省農業研究部
代表者：Stephen Majara Chite

I. 概要

地球環境を保全するためには植物の力を利用した循環型の次世代技術開発が急務である。本研究では油脂生産性に優れたヤトロファ植物に着目し、これにアフリカ・カラハリ砂漠の野生有用遺伝子資源等を導入することで、植物生産性を高めた遺伝子組換えヤトロファ植物を創出する。更に、得られたヤトロファ植物をインドネシアおよびボツワナで生産性評価実験するシステムを構築し、実用化に向けた機能評価を行なう。

1. 研究の目的

悪化の一途をたどる地球規模の環境破壊、温暖化およびエネルギー危機に対処するため、植物の力を利用した循環型のバイオ燃料技術開発が焦眉の急である。ヤトロファ熱帯樹はその植物生産性に優れるのみならず、種子内油脂生産性が驚異的に高く、熱帯から亜熱帯にかけての荒廃地・サバンナ砂漠等の緑化とバイオディーゼル燃料（BDF）次世代型原料の本命として期待されている。本研究では、(i) ヤトロファの栽培経験の長いインドネシアで荒廃地・サバンナ砂漠の緑化に適した精鋭樹を選定し、(ii) アフリカ・ボツワナ共和国のカラハリ砂漠に自生する野生植物等が有する有用遺伝子資源を利用し、高生産性ヤトロファ熱帯樹を分子育種する。さらに、(iii) インドネシアおよびボツワナ育種圃場における分子育種植物機能評価システムを構築し、バイオ燃料生産基地に向けた基盤整備を行なう。これらの技術開発および産業システム構築を通じて、地球上の荒廃地緑化と代替石油原料生産基地化のための基盤整備を行なうことを目的とする。

2. 研究内容

ヤトロファ (*Jatropha curcas* L.、和名：ナンヨウアブラギリ)はトウダイグサ科 (Euphorbiaceae) の顕花植物で、その種子は毒性を持ち、30～40%の低温融解性油脂を含む。油脂生産性は1.75 トン/ha/年で、ダイズ油脂の10倍程度である。高温多湿を好むが、環境ストレスに強く半乾燥地での生育も可能である。本プロジェクトにおいては、我々がこれまでの研究で見出した作物生産性3倍強化遺伝子群をヤトロファ植物に導入してその生産性を飛躍的に向上させ、生産栽培地においてその評価を行うものである。

ヤトロファは遺伝的多様性が大きく、本プロジェクトを進めるに当たっても生産栽培地に適合する精鋭樹の選

定が重要である。本プロジェクトでは、生産栽培地としてインドネシアとボツワナを選び、これらの地域に適合する樹種を選別する。

選別された樹種に対して、遺伝子導入系の確立のためにヤトロファ植物の再分化系を確立する。この系を用い、ヤトロファの核および葉緑体形質転換系の開発を行い、光合成二酸化炭素固定活性を促進させる FBPase/SBPase 遺伝子や、乾燥・強光ストレス耐性遺伝子として原始紅藻の APX 遺伝子、また根生長を促進させる DRIP-49 遺伝子を導入する。作製された形質転換体を用い、熱帯植物育成装置および隔離温室にて機能評価を行うとともに、遺伝子組換え植物隔離圃場試験に向けた安全性評価を行う。

これらの一連の分子育種とその機能評価の研究と並行して、沖縄本島ならびにインドネシアとボツワナでは、それぞれの国内での遺伝子組み換え植物栽培圃場の整備ならびに法律上の許可を取得する。形質転換ヤトロファの作出が完了出来次第、直ちにそれぞれの栽培地での栽培試験と、年3回の収穫に向けた栽培管理法の確立を図る。

3. 国外参画機関の参画

インドネシア、ボゴール農業大学は2007年、奈良先端大学院大学との間で学術交流協定を締結した。生物資源・バイオテクノロジー研究センターは Sony Suharsono 所長の下、インドネシアの有する生物資源をバイオテクノロジーにより高度利用する研究を展開している。既に本学で博士号を取得した Ututto Suharsono 博士を中心に、インドネシア政府の依頼でヤトロファ植物を使った荒廃地緑化の基礎研究を進めている。

ボツワナ共和国農務省研究部は、アフリカ・カラハリ砂漠の野生植物の系統化を長年にわたり進めてきており、環境ストレス耐性に優れた砂漠植物資源を数多く収集しているほか、その系統分類及び生態に関する貴重なデータを蓄積している。当研究部は2005年より奈良先端大学院大学と国際共同研究協定を締結し、カラハリ砂漠の緑化を目指して自然環境における野生植物遺伝子資源の探索を開始している。

4. 政策的ニーズ

化石燃料の高騰を受け、地下資源の枯渇を待たずして次世代エネルギーの確保が地球レベルでの最重要課題になってきた昨今、植物バイオマスへの期待が飛躍的に増しつつある。インドネシアやボツワナなどでの日照量は我が国と比べ計り知れず、ヤトロファ栽培に最適である。これらの諸国は荒廃地やサバンナ砂漠で覆われており、本プロジェクトの進展は国土緑化とバイオディーゼル燃料 (BDF) 原料生産という二つの国是を満足するものである。また我が国にとって、石油代替目的の BDF 生産は二酸化炭素放出権取引に役立つ。

また、アフリカ南部砂漠地帯は多くの植物が種として確立してからの数千万年間、乾燥、高温地帯であった。これらの地域にはストレスに対して驚異的な耐性を示す野生植物が多数存在しているが、それらの持つ有用遺伝子資源は全くの未利用となっている。実際、これらの地域に位置する諸国では、その資源の高度有効利用のために、先端科学技術導入が非常に重要であるとの認識が強固である。ボツワナ共和国は、国土の大半を占めるカラハリ砂漠の緑化

と農業近代化および換金作物導入を重要政策課題と位置付け、未利用の植物遺伝子資源の開拓に力を入れている。

5. 共同研究内容の先端性

油脂植物であるヤトロファは米国のトウモロコシやブラジルのサトウキビに比して環境二酸化炭素の利用率が数倍高く、国際的に注目されている。しかし、現状のヤトロファの年間生産量は 8 トン/ha に過ぎず、他植物と比べ生産性において強力であるとは言えない。

一方、我々はこれまでの研究で、植物生産性をタバコで 70%、ジャガイモで 300% 向上させる遺伝子セットを発見した。本研究は我々の持つこの生産性向上遺伝子セットを中心に、国際競争力において他国に勝るヤトロファ植物を分子育種し、荒地等を緑化しつつ地球規模でのエネルギー問題に対応しようとするものである。

6. 制度の付加価値

我々が計画している研究開発は、分子育種による植物の生産性改良研究である。この研究開発で使用予定の遺伝子や国際的な関係は、我々のこれまでの研究成果によるものである。今回募集の本制度は、国際協力のために各省庁が連携し、地球規模の課題解決へ日本が貢献するという、日本の 21 世紀型の国際貢献を具体化するものとなっている。この新制度の将来に大いに期待している。

7. 過去の蓄積

インドネシア、ボゴール農業大学生物資源・バイオテクノロジー研究センター：

平成 19 年 7 月にボゴール農業大学 Ahmad Ansori Mattjik 学長、および同大学生物資源・バイオテクノロジー研究センターの Sony Suharsono 所長らの訪問を受け、本学との間で大学間学術交流協定が締結された。ボゴール農業大学は、同国における農業政策・研究に関して最高の学術水準を有する大学である。奈良先端大で博士学位を取得した Ututto Suharsono 博士が、同国においてヤトロファ基礎研究の陣頭指揮を執っている。今回の申請研究に当たり、情報と意見交換を頻繁に行ない、企画を進めている。ボツワナ農務省農業研究部：

野生植物の環境ストレス応答に関する研究を開始するに当たり、原産地であるカラハリ砂漠を持つボツワナ共和国との連携を開始した。平成 17 年 2 月、現安田國雄学長（当時は副学長）らがボツワナ共和国農務省を訪れ、共同研究契約を締結した。さらに日本学術振興会のアジア・アフリカ学術基盤形成事業を受託し、平成 19 年度までの 3 年間、「ポストゲノミクス研究によるカラハリ砂漠資源野生植物の高度利用基盤の確立」を目指して研究活動を行ってきた。これまで、毎年、双方向の訪問滞在による共同研究を行い、のべ 11 名のボツワナ若手研究者を奈良先端大学に招き研究技術訓練を行ってきた。また、平成 19 年 11 月には理化学研究所横浜研究所にて、国際シンポジウム「Toward Advanced Use of African Resources in Plant Science」を共同開催した。その後在京ボツワナ共和国大使館オスカー・モツワハエ大使を表敬訪問し、これまでの支援に感謝の意を表するとともに今回募集の「国際共同研究の推進」応募への協力を要請し、快諾を得た。

8. 研究の背景等

(1) 国内外の研究状況

ヤトロファは、トウモロコシやサトウキビに代わるバイオ燃料植物として、世界的に大きく注目されている植物である。諸外国の取り組みは、ヤトロファ精鋭樹種をスクリ

ーニングし、広大な土地を使って生産する方法が考えられている。ヤトロファの生産性を飛躍的に改良する分子育種の試みは本プロジェクトを除いて他になく、その意味において本研究で提案する研究企画は世界を凌駕するものである。

(2) 提案にいたる準備・調査等

本提案を行うに当たり、ヤトロファ植物の詳細やバイオ燃料生産の現状と問題点について詳細に調査した。特に、世界における植物バイオマス生産における中心研究者の一人であり、米国の科学技術政策決定に大きな影響力を持つカーネギー研究所所長の Sommerville 博士とは直接議論し、将来の方向について議論した。

9. 生命倫理・安全面への配慮について

遺伝子組換え植物の作出と利用に関しては、厳密な安全対策および倫理性の確保を図る予定である。奈良先端大は最新の安全設備を配した閉鎖系組換え植物温室を備えており、国内および国際法規を厳守しながら最新の研究活動を行なう運営ノウハウを蓄積している。本プロジェクトが計画する沖縄本島、インドネシアおよびボツワナにおける屋外実験隔離圃場の整備および運営においては、各国内および国際法規を厳守し、安全性および倫理性を確保すると共に、国内外の専門家から適切な助言を受ける予定である。さらに、周辺住民および関係省庁、自治体との相互連絡体制および情報透明性を確保する。

10. 実施体制

奈良先端大学院大学は、本プロジェクトの総括責任を担う。また、ボツワナ共和国農務省研究部と連携して、野生植物の有用遺伝子資源の選抜および機能評価を行う。さらに、ヤトロファ植物の形質転換系の開発を担当し、根の発達促進遺伝子 DRIP-49 をこの植物に導入し、得られた形質転換体の生産性評価を人工環境下で行う。

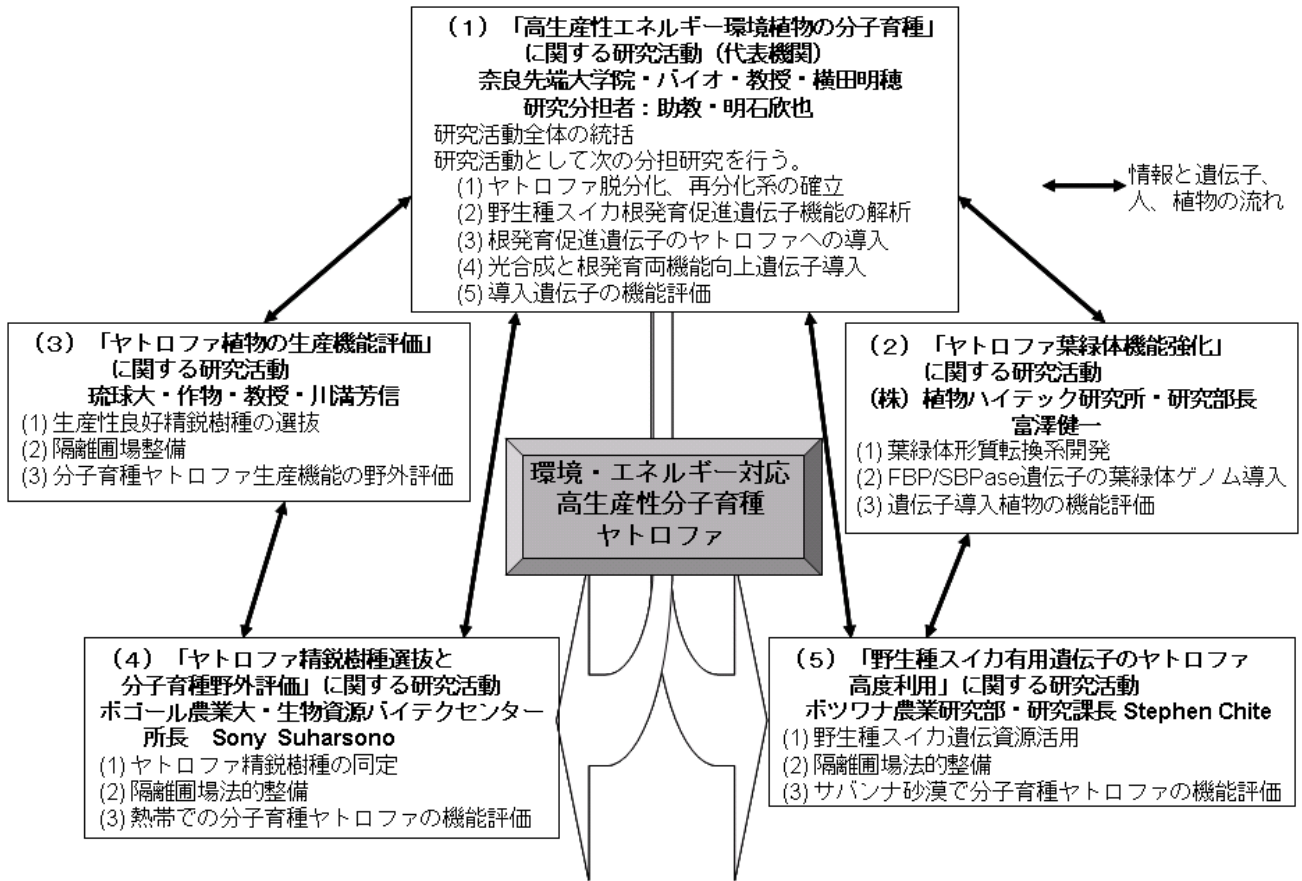
（株植物ハイテックは、近畿大学農学部と連携してヤト

ロファ植物の葉緑体ゲノムへの遺伝子導入系を開発し、FBPase/SBPase 遺伝子を導入した光合成強化ヤトロファ植物、および原始紅藻 APX 遺伝子を導入した強光ストレス耐性ヤトロファ植物を作出する。さらに、得られた形質転換ヤトロファを人工気象実験系により生産性評価する。

インドネシア・ボゴール農業大学は、琉球大学およびボツワナ農業研究部と連携し、熱帯およびサバンナ砂漠に適した精鋭ヤトロファ樹種を選抜する。また、分子育種ヤトロファの隔離圃場試験のための法的国内整備を進めるとともに、熱帯環境での形質転換ヤトロファを機能評価し、バイオ燃料生産および荒地緑化にむけた基盤データの取得を行なう。

ボツワナ共和国農務省研究部は、野生有用植物遺伝子資源の探索を行なうと共に、奈良先端大学院大学と連携して有用植物品種の系統確立および知財化を図る。さらに、サバンナ地帯に適したヤトロファ精鋭樹種を琉球大学およびボゴール農業大学との連携で選定するとともに、分子育種ヤトロファの隔離圃場試験のための法的国内整備を進める。

琉球大作物研は、光合成と生産性に優れたヤトロファ植物の精鋭樹種を上記機関と協力し選定する。形質転換ヤトロファの隔離圃場整備を沖縄本島にて行ない、生産現場における形質転換ヤトロファの生産性を検定する。生産地の諸環境における機能強化部位を探索し、ヤトロファ燃料植物の分子育種開発へフィードバックする。



氏名	所属部局・職名	提案課題における役割
横田 明穂	奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科・教授	研究代表者
明石 欣也	奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科・助教	代表機関研究分担者
蘆田 弘樹	同上	代表機関研究分担者
宗景 ゆり	同上	代表機関研究分担者
富澤 健一	(株)植物ハイテック・研究開発部長	国内参画機関代表者
重岡 成	(株)植物ハイテック・取締役役員、近畿大学農学部・教授	国内参画機関研究協力者
川満 芳信	琉球大学農学部・教授	国内参画機関代表者
上野 正実	琉球大学農学部・教授	国内参画機関研究分担者
谷口 真吾	琉球大学農学部・准教授	国内参画機関研究分担者
Stephen Majara Chite	ボツワナ共和国農務省農業研究部・課長	国外参画機関代表者
Sony Suharsono	インドネシア、ボゴール農業大学、生物資源バイオテクノロジー研究センター・所長	国外参画機関代表者

11. 各年度の計画と実績

a. 平成 20 年度

・計画

ヤトロファ屋内栽培系を整備する。ヤトロファ核および葉緑体ゲノムへの遺伝子導入系実験に着手する。ヤトロファ精鋭樹種の光合成及び生産性評価に着手する。野生有用遺伝子群の探索および有用品種分子系統の確立を図る。精鋭ヤトロファ樹種の選抜に着手する。

・実績

ヤトロファの屋内装置により、人工気象下での栽培が可能となった。ヤトロファ核および葉緑体ゲノムへの遺伝子導入系実験に着手し、これまでに核に導入した外来遺伝子の発現に成功した。ヤトロファ精鋭樹種の光合成及び生産性特性について基本データを取得した。野生有用遺伝子群の探索を進め、その一部について機能解析を行った。精鋭ヤトロファ樹種の探索を行い、得られた優良株を用いた形質転換実験を開始した。

b. 平成 21 年度

・計画

ヤトロファ遺伝子導入系を確立させる。根伸長促進および光合成強化の形質転換ヤトロファの作出を開始する。ヤ

トロファ精鋭樹種の実産性評価を継続し、国内組換え隔離圃場を整備する。野生有用遺伝子群・品種系統の解析を継続し、サバンナ適合精鋭ヤトロファ樹種を選抜する。形質転換ヤトロファの熱帯適合評価系を整備する。

・実績

ヤトロファ遺伝子導入の基幹技術である細胞培養条件について、培地中に PVPP を添加することにより、生育速度が顕著に高まることを見出した。この技術を利用して、根伸長促進に関与する遺伝子をヤトロファに導入する実験を開始した。ヤトロファ精鋭樹種を選抜について、新たにサバンナ気候に好適なヤトロファ樹種を選抜をボツワナで開始したほか、インドネシア熱帯地域においてヤトロファ評価実験設備の整備を開始した。

c. 平成 22 年度

・計画

根伸長促進および光合成強化の形質転換ヤトロファを確立するとともに、その機能評価を行う。形質転換ヤトロファの国内隔離圃場を確立するとともに、形質転換ヤトロファの実産性検定を行う。サバンナ適合ヤトロファ樹種を選抜および生産性評価を行う。形質転換ヤトロファの熱帯地方適合性の評価系を確立する。

12. 年次計画

研究項目	1年度目	2年度目	3年度目
<p>(1) ヤトロファ染色体形質転換による生産性拡大に関する研究活動 (代表機関：奈良先端大学院)</p>	<p>ヤトロファ屋内栽培系の整備</p>	<p>ヤトロファ核ゲノムへの遺伝子導入系の確立 ヤトロファ核ゲノムへの遺伝子導入系の確立</p>	<p>根伸長促進形質転換ヤトロファの作出と機能評価</p>
<p>(2) ヤトロファ葉緑体形質転換による光合成強化および屋外での生産性に関する研究活動 (国内参画機関：植物ハイテック)</p>	<p>ヤトロファ葉緑体ゲノムへの遺伝子導入系の確立</p>	<p>光合成強化形質転換ヤトロファの作出と機能評価</p>	
<p>(3) 形質転換ヤトロファの圃場生産性に関する研究活動 (国内参画機関：琉球大学作物研)</p>	<p>ヤトロファ精鋭樹種の光合成及び生産性評価</p>	<p>形質転換ヤトロファの国内隔離圃場整備および生産性検定</p>	
<p>(4) 野生有用遺伝子探索と有用植物品種の分子系統確立に関する研究活動 (国外参画機関：ボツワナ共和国農務省農業研究部)</p>	<p>野生有用遺伝子群の探索および有用品種分子系統確立</p>	<p>サバンナ適合ヤトロファ樹種の選別及び生産性評価</p>	
<p>(5) 精鋭ヤトロファ樹種の選抜および熱帯圃場評価に関する研究活動 (国外参画機関：ボゴール農業大学 RCBio)</p>	<p>精鋭ヤトロファ樹種の選抜</p>	<p>形質転換ヤトロファの熱帯地方適合性評価</p>	