

国名	地球環境劣化に対応した環境ストレス耐性作物の作出技術の開発
ブラジル	

I 案件概要

事業の背景	<p>ブラジルは、2006/07年には、世界のダイズ総生産量の約1/4を占める5,840万トンが生産され、米国に次いで世界第二位の生産国であった。しかし、同国では、気候変動による干ばつ被害が頻繁に発生し、ダイズ栽培に大きな影響を与えていた。例えば、2003年から2006年には2,720万トンの減収となり、2003/04年には18億ドル、2004/05年には23.2億ドルの被害がもたらされた。こうした状況下、大規模生産で比較的水量の少ない地域において栽培されている作物（ダイズ、トウモロコシ等）を対象とした、干ばつ等の環境ストレスに強い品種の開発は、同国にとって喫緊の課題となっていた。</p>														
事業の目的	<p>本事業は、ダイズについて、ストレス耐性遺伝子及びストレス誘導応答性プロモーターの同定、同定したプロモーター及び有用遺伝子の組み合わせの最適化、最適化された組み合わせのダイズへの導入、遺伝子組み換えされたダイズのストレス耐性評価の実施を通じて、環境ストレス耐性ダイズの作出技術の開発を図り、もって、ブラジルのダイズ生産の安定化に資する環境ストレスに対応したダイズの開発を目指した。</p> <p>1. 想定された上位目標：ブラジルのダイズ生産の安定化に資する、環境ストレスに対応したダイズが開発される。 2. プロジェクト目標：環境ストレス耐性ダイズの作出技術が開発される。</p>														
実施内容	<p>1. 事業サイト：ブラジル農牧研究公社（EMBRAPA）ダイズ研究センター（パラナ州ロンドリーナ市） 2. 主な活動：(1) ストレス耐性遺伝子及びストレス誘導応答性プロモーターの同定、(2) 同定したプロモーター及び有用遺伝子の組み合わせの最適化、(3) 最適化された組み合わせのダイズへの導入、(4) 遺伝子組み換えされたダイズのストレス耐性評価の実施、等 3. 投入実績</p> <table border="0"> <tr> <td>日本側</td> <td>相手国側</td> </tr> <tr> <td>(1) 専門家派遣：33人</td> <td>(1) カウンターパート配置：35人</td> </tr> <tr> <td>(2) 研修員受入：13人</td> <td>(2) 機材調達：自動ワークステーション、一塩基多型遺伝子解析システム等</td> </tr> <tr> <td>(3) 機材供与：車両、気象観測装置、低温種子貯蔵庫、等</td> <td>(3) 土地・施設：日本人専門家及び日本人研究者の執務室、既存のバイオテクノロジー実験棟等</td> </tr> <tr> <td>(4) 日本側への機材供与：マルチラベルリーダー、人工気象室、多機能振とう機等</td> <td>(4) 現地業務費：学生向け奨学金、光熱費、通信費等</td> </tr> <tr> <td>(5) 現地業務費：一般活動費</td> <td></td> </tr> </table>			日本側	相手国側	(1) 専門家派遣：33人	(1) カウンターパート配置：35人	(2) 研修員受入：13人	(2) 機材調達：自動ワークステーション、一塩基多型遺伝子解析システム等	(3) 機材供与：車両、気象観測装置、低温種子貯蔵庫、等	(3) 土地・施設：日本人専門家及び日本人研究者の執務室、既存のバイオテクノロジー実験棟等	(4) 日本側への機材供与：マルチラベルリーダー、人工気象室、多機能振とう機等	(4) 現地業務費：学生向け奨学金、光熱費、通信費等	(5) 現地業務費：一般活動費	
日本側	相手国側														
(1) 専門家派遣：33人	(1) カウンターパート配置：35人														
(2) 研修員受入：13人	(2) 機材調達：自動ワークステーション、一塩基多型遺伝子解析システム等														
(3) 機材供与：車両、気象観測装置、低温種子貯蔵庫、等	(3) 土地・施設：日本人専門家及び日本人研究者の執務室、既存のバイオテクノロジー実験棟等														
(4) 日本側への機材供与：マルチラベルリーダー、人工気象室、多機能振とう機等	(4) 現地業務費：学生向け奨学金、光熱費、通信費等														
(5) 現地業務費：一般活動費															
協力期間	2010年3月～2015年3月	協力金額	（事前評価時）360百万円、（実績）289百万円												
相手国実施機関	ブラジル農牧研究公社（EMBRAPA）ダイズ研究センター														
日本側協力機関	国際農林水産業研究センター（JIRCAS）、東京大学、理化学研究所														

II 評価結果

1 妥当性

【事前評価時・事業完了時のブラジル政府の開発政策との整合性】  
本事業は、事前評価時点においては、遺伝子組み換えを含むバイオテクノロジーを推進していた「バイオセーフティ（生物学的安全性）法」（法律第8974号、1995年1月）（1995年～2005年）、また、事業完了時までにおいては、農業セクターの主要課題として気候変動による影響の緩和を掲げていた「農業牧畜計画」（2012年～2013年）及び「多年度計画」（2012年～2015年）といったブラジルの開発政策に合致していた。

【事前評価時・事業完了時のブラジルにおける開発ニーズとの整合性】  
本事業は、気候変動による干ばつ被害の発生に対し、大規模生産で比較的雨量の少ない地域において栽培されている作物（ダイズ、トウモロコシ等）を対象とした、干ばつ等の環境ストレスに強い品種の開発という、ブラジルの開発ニーズに合致していた。

【事前評価時における日本の援助方針との整合性】  
本事業は、2005年5月のルーラ大統領訪日の際に、両国首脳間で援助重点分野について合意がなされ、「農業」を含む5分野を重点分野とした日本の対ブラジル援助方針<sup>2</sup>に合致していた。

【評価判断】  
以上より、本事業の妥当性は高い。

2 有効性・インパクト

【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】  
事業完了時まで、プロジェクト目標は達成された。環境ストレス耐性獲得に関与する有用遺伝子が12種類同定された（指標1）。同定された12種類の有用遺伝子から、ダイズのストレス応答性プロモーターが6種類単離され、組み合わせの最適化が17通り行われた（指標2）。ダイズへ導入された組み合わせのうち、5種類の組み合わせから3つ以上の系統が得られた（指標3）。それら系統を用いて温室及び圃場での試験及び交配を行った結果、2種類の環境ストレス耐性系統が選ばれた（指標4）。

<sup>1</sup> SATREPSとは、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）を指す。

<sup>2</sup> 外務省「ODA国別データブック」（2007年）

**【事業効果の事後評価時における継続状況】**

事業完了以降、事業効果は継続している。本事業で選抜された2種類の環境ストレス耐性系統は、いずれも乾燥耐性を持つことから、ブラジル全国で有用であり、官民連携による遺伝子組み換えダイズの民間導入が目指されている。ただし、広大なブラジル国土では各地で自然条件に相違があるため、さらなる研究が必要となる一方、民間企業のみでは開発コストの負担が大きすぎることから、EMBRAPA ダイズ研究センターと民間企業が共同で、ダイズの環境ストレス耐性系統の作出技術に関連する新たな研究を開始している。

また、その有用性から、ダイズの環境ストレス耐性系統の作出技術・応用に関連する研究も行われ始めた。例えば、EMBRAPA 資源・バイオテクノロジーセンターでは、遺伝子組み換えに係る更なる知識の獲得に取り組んでいる。EMBRAPA農業エネルギーセンターでは、本事業の研究成果のサトウキビへの適用を試みている。EMBRAPA温帯作物センターでは、温帯果樹などに対する干ばつ及び洪水対策として、本事業の研究成果の応用研究に取り組んでいる。他にも、本事業の研究成果は、綿花やトウモロコシ、サトウキビ、牧草への応用を目指す研究に活かされている。

本事業で導入した研究機材（気象観測装置、低温種子貯蔵、クリーンベンチ、ゲルフ式パーミアメーター）については、EMBRAPAダイズ研究センターにより、気候モニタリングや種子の保存、植物個体管理、放射線管理といったそれぞれの研究機材の目的に沿って、継続的に活用されている。

**【想定された上位目標の事後評価時における達成状況】**

事後評価時点において、上位目標は一部達成されている。事後評価の調査時点（2019年6月）において、本事業で生み出した環境ストレス耐性系統を用いて環境劣化に対応可能なポテンシャルを持つダイズが開発され、現場での検証による開発成果の確定が行われていることが確認された。

また、民間企業への技術指導及び学術機関の学生に対する科学技術教育を実施しており、本事業の研究成果の社会実装に向けた取り組みを行っている。具体的には、2015年から2019年までの間、大学生（学部生3名、大学院生6名）を対象に、遺伝子組み換え作物の生物化学・細胞学的同定技術に関するコースを提供した。

**【事後評価時に確認されたその他のインパクト】**

事後評価時点において、その他の正・負のインパクトは確認されなかった。

**【評価判断】**

以上より、本事業の有効性・インパクトは高い。

プロジェクト目標及び上位目標の達成度

目標	指標	実績												
プロジェクト目標 環境ストレス耐性ダイズの 作出技術が開発される。	(指標 1) ダイズ等の環境ストレスに 対する耐性獲得に関与する 有用遺伝子が少なくとも10 種類同定される。	達成状況：達成（継続） (事業完了時) • 環境ストレス耐性獲得に関与する 12 種類の有用遺伝子が、JIRCAS、理化学 研究所、東京大学の研究者によって同定された。 [同定された有用遺伝子の数と名称] <table border="1"> <thead> <tr> <th>機関名</th> <th>同定された有 用遺伝子の数</th> <th>遺伝子の名称</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>JIRCAS</td> <td>7</td> <td>AtDREB1A, AtDREB2A, AtAREB1, GmAREB1, GmAREB2, GmAREB3, GmAREB4</td> </tr> <tr> <td>理化学研究所</td> <td>2</td> <td>GmNCED3A, GmNCED3B</td> </tr> <tr> <td>東京大学</td> <td>3</td> <td>GmDREB2A;2, GmHK1A;1, GmHK1B;1</td> </tr> </tbody> </table>	機関名	同定された有 用遺伝子の数	遺伝子の名称	JIRCAS	7	AtDREB1A, AtDREB2A, AtAREB1, GmAREB1, GmAREB2, GmAREB3, GmAREB4	理化学研究所	2	GmNCED3A, GmNCED3B	東京大学	3	GmDREB2A;2, GmHK1A;1, GmHK1B;1
	機関名	同定された有 用遺伝子の数	遺伝子の名称											
	JIRCAS	7	AtDREB1A, AtDREB2A, AtAREB1, GmAREB1, GmAREB2, GmAREB3, GmAREB4											
理化学研究所	2	GmNCED3A, GmNCED3B												
東京大学	3	GmDREB2A;2, GmHK1A;1, GmHK1B;1												
(指標 2) ダイズのストレス応答性プ ロモーターが少なくとも5種 類単離され、有用遺伝子との 組み合わせの最適化が行わ れる。	達成状況：達成（継続） (事業完了時) • ダイズのストレス応答性プロモーターが 6 種類単離され、組み合わせの最適 化が 17 通り行われた。 • 単離されたプロモーターの情報 ➢ シロイヌナズナから単離された 1 種類のストレス応答性プロモーター (RD29A) ➢ ダイズから単離された 5 種類のストレス応答性プロモーター (Gm2、Gm3、 Gm4、Gm5、Gm11) [行われた最適化の情報] <table border="1"> <thead> <tr> <th>機関名</th> <th>組み合わせ数</th> <th>最適化の組み合わせ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>JIRCAS</td> <td>7</td> <td>J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9</td> </tr> <tr> <td>理化学研究所</td> <td>2</td> <td>R1, R2</td> </tr> <tr> <td>東京大学</td> <td>3</td> <td>T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9</td> </tr> </tbody> </table>	機関名	組み合わせ数	最適化の組み合わせ	JIRCAS	7	J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9	理化学研究所	2	R1, R2	東京大学	3	T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9	
機関名	組み合わせ数	最適化の組み合わせ												
JIRCAS	7	J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9												
理化学研究所	2	R1, R2												
東京大学	3	T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9												
(指標 3) プロモーターと有用遺伝子 の組み合わせが少なくとも5 種類ダイズへ導入され、各組 み合わせから少なくとも3系 統の組み換え体を得る。	達成状況：達成（継続） (事業完了時) • プロモーターと有用遺伝子の組み合わせである 7 種類の組み合わせ (J1、J2、 J3、J4、J5、J6、J7) がパーティクルガン法でダイズに導入され、3 種類の 組み合わせ (J5、R1、R2) がアグロバクテリウム法でダイズに導入された。													

		<p>そのうち、5種類の組み合わせ（J1、J2、J5、J6、R1）については、遺伝子導入された系統数が3つ以上あった。</p> <p>（事後評価時）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>指標4の実績を参照</li> </ul>
	<p>（指標4）</p> <p>少なくとも1種類の環境ストレス耐性系統が選抜される。</p>	<p>達成状況：達成（継続）</p> <p>（事業完了時）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>温室及び圃場での試験及び交配の結果、乾燥耐性の特徴を有する1a系統、非常に強い干ばつ耐性及び害虫抵抗性という優れた特徴を有する5a系統が、選抜された。</li> </ul> <p>（事後評価時）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>選抜された環境ストレス耐性系統（1a及び5a）は、ブラジル全国で有用であるため、官民連携による遺伝子組み換えダイズの民間導入を目指し、継続的に活用されている。</li> <li>ブラジルでは各地で自然条件に差があるため、EMBRAPAダイズ研究センターは民間企業と共同で、ダイズの環境ストレス耐性系統の作出に関連する新たな研究を開始している。</li> </ul>
<p>想定された上位目標</p> <p>ブラジルのダイズ生産の安定化に資する、環境ストレスに対応したダイズが開発される。</p>	<p>（指標1）</p> <p>2019年までに環境劣化に対応したダイズが開発される。</p>	<p>達成状況：一部達成</p> <p>（事後評価時）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2019年6月時点で、環境劣化に対応可能なポテンシャルを持つダイズが開発され、現場での検証を通じて開発成果の確定を行っている。</li> </ul>

（出所）終了時評価報告書、EMBRAPAダイズ研究センターへの質問票及びインタビュー

### 3 効率性

事業費及び事業期間は計画内であった（計画比：それぞれ、80%、100%）。アウトプットは計画通り産出された。よって、効率性は高い。

### 4 持続性

#### 【政策制度面】

「バイオセーフティ法」（法律第8974号、1995年1月）を引き継いだ「バイオセキュリティ法」（法律第11.105号、2005年3月）は、遺伝子組み換えを含むバイオテクノロジーを推進している。本事業は、地球環境劣化に対応した環境ストレス耐性作物の作出技術の開発を目指したものであり、同政策に裏付けされている。

#### 【体制面】

##### 【環境ストレス耐性ダイズの作出技術の開発】

本事業で対象とした作出技術の開発のための体制面に大きな変化はない。EMBRAPAダイズ研究センターは、1)環境ストレス耐性ダイズの作出技術に関する研究、2)環境ストレス耐性ダイズの作出技術を用いたダイズ開発に関連する研究、3)環境ストレス耐性ダイズの商品化に関する研究を行っている。事業完了後も、同センターは、本事業に関与した元専門家を招待しての学術会議の開催、メールでの日常的な連絡、論文の共同執筆などを通じて日本側研究機関との交流を継続的に行っている。

##### 【社会実装】

EMBRAPAダイズ研究センターは、本事業の研究成果の社会実装に向けた取り組みとして、民間企業を対象にした同成果の紹介、大学生に対する遺伝子組み換え作物の生物化学・細胞学的同定技術の指導や教育を行っている。

##### 【研究施設・機材の維持管理】

本事業で整備した研究機材はEMBRAPAダイズ研究センター内に設置されており、同センターが維持管理をしている。同センターによれば、上記で述べたとおり、それら機材は、継続的に活用され、良好な状態にある。

#### 【技術面】

##### 【環境ストレス耐性ダイズの作出技術の開発】

EMBRAPAダイズ研究センターは、環境ストレス耐性ダイズの作出技術の開発に必要な知識・能力を維持している。その背景には、上述したとおり、同センターが本事業に関与した元専門家を招待しての学術会議の開催などを通じて新たな知見の獲得・既存の知識と能力の向上に努めていることがある。また、不定期ではあるものの、EMBRAPA温帯作物センター、サンパウロ大学、西パウリスタ大学と共同で研究員の再教育も実施している。

##### 【社会実装】

EMBRAPAダイズ研究センターは、科学技術教育を通じた社会貢献を行うとともに、本事業の研究成果については民間企業への技術指導を行っており、社会実装に向けた技術・能力を維持している。具体的には、ロンドリーナ州立大学生物分子・遺伝子大学院課程の実施に協力しており、2名の博士号取得者を養成し、さらに、博士研究員（Postdoctoral Researcher）4名（サンパウロ研究基金2名、科学技術審議会2名）を受入れ、本事業の研究成果に関連する社会実装に向けた取り組みを行っている。

##### 【研究施設・機材の維持管理】

EMBRAPAダイズ研究センターは、本事業で整備した研究機材の維持管理に必要な知識・能力を維持している。同センターの職員は、内部研修の受講や関連ワークショップへの参加を通じて、維持管理に関する知識・能力の強化を図っている。

### 【財務面】

毎年、環境ストレス耐性ダイズの作出技術の開発や社会実装、本事業で整備した研究施設・機材の維持管理に必要な予算は、連邦政府から配分されている。EMBRAPAダイズ研究センターによると、特段の問題なく活動を行えているため、十分に予算が確保されているとのことであった。

EMBRAPAダイズ研究センターの予算

(単位：リアル)

2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度 (計画)
1,019,808	1,178,532	699,256	1,065,834	1,019,808	1,178,532

### 【評価判断】

以上より、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

### 5 総合評価

本事業は、環境ストレス耐性ダイズの作出技術の開発を目指すプロジェクト目標を達成し、環境ストレスに対応したダイズの開発を目指す上位目標を一部達成した。

以上より、総合的に判断すると、本事業の評価は非常に高いといえる。

### III 提言・教訓

実施機関への提言：

- EMBRAPA ダイズ研究センターでは、本事業に関連した活動を多数行っており、社会実装に向けた取り組みが進められている。一方で、それぞれの研究に係る具体的な各活動に関する情報は適切に蓄積・整理されていないため、本事業のどの研究成果が現在の研究活動とどのように結びついているのか、また、どのような成果を上げているのか、すぐに参照することができない場合がみられる。今後、研究活動を一層推進し、研究資金の確保や、社会実装に向けた民間企業をはじめとする関係機関との連携を行うためには、本事業の成果を引き継いだ EMBRAPA ダイズ研究センターの研究者は、過去に実施した活動(特に、研修、ワークショップ、協定・協約など)のデータ・情報を恒常的に整理し、外部機関への開示や広報を円滑に行える体制を整備することが求められる。

JICA への教訓：

- 本事業が成果を上げた背景には、まず、実施機関である EMBRAPA が 80 年代から、JICA との農業分野における重要な協力パートナーとして活動してきた実績があり、JICA と実施機関間での信頼関係が醸成されていたこと、JICA の協力形態を熟知し本事業の形成・実施の両面が円滑に行われたことが挙げられる。また、日本側の専門家についても、これまで EMBRAPA を実施機関とする過去の技術協力プロジェクトの業務調整を通じて、EMBRAPA との信頼関係を有する専門家が参加したこと、また、ブラジル側の研究者の日本側研究者の知見に対する信頼が非常に大きかったことが、本事業の実施、すなわち日伯の研究者による共同研究を円滑に進めることにつながった。かつ、研究対象が、ブラジルの不変的なニーズに対応していたことが、事業完了後の研究継続及びブラジル側における社会実装に向けた取り組みにつながった。したがって、SATREPS 事業の円滑な実施とそれによる研究成果を上げるには、共同研究を行う途上国側及び日本側研究機関間で、すでに協力関係・信頼関係が醸成されていることが重要である。また、社会実装に向けた取り組みには研究活動の継続が不可欠であるが、それを後押しするためには、研究対象が対象国においてニーズが高く、かつ、普遍的であることが必須であり、SATREPS 事業の研究対象の選定の際に、途上国側のニーズを把握し、反映した研究内容とすることが必須である。



EMBRAPA ダイズ研究センターにおける  
遺伝子組み換え交配試験



EMBRAPA ダイズ研究センターの試験圃場