

ブラジル連邦共和国  
(科学技術) 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  
中間レビュー調査報告書

平成25年2月  
(2013年)

独立行政法人国際協力機構  
農村開発部

農村
JR
13-020

ブラジル連邦共和国  
(科学技術) 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  
中間レビュー調査報告書

平成 25 年 2 月  
(2013 年)

独立行政法人国際協力機構  
農村開発部

## 序 文

日本国政府は、ブラジル連邦共和国政府の要請に基づき、「(科学技術) 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」プロジェクトを2010年3月から2015年3月まで実施することとしています。

今般、プロジェクトの中間地点を迎えるにあたり、協力期間前半における実績を確認し、後半の活動計画について検討・必要な提言を行うことを目的として2012年9月18日から10月11日にわたり、独立行政法人国際協力機構の永代成日出国際協力専門員を団長とする中間レビュー調査団を現地に派遣しました。

結果、プロジェクトはおおむね順調に進捗していること、また初期の成果達成をより確実なものとするためのいくつかの改善点も確認され、必要な対策に関する提言を行っています。

本報告書は、同調査団による協議結果、評価結果を取りまとめたものであり、今後プロジェクトの実施にあたり広く活用されることを願うものです。

ここに、本調査実施にご協力とご支援をいただいた関係者の皆様に対し、心から感謝の意を表します。

平成25年2月

独立行政法人国際協力機構

農村開発部長 熊代 輝義

# 目 次

序 文

目 次

プロジェクト位置図

現地写真

略語表

評価調査結果要約表

第1章 評価調査の概要 .....	1
1-1 調査団派遣の経緯と目的 .....	1
1-2 調査団の構成と調査日程 .....	1
1-3 主要面談者 .....	2
1-4 対象プロジェクトの概要 .....	2
第2章 評価の方法 .....	3
2-1 評価設問と必要なデータ・評価指標 .....	3
2-2 データ収集方法 .....	3
2-3 データ分析方法 .....	3
2-4 評価調査の制約・限界 .....	3
2-5 科学技術的観点からの JST 側評価方法 .....	4
第3章 プロジェクトの実績 .....	6
3-1 投入実績 .....	6
3-1-1 日本側投入 .....	6
3-1-2 ブラジル側投入 .....	7
3-2 アウトプットの達成状況 .....	7
3-2-1 成果1 .....	7
3-2-2 成果2 .....	8
3-2-3 成果3 .....	8
3-2-4 成果4 .....	10
3-3 プロジェクト目標の達成見込み .....	12
第4章 評価結果 .....	14
4-1 妥当性 .....	14
4-2 有効性 .....	16
4-3 効率性 .....	16
4-4 インパクト .....	17
4-5 持続性 .....	18

4-6 結 論	19
第5章 科学技術的視点からの評価	20
5-1 JST 国内領域別委員会による評価結果	20
5-1-1 研究課題名	20
5-1-2 研究代表者	20
5-1-3 研究概要	20
5-1-4 評価結果	20
第6章 提 言	25
6-1 残りのプロジェクト期間にプロジェクトが対応すべき事項	25
6-2 日本側が対応すべき事項	25
6-3 ブラジル側が対応すべき事項	25
第7章 団長所感	27
付属資料	
1. 調査日程	31
2. 主要面談者リスト	32
3. ミニッツ	33
4. PDM 仮和訳	78
5. 評価グリッド	80

# プロジェクト位置図



## 現 地 写 真



中間レビューレポートへの署名（評価チーム）



ミニッツ署名



Embrapa ダイズ研究所のラボ内



同左



温室内でのポット試験



JICA 予算で設置した温室内の1室



雨除けシェルター付きの試験圃場



同左

## 略 語 表

略 語	欧 文	和 文
C/P	Counterpart	カウンターパート
DREB	Dehydration Responsive Element Binding protein	DREB 遺伝子
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brazilian Agricultural Research Corporation)	ブラジル農牧研究公社
FAO	Food and Agriculture Organization, United Nations	国際連合食糧農業機関
GMO	Genetically Modified Organism	遺伝子組み換え作物
JCC	Joint Coordinating Committee	合同調整委員会
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
JIRCAS	Japan International Research Center for Agricultural Sciences	独立行政法人国際農林水産業研究センター
JST	Japan Science and Technology Agency	独立行政法人科学技術振興機構
M/M	Minutes of Meeting	ミニッツ（協議議事録）
MTA	Material Transfer Agreement	材料移転契約
PDM	Project Design Matrix	プロジェクト・デザイン・マトリックス
PO	Plan of Operations	活動計画
R/D	Record of Discussions	討議議事録
SATREPS	Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development	地球規模課題対応国際科学技術協力

## 評価調査結果要約表

1. 案件の概要	
国名：ブラジル連邦共和国	案件名：(科学技術) 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
分野：農林水産－農業－農業一般	援助形態：技術協力プロジェクト
所轄部署：農村開発部畑作地帯第一課	協力金額（評価時点）：3億7,000万円
協力期間 (R/D)：2010年3月4日～ 2015年3月3日 (5年間)	先方関係機関：ブラジル農牧研究公社 (Embrapa) ダイズ研究所
	日本側協力機関：独立行政法人国際農林水産業研究センター (JIRCAS) (*代表研究機関)、国立大学法人東京大学、独立行政法人理化学研究所 (RIKEN)
	他の関連協力：
<p>1-1 協力の背景と概要</p> <p>ブラジル連邦共和国（以下、「ブラジル」と記す）は、人口約1億8,000万人、国土面積約851万2,000km<sup>2</sup>を有し、コーヒー、タバコ、ダイズ等の輸出大国である。特にダイズに関しては、2006/7年には5,840万tが生産され、世界のダイズ総生産量の約1/4を占めている。また、アメリカに次いで世界第2位の生産量を誇っている。一方、世界におけるダイズの消費は増え続け、特に中国では人口の増加や食生活の変化に伴うダイズの消費拡大が著しい。このような状況のなか、ブラジルは、既に世界最大の農産物貿易黒字国であるとともに、世界最大規模の農用地開拓可能地帯を有しており、食糧供給国としての役割を強く期待されている。しかし、急激な人口増加と工業化による温室効果ガスの上昇によって地球の温暖化が進み、作物耕作地における干ばつ・作物の収量の減少・食糧や飼料の確保といった世界的な問題が生じている。そのような状況のなか、ダイズやトウモロコシ等、大規模生産で比較的降水量の少ない地域においても栽培されている作物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、世界的にも最も重要な育種目標となってきた。従来の育種方法により干ばつに強い系統の選抜と育種への利用が試みられているが、近年、世界的に進展している作物のゲノム研究の成果を基に、遺伝子組み換え技術による作物の開発が注目されるようになった。</p> <p>本プロジェクトでは、これまでの環境ストレス耐性遺伝子群に関する研究結果や急速に進展しているダイズのゲノム解析技術を基盤として、ダイズの乾燥等の環境ストレスに対する耐性獲得に関与する遺伝子群やその発現を制御するプロモーターを明らかにする。そして、これらの遺伝子やプロモーターをダイズに導入することで干ばつに強い品種を作出する。さらに、圃場条件において乾燥ストレスに対する耐性等を評価し、耐性遺伝子とプロモーターの最適の組み合わせを明らかにするとともに、耐性レベルが向上した形質転換系統を選抜し、環境ストレス耐性の作出技術の開発を行う。なお、本プロジェクトは、「地球規模課題に対応する科学技術協力」事業のひとつであり、環境・エネルギー等を含めた地球規模課題に対し、開発途上国と共同研究を実施するとともに、途上国側の能力向上を図ることをめざすことを目的としている。</p> <p>1-2 協力内容</p> <p>(1) 上位目標</p> <p style="padding-left: 2em;">環境ストレスに適応したダイズが開発され、ブラジルのダイズ生産の安定化に資する。</p>	

(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。

(3) 成果

- 1) 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同定される。
- 2) ストレス応答性プロモーターの単離と有用遺伝子との組み合わせの最適化が行われる。
- 3) プロモーターと有用遺伝子の組み合わせが導入されたダイズ系統が得られる。
- 4) 環境ストレス耐性を示す組み換えダイズ系統が選抜される。

(4) 投入（評価時点）

日本側：

長期専門家派遣 延べ 1 名、 短期専門家派遣 計 9 名、 日本側研究機関で活動に従事した研究者 計 27 名、 研修員受入 計 6 名、 機材供与（ブラジル側へ） 総額 6,200 万円、 機材調達（日本の研究機関向け） 総額 1,800 万円、 ローカルコスト負担 総額 2,700 万円

相手国側：

研究者等の配置 29 名（中間レビュー時）、 機材購入費 総額 1 億 100 万円、 ローカルコスト（光熱費等の負担）、 土地・施設提供： 日本人専門家及び研究者の執務室、 バイオテクノロジー棟（既存、新規）、 温室、 試験圃場など

2. 評価調査団の概要

調査者	総括： 永代 成日出 JICA 国際協力専門員 科学技術 計画・評価： 国分 牧衛 国立大学法人東北大学 教授/SATREPS 研究主幹 科学技術 計画・評価： 佐藤 雅之 独立行政法人科学技術振興機構（JST）地球規模課題国際協力室 首席主任調査員 協力企画： 和田 剛 JICA 農村開発部畑作地帯第一課企画役 評価分析： 道順 勲 中央開発株式会社海外事業部専門部長（農業開発）
-----	--

調査期間	2012 年 9 月 18 日～2012 年 10 月 11 日	評価種類： 中間レビュー
------	----------------------------------	--------------

3. 評価結果の概要

3-1 実績の確認

成果 1：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同定される。

アウトプット 1 の 3 種類の指標とも、既にその目標値を達成しており、アウトプット 1 は達成された。

成果 2：ストレス応答性プロモーターの単離と有用遺伝子との組み合わせの最適化が行われる。

アウトプット 2 の 3 種類の指標とも、既にその目標値を達成しており、アウトプット 2 は達成された。

成果 3：プロモーターと有用遺伝子の組み合わせが導入されたダイズ系統が得られる。

指標 3-1 の形質転換効率の目標値は達成されていない。他の 2 つの指標（指標 3-2 及び指標 3-3）は、目標値を達成している。

成果 4：環境ストレス耐性を示す組み換えダイズ系統が選抜される。

アウトプット 4 には、6 個の指標があり、そのうち、2 つの指標は達成されている（指標 4-4

及び指標 4-5)。その他の指標については、良い成果が出つつあり、残り期間のプロジェクト活動が円滑に進捗すれば、プロジェクト終了時までにはすべての指標が達成されるものと期待される。

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、指標 2、指標 3 については、その数値目標を達成している。指標 4 については、乾燥耐性応答の特徴を有する系統が 1 つあることが確認されている。今後、プロジェクト活動が計画どおり順調に進捗すれば、プロジェクト終了時までには環境ストレス耐性をもつ複数のダイズの系統が選定されることが期待される。既に述べたように、アグロバクテリウム法の形質転換効率がまだ低い。形質転換効率がある程度高くなれば、環境ストレス耐性ダイズの作出技術が十分満足できる水準で開発されたと評価できるであろう。

### 3-2 評価結果の要約

#### (1) 妥当性：高い

地球規模における気候変動への対応の必要性、ブラジルにおける耐乾性・耐暑性のダイズ品種開発の必要性、ターゲットグループのニーズとの整合性、ブラジルの国家開発政策等との整合性、日本の援助方針との整合性等の観点からみて、本プロジェクトの妥当性は高い。

#### (2) 有効性：プロジェクト終了時には、本プロジェクトの有効性が高くなることが期待される。

プロジェクト活動が計画どおり進捗すれば、プロジェクト終了時までには環境ストレス耐性の複数の系統が選抜されると期待される。遺伝子同定のために多くの有用な活動が実施されており、それは、プロジェクトの目標を達成するチャンスを増加させている。重要な点のひとつは、アグロバクテリウム法による形質転換効率を向上させることである。効率の高いアグロバクテリウム法が確立すれば、環境耐性ダイズにかかわる遺伝子技術が十分満足できる水準に達したといえ、そして、プロジェクトの有効性が高いといえる。

#### (3) 効率性：満足できる水準

材料移転契約 (MTA) 締結に時間を要していること、アグロバクテリウム法による形質転換効率が低いこと、また、新規のバイオテクノロジー棟の建設が遅れたことなどがあったものの、これまでのところ、本プロジェクトの効率性が満足できる水準であるといえる。

#### (4) インパクト：上位目標「環境ストレスに適応したダイズが開発され、ブラジルのダイズ生産の安定化に資する」達成の見通し。

上位目標は、目標年である 2019 年までに達成することは難しく、更に数年は必要であろう。現時点では、特に大きな波及効果は発現していないが、環境ストレス耐性のダイズの品種が商業化される段階に到達すれば、そのインパクトは相当大きなものになると考えられる。

#### (5) 持続性：政策面、組織面、資金面、技術面で本プロジェクトの持続性が確保されるであろう。

#### 1) 政策面

ブラジルではダイズは、国内総生産、輸出、雇用の面において極めて重要な作物のひとつであり、連邦政府は、重要な生産セクターのひとつであると位置づけている。Embrapa ダイズ研究所の重要な役割のひとつは、地球温暖化が農業生産面に与える影響を少なくすることに貢献することである。したがって、本プロジェクトの政策面での持続性は確保されると判断される。

#### 2) 組織面

Embrapa ダイズ研究所は、遺伝子組み換えダイズを開発するために必要な部署・組織体制、例えば、バイオテクノロジー、生態学、育種などの部署を有しており、高い資格をもつ研究者、テクニシャン、学生（ブラジル政府の奨学金をもらいつつ、Embrapa ダイズ研究所で研究活動に従事している）がいる。また、Embrapa ダイズ研究所は、民間企業と共同で遺伝子組み換えダイズ（除草剤耐性）の開発を成功させた実績を有する。したがって、環境耐性ダイズの開発を継続するために必要な組織面での持続性を有している。

#### 3) 財政面

Embrapa は、機器類調達と新規のバイオテクノロジー棟建設などのためにかなり大きな予算を支出している。したがって、環境耐性ダイズの開発を継続するために必要な資金的持続性は確保されているといえる。

#### 4) 技術面

Embrapa ダイズ研究所は、除草剤耐性の遺伝子組み換えダイズ開発実績を有する。また、Embrapa ダイズ研究所は、2003 年から JIRCAS と共同でストレス耐性ダイズの研究を行ってきた。したがって、Embrapa ダイズ研究所は、この分野で非常に高い専門性を有する。技術面で改善が必要な点は、アグロバクテリウム法による形質転換効率であり、現在、Embrapa ダイズ研究所が、そのプロトコルの最適化を進めている。いったん、プロトコルが最適化されれば、一定の望ましい効率で形質転換が継続可能となる。環境耐性ダイズの開発を効率的・効果的に継続するための技術的持続性は確保可能と考えられる。

### 3-3 効果発現に貢献した要因

#### (1) 計画内容に関すること

特になし。

#### (2) 実施プロセスに関すること

特になし。

### 3-4 問題点及び問題を惹起した要因

#### (1) 計画内容に関すること

特になし。

#### (2) 実施プロセスに関すること

これまでのところ、プロジェクト進捗に大きなマイナスの影響を与えているわけではないが、MTA 締結に時間を要していることは、今後のプロジェクト活動に大きな影響を与える可能性がある。

### 3-5 結論

プロジェクト活動の進捗は、おおむね計画どおりであり、大半の場合、計画以上の成果を生み出している。残りの2年半のプロジェクト期間のプロジェクト活動を円滑に実施するうえで、いくつかのリスクがある。そのリスクを低減させ、より良い成果を得るための提言について、提言の項目で記載する。

### 3-6 提言（当該プロジェクトに関する具体的な措置、提案、助言）

#### 3-6-1 残りのプロジェクト期間にプロジェクトが対応すべき事項

- (1) 有用遺伝子の導入に係る形質転換効率改善に向けた技術の向上
- (2) 人員の適切な配置
- (3) コミュニケーションの改善

#### 3-6-2 日本側が対応すべき事項

- (1) 人的交流分野の多様化
- (2) 日本人専門家の Embrapa ダイズ研究所への派遣

#### 3-6-3 ブラジル側が対応すべき事項

- (1) MTA の手続きの迅速化
- (2) ミニッツ (M/M) にのっとったテクニシャンの雇用
- (3) 温室用の冷房システム導入に向けた予算措置

### 3-7 教訓（当該プロジェクトから導き出された他の類似プロジェクトの発掘・形成、実施、運営管理に参考となる事柄）

特になし。

## 第1章 評価調査の概要

### 1-1 調査団派遣の経緯と目的

プロジェクト中間時点において、以下を行うことを目的とする。

- (1) プロジェクトの実績及び実施プロセスを把握する。
- (2) プロジェクトの現状を評価する。特に、プロジェクト運営管理の一環として、ODA 事業としてブラジルにおける人材育成、能力強化及び開発課題に対する貢献の観点から、5 項目評価の視点に基づき、プロジェクトの現状を評価する。本中間レビューにおいては、「妥当性」と「効率性」について貢献・阻害要因とともに重点的に分析を行う。「有効性」と「インパクト」については、アウトプットの実績や活動状況に基づいて今後の動向及び実現可能性を検証し、「持続性」についてはその見込みについて検討する。
- (3) 上記について合同評価レポートに取りまとめて関係者間で共有するとともに、この結果を踏まえ、プロジェクトの戦略や活動計画、投入、実施体制等についてブラジル側と協議し、必要な提言を行う。

### 1-2 調査団の構成と調査日程

#### (1) 調査団構成

##### 【日本側】

担当業務	氏名	所属
総括	永代 成日出	独立行政法人国際協力機構（JICA）国際協力専門員
評価分析	道順 勲	中央開発株式会社海外事業部専門部長（農業開発）
協力企画	和田 剛	JICA 農村開発部 畑作地帯第一課 企画役
科学技術計画・評価	国分 牧衛	国立大学法人東北大学 教授／SATREPS 研究主幹
科学技術計画・評価	佐藤 雅之	独立行政法人科学技術振興機構（JST）地球規模課題国際協力室 上席主任調査員

##### 【ブラジル側】

担当業務	氏名	所属
リーダー	Dr. Luiz Gonzaga Esteves Vieira	Universidade do Oeste Paulista 大学教授／ 前 Agronomic Institute of Paraná（IAPAR）研究員
委員	Dr. Everaldo G. Barros	Viçosa 連邦大学 教授

(2) 調査日程

2012年9月18日～10月11日（うち、官団員は2012年9月26日～10月11日）。

1-3 主要面談者

詳細については付属資料2を参照のこと。

1-4 対象プロジェクトの概要

(1) プロジェクトサイト

ブラジル国パラナ州ロンドリーナ

(2) 協力期間

2010年3月4日～2015年3月3日（5年間）

(3) 相手国機関名

ブラジル農牧研究公社〔Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Brazilian Agricultural Research Corporation) : Embrapa〕ダイズ研究所

(4) 日本側協力機関名

独立行政法人国際農林水産業研究センター（Japan International Research Center for Agricultural Sciences : JIRCAS）(\*代表研究機関)

国立大学法人東京大学

独立行政法人理化学研究所（RIKEN）

(5) 上位目標

環境ストレスに適応したダイズが開発され、ブラジルのダイズ生産の安定化に資する。

(6) 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。

(7) 成 果

- 1) 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同定される。
- 2) ストレス応答性プロモーターの単離と有用遺伝子との組み合わせの最適化が行われる。
- 3) プロモーターと有用遺伝子の組み合わせが導入されたダイズ系統が得られる。
- 4) 環境ストレス耐性を示す組み換えダイズ系統が選抜される。

## 第2章 評価の方法

### 2-1 評価設問と必要なデータ・評価指標

本プロジェクトに関する各種資料（詳細計画策定調査報告書など）、PDM Version 2などを参考にしつつ、5項目評価や実施プロセスに関する評価設問と必要なデータ等を設定した。評価設問等については、付属資料5.「評価グリッド」を参照のこと。

### 2-2 データ収集方法

情報・データ収集は以下の方法により実施した。

情報・データ 収集方法	目的	主な情報源
①文献調査	プロジェクトに関連する政策、プロジェクトの実績に関連する資料	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブラジル国の開発計画「成長加速プログラム2（PAC2：Plano de Aceleração 2011-2014）」</li> <li>・農牧業計画 2012/2013（Plano Agrícola e Pecuário 2012 / 2013）（ブラジル国農務省）</li> <li>・国別データブック 2011（外務省）</li> <li>・対ブラジル連邦共和国 国別事業実施計画（外務省）</li> <li>・詳細計画策定調査報告書（JICA、2009年）</li> <li>・プロジェクトの投入・活動・実績に関する事前資料</li> <li>・プロジェクト進捗報告書</li> </ul>
②インタビュー	プロジェクトの実績・進捗状況及び実施プロセスに関するヒアリング・確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本人専門家・研究者</li> <li>・Embrapa ダイズ研究所 所長及び研究員</li> <li>・Embrapa 本部 知的所有権部 部長</li> </ul>
③質問票	プロジェクトの実績、成果の発現状況、効率性、インパクト、持続性等に関する事項の把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地派遣日本人専門家及び研究者</li> <li>・Embrapa ダイズ研究所 所長及び研究員</li> </ul>

### 2-3 データ分析方法

プロジェクトの投入・活動・実績に関する事前資料、派遣専門家及び日本人研究者に対する質問票の回答、Embrapa ダイズ研究所の研究員等からの質問票回答、その他関連資料を用いて、プロジェクトの投入、成果やプロジェクト目標の指標に対する現時点での達成状況、実施プロセスに関するデータ・情報を取りまとめたうえで、情報の分析を行った。

### 2-4 評価調査の制約・限界

本プロジェクトは、作物の遺伝子組み換えによる乾燥耐性のダイズ品種の開発に関して、日本の研究機関（JIRCAS、理化学研究所、東大）とブラジル側研究機関（Embrapa ダイズ研究所）が共同で研究を進めるものであり、地球規模課題解決のために日本と開発途上国の研究者が共同で研究を行う5年間の研究プログラム〔地球規模課題対応国際科学技術協力（Science and Technology

Research Partnership for Sustainable Development : SATREPS)〕の枠組みで実施されている。研究テーマは、遺伝子組み換え技術という最先端分野のものであり、極めて専門性が高いため、プロジェクトの各種成果を定性的に評価することは困難であった（多くの場合、数値指標との比較に基づき、達成度を評価した）。なお、現在、選抜・開発が進められている乾燥耐性をもつダイズの系統が、実際にどの程度、乾燥に強いのかについては、現時点ではまだ十分なデータが得られていないため、判断ができない。

終了時評価時には、可能な限り、プロジェクトの各種成果の定量的評価やどの程度、乾燥に強いダイズの系統が選抜されているかについての評価を行うことが望まれる。

## 2-5 科学技術的観点からの JST 側評価方法

独立行政法人科学技術振興機構（Japan Science and Technology Agency : JST）中間評価の評価項目等は表 2-1 のとおり。

表 2-1 JST 評価項目

JST 評価項目	主な視点（案）	備考
プロジェクト（研究課題）のねらい	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球規模課題解決に資する重要性</li> <li>科学技術・学術上の独創性・新規性</li> </ul>	研究内容に変更あれば、中間評価で実施。
国際共同研究目標の達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロジェクト期間中の成果目標の達成度と成果内容</li> </ul>	中間評価・事後評価で実績に基づき評価。
国際共同研究（活動）の運営体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究運営体制</li> <li>研究費管理</li> <li>コンプライアンス</li> </ul>	中間評価・事後評価で評価。
科学技術の発展と今後の展望	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球規模課題並び相手国側への科学技術向上への貢献</li> <li>知的財産、論文・学会発表等（投稿先、引用数）、成果品等</li> <li>科学技術的成果の重要性（国内外の類似研究との質的比較）</li> <li>日本における科学技術の今後の展開・発展性</li> <li>日本の研究手法・制度・規格の普及など日本の科学技術がもたらした影響・効果</li> <li>日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）</li> </ul>	事後・追跡評価で評価実施。 中間評価で見込みを含め評価。
成果の活用・普及持続的研究活動等への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>人的交流の構築（留学生、研修、若手の育成）</li> <li>相手国側研究機関あるいは研究者の自立性・自主性</li> <li>社会実装、政策等への反映</li> <li>成果を基とした研究・利用活動の持続的発展</li> </ul>	事後・追跡評価で評価。 中間評価で見込みを含め評価。

なお、中間評価における JST 側の具体的な評価の視点は以下のとおり。

(1) 国際共同研究の進捗状況について

- ・当初の研究計画からみた進捗状況や達成度等はどうか。
- ・新たな方向性や方針変更等、当初計画では想定されていなかった新たな展開が生じたか。
- ・成果の科学的・技術的インパクト、国内外の類似研究と比較したレベルや重要度はどうか（質的な視点から）。

(2) 国際共同研究の運営体制について

- ・研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップは適切か。
- ・研究費の執行状況は効率的・効果的か（各グループの研究費は有効に執行されているか、購入機器は有効に活用されているか等）。
- ・コンプライアンスに基づいた国際共同研究が実施されているか。

(3) 科学技術の発展と今後の研究について

- ・今後の研究の進め方は適切か（研究の方向性、相手国との協力状況、研究実施体制、研究費）。
- ・今後見込まれる成果について（地球規模課題並び相手国側への科学技術向上への貢献、日本における科学技術の今後の展開・発展性、日本の研究手法・制度・規格の普及など日本の科学技術がもたらした影響・効果、成果の社会的なインパクトの見通しを含む）。
- ・日本人人材の育成を実施しているか（日本人若手研究人材の育成、グローバル化に対応した日本人人材の育成等）。

(4) 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

- ・人的交流の構築がどのように見込まれるか（相手国側研究機関あるいは研究者の自立性・自主性）。
- ・成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込みがあるか（政策等への反映、成果物の利用など）。

(5) 総合評価（S、A、B、C による絶対評価）

- S. 所期の計画を超えた取り組みが行われている。
- A. 所期の計画と同等の取り組みが行われている。
- B. 所期の計画以下の取り組みであるが、一部で当初計画と同等又はそれ以上の取り組みもみられる。
- C. 総じて所期の計画以下の取り組みである。

## 第3章 プロジェクトの実績

### 3-1 投入実績

#### 3-1-1 日本側投入

##### (1) プロジェクト活動に参加した日本の研究者

これまでに本プロジェクトの研究活動に参加した JIRCAS、理化学研究所、東京大学の研究者は、合計 27 名である。研究機関別では、JIRCAS が 7 名、理化学研究所が 5 名、東京大学が 15 名（修士コースの学生を含む）である。詳細は、付属資料 3. 「ミニッツ」の Annex 3 を参照のこと。

##### (2) 日本人研究者及び JICA 専門家のブラジルへの派遣

業務調整専門家（長期専門家）が 1 名派遣されている。また、短期派遣として、これまでに 9 名の研究者がブラジルに派遣された。分野は、分子育種技術及び植物分子生物学である。詳細は、付属資料 3. 「ミニッツ」の Annex 4 を参照のこと。

##### (3) 本邦研修

6 名のブラジル側研究者が日本（JIRCAS）での研修を受けた。研修分野は、「ダイズのストレス誘導性遺伝子の発現解析技術」、「ダイズの耐乾性遺伝子のプロモーターの分離技術」、「アグロバクテリウム法<sup>1</sup>を用いた形質転換<sup>2</sup>と遺伝子発現解析技術」である。詳細は、付属資料 3. 「ミニッツ」の Annex 5 を参照のこと。

##### (4) 機材供与

###### 1) Embrapa ダイズ研究所への機材供与

JICA は、車両、コンピュータやプリンターなどの事務用機器、研究活動用の各種機器を供与した。機器購入額は、60 万レアルと 3,890 万円である（参考：ドル換算値で合計が約 79 万 8,000 ドル）。詳細は、付属資料 3. 「ミニッツ」の Annex 6 を参照のこと。

###### 2) 日本側研究機関への機材供与

研究活動のための各種機器が JIRCAS、理化学研究所、東京大学のために調達された。調達された機器の購入額は、合計 1,790 万円である（参考：ドル換算値で約 23 万ドル）。詳細は、付属資料 3. 「ミニッツ」の Annex 7 を参照のこと。

##### (5) 日本側負担現地活動費

日本側がブラジル現地での活動経費として支出した金額は、72 万 7,000 レアル（参考：ドル換算値で約 35 万 8,000 ドル）である。詳細は、付属資料 3. 「ミニッツ」の Annex 8 を参照のこと。

<sup>1</sup> 土壌細菌のアグロバクテリウムを利用した遺伝子導入方法。アグロバクテリウムは細菌自身もつプラスミド（核外にある環状 DNA）の一部を植物細胞に入れ、その細胞の DNA を組み換える働きをもつ。この性質を利用して、改良したい植物に目的遺伝子を導入できる。

<sup>2</sup> 外部から与えられた DNA が遺伝情報として組込まれ、個体あるいは細胞の遺伝形質が変化すること。突然変異とは異なり、与えられた遺伝情報に従って変化は決まった方向へ進む。

### 3-1-2 ブラジル側投入

#### (1) プロジェクト活動に参加したブラジル人研究者

プロジェクト活動に参加した研究員等は合計 29 名である。その大半は、Embrapa ダイズ研究所の研究者で、一部、大学の学生や JICA が雇用したテクニシャンが含まれる。中間レビュー時点では、20 名の Embrapa ダイズ研究所の研究者、5 名の学生等がプロジェクト活動に従事している。詳細は、付属資料 3. 「ミニッツ」の Annex 9 を参照のこと。

#### (2) ブラジル側の機材調達

ブラジル側によって、プロジェクト活動のために各種の機器類が調達され、Embrapa ダイズ研究所の敷地にある新しいバイオテクノロジー棟あるいは化学分析棟などに設置された。機器類調達費用は、270 万リアルである（参考：ドル換算値で約 130 万ドル）。詳細は、付属資料 3. 「ミニッツ」の Annex 10 を参照のこと。

#### (3) 施設の提供

プロジェクト活動のために Embrapa ダイズ研究所が提供している施設は次のとおりである。

- 1) 日本人専門家及び研究者の執務室
- 2) 既存のバイオテクノロジー棟：424m<sup>2</sup>
- 3) 新規のバイオテクノロジー棟（新規にブラジル側が建設）：581m<sup>2</sup>
- 4) 生態生理学オフィス：120m<sup>2</sup>
- 5) 生態物理・化学分析室：100m<sup>2</sup>
- 6) Embrapa ダイズ研究所の温室：1,181m<sup>2</sup>
- 7) JICA 費用で建設した温室の用地提供：314m<sup>2</sup>
- 8) 遺伝子組み換え（GMO<sup>3</sup>）種子の保管庫：160m<sup>2</sup>
- 9) GMO 用の温室：237m<sup>2</sup>
- 10) Embrapa ダイズ研究所の圃場試験用地：28,300m<sup>2</sup>（2.8ha）

#### (4) ブラジル側負担活動経費

ブラジル側は、事務スペースや研究活動のための光熱費等を負担した。

### 3-2 アウトプットの達成状況

#### 3-2-1 成果 1

「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同定される。」

アウトプット 1 の 3 種類の指標とも、既にその目標値を達成しており、アウトプット 1 は達成されたといえる。

指標 1-1：ダイズ等のストレス耐性制御遺伝子が 5 種類以上同定される。
---------------------------------------

JIRCAS が、7 種類のストレス耐性制御遺伝子を同定した。同定した遺伝子の名称は、

<sup>3</sup> Genetically Modified Organism：遺伝子組み換え作物

AtDREB1A、AtDREB2A、AtAREB1、GmAREB1、GmAREB2、GmAREB3、and GmAREB4 である。数値目標は既に達成している。

指標 1-2：ダイズ等のストレス受容に関与する膜たんぱく質遺伝子が 2 種類以上同定される。

東京大学が、2 種類のストレス受容に関与する膜たんぱく質遺伝子 (GmHK1A;1 及び GmHK1B;1) を同定した。数値目標は既に達成している。

指標 1-3：ダイズ等のストレス応答制御遺伝子が 3 種類以上同定される。

理化学研究所が、2 種類のストレス応答制御遺伝子 (GmNCED3A 及び GmNCED3B) を、また、東京大学が 1 種類のストレス応答制御遺伝子 (GmDREB2A;2) を同定した (計 3 種類)。数値目標は既に達成している。

### 3-2-2 成果 2

「ストレス応答性プロモーター<sup>4</sup>の単離と有用遺伝子との組み合わせの最適化が行われる。」  
アウトプット 2 の 3 種類の指標とも、既にその目標値を達成しており、アウトプット 2 は達成されたといえる。

指標 2-1：ダイズのストレス応答性遺伝子が少なくとも 100 種類同定される。

JIRCAS が、100 種類以上のストレス応答遺伝子を同定している (マイクロアレイ分析の結果、4,433 種類の乾燥応答性遺伝子を同定した)。数値目標は既に達成している。

指標 2-2：ダイズのストレス応答性プロモーターが少なくとも 5 種類同定される。

JIRCAS が、6 種類のストレス応答性プロモーター (GMRD1、XERO1、UN1、UN2、UN3、及び EFCM) を同定した。数値目標は既に達成している。

指標 2-3：少なくとも 5 種類のプロモーターと有用遺伝子の組み合わせの最適化が試みられる。

合計 6 種類のプロモーターと有用遺伝子の組み合わせ (コンストラクト) が最適化された。JIRCAS が同定したのは 5 種類で、その名称は、35S:AREB1、35S:AREB1ΔQT、35S:GmAREB4、RD29A:DREB1A、RD29A:DREB2Aca である。また、東京大学は、1 種類の組み合わせを最適化した (名称は、RD29Apro:GmDREB2A;2)。数値目標は既に達成している。

### 3-2-3 成果 3

「プロモーターと有用遺伝子の組み合わせが導入されたダイズ系統が得られる。」  
指標 3-1 の形質転換効率の目標値は達成されていない。他の 2 つの指標 (指標 3-2 及び指標 3-3) は、目標値を達成している。

<sup>4</sup> プロモーターとは、遺伝子が機能を発現するための駆動装置となる役割をもつ DNA 領域のこと。

指標 3-1：ダイズへの形質転換効率が 1.5 %以上の遺伝子組み換え技術が確立される。

本プロジェクトでは、形質転換手法として、2 種類の方法を用いている。パーティクルガン法<sup>5</sup>（英語では、biolistics あるいは biobalistics と呼称する）と呼ばれるものと、アグロバクテリウム法と呼ばれるものである。パーティクルガン法による形質転換効率は、0.51～1.03%の範囲の実績となっている（T0 世代での転換効率）。Embrapa ダイズ研究所によれば、転換効率は、主として導入するコンストラクトに左右され、T0 世代で形質転換が生じたとしても、T1 世代<sup>6</sup>に形質転換が移行するかどうかは、例えば、遺伝子の欠落があるかどうかの影響する。また、組織培養の段階においても影響がある。なお、転換効率の更なる向上が望まれる。（ただし、パーティクルガン法による形質転換で、目標値以上のプロモーターと有用遺伝子の組み合わせがダイズに導入され、T1 世代の種子が増殖されている点を考慮すると、必ずしも、目標の 1.5%を達成しなくてもプロジェクト目標を達成できる可能性がある。）

アグロバクテリウム法を用いた形質転換の効率（T0 世代で）は、まだわずかに 0.2%である。形質転換効率はまだかなり低く、効率の向上が必要である。これまで Embrapa ダイズ研究所に派遣された日本人研究者がアグロバクテリウム法による形質転換のプロトコールの最適化を試みた。現在では、Embrapa ダイズ研究所の研究者がアグロバクテリウム法による形質転換のプロトコールの最適化を開始している。（2012 年 3 月から、アグロバクテリウム法による形質転換の効率改善に取り組み始め、2012 年末までに最適化試験についての一定の結果が出る見通しになっている。）

アグロバクテリウム法を用いた形質転換については、プロジェクトの残り期間に、その効率を顕著に改善する必要がある。

指標 3-2：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 種類ダイズに導入される。

ブラジル国のダイズの品種である BR16 のダイズに、パーティクルガン法を用いて導入された 7 種類のコンストラクト（プロモーターと有用遺伝子の組み合わせ）が導入され、また、アグロバクテリウム法を用いて 3 種類のコンストラクトが導入された。詳細は下表のとおりである。数値目標は既に達成している。

表 3-1 プロモーターを導入できたコンストラクトの名称とイベント数

	方 法	コンストラクト名	イベント発生数
1-1	パーティクルガン法	rd29A : AtDREB1A	11 events
1-2		rd29A : AtDREB2A	03 events
1-3		35S : AtDREB1A	28 events
1-4		35S : AtDREB2A	05 events
1-5		35S : AREB1 FL	08 events
1-6		35S : AREB1 DQT	12 events

<sup>5</sup> 遺伝子組み換え技術のひとつ。金やタングステンなどの金属の微粒子に DNA をコーティングしたものを弾丸として、高速で射出して細胞内に DNA を導入する方法。

<sup>6</sup> T1 世代とは、遺伝子を導入した組み換え体の第一世代のこと。

1-7		35S : AREBM8	05 events
2-1	アグロバクテリウム法	35S : AREB WT	15 events
2-2		35S : NCED	01 event
2-3		35S : Gols	02 events

指標 3-3 : 少なくとも 3 系統の T1 世代種子が増殖される。

下表のとおり、パーティクルガン法を用いて導入した 6 種類のコンストラクトとアグロバクテリウム法を用いて導入した 1 種類のコンストラクトが、T1 世代でイベントを生じた。合計 36 系統であり、数値目標は既に達成している。

表 3-2 T1 世代で生じたイベント (コンストラクト毎の系統数)

	方法	コンストラクト名	系統数	系統名
1-1	パーティクルガン法	rd29A : AtDREB1A	9 lines	P58/ P1142 /P59/ P3069/ P1378/ P45/ P345/ P382/ P3075
1-2		rd29A : AtDREB2A	2 lines	P2193 and P1397 were confirmed in T1
1-3		35S : AtDREB1A	11 lines	11 identified in T1 Cb3208/ Cb3432/ Cb3489/ Cb3501/ Cb3850/ Cb4004/ Cb4128/ Cb4137 Cb4266/ Cb4351
1-4		35S : AtDREB2A	2 lines	02 identified in T1 Db2486/ Db2508
1-5		35S : AREB1 FL	6 lines	06 identified in T1 Eb24/ Eb2889/ Eb2057/ Eb2856/ Eb2992/ Eb2904
1-6		35S : AREB1 DQT	3 lines	03 identified in T1 Fb2639/ Fb2651/ Fb2654
1-7		(35S : AREBM8)	0 line	none in T1
2-1	アグロバクテリウム法	35S : AREB WT	3 lines	03 identified in T1 Ea2939/ Ea15/ Ea2493
2-2		(35S : NCED)	0 line	none in T1
2-3		(35S : GOLS)	0 line	none in T1

#### 3-2-4 成果 4

「環境ストレス耐性を示す組み換えダイズ系統が選抜される。」

アウトプット 4 には、6 個の指標があり、そのうち、2 つの指標は達成されている (指標 4-4 及び指標 4-5)。その他の指標については、良い成果が出つつあり、残り期間のプロジェクト活動が円滑に進捗すれば、プロジェクト終了時までにはすべての指標が達成されるものと期待される。

指標 4-1 : 乾燥応答性遺伝子が少なくとも 2 種類同定され、遺伝子解析が行われ、組み換えダイズが少なくとも 2 系統選抜される。

4,433 種類の乾燥応答性遺伝子が同定された。遺伝子解析に基づく組み換えダイズの系統の選抜は、今後実施される。

指標 4-2：高温応答性遺伝子が少なくとも 2 種類同定され、遺伝子解析が行われ、組み換えダイズが少なくとも 2 系統選抜される。

これまでに 3,317 種類の高温応答性遺伝子が同定された。遺伝子解析に基づく組み換えダイズの系統の選抜は、今後実施される。

指標 4-3：少なくとも 2 種類の遺伝子とプロモーターの組み合わせに由来する独立な系統から、少なくとも 2 系統の遺伝子発現が解析される。

遺伝子とプロモーターの組み合わせに由来する独立な系統からの遺伝子発現の解析については、今後実施される。材料移転契約（Material Transfer Agreement：MTA）にかかわる手続きが遅れると、この分析作業の開始に影響を与える可能性がある。

指標 4-4：温室、圃場でのダイズのストレス耐性試験手法が確立する。

これまで、本プロジェクトで生産した遺伝子組み換え系統について、相対水分量、光合成、発散、収量条件などのパラメーターを用いて、生態生理学的・農学的特徴を把握するため、温室並びに圃場条件での試験が実施されてきた。例えば、ストレス耐性評価として用いたひとつの方法は、5 日間の水不足条件下で生き延び、水不足条件下でも高い光合成率と高い相対的成長率を示し、再灌水後に葉にダメージがなかった植生体であること。詳細については、付属資料 3. 「ミニッツ」の Annex 11 を参照のこと。また、Embrapa ダイズ研究所では、ストレス耐性のスクリーニング手法を確立している。

温室及び圃場でのダイズのストレス耐性試験手法は、Embrapa ダイズ研究所において満足できる水準で確立されているといえる。

指標 4-5：温室で 2 種類以上（各 2 ライン以上）の組み換えダイズのストレス耐性評価が行われる。

温室条件下で、9 種類（4 種類のコンストラクト）の組み換えダイズ（系統）の分子学的・生理学的応答の評価が実施された。系統名とコンストラクト名は下表のとおりである。数値目標は既に達成している。

表 3-3 系統名とコンストラクト名

	系 統	コンストラクト
1	P58	rd29：DREB1
2	P1242	
3	2193	rd29：DREB2
4	A24.10	35S：AtAREB1 FL
5	A2889.12	
6	A2057.03	
7	A2639	35S：AREB1 DQT
8	A2651	
9	A2654	

指標 4-6：圃場で 2 種類以上（各 2 ライン以上）の組み換えダイズのストレス耐性評価が行われる。

Embrapa ダイズ研究所の圃場で、2 系統(rd29:AtDREB1A を有する P58 系統と rd29:AtDREB2A コンストラクトを有する P2193 系統) の試験が、過去 3 栽培シーズンにおいて実施された。その 3 年間のうち、3 年目だけが実際に圃場が乾燥条件下にあり、それ以前の 2 年間は年間降雨量が平均年よりも多かった（すなわち、乾燥条件下にはなかった）。将来的には、Embrapa ダイズ研究所は、実際の乾燥条件下での試験を実施する機会を増加させるため、他の地域で遺伝子組み換えダイズの試験を実施することを考えている。2011/2012 栽培シーズンには、DREB1AP58 と BR16 を交配したものについて、圃場での試験を実施した。

本プロジェクトでは、Embrapa ダイズ研究所の敷地内に 4 つの仕切られた部屋をもつ温室を新規に建設した。2 室については冷却システム（土壌水分や気温の制御が可能となる）を設置する予定であり、圃場試験の一環として次期作から利用される予定である。

（補足情報：Embrapa ダイズ研究所の圃場試験は、雨を遮るシェルター（屋根）付きの圃場も利用しつつ、天水条件下と灌漑条件下の 3 つの異なる条件での比較が実施できるようになっているが、降雨量が多いと、シェルター付きの圃場であっても、土壌が十分には乾燥しないため（空気中の湿度が影響する）、必ずしも十分な乾燥条件をつくれないう場合がある。そのため、本プロジェクトでは、シェルター付きの圃場施設を増設するのではなく、雨を完全に遮断し、室温も調整できる温室を新規に設けることになった。既存の温室内では、ポット試験が実施されているが、新規に設置された温室内では、実際の土壌条件に近い条件下で栽培試験を行う予定である。）

### 3-3 プロジェクト目標の達成見込み

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、指標 2、指標 3 については、その数値目標を達成している。指標 4 については、乾燥耐性応答の特徴を有する系統が 1 つあることが確認されている。今後、プロジェクト活動が計画どおり順調に進捗すれば、プロジェクト終了時までに環境ストレス耐性をもつ複数のダイズの系統が選定されることも期待される。

既に述べたように、アグロバクテリウム法の形質転換効率がまだ低い。形質転換効率がある程度高くなれば、環境ストレス耐性ダイズの作出技術が十分満足できる水準で開発されたと評価できるであろう。

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。

環境ストレス耐性に関する 12 種の有用遺伝子が、JIRCAS、理化学研究所、東京大学の研究者によって同定された。数値目標は達成している。次表に、上記各機関が同定した遺伝子の数量と名称を記載する。

機関名	同定された有用遺伝子の数量	遺伝子名称
JIRCAS	7	AtDREB1A, AtDREB2A, AtAREB1, GmAREB1, GmAREB2, GmAREB3, GmAREB4
東京大学	3	GmDREB2A;2, GmHK1A;1, GmHK1B;1
理化学研究所	2	GmNCED3A, GmNCED3B

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。

ストレス応答性プロモーターが 7 種類単離され、プロモーターと有用遺伝子の組み合わせの最適化が 3 通り行われた。数値目標は達成している。

(1) 単離されたプロモーターの情報

- ・シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*) から単離された 1 種類のプロモーター (RD29A)
- ・ダイズ (農林 2 号) から単離された 6 種類のプロモーター (GMRD1、XERO1、UN1、UN2、UN3、EFCM)

(2) 最適化の組み合わせ情報

- ・2 種類のコンストラクト (RD29A : DREB1A 及び RD29A : DREB2Aca) (JIRCAS による)
- ・1 種類のコンストラクト (RD29A : GmDREB2A;2) (東京大学による)

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。

前述のとおり、プロモーターと有用遺伝子の組み合わせ (コンストラクト) 7 種類がパーティクルガン法で導入され、3 種類がアグロバクテリウム法で導入された。すなわち、T0 世代でポジティブなイベントが確認された (ストレス耐性の特徴が導入されていること)。パーティクルガン法によって形質転換された 6 種類のコンストラクト (計 33 系統) とアグロバクテリウム法で形質転換された 1 種類のコンストラクト (計 3 系統) が、T1 世代で、ポジティブなイベントが確認された。2 種類のコンストラクトについては、遺伝子導入された系統数が 2 つであったが、その他の 5 種類のコンストラクトでは、系統数が 3 以上である。したがって、数値指標は達成している。

指標 4 : 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。

T1 世代への導入とイベントの発現状況を考慮し、プロジェクト開始初期に Embrapa ダイズ研究所のラボでつくられた P58 (rd29 : DREB1A) と P2193 (rd29 : DREB2) の系統を用いて、温室、圃場での試験並びに交配が実施された。その結果、P58 系統が乾燥耐性の特徴を有することが確認された。その他の遺伝子を用いて乾燥耐性を確認する試験が進められ、育種も進められることで、より多くの系統が開発されるものと考えられる。

## 第4章 評価結果

### 4-1 妥当性

本プロジェクトの妥当性は高い。

#### (1) 地球規模における気候変動への対応の必要性

急激な人口増加と世界的な工業化進展による温室効果ガスの増加に伴って、地球の温暖化が進んでいるとされ、地球規模での問題となっている。世界各地で、干ばつ、集中豪雨、大型の台風やハリケーンの多発といった異常気象による災害が頻繁に発生している。温暖化に伴い、世界各地で頻繁に干ばつ被害が報告されているとともに、作物耕作地での乾燥化が進み、干ばつによる作物収量の減少が生じ、食料や飼料などの生産にとって大きな問題となっている。

国連食糧農業機関（Food and Agriculture Organization, United Nations : FAO）の報告書（2015-2030年の世界農業予測）では、気候変動、特に気温上昇、降雨の年間分布の変化、降水量減少、土壌水分低下が挙げられている。その対策として、干ばつに強い品種、高温耐性品種、耐塩性品種の開発が挙げられている。

なお、従来の育種方法を用いて、干ばつに強い系統の選抜と育種への利用が試みられているが、時間がかかり、あまり目覚ましい成果が上がっていないのが現状である。近年急速に作物のゲノム研究が進展しており、干ばつに強い作物の開発のためには、これらの成果を利用した分子育種技術に期待がかけられている。そのため、ゲノム研究の成果を利用し作物の乾燥耐性にかかわる遺伝子を明らかにして、それらの遺伝子を利用した遺伝子組み換え技術を開発することが求められている。

#### (2) ブラジル国における耐乾性・耐暑性のダイズ品種開発の必要性

ブラジルでは、ダイズの商業栽培が1960年代から南部地域で始まり、現在ではアメリカに次いで世界第2位の生産量を誇り、ダイズ供給において重要な地位を占めている。ダイズ生産の増加に伴う耕作地の拡大によって、現在では、降雨量が不安定な地帯である中西部でも栽培が行われるようになり、近年、頻発する干ばつと水資源の枯渇懸念によりダイズ生産に大きな影響が出ている。このような状況で、ブラジルでは干ばつに強いダイズの育種は重要な研究開発目標となっており、遺伝子組み換え技術を用いて乾燥に強いダイズの研究に取り組んでいる。

以上のとおり、耐乾性・耐暑性のダイズ品種開発の必要性は、ブラジルにおいて重要であるだけでなく、地球規模の気候変動への対応策のひとつとして重要であり、対象地域・社会のニーズに合致しているといえる。

#### (3) ターゲットグループのニーズとの整合性

Embrapa ダイズ研究所は、1996年から遺伝子組み換えダイズの研究を始めている（除草剤耐性遺伝子の組み入れ）。また、Embrapa ダイズ研究所と JIRCAS は、1995年に共同研究合意書を締結し、「農牧輪換」や「南米ダイズ」プロジェクトを通じて研究協力が行われてきた。2003年度からは、遺伝子組み換え技術を利用して、干ばつあるいは高温耐性ダイズを作出す

ることを目的に共同研究が実施されている。このように、ブラジルでは、ダイズへの遺伝子導入技術の開発が進んできており、乾燥耐性を付与するために利用できる遺伝子を求めており、わが国との協力でこれらの研究を発展させることが望まれていた。具体的には、圃場で利用可能な乾燥耐性の遺伝子組み換えダイズの開発を成功させたいと強く期待していた。

このように、Embrapa ダイズ研究所は、遺伝子組み換えダイズの研究実績をもち、また、乾燥耐性遺伝子をもつダイズの開発ニーズをもっていたことから、ターゲットグループのニーズに合致したプロジェクトであるといえる。

#### (4) ブラジルの国家開発政策等との整合性

ブラジルにおいて大豆は、国内総生産、輸出、雇用の面で大変重要な穀物であり、ブラジル政府が重要視している生産分野である。農務省〔Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Ministry of Agriculture, Livestock and Supply)〕作成の「農業牧畜計画 2012/2013」(Agricultural and Livestock Plan 2012/2013)では、Embrapa に期待する役割として以下の点を挙げている。地球規模の温暖化が農業生産に与える影響にどう対処するかについて貢献すること、すなわち、Embrapa が、食糧安全保障及び再生可能エネルギーのための他の作物の提供といった面で、農業研究が貢献することが求められている。このように、本プロジェクトがめざしている「耐乾性・耐暑性のダイズ品種開発」は、ブラジルの開発政策との整合性があるといえる。

#### (5) 日本の援助方針との整合性

日本国の対ブラジル国の協力重点分野のひとつは農業であり、また、ブラジルで農業が重要な位置を占め、気候変動の影響に適応する取り組みを支援する方針を有する。本プロジェクトは、地球規模の気候変動、具体的には、「耐乾性・耐暑性のダイズ品種開発」を通じて、気候変動に適応することを目的にもつものであり、日本の協力方針に合致している。

#### (6) プロジェクトアプローチの適切さ

本プロジェクトは、環境ストレス耐性ダイズの作出技術の開発を目標に、成果1「有用遺伝子の同定」、成果2「プロモーターの単離と有用遺伝子との組み合わせの最適化」、成果3「プロモーターと有用遺伝子の組み合わせが導入されたダイズ系統の選抜」、成果4「環境ストレス耐性を示す組み換えダイズ系統の選抜」に関する研究が進められている。成果1と成果2については、JIRCAS、東京大学、理化学研究所が、これまでに進めてきたシロイヌナズナやイネの乾燥ストレス応答や耐性獲得に関する研究の成果・知見をダイズに応用することを通じて、乾燥ストレス耐性遺伝子やプロモーターを探索し、最適な組み合わせを見つけ出す。一方、Embrapa ダイズ研究所は主として、組み合わせの最適化が行われたコンストラクトを用いてこれをブラジルで栽培されているダイズ品種に導入し、圃場試験を行うことで乾燥耐性を示す組み換えダイズ系統の選抜を進める。Embrapa ダイズ研究所は、1990年代から遺伝子組み換えダイズにかかわる研究を進めてきた実績をもち、また、パーティクルガン法 (particle gun method) と呼ばれる形質転換技術をもつ。このように、日本側及びブラジル側の研究機関がもつ優れた技術を持ち寄り、それぞれ役割を分担して共同研究を進めることで、環境ストレス耐性ダイズの作出技術開発を進めることは、適切なアプローチであるといえる。

#### 4-2 有効性

プロジェクト終了時には、本プロジェクトの有効性が高くなることが期待される。

既に述べたように、プロジェクト活動が計画どおり進捗すれば、プロジェクト終了時まで環境ストレス耐性の複数の系統が選抜されると期待される。遺伝子同定のために多くの有用な活動が実施されており、プロジェクトの目標を達成するチャンスを増加させている。

重要な点のひとつは、アグロバクテリウム法による形質転換効率を向上させることである。効率の高いアグロバクテリウム法が確立されれば、環境耐性ダイズにかかわる遺伝子技術が十分満足できる水準に達したといえ、プロジェクトの有効性が高いといえる。

#### 4-3 効率性

MTA 締結に時間を要していること、アグロバクテリウム法による形質転換効率が低いこと、また、新規のバイオテクノロジー棟の建設が遅れたことなどがあったものの、これまでのところ、本プロジェクトの効率性は、満足できる水準であるといえる。

##### (1) 日本側投入

日本の研究機関（JIRCAS、理化学研究所、東京大学）の比較的多くの人数で、かつ高い資格を有する日本人研究者が本プロジェクトの研究活動に従事し、目標値以上の成果を生み出している。

分子育種技術及び植物分子生態学の分野の日本人研究者 9 名がブラジルに派遣された。派遣時の現地滞在期間は、大半が 10 日以下である。日本人研究者がもっと長い期間滞在できれば、技術協力においてより望ましいとの意見がある。

ブラジル人研究者の日本での研修参加者は、これまでにバイオテクノロジー分野で 6 名である。日本での研修は、研究者の能力の更なる向上に良い効果があり、また、プロジェクト活動の円滑な進捗に貢献していると思われる。プロジェクト活動に関連する分野は、バイオテクノロジー（分子生態学）だけではないので、必要に応じて、植物生態や植物育種などの分野のブラジル人研究者を日本に受け入れることもよいかも知れない。

日本側が Embrapa ダイズ研究所に供与した機器類・施設は、プロジェクト活動のために効果的に使用され、プロジェクト活動の円滑な進捗に貢献していると思われる。

##### (2) ブラジル側投入

ブラジル側も同様に、比較的多くの人数で、かつ高い技術力を有する研究者及び学生が、Embrapa ダイズ研究所において、本プロジェクトの研究活動に従事している。プロジェクト期間の前半では、分子生物学分野のプロジェクト活動に焦点が置かれ、この分野の重要性は今後も継続する。残りのプロジェクト期間では、ストレス耐性のダイズの系統を選抜するには、生態学及び育種の分野も重要になってくる。したがって、Embrapa ダイズ研究所のこれらの分野の研究員・テクニシャンの参加度が更に増加することが重要である。

合意（2009 年 8 月 31 日に日本側とブラジル側とが署名したミニッツ）に基づき、日本側は 3 名のテクニシャンを 2012 年 8 月末まで雇用した。合意書によれば、残りのプロジェクト期間においては、ポスドク（Post-Doctoral Fellow）の研究員・テクニシャンの雇用に関する費用は、ブラジル側が負担することになっている。しかし、Embrapa ダイズ研究所はこれら

要員を雇用することが困難であり、プロジェクト活動、特にアグロバクテリウム法にかかわる活動の進捗に影響を与えている。

各種の機器・施設が調達され、また新規のバイオテクノロジー棟が建設され、既存の Embrapa ダイズ研究所の施設の利用もあり、これらの投入は、プロジェクト活動の円滑な進捗に良い影響を与えている。新規のバイオテクノロジー棟の建設に遅れが生じたものの、プロジェクト活動に大きな影響を与えることはなかった。日本側の費用を用いて、4 つの仕切られた部屋を有する温室が建設され、そのうちの 2 部屋については、日本側費用により、今後数カ月以内に冷房施設が設置される予定である。しかしながら、残り 2 室分の冷房施設の調達については、まだブラジル側による資金手当が行われていない。

### (3) 技術開発

主として、日本側主導で、2008 年からアグロバクテリウム法の確立・最適化に向けた努力が傾注されてきた。アグロバクテリウム法は、転換する遺伝子コピーが 1 個あるいは 2 個であり、その後のプロセスを容易にするという特徴をもつ、遺伝子転換のためのひとつの有効な手法である。しかしながら、この手法を用いた際の形質転換効率はまだ低く、ストレス耐性のダイズを得るためには効率の向上が必要である。

### (4) 材料移転契約 (MTA)

コンストラクトを日本から Embrapa ダイズ研究所に送る場合、また、Embrapa ダイズ研究所から日本にダイズ種子を送る場合、Embrapa ダイズ研究所と日本の当該研究所間で、毎回、MTA が必要となる。通常、Embrapa 内で MTA 書類の審査に多くの時間を要しており、プロジェクト活動の円滑な進捗に影響を与えている。

## 4-4 インパクト

上位目標は、目標年である 2019 年までに達成することは難しく、更に数年は必要であろう。現時点では、特に大きな波及効果は発現していないが、環境ストレス耐性のダイズの品種が商業化される段階に到達すれば、そのインパクトは相当大きなものになると考えられる。

### (1) 上位目標の達成見込み

上位目標：環境ストレスに適応したダイズが開発され、ブラジルのダイズ生産の安定化に資する。

上位目標が目標年である 2019 年までに達成されることは難しく、更に数年を要すると考えられる。市場に流通するダイズの系統が開発されれば、ブラジル国内だけでなく、世界的にも大きなインパクトをもたらすと考えられる。

指標：2019 年までに環境劣化に対応したダイズが開発される。

Embrapa ダイズ研究所の研究者によると、新規の遺伝子組み換え作物開発を、ラボ・レベルから始めて圃場試験まで終了するには、通常、約 12 年を要するとの話である。そして、乾燥耐性のような環境ストレス耐性品種の開発には、更に長い年月を要する可能性がある。

本プロジェクトの目標のひとつは、プロジェクト終了時までになくとも1種類の環境ストレス耐性をもつ系統を選抜することである。系統選抜後には、生物科学的安全性試験や土壌管理試験が必要である。これらの試験には、それぞれ約5年間必要である。なお、同時並行的に試験を行うことも可能である。

本プロジェクトは2015年3月に終了するが、2019年は、それから4～5年後である。したがって、商品化される系統としての環境ストレス耐性のダイズを2019年までに開発することは困難な可能性が高い。

## (2) その他のインパクト

上記のとおり、商品化される系統の開発までには多くの年数を要するが、いったん、商品化可能な系統が開発されれば、そのインパクトは、ブラジル国内だけでなく世界的に極めて重要なものとなる。

このほか、ブラジル国内の研究機関では、植物が乾燥耐性をもつうえで、DREB 遺伝子が大変重要であるとの認識をもっており、DREB 遺伝子提供についての要望が多くある。JIRCAS は、要望を受けて、綿花、サトウキビ、コーヒー、インゲン豆に関する研究を行っている Embrapa の各研究所に、DREB 遺伝子を提供している。将来的には、他の作物でも乾燥耐性を有する作物が開発される可能性がある。

## 4-5 持続性

政策面、組織面、資金面、技術面で本プロジェクトの持続性が確保されるであろうと判断される。

### (1) 政策面

妥当性の項で述べたように、ブラジルではダイズは、国内総生産、輸出、雇用の面において極めて重要な作物のひとつであり、連邦政府は、重要な生産セクターのひとつであると位置づけている。Embrapa ダイズ研究所の重要な役割のひとつは、地球温暖化が農業生産面に与える影響を少なくすることに貢献することである。したがって、本プロジェクトの政策面での持続性は確保されると判断される。

### (2) 組織面

Embrapa ダイズ研究所は、遺伝子組み換えダイズを開発するために必要な部署・組織体制、例えば、バイオテクノロジー、生態学、育種などの部署を有しており、高い資格をもつ研究者、テクニシャン、学生（ブラジル政府の奨学金をもらいつつ、Embrapa ダイズ研究所で研究活動に従事している）がいる。また、Embrapa ダイズ研究所は、民間企業と共同で遺伝子組み換えダイズ（除草剤耐性）の開発を成功させた実績を有する。したがって、環境耐性ダイズの開発を継続するために必要な組織面での持続性を有している。

### (3) 資金面

投入の項で述べたように、Embrapa は、機器類調達と新規のバイオテクノロジー棟建設などのためにかなり大きな予算を支出している。したがって環境耐性ダイズの開発を継続する

に必要な資金的持続性は確保されているといえる。

#### (4) 技術面

Embrapa ダイズ研究所は、除草剤耐性の遺伝子組み換えダイズ開発実績を有する。また、Embrapa ダイズ研究所は、2003 年から JIRCAS と共同でストレス耐性ダイズの研究を行ってきた。したがって、Embrapa ダイズ研究所は、この分野で非常に高い専門性を有する。技術面で改善が必要な点は、アグロバクテリウム法による形質転換効率であり、現在、Embrapa ダイズ研究所が、そのプロトコルの最適化を進めている。いったん、プロトコルが最適化されれば、一定の望ましい効率で形質転換が継続可能となることが期待される。環境耐性ダイズの開発を効率的・効果的に継続するための技術的持続性は確保可能と考えられる。

#### 4-6 結 論

プロジェクト活動の進捗は、おおむね計画どおりであり、大半の場合、計画以上の成果を生み出している。残りの2年半のプロジェクト期間のプロジェクト活動を円滑に実施するうえで、いくつかのリスクがある。そのリスクを低減させ、より良い成果を得るための提言について、提言の項目で記載する。

## 第5章 科学技術的視点からの評価

### 5-1 JST 国内領域別委員会による評価結果〔地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS) 研究課題別中間評価報告書より〕

#### 5-1-1 研究課題名

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 (2010年3月～2015年3月)

#### 5-1-2 研究代表者

1. 日本側研究代表者：篠崎 和子 (JIRCAS 特定研究主査)
2. 相手側研究代表者：Dr. Alexandre Nepomuceno (Embrapa ダイズ研究所)

#### 5-1-3 研究概要

ブラジルのダイズ生産量は世界第2位で世界の総生産量の約1/3を占めるなど同国にとって非常に重要な作物であるが、気候変動による干ばつの問題が世界各地で顕在化している近年、干ばつに強い品種の開発が急務になっている。

本研究では、JIRCAS・理化学研究所・東京大学が、シロイヌナズナなどのモデル植物を用いた環境ストレス耐性遺伝子群に関する研究成果や急激に進展しているダイズのゲノム解析技術を基盤として、乾燥などの環境ストレスに対する耐性獲得に関与するダイズの遺伝子群やその発現を制御するプロモーターを明らかにし、遺伝子とプロモーターのコンストラクトを日本側で作製し、Embrapa ダイズ研究所に提供する。

Embrapa ダイズ研究所ではこれらのコンストラクトをパーティクルガン法及びアグロバクテリウム法にてブラジルのダイズ品種に導入し、圃場試験において、得られた形質転換体の環境ストレス耐性評価など生理学的実験・解析を行うことにより、乾燥等の環境ストレス耐性ダイズ品種の作出技術の開発をめざす。

#### 5-1-4 評価結果

【総合評価】A：所期の計画と同等の取り組みが行われている。

日本側の研究は、研究代表者のリーダーシップの下、さまざまな着想による研究が行われている。特に、乾燥を中心とした非生物的ストレスへの耐性や応答に関与する遺伝子の機能については多くの研究成果が生まれており、得られた分子生物学的知見は、基礎研究として優れており、評価の高いジャーナルに論文が多数発表されていることは高く評価される。

一方、ストレス耐性機構の分子生物学的解明や遺伝子の同定、機能解析、遺伝子発現に必要なプロモーターの同定、実際の遺伝子導入に用いるコンストラクトの作製などは、所期の計画と同等の取り組みが行われており、成果が得られているといえる。今後の共同研究期間中に、これまでに作製したコンストラクトを導入した遺伝子組み換え体の転換効率の向上と、遺伝子組み換え体の圃場条件での検証を通して、社会実装に向けた乾燥耐性遺伝子組み換え体ダイズが作出されることが期待できる。

## (1) 国際共同研究の進捗状況について

日本側研究体制については、JIRCAS が環境ストレス耐性遺伝子の探索と耐性作物の作出技術の開発を、理化学研究所が環境ストレス制御因子遺伝子の探索を、東京大学が環境ストレスの受容体遺伝子の探索を分担し、計画どおり順調に研究が進展しており、シロイヌナズナを用いたストレス応答性遺伝子の機能解析から、ダイズの有用遺伝子解析のための基礎データが得られている。また、ダイズ遺伝子の発現解析を網羅的に行い、有用性の高いプロモーター単離のための基礎データが得られている。加えて、ダイズからストレス耐性の獲得にかかわると考えられる遺伝子を単離して機能解析が行われている。そして、ダイズに遺伝子導入するために、乾燥ストレス応答に関与する転写因子遺伝子 DREB や AREB1、糖の合成酵素 (GolS2) の遺伝子などを用いて 14 個のコンストラクトが作出され、Embrapa ダイズ研究所に送付されている。

一方、ブラジル側は、ダイズへの乾燥耐性遺伝子の導入と圃場試験を分担しているが、遺伝子導入に関しては、これら 14 個のうち 7 コンストラクトがパーティクルガン法により、1 コンストラクトがアグロバクテリウム法により、ブラジルのダイズ品種に導入された。本プロジェクトではアグロバクテリウム法による形質転換をいかに効率良くできるかが成否の鍵になるが、中間評価時点での両方法による形質転換効率は低く、目標に到達していない。

日本・ブラジル間で研究試料の受け渡しに必要な MTA の締結にかなりの時間を要しているため、改善が必要であろう。

乾燥耐性が付与された作物の作出は、世界的な関心の的であり重要である。ダイズのストレス耐性遺伝子の機能の解析、乾燥や高温ストレスによって誘導される遺伝子の同定、ストレス誘導性プロモーターの単離・同定など、分子生物学的研究で得られた成果は、国内外の類似研究と比較しても、科学的インパクトがかなり高い成果であるといえるが、今後、形質転換効率を上げる取り組みが必須である。

原著論文発表は、国際誌 50 件、総説 27 件、国内外の招待講演は 40 件以上、口頭発表（国内会議 27 件、国際会議 3 件）、ポスター発表（国内会議 35 件、国際会議 55 件）と数多くなされている。また、世界のダイズ生産の安定化における乾燥耐性ダイズ品種の分子育種の重要性を示す活動も行っている。

## (2) 国際共同研究の実施体制について

日本国内の 3 研究チーム間の連携はよくとれており、研究代表者のリーダーシップは適切に発揮されている。

ブラジル側はダイズの乾燥耐性実用品種の作出に加えて、他の作物でも乾燥耐性の実用品種作出を試みたいという希望を表明している。また、遺伝子組み換え体の圃場での評価を日本側研究者と協働で実施することや、評価担当者の日本での研修を要望している。圃場検定には、アグロノミストの協力が不可欠であり、遺伝子組み換えダイズの圃場試験での評価に際しても、日本側のもっている技術も有用であると思われるので、この分野の日本人研究者の参画（例えば、研究代表者の所属研究機関での協力体制を構築することなど）も考慮することが望ましい。

ブラジル側のプロジェクトリーダーが途中でアメリカに出向となったが、リーダー代行

を立ててプロジェクトを進める一方、研究室スタッフとは定期的に SKYPE で交信しており、Embrapa ダイズ研究所での研究状況をしっかり把握しており、リーダーシップは十分に発揮されているので、出向による影響はほとんどないと思われる。

研究費の執行状況は特に問題はみられない。

### (3) 科学技術の発展と今後の研究について

プロジェクトの成否は、遺伝子組み換え体の圃場での検証にかかっているため、その実施体制・方法を強化することが求められる。すなわち、植物生理学、植物栄養学、育種学などの関連専門家の参画により、農業形質の評価を進めることが重要になる。Embrapa ダイズ研究所には幅広い分野の研究者がそろってはいるが、今後の解析では、これらの分野の日本側研究者の参加が望まれる。

ストレス耐性機構の分子生物学的解明や遺伝子の同定、機能解析、遺伝子発現に必要なプロモーターの同定、実際の遺伝子導入に用いるコンストラクトの開発など、乾燥耐性ダイズ系統の作出技術の開発は引き続き成果が期待される。しかし、本プロジェクトは、同時に、圃場で使える乾燥耐性の遺伝子組み換えダイズの作出を目的としているので、これに向けた努力を傾けることによって初めて実用的な成果が期待できる。

アグロバクテリウム法による形質転換体作出は本プロジェクトの成否にかかわる重要な課題であるが、現状では転換効率が極めて低く、格段の改良が必要である。

国内3機関における日本人の若手人材の参画が積極的になされているので、人材育成は順調であり、今後も大いに期待できる。アグロバクテリウム法やパーティクルガン法による遺伝子組み換え体の作出やその耐性評価にかかわる日本人人材の育成も期待したい。

### (4) 持続的研究活動等への貢献の見込み

分子生物学的研究の面での相手国側研究者の育成は順調に行われている。しかし、相手国側機関には圃場で遺伝子組み換え体の評価を行う研究者についても育成したいという希望があるので、その面での人的交流の促進を期待したい。

基礎的な研究は確実に継続されることが見込まれる。

ブラジル側実施機関である Embrapa ダイズ研究所には乾燥耐性遺伝子組み換え体ダイズの品種育成に対する強いニーズがあり、本プロジェクトによって、JIRCAS では、これまでも研究員・研究技術員を招へいし、ストレス耐性・応答・感知の研究領域に必要とされる分子生物学的実験・解析手法について研修を行っている。また、日本側から研究員をブラジルに派遣し、Embrapa ダイズ研究所の実験設備（温室、圃場、実験室）に応じた実験・解析手法の提案も行っている。今後もブラジルから研修生を受け入れる予定であり、人的交流を深め人材育成が促進されるので、持続的な発展は期待できる。

一方、研究施設・設備についても、Embrapa ダイズ研究所は新規に乾燥耐性試験用の温室、アグロバクテリウム法による形質転換を行うための実験棟をつくっている。これらの設備はダイズ以外の作物への応用を含め、ブラジルでの持続的研究活動を支える基盤となるものと考えられる。

(5) 今後の課題

今後はブラジルでの圃場試験を進め、さらに、Embrapa ダイズ研究所で得られた各種形質転換ダイズの種子を日本側研究機関に送付してその生理機能を解析することで、プロジェクト目標である環境ストレス耐性ダイズの作出技術開発をめざすことになる。

- 1) 本プロジェクトの活動には、分子生物学や生態生理学、育種学を含んでおり、これらの研究手法を用いた圃場条件における遺伝子組み換え体の耐乾性検証は重要な課題である。したがって、プロジェクトの進展に応じて、生態生理学、育種学分野における日本側での研修生受け入れの可能性及びEmbrapa ダイズ研究所への日本人専門家の派遣の可能性について、協力を得られる組織・研究者の新たな参画を含めて双方で検討していただきたい。圃場試験の体制についてはブラジルチームに日本人の生理学・作物学専門の研究者が加わって共同で研究を実施するのが望ましい。
- 2) これまでの分子生物学的手法を主体とした基礎的な研究から、社会実装に至る道筋を示すためには、アグロバクテリウム法による形質転換体作出の効率向上をめざして一層努力を傾注していただきたい。
- 3) ブラジルのダイズ品種の形質転換効率が低いので、並行して現在転換効率が比較的高い日本の品種を使用し、プロジェクト終了までに圃場検定をすることも考えられる。

付随的成果			
社会への発信	プレスリリースや成果の発表等の広報活動		
特許出願	形質転換ダイズ	最適化プロモーターと耐性遺伝子との組み合わせ	
レビュー付雑誌等への掲載	ストレス受容・応答分野について掲載	ストレス耐性分野について掲載	効率的形質転換法について掲載
人材育成	次世代リーダーの育成	参画学生による論文掲載	
生物資源へのアクセスの確立	MTAにもとづいた形質転換ダイズの譲渡		

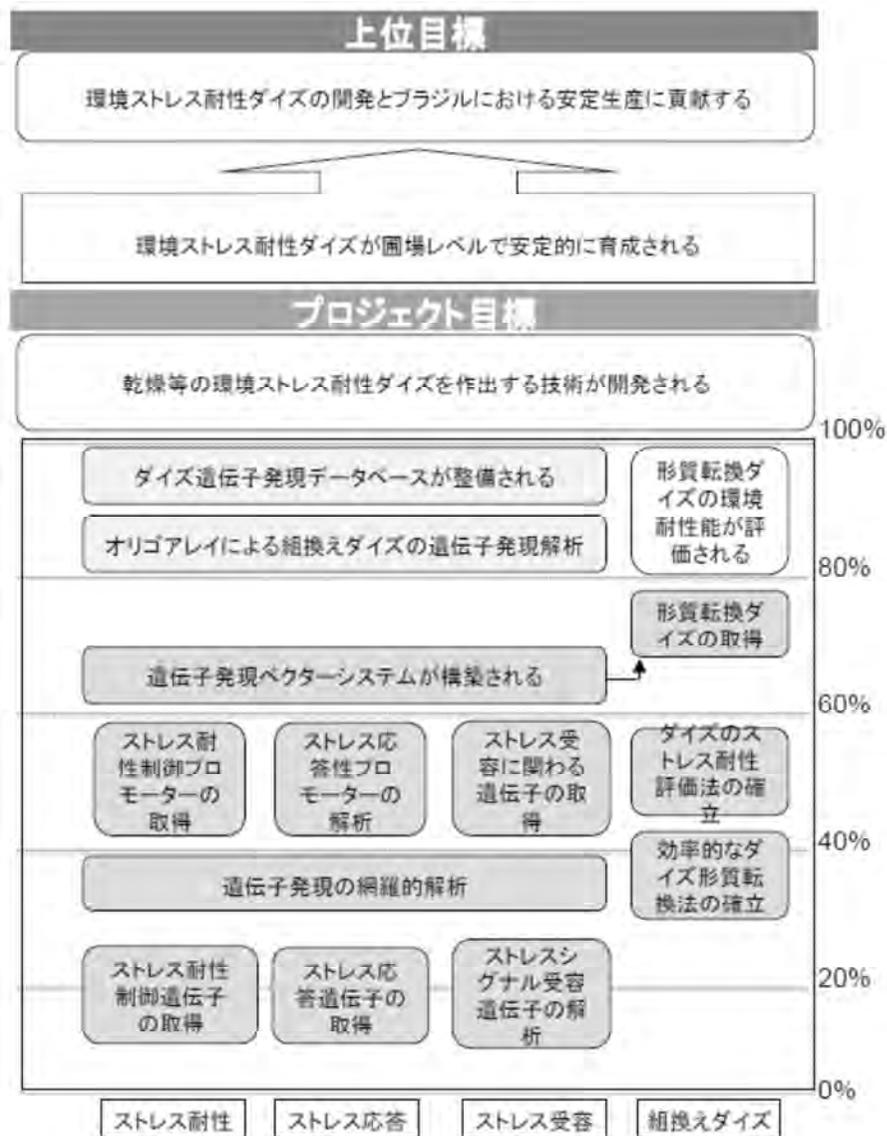


図5-1 成果目標シートと達成状況 (2013年1月時点)

## 第6章 提 言

### 6-1 残りのプロジェクト期間にプロジェクトが対応すべき事項

#### (1) 有用遺伝子の導入に係る形質転換効率改善に向けた技術の向上

プロジェクトの目的達成のためには、アグロバクテリウム法による形質転換効率の改善が重要である。残り少ないプロジェクト期間を考慮すれば、本分野で専門的知識を有する外部機関の情報の活用によるプロトコールの最適化の作業など、形質転換効率の改善に向けた引き続きの努力が望まれる。あわせて、パーティクルガン法による形質転換効率の改善に向けた継続的努力も望まれる。

#### (2) 人員の適切な配置

プロジェクト実施に参加している人員についてはおおむね適切に配置されている。ただし、今後、形質転換効率の改善が進めば、そこに常時携わることの可能なテクニシャンの配置が不可欠となる。

#### (3) コミュニケーションの改善

プロジェクトに関係する研究者が等しく進捗状況や課題を把握できるように定期的なミーティングの実施、e-mailでの頻繁なやり取り等によるコミュニケーションの更なる改善が望まれる。

### 6-2 日本側が対応すべき事項

#### (1) 人的交流分野の多様化

本プロジェクトの活動には、分子生物学や生態生理学、育種学を含む。したがって、プロジェクトの進展に応じて、生態生理学、育種学分野における日本側での研修生受け入れの可能性及び日本人専門家の Embrapa ダイズ研究所への派遣の可能性について双方で議論することが望まれる。

#### (2) 日本人専門家の Embrapa ダイズ研究所への派遣

日本から派遣される専門家について、Embrapa ダイズ研究所側が十分な技術交流の成果を得るために、技術交流の内容や方法について、事前に適切に調整を図ることが望まれる。

### 6-3 ブラジル側が対応すべき事項

#### (1) MTA の手続きの迅速化

Embrapa における MTA の決裁手続きに時間を要していることが、研究機関間の試料の送付の遅延を引き起こしており、プロジェクト目標の達成に悪影響を及ぼすことが懸念される。早急に、手続きの迅速化につき善処するべきである。

#### (2) ミニッツ (M/M) にのっとったテクニシャンの雇用

プロジェクトの円滑な実施のためには、常時携わることの可能な人員の配置が不可欠である。2009年8月31日付ミニッツ (Minutes of Meeting : M/M) での約束に沿って、Embrapa

ダイズ研究所は、プロジェクトに常時携わることが可能な人員の配置について早急に検討すべきである。

### (3) 温室用の冷房システム導入に向けた予算措置

プロジェクトの目的達成に向け、効率的な栽培試験の実施は重要である。現在進めている温室の冷房システムの導入は4室のうち2室分のみであり、残り少ないプロジェクト期間を考慮すれば、Embrapa ダイズ研究所は、残り2室分の導入についても早急に予算措置を図るべきである。

## 第7章 団長所感

本科学技術協力は、「環境ストレス耐性ダイズの作出技術の開発」をプロジェクト目標に 2010 年 3 月に Embrapa ダイズ研究所を相手国機関として開始された。日本側協力機関は、JIRCAS（代表研究機関）、東京大学、理化学研究所である。ブラジルのダイズは世界総生産量の約 1/4 を占めるなど同国にとって非常に重要な作物であるが、気候変動による干ばつの問題が世界各地で顕在化している近年、干ばつに強い品種の開発は急務のこととなっている。

このような背景下、本協力は、①環境ストレスに対する耐性獲得に関与する有用遺伝子の同定（日本での業務）、②ストレス応答性プロモーターの単離と有用遺伝子との組み合わせの最適化（日本での業務）、③プロモーターと有用遺伝子の組み合わせが導入されたダイズ系統の同定（ブラジルでの業務）、④環境ストレス耐性を示す遺伝子組み換えダイズ系統の選抜（ブラジル及び日本での業務）という 4 つの期待される成果を有し活動を展開している。

中間レビューの結果、日本側業務である成果①と②は既にほぼ達成していることが分った。成果③の達成に向けては、日本で作出された 14 個のコンストラクト（有用遺伝子とプロモーターの組み合わせ）が Embrapa ダイズ研究所に送られ、パーティクルガン法とアグロバクテリウム法によるダイズの形質転換（遺伝子組み換え）作業が行われている。パーティクルガン法は従来から Embrapa ダイズ研究所が用いている方法だが作業が複雑なため、同研究所としては先進国で近年採用されているアグロバクテリウム法による形質転換技術を促進させたいとしている。なお、現在までの両方法による形質転換効率は低いレベルにとどまっているため（プロジェクトとしての目標は 1.5%）、その向上がプロジェクト目標達成のために望まれる状況となっている。成果④の環境ストレス耐性を示す遺伝子組み換えダイズ系統の選抜作業は、Embrapa ダイズ研究所の温室と圃場での各種遺伝子の形質転換ダイズの種子の獲得と日本側研究機関での解析からなる。この作業自体は既に着手されているが、本格的な活動はこれからとなっている。

調査の結果、協力活動は計画どおりにおおむね順調に推移しており、次に示す提言への措置が講じられれば、プロジェクト目標達成の可能性は大きいと判断されることが分かった。

プロジェクト活動の円滑化に向けての提言としては、①形質転換率の改善に向けた外部機関情報の活用、②M/M にのっとった Embrapa ダイズ研究所によるテクニシャン等の雇用などを通じた人員の適切な配置、③コミュニケーションの改善、④MTA の手続きの迅速化、⑤温室の Cooling system 導入に向けたダイズ研究所による予算措置などを挙げた。

これらのうち、プロジェクト後半部における Embrapa によるテクニシャン等の雇用は詳細計画策定調査時の M/M で約束されたものであり、本調査期間中、その履行をブラジル側に対して申し入れた。これに対し Embrapa ダイズ研究所の所長からは、制度上の制約から新規人員の雇用は極めて困難なので、既存スタッフのうちの 2 名をフルタイムのカウンターパート（Counterpart : C/P）としてプロジェクトに配置するとの回答があった。MTA の手続きに関しては、JIRCAS、東京大学、理化学研究所と Embrapa 間のその締結に約 12 カ月を要するなど活動進捗上の大きな支障となっているため、その善処を M/M に明記するとともに Embrapa 本部の関係部署に対しても要請した。

なお、日伯のプロジェクト関係者間のコミュニケーションはテレビ会議の活用や相互訪問により取られてはいるが、日本人関係者の派遣期間が非常に短いこともあり十分とはいえない面が散見される。よって今後はより頻繁な協議などを通して関係者間のコミュニケーションを改善し、

プロジェクト活動の更なる円滑化につなげる必要があるとの提言を行った。温室の Cooling system 導入に向けたダイズ研究所による予算措置については、所長の方よりその導入に向けた予算要求を Embrapa 本部に対して行うとの回答があった。

なお、Embrapa ダイズ研究所の所長より「プロジェクトの進捗状況は良いが、活動内容をアカデミックなものから応用的なものしてほしい」との発言があった。その言葉の背景には、Embrapa ダイズ研究所としては将来の商品化につながる協力事業を推進したいとの意図がある。また「将来の商品化のためには乾燥耐性だけではなく除草剤耐性遺伝子をあわせもつ遺伝子組み換えダイズの開発が必要で、除草剤耐性遺伝子の組み入れについては Dow AgroScience 社（アメリカの民間企業）との提携を考えている。その提携も加わった協力事業を行いたいので日本側の承諾を得たい」との申し出があった。この申し出に対し、日本側チーム（JICA、JST、JIRCAS）で協議のうえ、調査団として「協力期間中に商品化に向け民間企業が参画すると、科学技術協力のコンセプトとフレームが損なわれるので、プロジェクト期間中の参画は受け入れることができない」と回答した。