

インドネシア共和国
PT. Perkebunan Nusantara X(Persero)

インドネシア共和国
農業生産性向上のための
複合センシング技術普及促進事業
報告書

平成28年5月
(2016年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

日本電気株式会社

民 連
J R
16-061

インドネシア共和国

PT. Perkebunan Nusantara X(Persero)

インドネシア共和国
農業生産性向上のための
複合センシング技術普及促進事業
報告書

平成28年5月

(2016年)

独立行政法人

国際協力機構 (JICA)

日本電気株式会社

目次

1. 事業の概要	1
1.1 背景	1
1.2 対象地域・分野が抱える開発課題の現状	1
1.3 普及対象とする技術	3
1.4 実施体制	5
2. インドネシアの開発課題分析	6
2.1 ビジネス環境	6
2.1.1 投資に関する制度・規制	6
2.1.2 インフラ整備状況	7
2.2 農業セクターの政策と課題	7
2.2.1 農業セクターの開発政策	7
2.2.2 サトウキビ産業の現状と課題	9
3. 事業実施内容と成果	13
3.1 農業リモートセンシング技術	15
3.1.1 衛星画像の取得	16
3.1.2 衛星画像解析結果	17
3.1.3 圃場調査	21
3.2 農業気象データ解析技術	27
3.2.1 技術指導	29
3.2.2 設置	31
3.2.3 計測結果	34
3.2.4 設置場所の妥当性	38
3.3 衛星測位システム応用技術	40
3.4 現地セミナー	44
4. 事業展開の方向性	48
5. 事業を通じ期待される開発効果	49
6. インドネシア国向け ODA 事業との連携可能性	50
6.1 関連 ODA 事業との連携可能性	50
6.2 ODA 事業化の可能性	50

地 图



図表リスト

図リスト

図 1 サトウキビ農場の地図	2
図 2 圃場の様子.....	2
図 3 営農包括支援プログラムの概念図	3
図 4 インフラ整備状況.....	7
図 5 過去 5 年間のサトウキビ生産量の推移.....	9
図 6 過去 5 年間の砂糖の生産量の推移.....	10
図 7 PTPN-X と契約農家の実施体制	11
図 8 衛星画像撮影時期と圃場可視度.....	16
図 9 対象圃場の衛星カラー画像	17
図 10 衛星画像（拡大）と栽培管理情報	18
図 11 NDVI 処理画像	19
図 12 NDVI の時系列変化と特徴的な時点での衛星画像	20
図 13 NDVI 解析結果と現地調査での生育状況の様子	21
図 14 雨季における衛星画像と NDVI 解析結果	22
図 15 圃場調査結果.....	23
図 16 NDVI 解析結果	24
図 17 圃場調査結果.....	24
図 18 分解能が異なる衛星画像の比較.....	25
図 19 気象観測装置.....	27
図 20 計測例.....	28
図 21 気象観測装置の現品確認、組み立て、動作確認、運用技術指導、仮設置の様子	29
図 22 設置場所調査の様子	30
図 23 気象観測装置の設置場所.....	31
図 24 設置場所と設置台.....	31
図 25 気象観測装置設置の様子.....	32
図 26 気象観測装置設置の保安設備	33
図 27 気温	34
図 28 湿度	34
図 29 日射量.....	35
図 30 降水量.....	35
図 31 気圧	35
図 32 風速	36
図 33 風向	36
図 34 三箇所における気象データの計測結果比較（2016 年 1 月）	38
図 35 農業情報提供システム表示画面例	40
図 36 圃場内移動経路	41
図 37 2014/15 年度収穫結果.....	43

図 38 現地セミナーの様子.....	46
図 39 ロードマップ.....	48

表リスト

表 1 複合センシング技術の概要.....	4
表 2 役割分担.....	5
表 3 主な投資規制と促進策.....	6
表 4 現地活動概要.....	13
表 5 評点テーブル.....	16
表 6 雨季と乾季の気象傾向.....	37
表 7 期待される開発効果.....	49
表 8 既存 ODA 事業との連携(案).....	50
表 9 ODA 事業化の提案.....	51

1. 事業の概要

1.1 背景

インドネシア国政府は、「経済開発加速マスタープラン(MP3EI) 2011～2025」において、インドネシア国を「グローバルな食糧安全保障の基地」とすることを掲げ、コメ、トウモロコシ、大豆、砂糖、牛肉の 5 品目を増産政策の重要品目として位置づけているが、現状では内需充足のための食糧生産力にも不足があり、この増強は喫緊の課題となっている。

このうち、インドネシア国のサトウキビ農業は、インドネシア国の生活水準の向上に伴い需要が増加する中、タイ国等周辺国からの輸入依存が課題となっており、過去 20 年間で砂糖輸入量はおよそ 13 倍に増加し、現在では世界第 2 位の砂糖輸入国となっている。

このような状況のもと、広範囲の農地をカバー可能なセンシング技術を駆使した農業技術は、国レベルでの農業改善手段として効果的且つ効率的であり、砂糖生産量の増加（自給率の改善）、サトウキビ農家の所得改善（サトウキビ農家の平均年収は約 1,250 米ドルで BOP 層の水準）、バイオエタノールの生産増（輸出増及び環境循環型エネルギーの普及）への貢献が期待される。

本事業では、傘下に多数の農家を抱えるインドネシア国最大のインドネシア国営製糖・プランテーション公社 PT. PERKEBUNAN NUSANTARA X（以下、「PTPN-X」という。）を実施機関とし、PTPN-X に対してセンシング技術を活用した農業技術の導入を図ることにより、本技術に対する PTPN-X の理解を促すと共に、農業開発における活用可能性を検討する。

1.2 対象地域・分野が抱える開発課題の現状

- 相手国実施機関
PT. PERKEBUNAN NUSANTARA X (PERSERO)
- 対象地域
インドネシア共和国 東ジャワ州クディリ県
- 受益者
製糖産業 PTPN-X および契約農家

PTPN-X が保有するサトウキビ農場の地図を図 1 に示す。青い線は区画の境界を表し、区画単位でサトウキビの栽培が管理されている。区画数は約 800、総面積は約 3,800ha である。各区画においてサトウキビの植付け作業が 3 月下旬から半年間に渡り実施される。サトウキビの栽培期間は 1 年以上を要し、翌年の 5 月頃から半年間に渡り収穫作業が実施される。その間、各区画では、様々な品種や栽培方法に対する営農作業が並行して進められており、広大な圃場に対して複雑な営農情報管理が求められる。図 2 はサトウキビが十分に生長した時の圃場の様子である。サトウキビの草丈は人の背丈をはるかに超えており、畦道から圃場内部の様子を把握することは困難である。作物の生育に関して重要な要素となる気象環境に関しては、計測機器等が未整備である。

複合センシング技術は、広範囲な農地の状態を観測したデータと栽培に関する情報とを、位置情報に基づいて総合的に把握・管理する技術である。気候や栽培プロセスが収量にどのように影響す

るかを調査、理解するための基盤を整備し、データの蓄積や分析を進めることにより、収量向上の指針を得ることができる。

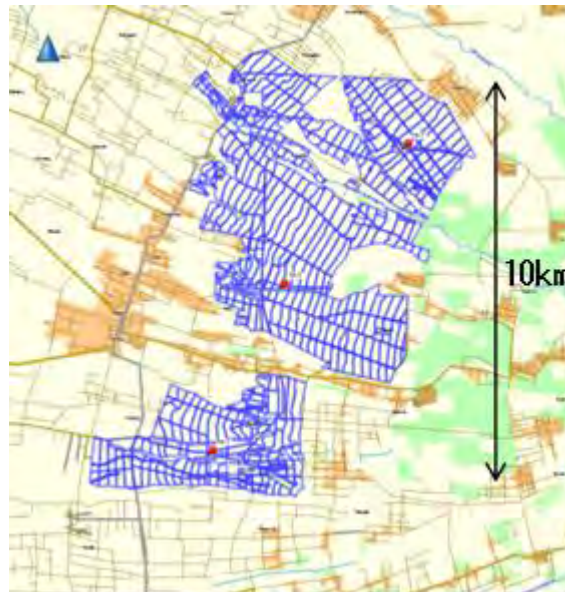


図 1 サトウキビ農場の地図



図 2 圃場の様子

本事業において、複合センシング技術の普及によりインドネシア国のサトウキビ農業の生産性が向上することを上位目標とし、インドネシア国営製糖・プランテーション公社を始めとする現地関係者に複合センシング技術の有用性を示すという実証活動を通して、新たな農業技術の理解を促進させる。さらに、日本国の民間企業がインドネシア国において実効性のあるビジネス展開に結びつけるための情報を収集し、ビジネス展開の方向性を得る。

1.3 普及対象とする技術

インドネシア国のサトウキビ農業生産性向上のための営農包括支援プログラムの概念図を図 3 に示す。複合センシング技術は、①地球観測衛星と②気象観測装置等を用いて広範囲な農地の状態を観測した様々なデータと栽培に関する情報とを③地理情報システム（GIS）を用いて総合的に把握・管理する技術である。本事業においては、①、②、③に関する技術をそれぞれ農業リモートセンシング技術、農業気象データ解析技術、衛星測位システム応用技術と称する。本技術の活用例は以下のとおりである。種々のデータを分析することにより、気象環境、栽培作業、生育状況との相関を見出す。栽培計画や収穫時期、製糖工場の安定稼働のための物流計画等について迅速に判断し、現場の作業者に対して的確に指示する。収穫・製糖結果を分析し、次年度の作付け計画の立案や栽培方法および輸送方法の改善策を検討する。改善策の実施についてモニターするとともに有効性を評価する。このように営農包括支援プログラムは、生産性向上を目指した農業技術の継続的な改善を強力に支援するものである。

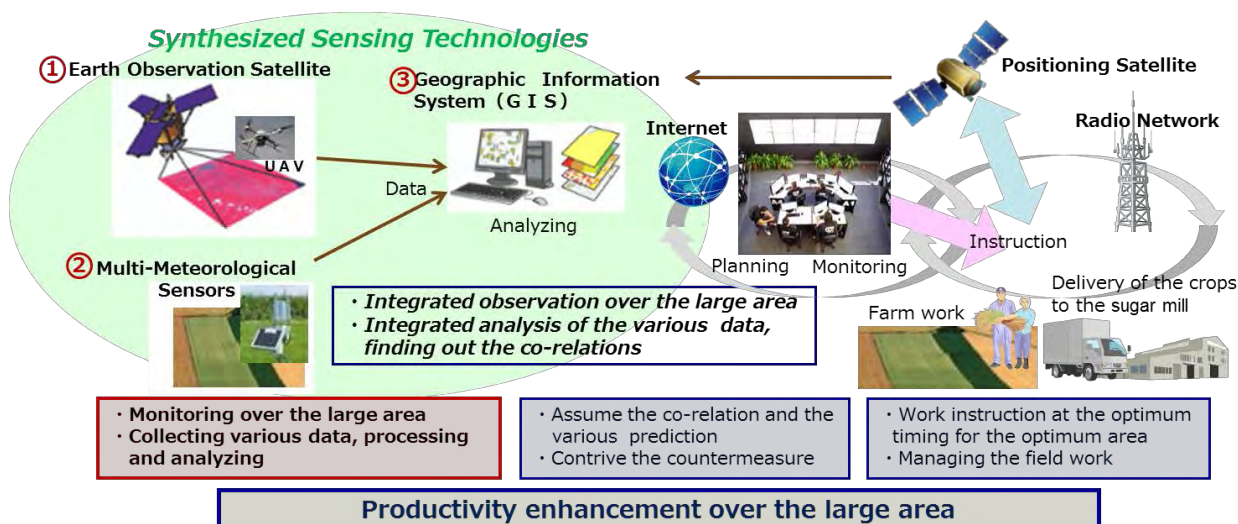


図 3 営農包括支援プログラムの概念図

本事業において実施する複合センシング技術の概要を表 1 に示す。

・ 農業リモートセンシング技術

対象圃場の衛星画像に対し、植生の分布状況や活性度を示す正規化差植生指数 (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) を計算する。解析結果と生育状況との対応づけを実施する。

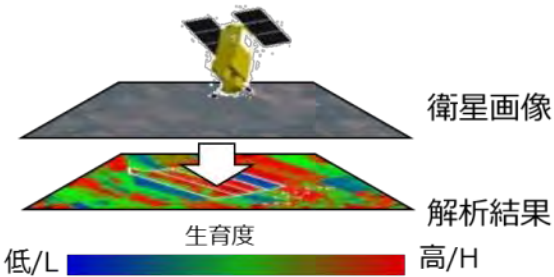
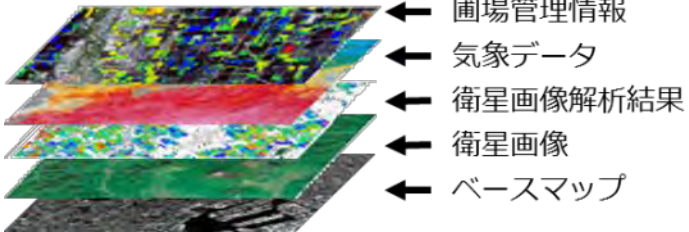
・ 農業気象データ解析技術

気象観測装置を設置し、気温、湿度、日射量、降水量、気圧、風速、風向を計測する。気象観測装置のデータ収集方法、メンテナンス等の運用技術を指導する。生育に影響を与える項目の年間変動について傾向を把握する。

・ 衛星測位システム応用技術

ベースマップ上に衛星画像や圃場管理情報を表示するとともに、衛星画像解析結果や気象データを参照することで、農地に関する様々な情報を地図上で一元管理する地理情報システムの簡易版を作製する。

表 1 複合センシング技術の概要

農業リモートセンシング技術	 衛星画像 解析結果 生育度 低/L 高/H
農業気象データ解析技術	 気象観測装置 気温、湿度、日射量、 降水量、気圧、風速、風向
衛星測位システム応用技術	地理情報システム (GIS)  圃場管理情報 気象データ 衛星画像解析結果 衛星画像 ベースマップ

1.4 実施体制

本事業を実施するにあたり、相手国実施機関(PTPN-X)の協力を得た。各実施機関の役割分担を表 2 に示す。

- ・農業リモートセンシング技術

NEC は、PTPN-X から提供された農地や栽培に関する営農情報と、衛星画像処理結果とを用いて圃場の状況を解析する。共同で実際の生育に関する圃場調査を実施する。

- ・農業気象データ解析技術

PTPN-X は、設置した気象観測装置の運用技術について NEC から指導を受け、気象データを収集する。NEC は気象データを集計し、解析する。

- ・衛星測位システム応用技術

NEC は、PTPN-X から提供された圃場区画の位置情報（区画名、緯度、経度）を基に GIS の簡易版を作製し、衛星画像や農業気象に関するデータベースを構築する。

表 2 役割分担

	PTPN-X	NEC
農業リモートセンシング技術	・農地や栽培に関する営農情報の提供 ・生育観測 ・圃場調査支援	・衛星画像入手，画像処理，解析 ・現地圃場調査
農業気象データ解析技術	・農業気象観測装置の設置場所提供 ・保安設備構築 ・運用，維持管理 ・気象データ収集	・農業気象観測装置の調達・輸送 ・設置、運用技術指導 ・気象データ集計，解析
衛星測位システム応用技術	・圃場区画の位置情報提供	・GIS 簡易システム作製 (GIS : Geographic Information System) ・データベース構築 衛星画像，農業気象データ

パブリック事業・市場調査、並びに現地営農専門家によるサトウキビ農業に関わる調査、現地活動支援、相手国実施機関との調整は、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社が担当した。

2. インドネシアの開発課題分析

2.1 ビジネス環境

2.1.1 投資に関する制度・規制

インドネシアでの外資誘致の担当省庁は、投資調整庁(Indonesia Investment Coordinating Board: Badan Koordinasi Penanaman Modal(BKPM))である。同庁は、全国に BKPM 事務所を設置し、外国企業のインドネシアへの投資促進に向けた様々なサービスを提供している。

インドネシアの外国投資に係る法律である投資法は 2007 年に制定され、現在まで適用されている。同法は、内国投資と外国投資の投資全体にかかる法律を規定したものであり、税制、輸出入などに関する投資優遇、投資インセンティブなどの事項が決められている。

他方、自国の産業を保護する目的で、2010 年にはネガティブリストも改定されている。同リストは、外資参入が認められない、及び条件付きで外資参入を認めている事業分野を定めたものである。

主要な外資参入規制及び貿易規制にかかる概要は以下、表 3 のとおりであるが、本事業に関連する情報通信技術分野は、外資の比率が制限される分野に該当しており、その外資比率の上限は 65% と規定されている。

表 3 主な投資規制と促進策

主要な貿易投資規制

規制・制度		概要	
投資	規制業種	内外資問わず参入禁止	15の事業分野: 珊瑚の採取、アルコール含有飲料産業、陸上旅客ターミナル運営、賭博/カジノ、他)
		外資の参入禁止 (100%内資のみ可)	林業、海洋・漁業、文化・観光、運輸、情報通信技術、金融・銀行、労働・移住、医療・保健の一部。石油ガス採掘、小売業(含む自動車小売業、電化製品小売業、化粧品小売業、小規模スーパーマーケット、ミニマーケット、小規模なデパート、通信販売など)、アルコール飲料関連商業など
		条件付投資分野 ※案件毎に要条件確認	農業、林業、海洋・漁業、エネルギー・鉱物資源、工業、国防・警備、公共事業、商業、文化・観光、運輸、情報通信技術、金融・銀行、労働・移住、教育、保健、警備の16業種216分野 当該分野は、事業分野ごとにパートナーシップ、外資比率、立地、特別許可などの各種条件が設定されている (例:卸売業・倉庫業は外資33%まで)
	※これらは2014年4月改定のネガティブリストにおいて定められている		
	出資	製造業は原則100%外資可能 その他、サービス業を含む規制業種は、事業分野によって最高出資比率が異なる	
貿易為替	会社設立	外国投資の場合、製造業・非製造業の区別なく、最低投資額(土地・建物を除く投資額合計)は、100億ルピア超で、最低払込資本額は25億ルピア以上である必要がある	
	土地所有	土地所有権はインドネシア国民のみに認められる	
	貿易規制	輸入規制:エビ、中古車など一部品目が輸入禁止、一部食品、電機製品、化粧品など多くの品目に輸入制限あり 輸出規制:一部林産物製品、海砂、鉱物、農園作物、工業製品(一部)など輸出禁止	
貿易為替	為替制度	為替相場管理:変動相場制 ⇒ルピアの年間変動率は対ドルで8.0%、対円で11.0%	

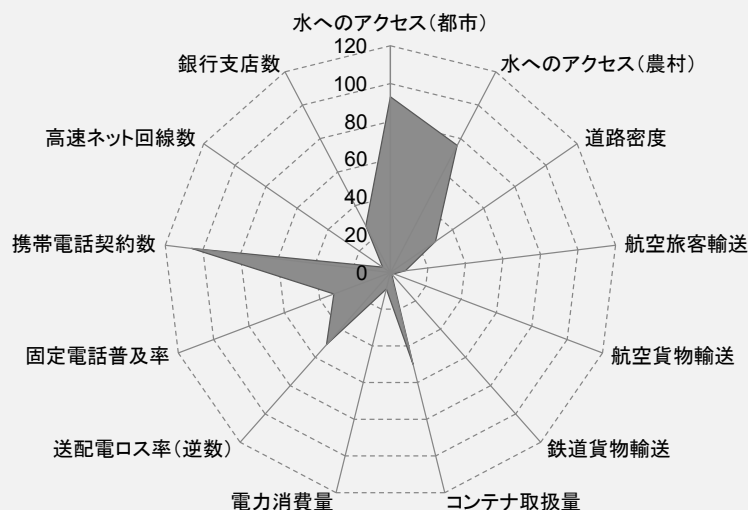
出所:インドネシア投資調整庁 / JETRO / JBIC / Bloomberg

2.1.2 インフラ整備状況

インドネシアの通信やインフラの状況は以下、図 4 のとおり。通信に関しては、携帯電話の普及は進んでいるが、通信環境は遅れている。また、インフラ整備も全般的に不十分である。

携帯電話は広く普及しているものの、電力供給は不安定で、道路・港湾など輸送インフラの整備は遅れている。首都ジャカルタでは車の道路占有面積が道路面積を上回るなど、交通渋滞が深刻化している。

インドネシアのインフラ整備状況(日本を100とした場合)



出所: World Bank, World Development Indicators

図 4 インフラ整備状況

2.2 農業セクターの政策と課題

2.2.1 農業セクターの開発政策

インドネシアの開発計画は、20 ヲ年の開発計画である国家長期開発計画、5 ヲ年の開発計画である国家中期開発計画、2011 年に策定された経済開発計画である先述の MP3EI の主に 3 つの柱から構成されており、2015-2019 年の中期開発計画が 2015 年 1 月に発表された。同計画は、第 3 期中期計画にあたり、下記の方方向性が示されている。

- (1)「海洋国家としてのアイデンティティの強化」、「国益に基礎をおく海洋国家としてのインドネシアの実現」といった海洋国家に焦点を当てたもの、
- (2)「村落・地方の強化と辺境からのインドネシア開発」、「インドネシア東部を重視した地域間開発の平等化」といったジャワ島以外への注力による地域間格差の是正、
- (3)食料主権、
- (4)エネルギー主権、
- (5)汚職撲滅 など。

(出所) 在インドネシア日本大使館資料より抜粋

また、2014 年までの具体的な農業政策を規定した「農業省戦略計画」では、各種課題の解決に向け、1) 食料の持続的自給体制の達成、2) 食料の多様化、3) 農産物の高付加価値化、競争力、輸出の増加、4) 農家厚生増加、の 4 つを主要な目標として掲げ、さらに、以下の 7 つを具体的な革新策として標榜した。

一方、2011 年に策定された MP3EI では、農業、鉱業、エネルギー、工業、水産、観光、通信、戦略地域開発の 8 つのプログラムが掲げられている。また、その中では、目指すべき国家の将来目標として、「グローバルな食糧安全保障基地であり、農水産業の各産品と鉱業エネルギー資源の加工センターであり、グローバル・ロジスティックス・センターとなるインドネシア」を標榜しており、インドネシアが世界の食糧安全保障の基地となれるほどの生産力の向上を図ることが重要な国策となっている。

また、重点的に増産すべき作物として、コメ、トウモロコシ、砂糖、大豆、牛肉、の 5 品目を掲げており、砂糖は重要な作物に位置づけられている。一方、コメ以外の 4 品目は輸入に依存しており、砂糖の輸入依存度は約 50%以上となっている。

ユドヨノ前政権の食糧安全保障政策の目玉であったのが、「食糧農園」である。食糧増産には大規模農園の存在が必要という考えから、第 1 号の「食糧農園」としてパプア州南部のメラウケが開発地域として指定された。

「食糧農園」としてのメラウケの開発計画が決定後、国内外の企業が開発への投資を進めており、メラウケ食糧農園の土地全体のうち、30%がサトウキビに活用され、最終的に年 250 万トンの砂糖の生産量増加を見込んでいる。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">(1) 土地革新（土地情報、利用制度等）(2) 栽培種の革新（作物種子の開発、生産、普及）(3) インフラ整備の革新（灌漑、交通、電気）(4) 人的資本の革新（政府、民間による人材の拡充）(5) 農家生産費用の革新（金融機関のアクセス改善）(6) 農家制度の革新（農民組織を通じた市場情報、生産技術の普及）(7) 農業生産技術と農村産業の革新（研究開発と農産物選択による地域経済牽引） |
|--|

(出所)平成 24 年度海外農業情報調査分析事業（アジア）インドネシアより抜粋

2.2.2 サトウキビ産業の現状と課題

(1) サトウキビ産業の現状（国全体）

インドネシアにおいて、サトウキビの主産地は現在のところジャワ島が中心であるが、近年はジャワ島以外の地域でも作付けが拡大している。特に、パプア州では、先述のとおり「食糧農園」の開発を通じたサトウキビの生産増加が期待されている。

インドネシアのサトウキビ生産に関し、2010年～2014年の5年間におけるサトウキビ生産量は、2010～2011年にかけて一旦減少後、2012年～2013年に増加に転じたが、2014年には生産量が落ちており、不安定である。2012～2013年にかけては、サトウキビ生産に適した天候に恵まれた一方、2014年は天候に恵まれなかったことが大きく影響していると見られており、本事業の複合センシング技術の1つである気象観測モニターを通じた気象予測を活用することにより、サトウキビ生産の安定化が期待できる（図5）。

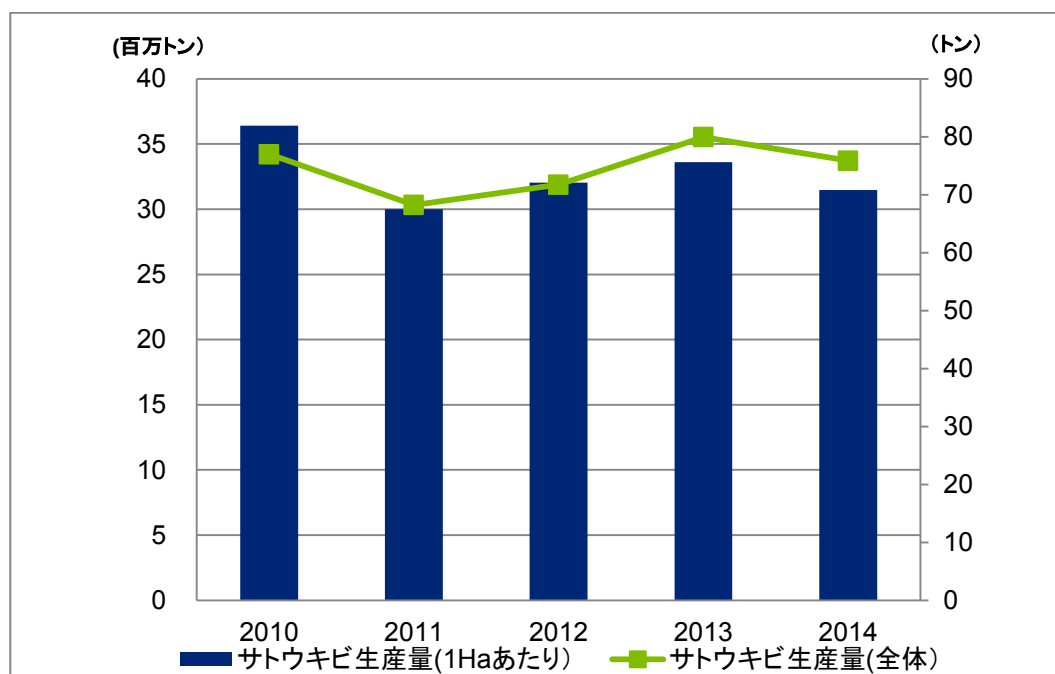


図5 過去5年間のサトウキビ生産量の推移

（出所）現地入手データを基に調査団作成

また、砂糖の生産量は、過去5年間では3百万トンに至っておらず、2.2百万トン～2.6百万トンを推移している。一方、インドネシアにおける砂糖の消費量は5百万トン以上にのぼるため、年間3百万トン以上の砂糖を輸入に依存している状況である。今後もさらに砂糖の消費量は増加することが見込まれていることから、インドネシアにとってサトウキビの増産および輸入依存からの脱却は喫緊の課題となっている（図6）。

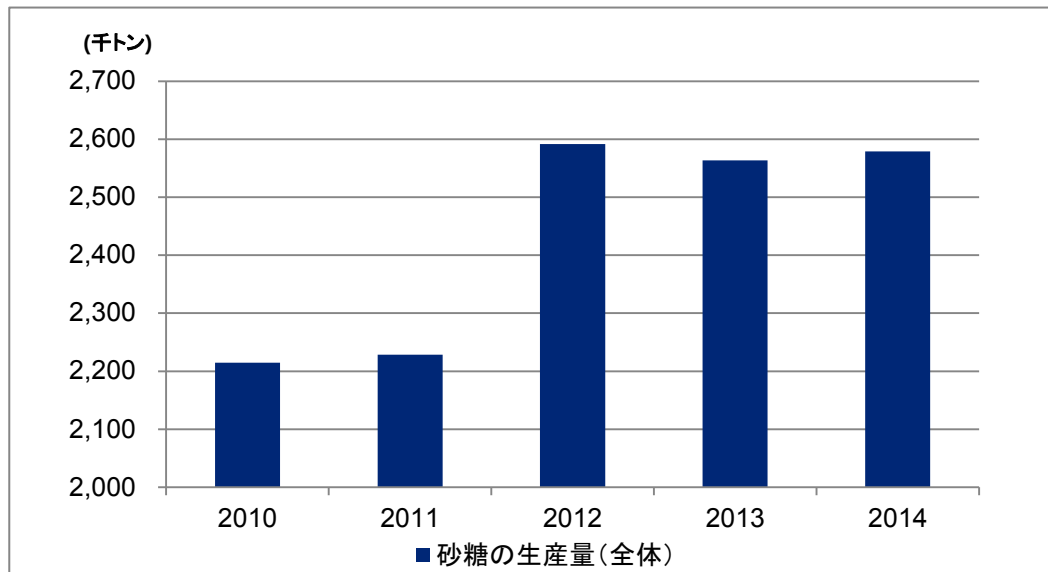


図 6 過去 5 年間の砂糖の生産量の推移

(出所)現地入手データを基に調査団作成

(2) サトウキビ産業の現状（東ジャワ州クディリ県）

本事業は、東ジャワ州クディリ県を対象地域とし、カウンターパートである国営企業 PTPN-X の協力のもと、本事業の実施を行うことから、クディリ県におけるサトウキビ生産の現状と課題に関する調査結果を以下に整理する。

① 対象地域の現状

➤ 砂糖の生産工程（刈取り→砂糖の生産・販売まで）

カウンターパートである PTPN-X は、クディリ県のサトウキビの圃場にてサトウキビ農家と契約を結んでいる（契約農家）。農家は、サトウキビの刈り取りを行った後、最寄りにある PTPN-X の製糖工場までサトウキビを運搬する。サトウキビから砂糖への圧搾作業は、サトウキビ刈り取り後 24 時間～36 時間以内に実施されることが望ましいため、PTPN-X は契約農家からのサトウキビを入手後、すぐに圧搾作業を行い、製糖する。製糖された分のうち約 34% は、農家に対するサービスフィー（製糖作業、技術指導、貸付、種子代、肥料代等）として PTPN-X の取り分になる。同社はオークション制度を通じて市場に販売する。これらの工程を経て、生産された砂糖が全国へ流通する。

一方、残りの約 66% の砂糖は、契約農家の取り分となるが、サトウキビ農家自身がオークション制度を通じて販売することになっており、販売できた分が農家の収入となる。34% と 66% という配分は、PTPN-X と契約農家の間で厳密に規定されているものではなく、PTPN-X が定めている品質に足るものを取り分とすることになっているため、農家が高品質で糖度の高いサトウキビを生産した場合には、この配分は変動する。

また、オークション制度での農家に対する砂糖の買い取り額は、サトウキビ自体の価格ではなく砂糖の価格によって決められている。2014 年では、砂糖の買い取り額は 8,200Rp 前

後/kg、市場での取引額は 10,000Rp 前後/kg であったが、2015 年には、市場における砂糖の価格が上昇したため、農家に対する砂糖の買い取り額は 9,200Rp/kg に上昇している。政府は原則的に砂糖の市場価格への直接介入や補助金の提供も行っておらず、取引価格のベンチマークに関する省令を出しているのみである(図 7)。

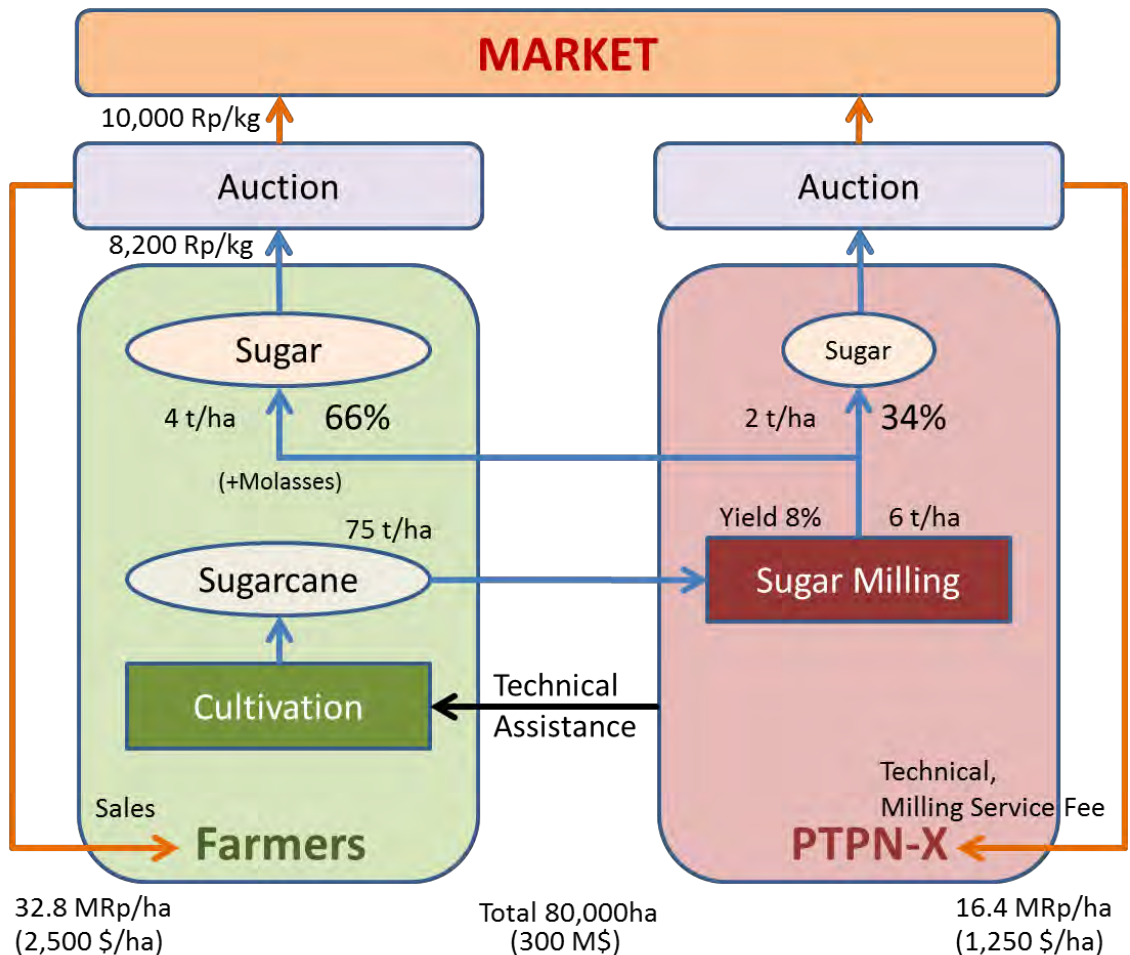


図 7 PTPN-X と契約農家の実施体制

(出所：ヒアリングより調査団作成)

➤ サトウキビ栽培工程（植え付け⇒刈取りまで）

PTPN-X の契約農家のサトウキビ生産は主に、1) 農地の準備（碎土や基肥）、2) サトウキビの植付け、施肥、3) 除草剤の散布、4) 中耕、培土、追肥、5) 中耕、培土（2回目）、5) 収穫、工場への輸送、の工程となっている。

一方、PTPN-X のサトウキビ生産における役割は、1) 農家が行う栽培から刈取りと輸送までの工程における必要に応じたサポート、2) 農家から輸送されたサトウキビの迅速な圧搾作業と製糖、3) 砂糖の買い取り、4) サトウキビの重量に応じた農家へのモラセスの提供（3%分）、となっている。

② 対象地域が抱える課題

対象地域を含む東ジャワ州全体でのサトウキビ生産の課題は、以下の点が存在している。これらの課題等を包括的に解決していくためには、本事業で実証を行う複合センシングの活用のほかに、農家に対するサトウキビ生産の技術指導の強化や PTPN-X 自体のオペレーションの面での能力強化が必要である。

- a. クディリを含む東ジャワ州全体のサトウキビ農地は、点在している傾向にある。そのため、規模のメリットを生かしたサトウキビ生産や工場への輸送の面で困難さが生じている
- b. サトウキビの品質が十分でなく、種類も豊富でない
- c. 刈取作業は機械でなく手作業で行われているので、効率的でなくコスト高となっている
- d. 適切な刈取り方法が農家に普及していない
- e. PTPN-X の製糖工場の稼働に関する全体マネジメントおよびオペレーションが適正化・統合化されていない
- f. 成長度合いを目視で確認しているため、適切なタイミングでの刈取りが行われていない。また、サトウキビの工場への輸送も適切でない。

3. 事業実施内容と成果

本事業は、2015 年 3 月から 2016 年 5 月に実施した。この期間において、5 回の現地活動を実施した。各回の実施概要を表 4 に示す。

表 4 現地活動概要

第 1 回現地活動	
日 程	・ 2015 年 5 月 10 日～5 月 22 日
場 所	・ ジャカルタ、スラバヤ、クディリ
目 的	・ ステークホルダーへの事業概要説明 ・ 気象観測装置の仮設置 ・ 圃場環境や営農技術の調査
実施内容	・ 事業概要説明 - JICA インドネシア事務所 村田職員、西川職員 - 在インドネシア日本国大使館 前田一等書記官 - インドネシア投資調整庁 山崎専門家 - PTPN-X 幹部 - Mr. Sulton (Research & Development Director) - Mr. Sutaryanto (Production Director) - Mr. Abdul Khamid (Head of Agronomy Division) - Mr. Dicky (Head of Research & Development Division) - Mr. Nur Iswanto (Senior Advisor) - Mr. Dede Poerwanto (GM of Pesantren Baru Sugar Factory) - Mr. Syahrial Koto (Head of Jengkol Research Centre) - Mr. Bisri (Head of Procurement Division) - PTPN-X 実行メンバー - Jengkol Research Centre, Quality Control Division ・ 輸送した気象観測装置 3 台の現品確認、組立て、メンテナンス、データ取得・送信等の運用技術指導、事務所前に仮設置 ・ 気象観測装置の圃場設置場所候補地の確認 ・ ヒアリング PTPN-X 実行メンバー - 営農部門のマネージャ、フィールドマネージャ、スーパーバイザ
第 2 回現地活動	
日 程	・ 2015 年 6 月 14 日～6 月 19 日
場 所	・ クディリ
目 的	・ 気象観測装置の圃場設置 ・ 農業リモートセンシング技術の経過報告 ・ GIS デモンストレーション

実施内容	・ 気象観測装置の圃場への運搬、設置、動作確認 ・ Landsat8 の衛星画像による NDVI 計算結果（5/6、5/22 取得画像）報告 ・ GIS 基本メニューのデモンストレーション、 ヒアリング PTPN-X 実行メンバー
第 3 回現地活動	
日 程	・ 2015 年 9 月 13 日～9 月 18 日
場 所	・ クディリ
目 的	・ 気象観測装置の運用状況確認 ・ 農業リモートセンシング技術の経過報告 ・ 乾季における衛星画像解析結果と地上データとの対応づけ ・ インターネット環境調査
実施内容	・ 気象観測装置の設置場所における防護柵など保安設備を確認 ・ 衛星画像の取得状況や圃場モニター結果の報告 PTPN-X 実行メンバー Jengkol Research Centre, Quality Control Division ・ 現地調査直前（9/4）に撮影された衛星画像と NDVI 解析結果により、生育状況が不均一であると推定される箇所の生育状況を確認 ・ 現地からインターネットを介して、日本のサーバーに格納されている GIS へのアクセス確認
第 4 回現地活動	
日 程	・ 2016 年 2 月 21 日～2 月 26 日
場 所	・ クディリ、スラバヤ、ジャカルタ
目 的	・ 雨季における衛星画像解析結果と地上データとの対応づけ ・ 気象観測装置のメンテナンス ・ ステークホルダーへの活動結果報告
実施内容	・ 現地調査直前（2/18）に撮影された衛星画像と NDVI 解析結果により、生育状況が不均一であると推定される箇所の生育状況を確認 ・ 気象観測装置の内部清掃 ・ 活動結果報告 PTPN-X 実行メンバー Jengkol Research Centre, Quality Control Division 営農部門のマネージャ、フィールドマネージャ、スーパーバイザ インドネシア国農業省 プランテーション局
第 5 回現地活動	
日 程	・ 2016 年 4 月 10 日～4 月 16 日
場 所	・ ジャカルタ、クディリ
目 的	・ 事業展開の方向性に関わる調査

	・一般農家保有のサトウキビ農場の現状と課題
実施内容	・ODA 案件化の可能性等の議論 JICA インドネシア事務所 村田職員、西川職員 インドネシア国農業省 Ani Andayani 農業大臣補佐官 クディリ県 Hj. Haryanti Sutrisno 知事 ・一般農家の圃場は 1ha 以下に細分化され、サトウキビ以外に稲、トウモロコシ等の作物が栽培されている。効率的な営農を目指し、区画の再整備を計画中。

複合センシング技術をインドネシア国のサトウキビ農業に適用するにあたり、以下の項目について検証した。

- ・農業リモートセンシング技術
 - a. 高温多湿な熱帯性気候による雲の発生に対する有効な衛星画像の取得
 - b. 対象作物（サトウキビ）に対する植生指数などの解析結果の有効性・有用性
 - c. 衛星画像の分解能
- ・農業気象データ解析技術
 - a. 気象観測装置の適切な運用
 - b. 熱帯モンスーン気候（雨季と乾季）の特性把握、取得データの有用性
 - c. 気象観測装置の設置場所・間隔の妥当性
- ・衛星測位システム応用技術
 - a. 区画位置情報の的確さ
 - b. 地図情報の活用可能性
 - c. ICT 技術の適用可能性（インターネット等の通信環境）

以下に詳細を述べる。

3.1 農業リモートセンシング技術

地球観測衛星によるリモートセンシング技術は、衛星に搭載されたマルチスペクトルセンサーで撮影した複数の波長帯の画像を解析することによって、対象物の種類や状態の情報を得る技術である。農業分野では、可視域の青、緑、赤の波長帯の画像を合成したカラー画像や、植物の葉緑素による可視光の吸収と細胞構造による近赤外光の強い反射という植物の分光反射特性を利用し、可視域の赤と近赤外域の反射率を演算することによって得られる植生指数が主に用いられる。

正規化差植生指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) は、対象物の可視域赤（波長 630－680nm）の反射率を RED、近赤外域（波長 845－885）の反射率を NIR とすると、次式で表される。

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

NDVI は植生の分布や活性度を示す指標であり、NDVI の値が高いほど植物の葉が多く存在していることを示す。

3.1.1 衛星画像の取得

可視光や近赤外光を用いて地球観測衛星から圃場を観測する農業リモートセンシングを実施する場合、対象地域のような熱帯性の気候に属している地域では、雲の存在が大きな制約条件となる。そこで、過去に取得保存されている衛星画像を用いて、対象地域における雲の影響を評価した。衛星画像は、米国地質調査所（USGS : United States Geological Survey）が提供している LANDSAT 8 の画像を用いた。2013 年 4 月から 2015 年 12 月までに対象地域が撮影された 118 枚の画像に対し、表 5 に示すように圃場の被雲率が小さいほど高くなるように圃場可視度のスコアをつけた。撮影日とスコアの関係性をプロットした結果を図 8 に示す。現地では、6 月から 10 月頃までが乾季、12 月から翌年 4 月頃までが雨季である。乾季においてスコアが高い画像が多く得られた。雲の少ない画像（被雲率 25%以下）の取得率は 71%と良好な結果であった。乾季およびその前後の期間は、前年度に植え付けたサトウキビの収穫と今年度に植付けたサトウキビの栽培に関わる作業が集中する時期であり、サトウキビの収穫タイミングや新しく植えたサトウキビの初期生育状況を知る上で重要な時期である。一方、雨季はサトウキビの伸長旺盛期にあたり、日射量や降水量が作況に大きな影響を与える時期である。雨季においても雲の少ない画像の取得率は 33%あり、対象地域は常に雨雲に覆われている状況ではないことが示された。後述する農業気象データ解析技術の日射量測定結果から、雲の発生は一日の内で午前は少なく、午後に多いという傾向が一年を通して観測された。つまり、衛星画像の撮影時刻も重要であることが判明した。LANDSAT 8 の対象地域の撮影時刻は午前 9 時 30 分頃であり、雲が発生する前に撮影できていることが良好な衛星画像取得の要因のひとつと考えられる。

以上のように、対象地域では一年を通して有効な衛星画像を取得できることが確認された。

表 5 評点テーブル

スコア	被雲率	画像例
5	0%	
4	10%	
3	25%	
2	50%	
1	75%	
0	100%	

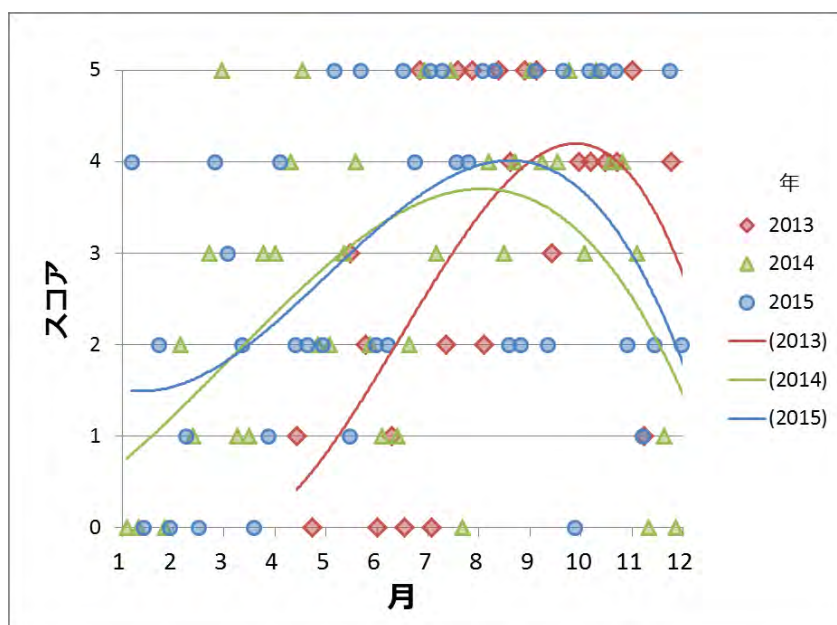


図 8 衛星画像撮影時期と圃場可視度

3.1.2 衛星画像解析結果

一例として、撮影された衛星画像のうち、2015年3月から2016年1月まで2ヶ月毎のカラー画像を図9に示す。2015年3月の圃場の様子は、前年に植付けたサトウキビが降水によって十分に生育が進んでいることと、本年度に植付けを実施する区画において土壌改良のためのマメ科の植物（ムクナ、クロタラリア）が茂っていることにより、圃場全域が緑色に覆われている。2015年5月には、植付け作業が始まった区画は土色に変化していることが認められる。収穫前のサトウキビは、出穂・開花の影響で茶色がかった緑色に変化している。2015年7月には、植付け面積が広がっている。収穫直前のサトウキビは登熟が進み、葉が枯れ始めるため、さらに茶色味を帯びた緑色を呈している。2015年9月には、収穫が終盤を迎える一方、新たに植えつけた区画では新しい芽が出始めている。2015年11月になると植付けを実施した区画が緑色に変化していることが鮮明になる。2016年1月には、降水により生育が進んでいる様子が観察できる。区画によって緑色に明暗や濃淡が生じているのは、サトウキビとマメ科植物の違いやサトウキビの品種の違いが反映されている。

Landsat 8 data courtesy of the U.S. Geological Survey

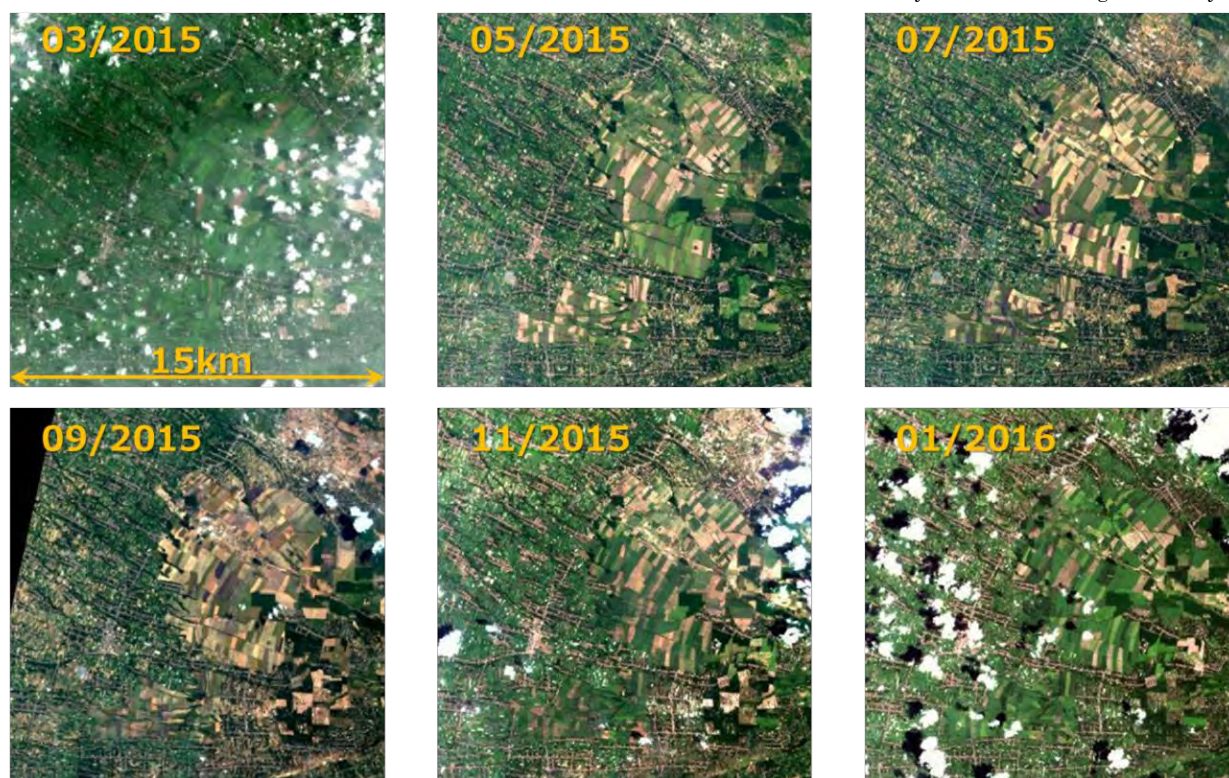
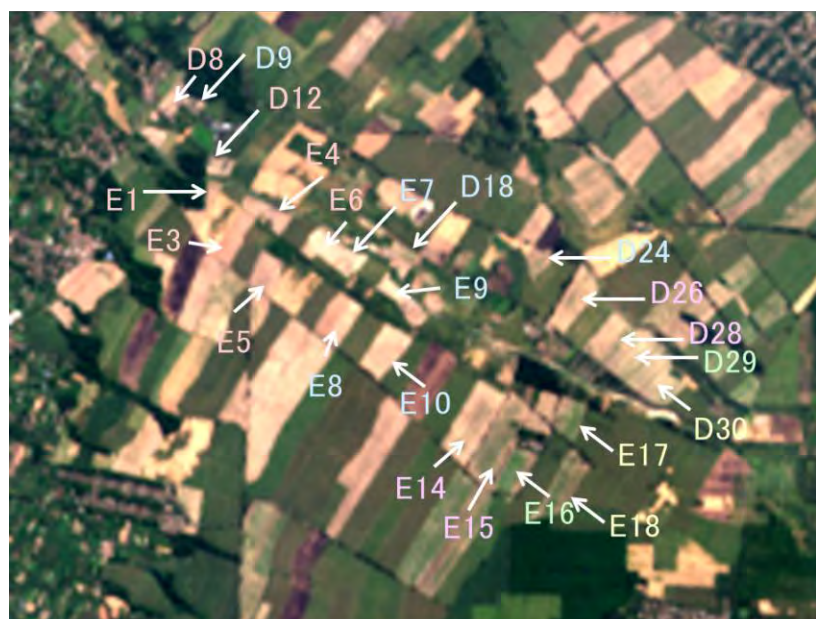


図 9 対象圃場の衛星カラー画像

図 10 は 2015 年 6 月 16 日に撮影した衛星画像と栽培管理情報を示す。D 区画と E 区画を中心とした拡大写真である。栽培管理情報のうち植付け時期が 4A との記載は 4 月上旬を示し、4B が 4 月下旬を示す。植付け時期が早い E17、E18、E16 区画は緑色に変化している箇所が認められるのに対し、植付け直後の区画 E1～E6 は区画全域が土色を呈している。ただし、植付け間もない時期の緑色への変化は、サトウキビに加えて雑草の影響もある。植付け 2 ヶ月後に実施される畝間の雑草を取り除く作業を実施した区画（D30 等）は、再び土色に戻っている。



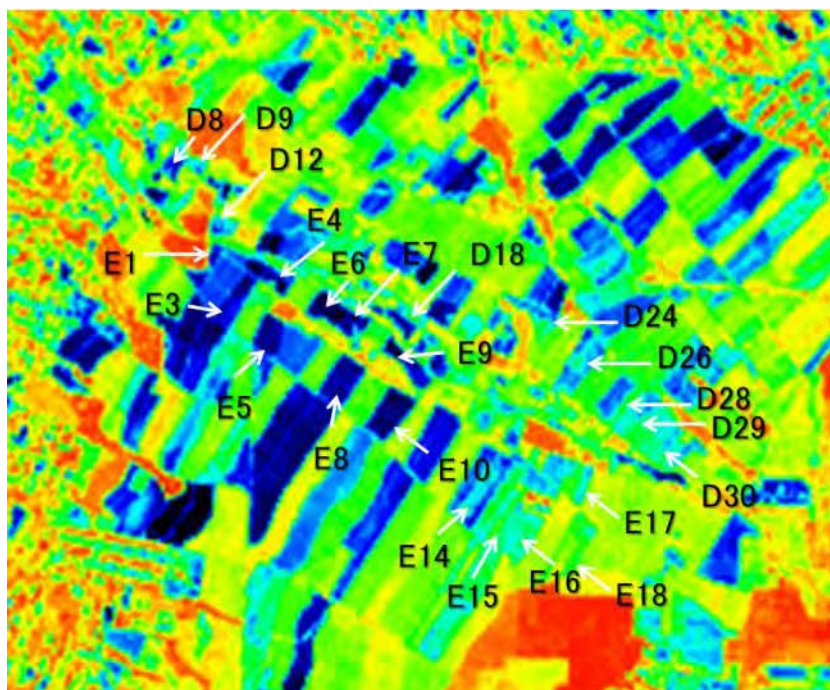
16/06/2015 (Field D - E)

Field Name	Area (Ha)	Time of Plant/ratoon	Variety
D.30	12.501	4A	BL
E.17	6.572	4A	BL
E.18 S	11.986	4A	BL
D.29	9.503	4B	BL
E.16	16.252	4B	PS 881
D.26	10.516	5A	BL
D.28	8.5	5A	BL
E.14	17.018	5A	BL
E.15	15.961	5A	PS 881
D.9	2.161	5B	PS 881
D.18	8.515	5B	BL
D.24	3.581	5B	PS 881
E.7 U	3.355	5B	PS 882
E.8	4.628	5B	PS 882
E.09 U	2.792	5B	PS 882
E.10 S	10.396	5B	BL
E.10 U	2.875	5B	PS 882
D.8	7.121	6A	PS 882
D.12	3.057	6A	PS 881
E.1	3.809	6A	BL
E.3 S	6.67	6A	PS 882
E.3 U	2.313	6A	PS 882
E.4 U	3.304	6A	PS 882
E.5 S	6.404	6A	PS 881
E.6 U	6.25	6A	PS 882

図 10 衛星画像（拡大）と栽培管理情報

図 11 は、図 10 に示した 2015 年 6 月 16 日に撮影した衛星画像に対し NDVI の演算処理を実施した NDVI 画像である。NDVI の値はカラースケールで示され、値が低い場合に青色、値が増加するにつれて水色、緑色、黄色、赤色が割り当てられており、生育が進んでいる様子が確認できる。植付け直後の区画 E1～E6 は濃い青色を示しているのに対し、植付け時期が早い E17、E18、E16 区画等は水色や緑色に変化しており生育度が高まっていることが確認できる。一方、収穫前の区画では、図 9 において緑色を示している区画と、収穫直前で葉が枯れ始めて茶色味を帯びた区画は、NDVI 画像ではそれぞれ黄色と緑色を示していることから、サトウキビの登熟が進むにつれて NDVI の値自体は低下していることが観察される。圃場の区画外において、カラー画像では濃い緑色、NDVI 画像では赤色を示している箇所は主に樹木が植えられている箇所である。

E14 区画に注目すると、図 9 のカラー画像では区画の中央部にわずかな緑色への変化が確認できる。図 10 の NDVI 画像では、周辺部の青色と中央部の緑色とで色の差が明瞭になっており、生育度の違いが強調されて観察できる。このように、区画毎の生育度の違いに加えて、区画内の生育度の不均一性も確認することが可能である。



16/06/2015 (Field D - E)

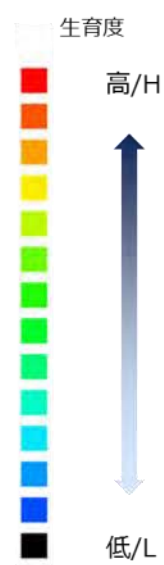


图 11 NDVI 处理画像

図 12 は、F15 区画と F17 区画に対し 2013 年 7 月から 2015 年 11 月までの NDVI の時系列変化と特徴的な時点での衛星画像を示す。グラフにおいて、F15 区画の品種 Ps882 については赤い線で示し、F17 区画の品種 BL については青い線で示している。BL の栽培期間は 15 ヶ月であるのに対し、Ps882 の栽培期間は 12 ヶ月であり、品種によって栽培期間が異なるという特徴がある。F17 区画の BL は 2014/15 年度に新たに植え付けられて (Plant) 栽培された。植付け前の 2013 年 12 月から 2014 年 3 月頃までは、土壌改良のためのマメ科の植物が植えられており、4 か月程度の短い周期で NDVI の値が増減した。一方、F15 区画の Ps882 は、2014/15 年度は収穫後の株から新たな芽を出して栽培する株出し (Ratoon) のため、2013/14 年度と同様な 1 年周期の NDVI 変化を繰り返した。両者とも植付けから、萌芽期、分けつ期、伸長旺盛期のように生育ステージが進むにつれて NDVI の値は増加した。NDVI 値は 3 月頃にピーク値 0.5 程度を示した後、開花から登熟期へと生育ステージが進むにつれて NDVI の値は減少した。NDVI 値が 0.3 程度まで低下した時が収穫適期と推測される。生育初期においては、雑草の影響によって一時的な NDVI 値の増加が見られることに注意しなければならない。

F15 区画と F17 区画を対比し、生育状況の違いが明瞭に表れている特徴的な時点での衛星のカラー画像では、栽培状況や生育状況の変化が NDVI 値と対応して確認できる。

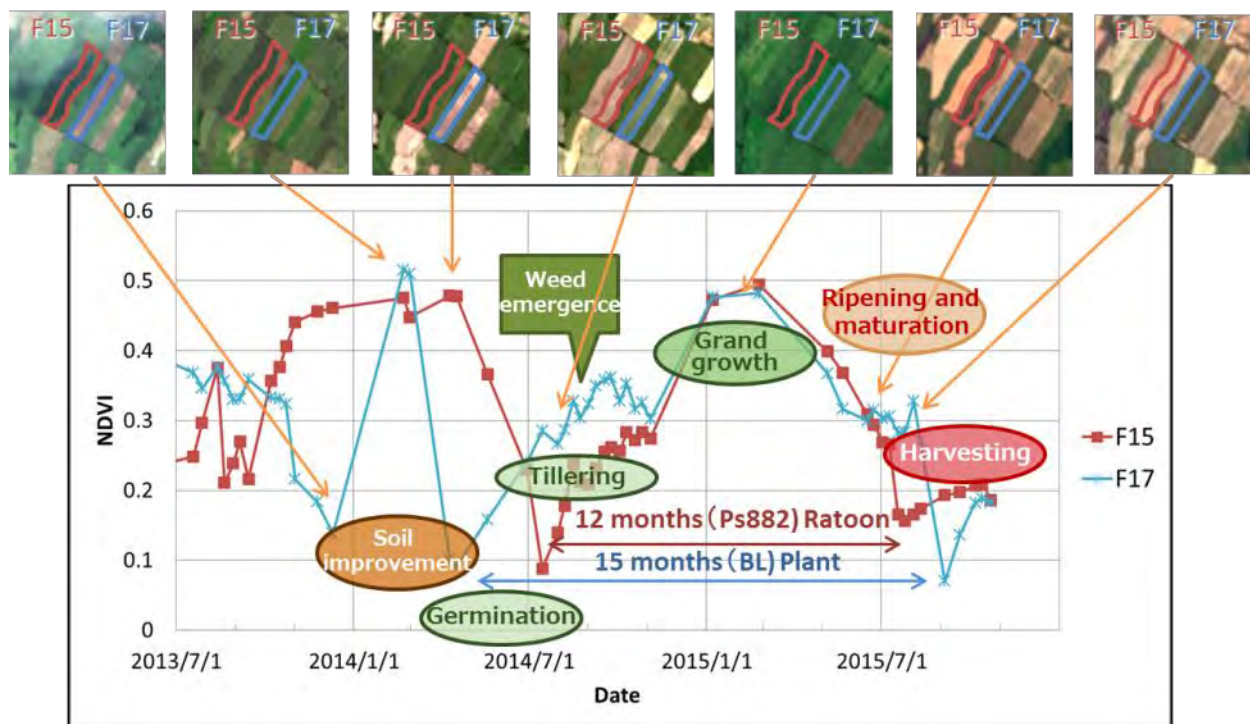


図 12 NDVI の時系列変化と特徴的な時点での衛星画像

3.1.3 圃場調査

衛星画像の解析結果と地上データとの対応づけを目的に圃場調査を実施した。調査時期は、乾季における収穫や植付けが実施される時期（9月）と、雨季におけるサトウキビの生育が盛んになる伸長旺盛期（2月）の2回実施した。解析結果において、生育状況に差がある区画や、区画内で生育状況が不均一であると推定される箇所を事前に抽出し、現地において生育状況を確認した。

a. 乾季

収穫間近の区画（昨年植付け）と今年の植付けから2ヶ月経過した区画の2箇所を実施した。図13に現地調査の直前（9月4日）に撮影された衛星画像のNDVI解析結果と、9月15日に現地で生育状況を確認した結果の写真を示す。生育状況が不均一であると推定される圃場1（F18）と圃場2（E14）の2箇所を事前に抽出した。圃場1（F18）は収穫間近の区画であり、北東部に向かうに従いNDVIが低くなっている。圃場2（E14）は植付け後2ヶ月の区画である。中央部が周辺部に比べてNDVIが高い。上記圃場を現地で確認した結果、圃場1では収穫前のサトウキビの密度（1株あたりの本数）の違いが解析結果と対応づけられた。圃場2では植付け後の生育状況の違いが反映されており、草丈や密度の違いを確認できた。

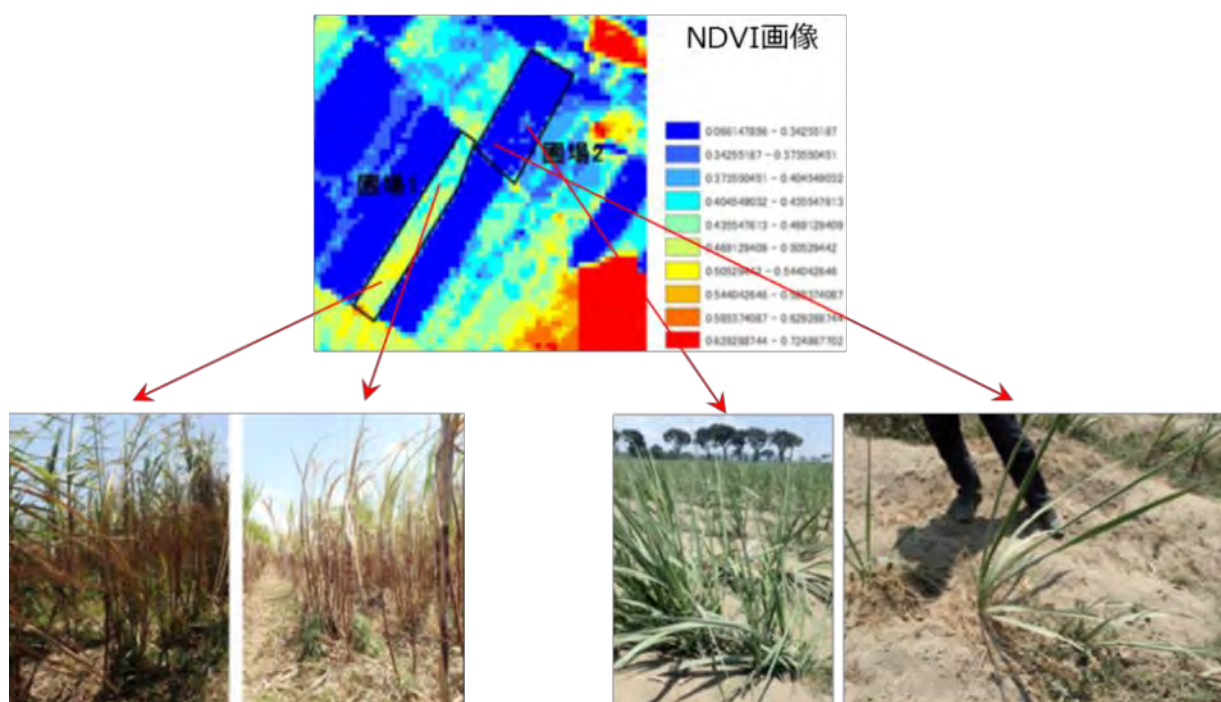


図 13 NDVI 解析結果と現地調査での生育状況の様子

b. 雨季

現地調査の直前（2月18日）に撮影された衛星画像と NDVI 解析結果を図 14 に示す。調査地点として事前に選定した箇所は、4 箇所の区画（A7 北、A7 南、A8 北、A8 南）である。衛星画像において同程度の緑色を示しているが、NDVI 画像では生育度の違いが表れている。NDVI 画像では緑色→黄色→赤色の順に NDVI の値は高く、生育が進んでいると推定される。

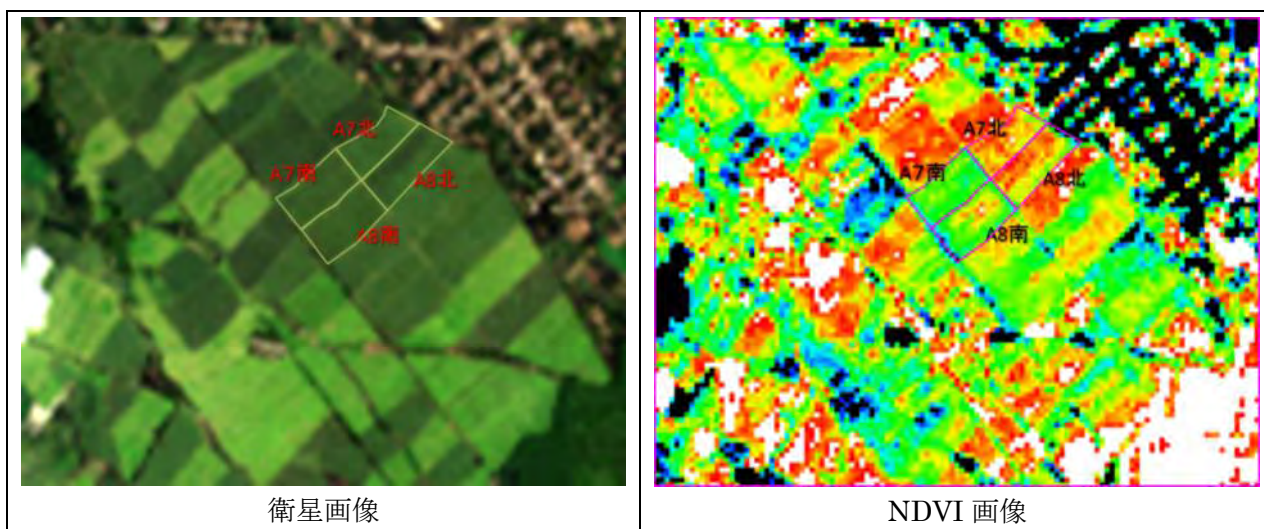
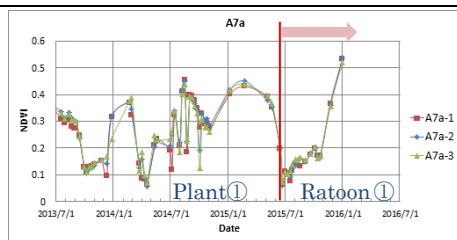
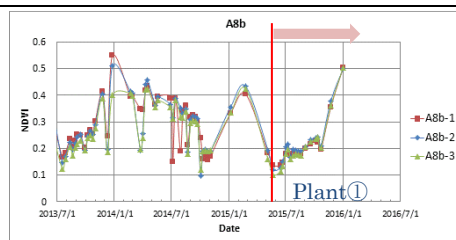


図 14 雨季における衛星画像と NDVI 解析結果

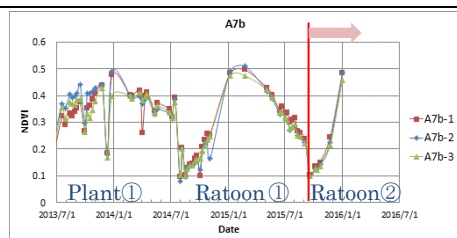
2月23日に圃場調査を実施した様子の写真と各区画における NDVI の時系列変化のグラフを図 15 に示す。現地でのヒアリングの結果、4 箇所の区画は 3 ヶ月程度生育期間が異なっていた。生育期間の長さ（A8 北>A7 北>A8 南>A7 南）に応じてサトウキビの背丈は伸びており、NDVI 解析結果に対応して生育度が高くなっていることを確認した。衛星画像において A8 北の緑色が濃いのは品種の違い（PS881）であることも確認できた。



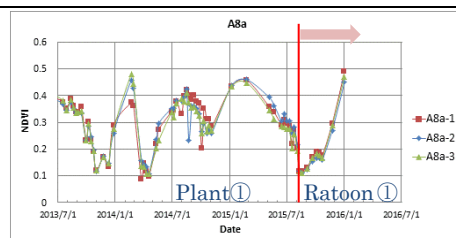
A7 北＝株出し（1年目）
品種：BL



A8 北＝栽培（1年目）
品種：PS881



A7 南＝株出し（2年目）
品種：BL



A8 南＝株出し（1年目）
品種：BL

図 15 圃場調査結果

さらに A8 南区画に着目すると、NDVI 値は図 16 に示すように区画内周辺部に比べて中央部が高くなっている。

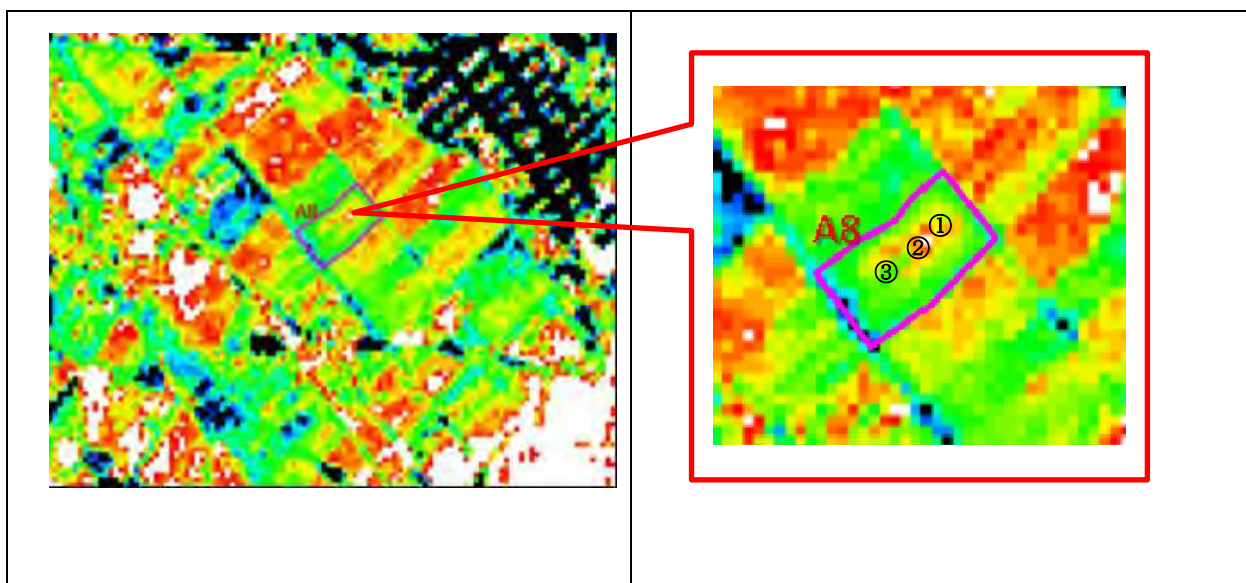


図 16 NDVI 解析結果

実際に圃場を観察した結果を図 17 に示す。NDVI 値が高い値を示した撮影場所①、②の生育状況と比較してNDVI 値が低い値を示した③においてはサトウキビの背丈が低くなっていることを確認した。

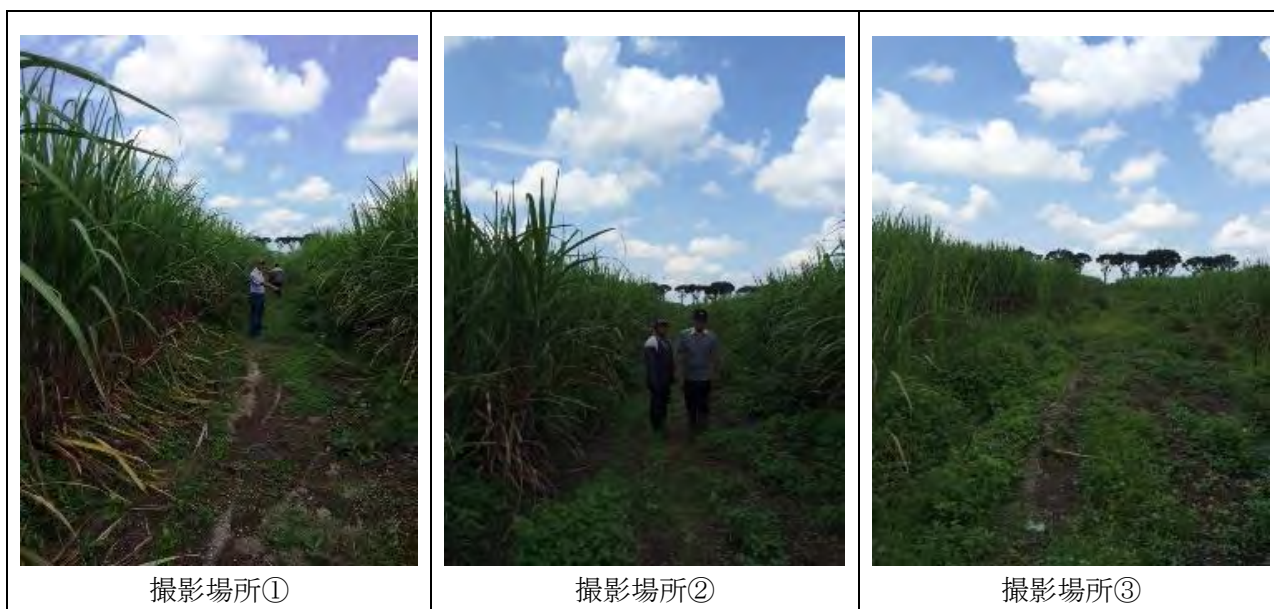


図 17 圃場調査結果

Landsat 8 の衛星画像の分解能は 30m である。位置精度と隣接画素との十分な情報の分離を考慮すると区画の境界から 50m 程度の内部が有効領域とみなせる。区画は畝に平行な方向に長い長方形が多いことから、圃場区画面積が 2ha 以上の区画に対して有効な分解能を有していると考えられる。図 10 と図 11 の衛星画像と NDVI 画像において、圃場区画面積が 2～3ha 程度の小さい区画に対しても十分に生育状況が確認できた。したがって、Landsat 8 の分解能は対象圃場に関して有効である。

比較のために、Landsat8 の衛星画像と、分解能が 5m である Hodoyoshi-1 (Axelspace) の衛星画像を図 18 に示す。両者とも植生の高い領域が赤く強調されるように、カラー画像の赤青緑の原色について、近赤外域画像を赤に、可視域赤画像を緑に、可視域緑画像を青に割り当てて合成したフォールスカラー画像である。撮影時期はわずかに異なるが、対象圃場の同じ場所を撮影した結果である。比較的大きな区画（およそ 200×1,300m）に対して、解像度が 30m の Landsat8 の画像を極端に拡大すると、区画の境界が画素の形状を示した階段状になっており、この部分は隣接区画の生育情報が混合されている。一方、Hodoyoshi-1 の画像では、境界線が滑らかであり隣接区画の情報が明瞭に分離できている。区画内の不均一さの判別も容易である。区画間を横断する道路には大きな樹木が並木状に植えられており、これらを認識することも可能である。

ただし、衛星画像の観測幅は Landsat8 が 185km であるのに対し、Hodoyoshi-1 は 28km である。したがって、広域エリアの状態を把握するには Landsat8 が適しており、その中の注目領域の詳細な解析は Hodoyoshi-1 で実施するなど、用途に応じて使い分けことが望ましい。このことは、地球観測衛星に限らず、航空機やヘリコプター、飛行船、UAV（Unmanned aerial vehicle 無人航空機）などによって、搭載されるセンサーの分解能と飛行高度によって決定される画像解像度と観測カバーエリアを互いに補完し合いながら、適宜選択することが望ましい。

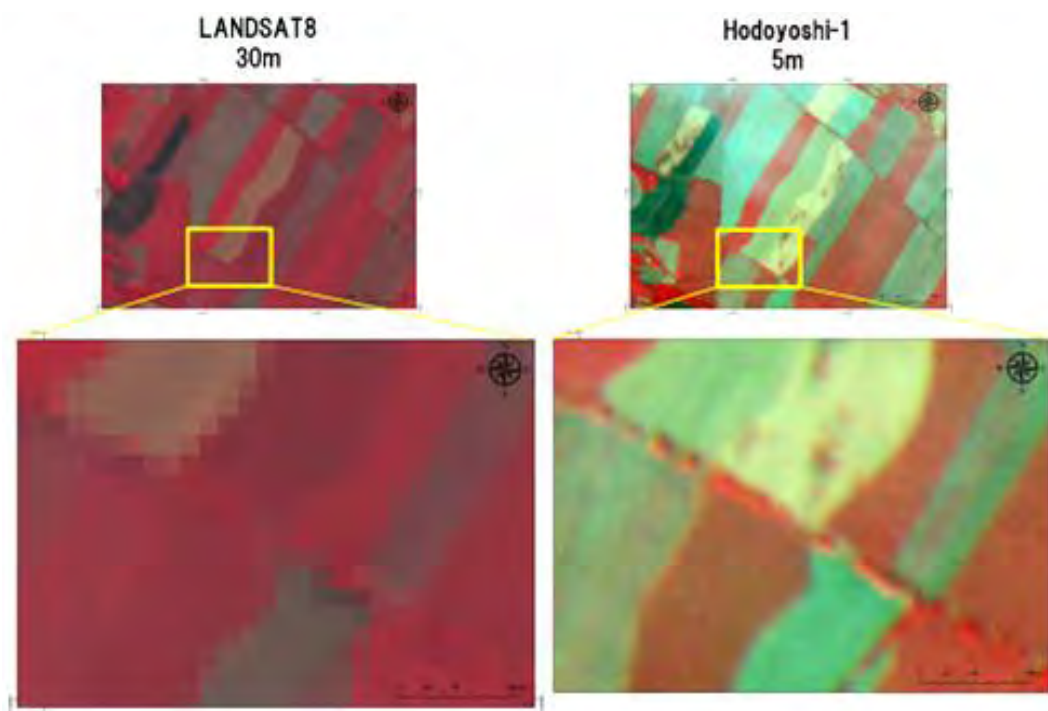


図 18 分解能が異なる衛星画像の比較

以上の結果から、農業リモートセンシング技術において、以下の事項を検証できた。

- a. 対象地域は高温多湿な熱帯性気候ではあるが、午前中は比較的雲の発生が少なく有効な衛星画像の取得が可能である。特に、乾季には雲の少ない衛星画像が多く得られ、サトウキビの収穫や植付け等の栽培作業の進捗や初期生育状況を圃場全体に渡って把握することができる。
- b. 対象作物（サトウキビ）に対しても、衛星画像から得た植生指数などの解析結果と圃場調査による生育状況が対応しており、農業リモートセンシング技術は有効である。特に、区画毎の生育度の違いに加えて、区画内の生育度の不均一性も確認することが可能である。サトウキビが生長すると人の背丈以上になり、畦道からは見ることができない区画内部の様子を把握することが可能になり有用である。今後、生育不良の原因（土壌、肥料、水分、病虫害）を分析することにより、改善の指針が得られると考えられる。
- c. Landsat 8 の衛星画像の分解能は 30m であり、圃場区画面積が 2ha 以上の区画に対して有効な分解能を有している。詳細な解析が必要な場合には、分解能の高い衛星画像の活用を考慮するとともに、雨季は有効な衛星画像の取得率が低下するため、UAVなどを併用することが望ましい。

3.2 農業気象データ解析技術

農業気象データ解析技術において、図 19 に示す気象観測装置（Weather Bucket, SEC 製）3 台を調達し、機材を現地に輸送した。本装置は、農業気象データを一体型のセンサーで取得、蓄積が可能であり、ソーラー発電と充電電池で動作する。

本装置を圃場に設置し、以下の農業気象データを 10 分毎に取得、蓄積する。

測定項目：気温、湿度、日射量、降水量、気圧、風速、風向



図 19 気象観測装置

計測例を図 20 に示す。午後に激しい雨が降った日の各測定項目のデータである。降雨が始まるとともに、気温は急激に 8 度低下し、湿度は 90% 以上に増加した。降雨前に断続的に日射が遮られており、降雨後は殆ど日射が計測されない程度に暗くなった。降水量は 10 分間に 10mm 以上を観測し、その後 2 時間程 5mm 前後の雨が続いた。降雨を境に平均風速は 2m/s から 8m/s に、風向は南風から北風に、その後東風に変化した。このように、急激な気象変化に応じて各測定項目を観測するとともに、データは蓄積され、一日の最高・最低気温や平均気温、積算日射量や降水量、最多風向などの統計データを得ることができる。

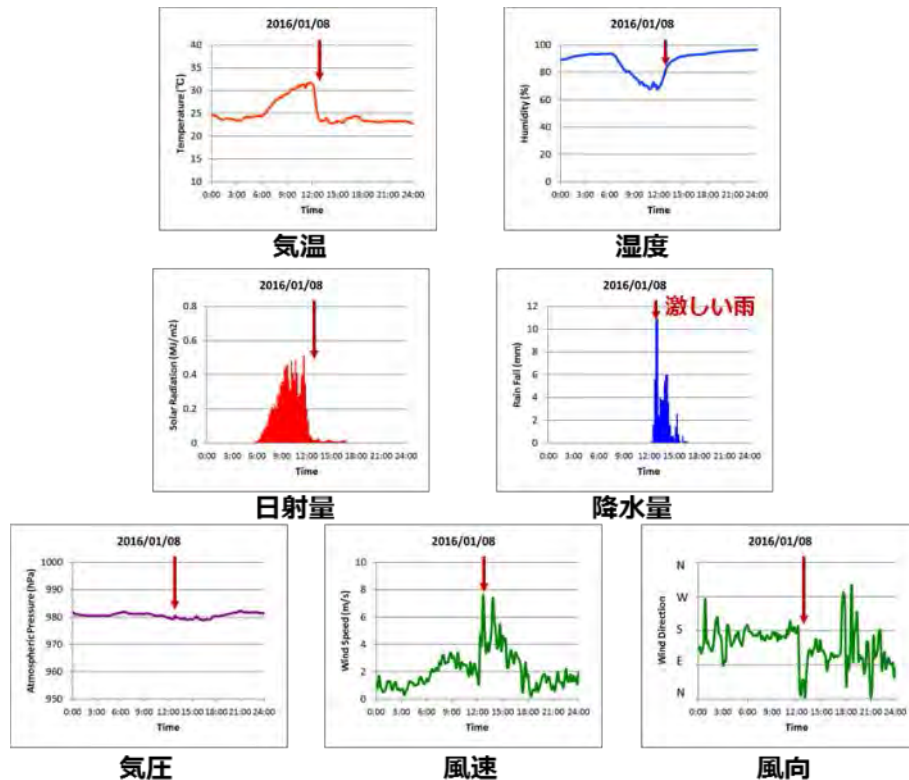


図 20 計測例

気象観測装置の設置は、以下の手順にて実施した。

- a. 輸送した気象観測装置を圃場事務所にて組み立て、事務所前に仮設置し試験運用を開始
- b. 気象観測装置のデータ収集方法やメンテナンス等の運用技術を指導
- c. 本設置場所を調査し、地形（標高）や周囲環境（遮蔽物の有無、安全に管理可能か等）を考慮して設置場所を決定
- d. 1 ヶ月の試験運用期間中に運用方法を習得、不具合の有無を確認
- e. この期間に気象観測装置の設置場所の整備（整地、設置台と柵の設営）を実施
- f. 試験運用後、本設置場所に気象観測装置を据え付け

3.2.1 技術指導

事前準備として、気象観測装置の組立て、データ収集方法、メンテナンス方法を解説した写真入りの運用マニュアルをインドネシア語で作成した。現地への輸送後、気象観測装置の現品確認、組み立て、動作確認、運用技術指導、仮設置の様子を図 21 に示す。



現品確認



組立て、取扱い説明



メンテナンス



データ取得



仮設置状況



仮設置状況

図 21 気象観測装置の現品確認、組み立て、動作確認、運用技術指導、仮設置の様子

組立て後すぐに圃場に設置すると、各設置場所への移動時間が 30 分以上かかることから、繰り返し作業して習得するのが困難になる。このように圃場事務所前という目の届く範囲に仮設置することにより、十分に運用技術並びに維持管理手法について技術移転が行われた。

事前に検討した気象観測装置の設置場所候補地を実際に見学した。設置場所調査の様子を図 22 に示す。圃場の東側約 15km の位置に Kelud 山（標高 1,731m）が有り、圃場はその麓にあたるため、西側に向かって標高が低くなるように傾斜している。そこで、3 台の気象観測装置は圃場全体をカバーし、かつ標高が同レベル（約 300m）であり、間隔を約 4.5km になる場所を候補地とした。周囲に高い木などの日光や風の遮蔽物が無いかどうかを確認し、設置場所を決定した。



図 22 設置場所調査の様子

3.2.2 設置

気象観測装置の設置場所を図 23 の地図に示す。青い線は区画の境界を表し、区画単位でサトウキビの栽培が管理されている。区画数は約 800、総面積は約 3,800ha である。赤いピンマーク 3 箇所 (No.1~No.3) に気象観測装置を設置した。No.1~No.3 の直線距離は 9km である。圃場事務所は青い線で描かれた区画の領域の左上に位置している。



図 23 気象観測装置の設置場所

図 24 に示すように、設置場所において、サトウキビ畑の約 10m×10mの部分を刈り取り、幅 3m×3m、高さ 1.3mの柵を設けた。その中に気象観測装置を設置する台となる高さ 2.85mのタワーを設営した。下の写真からわかるように、サトウキビは収穫時に高さ 4m程度まで生育するため、気象観測装置を地面に直接設置すると、日光や風が遮られる。そこで、タワーの上に気象観測装置を設けることにより、センサー部の高さが約 4mとなり、日光や風が遮られることなく各種気象データの観測が可能になる。

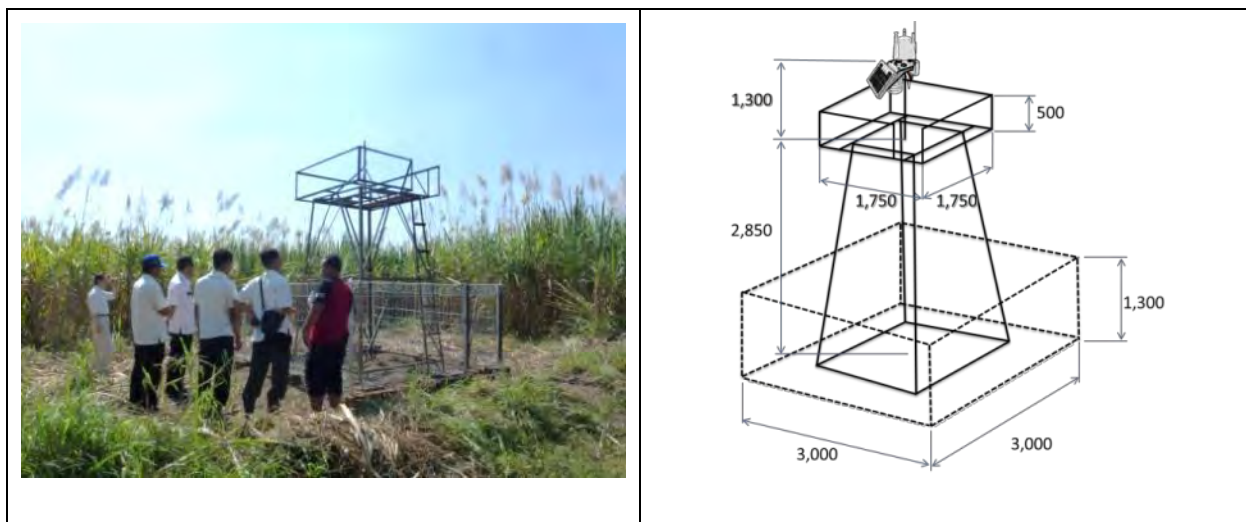


図 24 設置場所と設置台

各気象観測装置の設置の様子を図 25 に示す。タワー上に設置し、約 30 分間待機した後、データが記録されたかどうかを確認した。気象観測装置と PC を USB ケーブルで接続し、データをダウンロードした。GPS データを含め、各種気象データが取得できていることを確認した。



気象観測装置 (No.1)



気象観測装置 (No.1)



気象観測装置 (No.2)



気象観測装置 (No.2)



気象観測装置 (No.3)



気象観測装置 (No.3)

図 25 気象観測装置設置の様子

3 か月後に気象観測装置の運用状況を確認した。圃場の出入り口には守衛が配備されていた。図 26 に気象観測装置設置の保安設備を示す。設置した時には、タワーを取り囲むように設営された防護柵は、骨組みが出来たばかりの状態であったが、今回確認したところ、鉄部には塗装が施され、防護柵の上部には有刺鉄線で作られた鉄条網が敷設されていた。柵の扉は南京錠によって施錠されていた。気象観測装置の外観に損傷はなく、定期的を送られてくる気象データに異常が認められないことから、適切に運用管理されていることを確認した。



図 26 気象観測装置設置の保安設備

3.2.3 計測結果

各測定項目（気温、湿度、日射量、降水量、気圧、風速、風向）の測定結果の一例（2015 年 7 月）を図 27～図 33 に示す。乾季は、オセアニア大陸から乾いた季節風が吹き込む。現地は標高が 300m 程度あるため、一日の最低気温は約 20℃以下に低下するが、最高気温は 30℃以上に達する。2.1.1 節で述べたように、日射量の観測データから雲の発生は一日の中で午前は少なく、午後に多いという傾向がある。降水量が観測されている日はあるが、いずれも早朝であり露と思われる。

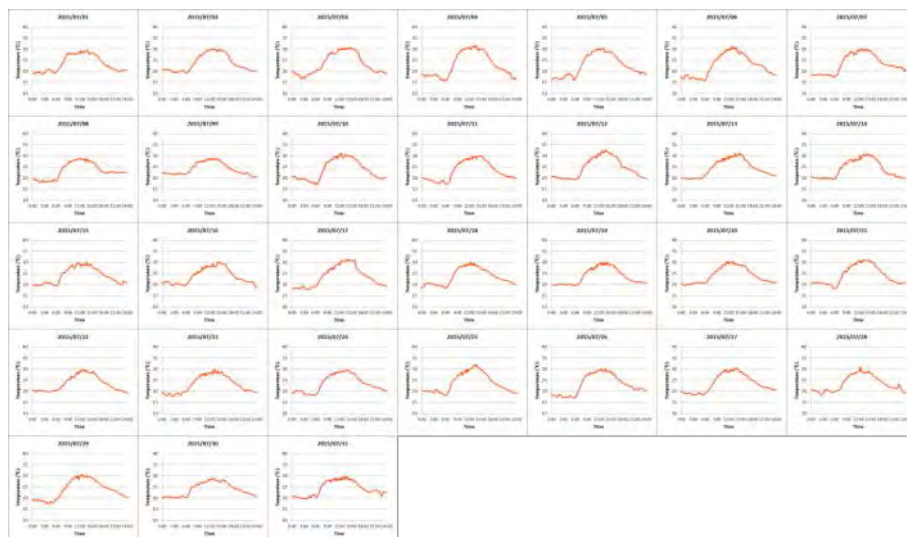


図 27 気温

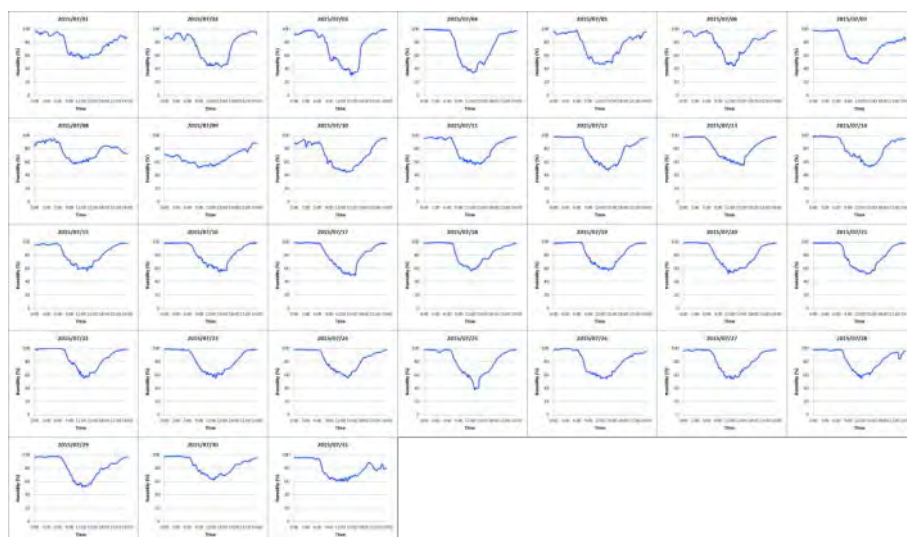


図 28 湿度

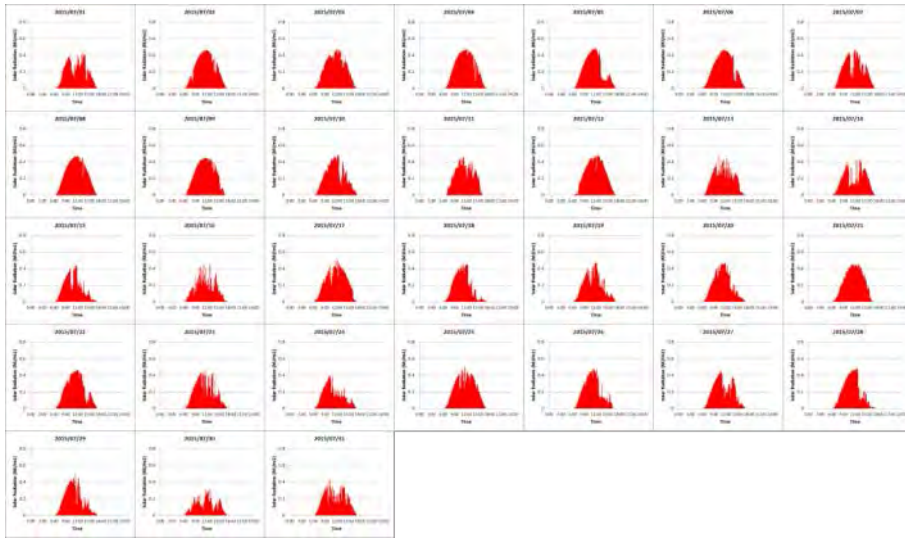


図 29 日射量

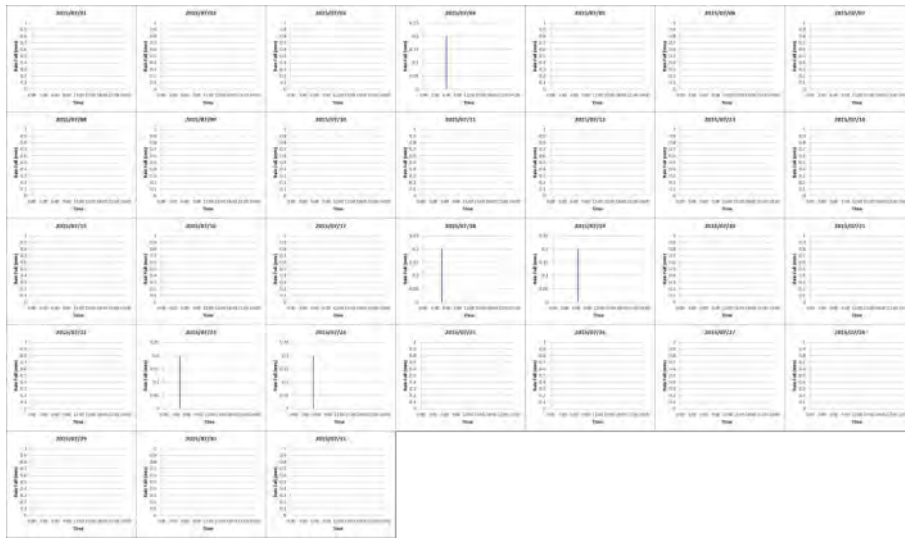


図 30 降水量

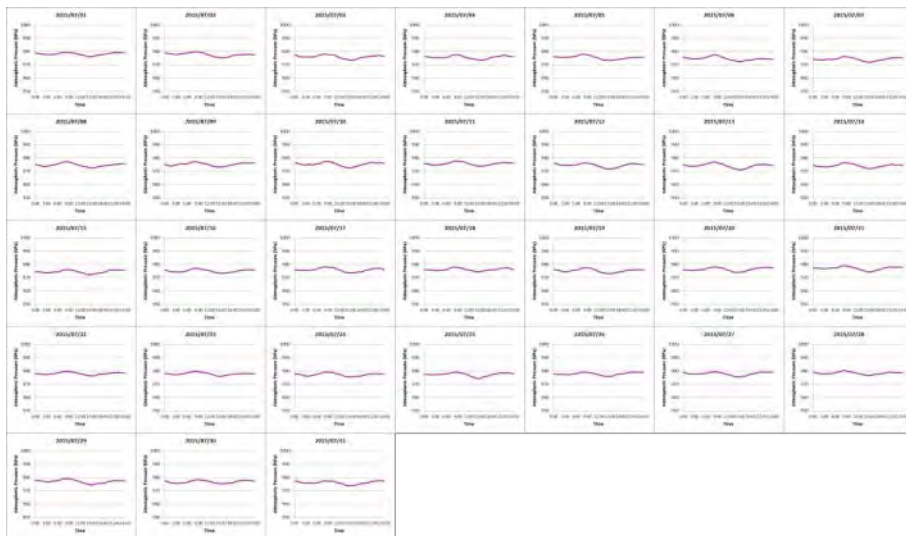


図 31 気圧



図 32 風速



図 33 風向

雨季と乾季の主要な気象傾向を表 6 に示す。平均気温は雨季の方が 2 度高い。これは乾季における一日の最低気温が低下することに起因している。つまり、気温の日較差は、雨季の 7 度に対して乾季は 12 度と大きくなる。平均湿度は季節風の影響で、乾季に低下するものの熱帯性の気候であることから一年を通して高い値を示している。月間降水量は雨季に 300mm 以上あるが、乾季には殆ど雨が降らない。風向は季節風の影響で、雨季は北東、乾季は南西の風が多くなる。

表 6 雨季と乾季の気象傾向

	雨季	乾季
平均気温	26℃	24℃
気温の日較差	7 度	12 度
平均湿度	86%	76%
月間降水量	300mm	~0mm
最多風向	北東	南西

気候とサトウキビ栽培との関係についてヒアリングした結果、気象データの有用性として以下の事項が挙げられた。

- ・サトウキビの登熟期においては、一日の最高気温と最低気温の差が大きい程、また降水量が少ない程、糖度は向上する。
- ・伸長旺盛期には十分な日射量、日射時間、降水量が必要
- ・除草剤の散布の際は、風速・風向を考慮する

一般に、作物の作況は気象の影響を強く受ける。例えば日本のように春に植えた作物を秋に収穫する場合、夏の日照時間の多少はその作物に対して同じように受ける。ところが、現地では各区画において植付け作業が 3 月下旬から半年に渡り実施され、それぞれの区画で一年以上栽培された後に収穫される。そのため、それぞれの区画において異なる生育タイミングで気象の影響を受ける。例えば、ある区画では植付けから半年後に、別の区画では 2 ヶ月後に十分な降水を受ける。あるいは登熟期の気温差や乾燥度合いも区画毎に異なる生育タイミングで生じることになる。サトウキビから得られる糖の生産量を増加させるためには、サトウキビの茎の長さ、太さ、本数という生産量を向上させるとともに、品質（糖度）も向上させなければいけない。したがって、一年を通して気象データをモニターし、各区画において灌漑や収穫に適したタイミングを見極めることが重要と考えられる。

3.2.4 設置場所の妥当性

3 箇所における気象データの計測結果の比較を図 34 に示す。気温と湿度に関しては、3 箇所において大きな差異は生じていない。一方、降水量と日射量に関しては場所に依って異なる結果が得られた。No.1 の場所は No.3 の場所と比較して、月間降水量が 20% 多く、日射量は 7% 少ない。2016 年 1 月 8 日の降水量のデータを参照すると、3 箇所とも降水が観測されているが、No.1（赤）の場所は降雨の時間帯の後半に強く降り、No.2（緑色）の場所は前半に、No.3（青）の場所は継続して雨が強く降った。この日に関しては、No.3 の場所は No.1 の場所に比べて 2 倍以上の降水があった。月間の降水量を見ると、1 箇所のみ降雨があった場合や、18 日から 21 日は常に No.1 の場所が多く降雨があったというように、場所に依って降雨の様子が異なっていた。このように、激しい雨は局所的に降る傾向があり、3 箇所での降水量の差を識別できたことから、気象観測装置の設置間隔は適正であるとみなせる。気象観測装置の配置密度を細かくすると、精度良い観測が可能であるが、コスト的には負担が大きい。したがって、気象データを蓄積し、気象傾向を把握したうえで気象観測装置を配置してメッシュデータを作成したり、気象レーダーを併用したりするのが望ましい。

気象観測装置	平均気温	平均湿度	月間降水量	月間日射量
No.1	25.6 °C	86.8 %	366.2 mm	413.4 MJ/m ²
No.2	25.4 °C	89.1 %	308.2 mm	435.5 MJ/m ²
No.3	26.0 °C	86.6 %	303.8 mm	443.0 MJ/m ²

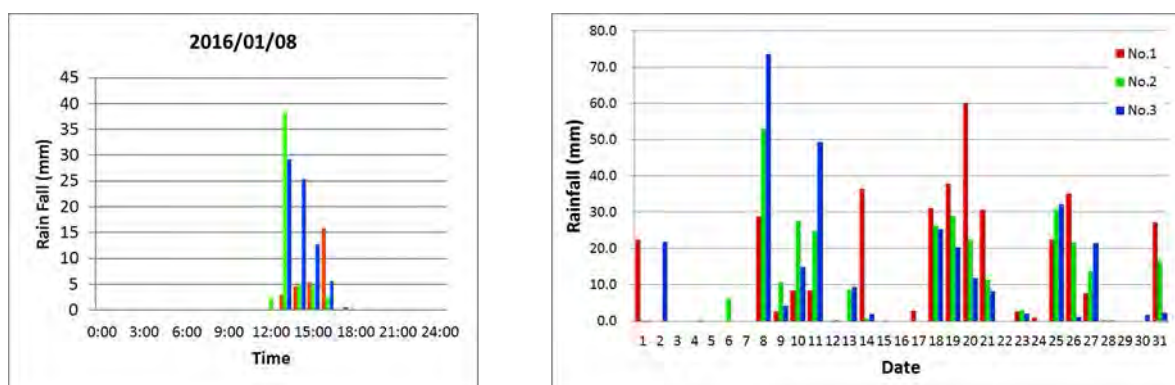


図 34 三箇所における気象データの計測結果比較（2016 年 1 月）

以上の結果から、農業気象データ解析技術において、以下の事項を検証できた。

- a. 仮設置して試験運用期間を設けることにより、十分に運用技術並びに維持管理手法について技術移転が行われた。サトウキビの草丈に合わせて設置台を設けることにより、日光や風が遮られることなく各種気象データの観測が可能であった。防護柵と施錠による保安設備を設け、適切に運用管理されていることを確認した。
- b. 年間を通した観測によって、雨季と乾季の気象特性を把握できた。日射量や降水量、気温の日較差などサトウキビの生産量や品質に影響を与える気象データが得られ有用であった。日射量のデータから午前中は雲が少ないことがわかり、衛星画像の取得可能性について参考にできる。

今後は、継続してデータを取得、蓄積してデータベースを構築することが重要であり、気象データとサトウキビの生育や病虫害の発生との関連性を見出すことにより予測が可能になる。

- c. 局所的に降る激しい雨について、気象観測装置を設置した3箇所での降水量の差異を識別できたことから気象観測装置の設置間隔は適正と考えられる。今回は、標高が等しい地点を選定したが、気温は標高に依存するため、他の地域でも計測を実施し、サトウキビの生育について比較検討することにより、多くの知見が得られる。

3.3 衛星測位システム応用技術

農業情報提供システムは、ベースマップ上に衛星画像や圃場管理情報を表示するとともに、衛星画像解析結果や気象データを参照することで、農地に関する様々な情報を地図上で一元管理する地理情報システム(GIS:Geographic Information System)である。現地圃場に対する簡易版のシステムを作製し、活用方法などの説明を実施した。図 35 は、本システムの表示画面例である。



図 35 農業情報提供システム表示画面例

圃場区画の画面では、区画の情報（作付／施肥等の日付・品種・メモ等）や気象観測装置の設置場所を登録・管理する。気象データの画面では、各測定項目のグラフや集計値を参照する。衛星画像の画面では複数の画面を並列に比較表示することもでき、時系列変化を確認する。解析した NDVI 画像の画面では衛星画像との対比や時系列変化を確認する。

本システムのデモンストレーションを通して、以下に示す有用性について先方の理解を得た。

- ・ 800 以上の区画情報を地図上でまとめて管理
- ・ 衛星画像を用いて圃場全体の状況を把握
- ・ 生育状況、衛星画像解析結果、気象データとの関連性を調査
- ・ インターネットを介して、異なる場所で以上の情報を共有

圃場 ⇄ 事務所 ⇄ 工場 ⇄ 本社 ⇄ 日本

本社のあるスラバヤ市と比較して、圃場や事務所のあるクディリ市郊外では通信速度が遅く、表示の更新に時間を要した。通信インフラの整備が求められる。

圃場区画の位置情報（区画名、緯度、経度）は、PTPN-X から提供された。3.2.1 節で述べた気象観測装置の設置場所候補地を見学した際に GPS にて経路を確認しながら、区画位置情報が的確であることを確認した。図 36 に移動の経路図を示す。移動距離は 46.2km、移動時間は 2 時間半、停止時間は 1 時間半、移動の平均速度は 18.6km/h であり、圃場内の道路が未舗装のため時間を要した。標高は事務所の位置が約 200m、気象観測装置の位置が約 300m、東側の最高点が約 400m であった。このように圃場の位置情報に合わせて作業者の位置情報を管理することも有用である。

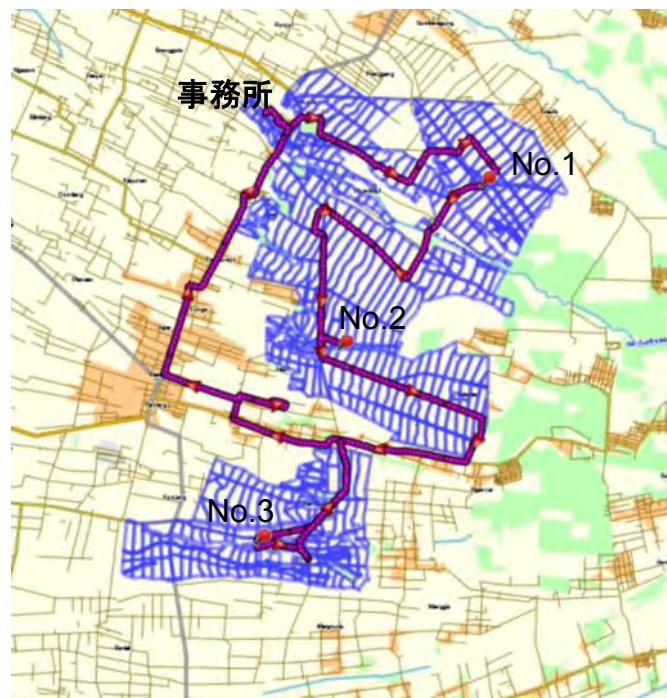


図 36 圃場内移動経路

以上の結果から、衛星測位システム応用技術において、以下の事項を検証できた。

- a. 現地圃場内を GPS の位置情報を参照しながら移動した結果、PTPN-X から提供された圃場の区画位置情報は、的確であった。同時に GPS による測位システムは有効に機能することを確認した。今回の現地活動を実施する際に、現場において位置や区画名を確認するための有力なツールとなった。将来は準天頂衛星システムによる高精度な衛星測位サービスの活用が期待できる。
- b. 800 以上の区画情報を地図上でまとめて管理することで、個々の区画管理、あるいはエリアごとの管理に加えて、圃場全体の状況を把握、管理することができる。本システムを活用することにより、圃場の栽培管理と衛星画像や気象データの解析結果が合わせて可視化でき、栽培計画、進捗状況、収穫計画、生産結果分析、改善策立案等が容易になり、生産性向上を目指した農業技術の継続的な改善を強力に支援できるものと考えられる。
- c. ただし、圃場においてはインターネット等の通信環境は十分とは言えず、通信インフラの整備が求められる。生育計測データを集計する際、データの記録は現場で集計表に手書きされ、事務所で改めて PC に入力する。その際に生じたと思われる入力ミス（特に「4」と「9」の読み取り間違い）が散見される。スマートフォンやタブレット端末などのスマートデバイスの活用によりデータ収集の正確性や即時性について改善する余地が大いにある。

図 37 は、品種が **Bulu Lawang** のサトウキビについて、2014/15 年度の各区画における植付け時期と収量との関係を示す。植付け時期の 3A は 3 月上旬を、3B は 3 月下旬を示す。同時期に植えたものは同じような気象の影響を受けているとみなせる。しかし、一年を通して収量の平均値は一定であり、かつ $\pm 50\%$ 程度の大きなばらつきがある。区画毎に収量に変動する原因（土壌、肥料、水分、病虫害等）を分析することにより、改善の指針が得られると考えられる。各区画を良い条件に揃えることができれば、100t/ha 以上の収量が可能になると思われる。

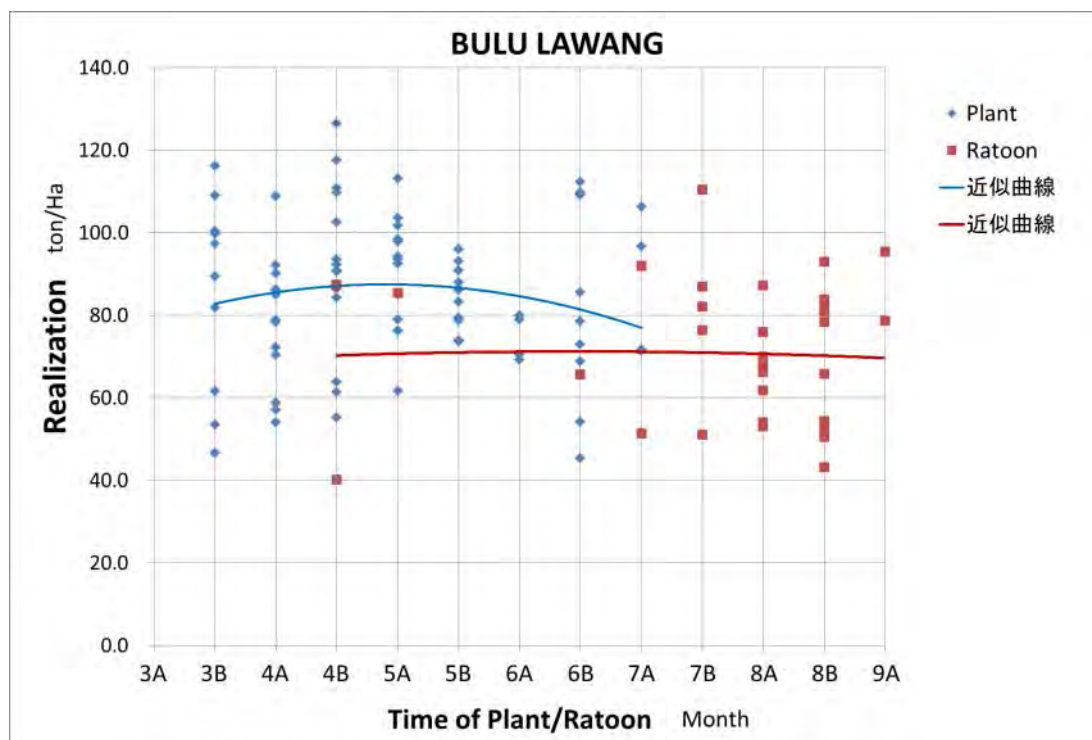


図 37 2014/15 年度収穫結果

農業リモートセンシング技術、および農業気象データ解析技術を適用することにより、多様な栽培（品種、植付け時期、栽培方法等）、および多面的な気象要因（気温、降水量、日射量等）の下、サトウキビの生育状況を広い圃場に渡ってモニターする基盤を構築できた。また、800 以上の区画の情報を一元管理する衛星測位システム応用技術は有用であった。これらの基盤を利用して詳しい分析を進めることにより、収量向上の指針が得られると考えられる。

今後は、一例として通信インフラ整備を含めた ICT 農業モデル地区を設定し、スマートデバイスを利用した正確かつ即時性のあるデータを活用し、作業者に的確な指示を与える高度な統合ソリューションの実証、あるいは一般農家への精密農業の指導や情報配信・収集への展開が有効である。

3.4 現地セミナー

現地活動の際、事業内容、進捗、成果をステークホルダーに紹介し、共有するとともに、ヒアリングを実施し、要望等を調査した（図 38）

・第1回現地活動（2015/5/10－5/22）



事業概要説明（PTPN-X 本社、スラバヤ）



事業概要説明（PTPN-X 本社、スラバヤ）



事業概要説明（圃場事務所、クディリ）



事業概要説明（圃場事務所、クディリ）



営農部門ヒアリング（圃場事務所、クディリ）



営農部門ヒアリング（圃場事務所、クディリ）

・第2回現地活動（2015/6/14－6/19）



気象観測装置の設置手順説明



気象観測装置の設置手順説明



衛星画像解析の経過報告



GIS デモンストレーション

・第3回現地活動（2015/9/13－9/18）



衛星画像解析や気象データ収集の経過報告



営農管理に関するヒアリング

・第4回現地活動（2016/2/21－2/26）



活動結果報告（PTPN-X 本社、スラバヤ）



活動結果報告（PTPN-X 本社、スラバヤ）



活動紹介（農業省、ジャカルタ）



活動紹介（農業省、ジャカルタ）

・第5回現地活動（2016/4/10－4/16）



事業展開に関する議論（農業省、ジャカルタ）



活動紹介（地方政府、クディリ）

図 38 現地セミナーの様子

成果報告の結果、複合センシング技術の有用性について十分な理解を得た。意見交換の際、PTPN-Xの品質管理部門から、生産性向上に加えて収量予測の精度向上が課題であるとの説明があり、今後の展開において高精細衛星画像の活用やスペクトルセンシング技術への期待が述べられた。収量予測の精度向上は、製糖工場の適切な稼働計画（雇用や資材調達コスト）の策定が経営上重要であることや、砂糖市場価格の安定化（輸入計画）に必要であるとのことであった。したがって、複合センシング技術の収量予測への適用や、周辺の契約農家の圃場もモニターする拡張性を検討していきたい。

インドネシア農業省 プランテーション局に対して、本事業の内容について、サトウキビの生産性向上に貢献できることの理解を得た。サトウキビ生産性がここ数年減少傾向にあり、国内需要を満たしていないため、今後の連携・協力についての期待が述べられ、継続的なコミュニケーションを依頼された。政府間事業として展開する場合、東ジャワ州全体をカバーし、他の国営製糖企業も含めることや、クディリに限定するのであれば、民間ベースで実施するのが良く、その場合でも州への説明が重要とのアドバイスを得た。

4. 事業展開の方向性

本事業を通して、複合センシング技術によるサトウキビの生育状況や気象環境を広い圃場に渡ってモニターする基盤を構築し、有用性・需要を確認することができた。今後の事業展開に向けてのロードマップを図 39 に示す。インドネシア砂糖農業高度化を目指し、本技術を現地に定着させるために、1st STEP として種々のデータの分析結果から現場の作業者に対して的確に指示することや、収穫・製糖結果を分析し改善策を立案するとともに改善策の実施状況をモニターして有効性を評価するというサイクルを継続的に実施することが可能な統合ソリューションの実証を進める。収量予測への適用が求められていることから、高度なセンシング技術やさらなるデータの蓄積と分析を、協業パートナーを加えて実施する。同時に通信インフラやセンシング機器等の ICT インフラ構築を進める。実施体制としては、PTPN-X と NEC の共同 Pilot Project とし、10,000ha 規模を対象とする。先進的農業 ICT のモデルケースを構築し、双方のキャパシティビルディングや知的財産獲得を促進する。2nd STEP では、PTPN-X が契約農家への指導的な役割を担っていることから、このスキームを活用して契約農家への拡大、浸透を進める（80,000ha 規模）。これらのフェーズにおいては、後述する ODA 事業との連携を提案していきたい。

3rd STEP、4th STEP は商用フェーズとし、上記内容で PTPN-X と NEC のコンソーシアムがソリューションサービスを提供する。ビジネスモデルはレベニューシェアモデルが想定される。

以上の核となるソリューションが構築できると、他の作物や他地域への展開においてカスタマイズは容易になると考えられる。



図 39 ロードマップ

5. 事業を通じ期待される開発効果

本事業の実施により、期待される開発効果は以下の表 7 のとおり。本事業を通じて、サトウキビの農業生産性が向上し、ひいてはインドネシアの砂糖の自給率の向上が期待できるほか、複合センシング技術は他の農業作物や他のセクターに応用可能であるので、インドネシア国内への展開は様々なところで開発効果が期待できる。

表 7 期待される開発効果

	契約農家	PTPN-X 他の国営製糖企業	インドネシア国全体
直接的 裨益効果	- 品質の良いサトウキビを生産し、PTPN-Xや市場で高値で買い取られることより、所得が増加する - より安定的な生産が可能となり、気象等の変化による所得の変動が軽減する - 技術指導を通じて、営農技術が向上する	- サトウキビの品質向上と生産量の増加により、企業の利益が増加する - 下記のとおり、サトウキビ生産において - NDVI画像を通じた成長度合いの可視化により、不良のエリアに対して早期の対策が講じられる - サトウキビの収量予測が可能となることで、サトウキビ生産の計画が立てやすくなる - サトウキビの糖度を刈り取ることなく計測することができ、糖度を事前に確認することができる	- 他地域への展開を通じて、国内の砂糖の生産量が増加し、自給率が向上する。それにより、砂糖の輸入依存が軽減する - 輸入依存度が下がることで、海外の砂糖の価格の変動に影響を受けにくくなり、砂糖の価格が安定する
間接的 裨益効果		- 製糖企業内の人材の能力が向上する - サトウキビ生産のオペレーションにおいて人材の適正化が図れる - 複合センシング技術を活用した新たな営農モデルが確立する	- その他の重点作物への展開が進むことで、インドネシアの農業政策に貢献する - 農業だけでなく、防災分野などにも応用できる - ASEAN諸国の中で先端技術を活用したモデルケースとなる

6. インドネシア国向け ODA 事業との連携可能性

6.1 関連 ODA 事業との連携可能性

本事業では、サトウキビを対象とした複合センシング技術の実証を進めたが、同技術は様々な農作物に対しても応用可能な技術である。インドネシア政府は、重点作物として、コメ、トウモロコシ、砂糖、大豆、牛肉、の 5 品目を掲げおり、うち、既存 ODA 事業では、南ジャワ州およびランブン州のコメ増産を目的として「コメリン灌漑計画(II-2)」が実施中である。これら灌漑事業におけるソフトコンポーネントの一環として、複合センシング技術の導入及び技術指導が組み込まれることで、より効果的な営農管理が期待できる。

加えて、本事業の複合センシング技術には気象データが蓄積されるため、これらのデータを灌漑の水資源管理に応用することも考えられる。また、機材や技術指導や有償事業のソフトコンポーネントの規模で不十分な場合には、円借款附帯技プロを新規に立ち上げたうえで、灌漑案件の実施を促進する連携も考えられる（表 8）。

表 8 既存 ODA 事業との連携(案)

実施中のODA案件	概要	本事業との連携(案)
コメリン灌漑計画(II-2)(2004年～2015年)および継続案件(有償)	南スマトラ州およびランブン州におけるコメリン川流域の灌漑施設の整備及び維持管理体制の整備支援	- 現地政府が有償事業のコンポーネントにICTを活用した営農包括支援プログラム(複合センシング技術の機材供与と営農技術指導)を組込む - 複合センシング技術の灌漑の水管理への応用
有償勘定技術支援(円借款附帯技プロ)	なし(新規立ち上げ)	JICAが上記ソフトコンポーネントをさらに拡充するために附帯技プロを立ち上げる
官民連携による農産物流通システム改善プロジェクト(技術協力プロジェクト)	政府所管の生産地集荷市場施設である STA(Sub Terminal of Agribusiness)の活用を含む効率的な農産物サプライチェーン構築(高品質で安全な園芸作物の生産流通モデルの構築)	生産段階および輸送・流通段階での連携

6.2 ODA 事業化の可能性

第 4 章にて示したように、今後の事業展開に向けて、1) 基礎インフラ・ノウハウ構築と定着フェーズ、2) 商用フェーズ、の大きく 2 つのフェーズが想定されている。次期フェーズとなる 1) 基礎インフラ・ノウハウ構築と定着フェーズでは、本事業を通じて必要性が明らかとなった、統合ソリューションの実証(複合センシングを応用し、契約農家に対してソリューションサービスを提供)と PTPN-X の能力強化を早急かつ継ぎ目なく実施することが重要である。

さらに、これらのフェーズは、1) B to B での展開、2) G to G での展開、の 2 つの方向性が考えられるが、農業省との協議において、「2) のケースの場合には、東ジャワ州全体を対象とすること」との要請を受けたため、東ジャワ州全体を対象とした F/S 及び実証を行う必要がある。

これらの内容を ODA 事業として実施していくことを検討する場合、具体的には以下のような提

案が考えられる（表 9）。

表 9 ODA 事業化の提案

企業活動を中心とした展開		内容	活用可能なスキーム(予算)	発注元	実施主体
	基盤インフラ・ノウハウ構築と定着フェーズ ↓ 商用フェーズ	① PTPN-Xへの技術指導(ToTの実施)や契約農家への技術指導(精密農業やGIS人材育成)	・ 草の根技術協力地域活性化特別枠	JICA	複合センシング技術を推進する自治体(NECと協力)
		② 契約農家に対するスマートデバイスの提供と、PTPN-Xの契約農家対象とした統合ソリューションの実証・トライアルの実施	・ 自治体と連携した無償資金協力	現地政府(JICA案件)	複合センシング技術を推進する自治体(NECと協力)
		③ 複合センシング技術の改善・データ蓄積・高度化	・ 協力準備調査(BOPビジネス連携促進)	JICA	NEC
		(JV等組成し、レベニューシェアを行う場合) NECおよびPTPN-Xのコンソーシアムによる、一般農家にサービスの提供	・ 海外投融資	現地政府(JICA海外投融資案件)	NEC

政府を中心とした展開		内容	活用可能なスキーム(予算)	発注元	実施主体
	基盤インフラ・ノウハウ構築と定着フェーズ ↓ 商用フェーズ	州・国レベルでのF/Sの実施	・ 基礎情報収集・確認調査	JICA(本部もしくは現地事務所)	NEC
		① PTPN-XやNECから一般農家・他の国営製糖企業へ技術指導 ② 一般農家・他の国営製糖企業に対する統合ソリューションの実証・トライアルを実施	・ 無償資金協力(技術協力+機材供与)もしくは技術協力プロジェクト	現地政府(JICA案件)	NEC
		一般農家・他の国営製糖企業へ横展開(州・国レベル)	・ 一般無償資金協力 ・ ノンプロ無償(機材供与) ・ ODA見返り資金	JICA(一般無償) 外務省(ノンプロ無償) 現地政府(見返り資金)	NEC

