

# バゴー地域西部灌漑農業収益向上 プロジェクト（衛星データ分析）

令和2年4月  
(2020年)

独立行政法人  
国際協力機構（JICA）

委託先  
(株) 三祐コンサルタント

評価
JR
20-01

## 要約

### 1. 目的

ミャンマー国バゴー地域西部灌漑開発事業により灌漑施設の改修が行われ、現在「バゴー地域西部灌漑農業収益向上プロジェクト」が実施中である（図1）。灌漑施設を活用し農家経営単位の収益向上を目指し民間企業活動を組み込んだ収益性の高い農業モデルの構築を推進しているところである。本業務は、衛星データの活用により同プロジェクトの成果を評価できるかの可能性を探り、併せて統計調査体制が整備されず完全データを得ることの難しい地域で衛星データが情報収集の手段となり得るかの検討を行うことを目的とした。

### 2. 評価項目

プロジェクト成果となる水稻の生産動向を以下①～③項目について分析した。特に農家収益に直結する③項の農業生産性（単収等）の把握が優先課題となった。

- ① 作付面積および作付回数の把握
- ② 作付作物の判別(栽培暦との照合)
- ③ 農業生産性（単収等）の把握

### 3. 衛星データ分析と現地調査の実施

分析は衛星データと現地調査（農家インタビューと圃場実査）の両者によって行った。初めに衛星画像分析により①作付面積および作付回数を把握し、この分析結果と農家インタビューで確認した栽培暦から②作付作物の判別、および作付面積を推定した。さらに圃場実査（収量調査）結果を基に再度衛星データ分析を行い③農業生産性（単収等）の把握を行った。

### 4. 農家インタビュー、および圃場実査

農家インタビューによって播種および収穫時期を確認し、収量調査により水稻収量を測定した。調査圃場はプロジェクトが推進している技術の効果を、①保証種子の利用有無、②作付方法の違い、③品種の違い、のそれぞれについて評価できるような選定をおこなった。最終的に18圃場で収量35～105バスケット/エーカ（1.8～5.4 ton/ha）が計測され、品種、作付方法、保証種子の利用有無により変化に富む結果となった。

### 5. 衛星画像解析

作付面積の推定は、光学センサおよびSARセンサデータの両者、水稻収量については、光学センサデータ（単独）を利用した。作付面積、単収の想定の手順は以下のとおりである。

### 6. 水稻の作付面積の推定

作付面積の推定は、SAR後方散乱と分光特性（植生指標）の時系列変動から作物フェノロ

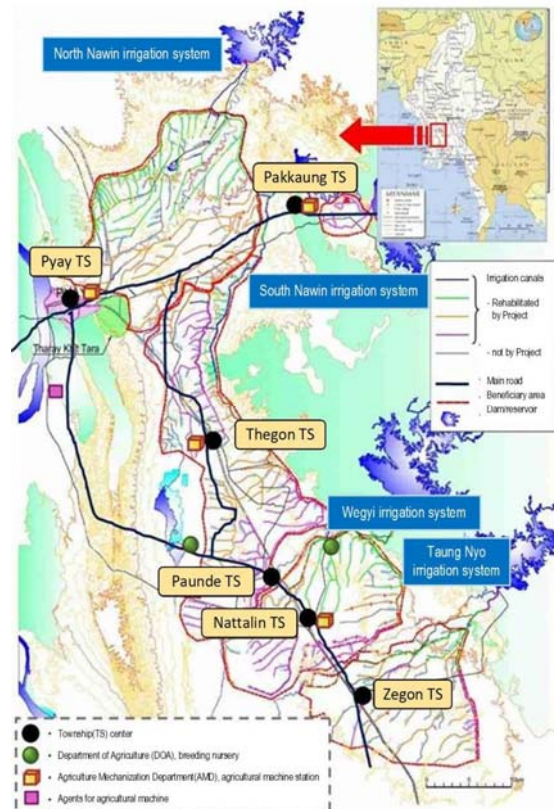


図1 プロジェクト対象地区  
(バゴー地域西部灌漑システム)

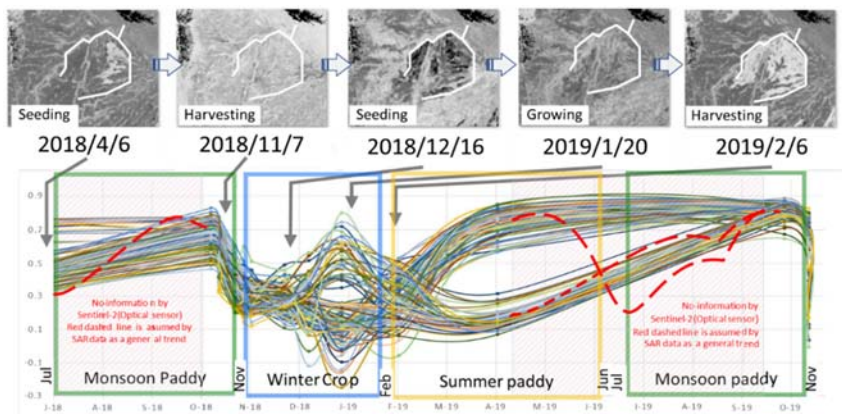


図2 作物フェノロジー (NDVI 変化)

ら関係式 (回帰モデル) を作成した。さらに、この関係式を対象地区に適用し LAI から水稲単収に変換、水稲収量分布図に整理した (図3)。

### 8. 手法適用の拡大

本業務における課題は、主要作物の「作付面積」、および「作物収量」の生産実態に関する情報を衛星データ利用により入手し農業プロジェクトの評価に生かすことにあったが、これらの情報は農業政策を立案する上での基本資料ともいえる。ミャンマー国内の他の大規模灌漑地域、また他国の類似地域) では、地上調査により完全な情報を得られないことが多く、これらの地域では衛星データ分析が農業生産実態を把握する唯一の科学的手法となる。今回の課題であった「作付面積の推定」では、農地利用の現況を空間情報(量)で捉え、「作物収量の推定」は農地における生産性(質)の定量化を目的とした。これらから、農家所得の向上への評価が検討されている。本分析によって手法適用の一例を示すことができたといえるが、特に、地域的な広がりをもつプロジェクトにおいて、広く、同時に、組織的に、また繰り返し、同一レベルの情報を収集できる衛星データ利用は、事業評価はもとより、将来の事業実施、案件形成や協力の基本方針の改善にとって有力なツールとして期待される。

ジー (生育サイクル) を追跡し (図2)、これと農家インタビュー調査で得られた栽培暦を照合することで行った。

### 7. 水稲収量の推定

水稲の穂ばらみ期 (10月) の葉面積指数 (LAI) を光学センサ情報より計算し、収量調査で得られた水稲収量との回帰分析か

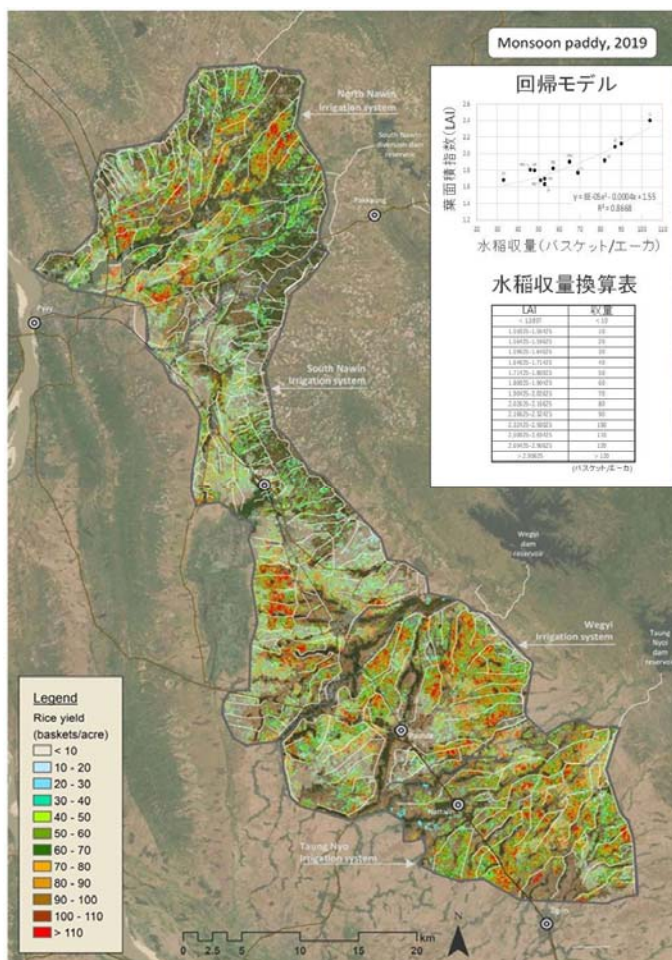
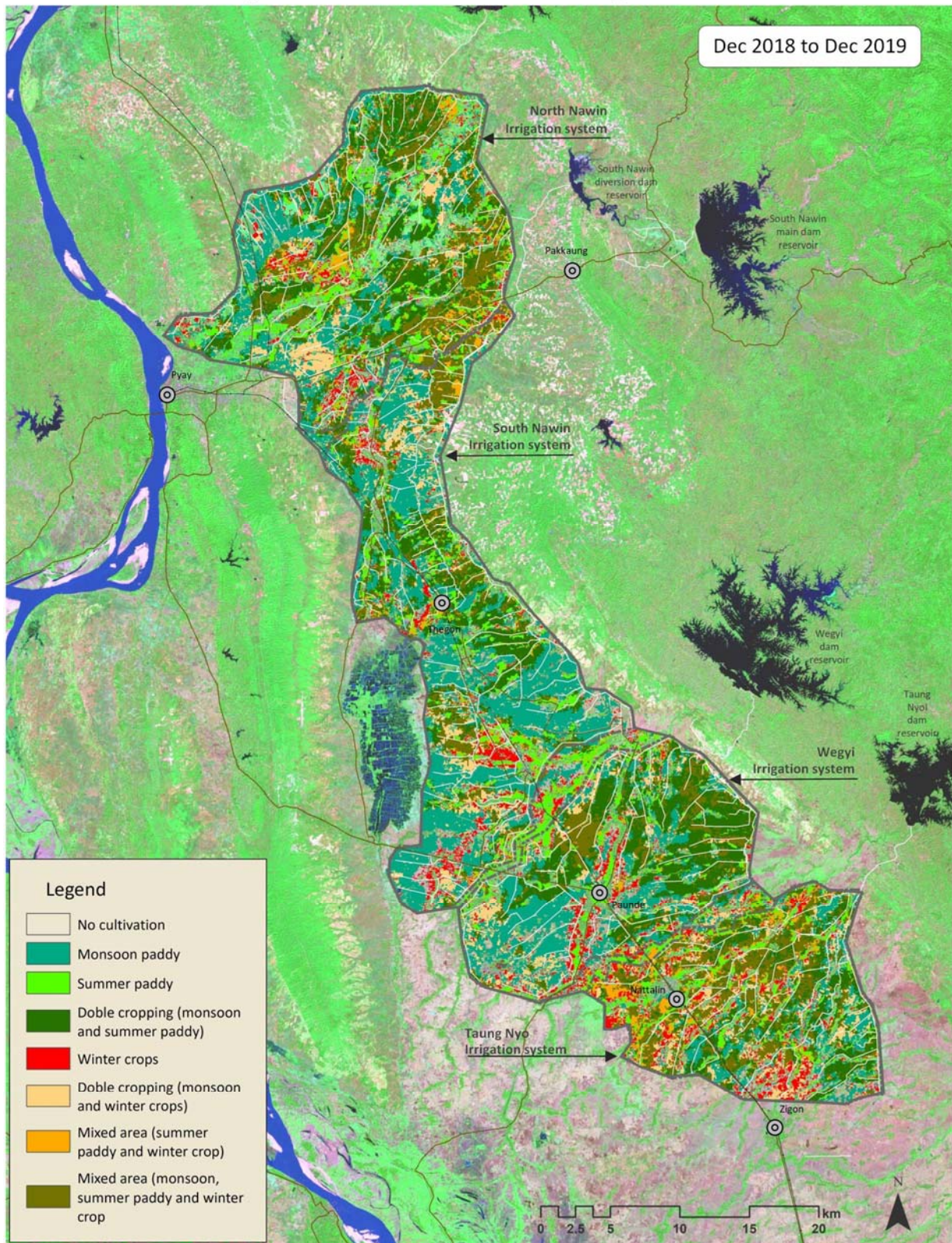


図3 水稲収量分布図

# 衛星データ分析例（農地土地利用：作付作物別の分布図）

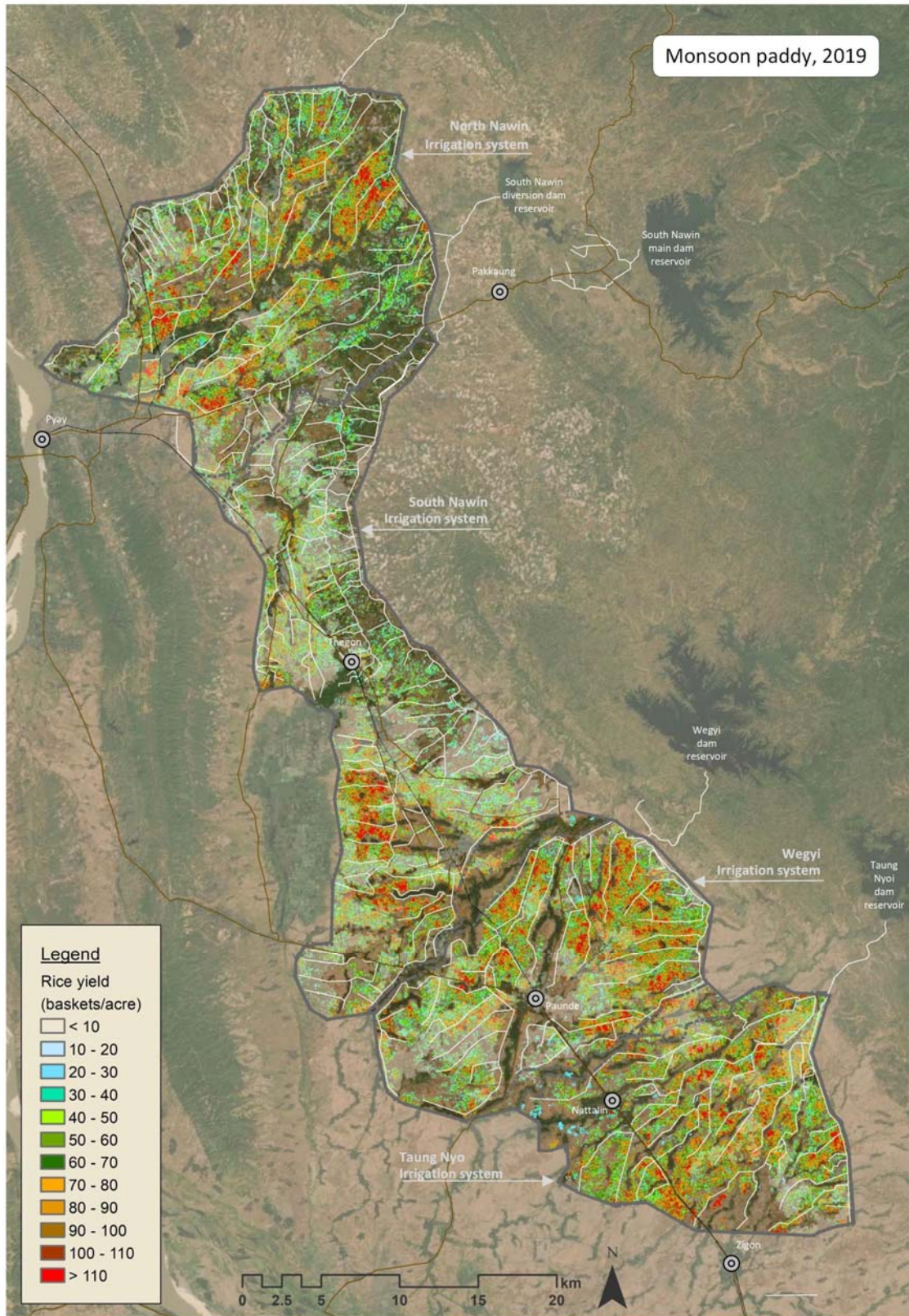
## Type of Cultivation in PROFIA Project Area



Note: Cultivation type is determined by the changes of NDVI from Dec. 2018 to Dec. 2019 in comparison with cropping calendar.

# 衛星データ分析例（農業生産性の把握：水稲収量分布図）

## Spatial Distribution of Rice Yield of PROFIA Project Area



Note: Rice yield is estimated by the regression model based on the rice yield survey made in Wedgyi irrigation area on Nov. 2019

## 現地調査写真集（稲収量調査および農家インタビュー調査）



稲収量調査(坪刈り,調査地点の選定)



稲収量調査(坪刈り,調査株の刈取)



稲収量調査(坪刈り,調査株の脱穀)



稲収量調査(坪刈り,収量計測：穂の粒数計測)



稲収量調査(実収調査,調査圃場の刈取,脱穀,移送)



稲収量調査(実収調査,籾乾燥後の収量計測)



農家インタビュー(圃場にて)



農家インタビュー（組合事務所にて）

## 目次

	頁
1 業務の背景 .....	1
2 業務の目的 .....	2
2-1 衛星データ分析の対象.....	2
2-2 先行事例 .....	3
2-3 衛星データ分析と現地調査の実施.....	3
3 現地調査の実施 .....	4
3-1 収量調査 .....	4
3-2 農家インタビュー調査.....	6
(1) 播種期、収穫期 .....	6
(2) 品種、保証種子利用の有無、作付方法の違い.....	7
4 衛星画像解析.....	8
4-1 衛星データの取得 .....	9
4-2 植生指数の計算.....	10
4-3 栽培暦の確認 .....	11
4-4 農地および作付面積の算定.....	12
4-5 葉面積指数 (Leaf Area Index : LAI) の算定.....	12
4-6 葉面積指数 (Leaf Area Index : LAI) および NDVI の時系列変化.....	13
4-7 LAI と水稲収量との比較 .....	14
4-8 回帰モデル (LAI から水稲収量の変換) .....	17
4-9 水稲収量の予測.....	17
5 手法適用の拡大 .....	18
5-1 光学センサ (スペクトル情報の抽出手法) の適用 .....	19
(1) 適用手法の特徴 .....	19
(2) 適用手法の拡大 .....	20
5-2 衛星データの比較(Sentinel-1、Sentinel-2、ALOS-2、LANDSAT8) .....	20
(1) 光学センサ (Sentinel-2, ALOS-3 (打ち上げ予定)) .....	20
(2) SAR センサ (ALOS-2、Ssentinel-1) .....	21
6 評価モデルの構築.....	24
7 モニタリングおよび事後評価への衛星データ活用方法 .....	24

## 別添資料

A-1 収量調査結果要約表 (坪刈り) .....	A-1
A-2 収量調査結果要約表 (圃場実収量) .....	A-3
A-3 農家インタビュー調査結果要約表.....	A-4

## 1 業務の背景

ミャンマー国では有償資金協力事業「バゴー地域西部灌漑開発事業（2014年調印、以降事業と呼称）」が2019年9月に終了し灌漑施設の改修が行われた。ソフト面においては「バゴー地域西部灌漑農業収益向上プロジェクト（PROFIA：2016年より実施、以降プロジェクトと呼称）」が実施中であり、「同事業で改修された灌漑施設を活用した農家経営単位の収益向上を目指し「灌漑農業による民間企業活動を組み込んだ収益性の高い農業モデル」の構築が推進されている。一方で事業の評価においては、プロジェクト効果（対象地域における農業収益性の向上）を定量的、かつ効率的に評価するため、空間情報技術（ALOS-2 データ）を活用した作目別の栽培面積の推定が行われてきた<sup>1</sup>。これらの成果は事業実施前のベースラインデータとして利用されてきたが、同事業も今年で6年目に突入し、活動期間は1年あまりを残すのみとなっている。事業の終了を2020年度に控えこれまでの活動の成果を効果的かつ定量的に評価できるツールの開発が求められる時期となっている。



図-1 プロジェクト位置図

具体的には、本業務における課題は、主要作物の「作付面積」、および「作物収量」の生産実態に関する情報を入手し、これを将来の農業プロジェクトの計画に生かすことにあった。これらの情報は農業政策を立案する上での基本資料となるが、統計調査体制が整備されず完全データを得ることの難しい地域（例えばミャンマー国内の他の大規模灌漑地域、また他国の類似地域など）では、地上調査の代替として、衛星データ分析が農業生産実態を把握する有力な科学的手法となる。

今回の課題であった「作付面積の推定」では、農地利用の現況を空間情報（量）で捉えることを、また「作物収量の推定」は農地における生産性（質）の定量化を目的とした。これらから、農家所得の向上への評価が検討されているが、特に、地域的な広がりプロジェクト

<sup>1</sup>バゴー地域西部地区では JAXA との連携のもと ALOS-2 データ（SAR センサデータ）を使い作付面積の推定が行われている。なお、これまでのミャンマー国での ALOS-2 の回帰は年間 10 回程度であり分解能 10m の StripMap モード（28MHz）の観測が基本となっている。



トにおいて、広範に、同時に、組織的に、また繰り返し、情報を収集できる衛星データ分析は、事業評価はもとより、将来の事業実施、案件形成や協力の基本方針の改善にとって有力なツールといえる。

## 2 業務の目的

バゴー地域西部灌漑開発事業、またはプロジェクト効果の評価分析において、前述のように計画対象地区の作物の生産実態の把握を目的に衛星データを用いたプロジェクト効果判定手法の開発が行われてきた。これらの試行は、いずれも主要作物の生産動向を客観的、かつ数量的に求めることを目的としたものであり、開発プロジェクトの効果的な計画の策定には無くてはならない情報となった。特に本プロジェクト対象地区のように広域（図-1参照、約87,000ha）、かつ多数の圃場を対象とする場合、計画や管理を立案するにあたり土壌や作物育成の実態情勢に基づいた分析が不可欠といえる。

本衛星データ分析業務（以降、業務と呼称）もプロジェクト対象地区における主要作物の生産動向の把握を目的とし、順次以下の①~③項目について分析を行った。特に分析の最終段階となる③農業生産性（単収等）の把握が本業務において優先課題となった。

- ① 作付面積および作付回数把握
- ② 栽培暦との照合による作付作物の判別
- ③ 農業生産性（単収等）の把握

上記の分析項目に関して、ミャンマー国および周辺国で行われた事例をみると、①項および②項については実施例も多く、手法としての検証も進んでいるが、③農業生産性（単収等）の把握についての事例は少ない。農業生産性については、衛星データの分析のみでの確度の高い判定は難しく、詳細な収量調査を行う必要がある。さらに、調査の実施にかかる負担も大きいことから、分析対象を主要作物である水稲（または小麦）に置くことが多く、豆、ゴマなど副次作物における前例は少ない。

本業務においても、調査期間の制限などから対象を主要作物である水稲（2019年雨期作）に集中し分析を進めることとした。

### 2-1 衛星データ分析の対象

本業務の評価対象となるプロジェクトの目標は「灌漑農業による民間企業活動を組み込んだ収益性の高い農業モデルが構築される」であり、この達成度を確認するために「イネの作付面積および収量をプロジェクト評価指標とし米の質と量の改善度合いの確認」を行うこととなっている。これらに沿って、イネ保証種子の利用、移植による緻密な栽培管理、市場の安定したローカル品種の推奨などが行われている。

本業務の衛星データ分析において各活動の成果を計測することが望ましいが、衛星データから直接、品種別、種子の品質別に圃場を特定することは難しい。間接的ではあるが、「プロジェクト対象圃場＝高収量圃場」と仮定し、高収量圃場の拡大、および全体収量の増大を

達成度の指標に置き換え、衛星画像を利用した解析を進めることとした。

なお、分析地区は、プロジェクトの試験圃場があり活動の中心となっている Wegyi 灌漑システム地区とした（図-1 参照）。

## 2-2 先行事例

業務の目的（前節の①～③項）において、ミャンマー国の事例<sup>2</sup>では①～②項（①作付面積および作付回数の把握、②栽培暦との照合による作付作物の判別）の分析については、図-2 に示したように、SAR センサ画像（PARSAAR-2）による解析が行われている。

これは、水稻播種期（7月）から生育期（9月）が雨期の最盛期にあたり、（雲による遮蔽が多く）良質な光学センサ画像が取得できないことから、SAR センサ画像を活用した成功事例である。本業務においても、この先行事例に倣い①～②項の分析について SAR センサ画像赤外を参照した。③項（農業生産性（単収等）の把握）の分析については、雨期明け（9月中旬）以降で光学センサ画像が入手可能であったことから可視～短波長の波長域を利用して単収の分析を行った。

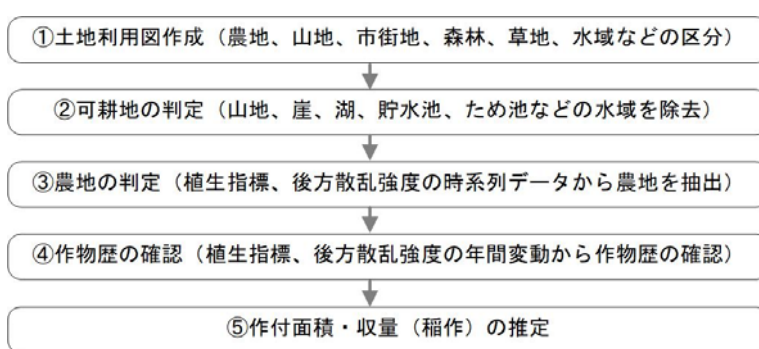


図-2 衛星画像解析プロセス

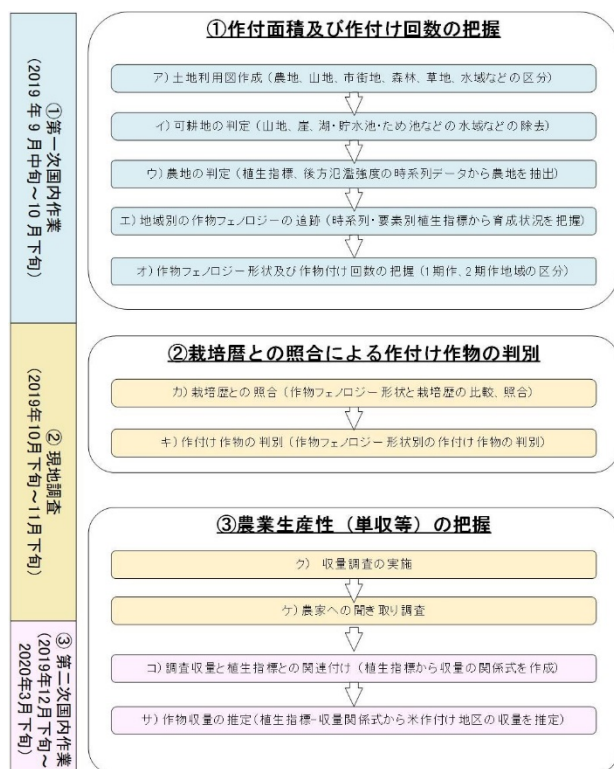


図-3 業務の実施手順

## 2-3 衛星データ分析と現地調査の実施

分析項目の実施手順は図-3 に示したとおり第1次国内作業、現地調査および第2次国内作業の3段階にて実施した。第1次国内作業において、プロジェクト対象地区の耕作状況の事前分析から「①作付面積および作付回数の把握」を行った。現地調査においては、事前分析の結果と栽培暦データから「②栽培暦との照合による作付作物の判別」を実施した。第2次国内作業にお

<sup>2</sup> - Monitoring Rice Agriculture across Using Time Series Sentinel-1 and Landsat-8 and PALSAR-2, remote Sens. 2017,9,119 ([www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing))  
- Agriculture Monitoring (GLAM) Project Global

いて、現地調査で入手した作物収量データと衛星データ（処理済データ）の比較を通じ「③農業生産性（単収等）の把握」を行った。

### 3 現地調査の実施

収量調査は2019年の稲の生育状況に合わせ11月上旬～11月下旬に行った。なお、この期間中にSentinel-2衛星がプロジェクト対象地区を4回通過したが、11月上旬～中旬にかけて海洋性低気圧の北上により曇天が続き良好な光学画像が得られたのは11月下旬以降に限られた。次節に現地において刈り入れ時に行った収量調査結果、および刈り入れ後に行った農家インタビュー調査結果を要約する。

#### 3-1 収量調査

収量調査ではプロジェクトが推進している技術の効果を、①保証種子の利用有無、②作付方法の違い、③品種の違い、のそれぞれについて、「量」「質」の両面で評価できるような圃場の選定をおこなった。「量」の評価にあたっては、対象農家圃場の圃場サイズの実測（GPSによる）、坪刈り調査、ならびに全量調査（一筆または圃場単位の収量調査）を組み合わせることで単位面積当たりの収穫量を測定した。

調査は図-4及び表-1に示した通り18地点で行い、収量は35～105バスケット<sup>3</sup>と品種、作付方法、保証種子の利用有無により変化に富む結果となった。また、同一圃場であるにも拘らず坪刈り調査と全量調査で測定値が大きく異なる地点、坪刈り調査を行ったが、圃場内の生育のバラツキが著しく平均的なサンプリングが難しかった圃場、農家の都合で登熟前の収穫（調査）を行うことになった地点なども含まれた結果となった。

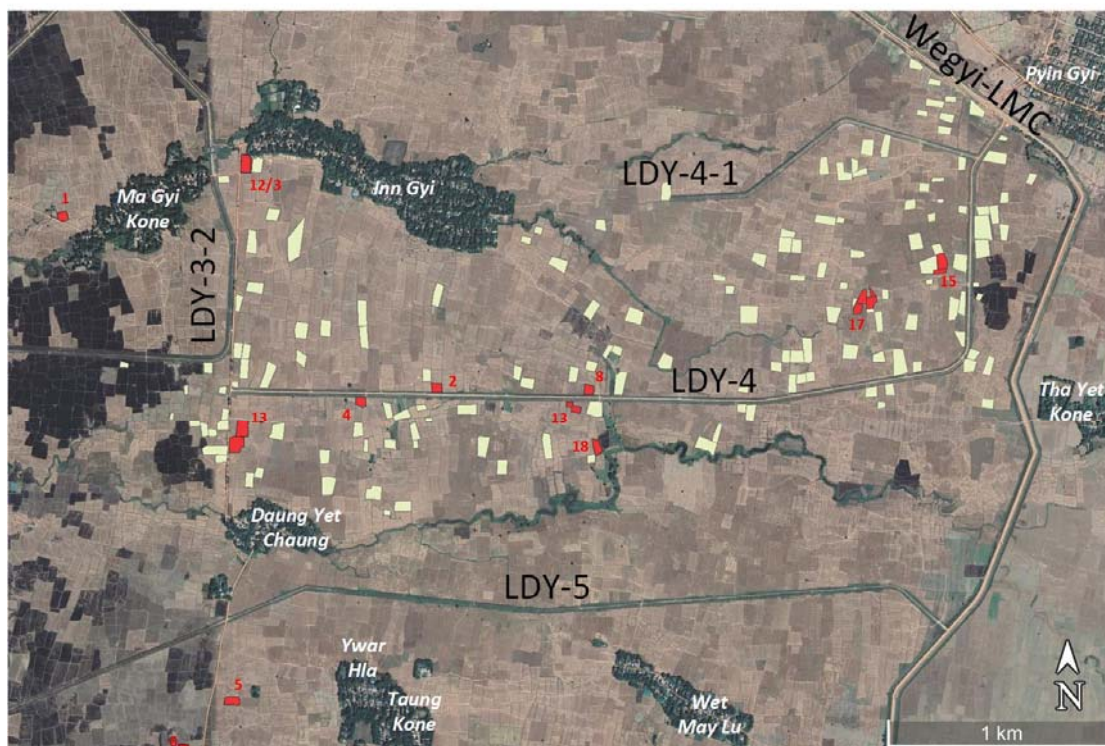
---

<sup>3</sup> ミャンマーでは収量は「バスケット」という体積を示す計量単位で測定されており、サンプリング調査を通じて1バスケット当たりの実際の重量について確認する（一般的には20.9kgとされている）。このとき、籾の水分条件によって重量が異なることから、それぞれのサンプルの水分含有量を「穀物水分計」により測定し、全てのサンプル重量を14%に換算した値で評価する。

表-1 収量調査の結果要約

Test No.	Village name	Variety	CS/NCS	Planting	Yield/ac (basket)	Remarks
1	Daung Yat Chaung	Inle	NCS	Broadcasting	69	
2	Daung Yike Chaung Village	Inle	NCS	Broadcasting	90	
3	Htan Kone Village	Hmaw Bi	CS	Transplanting	46	
4	Htan Kone Village	Hmaw Bi	NCS	Broadcasting	48	
5	Htan Kone Village	Hmaw Bi	NCS	Transplanting	51	
6	Htan Kone Village	Hmaw Bi	NCS	Transplanting	53	
7	Htan Kone Village	Hmaw Bi	NCS	Broadcasting	57	
8	Htan Kone Village	Hmaw Bi	CS	Transplanting	65	
9	Inn Gyi Village	Hmaw Bi	CS	Broadcasting	35	Early Harvesting
10	Inn Gyi village	Taung Pyan	NCS	Broadcasting	33	
11	Inn Gyi village	Taung Pyan		Broadcasting	53	
12	Inn Gyi Village	Yadanartoe	NCS	Broadcasting	82	
13	Inn Gyi Village	Yadanartoe	NCS	Broadcasting	87	Test made at same point as Sr12
14	Inn Gyi Village	Yadanartoe	NCS	Drum Seeder	87	Very high change of yield in testing paddy (STD= 37%)
15	Inn Gyi Village	Yadanartoe	NCS	Transplanting	94	
16	Inn Gyi Village	Yadanartoe	NCS	Transplanting	68	
17	Taung Kone Village	Inle	NCS	Broadcasting	104	
18	Taung Kone Village	Taung Pyan	NCS	Broadcasting	54	Early Harvesting
				Average	65	

Note: Location of test paddy refers to Figure-4



- 1 : Yield survey paddy (test number refers to Table-1)
- : Farmer Interview paddy (farmer Interview)

図-4 収量調査および農家インタビューの対象圃場 (Wegyi 灌漑システムの LDY-4 支線水路周辺)

### 3-2 農家インタビュー調査

Weyi 灌漑システムの LDY-4 支線水路に属する水利組合に所属する 472 農家の中から 160 農家を絞り込み対象圃場 GPS 測位、聞き取り調査を実施した。対象農家の選定においては、調査項目別（保証種子利用、作付方法、品種）にサンプル数に大きな隔たりが生じないように配慮を施した。なお、調査期間内で極力多くの農家からの情報を得るために、聞き取り項目を衛星データ分析に必要な情報（圃場のジオメトリ：GPS 測位による圃場の測定、保証種子利用、作付方法、品種、収量、栽培期間（播種期、収穫期）、施肥の状況）に絞り込んだ。次節に耕作期間、品種、作付方法、保証種子利用の有無について農家インタビュー調査結果を要約する。

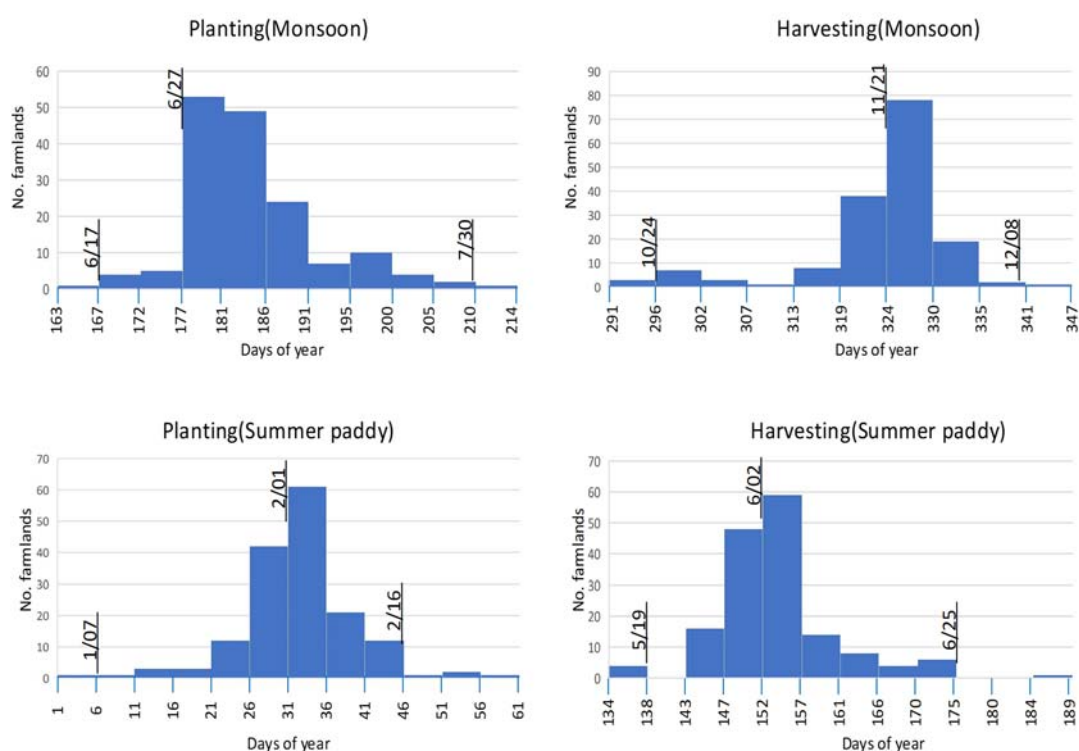


図-5 LDY-4 地区の播種期および収穫期のヒストグラム

#### (1) 播種期、収穫期

2019 年の雨期水稻の播種（または移植）は 6 月中旬～7 月下旬に行われ、収穫は早い品種で 10 月末、遅い品種で 11 月末に行われている。図-5 の時期別ヒストグラムの頻度をみると播種（または移植）は 6 月 27 日～6 月 30 日、収穫は 11 月 21～27 日にピークがある。ピーク間を取ると 147 日間が生育期間となる。一方 2019 年の夏作では、播種期は 1 月初旬～2 月中旬、収穫期は 5 月中旬から 6 月下旬であり、各ピークは 2 月 1 日と 6 月 2 日であることから生育期間は 121 日である。

これらの情報をともに、衛星データ分析（農業生産性の把握）の対象を 2019 年雨期作とし、播種時の 2019 年 6 月末から 12 月初旬までの期間において高頻度（最小 5 日毎）での衛

星データ取得を行った。

(2) 品種、保証種子利用の有無、作付方法の違い

2019年雨期作において、LDY-4支線水路内の圃場では、図-6に示したように6品種(Hmaw Bi、Inle、Ngwetoe、Taung Pyan、Tintayargyi、Yadanartoe)が栽培され、平均収量50baskets/acreである。これら6品種のなかでYadanartoeは収量が2割ほど多く60baskets/acreである。一方、在来種であるTaung Pyanは少なく、50baskets/acreを下回る。夏作においては、3品種(Pyitawyin、Sinthwelatt、Yadanartoe)が栽培されるが、雨期作と比べいづれも収量は多く60baskets/acreを上回る。特に高収量なSinthwelatt、Yadanartoeでは平均80baskets/acreの収量となる。

保証種子の有無の違いについては、雨期作および夏作とも保証種子を栽培した圃場で高収量である。平均値で雨期作では14%、夏作で(保証種子の殆どが高収量品種のYadanartoeで一方非保証種子が在来品種であることから)差は大きく49%増収となっている。

播種と移植の方法による収量の差については、雨期作で26%の増収が確認できたが、夏作については調査農家のすべてで播種またはドラム・シーダであったことから比較はできなかった。

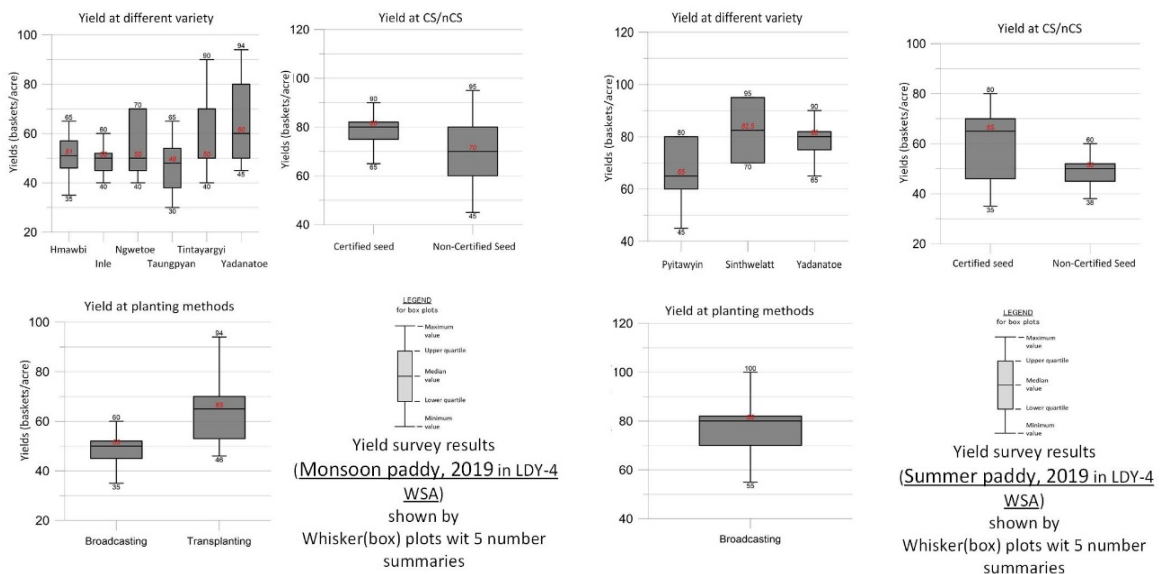


図-6 品種、保証種子利用の有無、および作付方法による収量の違い

LDY-4灌漑地区の水稲栽培において、プロジェクトの活動「イネ保証種子の利用、移植を通じた緻密な栽培管理、市場の安定したローカル品種の推奨」が収量の増加につながる事が数字によって証明できたと見え、これら農家インタビュー調査の結果をもって、プロジェクト活動の達成度の指標を「高収量圃場の拡大」、および「全体収量の増大」に設定する妥当性についても具体的な根拠が得られたと言える。

#### 4 衛星画像解析

水稻の作付面積は、光学センサおよび SAR センサデータの両者を基に、また、水稻収量は、光学センサデータのみを利用して推定した。以下に作付面積の算出、および単収の想定の手順を示す。

- 2019年の雨期作（2019年6月～2019年12月）の6か月間における土地利用変化を光学センサ画像および SAR センサ画像から確認し農地の範囲を抽出。
- 農地内における植生指標の時系列変動と現地調査（農家インタビュー調査）で得られた栽培暦との照合から対象地区の雨期作の期間を確認。
- （以下、図-7 解析フローに示すとおり）稲作の栽培暦に従い、播種期（6月～7月）の光学センサ画像（Sentinel-2）および SAR センサ画像（Sentinel-1）を用いて水田（湛水域に相当）の抽出。
- 穂ばらみ期（10月）に撮影された光学センサ画像から葉面積指標（LAI）および正規化植生指標（NDVI）を計算し、それぞれの分布図を作成する。
- 収量調査で得られた水稻収量と穂ばらみ期の LAI 及び NDVI との回帰分析を行い、関係式（回帰モデル）をつくる。
- 収量調査結果と指標（LAI または NDVI）の回帰モデルを d.項の LAI または NDVI 区分に適用することで単収分布図（作付面積および単収の分布図）を作成する。

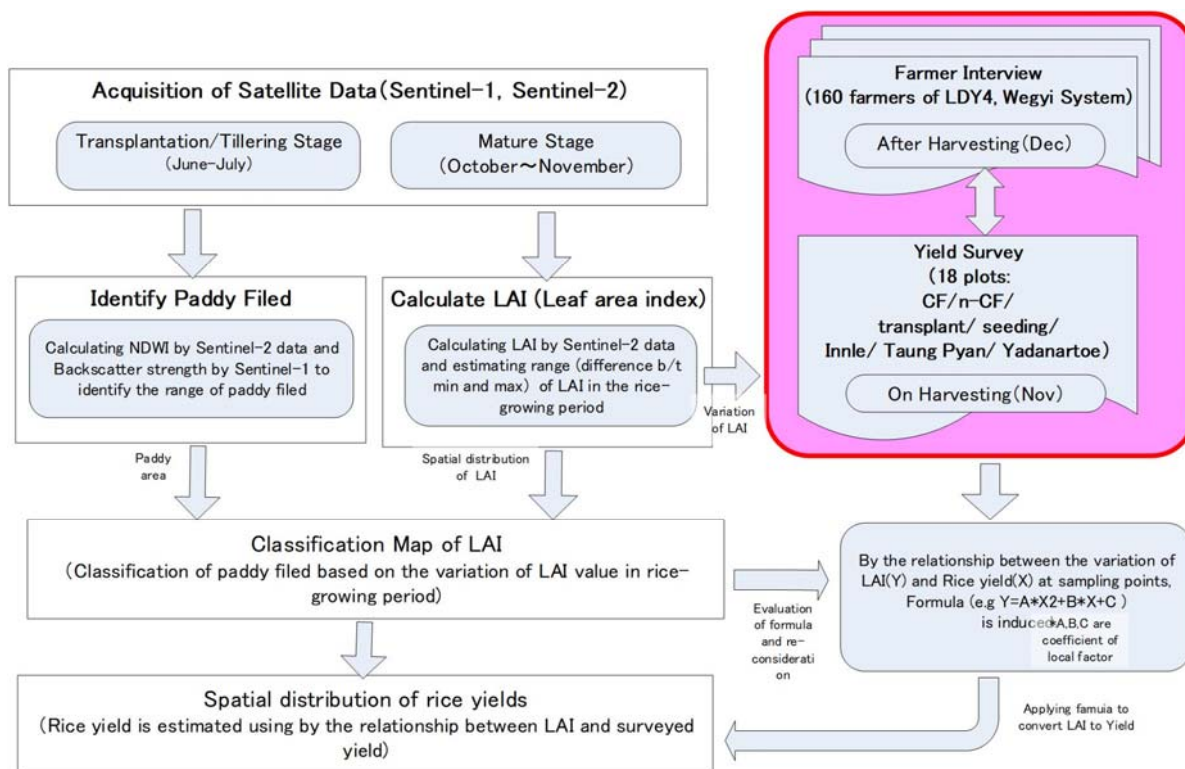


図-7 衛星データ解析フロー

#### 4-1 衛星データの取得

衛星データの取得は2019年6月～12月の雨期作の期間で密に1シーン/5日を目安とし、これ以前の2018年4月～2019年6月については1シーン/月の頻度で行った。同期間のすべてで光学センサ画像（Sentinel-2）の入手を試みたが、雨期の最盛期6月～9月においては、雲量が20%以上と多く良好な光学センサ画像の入手は難しかった。代替として、雨期の期間については、生育期の稲の生育状況の把握のため Sentinel-1 画像（Cバンドの SAR センサ画像<sup>4</sup>）を入手、特に、播種期の7月初旬において水田面積を把握するため高頻度での入手を試みた<sup>5</sup>。

なお、Sentinel-1、および Sentinel-2 とも最小の分解能は10m（約1アール）であり、数アール程度の小規模な圃場の抽出も可能である。各衛星データの取得画像、および栽培暦に応じた取得時期を表-2に示す。

---

<sup>4</sup> SAR データは、Sentinel-1 のプロダクトのうち、撮影モード IW（Interferometric Wide：一般的な撮影タイプ、解像度 5×20m、撮影幅 250km）のうち、画像タイプ GRD（Ground range detected: 地表面にデータ投影）を利用した。GRD データでは、VV と VH 偏波の2種が利用可能であったが、稲群落の生育（繁茂）状況の変化により敏感な VH 偏波（の後方散乱係数）を使い、水稻の作付範囲、育成状況を追跡した。なお、分析にあたり放射量校正、大気補正、スペックルフィルター補正、地形補正、後方散乱係数（ $\sigma^0$ ）変換など低次元レベル処理を施した。

<sup>5</sup> SAR 画像を使った栽培暦の確認は2019年の雨期について実施した。Sentinel-1 のレベル1データ入手後に前処理（低次元レベル処理）を施し後方散乱係数（ $\sigma^0$ ）の変化を追跡した。 $\sigma^0$ 分布図において、7月初旬に極小期が検出された後、稲の育成とともに次第に値は大きくなり刈り取り前の最大期を経て再び急減する育成サイクルが認められた。また、 $\sigma^0$ 時系列変化グラフにおいて、栽培歴（播種時期、および収穫時期）の一致が確認でき、8月末の大雨による稲の冠水・倒伏が後方散乱係数の急激な低下として追跡された。



表-2 衛星データの取得

No	Year	Month	Sentinel-2			Sentinel-1	No	Year	Month	Sentinel-2			Sentinel-1
			46QFG (tile no)	46QGG (tile no)	Cloud condition					46QFG (tile no)	46QGG (tile no)	Cloud condition	
1		4	2018/4/6	2018/4/6	○		23	2019	7				2019/7/9
2		4	2018/4/26	2018/4/26	×		24		8				2019/8/2
3		5	2018/5/21	2018/5/21	△		25		8				2019/8/26
4		9	2018/9/28	2018/9/28	△		26		9	2019/9/18	2019/9/18	×	2019/9/1
5		10	2018/10/18	2018/10/18	△		27		9	2019/9/23	2019/9/23	×	2019/9/4
6	2018	11	2018/11/2	2018/11/2	○		28		9	2019/9/28	2019/9/28	△	2019/9/25
7		11	2018/11/7	2018/11/7	○		29		10	2019/10/3	2019/10/3	△	2019/10/7
8		11	2018/11/17	2018/11/17	○		30		10	2019/10/8	2019/10/8	×	2019/10/13
9		11	2018/11/22	2018/11/22	○		31		10	2019/10/13	2019/10/13	△	2019/10/19
10		11	2018/11/27	2018/11/27	○		32		10	2019/10/18	2019/10/18	△	2019/10/25
11		12	2018/12/17	2018/12/17	○		33		10	2019/10/28	2019/10/28	△	2019/10/31
12		12	2018/12/27	2018/12/27	○	2018/12/17	34		11	2019/11/2	2019/11/2	△	2019/11/6
13	2019	1	2019/1/1	2019/1/1	○	2019/1/10	35		11	2019/11/7	2019/11/7	×	2019/11/11
14		1	2019/1/21	2019/1/21	○		36		11	2019/11/12	2019/11/12	×	2019/11/18
15		2	2019/2/5	2019/2/5	○		37		11	2019/11/17	2019/11/17	△	2019/11/24
16		2	2019/2/25	2019/2/25	○	2019/2/15	38		11	2019/11/22	2019/11/22	△	2019/11/24
17		3	2019/3/22	2019/3/22	○	2019/3/11	39		11	2019/11/27	2019/11/27	○	2019/11/30
18		4	2019/4/21	2019/4/21	○	2019/4/4	40		12	2019/12/2	2019/12/2	○	2019/12/6
19		4	2019/4/26	2019/4/26	○		41		12	2019/12/7	2019/12/7	○	
20		5				2019/5/10	42		12	2019/12/12	2019/12/12	○	
21		6				2019/6/3	43		12	2019/12/17	2019/12/17	○	
22		7				2019/7/6	44		12	2019/12/22	2019/12/22	○	

Period of data acquisition and cropping pattern

Year	2018				2019											
	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
Rice ( main; monsoon season)																
Rice (second; summer season)																
Analysis Period																
Timig data aquisition																
Sentinel-2 (optical data)	○	○	○	○	○	○	△	×	×	×	△	△	○	○		
Sentinel-1 (Microwave data, SAR)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
Filed survey																
FAO rice crop calander:																

○ : Aquisition data (Archeve image)    × : No-aquisition data by poor quality by cloud cover    △ : Aquisition data with limited use by cloud

#### 4-2 植生指数の計算

植生指数は植物の光学衛星データの波長バンド別を使って植生の状況を把握することを目的として考案された指標で植生の有無、粗密、また作物の活力を示す指標である<sup>6</sup>。原理的には作物に吸収され易い赤色 (R:波長 0.68 μm) と逆にされ難い近赤外線 (NIR:0.75~1.3 μm) の差 (図-8 参照 : DVI 指数) または比 (図-8 参照、RVI 指数) を利用したバンド間の演算値 (分光指数) である。様々なタイプが提案されているが、本業務では最も一般的

<sup>6</sup> 植物が光合成を行なう場合、クロロフィルは青 (B : 0.45 μm) と赤 (R:0.68 - 0.75 μm) の可視光線を良く吸収し反射率は低い、また逆に熱に弱いクロロフィルを守るために赤外線域では多くを反射する。特に近赤外の (NIR:0.75 μmから 1.3 μm) までの波長域の反射率は高い。吸収され易い赤 (R バンド) と吸収されず反射する近赤外線 (NIR バンド) の差または比を植生指標といい、作物に関する解析に非常に重要となる。

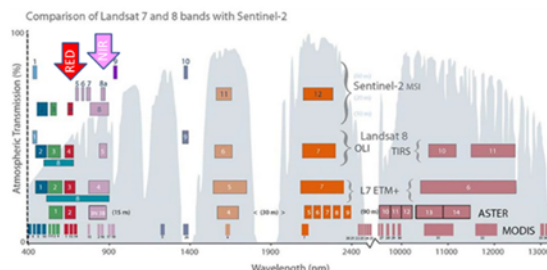
に用いられている正規化植生指数（NDVI、図-8 参照）を用いて耕作地の範囲、作付面積、および収量との関係を調べた。計算に当たっては、Sentiel-2 の MSI のバンド 4 (664.6nm) とバンド 8A (864.7nm) を使い NDVI を計算した。

Name	Purpose/Classification	Short Description	Type
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	The well-known classical vegetation index. The NDVI composes a measurement for the photosynthetic activity and is strongly in correlation with density and vitality of the vegetation	Vegetation Index
DVI	Difference Vegetation Index	This index is sensitive to the amount of vegetation	Vegetation Index
RVI	Ratio Vegetation Index	The simplest ratio-based index, it is also called the Simple Ratio (SR). It indicates the amount of vegetation. It also reduces the effects of atmosphere and topography	Vegetation Index

E.g. index for vegetation are PVI, RVI, UPVI, WDV, TNDVI, GNDVI, GEMI, ARVI, ND4S, MTCI, REIP, S2REP, RECL, RSSRA etc.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Source: ESA Sentinel-2 Toolbox help documentation



Source: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=10643><http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=10643>

図-8 正規化植生指数（NDVI）の計算

### 4-3 栽培暦の確認

栽培暦の確認は、Wegyi 灌漑システムの LDY-4 支線水路地区を対象とし、植生指数の変動（作物フェノロジーに近似）と比較することで行った。

2018 年 4 月の雨期作から 2019 年 11 月まで間で NDVI を計算し、同地区のピクセル毎の NDVI を時系列で連ねた変動図（図-9 参照）を作り、作物フェノロジーと栽培暦を比較した。両者の比較から 2018 年雨期作、2019 年冬作、2019 年夏作、2019 年雨期作は識別されたが、2018 年および 2019 年とも夏作の終了と雨期作の開始時については（雨期最盛期にあたり）、光学センサ画像は利用できなかったことから、SAR センサ画像を利用して栽培暦との照合を行った。

また、農家インタビュー調査結果との比較により、2018 年の冬期（11 月～2 月）にかけては豆類から水稻への転換が行われ（夏作の生育期がずれ込み）、雨期作の播種期も例年と比べ 1 ヶ月程遅い 7 月初頭となった。

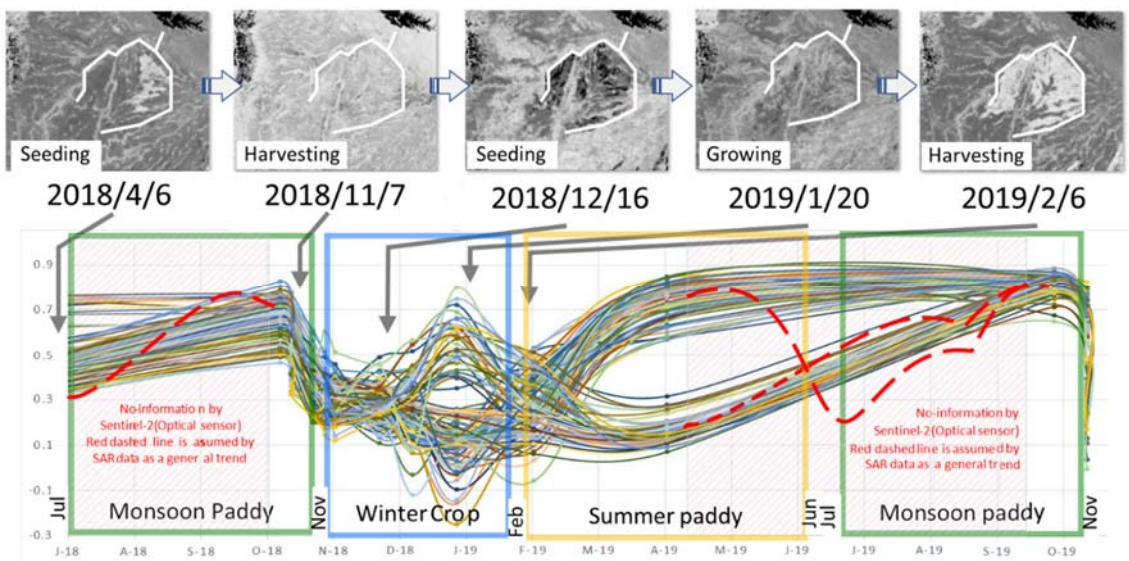


図-9 正規化植生指数（NDVI）の変化（作物フェノロジー）と栽培暦との比較

#### 4-4 農地および作付面積の算定

対象となった 2019 年の雨期作においては、稲作が主体であり農地はほぼ水田と判定された。水田の判定は、栽培暦から播種期と収穫期を確定し、水稻生育期間の NDVI の範囲値（最大 - 最小の差）、または播種直後の後方散乱係数の分布から判断した。Wegyi 灌漑地区においては、NDVI、および反射強度は耕作地と非耕作地で大きく異なることから、耕作地と非耕作地との判別（閾値の設定）は自然分類法（Jenks Natural Breaks）で行った。図-10 に作付面積の計算に使用した Wegyi 灌漑地区の NDVI を示す<sup>7</sup>。

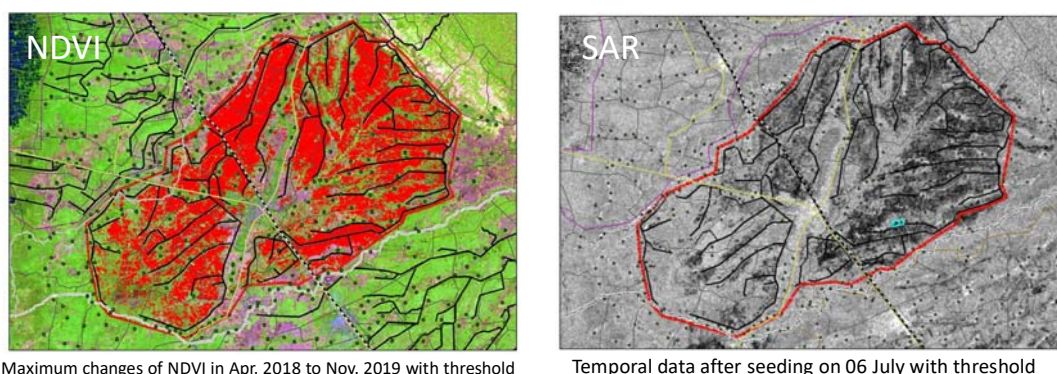


図-10 作付面積の算定

図-10（左図）は 2019 年 4 月～2019 年 11 月までの期間における NDVI の差であり、差の大きい範囲を耕作地（耕作により植物活性の差の大きい）と非耕作地（自然植生であり期間を通じて差は少ない）が判別できる。また、図-10（右図）は 2019 年 7 月 6 日の水稻の播種時（または移植時）直後の SAR 後方反射強度の分布であり、作付地区（水田）と非作付地区（自然植生）の差が明瞭に追跡された。同分布から閾値を設け 2019 年雨期作の水稻作付の範囲を判定した。

これらの分析により判定された作付範囲は作目別に面積を集計することが可能であり、また異なった時期の衛星データを同一手法で解析することで、作目別作付面積、また高収量の圃場面積の増減など、経時的な変化を量的に追跡することが可能となる。

#### 4-5 葉面積指数（Leaf Area Index : LAI）の算定

葉面積指数（Leaf Area Index : LAI）は地表の植物のすべての葉面積を積算した値を単位土地面積あたりに換算した値<sup>8</sup>である。植物の葉は光合成が行われる場であり、作物の生

<sup>7</sup>分析では作付面積の判定は光学衛星データから計算した NDVI の変化を基本とし、SAR データはこれの照合に利用した。図 10（左図）示した育成時期～収穫後の NDVI 変化量から水稻の収穫面積（作付面積に近似と判定）を求めた後、図 10（右図）の SAR データ分布図との照合を行った。なお、SAR 解析図は 2019 年雨期作の播種期間（6/17 ～7/30）のピーク期にあたる 7 月 6 日の後方散乱係数（ $\sigma^0$ ）図である。

<sup>8</sup> 単位土地面積あたりに存在する葉面積（片面）の総和（ $m^2/m^2$ ）。植物個体群の繁茂度の指標となる。Leaf area index の頭文字をとって LAI ともいわれる。個体群の乾物生産量は葉面積指数と純同化率（単位葉面積当たりの乾物生産量）の積で表わされ、個体群の物質生産を考えるうえでの重要な要素である。作物の生育に伴い最大値に達するが、時期は作物種や環境条件により異なり、イネでは出穂期直前に最大となるが、ダイズでは開花期以降も葉面積は拡大し子実肥大開始頃に最大となる。（農業技術辞典、農研機構）

産量との関係が指摘されている。作物の生育に伴い葉数が増加し、個葉の面積も拡大することにより葉面積指数は増加し最大値に達する。最大期の後に下位の葉から枯死が進み葉面積指数は徐々に減少する。

LAI などの生物物理指数は、作物の乾物量との相関関係があり、これを収量と関係する生育段階で求めることができれば、収量の把握につながる。この仮定に立ち、栽培暦から適時を特定し、同生育段階で LAI を計算した。

なお、Sentinel-2 データによる LAI の算出には、B3、B4、B5、B6、B7、B8a、11、B12、 $\cos(\text{viewing\_zenith})$ 、 $\cos(\text{sun\_zenith})$ 、 $\cos(\text{relative\_azimuth\_angle})$  の 11 バンドを使い、欧州宇宙機関 (ESA) が提供するアルゴリズム<sup>9</sup>を利用した。求めた LAI から分布図を作成、これを別途同定した LAI-収量の回帰モデルに適用することで収量を求めることとした。図-11 に Wegyi 灌漑地区の LAI 分布 (例) を示す。

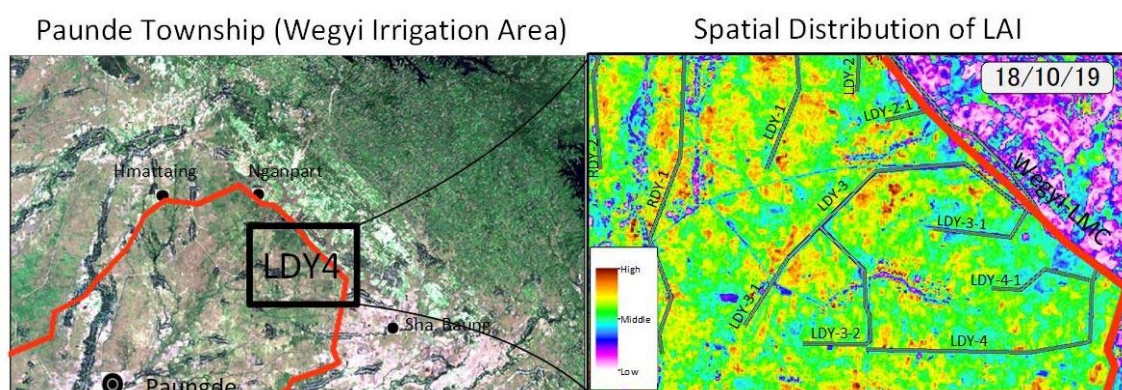


図-11 Wegyi 灌漑地区の LAI 分布 (例)

#### 4-6 葉面積指数 (Leaf Area Index : LAI) および NDVI の時系列変化

LAI と稲作収量の関係については、両者の相関は出穂期直前が良好との報告がある (Yoshihiro Hiraoka et al, Journal of Agricultural Meteorology 73 (1):16-21 2017, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet/73/1/73\\_D-14-00021/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet/73/1/73_D-14-00021/_pdf))。また稲の各生育段階におけるレッドエッジ周波数域の反射強度は、穂ばらみ期の直前が幼穂期や登熟期に比べて高く、その後の収量の想定に有効であるとの研究がある (Kawamura K et al. (2018), Remote Sens. 2018, 10(8), 1249; <https://doi.org/10.3390/rs10081249>)。

これらの研究事例から収量と最も関係する穂ばらみ期の LAI を利用することにした。対象地における穂ばらみ期を判定するため、光学センサ画像が入手できた 9 月末より LAI および NDVI の変動を追跡した。図-12 に LAI および NDVI の変動とこれより想定した稲の

<sup>9</sup> Sentinel-2 には植物の活性を追跡するため特別にレッドエッジに 3 つのバンド(B5、B6、B7)を設け、これら 3 バンドの値から LAI を精度よく計算できるとしている。計算は、LANDSAT、SOPT などを利用実績のあるアルゴリズムを使用し、ESA データベース (ANN : Artificial Neural Network) に蓄積された比較データを入力パラメーターとしている。比較データは ESA が主要作物で行った実証試験 (経験値) をもとに地域により選定される。

生育ステージを示す。

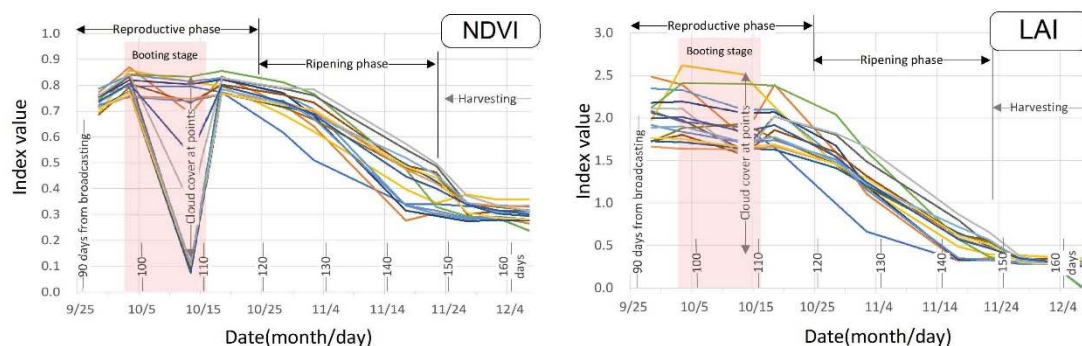


図-12 LAI および NDVI の変動と稲の生育ステージ

LAI の変化は作物により異なるが、水稻の場合は作物の生育に伴い増加し、出穂期に最大値に達した後、登熟期に漸減する (Takeshi HORIE and Tetsuo SAKURATAN, Journal of Agricultural Meteorology 40 (4):331-342 1985)。

対象地においても、図-12 において追跡できるように LAI、および NDVI とも 10 月初旬にピークを迎えた後、次第に値は低くなり 11 月末の収穫後の 12 月に入り変化は少なくなる。これらの LAI の変化より、ピーク時の 10 月初旬～中旬が穂ばらみ期と判断された。また農家インタビュー調査において、播種期は 2019 年の 6 月末から 7 月初旬であり、収穫期は 11 月下旬であることから、穂ばらみ期は播種期より 97 日～110 日後の 10 月 1 日～15 日となる。

対象地における水稻の生育段階と LAI の変化から、この期間及び前後 9 月末～10 月末について LAI と実測収量との関係を検討した。

なお、NDVI と LAI との違いは、NDVI が雲など大気の状態（雲量）に大きく左右される結果となったのに対し LAI では外部条件による変動が少なく、また、収量の算定の鍵となる穂ばらみ期（ピーク時）において NDVI は地点による差は僅かであるのに対し LAI では地点間で差が認められた。

#### 4-7 LAI と水稻収量との比較

穂ばらみ期が 10 月初旬～中旬と推定されたことから、この時期の前後の衛星データより収量調査点の LAI および NDVI を抽出し収量との相関を計算した。また解析に使用する収量データについて、現地の栽培状況よりデータの検定を行った。以下(1)～(3)のように栽培状況と異なり信頼性に疑問のある調査結果が認められた。

- (1) 同じ圃場での調査であるにもかかわらず、坪刈り調査と全量調査による値が大きく異なる地点、
- (2) コンバインハーベスターが収穫適期に到達できず刈り取り(調査)を登熟前に行い収量が著しく少ない地点、

(3) 試験圃場内の育成状況に大きな差が認められ、調査結果に影響が考えられた地点、  
 が収量調査で認められたことから、これらの値を棄却し、回帰分析のサンプルから除外した。  
 観測時条件より、18箇所の収量調査点のうち、13地点が信頼できる測定値と判定された。  
 なお、穂ばらみ期およびこの前後で入手できた Sentinel-2 データは9月28日、10月3日、  
 10月13日、および10月28日の4時期であった。

4時期の回帰分析は説明変数(X軸:Yield)、および従属変数(Y軸:LAI または NDVI)で行い、  
 適用した近似曲線として指数、線形、対数などを試行の後、最も相関の高い2次回帰式  
 (LAI または NDVI =  $a \times \text{Yield}^2 + b \times \text{Yield} + c$ ) を採用した。表-3に4時期の LAI  
 と収量と回帰分析の決定係数を示す。

表-3 回帰分析 (LAI/NDVI と調査収量) による決定係数

Index	Date taken satellite data (2019)				
	9/28	10/03	10/13	10/28	10/3-10/13
Coefficient of determination(R2)					
LAI to Yield	0.46	0.63	0.76	0.42	0.87
NDVI to Yield	0.16	0.14	0.34	0.23	-

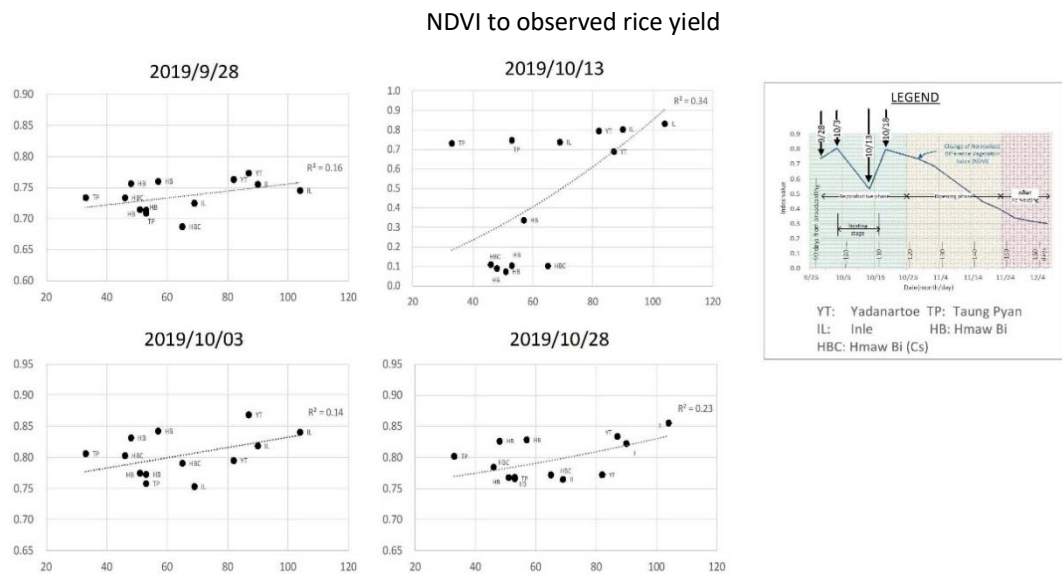
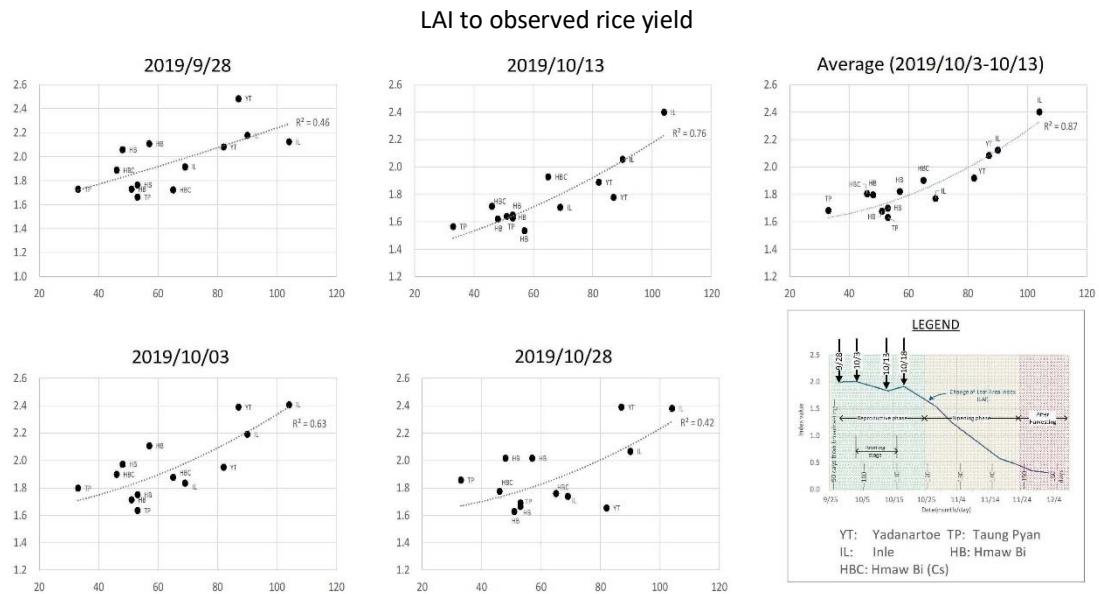


図-13 LAI および NDVI と収量調査結果の回帰分析結果

4 時期の決定係数 ( $R^2$ ) は、表-3 および図-13 に示したとおり LAI で  $R^2=0.42\sim0.72$ 、NDVI で  $R^2=0.16$  から  $0.34$  となった。NDVI と収量との相関は、両者間にはやや認められるものの、対象期間の最高値 (10 月 13 日) においても  $0.34$  に留まり、予測モデルとしては適用することができないと判断された。

一方で LAI については、穂ばらみ期終盤 (穂ばらみ期から出穂期に移行する時期) の 10 月 13 日に  $R^2=0.76$  と比較的高い相関が得られたことから回帰 (予測) モデルに利用可能と判断できた。ただし、10 月 13 日は LAI の最高点ではあるが 15% 程度の雲量が認められる

ことから、雲の影響を軽減するため、決定係数第2位の10月3日を含めてほぼ穂ばらみ期の全期間（10月3日～10月13日）の平均値を求め、再度回帰分析を行った。この結果、雲による影響は軽減され決定係数（R<sup>2</sup>）は0.87まで向上した。

#### 4-8 回帰モデル（LAIから水稻収量の変換）

2019年の雨期作の穂ばらみ期において求めた回帰モデルにより水稻収量を予測した。予測値は、決定係数（R<sup>2</sup>）が0.8を上回ることから一定の信頼性が確保できると判断されたが、詳細には、品種によるバラツキも認められた<sup>10</sup>。YadanartoeやInleなどの高収量品種で相関は高く、低収量のTaung PyanやHmaw Biなどの在来品種で低い傾向が認められた（図-14参照）。

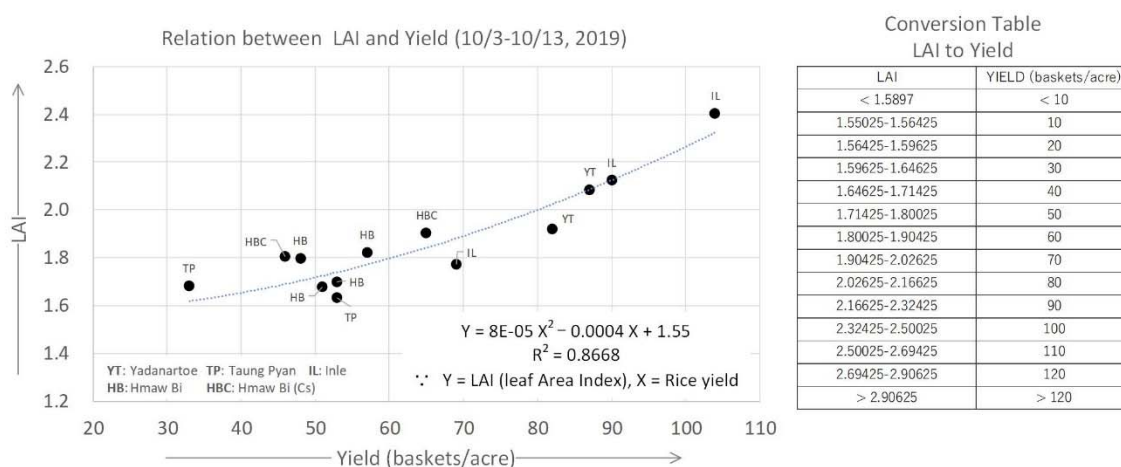


図-14 LAIから水稻収量の変換

水稻収量分布図の作成は、まず図-14に示した回帰式（2次多項式）を使い、LAIと収量（13段階）との変換表を作成し、これに従い、ピクセル・ベースでLAIから収量（段階別）に変換し、これらを水稻収量分布図に統合した。

#### 4-9 水稻収量の予測

対象地区の水稻収量分布図（以降、稲収量図と呼称）は2019年雨期作について作成した。農家インタビュー調査の結果を基に、稲収量を0～110 baskets/acreの範囲で11段階に区

<sup>10</sup> バラツキの理由は現地調査時において確認できなかったが、1) 調査手法・測定誤差、2) 品種による成長時期の違いなどが考えられる。

1) 調査手法・測定誤差：調査は坪刈りと全量調査の異なった手法で行われ、夫々固有の測定誤差が含まれる。坪刈り調査においては、刈り取り地点の選定による誤差、全量調査では、コンバインハーベスター利用時の収穫ロス、その他、測定者（グループ）が調査地点により異なることなども測定誤差に含まれる。

2) 品種による成長時期の違い：調査時点の2019年11月において、初旬～中旬に高収量品種（Inle、Yadanartoe）が収穫期を迎え、在来種（Hmaw Bi、Taung Pyan）は中旬～下旬に刈り取りが行われていた。品種によって登熟時期が違い、また穂ばらみ期も異なることも考えられたが、衛星データの撮影条件（周回間隔、天候）からLAIの計算時期を一律に10月初旬とせざるを得なかったこと、また在来種の調査地点において、育成の遅れから登熟期にコンバインハーベスターの雇上りができなかったケースなども誤差に含まれる。



分し、これに 110 baskets/acre を越える高収量段階の 1 段階を加えた計 12 段階で表示した。

結果は Wegyi 灌漑地区の収量（単収）は図-15 のとおりであり、50~70 baskets/acre の範囲が広く分布する結果となったが、100 baskets/acre を超える高収量の範囲も含まれ、支線水路のやや下流側に帯状に分布する<sup>11</sup>。これらの高収量の分布の原因については詳細な調査は行われていないが、プロジェクトの活動項目である高収量品種の栽培、移植方法の改良、栽培手法の改善などの成果を含むことが想定される。

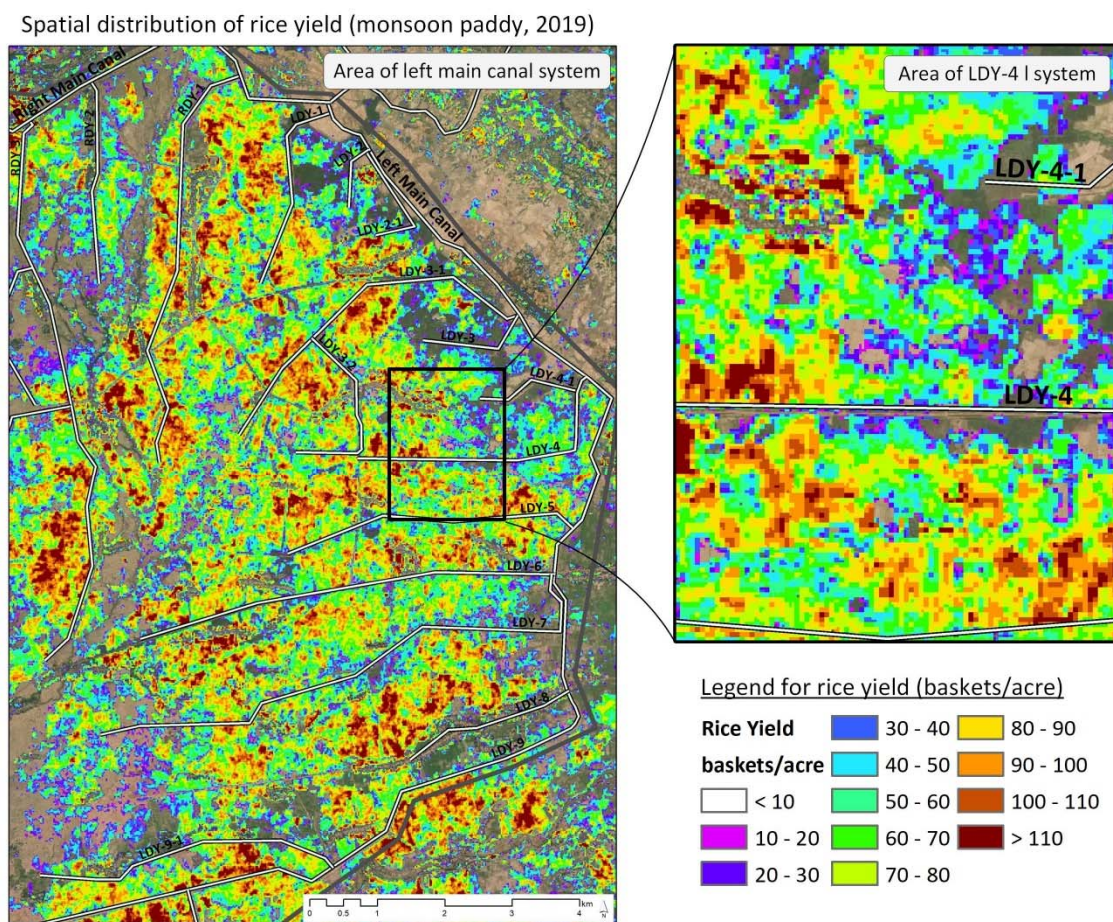


図-15 Wegyi 灌漑地区の水稻収量分布図（2019年 雨期作）

## 5 手法適用の拡大

作付面積および収量の想定に利用する衛星データについて、ミャンマー国を対象とした研

<sup>11</sup> 高収量の分布域、およびこれらのバラツキは、①品種による違いによることが大きいですが、②施用した肥料が土壌に吸着する前に水に溶けて田越の水と供に次の田んぼに移動し下流の圃場が年々肥沃となった結果、また③水口の水温が低いことで養分吸収も抑えられたことなどが PROFIA 調査団内で議論された。なお、分析は雨期作の終了後に行われていることから、高収量の分布域のバラツキについての現地確認は実施できなかった。次期の雨期作での調査課題として提案される。

究事例によると、現地調査結果との照合係数は、①SAR センサデータのみ解析 (ALOS-2 または Sentinel-1) で 0.7 (実質的に一致の範囲)、②光学センサのみの解析(Landsat-8)で 0.94、③光学センサ(Landsat-8) と SAR センサ(Alos-2 および Sentinel-1)を統合した解析で照合係数は 0.95 (完全に一致に近い) であったと報告されている<sup>12</sup>。

今回の分析においては、これらの組み合わせの内、③光学センサデータ(Sentinel-2)を主体に SAR センサデータ(Sentinel-2)でこれを補う手法を適用したが、光学センサ単独、SAR センサ単独においても、作付面積および収量の想定は可能である。但し、センサにより観測する電磁波の種類が異なることから固有の特徴 (長所・短所)を有する。光学センサを利用した場合は、波長が短いため高空間分解能化が容易であるが、雲の影響を受けやすい。逆に、SAR センサは波長の長いマイクロ波を利用することから、雲の影響を受け難いが、信号を送信し受信信号を合成して分解能を確保する必要がある。

次節に今回の分析に適用した光学センサを使った手法の他地区への適応と、その他の衛星データの特徴について記述する。

## 5-1 光学センサ (スペクトル情報の抽出手法) の適用

### (1) 適用手法の特徴

光学センサデータで、収量予想に利用できる作物の生物物理学的な性質はレッドエッジ領域のスペクトル強度であり、これらから派生する SR (simple ratio)、DVI、NDVI および LAI などの指数が収量予測に利用されることが多い。このうち NDVI は古くから植物の活性と関係のある指標として収量予測に利用されてきたが、植生の濃い (値が大きい、つまり活性の高い) 条件化では飽和 (NDVI 飽和) し値は頭打ちとなることが知られている。今回の調査においても穂ばらみ期の NDVI ピーク時がこの状態にあり感度の鈍化が認められた。これに対し、LAI は NDVI 飽和の状況において敏感に反応する。元来、LAI は、リモートセンシング技術の普及以前から、植物の乾物重量とも比例関係があることから、作物のバイオマス量の想定に利用されてきたが、測定に手間がかかることから圃場単位での利用にとどまり、本業務のような広い地域に適用するには至らなかった。しかし、近年リモートセンシングデータ (衛星データ、UAV データ等) の利用が進むにつれ、これら光学衛星データおよび SAR データなど様々な方法で LAI を近似する試みが行われ、広域での収量の算定に利用されてきている。

本調査では、LAI ほか PAR (光合成有効放射) など作物収量と比例する指標を提供している Sentinel-2 のツールを使い LAI を計算した。基本となるアルゴリズムは LANDSAT、SPOT など使われてきた実績のある手法であり、入力データは Sentinel-2 の MSI (Multi-spectral Instrument) により植物の活性を追跡するため専用に設けられたレッドエッジ領

---

<sup>12</sup> Monitoring Rice Agriculture across Using Time Series Sentinel-1 and Landsat-8 and PALSAR-2, remote Sens. 2017,9,119 ([www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing))

域の3つのバンド(B5、B6、B7)を利用した。また、LAI計算の時期を農家インタビュー調査結果から想定し、かつ収量との比較を経て回帰モデル(決定係数>0.8)を構築し、これによりLAIから収量を計算した。

## (2) 適用手法の拡大

同手法は、Wegyi灌漑地区において一定の精度が得られると思われるが、入手データ品質、収量調査の実施数、状況などにおける適用の制限もある。今回、画像の取得が可能となった時期は雨期明け直後の9月末であり、解析の対象時期(穂ばらみ期)の直前であった。年により作付時期が早まることもあり、また逆に雨期が長引くこともある。また同時期がサイクロンまたは海洋性低気圧の頻発期間にあたることから、他地域の適用において天候によるリスクを考慮する必要がある。乾期作についても同様であり、穂ばらみ期が5月であり年によっては雨期が早く始まり雲量が多くデータ品質が劣ることも考慮する必要がある。

これらを考慮すると他地域への拡大においては対象地域の気候と稲の育成時期を考慮する必要がある。特に、雨期の長い沿岸地方では、穂ばらみ期～出穂期は雨期中に当たる可能性があり、解析可能なデータの獲得機会は少ないといえる。また、品種及び育成時期により穂ばらみ期～出穂期がずれ、これによりLAIに対する応答も異なってくることが考えられることから、Wegyi灌漑地区以外の地区、または異なった品種および作付時期が違う地区へ適用する場合には、栽培暦の収集、必要に応じて収量調査を行い、回帰モデルのキャリブレーションを行う必要がある。

## 5-2 衛星データの比較(Sentinel-1、Sentinel-2、ALOS-2、LANDSAT8)

プロジェクト対象地区の規模が数100~10,000ha規模であり、また分析において1~数haの圃場ベースでの状況把握が目的であることから、衛星データは10m前後の分解能を有することが望ましい。これらの条件から、光学センサの代表例としてSentinel-2、ALOS-3(打ち上げ予定)、およびSARセンサとしてALOS-2、およびSsentinel-1があげられる。次節に本業務のような目的に利用可能な光学センサ、およびSARセンサを記述する。また、表-5にSentinel-1、Sentinel-2及びALOS-2の仕様比較表を示す。

### (1) 光学センサ (Sentinel-2, ALOS-3 (打ち上げ予定) )

無償で入手できる光学センサとしては、MODISシリーズ、LandsatシリーズやSentinel-2が代表的である。MODISシリーズ、Landsatシリーズは長期間運用されていることからアーカイブも豊富で、雨期においても数シーンは状態の良い雲量の少ない画像が入手できる。しかしながら、空間分解能はMODISで250m/pixel、最新のLandsat-8でも30m/pixelに留まり、小さな圃場が含まれるプロジェクトベースの解析においては、やや精度は足りない。一方で、Sentinel-2の分解能は10mと細かくLandsat-8の3倍の精度が期待できる。また、国内の光学衛星としてALOS-3が2020年度中に打ち上げられる予定であり、Sentinel-2と同等以上の解像度で観測が行われる予定である。以下にSentinel-2、および

ALOS-3 の特徴について述べる。

a) Sentinel-2

Sentinel-2 シリーズは、欧州宇宙機関（ESA）が森林監視や土地被覆変化の検出、自然災害対策などの事業を支援するような地表観測を行う衛星として計画されたもので、2015年6月に1号機の Sentinel-2a、2017年3月に2号機の Sentinel-2b が打ち上げられ、2017年より現時点まで2機体制で運用されている。雲量など条件が整えば回帰5日での良好な画像の入手が可能である。1次処理画像は欧州宇宙機関（ESA）の公開ポリシーから無償でのダウンロードが可能であり、通年にわたり対象地区での画像は入手可能である。今回の対象地区では、雨期最盛期の7月-9月で雲量が多く良好な画像は得られないものの、2019年の検索では、雨期作の種付け時期と刈り入れ時期の画像は雲が一部映り込むが作付面積の想定は可能であった。回帰日数が短いことから、必要な時期に良好なデータを得られる可能性は高い。

b) ALOS-3

ALOS（陸域観測技術衛星だいち；2006~2011年）の後継機とし、ALOS-3（先進光学衛星）の打ち上げが2020年度内に予定されている。同ミッションは、高分解能(地上分解能 0.8m/pixel)と広域観測（地上分解能 3.2m/pixel@ストリップマップ観測モード）を両立し、効率良く長時間にわたり観測することを目指している。このうち、本分析のような農業分野の利用において利用可能な観測モードは広域観測である。観測に使用される搭載センサは6バンド（マルチスペクトルセンサ：可視光4バンド、レッドエッジ1バンド、および近赤外線1バンド）であり、広域観測モードの場合200km×100km以上、かつ高頻度（約3日のサブサイクル）で取得が可能とされている。これらスペクトル情報から、高精度の作物育成過程の追跡も可能と思われるが、運用詳細については情報がない。ミャンマー国での高頻度での運用、製品の配布（商用目的では有償の予定）が期待される。

(2) SAR センサ（ALOS-2、Ssentinel-1）

利用可能な SAR センサとしては、過去の事例や適正精度から ALOS-2、と Ssentinel-1 が代表的である。ALOS-2 は商用目的では有償であるが、Sentinel-1 の観測データは、研究目的などの非商用および商用を問わず、ESA コペルニクス計画のポータルサイトからアーカイブ検索が可能であり、データの入手は無償で行うことができる。ALOS-2 と Ssentinel-1 の主要諸元比較を表-4 に示す。

表-4 ALOS-2 と Sentinel-1 の諸元比較

名称	ALOS-2	Sentinel-1
運用機関	JAXA	ESA
軌道投入	2014 年	2014 年
使用波長帯	L-band	C-band
観測幅	50km*1	250km*2
地上分解能	3m×3m	5m×20m
衛星高度	628 km	693 km
ビーム入射角	8°-70°	29.1°- 46°
軌道	極軌道	極軌道
回帰周期	14 日	12 日 (2 機体制 6 日)
周回数	207 回	175 回

\*1：高分解モードの場合、\*2：IW (Interferometric Wide Swath) モードの場合

両者はほぼ同時期に打ち上げられ、同様の高度、軌道を周回するが、運用の目的、センサの構成から、①波長帯、②観測幅・分解能、③データ取得の機会などに違いが認められる。

①波長帯：Sentinel-1 が用いる電波 (マイクロ波) の波長帯 C-band (波長  $\lambda \approx 6\text{cm}$ ) は、ALOS-2 が用いる L-band ( $\lambda \approx 24\text{cm}$ ) よりも波長が短く、高分解能な観測が期待できる反面、地表の森林などの植栽に対しては乱反射を起こし、正確に地表変位を捉えることが難しい。一方、ALOS-2 が用いる L-band の分解能は C-band より劣り、稲などの丈の低い作物よりトウモロコシなど丈の高い作物の判定に向いている。水面・地表の判定などでは C-band より優れているといわれている。

②観測幅・分解能：Sentinel-1 の観測幅 (約 250km : IW モード) は、ALOS-2 の観測幅 (約 50km : 高分解モード) と比べ広域な観測を一括して行える反面、地上分解能は ALOS-2 に比べて劣る。分解能は逆に Sentinel-1 の IW モードで 5m×20m、ALOS-2 の高分解モードで 6m または 10m である。

③データ取得の機会：ミャンマー国においては、Sentinel-1 データは、IW モードのみが取得可能であり、各シーンとも 6 日回帰で撮影されている。一方 ALOS-2 データは、一機体制であり、かつ多様な観測モード (目的) で運用されていることからデータ取得の機会は Sentinel-1 と比べると少ない。ミャンマー国における解析用データとして高分解能 (10m 分解能) の利用を予定しているが、基本観測シナリオ (世界)<sup>13</sup>によると、過去 2 年間 (2017 年雨期～2019 年雨期) で、利用可能なシーンは年間 10 シーン程度と思われる。

<sup>13</sup> ALOS-2 基本観測シナリオ (第 3 版、2019 年 3 月改定)

表-4 Sentinel-1, Sentinel-2 及び ALOS-2 の仕様比較表

衛星	SARセンサ									光学センサ	
	Sentinel-1				ALOS-2					Sentinel-2	
	Copernicus: Sentinel-1 - The SAR Imaging Constellation for Land and Ocean Services				だいち2号・陸域観測技術衛星2号・Advanced Land Observing Satellite 2					Copernicus: Sentinel-2 - The Optical Imaging Mission for Land Services	
打ち上げ (状態)	1 A:2014-04-03, 1B:2016-04-25 (運用中)				2014-05-24(運用中)					2A:2015-06-23, 2B:2017/03/07 (運用中)	
運用機関	ESA/EC				JAXA					ESA/EC	
観測項目・目的	地表面形状、陸域画像取得、海面画像取得、海上風 (水平方向の風向と風速)、海面の流速、波高、海水の分布・タイプ				陸域観測技術衛星「だいち」で実証された技術や利用成果を進展させ、国内外の大規模自然災害に対して、高分解能かつ広域の観測データを迅速に取得・処理・配信するシステムを構築し、関係機関の防災活動、災害対応において利用実証を行うこと。 災害状況の把握に加え、国土管理や資源管理など衛星の運用の過半を占める平常時のニーズにも対応した多様な分野における衛星データの利用拡大を図ること。					陸域観測を主目的とした光学ミッション	
軌道	太陽同期準回帰ドーナズク軌道				太陽同期準回帰軌道					太陽同期軌道	
高度	693 km				628km					786 km	
周期	98.74分				97分					100.7分	
軌道傾斜角	98.19度				97.9度					98.5度	
赤道通過地方太陽時	18:00 (赤道を南から北へ通過)				12:00:00 (正午)					10:30	
回帰	12日				14日					10日	
搭載機器・機器タイプ	C-band SAR instrument(C-SAR)				Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar					Multispectral Imager (MSI)	
観測モード	Stripmap	IWS (Interferometric Wide Swath)	EWS (Extra Wide Swath)	Wave	Spotlight	StripMap			ScanSAR	観測モード	13バンド(443-2190 nm) 10 m (R/G/B/NIRバンド) 20 m(6 Red edge及びSWIRバンド) 60 m (3 大気補正バンド)
						HR(3m)	HR(6m)	HR(10m)			
周波数	8180MHz				1257.5MHz	1257.5 or 123.5MHz			1278.5 MHz		
入射角	29.1 - 46°				8-70°						
帯域幅	280MHz				84 MHz	84 MHz	42 MHz	28 MHz	14 MHz		
空間分解能	5 m × 5 m	5 m × 20 m	25 m × 100 m	5 m × 20 m	3x1m	3m	6m	10m	100m		
観測幅	80 km	250 km	400 km	20 km × 20 km	25x25km	50km	50km	70km	350km	観測幅	290km
観測可能偏波	HH-HV, VV-VH			HH or VV	SP	SP/DP/FP/CP			SP/DP	分解能	10m (B2, B3, B4, B8)
	SP: 単偏波 (HH or VV or HV)、DP: 2偏波 (HH+HV or VV+VH 切替) FP: フルポラリ (HH+HV+VH+VV)、CP: コンパクトポラリ (試験モード)								20m (B5, B6, B7, B8a, B11, B12)		
画像製品仕様	IWS (Interferometric Wide Swath)				StripMap (Fine) 解像度10m、スワフ幅70km					60m (B1, B9, B10)	
レベル	L1 (解像度20m)				L15 (解像度10m) レンジ圧縮及びアジマス圧縮を行い、さらに地図投影した振幅データでマルチルックされたグラントレンジ上のデータである。					レベル	L1C (解像度10m)
					L21 (解像度10m) レベル1.1データに数値標高データを用いて幾何補正 (オルソ補正) を行ったデータである。						L2A (解像度10m)

## 6 評価モデルの構築

本業務の衛星データ分析は、2-1 項で述べたように、プロジェクト活動の保証種子、移植方法、品種などの別に圃場を特定することが難しいことから、活動の指標を①作付面積の拡大、②高収量圃場の拡大、および③全体収量の増大に置き換えて、プロジェクトの達成度を計測した。

本業務の分析の成果から、上記 3 項目の定量的な計測に図-16 のような評価モデル（標準分析プロセス）が提案できる。

上記①項の稲作付面積の拡大に関しては、実施例の多い手法に従い、耕作地における人為的な変化を周囲の変化の少ない自然植生と植生指標や後方反射輝度の変化から区別する方法でモニタリングし、一方、②項と③項の水稲収量について、本分析業務で行った生物物理指数を利用した手法を適用する。手法には稲の生育情報と実収量が必要となるが、Wegyi 灌漑地区内においては本業務の回帰モデルが転用できる。

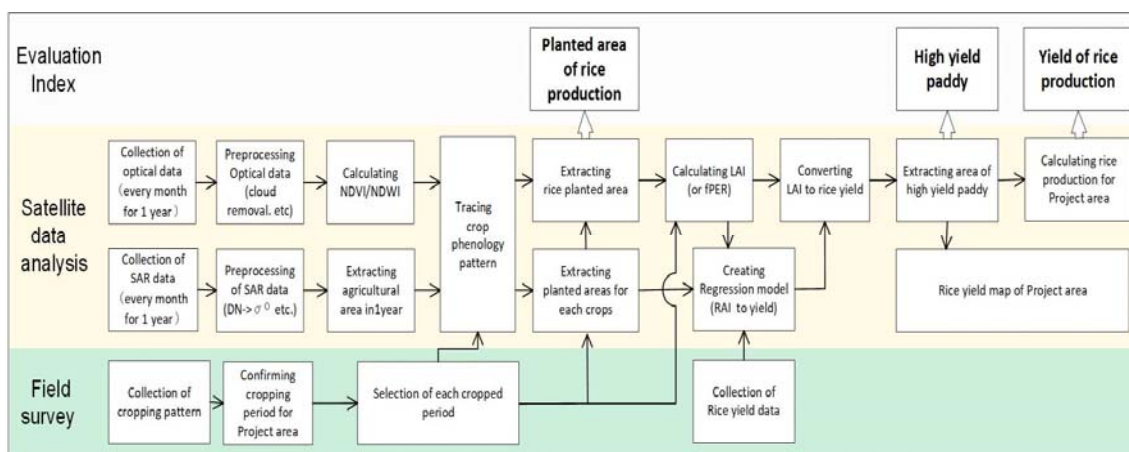


図-16 水稲作付面積および単位収量の標準分析プロセス

## 7 モニタリングおよび事後評価への衛星データ活用方法

本業務のような農業分野における衛星データは表-4 に示したように様々な目的で利用されている。

表-4 衛星データ分析の目的および項目

利用目的	衛星データ利用項目
農地利用状況の効率化	作付面積、作付回数、作目別作付面積(作目歴照合)、放棄地、更新
作物生産量の増加	単収・収量、圃場内収量変異
生育条件の向上	水ストレス、月別育成量、土壌水分量(灌漑、湛水範囲・期間)、施肥、育成量、発達段階、土壌肥沃度、収穫物品質
その他	洪水被害、干ばつ被害、低・高温被害

出典：農業と環境調査のためのリモートセンシング GIS/GPS 活用ガイド（井上吉雄他）

農地利用状況の効率化、作物生産の増加、および生育条件の向上などの把握のため、植物活性、地表面温度、土壌水分量、その他、農地環境などの様々な情報を衛星データ（電磁波データ）により抽出することが可能である。

具体的には、本業務のように作付面積、単収の予測を通じた事業評価や効果的な事業計画の策定に利用できるほか、農業の現場では作物の生育状況をリアルタイムで把握することで質の高い生育管理に利用できる。これら衛星データの大きな利点として、2つ「広域性」と「長期観測」があり、これらの特質を、事業実施後のモニタリングや事後評価への活用に展開できる機会が多い。農業分野など、広い面積の事業地区に対して衛星データを活用できる主要な項目は以下のとおりである。

- 土地利用の変化：可耕地面積の変化、水域・陸域・湿地の変化、荒れ地・市街地の拡大減少)
- 農地の変化：農地・耕作地面積、水田・畑地面積の変化、作目別作付面積の推移、土壌塩化域の分布、湛水域の分布
- 作物生産の推移：稲作単収の推移、高収量圃場の分布、主要作物収量の推移
- 作物生育条件の推移：土壌水分の変化、稲タンパク含有量の推移、作物水分量の推移、葉面積指数の変化、光合成有効放射の推移、移植方法の違い

これらは、主に光学センサによるモニタリング項目であるが、本業務対象地区のように雨期があり雲被覆による地上情報が得られない時期が長い地域では、多くの項目で SAR センサによるモニタリングで代替可能である。光学センサと SAR センサ両者を併用した手法、および (モニタリング項目にもよるが)、SAR センサ単独利用によっても持続的な安定したモニタリングが可能といえる。これらを生かした事後評価への活用が期待される。



# 別添資料

## A-1 収量調査結果要約表 (坪刈り) (1/2)

Sample Yield Harvest																				
Sr.	Village name	Variety	TO	Plot	Sowing Method	Before Drying					After Drying					Coordination Point		Remarks		
						Sampling Date	Initial MC (%)	Yield/m <sup>2</sup> (Kg/m <sup>2</sup> )	Yield/ac (Kg)	Yield/ac (lb)	Yield/ac (basket)	Sample Measuring Date	Actual MC%	Yield/m <sup>2</sup> (Kg/m <sup>2</sup> )	Yield/ac (kg)	Yield/ac (lb)	Yield/ac (basket)		X-Axis	Y-Axis
1	Inn Gyi Village	Yadanartoe	-	I	Broadcasting	3.11.2019	24.9	0.50	2023	4451.5	96.77	6.11.2019	12.0	0.43	1740	3828.3	83.2	95.572	18.542	3) Varity (Yadanartoe, Inle, Taung Pyan)
1	Inn Gyi Village	Yadanartoe	-	II	Broadcasting	3.11.2019	25.4	0.48	1942	4273.5	92.90	6.11.2019	12.9	0.38	1538	3383.2	73.5	95.572	18.542	
1	Inn Gyi Village	Yadanartoe	-	III	Broadcasting	3.11.2019	25.5	0.53	2145	4718.6	102.58	6.11.2019	12.8	0.43	1740	3828.3	83.2	95.572	18.542	
1	Inn Gyi Village	Yadanartoe	-	IV	Broadcasting	3.11.2019	22.7	0.51	2064	4540.6	98.71	6.11.2019	12.7	0.45	1821	4006.4	87.1	95.572	18.542	
1	Inn Gyi Village	Yadanartoe	-	V	Broadcasting	3.11.2019	24.5	0.52	2104	4629.6	100.64	6.11.2019	12.7	0.44	1781	3917.4	85.2	95.572	18.542	
2	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	I	Broadcasting	5.11.2019	18.9	0.54	2185	4807.7	104.51	8.11.2019	14.2	0.48	1942	4273.5	92.9	95.587	18.535	3) Varity (Yadanartoe, Inle, Taung Pyan)
2	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	II	Broadcasting	5.11.2019	19.6	0.53	2145	4718.6	102.58	8.11.2019	13.8	0.46	1862	4095.4	89.0	95.588	18.535	
2	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	III	Broadcasting	5.11.2019	19.1	0.52	2104	4629.6	100.64	8.11.2019	13.5	0.46	1862	4095.4	89.0	95.588	18.535	
2	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	IV	Broadcasting	5.11.2019	16.2	0.47	1902	4184.4	90.97	8.11.2019	12.7	0.43	1740	3828.3	83.2	95.587	18.535	
2	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	V	Broadcasting	5.11.2019	18.4	0.48	1942	4273.5	92.90	8.11.2019	13.6	0.42	1700	3739.3	81.3			
3	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-16	I	Transplanting	6.11.2019	22.9	0.55	2226	4896.7	106.45	9.11.2019	12.6	0.47	1902	4184.4	91.0	95.579	18.544	3) Varity (Yadanartoe, Inle, Taung Pyan)
3	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-16	II	Transplanting	6.11.2019	22.8	0.56	2266	4985.7	108.39	9.11.2019	13.0	0.49	1983	4362.5	94.8	95.580	18.544	
3	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-16	III	Transplanting	6.11.2019	23.5	0.58	2347	5163.8	112.26	9.11.2019	12.7	0.50	2023	4451.5	96.8	95.580	18.544	
3	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-16	IV	Transplanting	6.11.2019	21.4	0.54	2185	4807.7	104.51	9.11.2019	11.7	0.48	1942	4273.5	92.9	95.580	18.544	
3	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-16	V	Transplanting	6.11.2019	21.1	0.56	2266	4985.7	108.39	9.11.2019	12.4	0.50	2023	4451.5	96.8	95.579	18.544	
4	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	I	Drum Seeder	7.11.2019	21.6	0.51	2064	4540.6	98.71	10.11.2019	13.2	0.45	1821	4006.4	87.1	95.584	18.535	3) Varity (Yadanartoe, Inle, Taung Pyan)
4	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	II	Drum Seeder	7.11.2019	19.8	0.49	1983	4362.5	94.84	10.11.2019	13.4	0.44	1781	3917.4	85.2	95.585	18.534	
4	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	III	Drum Seeder	7.11.2019	21.3	0.48	1942	4273.5	92.90	10.11.2019	13.4	0.42	1700	3739.3	81.3	95.585	18.534	
4	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	IV	Drum Seeder	7.11.2019	20.5	0.51	2064	4540.6	98.71	10.11.2019	13.5	0.46	1862	4095.4	89.0	95.584	18.534	
4	Inn Gyi Village	Yadanartoe	TO-13	V	Drum Seeder	7.11.2019	19.9	0.52	2104	4629.6	100.64	10.11.2019	13.4	0.47	1902	4184.4	91.0	95.584	18.534	
5	Taung Kone Village	Taung Pyan	-	I	Broadcasting	12.11.2019	29.3	0.48	1942	4273.5	92.90	17.11.2019	12.3	0.38	1538	3383.2	73.5	95.579	18.523	3) Varity (Yadanartoe, Inle, Taung Pyan)
5	Taung Kone Village	Taung Pyan	-	II	Broadcasting	12.11.2019	27.4	0.35	1416	3116.1	67.74	17.11.2019	11.6	0.27	1093	2403.8	52.3	95.579	18.523	
5	Taung Kone Village	Taung Pyan	-	III	Broadcasting	12.11.2019	26.3	0.34	1376	3027.0	65.81	17.11.2019	12.3	0.28	1133	2492.9	54.2	95.579	18.522	
5	Taung Kone Village	Taung Pyan	-	IV	Broadcasting	12.11.2019	26.4	0.31	1255	2760.0	60.00	17.11.2019	11.4	0.25	1012	2225.8	48.4	95.579	18.522	
5	Taung Kone Village	Taung Pyan	-	V	Broadcasting	12.11.2019	28.7	0.27	1093	2403.8	52.26	17.11.2019	10.2	0.22	890	1958.7	42.6	0.000	0.000	
6	Taung Kone Village	Inle	-	I	Broadcasting	12.11.2019	26.9	0.56	2266	4985.7	108.39	17.11.2019	11.2	0.46	1862	4095.4	89.0	95.576	18.518	3) Varity (Yadanartoe, Inle, Taung Pyan)
6	Taung Kone Village	Inle	-	II	Broadcasting	12.11.2019	26.9	0.67	2711	5965.1	129.68	17.11.2019	10.1	0.54	2185	4807.7	104.5	95.576	18.519	
6	Taung Kone Village	Inle	-	III	Broadcasting	12.11.2019	27.8	0.67	2711	5965.1	129.68	17.11.2019	11.0	0.55	2226	4896.7	106.4	95.577	18.519	
6	Taung Kone Village	Inle	-	IV	Broadcasting	12.11.2019	27.5	0.67	2711	5965.1	129.68	17.11.2019	10.3	0.55	2226	4896.7	106.4	95.577	18.519	
6	Taung Kone Village	Inle	-	V	Broadcasting	12.11.2019	27.3	0.69	2792	6143.1	133.55	17.11.2019	12.5	0.58	2347	5163.8	112.3	95.577	18.518	

A-1 収量調査結果要約表（坪刈り） (2/2)

Sample Yield Harvest																			
Sr	Village name	Variety	TO	Plot	Sowing Method	Sampling Date	Before Drying					After Drying					Coordination Point		Remarks
							Initial MC (%)	Yield/m <sup>2</sup> (Kg/m <sup>2</sup> )	Yield/ac (Kg)	Yield/ac (lb)	Yield/ac (basket)	Sample Measuring Date	Actual MC%	Yield/m <sup>2</sup> (Kg/m <sup>2</sup> )	Yield/ac (kg)	Yield/ac (lb)	Yield/ac (basket)	X-Axis	
6							27.3				126.19		11.0			103.7			
7	Daung Yike Chaung Village	Inle	TO-15	I	Broadcasting	12.11.2019	25.2	0.76	3076	6766.3	147.09	17.11.2019	11.8	0.64	2590	5698.0	123.9	95.579	18.534
7	Daung Yike Chaung Village	Inle	TO-15	II	Broadcasting	12.11.2019	25.2	0.61	2469	5430.9	118.06	17.11.2019	12.2	0.51	2064	4540.6	98.7	95.580	18.534
7	Daung Yike Chaung Village	Inle	TO-15	III	Broadcasting	12.11.2019	24.5	0.41	1659	3650.3	79.35	17.11.2019	11.0	0.35	1416	3116.1	67.7	95.580	18.533
7	Daung Yike Chaung Village	Inle	TO-15	IV	Broadcasting	12.11.2019	24.2	0.54	2185	4807.7	104.51	17.11.2019	12.1	0.46	1862	4095.4	89.0	95.579	18.533
7	Daung Yike Chaung Village	Inle	TO-15	V	Broadcasting	12.11.2019	25.1	0.43	1740	3828.3	83.22	17.11.2019	12.1	0.37	1497	3294.1	71.6	0.000	0.000
7							24.8				106.45		11.8			96.2			
8	Inn Gyi village	Taung Pyan	TO-12	I	Broadcasting	12.11.2019	27.9	0.19	769	1691.6	36.77	17.11.2019	10.6	0.15	607	1335.5	29.0	95.594	18.535
8	Inn Gyi village	Taung Pyan	TO-12	II	Broadcasting	12.11.2019	28.5	0.17	688	1513.5	32.90	17.11.2019	11.4	0.14	567	1246.4	27.1	95.594	18.535
8	Inn Gyi village	Taung Pyan	TO-12	III	Broadcasting	12.11.2019	26.5	0.20	809	1780.6	38.71	17.11.2019	11.7	0.16	647	1424.5	31.0	95.594	18.535
8	Inn Gyi village	Taung Pyan	TO-12	IV	Broadcasting	12.11.2019	25.6	0.23	931	2047.7	44.52	17.11.2019	11.7	0.19	769	1691.6	36.8	95.594	18.535
8	Inn Gyi village	Taung Pyan	TO-12	V	Broadcasting	12.11.2019	27.3	0.27	1093	2403.8	52.26	17.11.2019	10.1	0.22	890	1958.7	42.6	95.594	18.535
8							27.2				41.03		11.1			33.3			
9	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-3	I	Broadcasting	12.11.2019	27.6	0.32	1295	2849.0	61.93	17.11.2019	12.0	0.27	1093	2403.8	52.3	95.609	18.540
9	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-3	II	Broadcasting	12.11.2019	26.5	0.27	1093	2403.8	52.26	17.11.2019	12.1	0.22	890	1958.7	42.6	95.608	18.539
9	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-3	III	Broadcasting	12.11.2019	26.3	0.30	1214	2670.9	58.06	17.11.2019	11.0	0.24	971	2136.7	46.5	95.608	18.540
9	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-3	IV	Broadcasting	12.11.2019	26.0	0.34	1376	3027.0	65.81	17.11.2019	11.7	0.28	1133	2492.9	54.2	95.609	18.540
9	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-3	V	Broadcasting	12.11.2019	28.4	0.28	1133	2492.9	54.19	17.11.2019	12.5	0.23	931	2047.7	44.5	0.000	0.000
9							27.0				58.45		11.9			48.0			
10	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (CS)	TO-5	I	Transplanting	12.11.2019	21.5	0.46	1862	4095.4	89.03	17.11.2019	11.4	0.40	1619	3561.2	77.4	95.605	18.538
10	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (CS)	TO-5	II	Transplanting	12.11.2019	23.5	0.44	1781	3917.4	85.16	17.11.2019	11.8	0.34	1376	3027.0	65.8	95.605	18.538
10	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (CS)	TO-5	III	Transplanting	12.11.2019	21.5	0.33	1335	2938.0	63.87	17.11.2019	11.9	0.27	1093	2403.8	52.3	95.605	18.538
10	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (CS)	TO-5	IV	Transplanting	12.11.2019	24.1	0.47	1902	4184.4	90.97	17.11.2019	12.9	0.4	1619	3561.2	77.4	95.605	18.538
10	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (CS)	TO-5	V	Transplanting	12.11.2019	25.8	0.31	1255	2760.0	60.00	17.11.2019	12.3	0.26	1052	2314.8	50.3	95.605	18.538
10							23.3				77.81		12.1			64.6			
11	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-5	I	Transplanting	12.11.2019	25.9	0.37	1497	3294.1	71.61	17.11.2019	12.3	0.31	1255	2760.0	60.0	95.606	18.539
11	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-5	II	Transplanting	12.11.2019	25.2	0.29	1174	2581.9	56.13	17.11.2019	11.7	0.24	971	2136.7	46.5	95.606	18.539
11	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-5	III	Transplanting	12.11.2019	28.0	0.32	1295	2849.0	61.93	17.11.2019	12.7	0.24	971	2136.7	46.5	95.606	18.539
11	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-5	IV	Transplanting	12.11.2019	25.6	0.27	1093	2403.8	52.26	17.11.2019	11.6	0.22	890	1958.7	42.6	95.606	18.539
11	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-5	V	Transplanting	12.11.2019	26.5	0.37	1497	3294.1	71.61	17.11.2019	13.0	0.3	1214	2670.9	58.1	95.606	18.539
							26.2				62.71		12.3			90.7			

A-2 収量調査結果要約表 (圃場実収量)

Combine Harvesting Inside LDY-4 Result by Combine Harvester																			
Sr.	Village Name	Variety Name	TO No.	Area	Sowing Method	Combine Harvesting Date	MC %			Yield/Unit Area (lb)	Yield/Acre (lb)	Yield/Acre (basket)		Assuming MC at 14%	Yield/Acre (basket)	X-Axis	Y-Axis		
12	Inn Gyi Village	Yadanaroe	TO-16	0.9	Transplanting	14.11.2019	18.5			2985.0	3316.7	72.1	0.31	1255	14.0	68.3	95.579	18.544	3) Varity (Yadanaroe, Inle, Taung Pyan)
																	95.580	18.544	
																	95.580	18.544	
																	95.579	18.544	
																	95.579	18.533	
13	Daung Yat Chaung	Inle	TO-15	1	Broadcasting	16.11.2019	22.0			3937.0	3937.0	75.9	0.31	1255	14.0	68.8	95.579	18.533	3) Varity (Yadanaroe, Inle, Taung Pyan)
																	95.580	18.530	
																	95.579	18.533	
																	95.579	18.532	
																	95.579	18.532	
14	Inn Gyi village	Taung Pyan	TO-11	0.5	Broadcasting	22.11.2019	16.8			1253.0	2506.0	54.5	0.31	1255	14.0	52.7	95.593	18.534	3) Varity (Yadanaroe, Inle, Taung Pyan)
																	95.593	18.534	
																	95.594	18.534	
																	95.594	18.534	
																	95.593	18.534	
15	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-5	0.7	Broadcasting	25.11.2019	19.4			1967.0	2610.0	61.1	0.31	1255	14.0	57.3	95.609	18.540	1) Cs and nonCS (the survey made by PROFIA) & 2) Broadcasting(Drum) and transplanting (the survey made by PROFIA)
																	95.609	18.540	
																	95.609	18.540	
																	95.609	18.540	
																	95.609	18.540	
16	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (Non CS)	TO-5	0.5	Transplanting	25.11.2019	15.6			1243.0	2486.0	54.0	0.31	1255	14.0	53.0	95.606	18.539	1) Cs and nonCS (the survey made by PROFIA) & 2) Broadcasting(Drum) and transplanting (the survey made by PROFIA)
																	95.606	18.538	
																	95.606	18.538	
																	95.606	18.538	
																	95.606	18.538	
17	Htan Kone Village	Hmaw Bi - (CS)	TO-5	0.7	Transplanting	25.11.2019	14.3			1491.0	2130.0	46.3	0.24	971	14.0	46.1	95.605	18.538	1) Cs and nonCS (the survey made by PROFIA) & 2) Broadcasting(Drum) and transplanting (the survey made by PROFIA)
																	95.605	18.539	
																	95.605	18.539	
																	95.606	18.539	
																	95.606	18.538	
18	Inn Gyi Village	Hmaw Bi - (CS)	TO-11	0.5	Broadcasting	1.12.2019	27.7			1047	2094.0	41.88			14.0	35.2	95.594	18.533	1) Cs and nonCS (the survey made by PROFIA) & 2) Broadcasting(Drum) and transplanting (the survey made by PROFIA)
																	95.595	18.532	
																	95.594	18.532	
																	95.594	18.533	
																	95.594	18.533	





