

福島県を中心とした被災地域における  
営農再開に向けたタマネギの新たな栽培技術

🍷 ~技術解説版~ 🍷



福島県農業総合センター

農林水産省 食料生産地域再生のための先端技術展開事業  
大規模露地野菜の効率的栽培管理技術の実証研究  
「最先端技術で拓く、大規模露地野菜コンソーシアム」

本マニュアルは、平成 30 年度～令和 2 年  
度農林水産省食料生産地域再生のための  
先端技術展開事業 JPJ000418「大規模露地  
野菜の効率的栽培管理技術の実証研究（農  
林水産省・復興庁）」により得られた研究  
成果に基づき作成しました。

# 目次

## 【第1章】はじめに

- 1-1 序文・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
- 1-2 プロジェクトの概要図、フロー図・・・・・・・・ 2
- 1-3 福島県の秋まきタマネギの基本的な栽培管理・・・・・・・・ 4

## 【第2章】大規模経営に向けたタマネギの新たな栽培技術

- 2-1-1 タマネギ直播栽培の基本的な栽培管理・・・・・・・・ 7
- 2-1-2 タマネギ直播栽培の詳細・・・・・・・・・・・・ 10
- 2-2-1 タマネギセット栽培の基本的な栽培管理・・・・・・・・ 14
- 2-2-2 タマネギセット栽培の詳細・・・・・・・・・・・・ 16
  
- 2-3 新技術の経済性と導入モデル・・・・・・・・・・・・ 21
  - ・導入モデルの策定にあたって
  - ・新技術の経済性
  - ・導入モデル

## 【第3章】大規模露地野菜の効率的な管理を支援する諸技術

- 3-1-1 衛生画像を用いたほ場水分の見える化・・・・・・・・ 30
- 3-1-2 電磁波を用いた下層土のほ場水分の見える化・・・・・・・・ 35
- 3-1-3 ドローンを用いたほ場水分の見える化(表層土壌)・・・・ 38
- 3-1-4 ドローンを用いた野菜生育の見える化・・・・・・・・ 45
- 3-2 簡易測定による地力の見える化技術・・・・・・・・・・・・ 55
- 3-3 タマネギ生育安定のためのかん水管理・・・・・・・・・・・・ 62
- 3-4 労働負担軽減技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 68

- 【参考文献、執筆者一覧】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 72



# 第1章

# はじめに

## 1-1 序文

東日本大震災による津波被災地域、あるいは原子力災害に伴う避難指示が解除された地域では、収益性向上を目指した営農再開品目として新たにタマネギなどの大規模露地野菜が導入されていますが、帰還する農業者が少ないことから、少人数で大面積のほ場を管理することが求められており、育苗の労力不足等を克服できる適切な栽培管理の実施が課題となっています。また、津波災害復旧のための基盤整備や、除染による表土除去と客土等により、ほ場条件が大きく様変わりし、長年培ってきた経験に基づくほ場管理技術や栽培技術が活かさないことから、生産が安定しない状況となっています。

これらの状況を打開すべく、福島県農業総合センターが研究代表機関となり、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）、宮城県の研究機関、民間企業が共同し、平成30年度から令和2年度の3年間、農林水産省食料生産地域再生のための先端技術展開事業の「大規模露地野菜の効率的栽培管理技術の実証研究」の中で、土地利用型野菜として地域に導入されたタマネギを取り上げ、経営体の収益が20%以上向上することを達成目標に技術開発と現地実証に取り組みました。その結果、ドローン空撮等先端技術を活用したほ場における土壌水分の分布状況を評価する技術及び生育の斉一化向上技術の確立、タマネギの新技术である省力低コスト化となる秋まき直播栽培及び有利販売が期待できるセット栽培の確立、土地利用型野菜での労働負担を軽減する作業体系の構築及び作付規模拡大のための経営モデルの作成に取り組み、これまでに様々な成果を得ることができました。その成果に基づき、タマネギの栽培適地の選定から始まり、それぞれの経営体が入り入れたい栽培方法等を選択して必要な情報を得ることができるようマニュアルを作成しました。

本県の相双地域におけるタマネギ栽培は令和2年度の栽培見込み面積が25ha（対前年比114%）となり、生産者、JA、行政機関等が一体となって、機械化一貫体系の導入支援や集出荷施設等の整備を図り作付面積の増加を目指しています。出荷先は、JAを通しての市場及び加工業者が主体となっており、実需者からはさらに増量を求められているところです。本マニュアルが広く活用され、タマネギの新産地育成、被災地域の農業復興の一助となることを期待いたします。

令和3年3月  
福島県農業総合センター  
所長 武田 信敏



# 1-2 プロジェクトの概要図

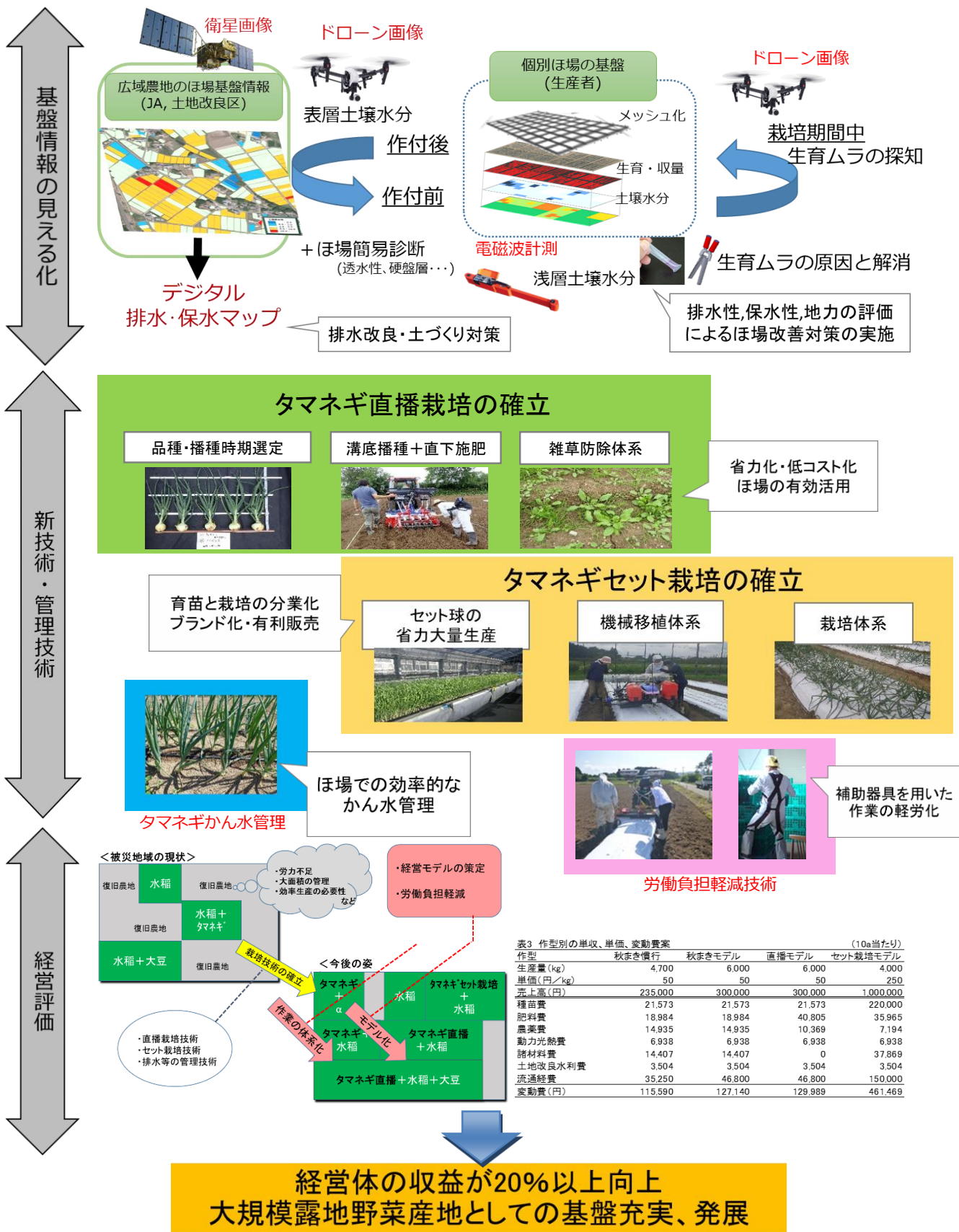
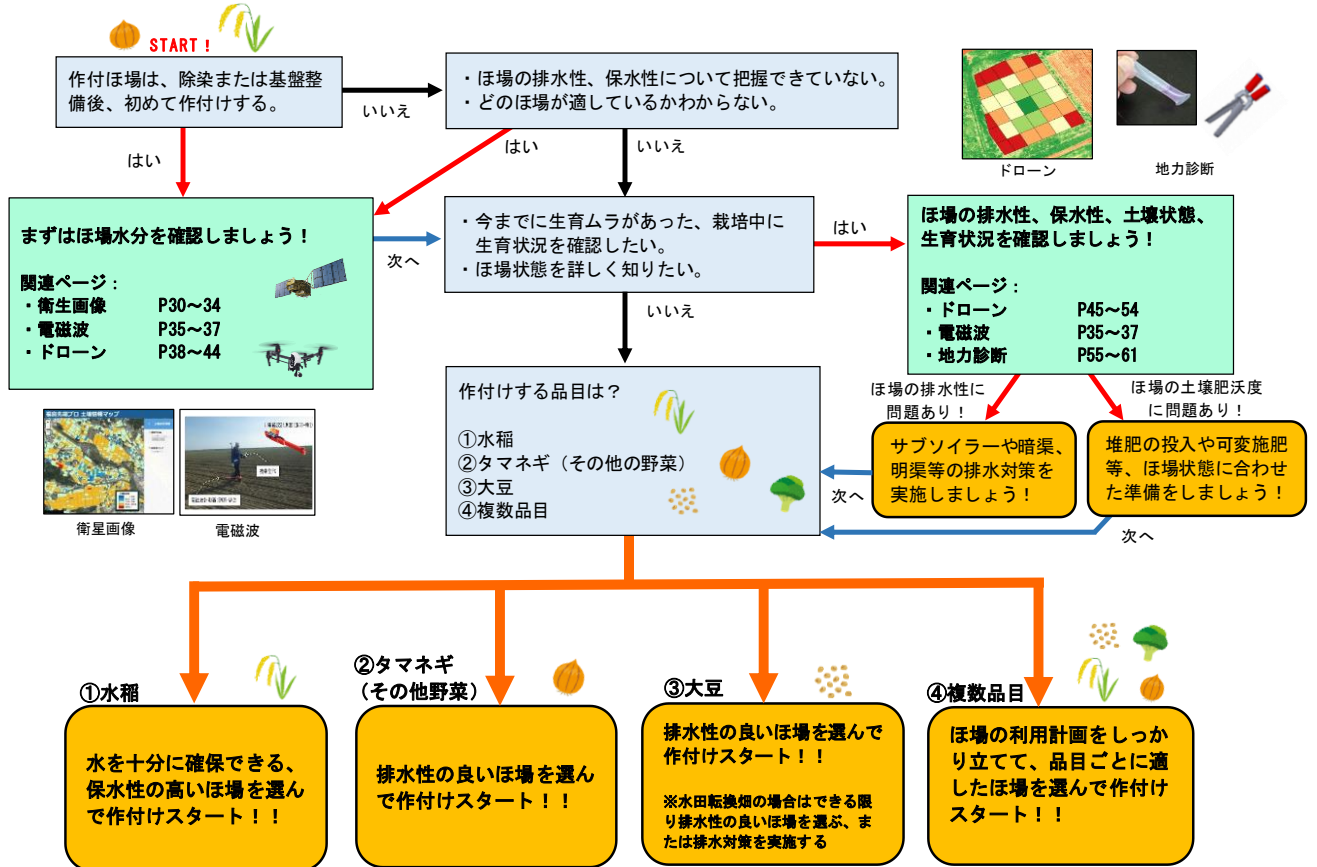


表3 作型別の単収、単価、変動費案 (10a当たり)

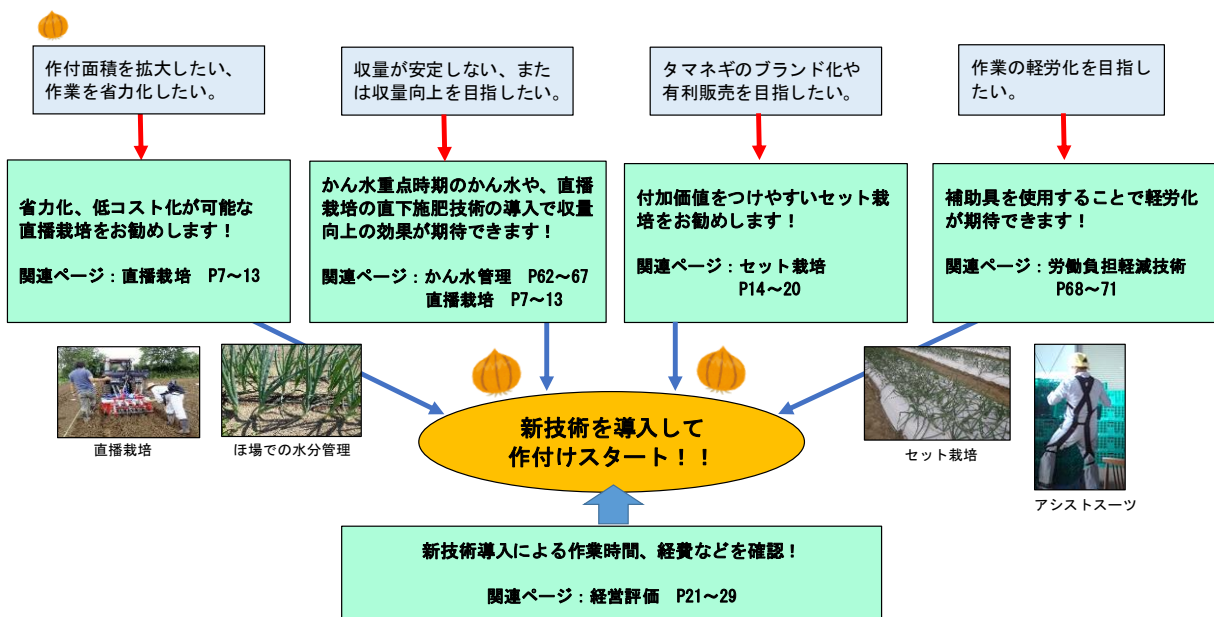
作型	秋まき慣行	秋まきモデル	直播モデル	セット栽培モデル
生産量(kg)	4,700	6,000	6,000	4,000
単価(円/kg)	50	50	50	250
売上高(円)	235,000	300,000	300,000	1,000,000
種苗費	21,573	21,573	21,573	220,000
肥料費	18,984	18,984	40,805	35,965
農業費	14,935	14,935	10,369	7,194
動力光熱費	6,938	6,938	6,938	6,938
諸材料費	14,407	14,407	0	37,869
土地改良水利費	3,504	3,504	3,504	3,504
流通経費	35,250	46,800	46,800	150,000
変動費(円)	115,590	127,140	129,989	461,469

## 1-2 プロジェクト技術の概要図

ほ場の選定から始めたい



新しいタマネギの栽培方法、新技術を導入したい



## 1-3 福島県の秋まきタマネギの基本的な栽培管理

### 🌱 福島県浜通りの秋まきタマネギ栽培歴 🌱

月	8月		9月		10月		11月			12月~2月	3月			4月			5月			6月			
	中	下	上	中	上	中	上	中	下	-	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
平均気温(℃)	23.9		(育苗)		19.9		12.0	10.5	7.7	3.7	5.8	6.8	7.7	9.5	11.9	13.7	15.6	16.4	19.0	18.6	18.3	20.8	
出葉数(枚)			出芽	1	2	2.5~3			3.5			5	6	6.5	7	7.5	8	10	12	14	15~16		
主な作業	播種		かん水、追肥		定植		防除、除草			越冬期間			防除、除草			倒伏			収穫・乾燥				

#### < 播種・育苗 >

福島県内の秋まき移植栽培の播種時期は、8月下旬～9月上旬です。全自動移植機で定植する場合には448穴セルトレイに播種します。苗数は10aあたり26,600～32,000本となり、448穴セルトレイで60～70枚必要になります。

播種後はたっぷりとかん水し、トレイをポリエチレン不織布や遮光シートで覆います。地温は25～30℃程度で維持します。培土表面が乾いた場合にはかん水し、湿度を保ちます。育苗期間が高温時期にあたるため、水不足による苗の葉先枯れに注意し、培土が乾燥しないよう適宜かん水します。また、肥切れは苗品質の低下に繋がるため、播種1ヶ月後から10日間隔で液肥による追肥を行います。



適温であれば5～7日で発芽します。

#### < 圃場準備と施肥 >

タマネギは過湿に弱い作物であるため、排水性の良好なほ場を選定します（ほ場の排水性については本マニュアルP30～44、ほ場水分の見える化技術参照）。水田転換畑や排水性が悪いほ場に作付けする場合は、明渠、暗渠等の排水対策を行います。

定植前には土壌診断を実施し（ほ場の地力診断については、本マニュアルP55～61、簡易地力窒素評価技術参照）、分析結果に基づいて必要な土壌改良資材、基肥を施用します。堆肥、土壌改良資材は定植1ヶ月前までに、基肥は1週間前までに散布し耕起します（秋まき移植栽培の施肥例については表1に示します）。

定植直前に、土壌の碎土率が上がるように耕起し畝成型すると、定植時の苗の欠株や倒伏が抑制できます。

表1 施肥例（福島県野菜指導指針より） 10aあたり

区分	肥料名	施肥量(kg)	施肥成分量				
			N	P	K	Mg	Ca
基肥	完熟堆肥	2000					
	タマネギ専用864	100	18.0	16.0	14.0	0	0
	20%ようりん	40	0	8.0	0	0	0
	くみあい苦土カル	100	0	0	0	25.0	55.0
	小計		18.0	24.0	14.0	25.0	55.0
追肥	磷硝安加里S646	40	6.4	1.6	6.4	0	0
	卵殻エース	40	0	0	0	0	20.0
施肥成分量計			24.4	25.6	20.4	25.0	75.0



## <定植と圃場管理>

定植時にセルの培土が乾いていると根鉢が崩れ、移植率が低下するため、セルトレイ苗にたっぷりとかん水し、水をなじませておきます。また、トレイの裏側に根が伸びている場合には、タワシ等を用いて根を除去します。定植時にほ場が乾いている場合や定植後に高温・乾燥状態が続く場合は活着しにくくなる恐れがあるため、降雨前後の適度な土壌水分時に定植するか、定植後にかん水を行います。

追肥は2～3回に分けて、1月下旬～3月中旬頃に施用します。追肥時期が遅れると抽苔や分球が発生する恐れがあるため、適期に施用することが重要です。



セルトレイ裏に伸びた根



歩行型全自動移植機



定植後の苗



抽苔したタマネギ

## <雑草防除>

タマネギでは、雑草の繁茂が減収要因となるため、多年生雑草（スギナ、セイタカアワダチソウ等）の発生が少ないほ場を選定して作付けします。また、定植後は除草剤を用いて雑草防除を行います（表2）。



雑草が繁茂したほ場

表2 雑草防除の例

月 旬	8月			9月			10月			11月			12月～2月			3月			4月			5月			6月		
	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	—	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下		
主な作業	播種			かん水、追肥			定植			防除、除草			越冬期間			防除、除草						倒伏			収穫・乾燥		
雑草防除	雑草が多いほ場、前作がないほ場はタッチダウンIQ						モーティブル乳剤 (定植45日後まで)						▲▲▲			アクチノール乳剤			ポクサー (収穫45日前まで)			●●●					

## <病虫害防除>

秋まき移植栽培では、べと病、黒斑病、りん片腐敗病などの病害や、アザミウマ類、ネギコガ、ネキリムシ類の虫害が発生することがあります。病害は発生前の予防散布、虫害は早期発見と早期防除に努めましょう。特に、べと病、アザミウマ類は進行、拡大が早いため注意が必要です。

農薬を使用する場合には、生育や病虫害の発生状況に合わせた液量を、農薬使用基準に従って使用してください。



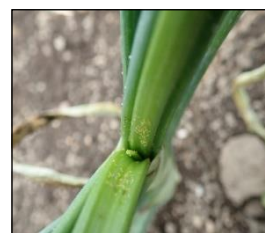
べと病(生育初期)



べと病(生育中期以降)



りん茎腐敗病



アザミウマ類

### <収穫と調製作業>

秋まき移植栽培の収穫時期は、品種によって多少の差はありますが、6月上旬～7月上旬頃になります。ほ場全体の8割の茎葉が倒伏した時点から、7～10日後に収穫します。収穫体系は様々ですが、歩行型収穫機では、茎葉と根を切り、掘り起こし、拾い上げ機（ピッカー）で拾いあげて、コンテナへ収集します。また、事前に根切り機で根を切り、地干しした後、乗用型収穫機で鉄コンテナへ収集する方法もあります。作付面積に応じて効率的な収穫体系を組む必要があります。

収穫したタマネギは、出荷先の規格に合わせて、乾燥、選別、調製作業を行います。乾燥には、温風乾燥機を用いて短期間で乾燥させる方法や、風通しの良い納屋、遮光資材を設置したハウス内等でコンテナに入れて乾燥させる方法があります。茎葉の切り口や、タマネギの表面がしっかり乾くまで乾燥させましょう。乾燥が不十分だと、貯蔵中、腐敗が発生することがあります。

乾燥後は、調製機（タッピングマシン）等を用いて、外側の皮を除去し、規格別に選別し、出荷します。



歩行型収穫機



ピッカー



乗用型収穫機



選別・調製機



選別の様子



温風乾燥機

## 第2章 大規模経営に向けたタマネギの新たな栽培技術

### 2-1-1 タマネギ直播栽培の基本的な栽培管理

#### 福島県浜通りのタマネギ直播栽培歴

月	8月			9月			10月			11月			12月			1月			2月			3月			4月			5月			6月			7月		
旬	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
出葉数				播種			1	2		3			4						5			6	7	8	9	10	11	12								
主な作業				播種			除草剤 防除	中耕 防除	除草剤 防除							追肥 中耕 防除	追肥 防除		除草剤 防除						収穫											
注意 時期	雑草			←→												←→																				
	害虫	ネキリムシ類				←→									←→																					
	バト病				←→									←→																						

#### <直播栽培の概要>

タマネギ直播栽培は、移植栽培と比較して育苗及び定植作業を省略できるため、より省力的な栽培体系です。移植栽培の播種時期を目安に、ほ場に畝立てと同時に播種をする以外は、移植栽培の作業工程と大きな違いが無いこともメリットです。直播栽培の作業工程はほぼ機械化されており、省力的で大規模栽培に適した技術です。加えて、移植栽培とは作業時期が異なることから、移植栽培との組み合わせにより規模の拡大にも対応しやすくなります。9月に播種した場合には、翌春の5月下旬～6月に収穫できます。

#### <播種方法> 適期：9月10日～9月20日

##### (1) 種子の準備・播種量

ア 畝幅 120cm (天面 100cm) とし、その畝に 4 条 (条間 24cm)、株間 8cm で播種をすると、畝 10m あたり 500 粒の播種量となります。畝間 150cm で畝を立てた場合、10a あたり、100m 畝が 6 本となり、栽植密度は 30,000 株/10a となります。

イ 種子は 8 月下旬までに準備しますが、西日本の秋まき栽培よりも播種時期が早い  
ため、JA や種子メーカーと納品時期について確認をしましょう。

早晩性	収穫時期	品種名	種苗会社名
より早	5月下旬	スパート	タキイ種苗
	6月上旬	ターザン	七宝
標準	6月中旬	もみじ3号	七宝



##### (2) 基肥施肥

堆肥は 8 月中旬までに 3t/10a を目安に散布します。基肥は播種前にほ場全体に散布し、畝立播種時に混和します。

施肥例	区分	肥料名	施肥量 (kg/10a)	施用成分量 (kg/10a)				
				N	P	K	Mg	Ca
基肥		硝磷加安NN444	120	16.8	16.8	16.8	0	0
		20%ようりん	52.5	0	10.5	0	0	0
		くみあい苦土カル	100	0	0	0	25.0	55.0
		小計		16.8	27.3	16.8	25.0	55.0
追肥		磷硝安加里S646	40	6.4	1.6	6.4	0	0
		卵殻エース	40					20.0
施肥量計 (成分量)				23.2	28.9	23.2	25.0	75.0



### (3) 畝立て同時播種

#### ア 播種時期

播種時期は9月10～20日頃までです。早まきは抽苔・分球の増加、遅まきは出芽率の低下、球が小さくなる原因となります。また、播種後の降雨より、降雨後の播種の方が出芽・生育が安定するので、天気予報を確認し播種日を決めましょう。播種位置が深すぎると出芽率が低下する原因となるため、播種深さは2cm程度(1～3cm)としましょう。

#### イ 畝立て

まずはほ場の排水性を改善しましょう。滞水しやすいほ場であれば、弾丸暗渠や額縁明渠などの対策をとりましょう。排水性の悪いほ場では15～20cm程度の高さの畝を目安とし、排水性の良いほ場では畝を立てる必要はありません。畝立後には、ほ場への滞水を防ぐために畝の溝とほ場の明渠をつなぎ、降雨後の速やかな排水を促しましょう。

#### ウ 機械播種

耕うんや畝立てと同時に播種することで、播種条件が揃えやすくなり、播種精度や出芽率の向上につながります。畝立て同時播種では、ロータリーや畝立機の後ろに播種機を取り付けて作業します。使用できる播種機は、ベルト式播種機(BS-4WUS：(株)向井工業)

(図1)やロール式播種機(アグリテクノ矢崎(株)：APS-40C)(図2)などがあります。

畝立て同時播種では、畝が崩れると播種機の動作が不安定になります(図3)。多くの場合、土壌が固く耕起が不十分な場合に畝成型機への土粒の供給が不安定になり、畝の形状が不安定になります。播種前に一度耕起するなど、播種時には十分に碎土できる土壌条件となるように準備しましょう。



図1 ベルト式播種機(BS-4WUS：(株)向井工業)



図2 ロール式播種機  
(APS-40C:アグリテクノ矢崎(株))



図3 畝の肩が崩れた様子

**NG**

土壌水分が多すぎて、畝の肩が崩れてしまいました。種が浮き出たりして播種深が安定しません。



図4 きれいに畝が立った様子



### <雑草防除>

前作で雑草対策を徹底して雑草種子が少ないほ場を選定しましょう。タマネギの出芽とほぼ同時に雑草種子が発芽します（図5）。タマネギの生育初期は生育が緩慢なため雑草種子が多いほ場では雑草の抑制が難しくなってしまいます。



図5 出芽揃い期の雑草の様子

播種直後にグラメックス水和剤、その後11月～翌春4月に中耕を行い、ボクサーまたはクロロIPCを散布しましょう（図6）。なお、これらの除草剤は、砂土や水はけの良い土壌では薬害を生じるおそれがあるので使用を避け、雨の多い時期は散布のタイミングに注意して使用しましょう。特に、グラメックス水和剤は高温時の散布を避け、重複散布しないように注意しましょう。

中耕を兼ねた機械除草は、玉カルチ（図7）で行いますが、機械除草はタマネギを傷めることもあるので、条間と機械の位置を事前にしっかり調整して、注意しながら作業しましょう。

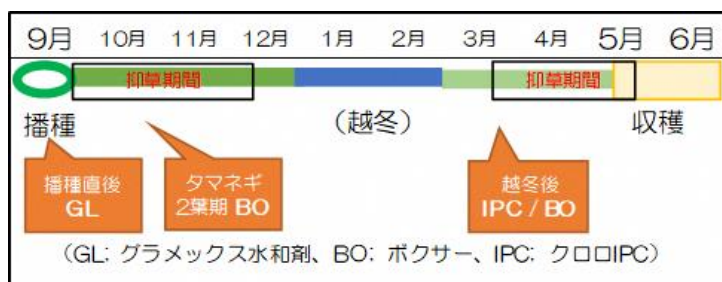


図6 除草剤処理体系例



図7 玉カルチ  
(株) キューホー

### <病虫害防除>

播種と同時にタネバエ対策としてダイアジノン粒剤5を散布しましょう。また、播種後すぐにネキリムシ対策としてガードベイトAを散布しましょう。

他の殺虫剤、殺菌剤は移植栽培の防除時期に準じて行いましょう。

なお、農薬の使用方法等については変更されることもあるので、HP等で最新の情報を確認してください。

### <収穫と乾燥作業>

収穫は5月末～6月となります。移植栽培に準じた体系で収穫と乾燥作業を行いましょう。



越冬後の様子(2月)



肥大期の様子(5月)



倒伏期の様子(6月)

## 2-1-2 タマネギ直播栽培の詳細

### (1) 技術のねらい

本作型は地域の慣行作型である秋まき移植栽培と比較して、育苗・定植作業がなく、作業の省力化や労働負担減に伴うコスト削減が期待できます。また、播種作業の時期は、移植栽培の定植時期や水稲や大豆の収穫時期とずれることから、秋まき移植栽培や水稲・大豆と組み合わせることで、労働時間の平準化や経営の大規模化を図ることができます。

### (2) 技術の内容

#### ア 播種時期・品種の選定

タマネギの越冬作型で収量を左右する問題の一つに抽苔株の発生（花を咲かせること）があります。一般に、越冬前の株が大きいほど抽苔しやすくなり、株の大きさや窒素不足などのタマネギ株の状態と冬から春先の低温条件が発生程度に影響します。収穫時の球重は越冬後の株の大きさが影響し、越冬前の株が大きいほど球も大きくなります。つまり、抽苔しない最大の大きさを越冬させることが多収のための要件となり、播種適期を守る事が重要です（表1）。

これまでの調査より、秋まき栽培では5葉期（6枚目の本葉が伸びている期間）での越冬が目安となり、そのための播種時期が相双地域では9月10日～20日です。最近は、比較的冬が暖かいため、この傾向が続くのであれば播種時期を少し遅くすることも考えられます。具体的な生育の目安は、播種後出芽揃いまでは10日程度、その後6葉目の出葉までは積算気温で1000℃程度、播種後約65日です。9月15日播種では、25日頃に出芽し、11月下旬にこの生育ステージに達します。

\*積算気温：気象庁の発表する日平均気温を加算した値、ただし3.5℃以下は0℃として取り扱います。

表1 播種時期が収量に及ぼす影響（郡山市 品種：「ターザン」）

播種日	規格内球重 (g/重)	分球率 (%)	抽苔率 (%)	規格内合計収量 (t/10a)
8/27	500	37	4	6.0
9/6	383	12	2	4.7
9/13	308	5	0	8.0
10/3	219	0	0	2.3

## イ 畝溝播種技術とリン酸直下施肥技術

### (ア) 生育を促進する畝溝播種技術

畝溝播種技術とは、畝の上に溝を作り、その溝の中に播種して栽培する技術です。溝底に播種することで、平畝と比較して、種子周辺の土壤水分が高くなり、地温も一定で安定するので生育が促進されます。また、播種直後に乾燥が続く場合は、出芽の促進効果もあります。この結果、早生品種は、倒伏日が早くなり、晩生品種では増収する場合があります。



図1 開発中の畝溝播種機

この畝溝播種技術及びリン酸局所施肥技術を機械作業で実現するために、畝立て、溝成形、リン酸局所施肥、播種、薬剤散布を一工程で行う畝溝播種機を令和3年中の販売に向けて開発中です。(図1)。

### (イ) 局所施肥による収量安定化技術 (リン酸直下施肥)

タマネギ直播栽培の施肥量は、栽培する地域における移植栽培に準じます。しかし、タマネギの直播栽培では、ほ場のリン酸肥沃度を高めることが重要であり、一般には肥料を全層に施用します。特に火山性土等のリン酸肥沃度が低いほ場では、効果的なリン酸施用による初期生育促進と低コスト化が求められています。タマネギ直播栽培において、基肥リン酸量の1/3~1/4(リン酸成分量で約10~20kg/10aの過リン酸石灰)を、コート種子の直下約2~4cm(幅3~4cm)へ局所施用し、残りの基肥(2/3~3/4のリン酸、窒素及びカリウム)を全層施用するリン酸直下施肥技術が開発されました。このリン酸直下施肥により、初期生育が促進され、りん茎の肥大開始が早まり肥大期間を十分に確保できるようになり、収量が安定します(図2)。ただし、施肥位置に関しては、肥料との接触により発芽の遅れや発芽不良により苗立ちが不安定になるので、必ず種子と肥料との間に2.0cm以上のギャップを設ける必要があります。

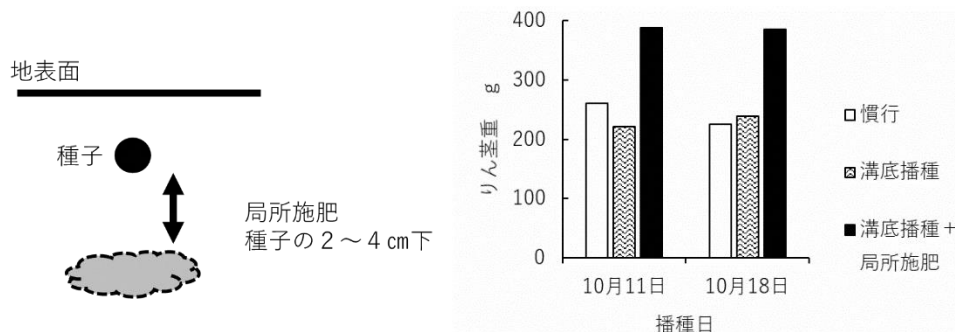


図2 リン酸の局所施肥位置(左図)とりん茎重の違い(右図)

試験は農研機構九州沖縄農業試験場(宮崎県都城)で2018年度に行いました

## ウ 雑草防除体系

タマネギの葉は細長く地表面まで日射しが届くため、栽培期間はいつでも雑草が発生し、適切に管理をしないとタマネギが雑草との生育競争に負けてしまいます。よって、タマネギ栽培における雑草防除は、除草剤と機械除草を組み合わせ、収穫まで雑草の発生を抑制することが重要です。

### (ア) 作付け前の圃場管理

タマネギの作付けを予定するほ場に関して、雑草に関する情報があればよりの確な管理につながります。特に、栽培期間中に生えてくる雑草の種類や発生量を把握することが、雑草管理の第一歩です。

雑草発生量が多くほ場での抑草管理が難しい場合、発生量を減らすことも検討する必要があります。耕作地において取りうる技術の一つに土壌処理剤による種子の不活化があります。バスアミド微粒剤等のダゾメットを有効成分とする農薬には1年生雑草に対する適用があります。

表2 バスアミド微粒剤の適用表の抜粋（令和2年12月現在）

適用病害虫	使用量	使用方法	使用時期	本剤の使用回数	ダゾメットを含む農薬の総使用回数
一年生雑草	20~30kg/10a	本剤の所定量を均一に散布して土壌と混和する	は種又は定植21日前まで 秋期(翌春は種)	1回	1回

バスアミド微粒剤の場合、使用は「土壌を耕起整地した後、本剤の所定量（タマネギの場合10aあたり20~30kg）を均一に散布して深さ15~25cmに土壌と十分混和する。混和後ビニール等で被覆処理する。被覆しない場合には鎮圧散水してガスの蒸散を防ぐ。7~14日後被覆を除去して少なくとも2回以上の耕起によるガス抜きを行う」とされています（表2）。効果が発揮されれば、大幅に雑草発生を減らすことができます。

なお、農薬の使用方法等については変更されることもあるので、HP等で最新の情報を確認してください。

表3 バスアミド微粒剤による抑草効果（盛岡市）

	雑草発生量(発生本数/m <sup>2</sup> )					計
	ナズナ	スベリヒユ	シロザ	タニソバ	その他	
無処理	21.3	184.0	5.3	168.0	17.3	396
バスアミド処理	2.7	5.5	3.7	0.5	2.7	15

その他は、オランダミミナグサ、スズメノカタビラ、ヒメムカシヨモギ、メヒシバ、イヌビユ



#### (イ) 作付時のほ場管理

作付け前（夏）に雑草が繁茂すると耕起の妨げとなるので、非選択性茎葉処理型除草剤（ラウンドアップマックスロード、バスタ液剤等）で処理し、その後に耕起します。

播種は雑草の発生の無い状態で行い、播種後に土壌処理（出芽抑制）型除草剤で処理をします。このタイプの除草剤は、一般に乾燥条件では効果が劣るため、タマネギ播種は降雨後に実施し、直ちに除草剤を散布します。都府県におけるタマネギ直播栽培には、播種直後処理に利用可能な除草剤がありませんでしたが、令和2年4月に「グラメックス水和剤」（アグロカネショウ（株））が秋まき直播タマネギに関して適用の拡大を申請し、令和2年11月に登録拡大が認可されました。播種直後の処理では、雑草の発生を抑える期間は処理後40日程度が標準的ですが、気温が高い時期のため雑草の勢いが強く、経験的にはより短くなります。雑草の発生始めを見極めて、機械除草を実施します。雑草発生量が少ないほ場であれば、機械除草で年内を乗り切ることも可能ですが、基本は2度目の土壌処理型除草剤（ボクサー）を散布し（図3）、冬の間秋に発生した越冬性の雑草を手取りします。

翌春は、収穫予定日から逆算して処理日（ボクサーもしくはクロロIPC）を決めます。この体系では、越冬後に追肥を行うため、追肥・中耕（除草）により雑草の発生を抑制し、6月中旬収穫であれば4月下旬を春の除草剤処理日とします。あまり早くに処理をすると、収穫前に効果が無くなり、収穫時に雑草が繁茂することになります。

より栽培しやすい環境となるように、収穫後のほ場管理も雑草の抑制を視点を管理し、ほ場にある雑草種子量の低下を意識します。

農薬の登録内容については、下記のホームページ等で最新の情報を確認してください。

農林水産消費安全技術センター 農薬登録情報提供システム

[http://www.acis.famic.go.jp/index\\_kensaku.htm](http://www.acis.famic.go.jp/index_kensaku.htm)

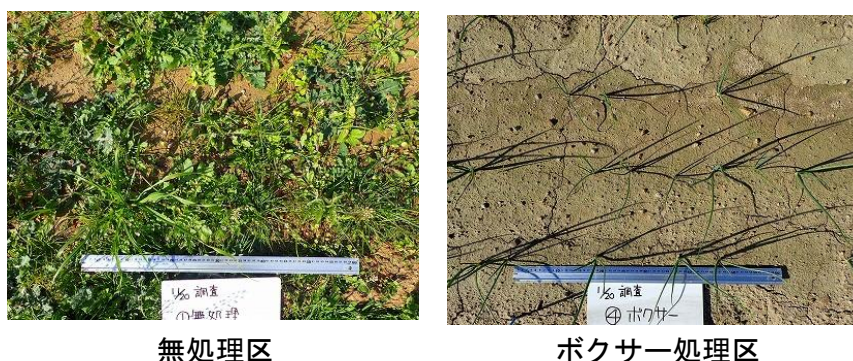


図3 ボクサーによる抑草効果（処理後34日後）（郡山市）

（2葉期にボクサーを処理した。）

## 2-2-1 タマネギセット栽培の基本的な栽培管理

### 福島県浜通りのタマネギセット栽培歴

月	3月		4月			5月			6月			7月		8月			9月			10月			11月			12月		
旬	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中
項目	播種		セット球育成			高温処理			低温処理		芽出し・定植準備			定植			生育			収穫・調整・出荷								
主な作業	地温 20~25℃ 5~9日で 発芽		かん水（底面給水） 温度管理 剪葉・防除・追肥			30℃程度（遮光） 約3週間			15℃程度 約2週間		定植14日前から 芽出し ほ場：除草・ 施肥・白黒マルチ被覆			8/20~8/28頃 適期 半自動定植機使用			除草・防除			①剪葉機等（茎葉切断） ②収穫機（根切り） ※数日間地干し乾燥 ③ピッカー（拾い上げ） ④調整機（調整・選別）								
管理場所	ガラスハウス・パイプハウス等育苗施設									予冷库		芽出し：屋外遮光下等 涼しい環境下			ほ場													
病害虫等リスク	細菌性病害、アザミウマ類等 高温による腐敗									べと病・アザミウマ類・ネギコガ等 台風による倒伏、スレ等 低温・降雪による凍結																		

※より省力的かつ大規模に栽培することを想定しているため、セット球育成はハウス内ベンチを活用した448穴セルトレイによる底面給水育苗、定植は半自動定植機を活用することを前提としています。

#### <播種・育苗> 時期：3~6月

**ベンチ準備**：ビニール、底面給水マット、防根シートの順に重ね、その上にかん水チューブを設置し、セルトレイを並べる前にマットを湿らせておきます。

**播種**：全自動播種機を使用しセルトレイへの土詰め後、コート種子を播種します。

**発芽までの管理**：播種したセルトレイをベンチ上に並べ、十分にかん水し、タイベックシートを被覆します。半数以上の発芽を確認したらタイベックシートを除去します。

**温度管理及びかん水**：気温 20~25℃、最低温度 10℃を目安に管理します。かん水は乾燥や過湿になりすぎないように 1日 1~2 回程度かん水します。

**剪葉**：生育状況を見ながら倒伏する前に草丈 15cm 程度に剪葉します。晴天時に実施し、傷口をよく乾燥させましょう。

**防除**：換気等を実施していれば病害の心配は少なくなりますが、予防として殺菌剤散布をお勧めします。アザミウマ類等の虫害を確認した場合は早めに薬剤散布を行います。

**追肥**：播種後 7 週間を目安にかん水同時施肥するなどして追肥を行います。

**セット球完成の目安**：半数が球径 1.7cm 以上を完成とします。



図1 5月下旬後頃の生育  
(スーパーアップ)

#### <定植前の処理> 時期：6~8月

**高温処理**：完成したセット球を剪葉し、1週間ほど水を切って乾燥させます。その後ハウス内を遮光し、35℃にならないよう温度管理し 3~4 週間高温処理を行います。

**低温処理**：高温処理を行った後、予冷库等を活用し、15℃で 2 週間の低温処理を行います。芽出し処理を行うまで保管を続けてもかまいません。

**芽出し処理**：定植 2 週間前を目安に初期は液肥、後半は水でセルトレイにかん水し、

芽出しを行います。5cm以上の萌芽を目安とします。また、定植直前にリン酸濃度1%の液肥を底面給水等で施用することで初期生育が確保され増収が可能です。

<ほ場準備と施肥> 時期：7～8月

**ほ場準備**：排水性の良いほ場を選択します。排水性が悪い場合は、作付け前に暗渠や額縁明渠を設置し、堆肥施用や除草を行いましょう。

**施肥**：土壌はpH6.0～6.5を目安に石灰資材等で矯正します。施肥量は窒素10kg、リン酸20kg、カリ10kgとします。

**畝立て・マルチ**：白黒ダブルマルチを使用し、畝間150～160cm、ベッド幅90～100cm（条間24cm4条植え）として畝を立てます。

<定植とほ場管理> 時期：8～11月

**定植**：8月20日～28日を目安に定植しましょう（東西南部の場合）。半自動定植機を用い、株間は11～12cmとします。定植後、乾燥が続く場合にはかん水することで活着を促進することができます。

**ほ場管理**：雑草防除には定植前～定植直後に使用できる除草剤を効果的に使いましょう。また、アザミウマ類等の害虫は発生初期に薬剤防除し、台風などの荒天前後には殺菌剤を散布しまししょう。（いずれも最新の登録状況を確認の上使用してください）



図2 10月中旬頃の生育

<収穫と調製作業> 時期：11～12月

**収穫時期の判断**：5割程度の株が倒伏したら、収穫します。

**収穫方法**：葉切り→マルチ除去→根切り→ほ場乾燥→回収の順に作業します。

葉切りにはチョッパーやトリマー、根切りには収穫機、回収にはピッカー等の機械を使用できます。根切り後に数日間ほ場で乾燥することで、収穫後の萌芽を抑制することができます。

**保管・調製**：日陰の涼しい場所で保管しまししょう。茎、根を切って1週間程度乾燥させて出荷します。茎、根切りには調製機を使用することで省力化できます。



図3 収穫したタマネギ



## 2-2-2 タマネギセット栽培の詳細

### (1) 技術導入のねらい

本作型は水稲、秋まきタマネギ等の品目との組合せが可能で、経営体の所得向上が期待できます。また、冬どり新タマネギは市場流通が少ないため、販売方法を工夫することで高単価が期待でき、小面積でも所得向上を図ることができます。

### (2) 技術の内容

#### ア 品種選定

セット栽培用の専用品種として「シャルム」(タキイ種苗)があり、F1品種のため球揃いも良く、東北でも適用可能です。また、秋まき栽培用の極早生品種に適用可能な品種が多く、特に「スーパーアップ」(アカヲ種苗)は肥大や収穫時期が早く、かつ高収量が得られる品種です。上記の他は、黄系品種では、「トップゴールド305」(タカヤマシード)、「アリオン」、「貴錦」、「浜笑」(いずれもカネコ種苗)等、赤系品種では、「レッドアロー」(カネコ種苗)が適用可能です。初めて栽培に取り組む場合は生産性が安定する「シャルム」の栽培をお勧めします。

#### イ セット球の育苗方法

##### (ア) ベンチ準備

ベンチ上に、農ビ等→給水マット→防根シートの順に重ね、ベンチに合うようにカットします。塩ビ管等とかん水チューブを設置します。播種したセルトレイを並べる前にマットを十分に湿った状態にしておきましょう。

##### (イ) 播種

全自動播種機等を使用して播種を行います。(10a分：65枚～70枚/448穴セルトレイ)播種後は十分に培土に水を含ませた後、十分に湿らせた状態のマット上に並べ、タイベックシートを被覆します(7～10日程度で発芽する)。50%程度の発芽を確認したら、タイベックシートを除去しましょう。

##### (ウ) 播種後の管理

かん水：1日2回程度かん水を行います。かん水回数やかん水時間は天候や生育に合わせて調整します。特にベンチの中央付近などは風が通りにくく、かん水量が多いと腐敗や欠株が多くなるため注意しましょう。

温度管理：気温は20～25℃を目安に管理します。晴天時は遮光率の低い遮光幕を活用するなどして温度が上がりすぎないように注意しましょう。

追肥：播種後7週後を目安に実施しましょう。追肥量はEC0.3ms/cm程度(資材：養液土耕3号15-15-15の場合4,000倍施用)が目安で、液肥混入機を使用してかん水同時施肥すると省力的に行えます。

その他作業：播種から1ヶ月以上経過すると、草丈が伸びて倒伏するため、15cm程度の草丈になるよう剪葉を行いましょ。その後も、草丈や倒伏具合をみて剪葉を行います。剪葉後や曇天が続く場合などは病害の発生が懸念されるため、適宜殺菌剤を予防散布しましょ。

セット球完成：半数以上のセット球の球径が1.7cm以上になった頃を完成時期としましょ（図1, 2、表1）。完成後は茎葉を除去し、かん水を停止して約1週間ベンチ上でセルトレイのまま乾燥させます。その後高温処理を実施しましょ。



図1 育苗ベンチでのセット球育成



図2 セット球完成時（スーパーアップ）

表1 品種が平均球径、目標球径以上割合に及ぼす影響(2019年郡山市)

品種	セルサイズ	平均球径 (mm) <sup>x</sup>	目標球径以上割合 (%) <sup>w</sup>	セット球 完成日 <sup>y</sup>	育成期間 (日)
シャルム		19.4±0.4 b <sup>z</sup>	31.6	6/18	98
スーパーアップ	288穴	20.5±0.5 a	61.7	6/12	94
貴錦		19.8±0.2 ab	48.3	6/16	98
シャルム		16.5±0.2	40.0	6/18	98
スーパーアップ	448穴	17.0±0.4	51.7	6/12	94
貴錦		16.7±0.3	55.0	6/13	96

<sup>z</sup> tukeyの多重比較検定により、アルファベット異符号間に5%水準で有意差あり。なお、検定は同一セルサイズ内で行った。

<sup>y</sup> セット球は2019年3月11日に播種し、完成の判断は、各区3反復のうち1反復以上で調査株の半数が目標球径(288穴は20mm、448穴は17mm)に達したときとした。

<sup>x</sup> 平均球径の数値は平均値±標準偏差。<sup>w</sup>: 目標球径以上割合はアークサイン変換後検定した。

#### ウ セット球の休眠覚醒処理

セット球の完成直後は植物生理学的には「自発休眠状態」にあり、そのまま定植しても萌芽しにくいいため、休眠覚醒処理を行います。具体的には、茎葉を切除したセット球をセルトレイのままハウス内に置き、日焼けを防ぐために十分な遮光を行い、35°Cを超えないように換気温度を設定した条件で、セット球の休眠覚醒のために3~4週間程度高温処理を行います。その後は日陰の涼しいところで保管し、7月下旬頃から2週間程度15°Cで低温処理を行うとさらに萌芽が早くなります(表2)。

表2 セット球貯蔵中の高温処理及び低温処理が萌芽率50%、90%に達するのに要する日数に及ぼす影響(2019年盛岡市)

温度処理	萌芽率50%・90%に達した日数(日)					
	スーパーアップ		貴錦		シャルム	
	50%萌芽	90%萌芽	50%萌芽	90%萌芽	50%萌芽	90%萌芽
高温処理なし	11.0	15.3	18.0	24.0	13.3	17.0
高温3週間	12.0	14.0	12.7	17.0	12.0	14.0
高温3週間+5℃	7.0	12.7	9.0	16.0	12.0	14.3
高温3週間+15℃	9.0	11.0	9.0	14.3	10.0	14.0
高温処理4週間					12.0	17.0
分散分析 <sup>2</sup>	*	**	**	**	**	*

注 高温処理は最高35℃に設定したパイプハウス内で行った。

<sup>2</sup>\*\*及び\*はそれぞれ1%および5%水準で有意であることを示す(n=3)。

### エ 機械移植前の再かん水

慣行のセット栽培では、手作業で移植を行うため大規模化が困難でした。そこで、育成したセット球をセルトレイのまま再かん水して芽出しを行い、市販の半自動型移植機を利用して移植します(図3, 4)。再かん水時にはまず半数程度のセット球が萌芽するまで液肥(資材例:養液土耕3号15-15-15)を施用し、その後は徒長を防ぐために水でかん水を行い、葉長が10cm程度になったところで移植を行います。さらに、定植直前にリン酸濃度1%の液肥(商品名:サンピプラス等)を培地に施用することで初期生育が促進され、増収が可能です(表3)。福島県浜通りの場合、8月6~10日頃から再かん水を行い、8月20~28日頃の定植が適期となります。

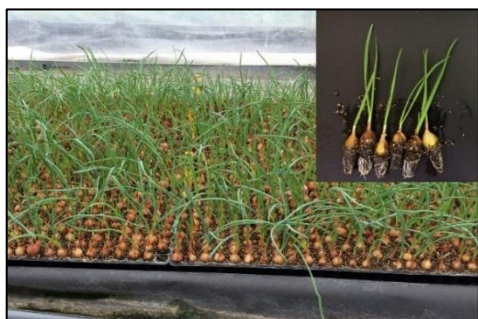


図3 定植直前の芽出し苗



図4 半自動定植機による定植の様子

表3 定植前リン酸施用の有無がりん茎収量に及ぼす影響<sup>2</sup>(2019年南相馬市)

処理区	収穫日 (月/日)	総収量 (kg/m <sup>2</sup> )	商品収量 <sup>x</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	りん茎重 <sup>x</sup> (g)	りん茎径 <sup>x</sup> (mm)	商品球率 <sup>xw</sup> (%)
リン酸施用	無	4.2	3.9	210	82.8	71.9
	有	4.6	4.4	223	84.2	83.3
t-検定 <sup>y</sup>		*	*	NS	NS	*

<sup>2</sup>448穴セルトレイで育成したセット球を定植した結果である。

<sup>y</sup>\*は5%水準で有意、NSは5%水準で有意でないことを示す(n=3)。

<sup>x</sup>りん茎径が65mm以上で、青立ちではなく、外部分球や腐敗のないものを商品球として測定した(実証試験におけるイオンへの出荷規格)。

<sup>w</sup>数値をアークサイン変換後にt-検定を行った。

## オ ほ場の準備と施肥

東北南部沿岸地域でのセット栽培は、定植後の生育期間が台風・長雨の時期と重なるため、できる限り排水の良いほ場を選択しましょう。定植適期（8月20～28日）に確実に定植を終えられるように、前作の片付け、排水性改善、土壌改良材や化成肥料等の準備、施用、畝立て・マルチ張り、除草剤散布等を計画的に行いましょう。施肥量計算に当たっては、地域のJAや農業振興普及部、普及所等に相談して、土壌診断を行いましょう。

セット栽培では収量を確保するためにベッド状の畝を立ててマルチ被覆する栽培方法を標準とします（表4）。栽植様式は、畝間150～160cm、畝幅90～100cm、株間11～12cm、条間24cm、4条植え、白黒ダブルマルチ被覆とし、栽植密度は20,000～23,000株/10aとなります。畝の高さは10～15cmを標準とし、排水性を確保しつつ乾燥しすぎない程度の高さにしましょう。

表4 マルチ被覆の有無が収量に及ぼす影響（2019年南相馬市）

区	12/10 収穫、12/17 調査				収量 <sup>z</sup> (t/10a)	<sup>z</sup> 栽植株数 (22,000株)、12/10 のりん茎肥大率、平均球重を用いて算出
	倒伏率 (%)	りん茎 肥大率 (%)	球重 (g)	球径 (mm)		
マルチ被覆	55.1	88.8	267.4	89.9	5.2	
マルチなし	26.0	91.4	162.4	76.4	3.2	

## カ 定植とその後の管理

定植作業は必ず適期（品種によって8月20～28日内の1週間程度）内に完了させましょう。セット球の定植には半自動移植機が利用でき、セルトレイは288穴でも448穴でも対応可能です。移植時の植付精度を落とさないためには、定植時の苗の葉長を10cm程度に伸ばしておき、育苗培土は湿った状態で定植作業を行い、育苗培土が土壌で隠れるくらいの適度な植付深さを保ちましょう。

定植時期は高温期であるため、定植直後に土壌が乾燥している時や降雨が見込めない場合は、かん水を行うと活着が促進されます。定植とかん水作業は気温が下がる午後～夕方に行います。

セット栽培のほ場栽培期間は夏～秋であり、生育期間は気温が高く、降水量の多い時期でもあるため、ほ場や周辺の除草は早めに行う必要があります。セット栽培では、定植後に使える除草剤の数が少ないので、定植前～定植直後に使える除草剤を効果的に使い、雑草量の多いほ場は避けることも重要です。ネギアザミウマ、ネギコガ、ベと病等の発生が見られることがあるので、薬剤散布等に対応しましょう。



## キ 収穫・乾燥・調製

11 月以降にりん茎が肥大し茎葉が倒伏した株がほ場全体の半分を超えた頃から収穫適期になります。ただし、定植後の気象経過や生育によっては倒伏が遅いまたは倒伏しない株が多い場合がありますので、肥大状況や降雪、降霜の予報を見ながら収穫時期を決めてください。収穫作業の流れは、①葉切り（チョッパーやトリマーで茎葉を切る作業）→②マルチ除去→③根切り（収穫機で作業）→④数日間ほ場で乾燥→⑤回収（ピッカーで作業）となります（図 5）。セット栽培に用いる品種は総じて茎等が柔らかく、収穫作業時に傷つきやすいので注意しましょう。根切り後のほ場乾燥は、収穫後の萌芽を減らすために収穫球をしっかりと乾燥させる目的で行います（表 5）。



図 5 葉切り → 収穫機で根切り → ピッカーで回収

表 5 収穫時の根切り処理が萌芽率に及ぼす影響（2019 年南相馬市）

区	球重 (g)	球径 (mm)	収量 <sup>z</sup> (t/10a)	萌芽率 <sup>y</sup> (%)
標準	206.2	81.9	3.8	28.3
根切り	185.8	79.4	3.5	18.3

<sup>z</sup> 欠株率 (6.4%)、規格外品率 (10.0%)、球重、栽植密度 (22,000 株/10a) より算出

<sup>y</sup> 貯蔵 1 ヶ月後に調査、りん茎部より 1cm 以上出葉をカウント

セット栽培の収穫物はいわゆる新タマネギをイメージした鮮度の良さが商品の売りとなりますが、実際の出荷に当たってはある程度乾燥しており、しっかりと調製、選別された状態が求められます。

乾燥処理は前述のほ場乾燥のみとするか、さらに乾燥が必要な場合はハウス内で一定期間風乾させましょう。調製、選別の作業工程は通常の新タマネギ生産と同様で、省力化と高速化を図るには調製・選別機の利用が効果的です（図 6, 7）。



図 6 調製機の活用



図 7 調製後のタマネギ

## 2-3 新技術の経済性と導入モデル

### (1) 導入モデルの策定にあたって

津波被災地域にある相双地方では、生産振興品目の一つにタマネギを掲げ、営農再開上の重要な品目です。タマネギ栽培は、秋まき移植栽培を主体としつつ、新技術（直播栽培やセット栽培）を取り入れることで収益性の向上が期待できます。

ここでは、相双地方においてタマネギ栽培（直播栽培、セット栽培、秋まき移植栽培）を取り組むことを念頭に、それらの経済性と水田作にタマネギ栽培を取り入れた場合の導入モデルを紹介します。

なお、ここでのセット栽培は、定植前の作業を分業化してセット球を購入する栽培体系としています。

### (2) 新技術の経済性

#### ア 収益性

各栽培方法の収益性について、表1に示しました。

直播栽培は、秋まき移植栽培と比較して、同等の単価や収量を期待でき、変動費の削減が可能です。また、投下労働時間は育苗や定植の作業が無くなることで、36%の削減につながります。

セット栽培は、秋まき移植栽培と比較して、収量はやや劣りますが、冬季の生食用新タマネギとして高単価での販売を期待出来る作型です。高い利益率を目指していますので、販路の開拓や価格の交渉等の取り組みも重要になります。セット球購入により変動費は高くなりますが、労働時間を抑えることが可能になります。

表1 収益性の比較

	(円/10a)		
	直播栽培	セット栽培	秋まき移植栽培
単価 (円/kg)	60	200	60
収量 (kg/10a)	5,000	4,000	5,000
売上高	300,000	800,000	300,000
交付金等	19,000	19,000	19,000
粗収益	319,000	819,000	319,000
変動費	114,506	496,297	123,829
限界利益	204,494	322,703	195,171
投下労働時間 (h/10a)	46.5	71.2	72.9

注1: 粗収益－変動費＝限界利益

注2: 変動費に労賃や地代は含まない

注3: 投下労働時間は延べ時間

## イ 変動費

各栽培方法の変動費について、表2に示しました。

直播栽培は、秋まき移植栽培との比較で8%の削減になります。主な理由は、諸材料費に含まれる育苗関連の費用削減です。一方、雑草が多いほ場の場合、農薬費等の増加要因になり得ることも考慮する必要があります。

セット栽培の種苗費が他の栽培方法と比較して最も多いのは、セット球の育苗と処理作業を分業化することで、育苗等で発生する諸費用が種苗費に上乘せされているためです。セット球は、供給体制も含めて地域的な取り組みが必要になります。集出荷・販売経費が高いのは販売単価の違いによるものです。

表2 変動費の比較

費目	(円/10a)		
	直播栽培	セット栽培	秋まき移植栽培
変動費	114,506	496,297	123,829
うち 種苗費	28,476	268,836	21,573
肥料費	28,868	25,559	26,060
農業薬剤費	9,761	7,194	13,795
光熱動力費	6,243	5,206	6,696
諸材料費	2,158	39,502	16,705
集出荷・販売経費	39,000	150,000	39,000

注：機械費および労賃は含まない

## ウ 労働時間

### (ア) 作業別の労働時間について

各栽培方法の作業別の10a当たり投下労働時間を表3に示しました。

直播栽培は、育苗関係の作業や移植作業が無くなるため、8月～11月にかけての労働時間の削減が可能です。

セット栽培は、セット球の受け渡しも含めて7月中旬以降の作業になります。セット球の育苗と処理の分業化により短期間で取り組めるようになります。

各栽培方法は、収穫時期以降の労働時間の割合が全体の5割以上を占めています。今後、タマネギ栽培の面積拡大や限られた労働力の中での栽培の取り組みを考える際は、収穫や選別に必要となる機械等の確保や活用が必要になります。

また、タマネギ栽培の場合、移植、収穫・運搬、調製・選別などの作業は、4人以上の組作業を必要としますので、労働力の確保が必要になります。



表3 作業別の投下労働時間

作業項目	直播栽培		セット栽培		秋まき移植栽培	
	(月旬)	(h/10a)	(月旬)	(h/10a)	(月旬)	(h/10a)
ハウス準備		-	7月中旬	1.9	8月中旬～下旬	1.9
セルトレイ播種		-		-	8月下旬～9月上旬	3.3
育苗管理		-		-	8月下旬～10月下旬	2.1
苗調整		-		-	9月下旬～10月中旬	2.4
堆肥散布	8月下旬～9月上旬	2.5	7月下旬	2.5	10月上旬～中旬	2.5
土壌改良資材散布	9月上旬	0.8	7月下旬	0.8	10月中旬	0.8
再かん水		-	7月下旬～8月中旬	0.6		-
耕起, 施肥	9月中旬	0.8	8月上旬	0.8	10月中旬～下旬	0.8
畝立て		-	8月上旬～中旬	2.2	10月下旬	1.2
移植		-	8月中旬～下旬	24.0	10月下旬～11月上旬	16.0
播種	9月下旬	0.8		-		-
除草剤散布	9月下旬 11月中旬 3月上旬	1.5	8月下旬 9月中旬 10月中旬	0.9	11月上旬 3月上旬 4月上旬	1.2
追肥, 中耕	2月中旬 3月上旬	1.8		-	1月下旬 2月下旬 3月下旬	2.1
病虫害防除	4月～6月	1.2	9月上旬～11月上旬	0.9	4月～6月	1.5
葉切り, 根切り, 掘り取り	6月下旬～7月上旬	1.6			6月下旬～7月上旬	1.6
収穫, 運搬	6月下旬～7月上旬	11.9	11月中旬～12月中旬	13.5	6月下旬～7月上旬	11.9
乾燥	6月下旬～7月中旬	3.0		-	6月下旬～7月中旬	3.0
調製, 選別, 出荷	7月上旬～下旬	20.6	11月中旬～12月下旬	23.1	7月上旬～下旬	20.6
合計		46.5		71.2		72.9

資料：2019年，作業記録及び聞き取りから作成

注1：中耕は直播栽培のみ

注2：投下労働時間は延べ時間

## (イ) 旬別の労働時間について

各栽培方法の10a当たりの投下労働時間を、1ヶ月を上旬・中旬・下旬に分けてまとめたものを表4に示しました。

表4 旬別の投下労働時間

		(h/10a)					
月旬		タマネギ			水稻		大豆
		直播栽培	セット栽培	秋まき移植	主食用米	飼料用米	
1月	上旬	-	-	-	-	-	0.2
	中旬	-	-	-	-	-	-
	下旬	-	-	0.7	-	-	-
2月	上旬	-	-	-	-	-	-
	中旬	0.9	-	-	-	-	-
	下旬	-	-	0.7	-	-	-
3月	上旬	1.5	-	0.3	-	-	-
	中旬	-	-	-	0.2	-	-
	下旬	-	-	0.7	0.4	-	-
4月	上旬	-	-	0.3	0.3	-	-
	中旬	0.3	-	0.3	1.1	0.3	-
	下旬	-	-	0.3	1.3	1.3	-
5月	上旬	0.3	-	0.3	1.7	0.9	-
	中旬	0.3	-	0.3	1.6	0.5	0.5
	下旬	-	-	-	0.5	0.3	1.4
6月	上旬	0.3	-	0.3	0.3	1.0	1.1
	中旬	3.8	-	0.3	0.3	0.9	0.8
	下旬	12.9	-	7.8	0.1	-	0.2
7月	上旬	7.0	-	14.6	0.3	0.2	0.2
	中旬	7.8	1.9	7.9	0.6	0.5	-
	下旬	5.6	3.5	6.8	0.4	0.4	0.6
8月	上旬	-	2.5	-	0.3	0.8	0.4
	中旬	-	16.9	1.9	0.6	0.3	-
	下旬	2.0	8.3	3.6	0.3	0.6	0.4
9月	上旬	1.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-
	中旬	0.8	0.3	0.3	-	0.3	0.4
	下旬	1.1	-	1.1	1.7	-	-
10月	上旬	-	0.3	3.1	1.7	0.6	-
	中旬	-	0.3	3.2	-	1.4	-
	下旬	-	-	15.5	-	0.6	-
11月	上旬	-	0.3	2.3	0.3	-	-
	中旬	0.6	4.8	-	-	0.3	0.8
	下旬	-	10.7	-	-	-	0.8
12月	上旬	-	10.7	-	-	-	0.6
	中旬	-	7.6	-	-	-	1.0
	下旬	-	2.8	-	-	-	0.3
合 計		46.5	71.2	72.9	14.1	11.3	9.7

資料：2019・2020年実績及び作業記録を基に作成し、比較用の水稻と大豆は2019年福島県経営指標を基に再構成したものを引用

注：投下労働時間は延べ時間

栽培期間は秋まき移植栽培がほぼ1年を通して作業があるのに対して、セット栽培は6ヵ月と期間の短縮になっています。水田作の水稲や大豆との組み合わせを考えた場合、タマネギの直播栽培は10月以降に収穫作業が入ってくる水稲や大豆との労働競合は生じ難いと言えます。セット栽培は大豆の収穫以降と競合するものの、水稲との組み合わせは良いと言えます。

## エ 固定資産

各栽培方法の固定資産（機械・施設）の取得価額等を表5に示しました。新技術は、秋まき移植栽培と比較して1割前後低くなっています。

また、タマネギ栽培で使用する機械・施設の多くは、水稲や大豆と共用することが可能です。それを示したのが図1で、後述するモデル（タマネギ直播と移植+水稲+大豆）の場合、使用する機械・施設の59.7%は、水稲や大豆と共用です。また、タマネギの直播と秋まき移植は、30.1%が共用できるものです。水稲+大豆の複合経営にタマネギ栽培を導入した場合、初期投資額の過半を抑えることが可能で、タマネギの各栽培方法の併用もしやすいと言えます。

表5 固定資産の取得価額と減価償却費 (円)

	直播栽培	セット栽培	秋まき移植栽培
取得価額	15,883,000	16,325,000	17,801,000
減価償却費 (修繕費含む)	4,263,933	4,343,207	4,849,480

注：取得価額は調査先の固定資産台帳等を基に圧縮後価額で単純集計

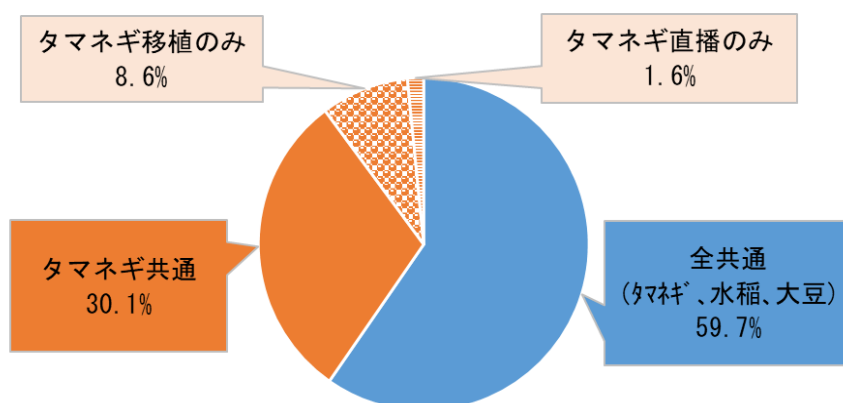


図1 タマネギで使用する機械・施設の共有率

注：金額ベース。直播・移植併用モデル（タマネギ+水稲+大豆）の場合

タマネギの各栽培技術で使用する機械・施設を表6に示します。

表6 タマネギ栽培で使用する機械および施設

* 名称	能力等	直播栽培	セット栽培	秋まき移植栽培
* トラクタ	22PS、54PS	○	○	○
* ブロードキャスト	500L	○	○	○
* ロータリ	2m	○	○	○
* マニユアスプレッタ	800kg/10a	○	○	○
* 乗用管理機（ブームスプレーヤ）	散布幅9m～	○	○	○
畦形成ロータリ	1.8m		○	○
マルチャ	0.47m/s		○	
野菜播種機	420～720枚/h			○
剪葉機	刈幅1030mm		○	○
全自動移植機	乗用4条			○
半自動移植機	1.5～2.5h/10a		○	
畝立同時播種施肥機	4条	○		
カルチベータ	2条	○		
掘り取り機械一式	コンベア付	○	○	○
拾い上げ機械一式	ウェイト付	○	○	○
運搬車	—	○	○	○
* フロントローダ	—	○	○	○
調製・選別関係一式	7000個/時	○	○	○
乾燥機	40000kcal/h	○		○
* 灌水装置一式	—			○
* 育苗ハウス	6.3m×27m		○	○
* 軽トラック（2台）	—	○	○	○
* 2tトラック	—	○	○	○
* フォークリフト	2t	○	○	○
* 農舎	150m <sup>2</sup>	○	○	○

資料：調査先の固定資産台帳等から作成

注1：\*印は、水稻や大豆と共用できるもの

注2：畝立同時播種施肥機（うね内部分施用機、畝立同時多条播種機）、掘り取り機械一式（デガー、コンベア、根切り機、リーフカッター）、拾い上げ機械一式（収穫機、コンベア）、調製・選別関係一式（タッピングマシン、コンテナ傾斜台、搬入コンベア、ローラーコンベア、供給コンベア、選別機、仕上げ機）、かん水装置一式（タンク、ポンプ、かん水チューブ他）

### （3）導入モデル

以上の結果を基に、3つの導入モデルを作成しました。

導入モデルの比較対象は、水稻 30ha＋大豆 20ha、または水稻 30ha の水田作経営としました。

ア 秋まき移植導入モデル【タマネギ秋まき移植＋水稲＋大豆】  
 水稲と大豆の水田作に、タマネギ秋まき移植を導入したモデルです。  
 夏場の余剰労働力を活かして2割程度の所得向上が図られます。

表7 モデルの収益性

	秋まき移植 導入モデル	比較 (水稲＋大豆)
経営面積 (ha)	53.1	50.0
うちタマネギ移植	2.1	
主食用米	15.0	15.0
飼料用米	17.0	15.0
大豆	19.0	20.0
売上高 (万円)	3,091	2,464
交付金等	2,741	2,577
粗収益 (万円)	5,831	5,040
変動費	2,388	2,074
限界利益	3,443	2,966
臨時雇用賃金	230	124
固定費	1,652	1,505
所得	1,561	1,337
年間労働時間 (h)	7,411	5,752
うち常時従事者	5,113	4,508
臨時雇用者	2,298	1,244

注1：粗収益－変動費＝限界利益

注2：限界利益－臨時雇用賃金－固定費＝所得（労働報酬）

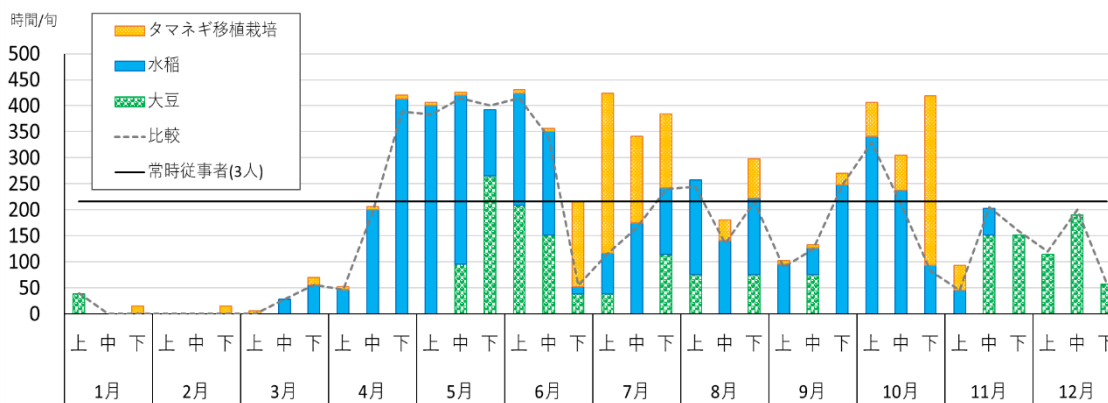


図2 旬別の労働時間

表8 モデルの前提条件

収量：5 t /10a、単価：60円/kg

労働力：常時従事者3人、臨時雇用者3人

1人1旬当たりの可能労働時間：72時間（8時間×9日）

イ 直播・移植併用モデル【タマネギ（直播+秋まき移植）+水稲+大豆】

水稲と大豆の水田作に、タマネギ直播と秋まき移植を併用したモデルです。

秋まき移植栽培に直播栽培を組み合わせることで、4月～7月を中心に労働時間の平準化を図り、2割以上の所得向上が図られます。

表9 モデルの収益性

	直播・移植 併用モデル	比較 (水稲+大豆)
経営面積 (ha)	53.7	50.0
うちタマネギ直播	1.1	
タマネギ移植	1.6	
主食用米	15.0	15.0
飼料用米	17.0	15.0
大豆	19.0	20.0
売上高 (万円)	3,270	2,464
交付金等	2,751	2,577
粗収益 (万円)	6,022	5,040
変動費	2,452	2,074
限界利益	3,570	2,966
臨時雇用賃金	242	124
固定費	1,665	1,505
所得	1,662	1,337
年間労働時間 (h)	7,558	5,752
うち常時従事者	5,133	4,508
臨時雇用者	2,424	1,244

注1：粗収益－変動費＝限界利益

注2：限界利益－臨時雇用賃金－固定費＝所得（労働報酬）

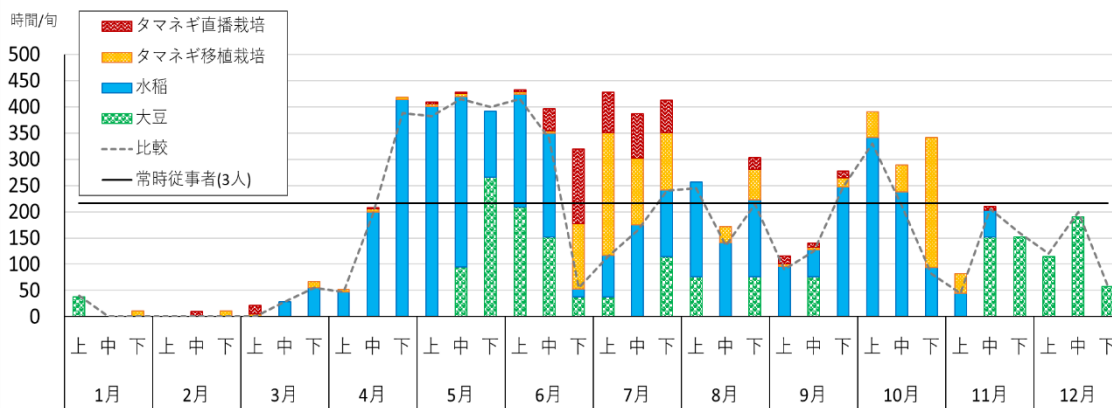


図3 旬別の労働時間

表10 モデルの前提条件

収量：5 t /10a、単価：60円/kg

労働力：常時従事者3人、臨時雇用者3人

1人1旬当たりの可能労働時間：72時間（8時間×9日）

ウ セット栽培・移植併用モデル【タマネギ(セット栽培、秋まき移植)＋水稻】

水稻作に、セット栽培と秋まき移植を併用した導入モデル。

秋まき移植栽培にセット栽培を組み合わせて導入することで、複合経営に切り替えて3割以上の所得向上が図られます。8月や11～12月の余剰労働力の活用も期待出来ます。

表 11 モデルの収益性

	セット・移植 併用モデル	比較 (水稻)
経営面積 (ha)	31.8	30.0
うちセット栽培	0.3	
秋まき移植	1.5	
主食用米	15.0	15.0
飼料用米	15.0	15.0
売上高 (万円)	2,653	1,963
交付金等	1,414	1,380
粗収益 (万円)	4,067	3,343
変動費	1,745	1,411
限界利益	2,322	1,932
臨時雇用賃金	97	58
固定費	1,449	1,306
所得	776	568
年間労働時間 (h)	5,119	3,812
うち常時従事者	4,148	3,228
臨時雇用者	971	584

注1：粗収益－変動費＝限界利益

注2：限界利益－臨時雇用賃金－固定費＝所得（労働報酬）

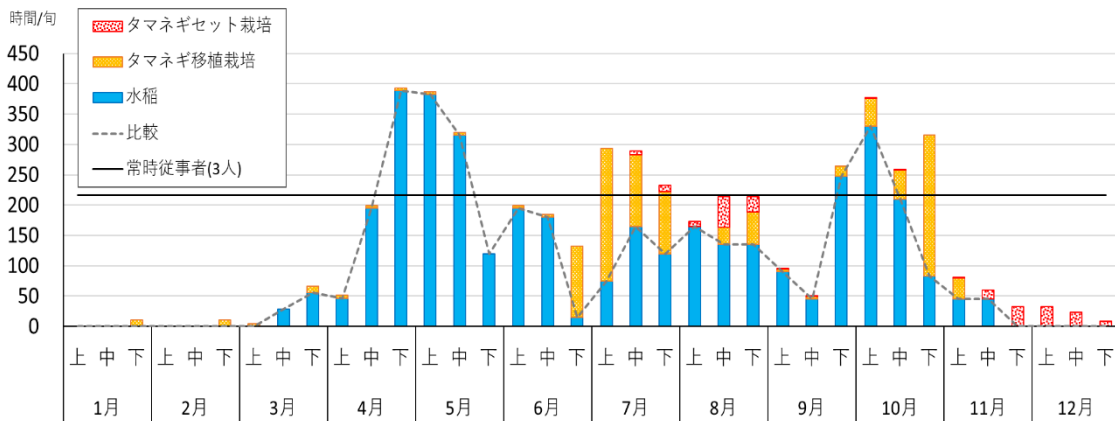


図 4 旬別労働時間

表 12 モデルの前提条件

収量：4 t /10a、単価：200円/kg

労働力：常時従事者3人、臨時雇用者3人

1人1旬当たりの可能労働時間：72時間（8時間×9日）



## 第3章 大規模露地野菜の効率的管理を支援する諸技術

### 3-1-1 衛星画像を用いたほ場水分の見える化

#### (1) 技術導入のねらい

ほ場の水はけや保水力（土壌排水・保水性）は、野菜の生育に影響を与える重要な要因です。大規模露地野菜の栽培管理において、広域的な土壌排水・保水性の分布を把握しておけば、作物ごとの栽培に適したほ場の選定や、作業計画の作成などの際に、非常に役立つと期待できます。しかし、土壌排水・保水性を調べるには、時系列でほ場の土壌水分を測り、その変化のパターンを調べる必要があります。手作業で広域的に行うには大変な時間、労力がかかってしまいます。

本プロジェクトでは、人工衛星の画像データを解析することにより、広域エリアの土壌水分を時系列で把握し、ほ場単位で土壌排水・保水性を評価し、マップ化する技術を確立しました。マップはWebシステムとしてホームページで閲覧可能にし、さらに最新の衛星データを自動的に取り込んで解析処理を行い、ほ場のさまざまな情報をリアルタイムに更新・表示できるようにしました。市町村単位、JA単位といった広域的、継続的なモニタリングが可能であり、利用者はリアルタイムで最新データを見ることにより、作業管理、ほ場管理に役立てることが出来ます。

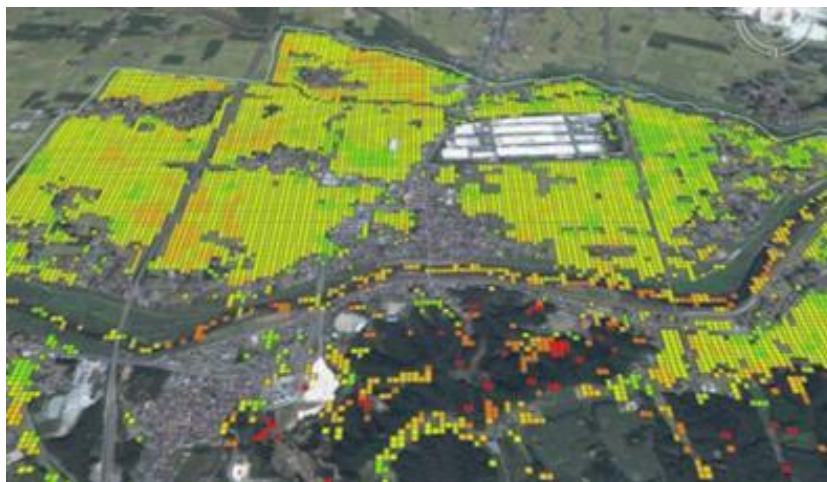


図1 土壌排水・保水性マップによる見える化のイメージ

人工衛星からのタイムリーな情報をサーバーに蓄積し、ユーザーはホームページを介して蓄積された種々の情報を閲覧できる。

## (2) 技術の内容

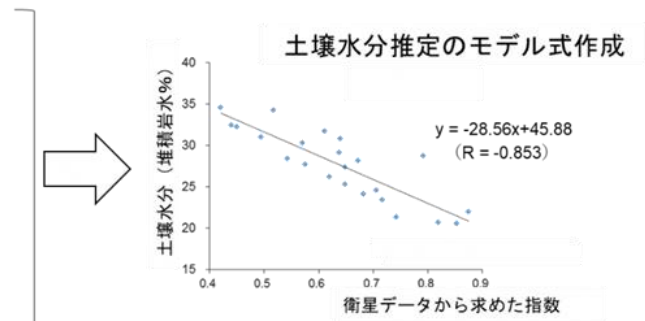
### ア 使用した衛星データ

土壌の排水・保水性は、降雨前後の土壌水分の変化量や、降雨後の土壌水分の減少量など、時系列の土壌水分変化のパターンにより調べることが可能です。衛星データを用いた土壌水分の推定は過去にも試みられてきましたが、従来のランドサット衛星などは回帰日数（同じ地域を撮影する間隔）が長く、時系列変化をとらえにくいという課題がありました。

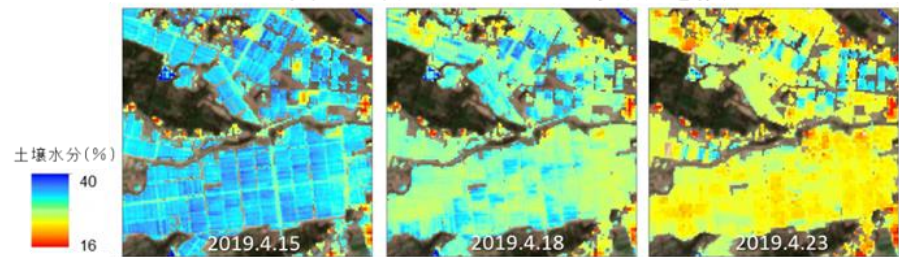
本技術では、近年 ESA（欧州宇宙機関）により打ち上げられ、データがインターネット上で無償で公開されている Sentinel-2 衛星を用いています。Sentinel-2 は解像度が 10~20m と高いため、ほ場単位といった細かいスケールで計測ができます。さらに、3~5 日おきという高頻度でデータを得ることができるため、ある一時期の土壌水分の値だけでなく、時系列の水分変化のパターンまで細かく調べることが可能です。

### イ 排水・保水性マップ作成

衛星データを用いた排水・保水性マップ作成の流れを図 2 に示します。まず、実際にほ場で測定した土壌水分と、同じ日、同じ地点の Sentinel-2 衛星データを解析し、土壌水分を高い精度で推定するモデル式を作成しました。この式を用いて、時系列の衛星データから土壌水分を求め、広域の時系列土壌水分マップを作成しました。次に、降雨の直後の水分量や、降雨からの日数の経過にともなう水分減少量から、排水・保水性を求め、広域の排水・保水性マップを作成しました。マップは農林水産省が提供している農地ポリゴンを利用し、ほ場単位で平均して表示しました。作成エリアは宮城県仙台市～福島県広野町にわたる沿岸域のうち、農地ポリゴンの整備されているエリアとしました。



時系列の衛星データから土壤水分を推定



ほ場単位で集計 (農林水産省の農地ポリゴンを利用)

時系列土壤水分マップ



水分変化のパターンから排水性・保水性を求める

排水性・保水性マップ

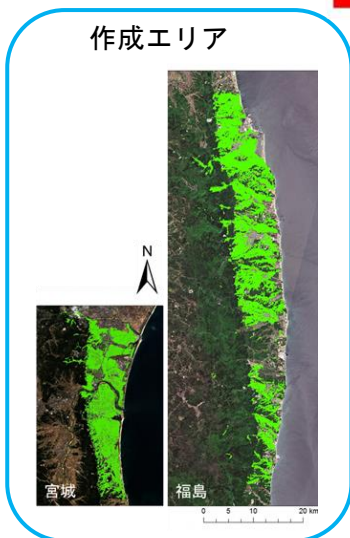
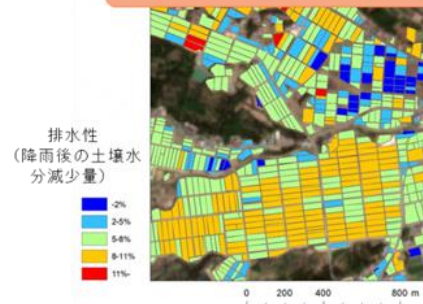


図2 土壤排水・保水性マップ作成手順

### ウ Web システムの開発

イの手順で作成したマップについて、その共有化・高度化を図るため、Web システムを開発し、ホームページ上でマップを閲覧できる環境を整えました。その手順を図3に示します。ホームページでは、排水・保水性だけでなく、長期的な時系列の土壌水分推定値をほ場ごとに表示し、水分変化のパターンが見られるようにしました。さらに、インターネット上で順次公開されている最新の衛星データを自動的に取り込んで解析処理を行い、ほ場の土壌水分の情報をリアルタイムに更新・表示できるようにしました。併せて、作物の状態の把握に役立つ植生指数 (NDVI) も同時に衛星データから計算、マップ化し、リアルタイムで閲覧できるようにしました。

ホームページで公開したマップの一例を図4に、Web コンテンツの一覧を表1に示します。1km メッシュ農業気象データを取り入れ、クリックしたほ場の降水量、土壌水分推定値及び NDVI を、時系列のグラフとして表示する機能を実装しました。

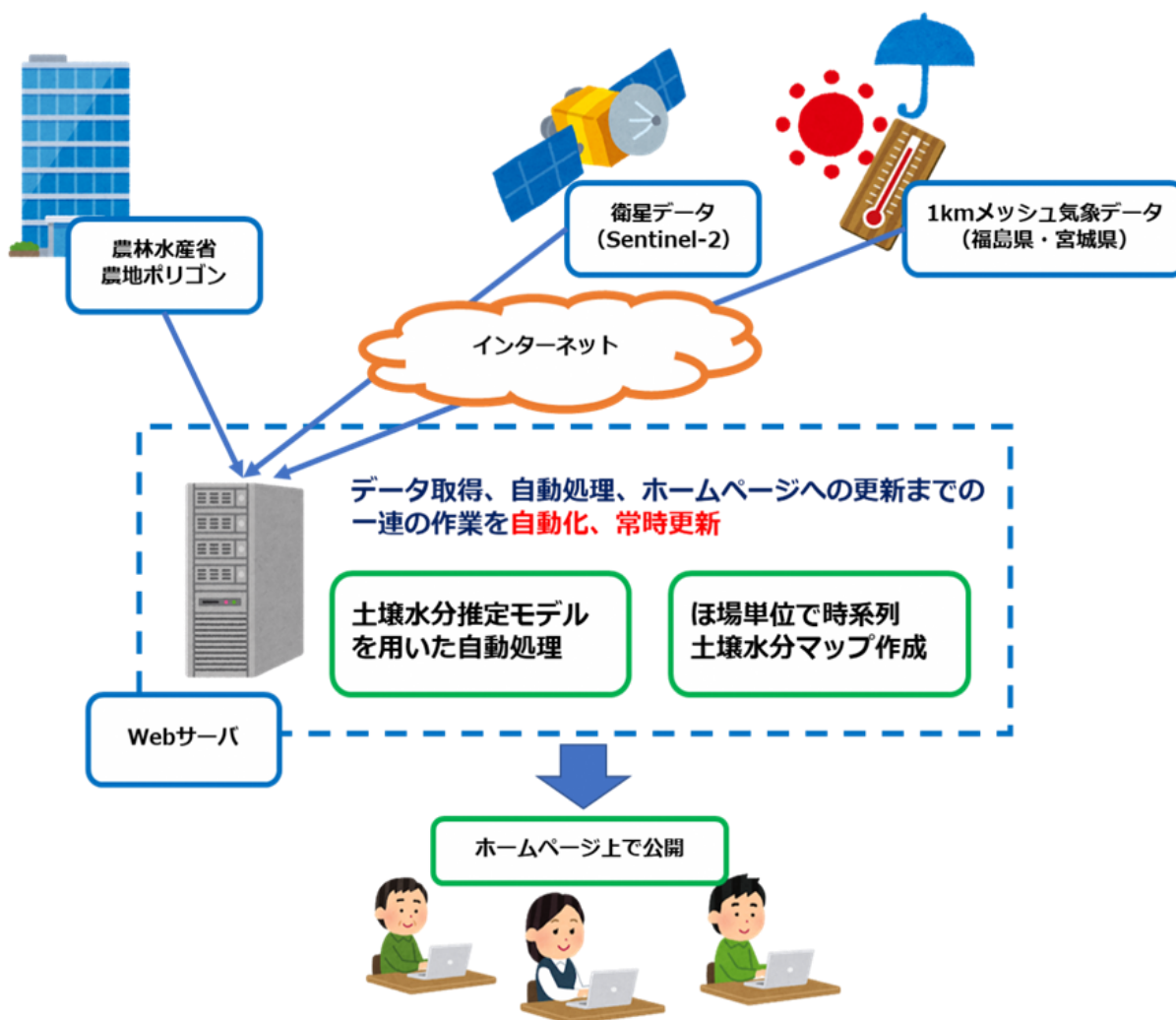


図3 Web システムコンテンツ一覧



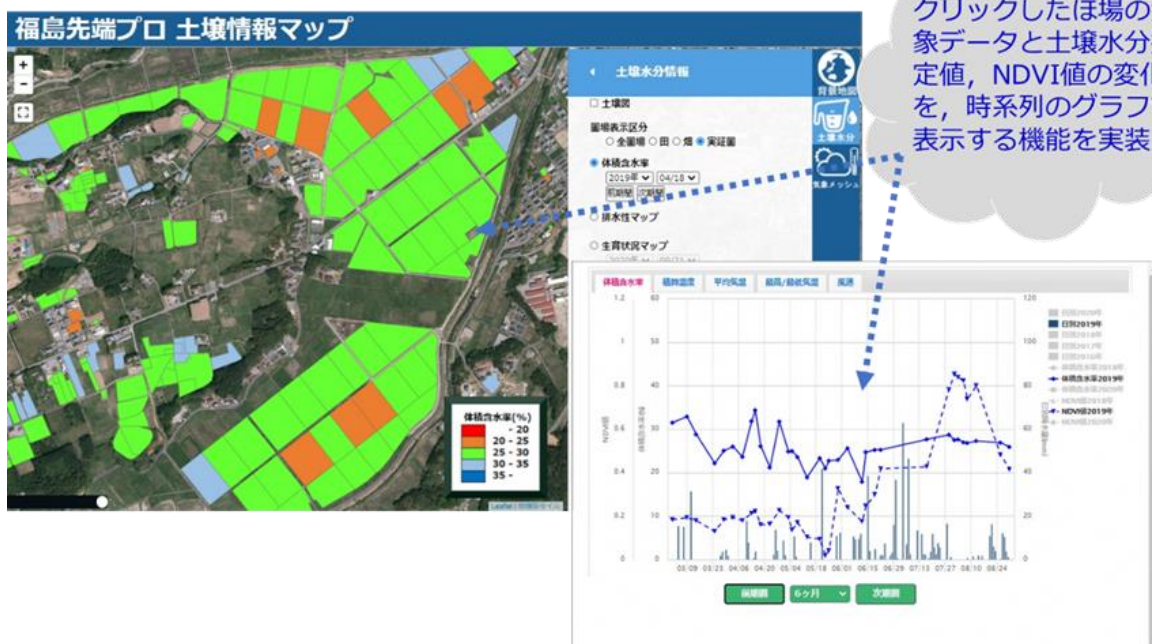


図4 ホームページ上で公開した土壌水分マップ

表1 Web システムコンテンツ一覧

マップ表示項目 (広域)		
名称	更新間隔	使用データ
土壌排水性	—	衛星画像・農地ポリゴン
土壌保水性	—	
土壌水分	5日周期	
植生指数 (NDVI)	5日周期	
気温 (平均・最高・最低)	毎日	1kmメッシュ農業気象データ
日射量	毎日	
降水量	毎日	
風速	毎日	
土壌図	—	農研機構 e土壌図
グラフ表示項目 (圃場別)		
名称	更新間隔	使用データ
土壌水分	5日周期	衛星画像・農地ポリゴン
植生指数 (NDVI)	5日周期	
気温 (平均・最高・最低)	毎日	1kmメッシュ農業気象データ
積算温度	毎日	
日射量	毎日	
降水量	毎日	
風速	毎日	

### 3-1-2 電磁波を用いた下層土のほ場水分の見える化

#### (1) 技術導入のねらい

ほ場表層の排水性を改良するには、排水不良の原因を究明し適切な対策を施す必要があります。特に、東日本大震災の津波の影響を受けている沿岸平野部では、浜堤や後背湿地が存在するため、下層土の土壤水分の状態を把握し、硬盤（耕盤）形成の有無に応じた改良対策が必要になります。そこで、電磁波計測を用いて土壤水分の状態を可視化し、適切な排水対策技術を選択することによって、土壤水分の面からほ場の効率的な管理や野菜生育の安定化を図ることができます。

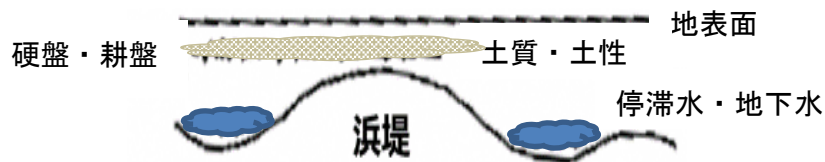


図1 地表面の排水性に影響する下層土の状態（イメージ）

#### (2) 技術の内容

電磁波計測とは、電磁誘導現象を利用して地盤中の土壤溶液の塩分濃度や土壤水分量等を反映した見かけの電気伝導度（以下 ECa）を測定する方法です。土壤塩分濃度が低いところであれば、ECa を測定することで土壤水分量を知ることができます。

そこで、電磁波計測装置として、携帯型の土壤電気伝導度測定器 EM38-MK2 を水平モードで使用することにより、ほ場の作土下 35cm、75 cm までの 2 段階の深さ別に水分マップを作成することができます。これまで深さ別の土壤水分を点で測定することは容易にできましたが、それを面的に広げて調査することは困難でした。この電磁波の歩行計測を行うことで、数十 ha 規模の地域内を広範囲に、ほ場間・ほ場内の下層土の水分分



図2 電磁波計測器を用いた歩行計測（水平モード）による下層土の土壤水分計測（通常の歩行速度で、ほ場畦畔に沿って約15m間隔で往復しながら計測）

布を容易に把握することができます(図2,3)。なお、見かけのECaに差がある地点で土壌水分を実測してみると、ECaに応じて体積含水率に差があることを確認しています(図4)。

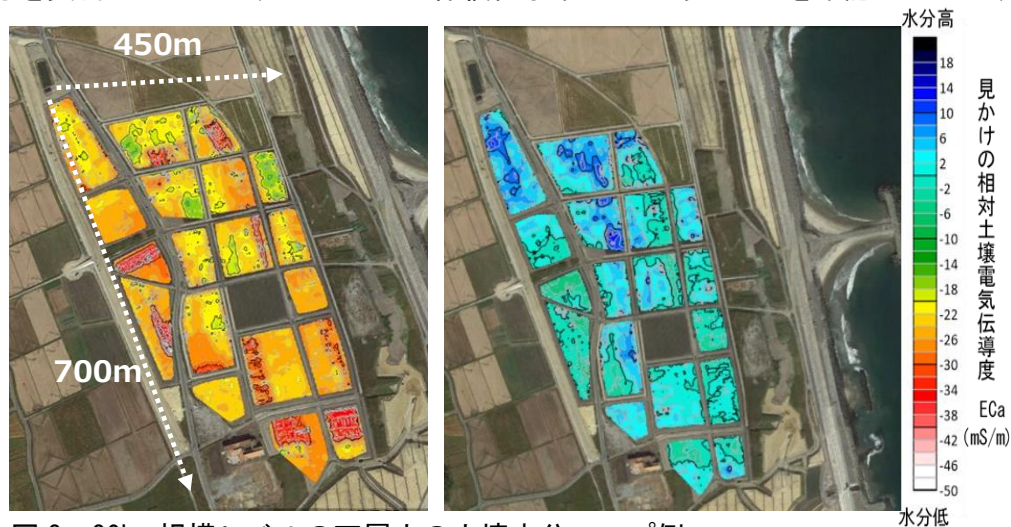


図3 30ha規模レベルの下層土の土壌水分マップ例  
(2020年1月10日, 宮城県山元町中浜, 左図35cm深, 右図75cm深)

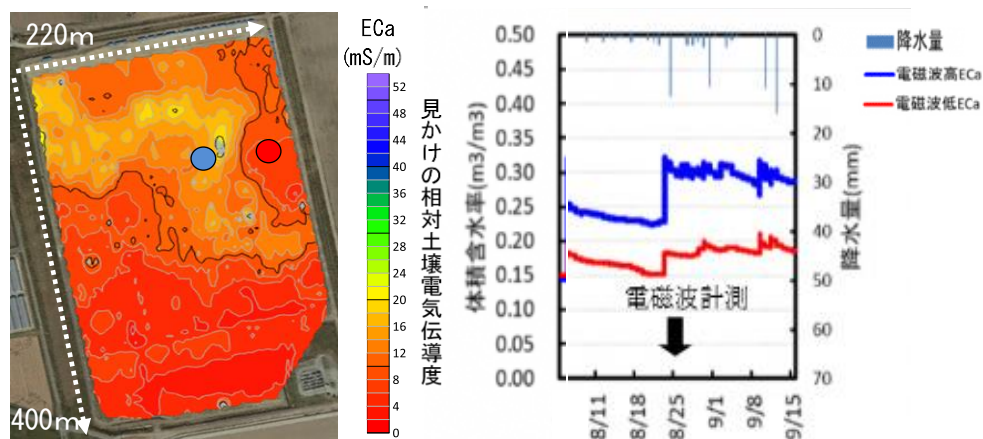


図4 水分マップ上の見かけのECaが高い地点と低い地点の土壌水分(実測)の推移(2019年8月26日計測, 35cm深)

ほ場表層の排水性が不良の場合、表層の水が縦(地下)方向、横(表面)方向に流れるように排水対策を施す必要があります。作土・心土層の土質・土性に加えて、硬盤(耕盤)の有無、下層土の地下水の状態を調べ、図5のフローチャートにしたがって排水不良の原因を究明することで、営農で排水の水みちを効果的に作るための対策法を選択することができます(図6)。

また、排水改良対策後の効果についても、電磁波計測によって確認することができます。図7に示すように、排水対策(カットドレーン)により表層の乾きが進み、一方で下層土の湿りが増えている事例のように、電磁波計測で縦浸透した水の動きを見ることができます。



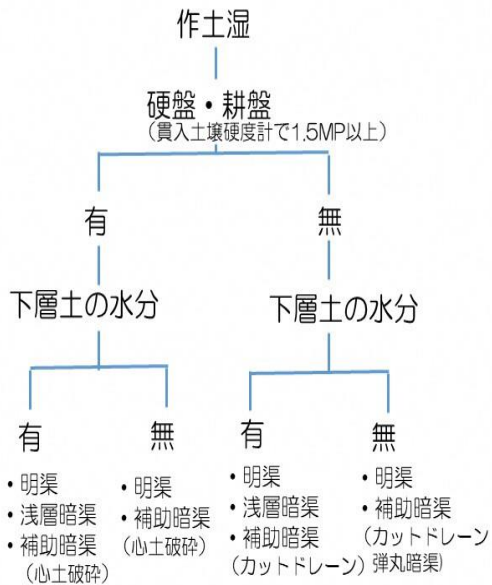


図5 排水対策フローチャート

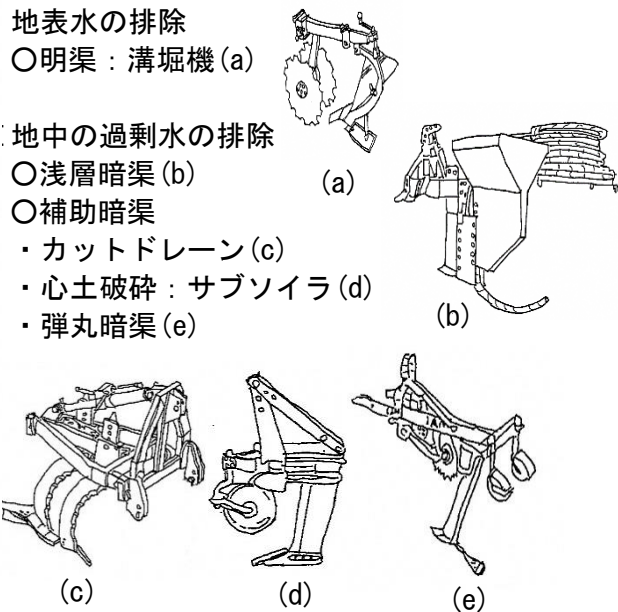


図6 営農でできる排水対策のための作業機械例

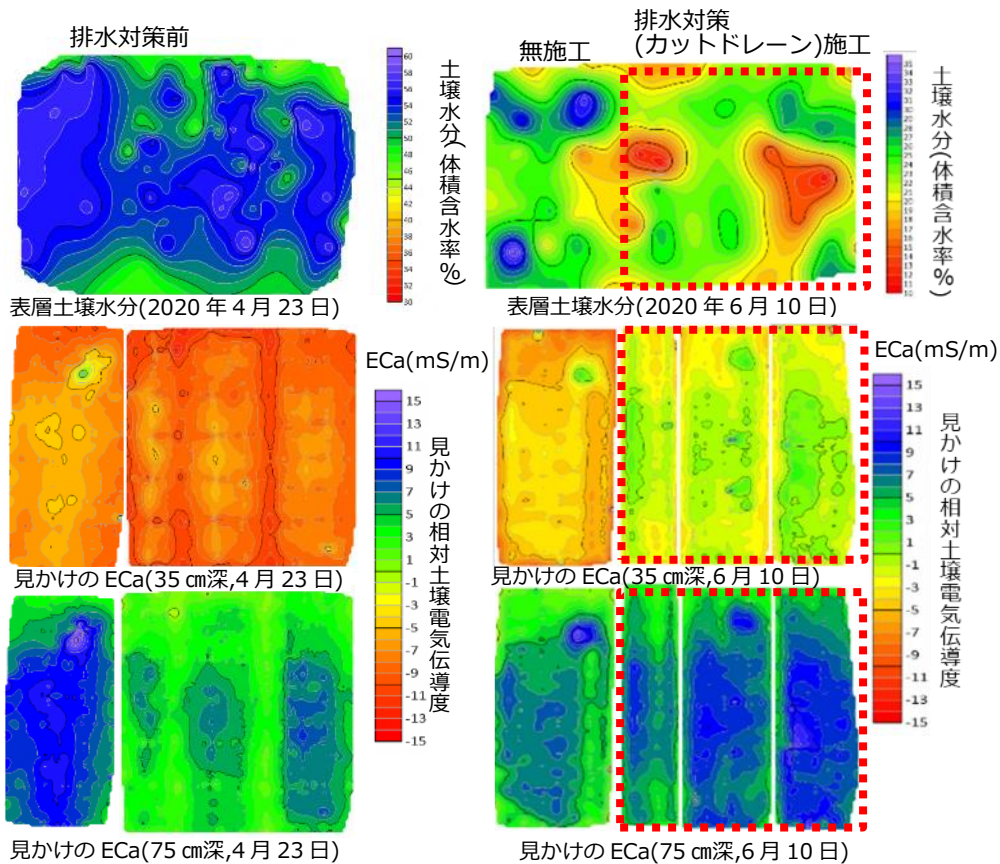


図7 電磁波計測を用いた排水対策後の効果検証の事例

排水対策(カッタドレーン)により水みちと通水空洞が形成され、表層の乾きが進んでいる一方、下層土の湿りが増している

### 3-1-3 ドローンを用いたほ場水分の見える化（表層土壌）

#### （１）技術導入のねらい

近年、無人航空機 UAV（通称ドローン）の発達・普及により、個人レベルで容易に空撮画像の取得が可能となってきました。ドローンによる1回の飛行で撮影できる範囲は数 ha～数十 ha と衛星画像より観測範囲は狭くなりますが、撮影したいタイミングで自由に空撮できること、ほ場の衛星画像が取得できない曇天日でも撮影できることなど、衛星画像にはないメリットがあります。最近では農薬散布用のドローンが普及しつつあり、マルチスペクトルカメラを装着することで生育解析との併用も可能です。

野菜ほ場で生育ムラが生じる要因はさまざまですが、その一つに土壌水分過多または不足による生育障害が挙げられます。ドローンを用いた空撮画像解析によりほ場表層の土壌水分を定量的に見える化することで、生育ムラの原因が土壌水分に起因するかどうか検討するための材料となります。本項では、その解析手法を紹介します。

なお、ドローンの飛行に際しては、飛行高度 150m 以下、人工密集地や空港周辺での飛行禁止（国土交通大臣の許可が必要）など航空法の規制を遵守する必要があります。

#### （２）技術の内容

##### ア 必要な機材・ソフトウェアについて

本項で紹介する解析手法では、下記の機材・ソフトを使用しています。

機材・ソフト	品名	使用用途	参考価格（円）
ドローン	DJI Phantom4	ほ場の空撮	21万 ※Phantom4 Pro価格
操作アプリ	DJI GS Pro	ドローン自動航行ルート設定	フリー ※制限あり
マルチスペクトルカメラ	MAPIR Survey3 (RGNモデル)	赤色・近赤外画像撮影	9万 ※メーカー直販。標準反射板、マウントなど付属品含む
画像処理ソフト	Agisoft Metashape	オルソモザイク処理	50～60万
画像処理ソフト	ImageJ	ピクセル値の取得	フリー
GISソフト	QGIS	ラスタ演算 メッシュポリゴン作成 地域統計	フリー



## イ 撮影方法

ここでは、50a を超えるほ場範囲について、あらかじめ飛行ルートを設定した自動航行により撮影を行う場合のポイントについて紹介します。



図1 Survey3 カメラを取り付けた Phantom4 (左) 及び付属品の標準反射板撮影画像 (右)

(ア) DJI GS Pro を用いた飛行ルートの設定で、オーバーラップ率は飛行経路上 90% 程度、飛行経路間 70%以上とします。飛行高度は 50m 程度とし、1 ピクセル当たり約 2cm の解像度を確保します (図 2)。Survey3 カメラでは、飛行高度がこれより低いと晴天日に日射の影響で画像に色ムラが生じる場合があります。撮影モードは「等時間間隔」とし、飛行速度が 10~11km/h 程度になるように設定します。

(イ) Survey3 カメラの撮影方法を Timelapse とし、撮影インターバルは 1~2 秒、シャッタースピードを晴天日は 1/500、曇天日は 1/250~1/100 に設定します (図 3)。

(ウ) Survey3 カメラでは、オルソ画像作成や反射率の計算に標準反射板の撮影が必須なので、ほ場撮影前後に標準反射板上空 5m 程度にホバリングし、撮影を行います。

### 撮影時の注意点

- ① 同一ほ場を経時的に撮影して比較する場合、飛行ルートや高度が変わると解析結果が変動する場合がありますので、できる限り変更しないでください。
- ② 晴天日の自動撮影中に一時的に日射が遮られるとオルソ画像に色ムラが生じるので、快晴あるいは曇天の日を選びましょう。なお、冬の曇天日は反射率が低くなるので、できるだけ正午付近の時間を選んで撮影します。
- ③ プロペラが劣化すると、飛行中にカメラの振動が大きくなるほか、最悪の場合墜落の原因になるので、定期的に新品に交換しましょう。

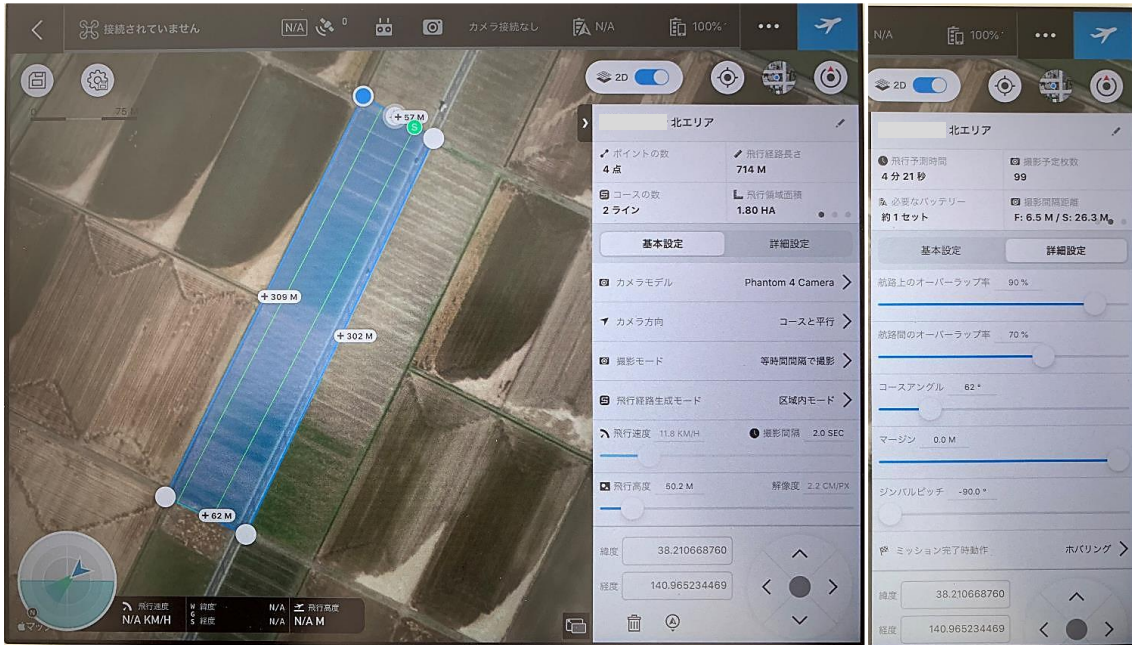


図 2 DJI GS Pro での飛行ルートの設定

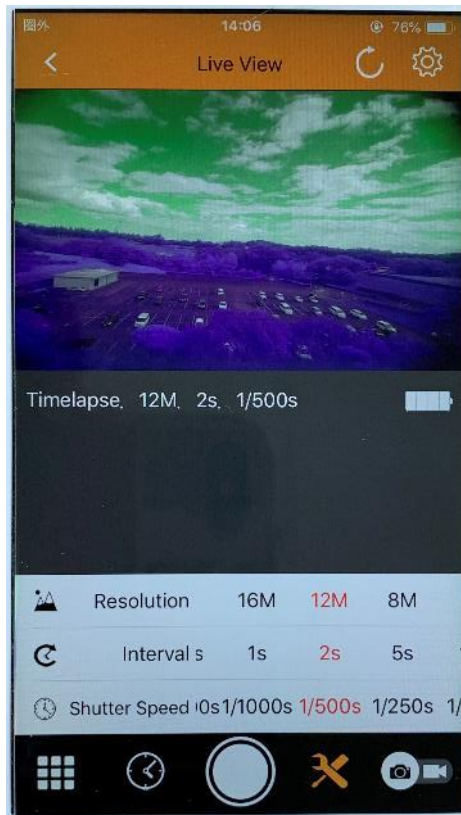


図 3 Survey3 カメラの撮影方法の設定

## ウ 解析方法

ここでは、マルチスペクトルカメラのオルソ画像から土壌水分マップを作成し、マップ上にポリゴンメッシュを作成して、各メッシュ内の土壌水分の平均値を求める手順を説明します。

(ア) マルチスペクトルカメラの撮影画像を画像処理ソフト (Metashape) に取り込み、オルソ画像を作成します。Survey3 カメラでは、ソフトに画像を取り込む前に標準反射板データを用いたキャリブレーションが必要です。

(イ) GIS ソフト (本項では QGIS2.18 を使用) で解析を行うため、作成したオルソ画像を GeoTIFF 形式で出力します。その際、座標系は投影座標系を選択します (以下の解析事例では UTM 座標系を使用しています)。

(ウ) GIS ソフトにオルソ画像を取り込み、ラスタ演算機能を使用して土壌水分マップを作成します。「ラスタ計算機」機能を使用し、回帰式を入力します (図 4)。「OK」をクリックすると土壌水分マップが出力されます (図 5)。なお、回帰式は土壌の種類によって異なると考えられるので、事前に実測し作成しておく必要があります (トピック 1 参照)。

(エ) その後の解析をしやすいように、「新規シェープファイルレイヤ」を選択し、解析対象ほ場上に任意のポリゴンメッシュを作成します (図 6)。この際、ポリゴンの座標系には、必ずオルソ画像と同じものを指定してください。ポリゴンの作成方法として、必要なポリゴンを全てマニュアルで作成する、大きなポリゴンを作成して分割する、あらかじめポリゴンのサイズを指定して自動で作成するなどの手法があり、解析対象に応じて選択します。ポリゴン ID が自動的に付与されるので、必要に応じて修正します。

(オ) QGIS2.18 では、「ラスタ」メニュー内の「地域統計」を使用し、各ポリゴン内の土壌水分の平均値を算出します。「ラスタレイヤ」に(ウ)で作成した土壌水分ファイルを指定し、統計量「平均」をチェックして「OK」をクリックすると、ポリゴンの属性テーブル内に平均値が出力されます (図 7)。また、その平均値に基づき、各ポリゴンを色分けして表示することができます。属性テーブルを全選択し、コピー&ペーストで表計算ソフトに貼り付けることができるので、植生指数など他の要素との関係を解析することが可能です。

ラスタ計算機

ラスタバンド

- Olsotest@1
- Olsotest@2
- Olsotest@3
- Olsotest@4

ラスタレイヤ

出力レイヤ: D:/MAPIR3/20200526Ido\_negl\_mura/試作水分マップ.tif

出力形式: GeoTIFF

出力CRS: 選択CRS (EPSG:3095, Tokyo / UTM zone 54N)

ラスタ演算式

$$-90.803 * \left( \left( \frac{\text{Olsotest@1}}{103} * 0.266 \right)^2 + \left( \frac{\text{Olsotest@3}}{108} * 0.279 - 0.0392 \right)^2 \right)^{0.5} + 43.535$$

D値の計算式  
 回帰式 体積含水率(%) = -90.803 \* D + 43.535

- 103: 標準反射板の可視赤バンドのピクセル値
- 0.266: 可視赤バンドの反射率(メーカー指定値)
- 108: 標準反射板の近赤外バンドのピクセル値
- 0.279: 近赤外バンドの反射率(メーカー指定値)
- 0.0392: ソイルラインの切片

※Survey3 カメラの場合  
 @1: 可視赤バンド  
 @3: 近赤外バンド  
 “Olsotest” はオルソ画像のファイル名(例)

付属標準板では、土壌の反射率に近いライトグレーを使用。

図4 QGISのラスタ計算機機能を利用した土壌水分(体積含水率)算出式の入力

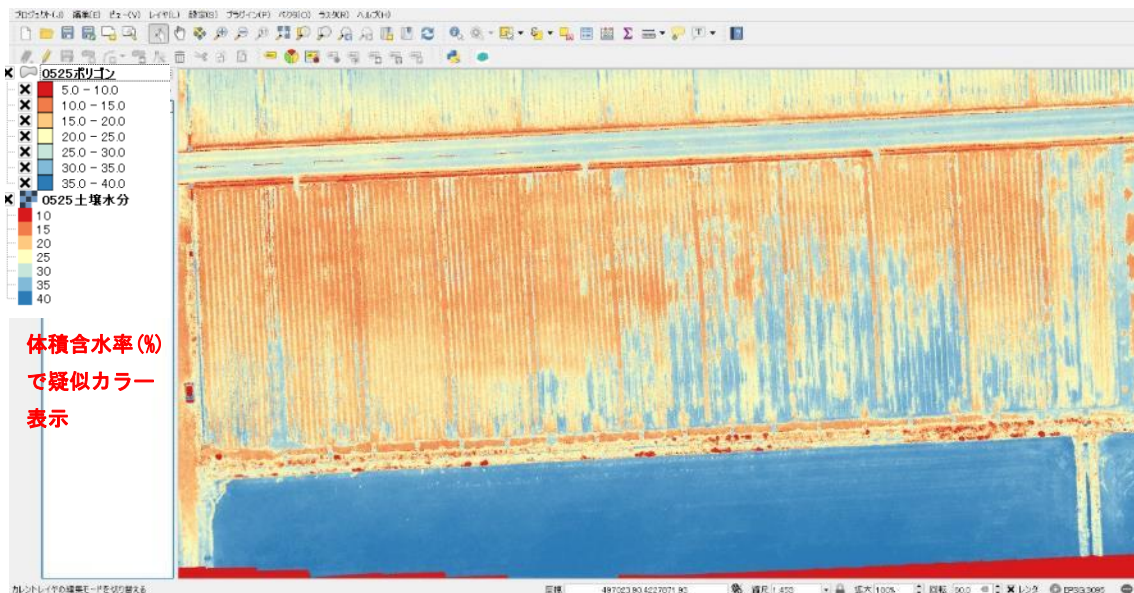


図5 作成された土壌水分マップ



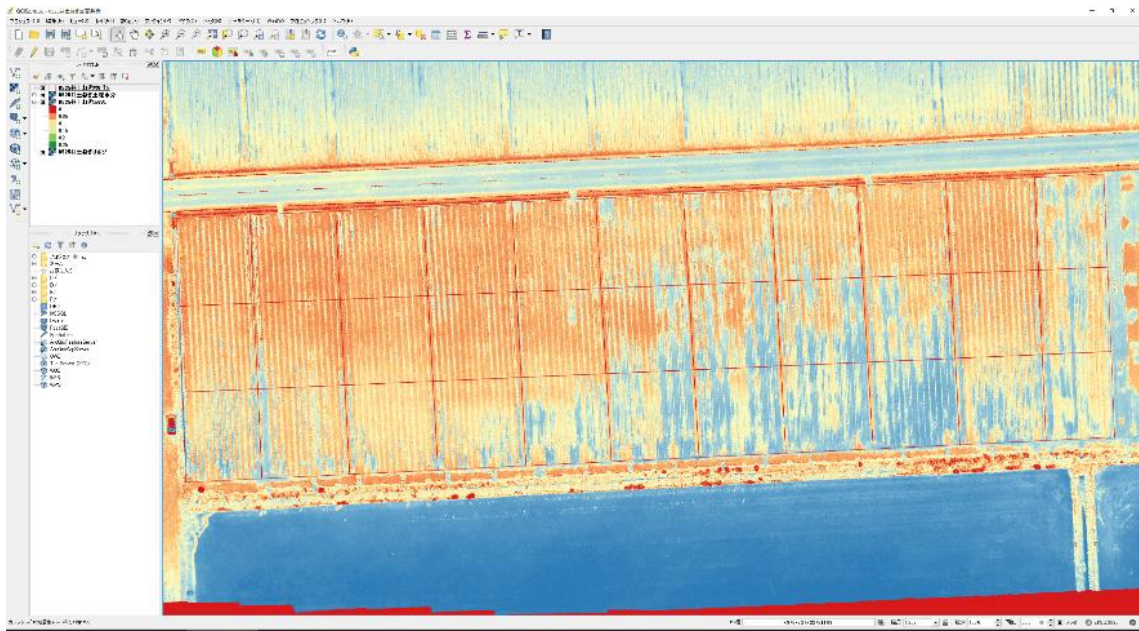


図6 土壌水分マップ上に作成されたポリゴンメッシュ

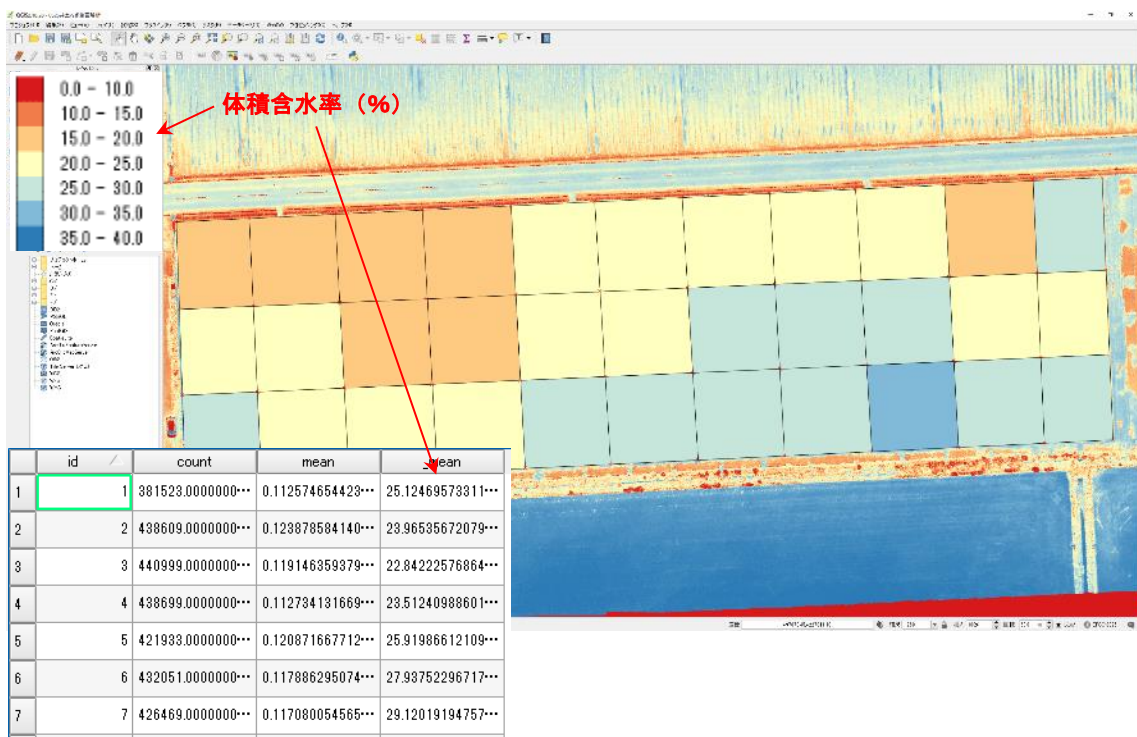


図7 土壌体積含水率に基づき色分けされたポリゴンメッシュ及び属性テーブルに表示された各ポリゴン内体積含水率の平均値



トピック 1 土壤空撮画像の赤色反射率及び近赤外反射率を用いた  
土壤水分マップ作成手法

## 土壤水分マップの作成手法

### 画像解析による土壤水分推定

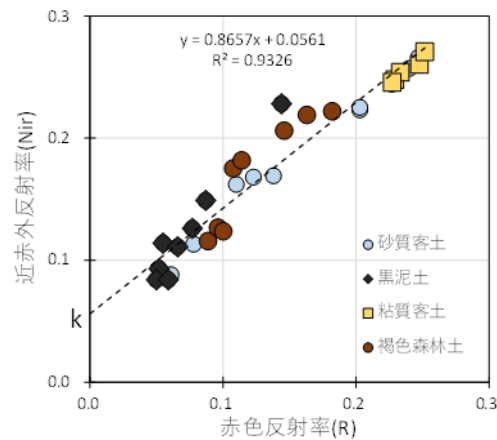
- 土壤の赤色反射率と近赤外反射率の回帰直線（ソイルライン）上の点と、回帰直線の切片との距離はD値と呼ばれ、土壤水分と負の相関があるとされている（池永ら、2007）。
- その関係を利用し、空撮画像から算出したD値と、体積含水率実測値との関係を調べた。

- 土壤タイプが異なる4か所のほ場での全ての空撮時において、赤色反射率と近赤外反射率はほぼ同一の回帰直線上に位置した。

- D値は下記により算出した。

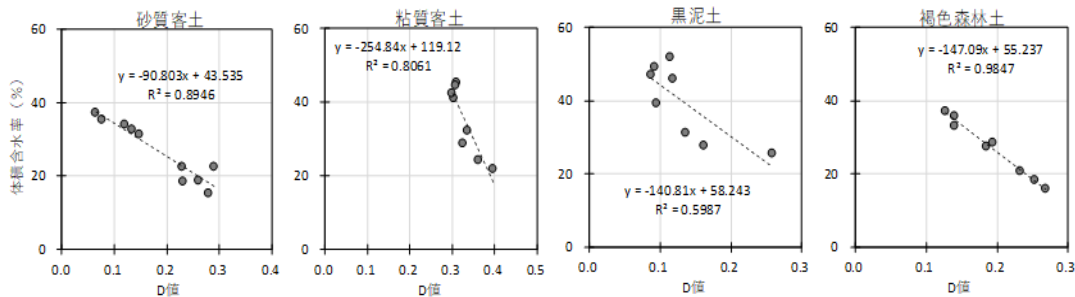
$$D = \sqrt{R^2 + (Nir - k)^2}$$

R: 赤色（650nm）反射率  
Nir: 近赤外（850nm）反射率  
k: ソイルラインの切片



土壤タイプが異なる4ほ場における土壤の赤色反射率と近赤外反射率の関係

## 土壤水分マップの作成手法



空撮画像から算出したD値と体積含水率実測値との関係

全ての土壤において負の相関関係が認められ、空撮画像の赤色反射率と近赤外反射率から、土壤表層の体積含水率が概ね推定可能と考えられた。この回帰式を用いてGISソフト上でラスタ演算を行い、土壤水分マップを作成できる。

※ただし、回帰式が土壤ごとに異なるため、土壤タイプが異なるほ場では別の回帰式を作成する必要があると考えられる。

### 3-1-4 ドローンを用いた野菜生育の見える化

#### (1) 技術導入のねらい

概ね 50a を超える面積のほ場では、地表面から全体を見渡すことが不可能で、ほ場内あるいは周辺を移動しながら観察する必要があります。一方、ドローンによる空撮では視覚的に全体をとらえることができ、ほ場の状況を一目で把握することが可能になります。さらに、植生指数として数値化することで、収穫前にほ場ごとの推定収量マップを作成したり、ほ場間やほ場内の生育のバラつき具合を数値的に比較したりすることが可能になります。加えて、植生指数マップを土壌水分マップや地力マップと併せて解析することで、生育ムラ発生原因を解明し、適切な対応策の選択に役立ちます。ここでは、空撮画像解析による植生指数マップの作成手法と、それを利用した解析事例をいくつか紹介します。

#### (2) 技術の内容

航空機や無人ヘリで撮影した画像をもとに植物の生育状況を解析するリモートセンシング技術では、生育診断の指標として、NDVI（正規化差植生指数）に代表される植物の近赤外反射を利用した植生指数が使用されてきました。近年、近赤外カメラの小型化が進んだことで、ドローンにおいても同様に植生指数画像を作成することができるようになってきました。

本事業でタマネギ、ブロッコリー、ネギの空撮画像解析を行ったところ、一般的な NDVI に比べて SAVI（土壌調整植生指数）のほうがより適切と考えられたため、本稿では SAVI を紹介します（トピック 2）。

なお、一般的なドローンに標準装備の光学カメラでも、生育ムラ発生状況を視覚的に把握することができますが（トピック 3）、植生指数を算出することでさらに定量的な生育評価が可能となります。

#### ア 必要な機材・ソフトウェアについて

「ドローンを用いたほ場水分の見える化」の（2）アと同じです。

#### イ 撮影方法

「ドローンを用いたほ場水分の見える化」の（2）イと同じです。土壌水分と関連させて解析する場合は、飛行ルートや飛行高度の設定も共通としたほうがよいでしょう。

## トピック2 土壌調整植生指数 (SAVI) について

### 植生指数を用いた露地野菜の生育・収量推定手法

#### 植生指数について

リモートセンシング技術を使用して植物の量や植被率などを精度よく推定するために、センサによって取得される少数バンドを用いた演算値（分光指数）が多用される。特に、赤Rと近赤外NIRの2バンドの反射率は植物に対する感度が高いため、これら2バンドを用いた指数が種々工夫されている。このような指標を一般に**植生指数**と呼ぶ。

(井上吉雄編著、リモートセンシング・GIS・GPS活用ガイド、森北出版)

もっとも一般的な植生指数が**正規化差植生指数** (Normalized Difference Vegetation Index)

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_r}{R_{nir} + R_r}$$

※  $R_{nir}$  : 近赤外の反射率、 $R_r$  : 赤の反射率



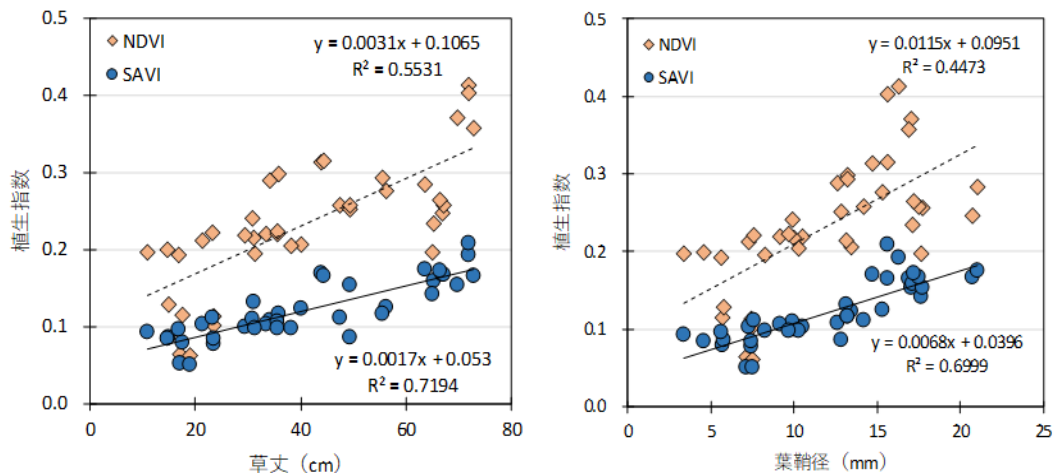
水稲リモートセンシング

植生指数はNDVIのほかにもさまざまな計算式が提案されているが、研究対象とした露地野菜ほ場において、**土壌調整植生指数** (Soil Adjusted Vegetation Index) がより適当であると考えた。

$$SAVI = (1 + L) \frac{R_{nir} - R_r}{R_{nir} + R_r + L}$$

※ L : 土壌に対する補正係数で、通常0.5が用いられる。

### 植生指数を用いた露地野菜の生育・収量推定手法



タマネギの草丈及び葉鞘径と各植生指数との関係

宮城農園研ほ場3回 (3/26、4/21、5/21)、南相馬市ほ場3回 (1/27、3/16、5/28) 及び仙台市ほ場2回 (4/9、5/17) の撮影日における測定値を併せて解析した。

タマネギの生育指標との相関は、NDVIに比べてSAVIのほうが高く、生育診断するためにより適当と考えられた。その他、ネギ、ブロッコリーについても同様の傾向であった。

## ウ 解析方法

ここでは、マルチスペクトルカメラのオルソ画像から植生指数マップを作成し、マップ上にポリゴンメッシュを作成して、各メッシュ内の植生指数の平均値を求める手順を説明します。

- (ア) マルチスペクトルカメラの撮影画像を画像処理ソフト (Metashape) に取り込み、オルソ画像を作成します。Survey3 カメラでは、ソフトに画像を取り込む前に標準反射板データを用いたキャリブレーションが必要です。
- (イ) GIS ソフト (本項では QGIS2.18 を使用) で解析を行うため、作成したオルソ画像を GeoTIFF 形式で出力します。その際、座標系は投影座標系を選択します (以下の解析事例では UTM 座標系を使用しています)。
- (ウ) GIS ソフトにオルソ画像を取り込み、ラスタ演算機能を使用して植生指数 (SAVI) マップを作成します。QGIS2.18 では、「ラスタ計算機」機能を使用し、図 1 のとおり計算式を入力します。「OK」をクリックすると SAVI 画像が出力されます (図 2)。

SAVI の計算式は下記のとおりです。L は土壌に対する補正係数で、通常 0.5 が使用されます。NIR は近赤外反射率、R は可視赤反射率を示します。

$$SAVI = (1 + L) \times \frac{NIR - R}{NIR + R + L}$$

- (エ) 「新規シェープファイルレイヤ」を選択し、解析対象ほ場上にポリゴンメッシュを作成します (図 3)。この際、ポリゴンの座標系には、必ずオルソ画像と同じものを指定してください。ポリゴンの作成方法として、必要なポリゴンを全てマニュアルで作成する、大きなポリゴンを作成して分割する、あらかじめポリゴンのサイズを指定して自動で作成するなどの手法があり、解析対象に応じて選択します。ポリゴン ID が自動的に付与されるので、必要に応じて修正します。
- (オ) 「ラスタ」メニュー内の「地域統計」を使用し、各ポリゴン内の SAVI の平均値を算出します。「ラスタレイヤ」に(ウ)で作成した SAVI ファイルを指定し、統計量「平均」をチェックして「OK」をクリックすると、ポリゴンの属性テーブル内に平均値が出力されます (図 3)。この値を使用して、土壌水分や地力との関係を解析できます。属性テーブルを全選択し、コピー&ペーストで表計算ソフトに貼り付けることが可能です。

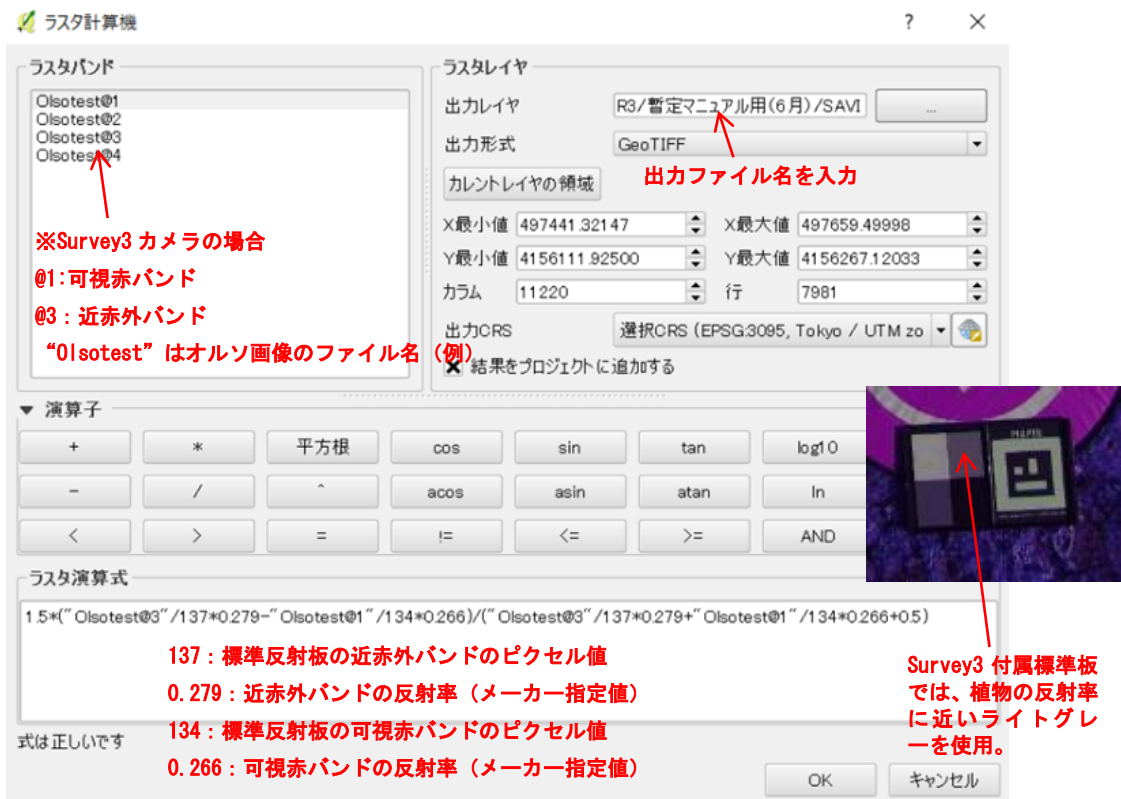
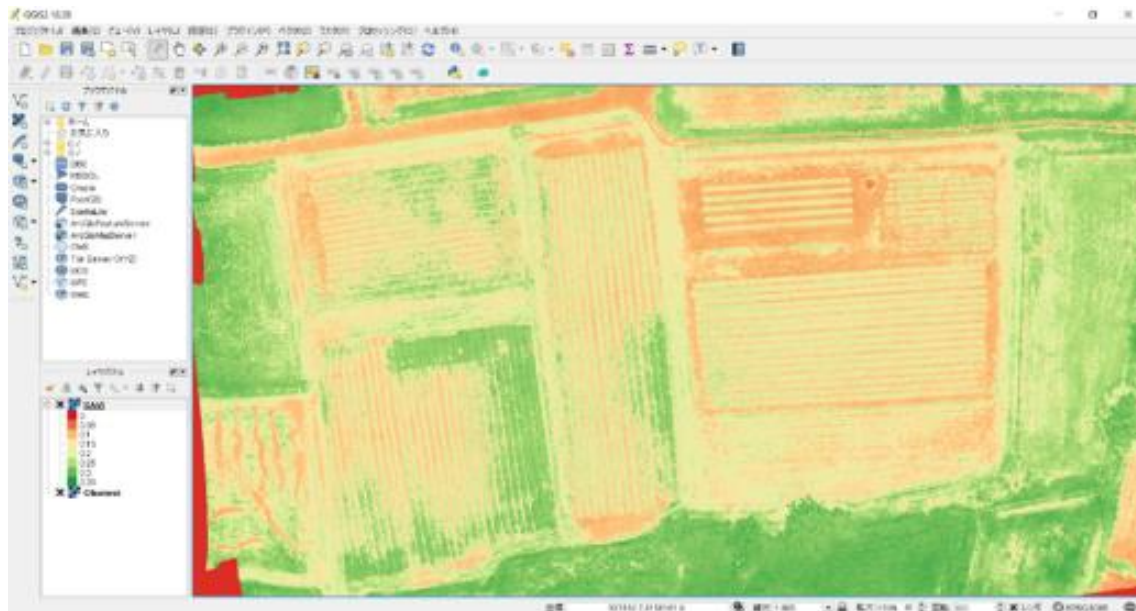


図1 QGISの「ラスタ計算機」機能を使用した計算式の入力





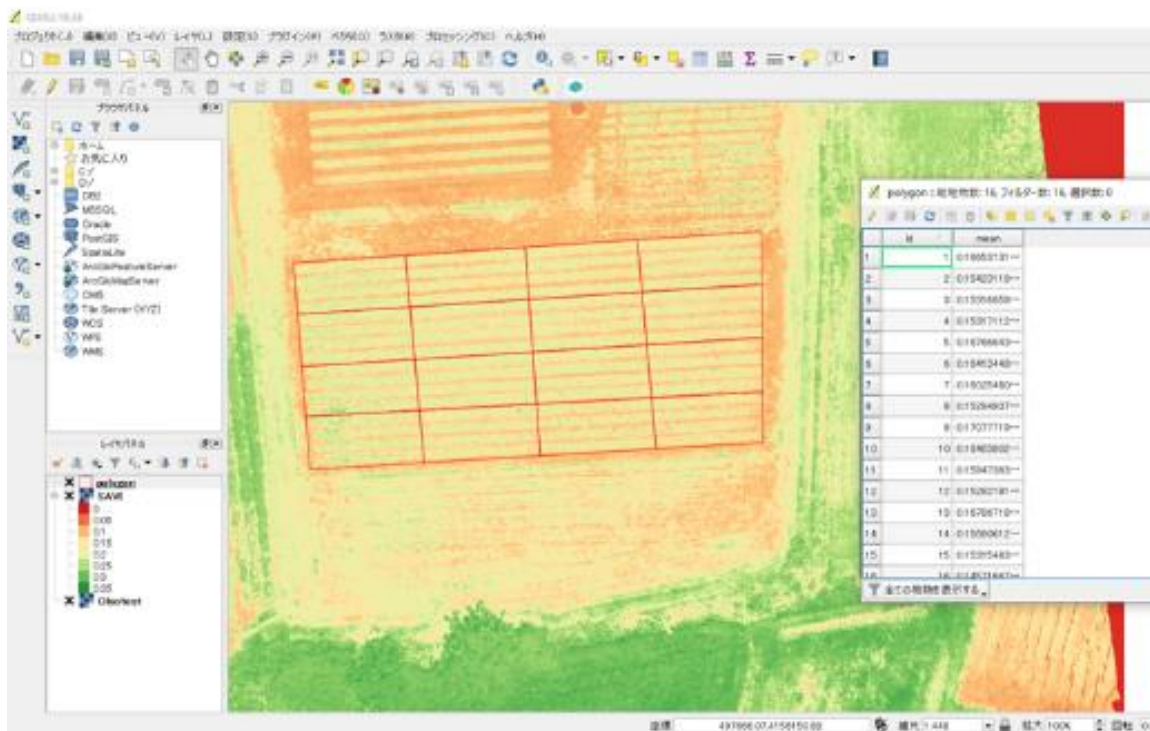


図3 植生指数 (SAVI) マップ上に作成したポリゴンメッシュ  
 ※ポリゴンメッシュの属性テーブルに各メッシュの SAVI 平均値が出力されている。

## エ 活用事例

植生指数マップを土壌水分マップや地力マップと併せて解析することで、生育ムラ発生原因を解明し、適切な対応策の選択に役立ちます。ここでは、植生指数マップを活用した解析事例をいくつか紹介します。

### (ア) ネギ推定収量マップの作成

植生指数と収量との相関式を作成しておくことで、ほ場ごとやポリゴンメッシュごとの推定収量マップが作成できます。収穫開始前に作成することで、収穫調整の作業計画や出荷計画の立案に役立つほか、収量の低い場所が特定できるので、次年度はあらかじめ改善策を講じておくなどの対策に活用できます。

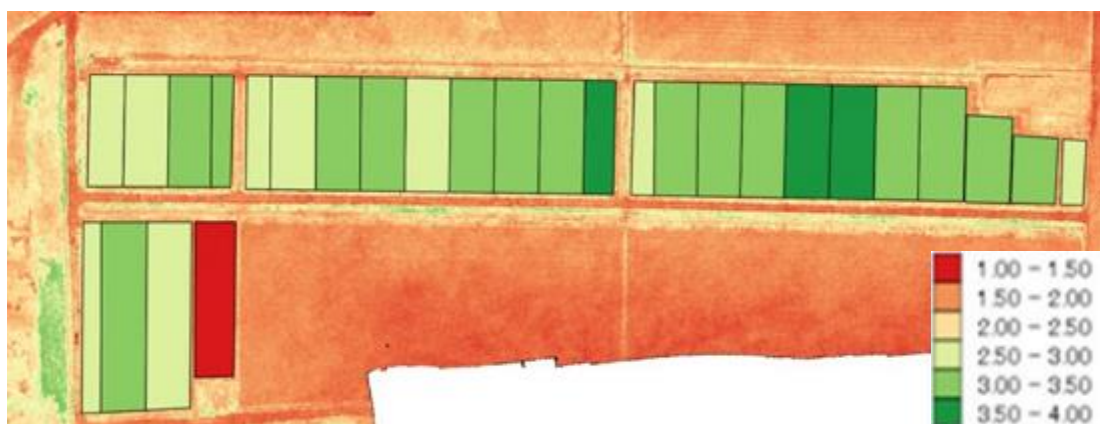


図4 ネギほ場の推定収量マップ

※作付面積約1.5ha、凡例の単位はt/10aである。

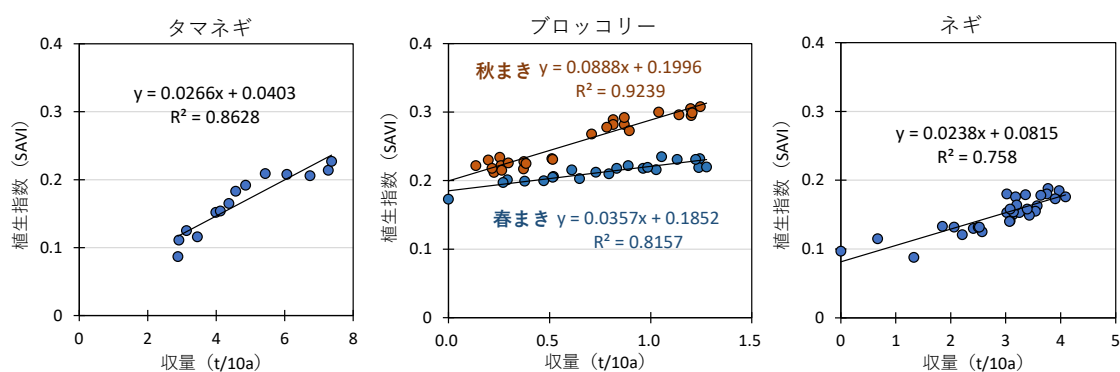


図5 植生指数 (SAVI) と収量との相関式 (参考)

タマネギ (品種: ネオアース・もみじ3号、2020年、宮城農園研・仙台市ほ場)

ブロッコリー (品種: おはよう、2019年及び2020年、宮城農園研ほ場)

ネギ (品種: 夏扇パワー、2019年及び2020年、宮城農園研・仙台市・南三陸町ほ場)

※タマネギは茎葉倒伏開始時、ブロッコリーは出蕾開始時、ネギは収穫時期の空撮画像から算出した植生指数を用いた。また、相関式は品種や作型により異なる可能性がある。

(イ) ブロッコリーほ場における地カムラの影響解析

生育ムラがみられた秋作ブロッコリーほ場について、植生指数マップを作成しました(図6)。このマップの各タイル(約4m×8m)にあわせて土壌を採取し土壌の地力評価(P59～)を行ったところ、植生指数値と可給態窒素量に正の相関がみられました(図7)。このことから、生育不良区画への局所的な堆肥施用や増施等の地カムラの改善が生育平準化に有効であると推察されました。

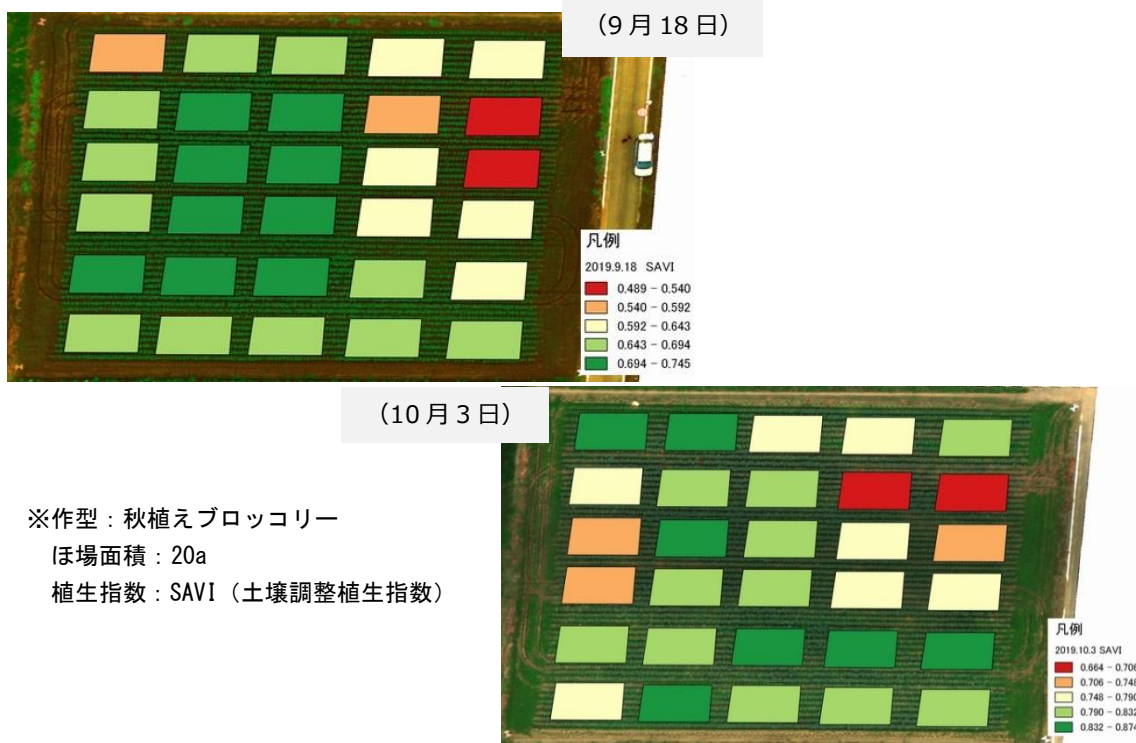


図6 生育ムラのあるブロッコリーほ場の植生指数マップ

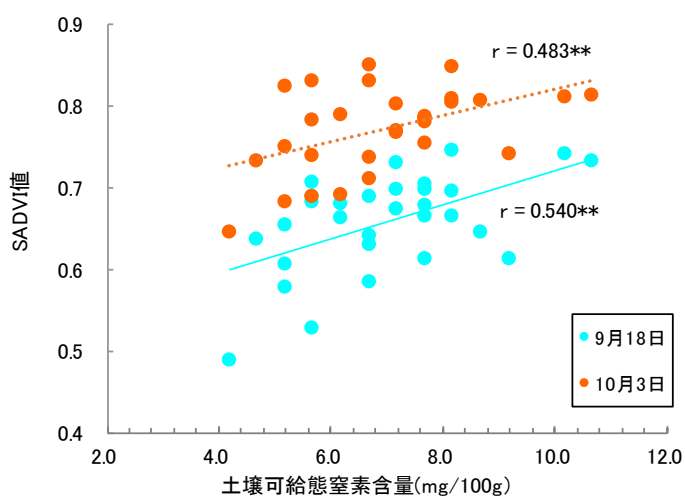


図7 生育ムラのあるほ場内での地力窒素とブロッコリー生育量との関係

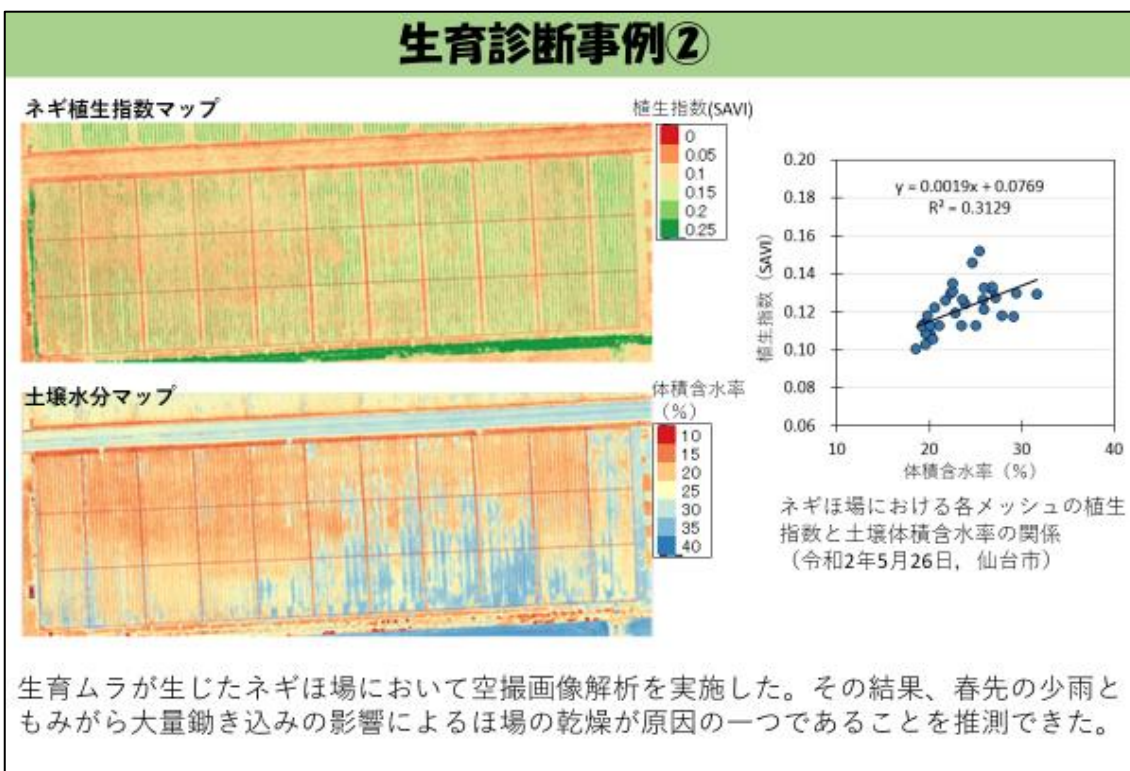
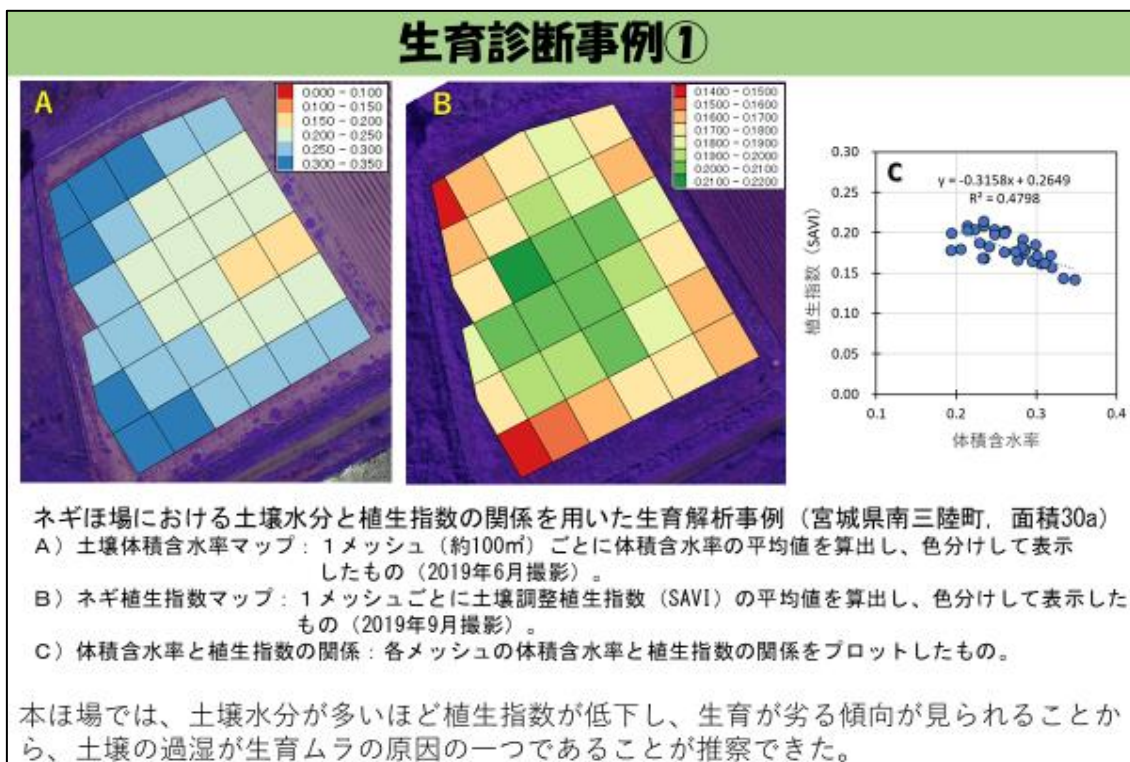
※ブロッコリー生育量はドローン空撮画像解析による植生指数(SAVI)。

土壌可給態窒素は地力簡易評価法により測定。



(ウ) ネギほ場における生育ムラ発生原因解析

生育ムラが見られたネギほ場について、多量の降雨があった数日後の土壌水分マップと、植生指数マップを重ね合わせて解析した結果、事例①ではほ場の過湿、事例②ではほ場の乾燥が原因の一つであることを推察したものです。



### (エ) 生育ムラ発生原因解析に基づく改善策の実施

定植から1ヶ月余り経過したネギほ場において、大きな生育ムラが生じたため、ドローンによる空撮を行いました。まだネギが小さく、土壌表面の様子も観察できることから、同じ空撮画像を用いて土壌水分マップ、ネギ植生指数マップを作成しました(図8)。

属性テーブルを使用した解析により、土壌水分が高いほど生育が悪い傾向が示されたことから(図9)、生育ムラの原因は梅雨に伴う湿害と考え、植生指数0.11以下の生育不良部分に酸素供給剤(商品名:ネオカルオキソ)を30kg/10a施用しました。

その結果、各メッシュ間の植生指数の変動係数が、7月24日の13%から収穫時期には4%に縮小し(図10)、ほ場全体の推定収量も3.8t/10aと、目標の3t/10aを上回る見通しとなりました。

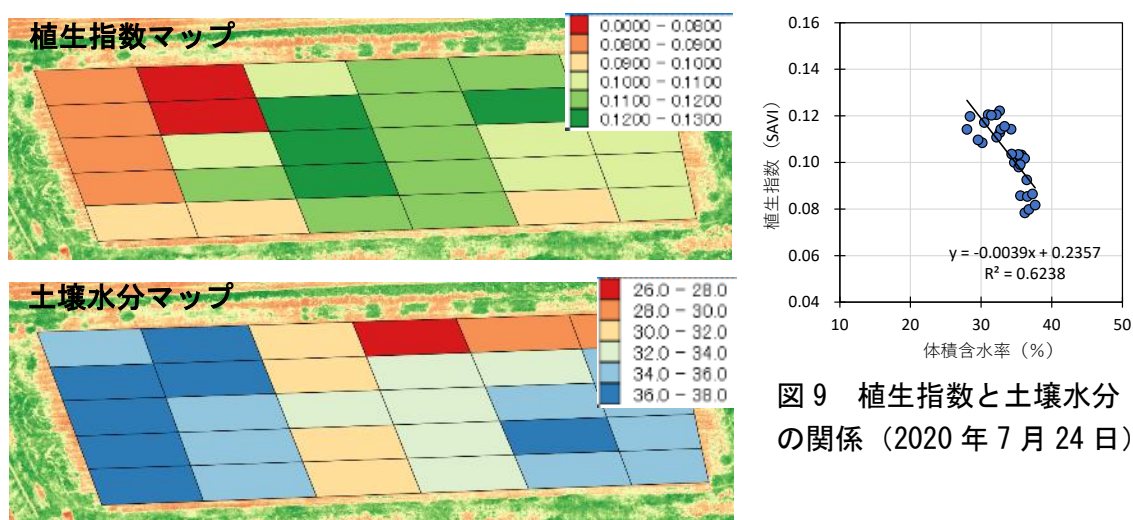


図8 ネギほ場の植生指数及び土壌水分マップ(2020年7月24日)

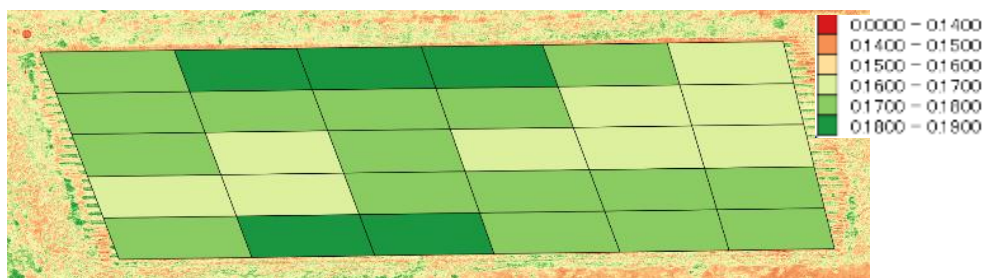


図10 ネギほ場の植生指数マップ(2020年12月5日)

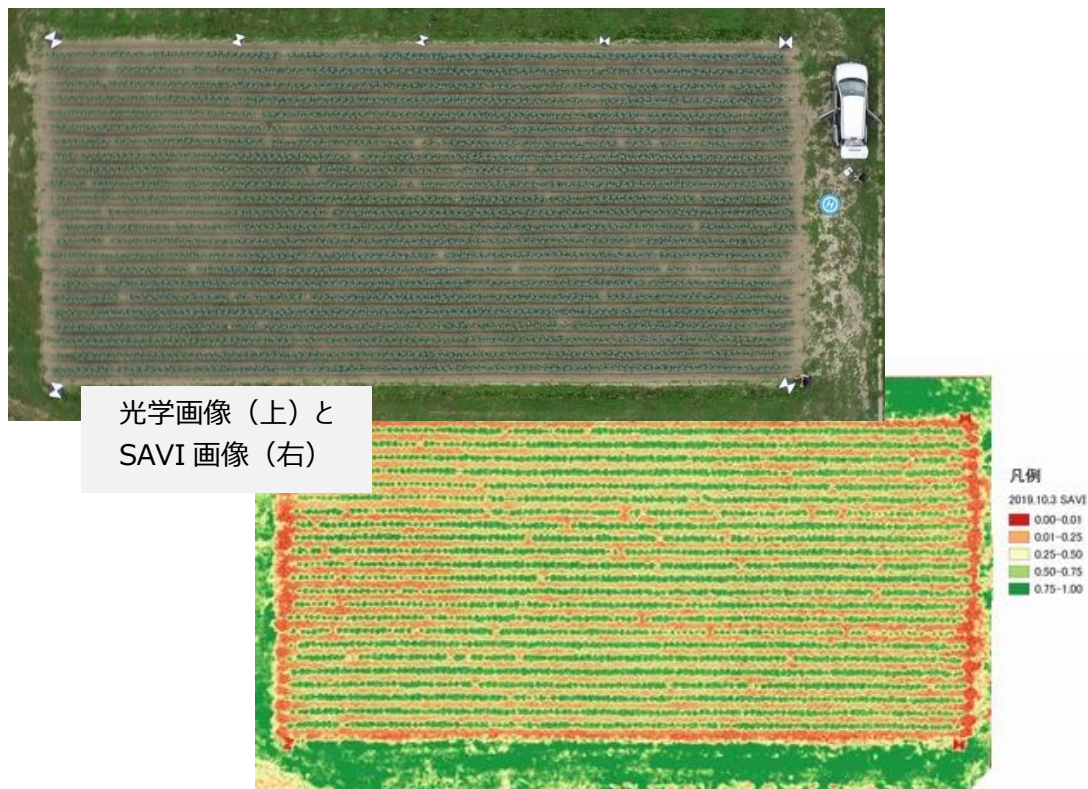
※図8上と同じ0.01刻みの色分けで、色の範囲が3段階にとどまり、生育ムラが小さくなっている。



### トピック3 ワンショット光学撮影による生育把握

通常、ドローンには光学カメラが付属しており、10万円を下回る機体も市販化されるようになり、容易にほ場空撮が可能となっています。

下の画像の上の写真はドローンをほ場中央にホバリングさせ通常の光学カメラで撮影した空撮画像です。一方、下の写真は近赤外カメラでほ場を複数枚撮影してオルソ画像を作成し、植生指数(SAVI)マップを作成した画像です。光学カメラ画像では、1) 植生指数のようなほ場内やほ場間、年次間での数値比較ができない、2) 1枚撮りのため画像周縁が歪む(実際よりも大きく見える)といった問題点がありますが、生育状況の確認が可能です。



光学画像(上)と  
SAVI画像(右)

撮影ほ場等：福島県農業総合センター浜地域研究所ブロックリーほ場(8a)。  
2019年10月3日撮影。

光学画像(上)：使用ドローン DJI MavicMINI。撮影高度 30m。

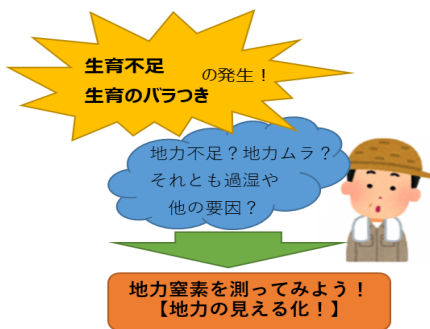
SAVI画像(下)：使用ドローン DJI Inspire2、近赤外カメラ RedEdgeM、  
オルソ処理ソフト PhotoScan、解析ソフト QGIS。撮影高度 50m。

- ① 必要な機材等：光学カメラを付属するドローン。画像閲覧ソフト(パソコンOSに付属するもので閲覧可能)
- ② 撮影方法：高度 100m で 50~80a 程度のほ場が撮影可能。
- ③ 留意点：生育量の数値的比較ができない。日照条件(日射量など)の補正ができない。画像周縁が歪むためやや大きく見える。大きなほ場は1枚の画像に入らない。

### 3-2 簡易測定による地力の見える化技術

#### (1) 技術導入のねらい

ほ場間、ほ場内の生育のバラつきは地力（ここでは特に地力窒素のことを指します）の不均一性に起因する場合があります。地力窒素の測定は専門の土壌分析、検査機関でなければ測定できませんが、一般の方でも測定可能な地力窒素の簡易評価法が近年開発されました。地力窒素のバラつきを評価することで施肥量や堆肥等の資材投入量、投入区画の検討に活用でき、効率的な肥培管理に役立てることができます。



**測定（地力の見える化）** により  
 例えば・・・  
 生育の悪いほ場の地力が、生育の良いほ場の半分しかない！  
 → 基肥をそのほ場は少し増やしてあげよう。  
 同じほ場でも東側は生育が悪くて西側より地力窒素も少ない！  
 → 東側だけ堆肥を施用するか基肥を増やしてみよう。  
 生育の良い所と悪い所で地力窒素に大きな差はなかった。  
 → 生育不良の原因は他にあるかもしれない。

#### (2) 技術の内容

##### ア 地力窒素簡易評価法の具体的方法

##### (ア) 準備物

##### 【測定に用いる器具類】

品名	備考
電気ポット	80℃保温機能を有するもの。
精製水	ミネラルウォーターや水道水でも代用可（COD簡易測定キットを用い測定値が低いことを確認する）。
製氷トレイ	写真のような10～14穴程度のもの。
電子スケール(はかり)	0.1g単位で測定できるものが望ましい。
ストップウォッチ	秒単位で計測できるもの。時計でも代用可。



80℃保温機能付きポット



製氷トレイ

##### 【サンプルごとに必要な消耗品】

品名	備考	1サンプル当たりの必要個数
抽出、希釈容器（蓋付きプラスチック50ml容遠沈管）	80℃耐熱性。目盛り付きのもの。	3本（抽出用：1本、濾過用：1本、希釈用1本）
ファスナー付きプラスチックバッグ	ジップロックなど。	1袋で抽出用遠沈管が5本程度入る。
径11cmろ紙	ADVANTEC No. 5C相当品	1枚
COD簡易測定キット 試薬入りチューブ	(株)共立理化学研究所 WAK-COD-2 (50本入)	1本

※50ml容遠沈管、ろ紙、COD測定キットは実験器具取扱業者から、もしくは、インターネット等で購入可能です。



COD 簡易測定キット  
試薬入りチューブ

(イ)手順

【手順の概要】

土壌を抽出容器に入れ、80℃のお湯で17時間恒温状態で静置し、そのろ液（ろ紙でろ過した液）を測定に用います。COD簡易測定キットで測定値を求め、可給態窒素含量を算出します。

作業	概要
1. 抽出	土壌を抽出容器に入れお湯を注ぎ80℃条件で17時間静置。
2. ろ過、希釈	ろ紙にてろ過し、水で10倍に希釈。
3. 分注	希釈液を測定液吸い込み用トレイ（製氷トレイ等）に注ぐ。
4. 発色、測定	COD簡易測定キットチューブで発色させ、15分後、30分後のチューブ内液の色により測定値を判断。
5. 計算	15分後、30分後の測定値から可給態窒素含量を算出。

【手順の詳細】

	作業	作業内容
1日目	抽出	① 電気ポットで、80℃のお湯（精製水等）を沸かす。
		② 土壌をはかり（乾土3.0g、生土4.0g）、抽出容器に入れる。
		③ 45mlの目盛りまでお湯を注ぐ。
		④ ふたをし、約30秒間激しく手で振とうし攪拌する。
		⑤ プラスチックバッグに入れ、空気を抜き、チャックをした後、ポット内（80℃）で17時間静置。
2日目	ろ過	⑥ ポット、プラスチックバッグから抽出容器を取り出して静置し、1時間程度放冷する。
		⑦ 放冷後、振とう等せず、上澄み液をろ紙（No.50）でろ過用容器にろ過する。
	希釈	⑧ 希釈用容器にろ液を5ml入れ、50mlの目盛りまで精製水等を入れ（45ml）、攪拌する（10倍希釈）。
		⑨ 製氷トレイの各孔に希釈したサンプル液を注ぎ入れる。
	発色	⑩ チューブを製氷トレイ各穴に差し入れ、サンプル液を吸い込む。
		⑪ 複数サンプルがある場合、短時間（2分程度）の内に順次、速やかに吸い込む。
測定	⑪ 発色開始から15分後、30分後に標準色板と照合し数値を読み取る。→「計算」	

○事前準備1（土）：測定土壌を風乾、粉碎し小石、根等を取り除いておきます。

生土を用いる場合、十分混合し、小石、根等を取り除いてください。

○事前準備2（水）：測定には精製水を用います。ミネラルウォーターや水道水で代用する場合は、下記「留意点」に記載する方法で測定に使用可能か確認します。

- ①ポットに水を注ぎ、電源を入れ80℃保温設定で加熱する（数時間要するので注意）。注ぐ水の量は4L容量のポットであれば、3L程度注ぎます（3Lの内1Lは抽出に用います）。



- ②電子スケールで抽出容器に土壌（乾土であれば3.0g、生土であれば4.0g）を量り入れます。



- ③【火傷注意！】ポットの80℃のお湯をビーカー・計量カップなどを使って、土壌を入れた抽出容器に45mlの目盛りまで注ぎます。



④抽出容器のふたをして、約 30 秒間、縦方向に激しく振とうします。

⑤サンプルを抽出バッグに入れ、チャックをした後、ポット内に浮かべ、ポットのふたを閉め 17 時間保温静置します。



⑥ポットからプラスチックバッグを取り出し、抽出容器を取り出し、1 時間放冷します。

⑦1 時間放冷後、振とう等せず、上澄み液をろ紙（アドバンテック No. 50 相当）を用い、ろ過用容器にろ過します。



※ろ過までの作業（①～⑦）は時間厳守で行います（17 時間 80℃保温

→1 時間放冷→ろ過）。ろ過後の測定までの作業（⑧～⑪）は作業者の都合に合わせて行えますが、当日中に測定してください。

⑧希釈容器にろ液を 5ml 入れ、50ml の目盛りまで水（室温のもの）を入れ（45ml）、ふたをして攪拌し、10 倍に希釈します。



⑨製氷トレイの各穴に希釈したサンプルを注ぎ入れます。



⑩COD 測定キット 試薬入りチューブに事前にマジックで番号などを記載し、栓を引き抜いておきます。チューブを製氷トレイの各穴に差し入れサンプル液を吸い込みます（チューブの 1/3～1/2 程度）。吸い込み後試薬を溶かすように 2～3 回振り、吸い込み口に液が溜まる状態でテーブル上に静置します。複数サンプルがある場合は順次この作業を繰り返します。

※栓を引き抜いた後は速やかに吸い込み作業を行ってください。

※チューブに吸い込む際は、写真のように両手で持ち、吸い込み口と反対側半分を強く押しつぶした後に製氷トレイのサンプル液に吸い込み口をつけると吸い込みやすいです。

（【推奨】何度か練習してから本番に臨んでください）





※発色は時間経過とともに変化していくので、吸い込み最初のサンプルから最後のサンプルまで約2分以内で行ってください。吸い込み作業は1サンプルあたり10秒程度かかるので同時に測定する際は10サンプル程度までとします。複数人で吸い込み作業を行うなど、短時間で終了できるようにしてください。

⑪発色開始から15分後、30分後にチューブ内液の色と標準色板を照合し順次数値を読み取り記録します。

※数値の決定は標準版だけでなく、他のサンプルと比較しながら行います。また、待ち時間の間も色の変化を観察しておくこと、数値決定が速やかに行えます。



#### 【作業計画例】

1日目 9時～	電気ポットに水を注ぎ加熱開始。 土壌を抽出容器にはかり入れる。
16時	土を入れた抽出容器にお湯を注ぐ。 それらをプラスチックバッグに入れ閉める。 ポットに入れ、翌朝まで80℃のまま17時間静置。
2日目 9時～	ポットから取り出し放冷する。
10時～	上澄み液をろ過容器にろ過する。
11時～	ろ液を希釈容器を用い希釈する。
13時～	希釈液を製氷トレイに注ぎ入れ、測定を開始する。

#### (ウ) 計算方法

測定結果（15分後測定値と30分後測定値）を用い、地力窒素（可給態窒素含量推定値（mg/100g））を下記の式で算出します。

$$\text{地力窒素(mg/100g)} = ( [15\text{分後測定値} \times 0.93 - 0.73] + [30\text{分後測定値} \times 0.5 + 0.68] ) / 2$$

※上記式は乾土（3.0g）を用いた場合。生土（4.0g）を用いた場合は、1.2で除し補正する。

※15分後測定値と30分後測定値の両方を用いることで、測定値の読み違いのリスクを抑えることができます。

※15分後測定値が5、10、15、20のときの地力窒素（mg/100g）はそれぞれ4、9、13、18で、30分後測定値が5、10、15、20のときはそれぞれ3、6、8、11です。

#### (エ) 留意点

##### ○本測定方法について

本法の適用は畑土壌のみで、水田土壌での地力窒素評価はできません。

COD簡易測定キットを用いた畑土壌の地力窒素評価法は農研機構により開発されました。福島県農業総合センターでは、この方法を応用し、生産者等がより取り組みやすいようアレンジしました。

(参考) 畑土壌可給態窒素の簡易・迅速評価法(国研) 農研機構中央農業総合研究センター

[http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/carc/result\\_digest/files/snmanu.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/carc/result_digest/files/snmanu.pdf)

#### ○使用する土壌について

本法で用いる土壌は原則、風乾砕土(直射日光の当たらない風通しの良い場所で乾燥後、小石、植物体等を取り除き、乳鉢などで粉碎したもの)を用いてください。未乾燥の土壌(生土)を用いる場合は、小石等を取り除き、十分混合した後に、測定に用いてください。

#### ○測定に用いる水について

本法で用いる水は精製水や実験室での脱イオン水、蒸留水を用いてください。ミネラルウォーターや水道水を用いる場合は、下記の方法でCOD測定キットのチューブ内の試薬に対する反応が少ないものを用いてください。

- ①製氷トレイの穴に、測定に用いる水を注ぎます。
- ②COD測定キット 試薬入りチューブの栓をとり、製氷トレイの水を吸い込み(チューブの1/3~1/2程度)ます。吸い込み後、試薬を溶かすように2~3回振り、吸い込み口に液が溜まる状態でテーブル上に静置します。

※【手順の詳細】の⑩を参照

- ③発色から30分後に標準色板に照合し、チューブ内液の色が「0~2」程度の鮮やかな赤色であれば測定に使用可能と判断してください。



30分後でも鮮赤色  
であれば使用可能

#### ○測定値について

本法はあくまでも畑地土壌の簡易可給態窒素推定法です。測定結果と実際の地力に大きな差が生じる可能性もあるので、肥培管理や施肥設計に活用する際は、極端な増肥・減肥、資材投入等は避けてください。

### イ 活用事例

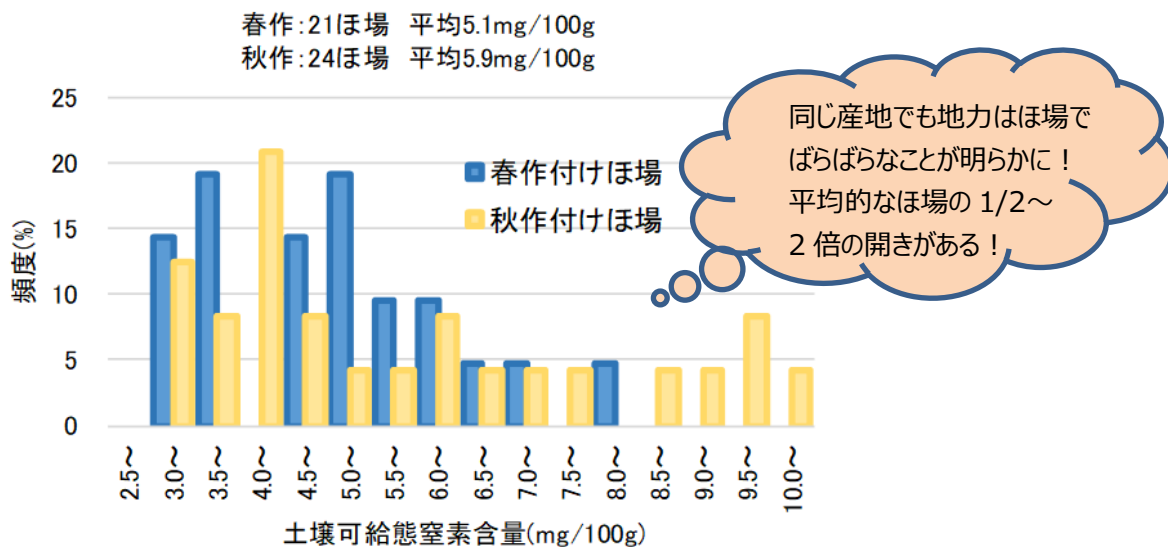
ここでは本事業で得られた実際の現地データを用いた活用例、解析例を紹介します。

#### (ア) 生育差の大きいブロッコリーほ場での地力測定

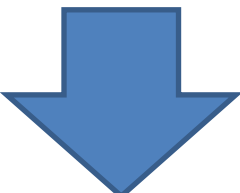
福島県相双地区内の生育が不均一な秋作ブロッコリーほ場において、ほ場を30区画に分けその区画の土壌を採取し、簡易評価法により地力窒素測定を行いました。その測定値と生育には正の相関関係がみられ、地力窒素の差が生育不均一の要因の一つであると考えられました。(図は51ページを参照ください。)

(イ) ブロッコリー産地での地力窒素のほ場間差

福島県相双地区内のブロッコリーを作付けしている約 40 ほ場の土壌を採取し、地力簡易測定を行いました。その結果、地力窒素に大きなほ場間差があることがわかりました。この測定結果を基に、地域の基準施肥量の見直しや、ほ場ごとの肥培管理、施肥設計への活用ができます。



ここ（可給態窒素含量 5mg/100g）を基準に考えると・・・



地力窒素を基に基肥窒素量を見直し、生育の平準化、施肥コスト削減できないか？

表 土壌可給態窒素含量に基づく窒素増肥・減肥量の試算

可給態窒素含量 <sup>*1</sup> (mg/100g)	単位面積当たりの窒素含量 <sup>*2</sup> (kg/10a)	現地ほ場での該当地点割合 (%)	可給態窒素含量「5mg/100g」を基準としたときの増肥、減肥窒素量 (kg/10a)	基肥窒素を20kg/10aとしたときの増肥、減肥量割合 <sup>*3</sup> (%)
2	3.0	0	4.5	23
3	4.5	27	3.0	15
4	6.0	22	1.5	8
5	7.5	18	0.0	0
6	9.0	13	-1.5	-8
7	10.5	7	-3.0	-15
8	12.0	13	-4.5	-23

\*1: CODバックテストを用いた簡易測定法の改良法（一斉発色・測定）で測定  
\*2: 作土深15cm、仮比重1.0で試算。  
\*3: 施肥窒素量（20kg/10a）に対する減肥または増肥窒素量の割合。

27%のほ場が基肥窒素を 3kg/10a 増やす必要があり、20%のほ場が減らせる可能性がある！

## トピック 土壌分析用サンプルを容易に採取できる採土器

ほ場の土壌分析に先立ち、土壌採取を移植ベラなどで行う際は、深く前屈、もしくは腰を下ろして行う必要があります。また、土壌養分が正確に測定できるよう、土壌を採取土層で均一に採取するよう柱状に採取する必要があります。

福島県農業総合センターと大起理化工業株式会社は共同研究で土壌採取作業を容易に行える新たな採土器を開発しました。



### ☆特徴

「はさみ」のような機構で採土部分が開閉します。この機構により採土した土壌の取り出しが楽にできます。

- ・材質：ステンレス ・重量：580g
- ・採土量：120g 前後
- ・対応深：～20cm（15cm 程度を推奨）
- ・対応ほ場：水田、普通畑等  
（樹園地、草地等の硬度の高い未耕耘ほ場での使用はお控えください）

図1 省力型採土器の現物写真とイメージ図

### ①作業時間の短縮

採土作業（採土、サンプル取りだし、器具清掃の時間）の短縮が可能です。（移植ベラの2/3、突き刺しタイプ採土器の1/3）

表 各採土器具による作業時間

供試器具	作業時間（秒/回）							
	作業者A				作業者B			
	① （採土）	② （袋詰め）	③ （器具清掃）	①+②+③	① （採土）	② （袋詰め）	③ （器具清掃）	①+②+③
省力型採土器	6	6	5	17	7	6	6	18
移植ベラ	18	8	5	31	15	9	4	28
市販突き刺し型円筒採土器	12	21	16	48	10	23	22	55

注1）試験実施ほ場：施設畑野菜栽培跡地（土性：L、試験時水分（体積含水率）：約10%）。  
注2）作業時間：①採土作業、②採土土壌を袋に入れる、③器具清掃。4回測定の平均値。単位未満を四捨五入しているため、内訳（①～③）の計と合計（①+②+③）が一致しない場合がある。作業者：A、Bとも男性。

### ②正確な土壌採取

採土部が円筒状であるため、上層下層の土壌量を均一に採土できます。また、複数地点を採土し混合する際も、等量での採土が行いやすくバラツキの少ない土壌試料を採取できます。



### ③ストレスの少ない作業の実現

重量 580g と軽量です。片手で採土できる機構となっており、もう片方の手でサンプル袋を持ちながらの作業が可能です。採土の作業時は腰を落とす必要もなく、軽く前屈した姿勢で作業できます。

### ④生育作物の根のダメージを最小限に

採土時のほ場への差し込みは直径5cm程度の掘穴で済む（移植ベラでは10cm程度）ため、生育期間中の作物近傍の採土でも根へのダメージを抑えることができます。



2021年4月以降、大起理化工業（株）より市販化される予定です。



### 3-3 タマネギ生育安定のためのかん水管理

#### (1) 技術導入のねらい

タマネギは、生育期間中に水分が不足すると小玉になりやすく、極端な高温・乾燥条件が続く場合には収量の低下を招く恐れがあります。そのため、気象条件に応じて、ほ場で適切な水管理を実施する必要があります。

かん水効果の高い時期を狙い、タマネギの地上部の様子からかん水の必要性を判断してかん水することで、省力的にかん水できます。ここでは、省力的な栽培管理を想定し、収量に最も影響を与えるかん水時期（かん水重点時期）の特定と、ほ場レベルでタマネギの水の過不足を簡単に判断できる指標（水ストレス指標）について紹介します。

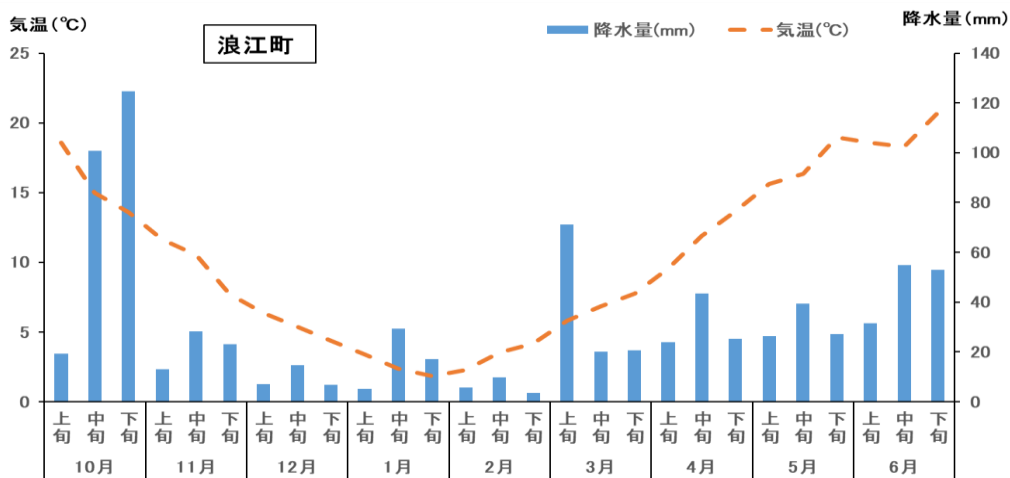


図1 実証地近辺の気温及び降水量

＜福島県の気象条件＞

※過去5カ年の平均値、アメダスデータより

実証地（南相馬市小高区）近辺の定植時期となる10月中下旬頃は、まとまった降雨があり土壌水分は確保されていると考えられます。一方で、気温が上昇し、りん茎の肥大開始時期にあたる、5月中旬～6月上旬の降水量はやや少なく、土壌水分が不足している可能性があります（図1、3）。

農業総合センター（郡山市）は実証地と比較すると、年間を通して降水量が少なく、特に5月下旬～6月中旬の降水量が少ないことが分かります（図2）。このように、地域や作付けした年の気象条件、ほ場の土壌水分には違いがあるため、状況に合わせた水管理が必要となります。

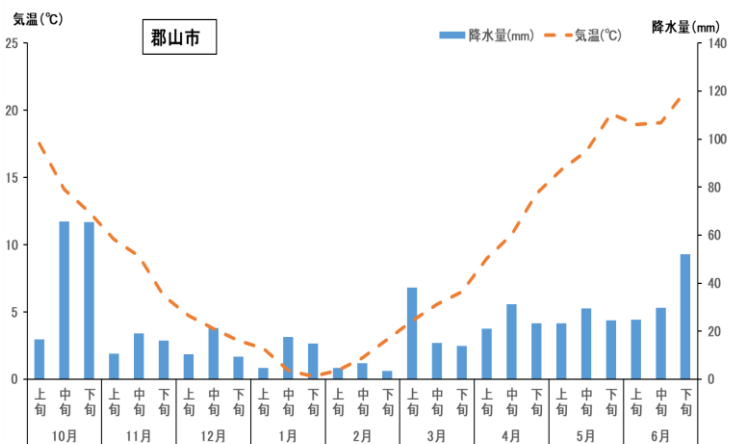


図2 農業総合センター（郡山市）の気温及び降水量

※過去5カ年の平均値、アメダスデータより

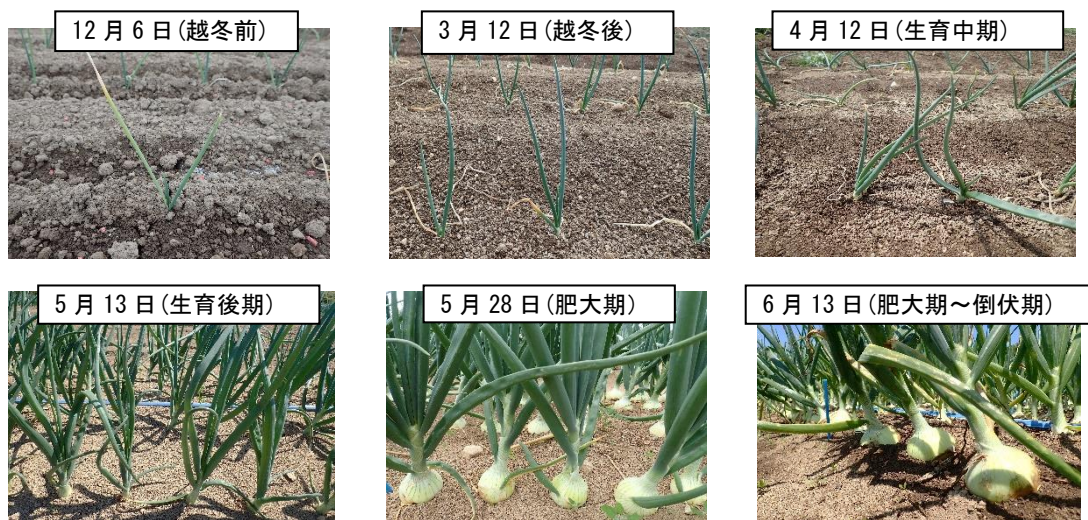


図3 タマネギの生育過程（実証地）

(2) 技術の内容

ア かん水重点時期の特定

(ア)かん水の効果

タマネギは、かん水量が少ないと葉が小さく、収穫時のりん茎も小さくなります（図4、5）。タマネギの生育初期に水が不足していても、その後、かん水量を増やすと生育は回復し、りん茎重は確保できますが、生育後期（止め葉発生以降）に水が不足すると、りん茎の肥大が著しく抑制されます（図5）。タマネギでは生育期後半の土壤水分を維持することが安定的な収量確保に繋がります。

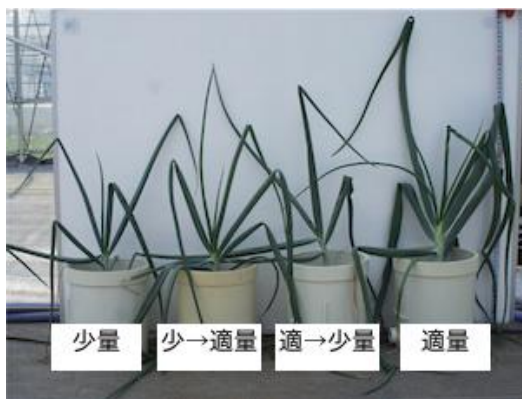


図4 かん水量がタマネギ生育へ及ぼす影響（ポット試験）  
定植日：4/1  
かん水量変更日：4/27  
写真撮影日：5/29

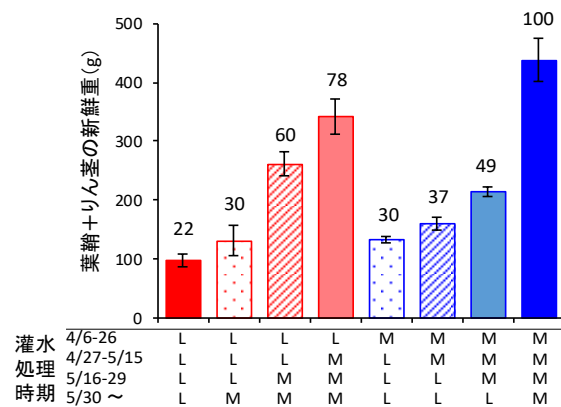


図5 かん水量がタマネギ収量へ及ぼす影響（ポット試験）  
L：少量かん水、M：適量かん水

(イ)かん水重点時期・かん水量の特定

ほ場では、生育期間中、土壌が乾燥した場合（pF2.4以上）、常にかん水することで、天水のみの場合と比較して収量が増加します。特にかん水の効果が高い時期は、りん茎が肥大し始める頃（12葉出葉以降～倒伏まで、図6）で、この時期だけかん水した場合でも収量は1t以上増加し（図7）、より少ないかん水量で増収効果が期待できます（表1）。常時かん水するには多大な労力がかかるため、かん水作業にかかる労力を考慮すると、「りん茎肥大期～倒伏期まで」の5月中旬～6月上旬頃のかん水が効率的であり、タマネギの「かん水重点時期（重点的にかん水すべき時期）」であると言えます。かん水設備のあるほ場では、この時期に重点的にかん水することをお勧めします。

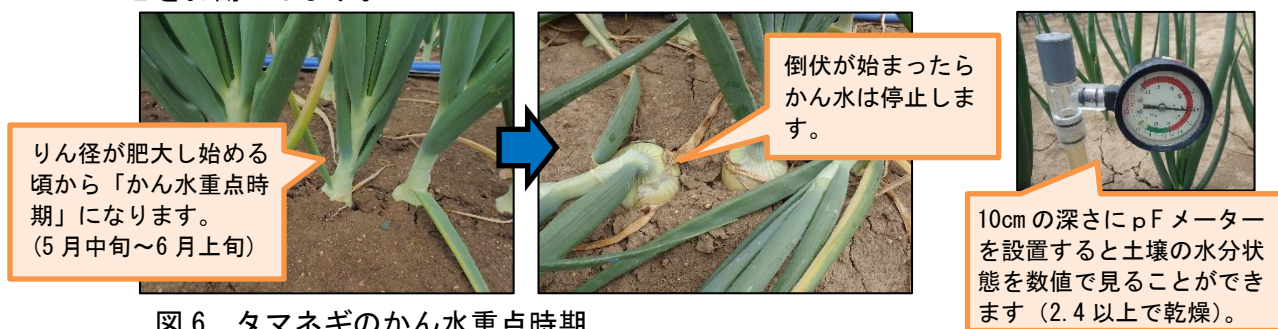


図6 タマネギのかん水重点時期

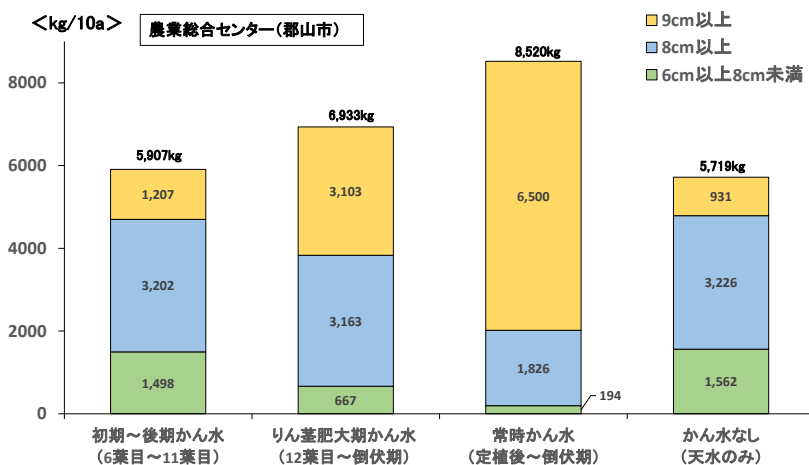


図7 かん水時期の違いによる収量の差 (2019年)



図8 ほ場でのかん水の様子

表1 かん水時期・かん水量の違いによる収量の差 (2020年、農業総合センター)

かん水時期・かん水量	規格内 <sup>※1</sup> 合計収量 (kg/10a)	かん水量 <sup>※2</sup> ( $\text{l}/\text{m}^2$ )	かん水 回数
10葉～12葉期適量かん水	5,510	108.8	3
10葉～12葉期1/2量かん水	5,557	51.1	3
10葉～倒伏期適量かん水	6,568	135.0	5
10葉～倒伏期1/2量かん水	5,863	64.6	5
12葉～倒伏期適量かん水	6,157	48.1	2
12葉～倒伏期1/2量かん水	5,254	24.0	2
かん水なし(天水のみ)	4,712	—	—

12葉～倒伏期に2回かん水することで、5回かん水した場合と収量の差はありません。

※1 規格内合計収量は正常球(収量調査時、外部分球、裂皮、腐敗のないもの)のうち販売規格に該当する6cm以上のもの  
規格内合計収量=(規格内平均球重(g)×26,667(株/10a)×(規格内球率/100))/1,000  
(栽植密度26,667株/10aは株間10cm、条間20cm、畝間150cm、4条/畝から算出)

※2 栽培期間中、1 $\text{m}^2$ あたりにかん水した合計かん水量



## イ 水ストレス指標の作成

### (ア)水ストレスとは

タマネギの葉身は水が不足することで、りん茎肥大や生育が抑制され、葉身の葉先に「枯れ症状」が発生します（図1）。これらの症状を、タマネギの「水ストレス」と定めて指標を作成しました。ほ場で、指標とタマネギの様子を比較し、水ストレスが生育や収量へ及ぼす影響の程度を診断してかん水が必要かどうかの判断材料とします。

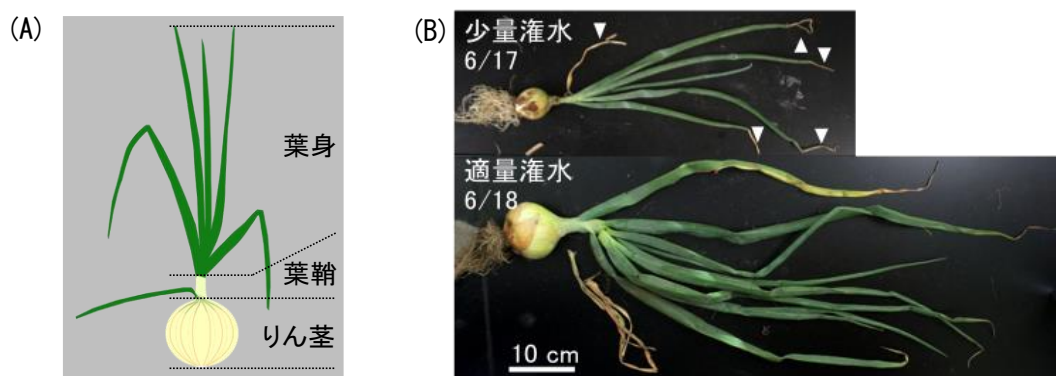


図1 タマネギの各部位の名称及びかん水方法による生育の違い  
※写真内の△は、水ストレス（葉先枯れ部分）を示す

### (イ)水ストレスの発生と生育・収量への影響

農業総合センター（郡山市）内雨よけハウスでは、かん水量を減らすと葉身の伸長が抑制され、葉先に枯れや黄化等の水ストレスが発生しました（図2、3）。また、かん水量を減らすほど収量が低下しました（図4）。

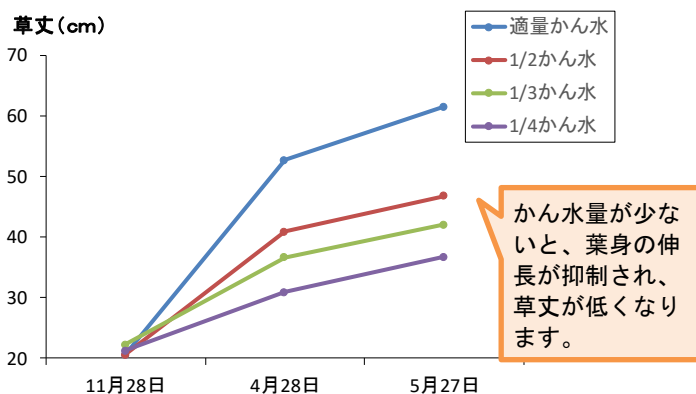


図2 かん水量と草丈の関係性（2020年）



図3 水ストレスの発生と  
りん茎の大きさ



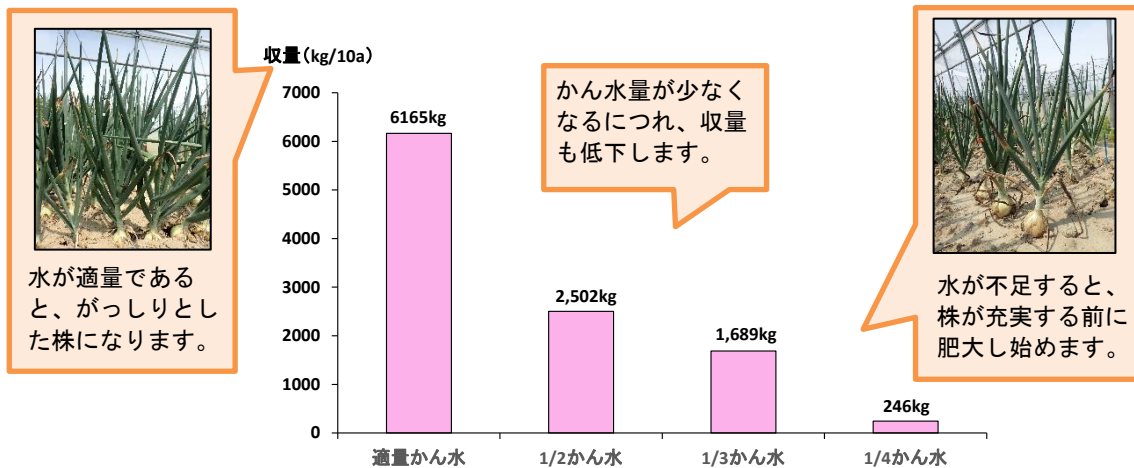


図4 かん水量と規格内収量 (球径 6cm 以上) の関係性 (2020年、雨よけハウス)

(ウ) ほ場での水ストレス発生状況とその影響

実証地 (南相馬市) では、かん水なしの場合、越冬前 (生育初期) に葉身長が抑制され、収穫前に葉先の枯れ、黄化等の水ストレス発生割合が増加しました (図5)。しかし、収穫時のりん茎重はLサイズ (球径 7cm 以上) 以上の規格が大半であり、十分な収量 (収量 6t/10a 以上) が得られたことから、軽度の水ストレスであれば収量に影響はないと考えられます。

どの程度の水ストレスが発生すると、収量が低下するのかを把握するには「水ストレス指標」を用いて診断します。生育時期別の標準的な草丈と、ほ場で実際に測定した草丈、葉身長を用いて水ストレス指標を算出します。算出された数値を「かん水の必要性の目安」の表に当てはめて、かん水が必要であるかどうかを判断できます (図6)。定期的に水ストレスの状況を確認することで、乾燥による収量低下を予測することができます。水ストレスの数値が上昇した場合には、かん水することをお勧めします。

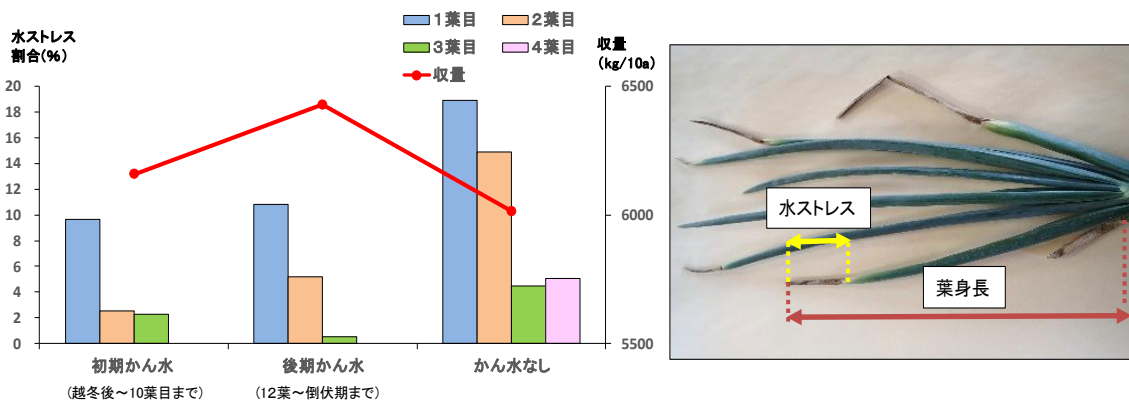


図5 葉身に発生した水ストレスの割合と収量への影響 (2020年南相馬市)

※水ストレス割合 (%) = { 水ストレス (cm) / 葉身長 (cm) } × 100

# タマネギの簡易水ストレス指標

現場でタマネギの水不足を簡便に把握することを目的とした水ストレスの簡易指標です。  
タマネギの草丈と葉身の長さから水ストレスを評価し、かん水の必要性を判断します。

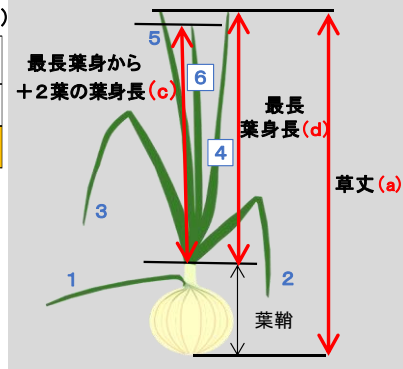
## ① 草丈と葉身位置への影響

表 タマネギ秋移植栽培の標準生育(2018~2020年南相馬市・暫定版)

項目/曜日	11月上旬~ 11月下旬	12月上旬~ 3月上旬	3月中旬~ 4月上旬	4月中旬~ 4月下旬	5月上旬~ 5月中旬	5月下旬~ 6月下旬
積算気温(℃) <sup>※1</sup>	200~400	400~800	900~1100	1200~1300	1400~1600	1800~2400
草丈(cm)(b)	12	12	18	28	50	62

※1 移植(10/28)からの積算気温。2018~2020年の平均値から算出した目安の積算温度。  
※ 草丈、葉齢は2018~2020年の平均値。  
※ 標準生育とは、4~5t/10aを確保できると考えられる標準的な生育。

右の図を参考に、ほ場で実際に測定した数値と、上表の草丈の標準値を式に当てはめることで、水ストレスを数値で見ることができます。



※図中の数字は生葉数。  
上図では4葉と6葉の数値を用いて計算する。

## ② 水ストレス指標を算出

$$\text{水ストレス指標} = \{1 - (\text{草丈}(a) / \text{生育時期別の標準的な草丈}(b)) \times (\text{最長葉身から+2葉の葉身長}(c) / \text{最長葉身長}(d))\} \times 100$$

## ③ 水ストレス指標を基にかん水の必要性を判断

②の計算で出た水ストレス値を下表(生育ステージ・ストレス)に当てはめて、かん水の必要性を判断します。

表 かん水の必要性の目安(暫定版)

水ストレス指標	移植~8月上旬頃	3月上旬~4月下旬頃	4月下旬~5月中旬頃	5月中旬~6月下旬頃
< 20%	不要	不要	不要	不要
20~50%	不要	不要/必要	必要	必要
> 50%、もしくは枯死しそうな状態	必要	必要	必要	必要

### <計算例>

4月中旬の水ストレスを算出する場合は・・・  
この時期の標準的な草丈は28cm(b)。ほ場の草丈は30cm(a)、最長葉身は24cm(d)、最長葉身+2葉目の葉身長は20cm(c)だったから・・・

$$\{1 - (30(a)/28(b)) \times (20(c)/24(d))\} \times 100 = \text{約}11\%$$

水ストレス指標は20%以下なので、かん水は必要なさそうですね！！



※生育状況、気象条件は毎年変化するため、標準生育、判断の目安の表は暫定版とし、随時更新することとする。

図6 タマネギの簡易水ストレス指標

### 3-4 労働負担軽減技術

#### (1) 技術のねらい

タマネギ栽培では重い荷物の持ち運びや、前屈み、中腰作業、熱中症の恐れがある暑熱環境での作業など、体に大きな負担のかかる動作が多くあります。農作業で体にかかる負担を軽くするために、各種補助具が販売されています。これらを活用し、農作業者が負担を軽減し、効率的に作業を行い、長期にわたり健康に農業に従事できるようにすることがこの技術の狙いです。



長時間の前屈み作業は、腰に大きな負担がかかります。

図1 調製作業

図2 補植作業

図3 収穫作業

しゃがみ作業は脚、腰、膝に大きな負担がかかります。また、移動も効率的に行うことができません。

重い荷物を無理に運ぶと体に負担がかかります。事故による怪我也起こりやすくなります。炎天下の作業は熱中症の危険もあります。

#### (2) 技術の内容

この技術では、タマネギの栽培で体に大きな負担のかかる作業と、その負担を和らげる効果のある補助具を選定しました。選定した作業と補助具は以下のとおりです。

表1 体に負担の大きい作業と活用できる補助具

作業名	育苗管理	畝立て	移植	収穫・運搬	調製・選別・出荷
使用できる補助具	ファン付き作業服		補植機	腰部保護スーツ ファン付き作業服	
作業内容	かん水作業	畝立て作業	補植	掘り上げ ピッカー補助 コンテナ運搬	調製作業 コンテナ運搬
労働負担軽減のポイント	暑熱環境の緩和		腰の曲げ伸ばし作業時の腰への負担を軽減する	収穫作業でのコンテナ運搬時の腰への負担を軽減する	調製、箱詰め時の腰への負担を軽減する

それぞれの補助具は以下の効果があります。

#### ア 腰部保護スーツ

腰部保護スーツは、ゴムや人工筋肉を使用して、使用している人間の腰や動きをサポートするものです。ゴムを利用した布製の安価な製品から、センサーやモーターを搭載し体の動作に合わせて力強く動く製品まで多種多様な製品が各社から発売されています。

- ・ 代表的な製品

ラクニエ（株式会社モリタ）、スマートスーツ（株式会社スマートサポート）、マッスルスーツ（株式会社イノフィス）など

- ・ 価格帯

商品によって大きく異なる



図4 腰部保護スーツ使用中の様子

#### イ ファン付き作業服

暑さを和らげるためにファンが付いたジャケットです。ジャケットの内部を風が循環するため、効率的に汗が冷え、体温を下げながら作業をすることができます。

- ・ 代表的な製品

空調服（株式会社空調服）など

- ・ 価格帯

2万円程度



図5 空調服使用中の様子

#### ウ 補植機

タマネギ苗の補植をする際に、しゃがみから直立に姿勢を変えられる補助具です。直立したまま作業ができるため、姿勢の改善、体の負担の軽減だけでなく、作業時間の短縮にも効果があります。

- ・ 代表的な製品

タマネギ補植機（キュウホー）、ハンドプランター（みのる産業）など

- ・ 価格帯

1万3千円～2万円程度



図6 補植機使用中の様子



### (3) 期待される効果

腰部保護スーツ、補植機を使用することで、表2のように作業中の疲労感が軽減されました。また、補植機を使用することで作業時間が40～60%程度減少しました。

表2 腰部保護スーツ、補植機を使用した場合の疲労感の変化

作業	作業詳細	使用する補助具	主観調査による疲労の減少量			被験者の評価・コメント等
			腰部	背中	脚	
移植	欠株をしゃがみ姿勢で補植する 	補植機	3	3	3	秋播き慣行栽培での評価は以下のとおり ・とにかく楽である ・機械操作に慣れていないことを差し引いても身体負担が軽減される。作業時間が多少伸びても使用を検討したい  セット栽培での作業については半自動移植機では欠株が発生せず、使用機会が得られなかった
収穫・コンテナ収納・運搬	収穫機操作補助 (コンテナ入れ替え、コンベア上のゴミ除去) 	弾性素材腰部保護スーツ	0.3	0.3	-	秋播き慣行栽培での評価は以下のとおり ・コンテナ入れ替えの中腰作業ではわずかに効果を感じられた ・最も体に負担のかかる収穫物を積載したコンテナの入れ替え作業では、コンテナの重量が重すぎて弾性素材の補助具では効果が感じられなかった ・腰部保護スーツは極度の暑熱環境下では不快感があり長時間着用が不可能である
調製・選別・箱詰め・出荷	選別機での調製作業 	弾性素材腰部保護スーツ	1.0	0.6	0.2	秋播き慣行栽培での評価は以下のとおり ・負担の大きいしゃがみ作業が比較的快適にできた ・自然に姿勢が正され、首や背中の痛みが軽減された ・コンテナ運搬中、腰に痛みが走るようなことがなかった

※「主観調査による疲労の減少量」は、疲労度を「0:全く感じない」「1:わずかに感じる」「2:かなり感じる」「3:強く感じる」とした場合に、補助具なしの作業と補助具ありの作業で感じた疲労の数値を平均したものである

さらに、腰部保護スーツ使用中の脈拍を、使用していない作業での脈拍と比較した場合、表3のとおり1分間あたりの脈拍が1.6～11.0減少することがわかりました。

表3 腰部保護スーツを使用した場合の脈拍数の変化

(拍/min)	選別作業	
	着用なし	着用あり
被験者A	91.7	80.7
被験者B	84.8	83.2
被験者C	85.8	82.0

ファン付き作業服を作業中に着用することで、ファン付き作業服の外側より、内側の温度が低下することがわかりました。ファン付き作業服を着用した場合には着用していない場合と比較して、1.1~4.2℃着衣内側の温度が低下しました。さらに保冷剤入りベストを作業服内部に着用することで、未着用の場合と比較して3.9~9.1℃内部温度が低下しました。

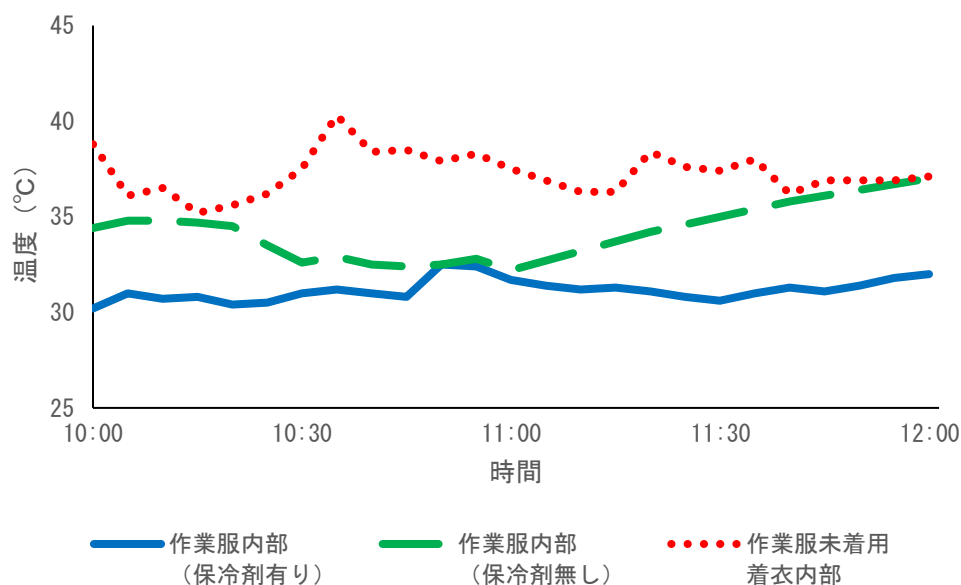


図7 ファン付き作業服着用、未着用の場合の着衣内部温度比較  
(令和2年8月18日10:00~12:00)

**【注意！】**

空調服はあくまで「汗の気化を促進し体温を下げる」補助具であり、熱中症の危険を完全に防ぐものではありません。「暑い時間帯の作業を避ける」「こまめに休憩を取り水分補給を心がける」など他の熱中症予防を取り入れてください。きわめて気温の高い日、体調の悪い日は無理に作業を行わないようにしましょう。

## 参考文献、執筆者一覧

### 執筆者

#### 【第1章】はじめに

執筆者：福島県農業総合センター 武田 信敏  
福島県農業総合センター 笠井 友美

#### 【第2章】大規模経営に向けたタマネギの新たな栽培技術

##### 2-1 直播栽培

執筆者：農研機構 東北農業研究センター 室 崇人  
農研機構 北海道農業研究センター 臼木 一英  
農研機構 九州沖縄農業研究センター 松尾 健太郎  
福島県農業総合センター 横田 祐未、八木田 靖司

##### 2-2 セット栽培

執筆者：農研機構 東北農業研究センター 木下 貴文  
宮城県農業・園芸総合研究所 澤里 昭寿  
福島県農業総合センター 柳内 柚香

##### 2-3 経営評価

執筆者：福島県農業総合センター 新妻 俊栄

#### 【第3章】大規模露地野菜の効率的な管理を支援する諸技術

##### 3-1 「衛星画像を用いたほ場水分の見える化」

執筆者：株式会社ビジョンテック 佐々木 剛、藤澤 博司

「電磁波を用いた下層土の土壌水分の見える化」  
執筆者：宮城県古川農業試験場 佐々木 次郎

「ドローンを用いたほ場水分の見える化（表層土壌）」  
執筆者：宮城県農業・園芸総合研究所 瀧 典明

「ドローンを用いた野菜生育の見える化技術」  
執筆者：宮城県農業・園芸総合研究所 瀧 典明  
福島県農業総合センター 中山 秀貴、梅津 輝

### 3-2 簡易測定による地力の見える化技術

執筆者：福島県農業総合センター 中山 秀貴

### 3-3 タマネギ生育安定のためのかん水管理

執筆者：農研機構東北農業研究センター 山本 岳彦  
福島県農業総合センター 笠井 友美

### 3-4 労働負担軽減技術

執筆者：福島県農業総合センター 宮 和佳子

## 参考文献

### 【第2章】大規模経営に向けたタマネギの新たな栽培技術

#### 2-1 直播栽培

参考文献：黒ボク土圃場のタマネギ (*Allium cepa* L.) 直播栽培における種子直下のリン酸局所施用がリン酸吸収および初期生育・収量に及ぼす影響  
臼木 一英、室 崇人、辻 博之、竹中 眞  
(2016) 園芸学研究 15 . p. 241-2

### 【第3章】大規模露地野菜の効率的な管理を支援する諸技術

#### 3-1 「ドローンを用いた野菜生育の見える化技術」

参考文献：ドローン空撮画像から算出した植生指数によるネギの生育量推定  
瀧 典明、中村佳与  
(2020) 園芸学研究. 19 別 1. p. 134

#### 3-2 簡易測定による地力の見える化技術

参考文献：土壌診断に用いる土壌試料採取のための省力型採土器の開発  
中山秀貴、安達祐介、齋藤智則  
(2020) 農作業研究. 55 別 1. p. 38-39