

【特別講演 1】

山梨県におけるパン用小麦品種「ゆめかおり」を用いた取り組み

上野直也^{1*}・加藤知美²・向山雄大²・石井利幸²・加藤成二²・馬場久美子²・五味敬子²・長坂克彦²

(¹山梨県総合農業技術センター・²山梨県庁)

Efforts using Wheat Cultivar for Bread “Yumekaori” in Yamanashi Prefecture

Naoya Ueno^{1*}, Tomomi Kato², Takehiro Mukoyama², Toshiyuki Ishii², Seiji Kato²

Kumiko Baba², Keiko Gomi², Katsuhiko Nagasaka²

(¹Yamanashi Prefetural Agritechnology Center・²Yamanashi Prefecture Government)

1. はじめに

山梨県は本州中央部に位置し、周囲を富士山、南アルプス、八ヶ岳等の山岳に囲まれた内陸性気候で、気温の年間格差や日較差が大きく、多照で台風等の気象災害や病害虫の被害が少ない。果樹栽培が盛んでブドウ、モモ、スモモの生産額は日本一である。麦類の生産は戦後においては 20,000ha 以上の作付面積があったものの、一時は約 45ha まで落ち込んだ。近年、法人組織を中心に、県内の実需者向けの小麦生産が拡大している。ここでは、パン用小麦品種「ゆめかおり」の試験研究の成果と現地および実需者における取り組みの事例を紹介する。

2. 「ゆめかおり」に関する試験研究の取り組み

(1) 取り組みの経過

県内においては、従前より山梨県パン協同組合からパンに適した小麦の生産を要望されていた。「ゆめかおり」は、栽培性やパンへの加工適性に優れることから、2017年に県の奨励品種に採用し、県内における栽培や実需者における利用が拡大している。しかし、「ゆめかおり」に対応した施肥基準がなく、耐倒伏性がやや弱いため、収量および子実タンパク質含有率が不安定なことが課題となっていた。また、県内における栽培地域は標高 100m から 1,100m までにおよび、高冷地の一部では春播き栽培が行われている。このため、収穫期が梅雨時期にかかり、子実品質や穂発芽によるフォーリングナンバーの低下が懸念された。そこで、施肥試験や播種期、収穫時期の試験を行い、「ゆめかおり」の生育および子実収量や品質に与える影響について明らかにした。

(2) 施肥体系および施肥診断基準の作成

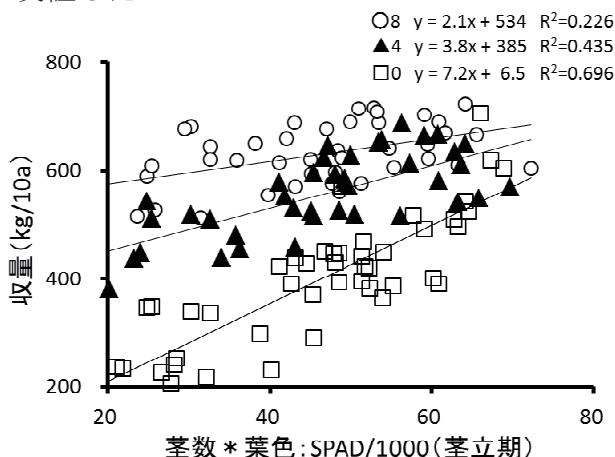
試験は農業技術センター本所（転換畑，灰色低地土，標高 315m，以下本所）と八ヶ岳試験地（畑，黒ボク土，標高 955m，以下八ヶ岳）で行った。基肥，茎立期追肥，穂揃期追肥の体系により，窒素成分で 0,4,8 kg/10a の区を設定した。試験は 2014 年～2017 年度播種，本所では 11 月 3 半旬，八ヶ岳では 10 月 6 半旬に約 7 kg/10a 相当の種子を播種した。

① 施肥体系

「ゆめかおりの」施肥体系について，平坦地と高冷地に分けて設定した。基肥の窒素量は生育の過多や倒伏を防止するため全域で 4kg/10a とした，高冷地の茎立期追肥窒素量は 8kg/10a では倒伏した事例があることから 4kg/10a，平坦地の茎立期追肥窒素量は収量確保の観点から 8kg/10a を基準とした。穂揃期追肥の施肥窒素量は子実タンパク質含有率を確保するため 4kg/10a とした。

② 茎立期追肥

収量の向上に大きく関係するのは茎立期の追肥で、追肥窒素成分1kgあたり20～50kg/10a程度の増収効果があった。生育量が小さい場合や、追肥量が多い場合はこの効果が大きくなった（第1図）。茎立期の茎数および展開第2葉の葉色により、収量および倒伏程度が推定でき、茎数や葉色に応じた診断基準により施肥を行うことで、基準収量の500kg/10aを確保できる（第1表）。この基準を用い、現地圃場においても収量が確保できることを実証した。



第1図 茎立期の生育および追肥量と収量の関係
試験場所：本所、八ヶ岳試験地 2015～17年産試験
基肥－茎立期追肥(N成分kg/10a)：0～12－0～8

第1表 「ゆめかおり」茎立期追肥の基準

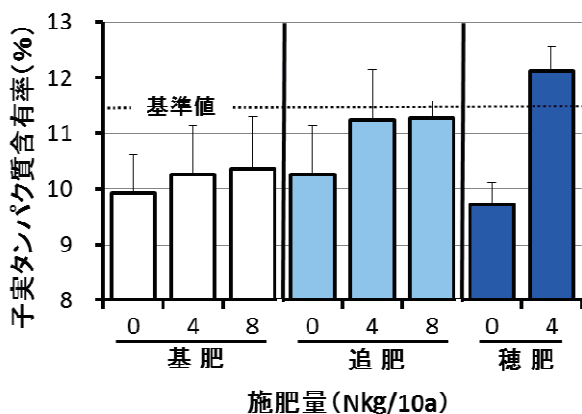
葉色	茎数(本/m ²)					
	35 ~35	40 	45 	50 	55 	60 ~
500～700	8	8	8	6	4	4
700～900	8	8	6	4	4	2
900～1000	8	6	6	4	2	2
1000～1100	8	6	4	2	2	0
1100～1200	8	4	2	2	0	0
1200～1300	6	4	2	0	0	軽減
1300～	4	2	0	0	軽減	軽減

数字は窒素施肥量 (kg/10a)

軽減は倒伏軽減剤等の対策が必要

③ 穂揃期追肥

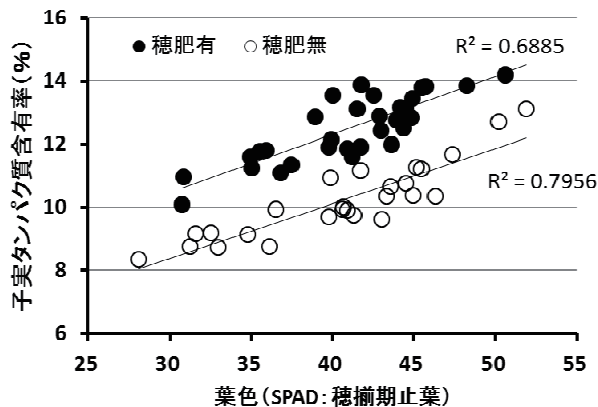
2018年に県内で生産された「ゆめかおり」の子実タンパク質含有率は、圃場や生産者による変動が大きく、ランク区分基準値内の生産物は全体の約45%であった。子実タンパク質含有率は基肥や茎立期追肥の窒素施肥量が多いほど増加するが、子実タンパク質含有率の向上に大きく関係するのは穂揃期の追肥であった（第2図）。窒素成分4kg/10aの施用により子実タンパク質含有率が2%以上高まるため、施肥窒素1kg/10a当たり約0.5%の子実タンパク質含有率上昇効果が期待できた（第3図）。穂揃期における止葉葉色を目安に施肥窒素量を調整することで、目標のタンパク質含有率の子実が生産可能と考えられた。



第2図 各施肥が子実タンパク質含有率に及ぼす影響

* 2014年産本所、八ヶ岳施肥試験

* 誤差範囲は標準誤差(以下同じ)



第3図 穂揃期の葉色と子実タンパク質含有率の関係

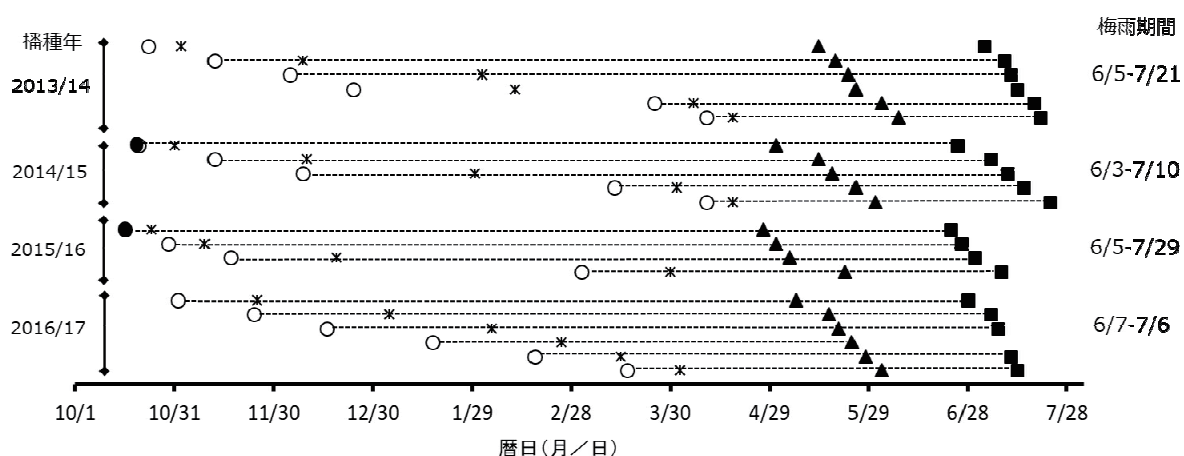
* 2014,2015年産本所、八ヶ岳試験

(3) 播種時期および刈取適期

播種時期試験は、農業技術センター八ヶ岳試験地で、2013～2016 播種年に、播種時期を10月中旬～4月上旬まで設定して行った。2013/14年は10.5 kg/10a (225 粒/m²)，それ以外は7 kg/10a (150 粒/m²) 相当の種子を播種した。基肥としてN-P₂O₅-K₂O 各4kg/10a，茎立期および穂揃期の追肥としてそれぞれN-K₂O 各4kg/10aを施用した。なお、1～4月播種では穂揃期の追肥は行わなかった。収穫時期試験は農業技術センター本所と八ヶ岳試験地で行った。本所では2014年11/11，八ヶ岳では2013年11/23および2014年11/20に7 kg/10a相当の種子を播種した。施肥は播種時期試験と同様である。成熟期から3～8日にサンプルを採取し、穂発芽率，検査等級，フォーリングナンバー (FN) を調査した。

① 播種時期

播種から出芽の日数は、11月中旬まであるいは3月中旬以降の播種では1～3週間であったが、11月下旬から3月上旬播種では1ヶ月以上を要した。出穂期は10月播種では4月下旬～5月上旬，2～4月の春播では5月下旬から6月上旬であった。成熟期は10月播種では6月下旬～7月上旬，2～4月の春播では7月中旬以降で、一部の試験区を除き梅雨の中期～末期となった(第4図)。10月中旬の播種では凍霜害が認められた。子実収量は11月中旬播種までは600 kg/10a以上の多収となったが、11月下旬から12月播種では400 kg/10a程度となった。4月播種では穂数や整玄麦歩合が低く極端な低収となった。検査等級は4月播種や成熟期前に降雨が多い場合に2等，規格外となった。千粒重は春播で、容積重は11月下旬～12月播種および春播で低くなる傾向が認められた。子実タンパク質含有率は、年内播種では播種時期が遅くなるほど高くなった。本県の高標高地では越冬前の生育を確保し、収穫時期の梅雨の影響を避けるために、「ゆめかおり」の播種時期は10月中旬～下旬としていた。しかし、「ゆめかおり」は秋播性が低いため、播種から冬期の気温が高い場合は幼穂の分化が進み凍霜害を受けやすくなる。さらに、10月中の播種は生育過剰による茎数過多から倒伏が発生するため、播種適期は11月上旬が適当と考えられた。



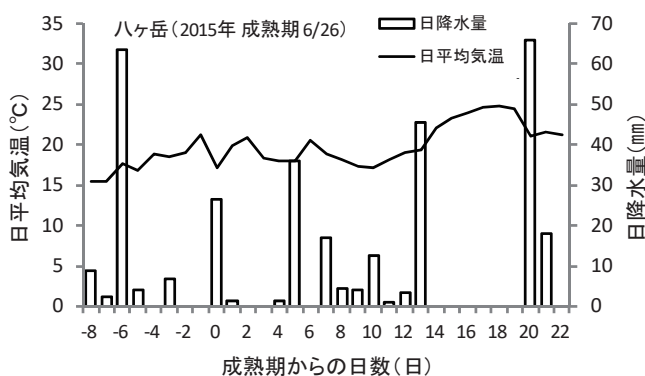
第4図 播種日と出芽期・出穂期および成熟期の関係

* ●は凍霜害を受けた試験区
* 2017年1月播種は出芽少なくデータなし

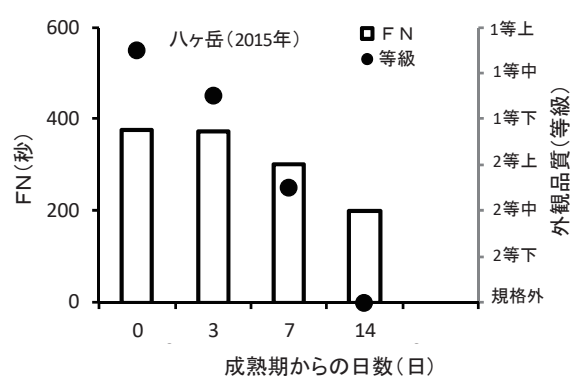
② 収穫時期試験

成熟期は八ヶ岳の2014年産では7/3，2015年産では6/26，本所の2015年産では6/1で、

成熟期前後 1 週間ごとの平均気温は、八ヶ岳 2014 年産および本所 2015 年産では 20～24℃で推移したが、八ヶ岳 2015 年産では 18～19℃とやや低かった。八ヶ岳 2015 年産では成熟期前後 1 週間に 50 mm 以上の降雨があり、その後も連続した降雨が観測された。成熟期の FN は 400 程度であったが、八ヶ岳では両年とも降雨に伴い低下し、2015 年の 2 週間後には許容値である 200 となった。外観品質は八ヶ岳試験地では成熟期 2 週間程度で規格外となったが、本所では 3 週間後でも 2 等相当であった。穂発芽率は八ヶ岳では成熟期 14 日後に数%認められたが、本所では観察されなかった。容積重は収穫時期が遅れるほど低下する傾向が認められた。千粒重および子実タンパク質含有率は期間を通じ変動はなかった。八ヶ岳 2015 年産では気温が低かったこと、成熟期 4 日後から降雨が連続したことおよび成熟期前の降雨が多かったことから、FN が 2 週間程度で急激に低下したものと考えられた。過去の気象データから、八ヶ岳試験地の標高において 6 月下旬～7 月にかけての半旬別平均気温が 15℃を下回らないことから、等級を確保しつつ FN を基準値に保つには連続降雨に留意しつつ成熟期以降 1 週間以内に収穫作業を行う必要があると考えられた。



第 5 図 成熟期前後の気温と降水量



第 6 図 成熟期からの日数と FN および検査等級

3. 実需や普及組織・他の試験場と連携した取り組みと課題

「ゆめかおり」の奨励品種採用時には、製粉業者や実需者と連携を行いながら進めていた。生産や需要が拡大する中で、行政、生産者、実需者が出席し、県産小麦普及促進検討会が開催され、生産や利用の課題を共有するとともに、相互の理解を深めていった。また、試験の成果を基に、現地における栽培講習会や追肥の巡回を行い、栽培の安定化を図った。さらに、産業系の試験場と連携し、今回紹介した「ゆめかおり」の栽培試験やパンへの加工適性、麺類への加工試験を行った。以上のような取り組みにより、現在では作付面積 70ha、玄麦量 200t 程度が生産されている。栽培は標高 400～700m の中間地における単作あるいは大豆との 2 毛作が多く、収量性は年により変動はあるものの、子実タンパク質含有率は 11.5%を上回る生産物が大多数である。生産者からは 2 度の追肥の省力化を求められており、普及と連携した中でジシアンジアミドを含む肥料の現地実証を行っている。また、製粉した小麦粉については、当初はパン協同組合に加入する組合員への供給だけであったが、ほうとう等の製麺業者を含めた他の実需者や一般消費者への販売も行われている。なお、農家単位での契約栽培で、ビールや醤油等の醸造用にも利用されている。需要は現在の 2 倍程度ある状況のため、生産者の掘り起こしを行っている。

【特別講演 2】

スマート農業の実現に向けたフィールドフェノミクス研究・教育

郭威

(東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構)

Field Phenomics Research and Education for Smart Agriculture

Wei GUO

(Institute for Sustainable Agro-ecosystem Services, Graduate School of Agricultural and Life Sciences,
The University of Tokyo)

はじめに

21 世紀になっても人口が毎日 20 万人増加し続けている。2050 年までに世界の人口が約 100 億人に達するとの人口統計を国連が発表し、急速に増加している人口や食遷移に呼応できる十分な食料の確保が急務になっている。さらに、気候変動が懸念される中、世界各地で大干ばつによる大幅な減収や、異常高温・異常低温・日照不足等による生育不良が世界各地で恒常的に発生している。そのような中、限られた土地や水資源のもと、食料を安定的に増産し確保するには、革新的な育種開発と栽培技術の高度化、いわゆるスマート農業が一つの解決策となる。スマート農業とは、ロボット技術、ICT (情報通信技術)、AI (人工知能)、IoT (モノのインターネット) 等の先端技術を活用し、超省力化や生産物の品質向上を可能にする新しい農業と定義されている (農水省: <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/>)。従来の農業が目や手で観察し、経験や勘で判断をおこない、そして必要な作業をし、最後に農作業日誌に記録するのに対して、スマート農業では、センサーでデータを自動収集し、データから AI で判断を行い、ロボットへ指示を出して作業をさせ、最後に自動データベースに蓄積という形となる。近年では、AI など情報科学・技術の農業への導入は、国内外の農業政策の大きな目玉となり、大学、研究機関、民間の関連企業も農業スマート化推進に向かっている。途上国も例外では無く、それに対して各国はそれを支える人材の育成にもさまざまな政策を打ち出した。例えば、米国国立科学財団 (National Science Foundation) では NSF 研究トレーニング (NRT) プログラムを通じて、優先度の高い学際的研究分野における教育プロジェクトを 2014 年から発足させた。その中で、アイオワ州立大学は “Predictive Plant Phenomics (P3)” 教育プログラム (<https://www.predictivephenomicsinplants.iastate.edu/>) を 2015 年に始めた。プログラムに選ばれた学生には、植物科学、データ科学、エンジニアリングを同時に学べるコースを提供するほか、奨学金、旅費や研究費も提供するため、数多くのスマート農業人材が育ってきている。さらに、2020 年から米国全土に AI 研究機関 (<https://new.nsf.gov/funding/opportunities/national-artificial-intelligence-research>) を設立、2021 年には農業関係 AI 研究機関が 3 つ設立され (https://www.nsf.gov/news/ai/AI_map_interactive.pdf)、若手研究者の育成が進んでいる。中国・教育部も 2018 年から学際的学部学科のひとつとして “智慧 (スマート) 農業” を承認し、華中農業大学はじめ、2022 年時点では 28 の大学が同学科を設立している (http://www.moe.gov.cn/jyb_xxgk/xxgk_jyta/jyta_gaojiaosi/202101/t20210125_511013.html)。また、スマート農業の重要な基盤となるフェノミクスについても、2021 年に南京農業大学の学際的学科として “植物フェノミクス” の増設が教育部に承認される (<https://news.njau.edu.cn/2021/0822/c68a115440/pagem.htm>) など、これからスマート農業における学際的な高度な人材が多教育成されると期待できる。筆者が所属する東京大学大学院農学生命科学研

究科附属生態調和農学機構（以降，機構とする）では，2017 年からフィールドフェノミクス研究拠点の設立，2019 年から学部実習科目であるフィールド農学基礎実習にフィールド ICT に関わる講義内容を新たに導入した．本報では，筆者がこれまで関わってきたスマート農業の実現に向けたフィールドフェノミクス研究・教育について紹介する．

情報科学の革新による次世代植物フェノミクスに関する研究

筆者は，情報科学を学んだ知識を背景に，栽培や育種現場の国内外の研究者と綿密な交流をしながら，農学分野の知識も蓄積し，両分野を融合した植物フェノタイピングのための新分野を開拓し，画像パターン認識，機械学習，センシング技術等を駆使して生物の細胞レベルから個体群にいたる生育状態や活動状態の高速・高精度評価に関する理論と応用技術の開発を展開している．例えば，近年急速に発展したフィールドモニタリングシステムと画像解析技術を組み合わせた，野外でも使える低コスト・高速フェノタイピングのための研究開発を行っている．その中でも，農学的に有用なデータを収集する技術とデータから表現型を抽出する解析技術の開発は中心的にすすめている（図1）．

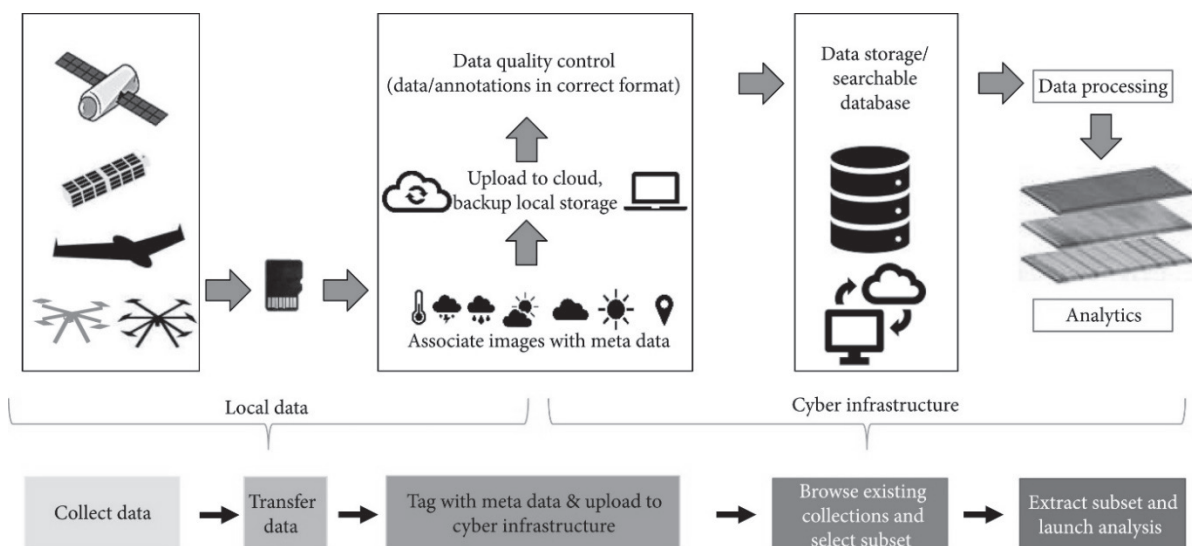


図1. ドローンワークフローパイプライン：データ収集，転送，アップロード，保存，分析．

(Guo et al., 2021, Plant Phenomics)

圃場においてやみくもにデータを集めるのは効率的ではなく，農学的に意味を持つ解析ができるデータを収集する必要がある．例えば，系統選抜を目的とした育種圃場を対象に，各系統を生育初期から後期にわたって表現型（群落キャノピー構造や草丈変化など）をドローン空撮による計測する場合，画像センサーの選択とそれに合う機種を選択，圃場設計に応じたドローン自動飛行プランの設計及び生成，画像収集センサーのコントロール，収集したデータの保存と管理，各プロット位置など空間配置情報を自動で得るためのプリプロセッシング，各プロットにおける形質を計測する手法及びツールが必要である．これには，複数の専門分野からなる高度な専門技術が必要であり，導入は容易でない．そこで，ドローンを用いたフィールドフェノタイピングを行うためのツール

ル及びパイプラインを開発した（図 1）。また、一連のプロセスを自動化するための要素技術の開発も行い、例えば圃場マッピングしたオルソ画像から自動的に小試験区を抽出し、元写真へ逆投影する手法を開発した。さらに誰でも利用できるように、論文や Wiki ページで公開・運営している (<https://github.com/oceam/UAVPP/wiki>)。

収集された画像データから表現型を抽出するとき、野外の通常の圃場で撮影された画像は、光条件の変化により陰影、反射などが生じ、画像ごとに植物領域の色調が異なるため、既往の手法は適用できないことが多い。そこで筆者は、野外太陽光や風などの影響を受けて大きくばらつく画像データから植物の成長速度・形状変化・生育状況などのデータ抽出を安定的に行うアルゴリズムの開発を行った。例えば、撮影条件に頑健な植物領域抽出と植被率の推定手法、光条件が異なる膨大な数の画像でも一括処理できる高い汎用性のあるツール EasyPCC (https://github.com/oceam/EasyPCC_V2)、重なりのある樹冠の個体分割と樹勢判定手法、ドローン空撮と 3 次元再構築技術を活用した、樹冠 3D サービス（特許出願済み、https://www.nec-solutioninnovators.co.jp/sl/tree_crown/index.html)、野外環境での作物器官（穂、果実、花、果房、莢、種子など）の検出・計数・生育判定手法の開発及び応用（出穂期、開花時期、成熟度、単位面積収量の推定）などが挙げられる（図 2）。

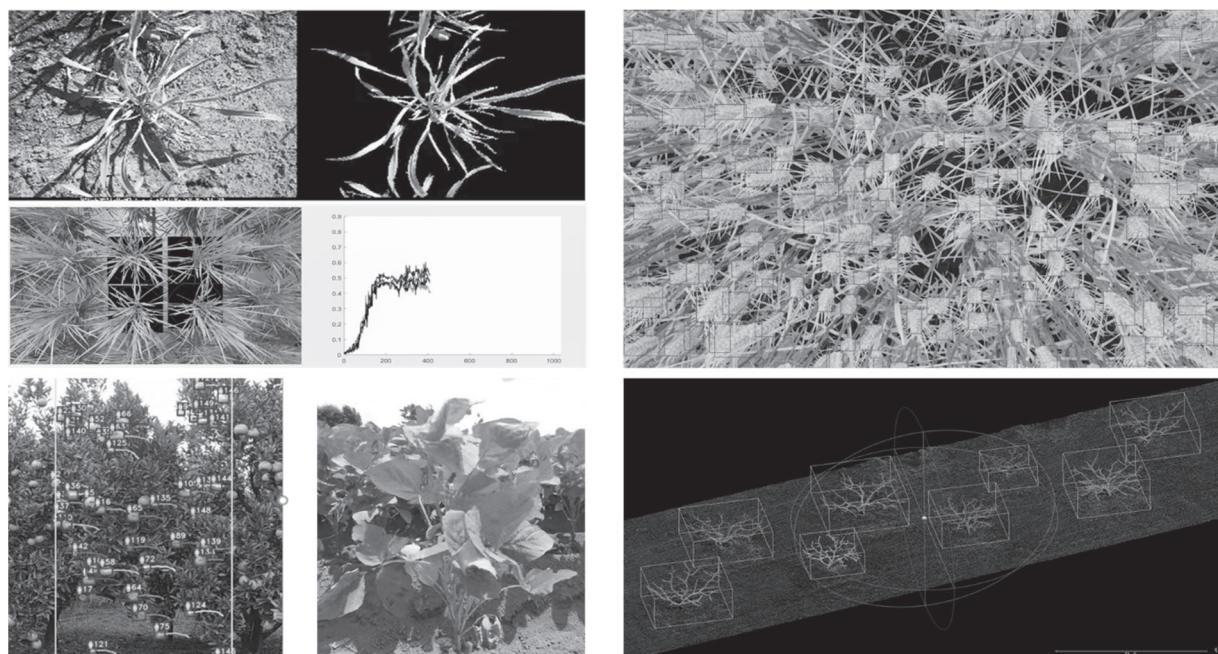


図 2. センシングと画像解析によるフェノタイピング事例。

フィールド ICT 実習教育プログラム

機構では、学生にもスマート農業に関することを知ってもらう機会や、理解を深める場を提供するために、2019 年度から ICT を活用したフィールド実習教育プログラムを新設し、フィールド ICT 実習をはじめた。実習の対象は農学部 5 専修（応用生物学・生物環境工学・農業資源経済学・農業国際開発（IPADS）・緑地環境学）の 3 年生で、実習項目はスマート農業生産現場に不可欠な技術で

ある GIS 測量, UAV 空撮, 自動運転としている (図 3). また, 筆者が所属する研究室は北海道十勝地方の更別村からの寄付金に基づいて設立されたフィールドフェノミクス寄付講座であるため, 年数回, 更別村の最先端農家見学や地域との交流など, 実際の農業生産現場からスマート農業を学ぶコースも実施している.



図 3. フィールド ICT 実習の様子. 上: 職員によるデモ飛行および学生によるドローン飛行体験 ; 下: 職員による自動運転トラクターデモ走行.

終わりに

生産性と持続性の両立が求められる 21 世紀のスマートな農業生産には, 革新的な育種開発と栽培管理技術の高度化が必須である. そのために, 植物の表現型と遺伝子型または環境との関係を理解と, データに基づく農作業の自動化, 最適化が重要となる. 筆者は, 多くを時間や労力がかかる人力観測で行ってきた表現型計測を, ドローンやロボットセンシング, 機械学習データ分析技術を活用したフィールドフェノタイプング技術の開発を中心に, 教育研究を行ってきた. 今後, スマート農業技術の実際の生産現場での有効性を検証する必要がある. 将来, 開発した手法を普及させつつ, 発展・実装できる人材の育成することで, 環境負荷を低減させつつ生産性を向上させる持続的な農業を加速させることが期待される.