

# ビール大麦生産量日本一を支える品種

● 栃木県の2019年産（令和元年産）の麦類生産量は二条大麦が全国2位、六条大麦が同3位、小麦と裸麦を含めた4麦合計が同4位で、全国有数の麦作県に数えられます。

● 中でもビール用二条大麦（ビール大麦）は生産を始めてから今年で113年目、初めて生産量日本一に躍進した103年前から、ほぼ毎年“日本一”の座を維持しています。

● この30年間では、ビール需要の減少で全国的に生産量が減少する中、本県では関係機関が一丸となって良質麦生産の振興を図り微減にとどめています。その結果、国内シェアは徐々に向上して50%に達し、実需からの評価も高く、国産麦における本県の立場は益々重要になっています（図1）。

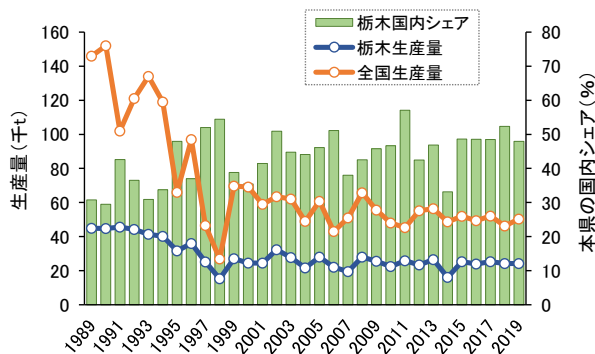


図1 栃木県のビール大麦生産量と国内シェアの年次推移

## 栃木県ビール大麦栽培の今昔物語

今では水田高度利用作物として定着していますが、高度経済成長期頃までは水田と畑の両方で作付けされていました。当時は晩生・長稈で栽培しにくかったはずですが、ビール会社との契約取引が経営的に魅力だったのか、広く栽培されていました。1978年（昭和53年）に「水田利用再編対策」事業がスタートし、水田転作作物の主力になりました。この頃には育種によって2週間の早生化・30cmの短稈化が達成され、随分と栽培しやすくなりました。

## 1 多収と良質の両立と縞萎縮病の克服に向けて（研究期間1988年～）

### ● 一長一短の「ミサトゴールデン」と「ミカモゴールデン」

昭和60年代に育成された「ミサトゴールデン」は早生・多収でしたがビール醸造品質が不十分、「ミカモゴールデン」は品質が優れますが栽培特性に問題がありました。したがって、育種目標は多収と良質の両立を図ることでした。平成になり、多収で栽培性が優れる「ヤチホゴールデン」と「タカホゴールデン」を育成しましたが、品質の問題点が表面化し、普及には至りませんでした。

結果的に「ミカモゴールデン」の作付けが増加し、現場には栽培性が劣る品種の生産を強いることになってしまいました。

### ❶ 挫折を経験し、育種に大なたを振るう決断を

「ヤチホゴールデン」と「タカホゴールデン」の挫折を経て、分析項目を増やすなど品質選抜を強化しました。

また、系譜を辿ると、それまでは比較的狭い遺伝変異の中での改良でした。しかも、「はるな二条」の交配が良質化に大いに貢献したことを認めつつも小粒化の傾向にありました。そこで、大粒とさらなる良質の交配親を求めて変異拡大を図ることにしました（図2）。

### ● 縞萎縮病抵抗性育種に激震が走る

世界に先駆けて抵抗性品種「ミサトゴールデン」を開発しましたが、抵抗性遺伝子 *rym5* を打破するウイルスⅢ型系統が茨城県で見つかりました。本県でも1991年（平成3年）に発病が認められ、その2年後には被害が拡大していることが確認されました。縞萎縮ウイルスⅢ型抵抗性品種の開発という新たな使命が課せられました。

### 縞萎縮病と抵抗性遺伝子

オオムギ縞萎縮ウイルスはネコフカビ類の媒介で土壌伝染し、大麦に感染すると重大な被害を及ぼします。現在ウイルスはⅠ～Ⅴ型に大別されています。一方、抵抗性遺伝子は栽培品種や近縁野生種から22種類が見出され、*rym1* から *rym19* まで報告されています。

### ❶ *rym1* か *rym3* か？ 育種方針の岐路

*rym5* ドナーの「木石港3」はウイルスⅢ型に罹りません。遺伝解析の結果「木石港3」は *rym1* と *rym5* の2種類以上を有し、「ミサトゴールデン」から「タカホゴールデン」までの品種には *rym5* のみが遺伝したことが判りました。ここでⅢ型抵抗性育種の実践にあたり、*rym1* を追求する選択肢もありましたが、「はがねむぎ」の持つ *rym3* もⅢ型抵抗性であることが判り、既に交配親として使用していたこともあって、この抵抗性遺伝子に活路を求めることにしました（図2）。

この方針は、上述した遺伝変異を拡大する路線にも合致していたのです。



写真1 現地の縞萎縮が発病した畑（左）と健全な畑（右）。



写真2 縞萎縮ウイルスⅢ型抵抗性の選抜。

### ● 連鎖の壁が立ちはだかる

Ⅲ型抵抗性の品種開発の道のりは平坦ではありませんでした。なぜなら、*rym3* の近傍に農業形質を劣悪にする遺伝子ブロックが連鎖していると推測されたからです。そのため、*rym3* を持つ実用的な系統を長い間育成できずにいました。それでも諦めずに地道な交配と選抜を繰り返しました。

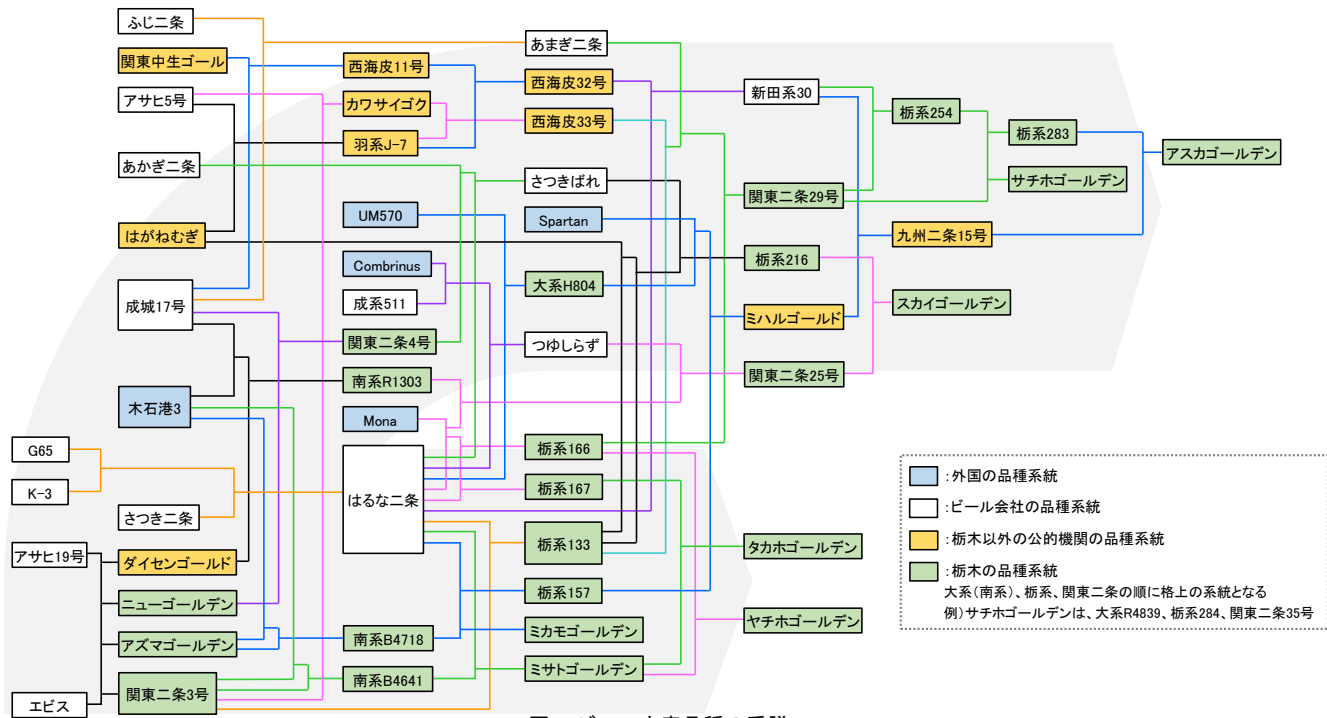


図2 ビール大麦品種の系譜

❶ 「栃系216」と「関東二条29号」の登場で育種が加速化

ようやく *rym3* を持つ「栃系」が育成できました。「栃系216」と品質が優れて *rym5* を持つ「関東二条25号」との組合せから「スカイゴールデン」が育成されました(図2)。「関東二条29号」は *rym3* と育種上不利な遺伝子ブロックとの連鎖が打破され、有利な遺伝子ブロックに組換わった系統です。そこから育種は一気に加速し、「関東二条29号」を交配親に使った組合せから多くの有望系統が誕生しました。その代表格が「サチホゴールデン」と「アスカゴールデン」です(図2)。

● 「スカイゴールデン」「サチホゴールデン」「アスカゴールデン」へ

縞萎縮ウイルスⅢ型が本県で見つかったから9年後に、世界初のウイルスⅠ～Ⅴ型抵抗性品種「スカイゴールデン」が誕生しました。品質(エキス)は最高水準と言われてきた「ミカモゴールデン」を上回りました。実需からビール製造時の麦芽の溶けが進み過ぎると指摘されましたが、何とか及第点をもらいました。

その後、麦芽の溶けがより適正值に近い「サチホゴールデン」を、次いで適正範囲に収めやすい「アスカゴールデン」を育成しました。この2品種のエキスはほぼ同等で「スカイゴールデン」を軽く超越します。収量性は「サチホゴールデン」が穂重型、「アスカゴールデン」が穂数型とタイプが異なりますが、どちらも多収です。「ミサトゴールデン」の収量とエキスを各々100とすると、収量は113に、エキスは104に改良されました(図3)。

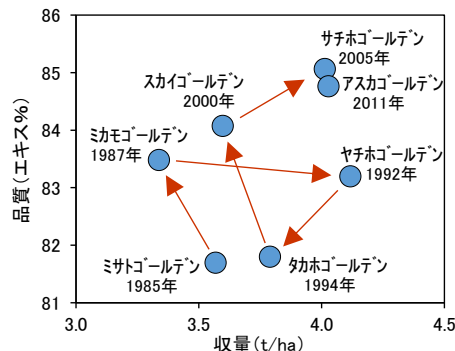


図3 育成品種の収量と品質の改良の経過

**農試ニュース No.165(H13.3)**  
**スカイゴールデン**  
 2003年(平成15年)品種登録  
 ● 縞萎縮ウイルスⅠ～Ⅴ型抵抗性  
 ● 麦芽の溶けが進み過ぎてビール大麦合同比較試験の品質評価基準を改正するきっかけになった



写真3 縞萎縮ウイルスⅢ型圃場で健全に生育するスカイゴールデン(右)。ミカモゴールデンは萎縮症状が見られる

**農試ニュース No.223(H18.1)**  
**サチホゴールデン**  
 2009年(平成21年)品種登録  
 ● 大粒で多収、良質、縞萎縮ウイルスⅠ～Ⅲ型抵抗性  
 ● 九州まで普及し、最大で国内ビール大麦の65%を占めた



写真4 登熟期のサチホゴールデン(左)。芒が長いため、ミカモゴールデン(右)よりも穂が緑色に見える

**農試ニュース No.298(H24.4)**  
**アスカゴールデン**  
 2013年(平成25年)品種登録  
 ● 穂数多で多収、良質、縞萎縮ウイルスⅠ～Ⅴ型抵抗性  
 ● 麦芽の溶けの絶妙なバランスの良さはビール会社から高く評価されている



写真5 登熟期のアスカゴールデン(左)。サチホゴールデン(右)よりも穂数が多い

## ● ついに縞萎縮病の被害がゼロに

育種の成果が本県に及ぼした経済効果を30年間積み上げると、多収化の効果は「サチホゴールデン」の普及拡大と同調しながら向上し、70億円と算出されます。また、良質化（高エキス化）の効果は「スカイゴールデン」が普及拡大してから顕著に向上し、16億円になります（図4）。2011年（平成23年）に県内全てが縞萎縮ウイルスⅢ型抵抗性の品種になり、厄介だった縞萎縮病の被害をゼロにすることができました。それは同時に「ミカモゴールデン」の生産からようやく“卒業”できたことを意味します（図5）。（しかし、令和2年産でサチホゴールデンの後継のニューサチホゴールデンに感染例が確認されました。まだ縞萎縮病との闘いは続きます）

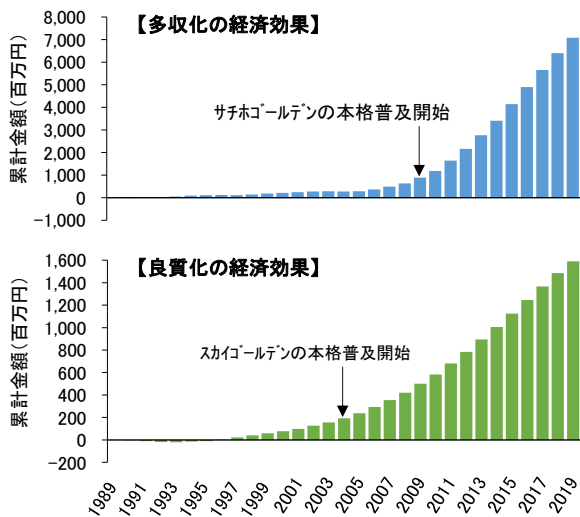


図4 育種の成果が栃木県に及ぼす経済効果

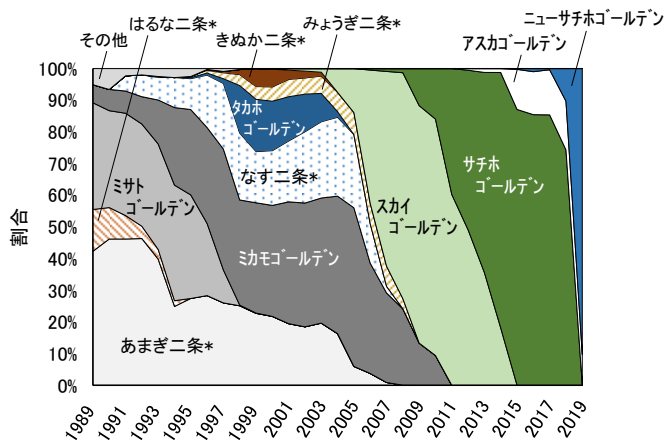


図5 栃木県における品種作付割合の推移

\*:ビール会社の育成品種



写真6 間もなく収穫となる収量試験の圃場。



写真7 収量試験のプロットコンバイン収穫。



写真8 ビール醸造品質を分析する機器。

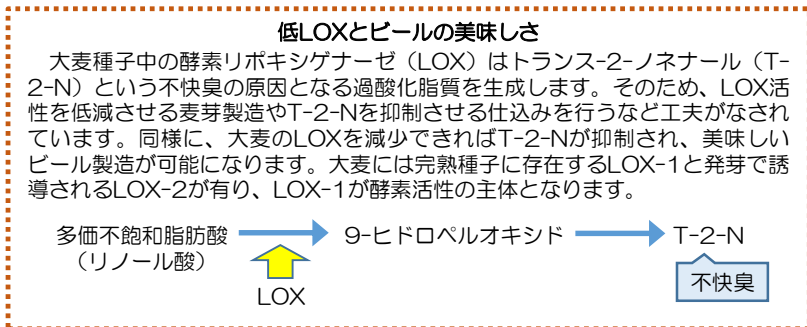
## 2 より美味しいビールを目指して（研究期間2003年～）

### ● 低LOXで美味しいビール製造が可能に

「サチホゴールデン」が開発された頃、大麦のLOXを減少させて過酸化脂質の生成を抑制できれば、より美味しいビール製造が可能になるという論文が発表されました。

サッポロビールが先行して研究していましたが、2003年（平成15年）に栃木県でも低LOX大麦育種の研究を開始しました。

農試ニュース  
No.265(H21.7)



### ● オリジナルの低LOX大麦を作りました

アメリカ六条大麦「Kari」にアジ化ナトリウムによる突然変異誘発処理を行い、幸運にもLOX-1活性欠失個体を見出すことができました。これに「大系LM1」の系統名を付けました。「サチホゴールデン」にも同様の処理を行い、LOX-1活性欠失個体を見つけ、「大系LM2」と名付けました。両系統の *Lox-1* 遺伝子を解析したところ、既報の遺伝子とは異なる新規の対立遺伝子ということがわかり（図6）、各々を *lox1-2005* および *lox1-785* と呼ぶことにしました。

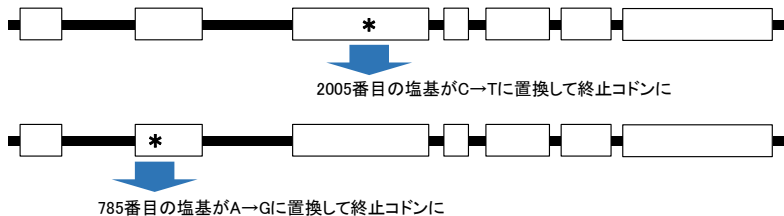


図6 LOX-1活性欠失突然変異系統「大系LM1」、「大系LM2」の遺伝子構造

- 1) 上が「大系LM1」、下が「大系LM2」の構造
- 2) □はエクソン、—はイントロンを表す
- 3) \*は塩基置換の位置

### ● 低LOX品種「ニューサチホゴールデン」の誕生

「大系LM1」に「サチホゴールデン」を5回戻し交配した中から、低LOX品種の育成に成功しました。低LOX以外の特性は「サチホゴールデン」と全く同じであったことから(図7)、「ニューサチホゴールデン」と名付けました。この品種はイノベーション創出強化研究推進事業としてビール会社、福岡県、農研機構との共同研究の成果でもあり、醸造過程でLOX活性やT-2-Nの生成が減少することを確認するとともに、一定期間保存後のビール香味が優れることを立証しました。



写真9 世代促進冷温室で生育中の大麦。交配した穂には袋掛けしてある

**ニューサチホゴールデン**  
農試ニュース No.332(H27.2)

2018年(平成30年)品種登録

- 低LOXで多収、良質、縞萎縮ウイルスI~Ⅲ型抵抗性
- 本県では2020年産(令和2年産)より全てのビール大麦が本品種に切り替わった

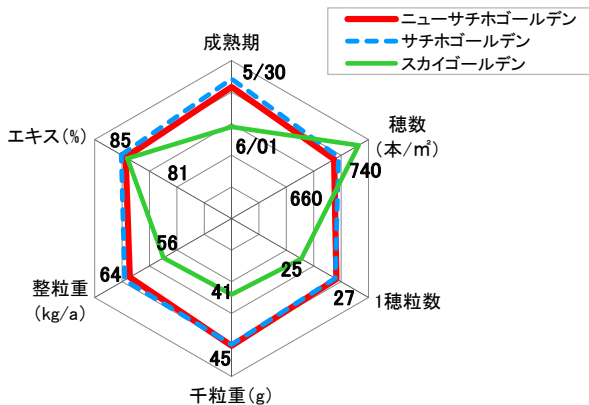


図7 「ニューサチホゴールデン」の特性

#### ❶ 通常より短い年数で開発に成功

低LOX品種の育種には、「大系LM1」等の突然変異系統を1回親、「サチホゴールデン」等を反復親とする戻し交配の戦術をとりました。交配と選抜を、世代促進冷温室を利用して実行すれば早期に品種育成できると考えたからです。狙い通りに「ニューサチホゴールデン」は通常では12年かかるところを9年で開発できました。

## 3 機能性を追求した食用大麦の育種 (研究期間1994年~)

### ● ビール大麦の品質研究が活かされました

大麦種子に含まれるポリフェノール的一种であるプロアントシアニジンはビールの濁りの原因となるので、プロアントシアニジンフリー (PAF) 突然変異系統を外国から取り寄せて交配しました。その中からPAF系統を選抜しましたが、穂発芽耐性が劣るため一旦育種を中断しました。2002年(平成14年)に農林水産省高度化事業に参画し、民官共同研究として育種を再開しました。その結果、PAF系統はビール用としては不適格でしたが、炊飯後に褐変しにくいなど食用としての適性を備えていたので、最良の系統を「とちのいぶき」として育成しました(図8)。

### ● 低LOXにして美味しさを追求しました

ビール用で実用化された低LOX特性の食用への応用を目指しました。麦ご飯が敬遠される一因の「麦臭」が低LOXにすることで低減できると考えたからです。また糯(もち)性にすると機能性のβ-グルカン含有率が高まり、食感も良くなるので、糯性を育種目標にしました。国産の糯性品種を望む声が強まり、各地で新品種が育成される中、栃木県でも「もち絹香」を育成しました。3種類の突然変異系統(四国裸97号、ant28-494、大系LM1)を組合せ、糯性、PAF、低LOXの3拍子を揃えた品種は、数ある糯性品種の中で「もち絹香」をおいて他にはありません(図8)。

### とちのいぶき

農試ニュース No.256(H20.10)

2012年(平成24年)品種登録

- うち性の食用二条大麦
- 炊飯後に変色しにくい特長がある
- 縞萎縮ウイルスI~Ⅴ型抵抗性

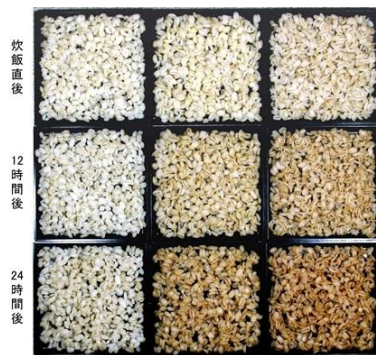


写真10 とちのいぶきの炊飯麦の色相。24時間経過しても変色程度が少ない

### もち絹香

農試ニュース No.370(H30.4)

2018年(平成30年)品種登録出願公表

- もち性の食用二条大麦
- 炊飯後に変色しにくく、麦特有の臭いが少なく、食味が優れる
- 縞萎縮ウイルスI~Ⅴ型抵抗性



写真11 登熟期のもち絹香(左)、とちのいぶき(中)やサチホゴールデン(右)より短秆なので多収をねらった多肥栽培が可能

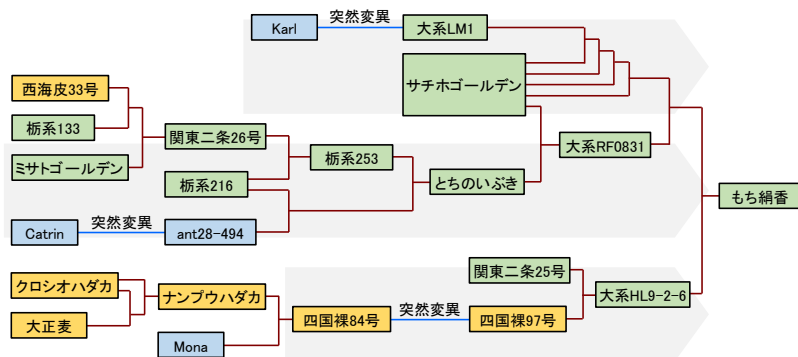


図8 食用大麦品種の系譜

■ : 外国の品種系統   ■ : 栃木以外の公的機関の品種系統   ■ : 栃木の品種系統

表1 栃木県農業試験場で育成した大麦品種

品種名	登録申請年	用途	最大普及面積 (ha)	コメント	現況
ニューゴールドデン	1965	ビール用	32400	宮城から島根まで11県に普及し、全国シェアは最大で40%	
アズマゴールドデン	1971	ビール用	16900	機械化栽培適性が求められた時代にマッチして関東東山に普及	
ミホゴールドデン	1975	ビール用	2477	育種事業開始当初からの早生化と短稈化の目標を達成	
ヤシオゴールドデン	1984	ビール用	600	品種登録後に品質の問題が表面化し、試作段階で撤退	
ミサトゴールドデン	1985	ビール用	9551	縞萎縮病の壊滅的な被害から産地を救った	
ミカモゴールドデン	1987	ビール用	6306	栃木県での普及期間は23年、長期にわたって麦作を支えた	群馬県で作付
ヤチホゴールドデン	1992	ビール用	200	品種登録後に品質の問題が表面化し、試作段階で撤退	
タカホゴールドデン	1994	ビール用	1538	普及の道半ばで品質の問題が表面化し、段階的に削減	
スカイゴールドデン	2000	ビール用	7228	縞萎縮ウイルスⅢ型の被害を終結させた	岡山県で作付
サチホゴールドデン	2005	ビール用	18200	最大で8県に普及して全国シェアは65%、今でも作付面積No.1	佐賀県など7県で作付
とちのいぶき	2008	食用	224	実需から評価され、一定の需要がある	本県で作付
アスカゴールドデン	2011	ビール用	1390	実需が求める品質特性は今後のスタンダードになる	群馬県で作付
ニューサチホゴールドデン	2014	ビール用	7640	現在の栃木県の主力品種、他県でも採用の動き	本県で作付
HQ10	2014	工業用	20	アミラーゼ活性が通常品種の3倍、現在は作付け無し	
もち絹香	2017	食用	150	県内実需の要望から誕生した、もち性品種	本県で作付

## 4 今後の大麦研究の方向性

### ● 安定生産型の多収・良質品種を育成します

- 気候変動でクローズアップされる穂発芽や凍霜害などに備えるため、穂発芽耐性、秋播性、日長反応性などを付与します
- 現在の品種よりも収量を10%以上アップします
- 機能性成分の含有量を高め、美味しさも追求します
- エネルギーコスト削減が可能な品質特性を持たせます

### ● 育種の効率化を図ります

現在、種子休眠（穂発芽耐性）遺伝子 *qsd1* など13種類のマーカーを使用しています（表2）。今後も多くの形質について関連遺伝子のDNAマーカー化を進め、育種の効率アップを図ります。また、自動的に高速な遺伝子型評価法などの整備も必要と考えます。

表2 現在、育種に使用しているDNAマーカー

遺伝子	表現型
<i>qsd1</i> ( <i>AraAT</i> )	種子休眠
<i>qsd2</i> ( <i>MMK3</i> )	種子休眠
<i>Vrn-H2</i> ( <i>ZCCT-H</i> )	秋播性
<i>PhyC</i> ( <i>HvPhyC</i> )	日長感応性
<i>rym3</i> 連鎖マーカー	縞萎縮ウイルス抵抗性
<i>rym5</i> ( <i>HvEIF4E</i> )	縞萎縮ウイルス抵抗性
<i>rym1</i> ( <i>HvPDIL5-1</i> )	縞萎縮ウイルス抵抗性
<i>mlo</i>	うどんこ病抵抗性
<i>11-2</i> 連鎖マーカー（仮称）	ムギ類萎縮ウイルス抵抗性
<i>lox1-785</i>	リボキシゲナーゼ-1欠失
<i>ant28-494</i>	プロアントシアニンフリー
<i>wax-b</i> ( <i>HvGBSS</i> )	アミロースフリー
<i>amo1</i>	高アミロース

### ● スピード育種に挑戦します

上述の目標を達成するためには今よりも遺伝変異を拡大させる必要があります。しかし、そうすると育種年数がかかってしまいます。そこで、複数の有用な品種系統を同時に混植し、他殖を毎世代繰り返すことで遺伝的組換えを促進させ、その後DNAマーカーを駆使するなどして、多くの優良遺伝子が集積した品種を効率よく育成する育種法に挑戦しています。より効果的にするには、超世代短縮、遺伝子同定、育種データベースなどの技術的支援も重要になります（図9）。

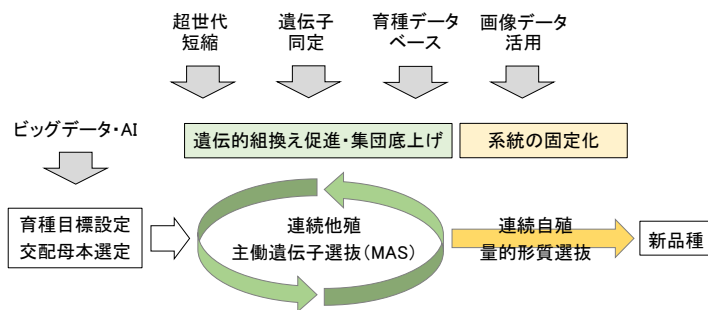


図9 これからの育種のイメージ

### ● スマートな生育診断・安定生産技術の確立を目指します

栽培面ではマルチスペクトルカメラによる生育診断と、それに則した追肥をスマートに実践できる技術体系を確立するための試験に取り組んでいます。

麦作農家の経営安定化と栃木麦ブランド力向上のために、これらのことにスピーディーに取り組み、一日でも早く現地に役立つ技術の開発を目指します。

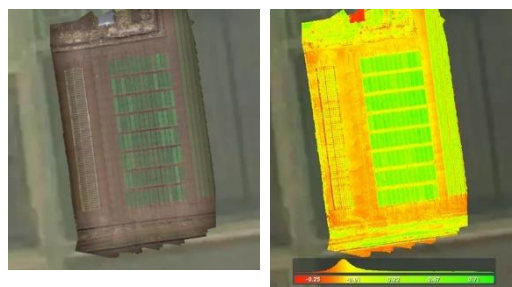


写真12 ドローンを活用した生育診断イメージ。(左)RGBカメラ、(右)マルチスペクトルカメラ。