

ブランド米生産への衛星リモートセンシングの活用

地方独立行政法人青森県産業技術センター
農林総合研究所

境谷 栄二

はじめに

全国で多くの産地が米の品種育成とそのブランド化に取り組んでいる。青森県でも2015年に「青天の霹靂」が市場デビューし、食味と外観品質を重視したブランド化を進めている。食味と外観品質は、ブランド化の重要な要素であるが、同じ品種・産地でも、生産者の栽培技量や土壌条件でバラツキが生じてしまう。産地スケールでブランド化を図るには、産地全体でバラツキのない高品質な米の生産が必要とされる。

県やJAでは、高品質米生産を支援するため、従前から施肥や収穫時期の指導を行ってきた。しかし、水田で稲の大きさや葉色を実測する従来の方法では、産地が抱える数千枚の水田を指導員だけで調査することは困難である。各々の水田の状況に即した具体的なアドバイスを農家に提供することが理想ではあるが、実現できる水田はごく一部に限られてしまう。代表地点の調査結果を基に、地域の平均的な生育状況をアドバイスしている場合がほとんどである。

衛星リモートセンシングでは、数千～数万枚の水田を一度に撮影でき、画像の解像度によっては、水田一枚ごとの各種情報(井上 2017)を得ることができる。そこで、「青天の霹靂」では、衛星画像から得られる食味や外観品質に関連する情報を生産指導に活用する取り組みを、2016年から産地全体で進めることとした。ここでは、衛星画

像から形質を推定する仕組みと情報活用状況について紹介する。

1. 衛星画像から得られる有用情報

「青天の霹靂」では、食味や外観品質に関連する情報として、収穫時期、玄米タンパク質含有率、土壌の肥沃度を衛星画像から水田一枚ごとに推定し、栽培指導にデータを活用している。いずれも、衛星画像上の水田の色変化の特徴を利用するもので、詳細は次のとおりである。

(1) 収穫時期

稲の色は、出穂時期は緑色をしているが、収穫時期になると黄褐色に変わる(図-1)。この間、葉や穂の緑色は徐々に淡くなっていく。地上を撮影する多くの衛星では、デジカメ写真と同様に青、緑、赤の3波長と、さらに近赤外波長の計4波長の測定が可能である。Googleマップなどの背景図でよく見かけるカラーの衛星画像は、これらのうち、青、緑、赤の3波長の強さが測定されたデジタルデータを

出穂時期



徐々に変化



収穫時期



図-1 生育ステージによる稲の色の違い

カラー合成したものである。収穫時期の推定では、衛星画像は、出穂2週間目頃から収穫時期前にかけて撮影したものを利用するが、この間に撮影されたカラー画像は、生育が早く収穫時期までの日数が短い水田ほど緑色が淡く、生育が遅く収穫時期までの日数が長い水田ほど緑色が濃い傾向がある。人間の目では、3波長のうち最も輝度の強い緑色の濃淡で認識されるが、生育ステージとの関係では、緑色よりはむしろ赤色の波長の強さに大きな違いが生じる。よって、収穫時期の推定は、「赤」又は「赤と近赤外」の波長での精度が高い。なお、衛星画像から把握できるのは、生育の早晩に関する相対的な情報である。これに対象地域の出穂後積算気温の情報を組み合わせることで、水田一枚ごとの収穫予想日(暦日で△月△日)が算出できる(境谷・井上 2013)。図-2に収穫適期マップを示した。

(2) 玄米タンパク質含有率

出穂期以降は、稲体の窒素濃度が高いほど、玄米のタンパク質含有率が高まりやすい。また、窒素濃度の高い

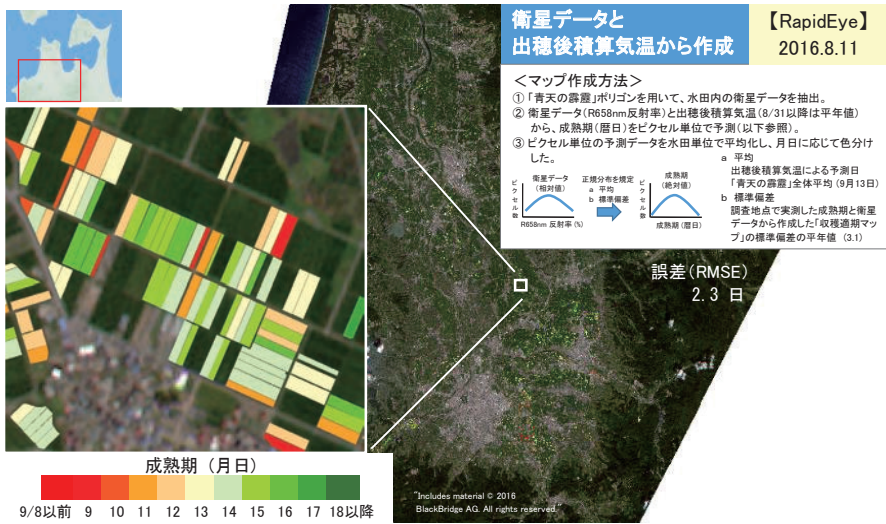


図-2 収穫適期マップ



図-3 栄養条件による稲の色の違い

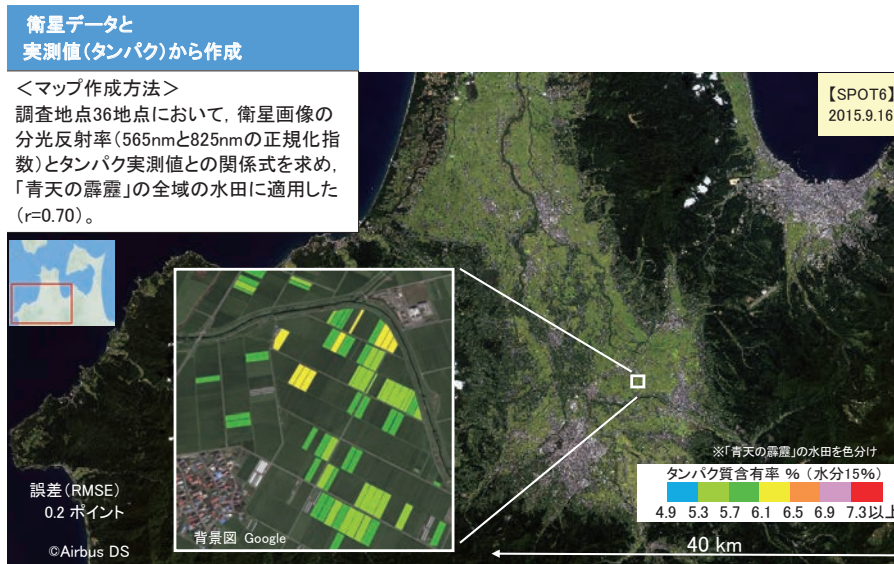


図-4 タンパクマップ

稲ほど、クロロフィル濃度が高まり、葉の緑色も濃くなる傾向がある(図-3)。この関係を利用し、登熟期の衛星画像の水田の色から、成熟期における玄米タンパク質含有率を間接的に推

定できる。なお、玄米タンパク質含有率の推定では、栄養条件による稲の色の違いを利用するが、稲の色は、前項の生育ステージの影響でも変化する。そのため、田植時期の幅が広く、生育

ステージのバラツキが大きい地域では誤差が拡大しやすい。全般に、寒冷地では、春の気温上昇が遅く田植可能期間が限られるため、結果として田植えが短期間に集中し生育ステージの差が小さい。暖地では田植時期の自由度が高いため生育ステージの差が大きい傾向がある。玄米タンパク質含有率の推定には、「緑と近赤外」や「赤と近赤外」などの波長が利用されるが、赤の波長では緑よりも生育ステージの影響を受けやすいため、「緑と近赤外」の波長の組合せで精度が高くなる場合が多い(境谷・井上 2012)。タンパクマップの作成では、調査地点において、衛星画像と地上で測定した玄米タンパク質含有率から関係式を作成し、同式を画像全域に適用して玄米タンパク質含有率を推定する。図-4にタンパクマップを示した。

(3) 土壌の肥沃度

土壌には、植物が腐熟・分解された腐植と呼ばれる黒色の有機物が含まれる。腐植の一部は、微生物等によって分解され土壌窒素となるため、腐植含量が土壌の肥沃度の指標となる。また、腐植含量が多い土ほど黒色が強くなるため、土壌の色から腐植含量(土壌の肥沃度)の多少を把握できる(図-5)。なお、衛星画像の撮影時期は、田植直後が適する。この時期は、稲がまだ小さく、いずれの水田も湛水されていることで同じ水分条件下で土壌の色を比較できるためである。土壌腐植マップの作成では、調査地点において、



図-5 腐植含量の多少による土の色の違い

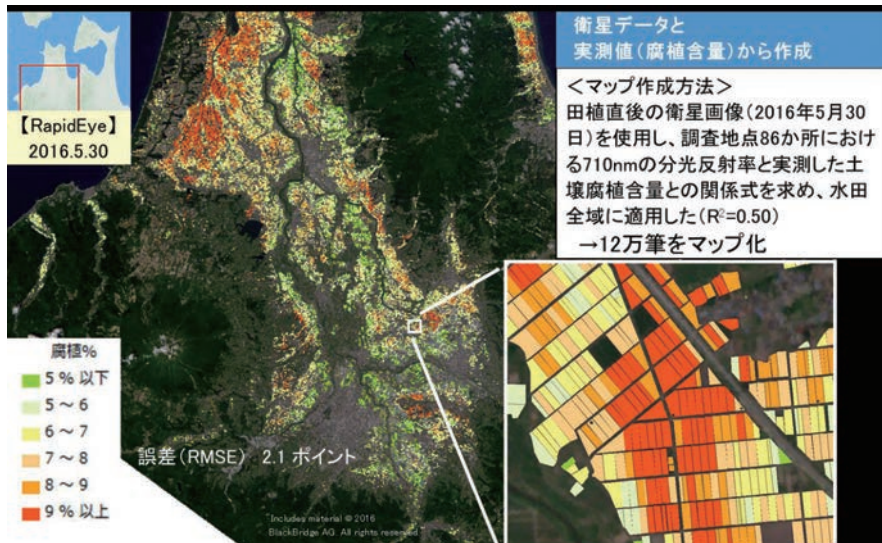


図-6 土壌腐植マップ

衛星画像と地上で測定した土壌の腐植含量から関係式を作成し、同式を画像全域に適用して腐植含量を推定する。図-6に土壌腐植マップを示した。

2. 「青天の霹靂」での衛星情報の活用

「青天の霹靂」は、青森県津軽地域の13市町村で栽培されている。栽培には事前登録が必要で、収穫した米も集荷ロットごとに全量が品質チェックを受けるなど、厳密な生産管理が行われている。出荷基準を設定している米産地はまだ少なく、青森県でも「青天の霹靂」が初めてである。「青天の霹靂」では、「玄米タンパク質含有率 6.4%以下、検査等級 2等以上」を出荷基準としている。基準を設定したことで、

消費者に安定した品質の米を提供できるが、農家は栽培管理にこれまで以上の注意を払う必要が生じた。そこで、農家の栽培管理を支援するため、従来よりもきめ細やかな情報を提供できる衛星リモートセンシングの活用を検討した。県内で栽培される「青天の霹靂」の水田すべてを対象に、収穫時期とタンパク等を把握し、指導機関が水田単位で詳細な指導を行うことを目指す。

これまででも、津軽地域の一部(平川市)では、既存品種「つがるロマン」で、リモートセンシングに取り組んできた実績がある。2006年以降、航空機や衛星で平川市の約100km²を撮影し、タンパクマップ(境谷・井上2012)や収穫適期マップ(境谷・井上2013)を作成している。同地域のJA津軽みらいでは、タンパクマップ

を利用して、食味が良好な水田の米を仕分け集荷し、これを付加価値米として県内で販売してきたほか(境谷ら2008)、収穫適期マップを生産組合間の収穫日程の調整に利用した(境谷2016)。しかし、これら「つがるロマン」の事例では、衛星情報の伝達先は指導機関までであった。生産指導で情報を活用する場合は、衛星情報を農家まで迅速かつ的確に伝達できる体制が必要で、ハードルがより高まる。また、「青天の霹靂」への適用では撮影面積が大幅に拡大するため、撮影費用の抑制の工夫が必要となる。そこで、「青天の霹靂」では、「つがるロマン」で実用化した画像解析の手法をベースとして、①津軽一円の3,000km²を低コストで撮影可能な衛星の選定、②「青天の霹靂」を栽培している農家と水田の特定方法、③衛星情報を迅速かつ的確に伝達するためのシステム開発を同時に進めた。2016年3月には、収穫適期マップとタンパクマップの利用に向けて、衛星データの利用手順(図-7)を策定し、「青天の霹靂」の指導機関がWebアプリやGIS(水土里情報システム)をツールとして衛星情報を利用できる体制を津軽一円に整備した。以降、津軽全域で実証を進めており、2016年撮影の衛星データで行った収穫指導及び施肥指導の状況(境谷2017a,b)ならびに土壌腐植マップの利用(福沢・境谷2017)について紹介する。

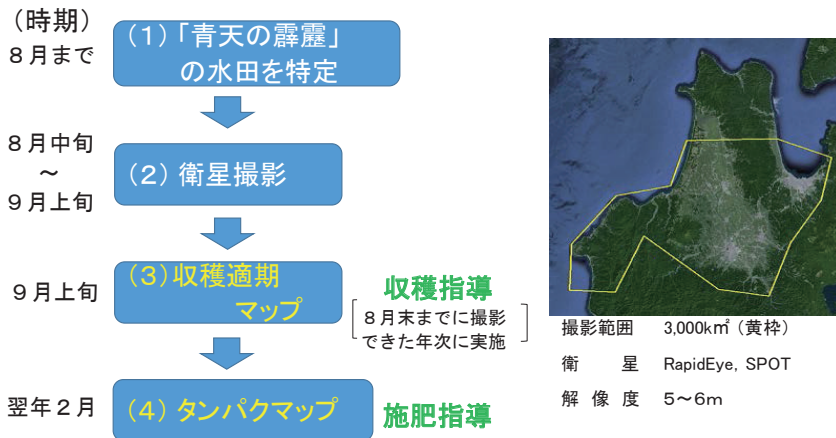


図-7 衛星データの利用手順 (収穫適期マップ・タンパクマップ)

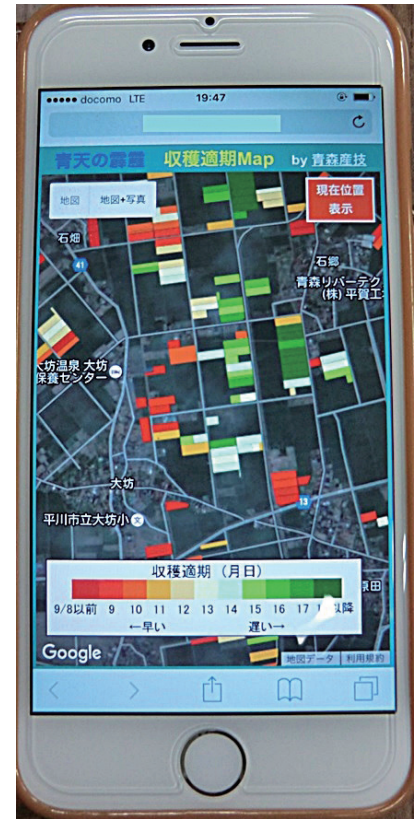


図-8 Web アプリ

(1) 収穫適期マップの利用 (収穫指導)

稲の収穫適期は、同じ地域でも水田ごとの違いが大きい。これは、田植日や施肥管理が水田によって異なるためである。従前の収穫指導でも、出穂後積算気温を基に地域や市町村単位で収穫日の目安をアドバイスしていたが、水田単位での指導には対応できていなかった。「青天の霹靂」では、9月上旬から下旬にかけて、県やJAの指導機関が現場で収穫指導を展開する。これに合わせ、2016年9月1日に、Web アプリ (図-8) を情報伝達のツールとして、収穫適期マップをリリースした。指導員が、現場においてタブレットやスマートフォンで収穫適期マップを表示し、農家に水田ごとの収穫日を具体的にアドバイスした。利用後のアンケート調査では、Web アプリを利用した指導員の割合は、84%で初年目にしては高い数字であった。利用した指導員については、従来に比べ農家の関心が高かったとの回答が86%、従来よりも効果が期待できると回答した割合も90%を占め、好評であった。Web アプリの操作が簡単だったこと、農家に伝達する情報 (収穫日△月△日) も単純で理解しやすいことから、受け入れやすかったと推察される。

なお、収穫時期の予測誤差 (RMSE) は2.3日で、従来法 (出穂後積算気温による市町村単位での予測) による4.3日の半分程度に収まっていた。

(2) タンパクマップの利用 (施肥指導)

2月から4月にかけて、県やJAでは、次作に向けた施肥指導を行っている。そこで、これに合わせ、2017年2月1日にWeb アプリと水土里情報システム (図-9) でタンパクマップをリリースした。タンパクマップの状況を基に、タンパクが高い水田で施肥の減量を指導する。「青天の霹靂」では、水田単位で農家の情報 (氏名、住所、電話番号) を整備しており、水土里情報システムでタンパクの高い水田を絞り込み、該当する農家にピンポイントで指導することが可能になった。産地全体でバラツキのない品質を実現するためには、指導が必要な農家に対して栽培技術の改善を促す必要があり、水土里情報システムを活用した個別指導は、この実現に効果が期待できる。しかし、水土里情報システムのようなGISは、機能も多く操作が複雑になってしまう。情報活用にあたっては、事前に操作研修会を実施しているものの、指導員の操作スキルや利用程度にはバラツキがあり、この向上が今

後の課題である。

なお、玄米タンパク質含有率の推定誤差 (RMSE) は、0.2ポイントであった。

(3) 土壤腐植マップの利用 (栽培水田の選定)

「青天の霹靂」では、土壤の腐植含量が高いほど、玄米タンパク質含有率が高まりやすい傾向が確認されている (福沢・境谷 2017)。これは、腐植含量が高い水田ほど、生育後半に土壤から供給される窒素量が多くなりやすいためと推察される。土壤窒素の供給量が多い水田は、肥料コストの面で有利であるが、玄米タンパク質含有率の制御の面では、施肥管理による対応をより難しくしてしまう。そこで、水田選定のための情報として、2017年2月に土壤腐植マップを水土里情報システムでリリースした。前出の図-6が作成したマップである。「青天の霹靂」では、土壤腐植マップの状況を基に、

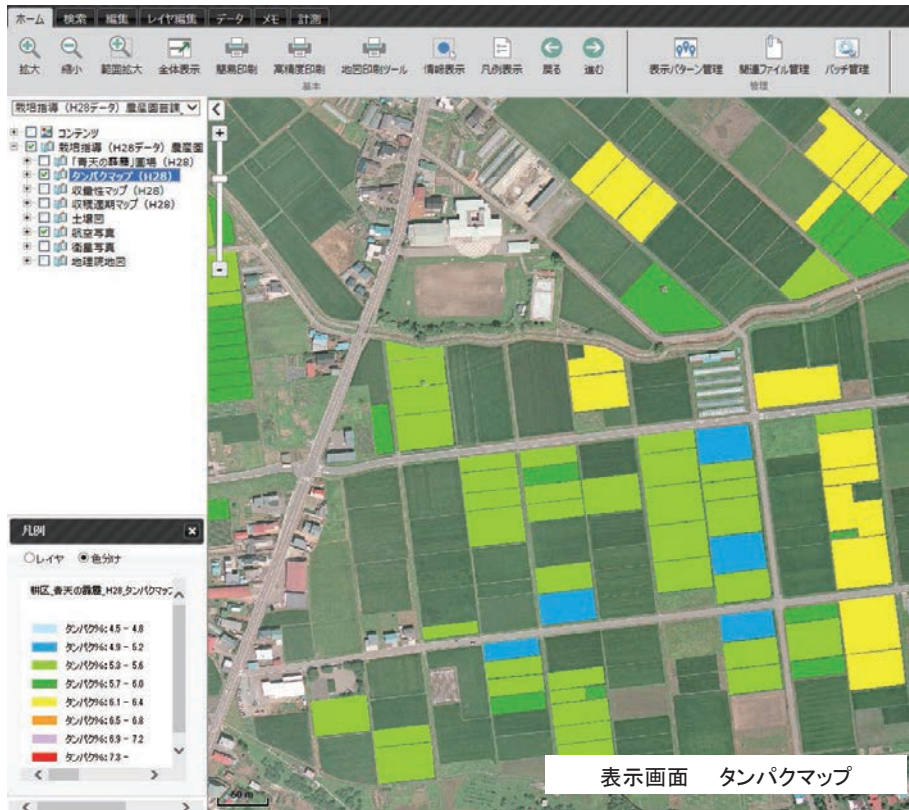


図-9 水土里情報システム

腐植含量が8%未満の水田での作付けを推奨している。

なお、腐植含量の推定誤差 (RMSE) は、2ポイント程度であった。当地域の腐植含量は、3～15%と変異幅が大きく、栽培指導での利用には必要十分な精度と考えられる。なお、腐植含量には、灰色低地土で低く、泥炭土や黒ボク土で高いなど、土壤本来の性質が強く反映されており、圃場整備による土の入れ替えなどが無い限りは、短期間で大きな変化は想定しづらい。そのため、土壤腐植マップは、今回作成のマップを次年度以降も引き続き利用する予定である。

3. 今後の計画

「青天の霹靂」では、県と関係団体が協議会を立ち上げ、生産指導に一体的に取り組んでおり、衛星リモートセンシングもこの一翼を担っている。裁

培マニュアルや農家配布のパンフレットでも衛星利用の取り組みを紹介し、農家への周知を図っている。十分な効果を発揮するためには、ハード面だけではなく、指導者がシステムを使いこなすことが必要で、研修会などで操作方法の習熟を図るとともに、利用しやすい形にシステムの改良を進めていく。今後も、産地スケールでの品質確保に向けて、農家と指導員の支援に取り組んでいく予定である。

謝 辞

本研究は、農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」、「SIP（戦略イノベーション創造プログラム）」の支援を受けて実施した。

引用文献

福沢琢磨・境谷栄二 2017. 水田での衛星リモートセンシングを利用した土壤腐植含

量の推定. 日本作物学会第244回講演会要旨集, p93.

井上吉雄 2017. 高解像度光学衛星センサによる植物・土壌情報計測とスマート農業への応用. 日本リモートセンシング学会誌 37, 213-223.

境谷栄二・井上吉雄 2012. リモートセンシングによる玄米タンパク含有率の推定精度に影響する誤差要因—地域スケールでの実践的応用に向けて—. 日作紀 81(3), 317-331.

境谷栄二・井上吉雄 2013. 米の適期収穫への航空機および衛星リモートセンシングの実践的利用. 日本リモートセンシング学会誌 33(3), 185-199.

境谷栄二ら 2008. 津軽中央地域における米収穫管理への航空機リモートセンシングの実践的利用. 日本リモートセンシング学会 44 回学術講演会論文集, 173-174.

境谷栄二 2016. 青森県内における高品質米生産へのリモートセンシング技術の利用. 計測と制御 55(9), 801-805.

境谷栄二 2017a. 水稲品種「青天の霹靂」での衛星リモートセンシングを利用した収穫指導の展開. 日本作物学会第243回講演会要旨集, p169.

境谷栄二 2017b. 衛星画像によるブランド米の生産管理—高品質米生産支援のための生産指導での衛星情報活用—. 日本土壤肥料学会講演要旨集 63, p225.