

農業気象環境の評価ならびに気象情報・リモートセンシング情報等を利用した作物モデルの開発と普及

脇山恭行

(農研機構 九州沖縄農業研究センター)

Evaluation of agriculture environment and development and popularization of crop model based on meteorological and remote sensing data

Yasuyuki WAKIYAMA

(Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO)

1. はじめに

この度は日本農業気象学会普及賞を賜り、身に余る大変光栄なものと存じます。まずは、受賞にあたりご推薦いただいた菅野洋光博士、ならびに学会賞審査委員の方々に厚くお礼を申し上げます。

農業気象との出会いですが、私の出身大学である東京農業大学では農業気象学の授業がありました。講義は、長野敏英先生が担当されていました。大学では農学科に在籍していたため、授業のほとんどは生物学に関するもので、農業気象学のような物理的な現象を扱う授業は無く、農業気象学の授業は新鮮に感じました。このときは、農業気象と係わることになるとは全く考えていませんでした。東京農大を卒業した後、宮崎大学大学院修士課程に進み、修士課程修了後は、生まれ故郷である宮崎県に就職し農業試験場で働きたいと思っていましたが、1989年に現在の農研機構に就職することになり、最初に配属されたのが九州農業試験場(熊本県合志市)の農業気象の研究室でした。

2. 農業生産現場及び農地の多面的機能からみた農業気象環境の評価

初めてのテーマは、配属されてすぐにプロジェクト(農林水産省 中山間農業振興実用化試験)が立ち上がり、当時の桜谷哲夫室長から、そのプロジェクトの中で沿岸傾斜地に入射する海面反射日射の評価を行ってはどうかといわれ、このテーマに携わることになりました。沿岸傾斜地はよくミカン果樹園に利用されており、海面に反射された日射が果樹園に入射し、高品質な果樹生産に貢献しているといわれています。海面反射日射の農業利用については、支部会のシンポジウムテーマで取り上げられたことがありますが、学術的に海面反射日射を評価した例はないようでした。熊本の主なミカン産地は宇土半島をはじめ有明海沿岸に広がっていますが、試験場から近く果樹園が海に面している熊本市河内町を現地として、日射の観測を行うことにしました。研究室にスペクトロメーター(LI-1800)があり、その器械は光合成有効放射域を含めた300~1100 nmの波長域の日射強度を測定することができます。この器械

を使ってこのテーマに取り組むことにしました。測定は、園地の農道を車で走り、測定地点で器械を下ろして測定し、車で移動、測定、移動、を繰り返しながら行いました。研究室に戻ってデータをみると、海面がよくみえるところで、日射量が多いのではないかと、ということに気づきましたが、どのように“海面がよくみえる”を表現してよいのか、わかりませんでした。この研究は大場和彦室長と相談しながら進めていましたが、そのころ出版された農業環境実験法(サイエンスハウス)をめぐっていると魚眼レンズの利用方法が取り上げられていました。形態係数を使って海面反射日射の影響を評価できると考えられました。あらかじめ何点かの観測地点で観測地点からみた海面の形態係数を測っておいて、太陽高度が低くなり海面反射日射の放射輝度が高くなる時間帯に観測地点間で移動観測を行いました。測定結果を整理すると、予想したとおり観測地点からみた海面の形態係数が大きい地点ほど光合成有効放射に富むことが確認できました¹⁾。光合成有効放射に富む海面反射日射がミカンの収量や品質に及ぼす影響については検討できませんでしたが、沿岸傾斜地では海面反射日射によって良質なミカンを生産できる可能性があることを示すことができたのではないかと思います。得られた成果については、府県向けの研究資料や研究会会報でも発信しました^{2,3)}。

海面反射日射の観測は熊本市河内町で行いましたが、ミカンの大産地として有名な愛媛県八幡浜市の果樹園も海に面しています。農研機構農村工学部門から来られた石田憲治室長の計らいで、普及センターの方々と八幡浜市のミカン果樹園でも現地調査を行うことができ、果樹園からみた海面の形態係数を測定しました。八幡浜市は熊本市河内町に比べて果樹園からみた海面の形態係数は大きく、それに応じて海面反射日射の影響も大きいと考えられます。

就職してすぐ農業気象学会へ入会しましたが、会誌が送られてきて掲載されている論文を読むと、農業気象に掲載されている論文は質が高く、このような論文は自分には書くことはできないと思いました。この海面反射日射に関する論文も、おそろおそろ投稿しました。査読結果が戻ってきて内容をみると特に対応の難しい指摘事項もなく、修正稿の送付後受理の通知が来たときはなんとか農業気象でやっていけそうだと感じたのを覚えています。

海面反射日射の研究の他、当時農地の多面的機能に関する研究が盛んに行われていたことから、農地の気温緩和効

<http://agrmet.jp/wordpress/wp-content/uploads/2019-F-2.pdf>

2019年10月10日掲載

Copyright 2019, The Society of Agricultural Meteorology of Japan

果に関する課題にも関わりました。フィールドは佐賀市とし、市街地と市街地周辺の農地の気温分布観測を行い、農地に接している市街地では、相対的に温度の低い気塊が農地から流入し市街地の気温が緩和されることを、観測から明らかにすることができました⁴⁾。また、九州では畜産が盛んですが、標高の高い地域では家畜飼料を生産するため採草場が広がっています。家畜飼料をスムーズに流通させるためには地域内の牧草の収量を把握する必要があります。そこで、衛星リモートセンシングによる牧草の収量予測手法に関する課題にも取り組みました⁵⁾。

3. 気象及びリモートセンシング情報を利用した作物の収量予測モデルの開発

九州で8年過ごした後、農業研究センター気象立地研究室(つくば市、現中央農業研究センター)に異動となりました。九州では、衛星リモートセンシングデータを用いた牧草の収量予測の研究にも関わっていましたが、転勤先でもリモートセンシングに関するプロジェクトに加わることができ(農林水産省 高精度衛星)、水稻の収量予測に関する研究を始めました。収量予測は、毎年作況情報が出されているように食糧確保のため大変重要な情報ですが、作況調査は人手による調査が行われています。衛星リモートセンシングでは広域の画像が取得でき、アメダスなどの気象観測網を利用すれば、人手を使うことなく収量を予測することができます。衛星データを用いた収量予測法に関する研究については過去検討例がみられますが、このプロジェクトでは現場レベルで利用できるような収量予測モデルを構築することを目標としました。

水稻の収量モデルの開発については、当時の井上君夫室長に議論の相手をして頂きながら、気候登熟量示数の考え方をうけて構築することにしました。モデルへの入力は、出穂期の衛星データ、登熟期の気温と日射量(日照時間)です。農林水産省の市町村毎の収量データとアメダスデータを用いて構築したかなりざっくりとしたモデルですが、精度は良くRMSE(%)で10%以内であることが確認できました⁶⁾。

収量予測モデルの開発では衛星データ、統計データ、気象データを用いて検討していましたが、試験圃場でも水稻を栽培し、近接リモートセンシングによる水稻生育の測定を行う他、群落の日射環境、葉温、蒸散抵抗等の測定、LAIや窒素含量等の生育調査も行い、基本的なデータを収集しました。水稻の栽培期間中は、測定や生育調査のため朝から夕方まで試験圃場に入り浸りの状態となり、冬は収量予測モデルの構築と、大変充実した時間を過ごすことができました。収量予測モデルの他、リモートセンシングに関する論文をいくつかまとめることができました^{7, 8, 9)}。

最近までは、リモートセンシングとはといえば衛星による観測が主でした。衛星では、観測が回帰日数や天候に左右されるため、利用は研究場面に限られることが多く、生産現場での利用が難しいというのが、リモートセンシングの印象ではないかと思えます。しかし、最近ドローンが開発され普及しています。ドローンの出現によって、リモートセンシングの現場での利用の可能性が一気に広がったように思います。今後、機会があれば、収量予測の他、玄米タ

ンパクなどの品質モデルを開発し、栽培管理技術の開発にも関わりたいと思っています。

4. 気象及び水稻生育情報を利用した水稻高温登熟障害発生予測モデルの開発と普及

収量予測の研究が一段落し、次は何をしようかと考えていましたが、1990年代から水稻の高温による白未熟粒の発生が顕著になり、高温登熟障害に関する研究が盛んに行われるようになっていました。また、大原源二室長が野菜茶業試験場から来られました。高温登熟障害に関する研究では再現実験はチャンパー等を使ったものが多く、生産現場での発生状況はどうなっているのか、農家圃場で発生状況を調査してはどうか、の室長の一声で茨城県、栃木県、長野県で広く栽培されているコシヒカリを対象に高温登熟障害の発生状況の調査を行うことにしました。調査はアメダスの近くに確保した15の農家圃場で行いました。調査圃場は、平地から(標高4m)~高地(780m)に確保できたため、登熟期の気温を21~28℃と幅広く取ることができました。調査は2005年と2006年に行いましたが、九州に戻らないかと転勤の話があり、2007年4月に九州に戻るようになりました。

九州に戻ってからも引き続き高温登熟障害に関する研究を行いました。関東で行ったように、九州でも熊本県と大分県の農家圃場を確保し調査を行いました。対象品種は九州で広く栽培されているヒノヒカリとして2007年と2008年に調査を行い、データの蓄積を図りました。また、九州に戻った年の7月に台風4号が南九州の宮崎県と鹿児島県に上陸しました。南九州では、6月下旬に出穂し、7月下旬に収穫される早期水稻が栽培されています。台風の通過が登熟期と重なり、これによって白未熟粒が多発し、宮崎県では一等米比率が0.2%、作況指数が43となる大きな被害が発生しました。宮崎県、鹿児島県では早期水稻の生育期間中、作柄検討会を行っています。当年の検討会では、台風の影響はあるものの、特に収量や品質に大きな問題は生じていないとして収穫の時期をむかえましたが、収穫し玄米の品質をみたところ、はじめて白未熟粒が多発していることに気がつき、生産現場、行政機関では大きな問題となりました¹⁰⁾。農家は収穫前に収量や品質の状態をある程度知ることができれば、農業共済制度を利用して減収分を補填することができますが、2007年の大被害については、予想できませんでした。また、以前より早期水稻では日射不足による品質低下も問題となっていました。これらの問題に対応するために、農水省の予算で外観品質の予測や対策技術の開発に関するプロジェクトが立ち上がりました(農林水産省 早期米品質低下)。このプロジェクトは、当時の九州沖縄農業研究センター 森田 敏 上席研究員をはじめ、宮崎県、鹿児島県の作物栽培を専門とする研究員と取り組むことになりました。

プロジェクトでは、収穫前に玄米品質を予測するためのモデル開発を担当することになりました。これまでに明らかになった高温登熟障害発生に関する知見と関東と九州の農家圃場で蓄積したデータを基に高温登熟障害モデルを構築することにしました。高温登熟障害は、もちろん高温で発生率が高まりますが、白未熟粒のタイプによって発生要

因は少し異なってきます。タイプとしては、背白粒、基部未熟粒の高温に対する反応が顕著なタイプと乳白粒等の高温の他、日射不足（登熟期の同化産物量の不足）や籾数過多で発生が助長されるタイプに分けられます。そのため、タイプ毎にモデルを作成しました。背白粒や基部未熟粒タイプは、発生率が単純に登熟期の気温だけで表されるもの、乳白粒タイプは籾あたりの同化産物供給量で発生率を表すとしてモデルを構築しました¹¹⁾。2007年の台風4号による白未熟粒の多発は、台風の通過に伴う高温、乾燥風であるフェーンによるものと考えられましたが、この時点では知見がまだ少なく、開発したモデルは、主な白未熟粒の発生要因である高温、日射不足、籾数過多に重点を置いてモデルを構築しました。モデルへの入力項目は、出穂期の水稻の生育量（草丈、茎数、葉色）、登熟期の気温と日射量です。開発したモデルについては、宮崎県と鹿児島県の作柄検討会で利用できるようなエクセル上で計算できるようにしました。また、広報誌やWeb上で開発したモデルを紹介したり、講習会を開いたりと普及活動も行いました^{12, 13, 14, 15, 16, 17)}。

全国で高温登熟障害の発生が問題となっています。今回は障害の発生予測手法の開発を行いました。対策技術の開発も必要です。高温登熟障害の発生は水分ストレスとの関係も指摘されています。水分ストレスに関する知見については農業気象分野では蓄積があります。作物栽培管理場面での対策技術という作物栽培分野の研究者が取り組んでいる印象が強いですが、農業気象研究者も関われるテーマがあるのではないかと思います。

この高温登熟障害に関する研究の他、現地実証的な温暖化の影響評価手法の開発に関するプロジェクトにも加わりました。農研機構と国際農研が全国的に研究機関を配置していることを利用して実施したのですが、北海道から沖縄までの幅広い温度帯で各研究機関の試験圃場で実際に作物を栽培し、その影響をみようとしたものです¹⁸⁾。このような大変ユニークなプロジェクトへも参画することができました。

5. おわりに

研究の仕事はライフワーク的なテーマを決めて、それに沿って研究を進めていければ理想ですが、関わった研究は転勤等で着任してすぐにプロジェクトが立ち上がったたり、高温登熟障害が発生しその課題に取り組んだり目の前にある課題に取り組んできたものです。

これまでの研究を振り返ってみて、恵まれた環境で研究を進めることができたと思います。これらの研究を進めるにあたっては、上に記した方々をはじめ、同僚、試験圃場での実験をサポートして頂いた技術専門職員、契約職員の多くの方々からご支援を頂きました。また、最後になりましたが宮崎大学 續 栄治 先生には修士課程よりお世話になり、学位論文のご指導も賜りました。この場を借りてお礼を申し上げたいと思います。

引用文献

- 1) 脇山恭行・大場和彦, 1997: 沿岸傾斜地ミカン果樹園における散乱日射の波長特性に及ぼす海面からの反射日射の影響. 農業気象 **53**, 111-118.
- 2) 脇山恭行・大場和彦, 1993: 沿岸傾斜地に入射する海面反射光の波長分布特性. 農林水産省農業研究センター平成4年度総合農業の新技術, 69-74.
- 3) 脇山恭行, 2000: 沿岸傾斜地に入射する海面からの反射日射について. 気候影響・利用研究会会報 **18**, 15-19.
- 4) Wakiyama Y, 2007: Moderation of summertime urban temperatures with proximity to agricultural land. *J. Agric. Meteorol.* **63**, 81-88.
- 5) 脇山恭行・井上恒久・小山信明, 1999: ランドサットTMデータを用いた九州地域におけるイネ科牧草の収量予測. 日作紀 **68**, 301-305.
- 6) 脇山恭行・井上君夫・中園 江, 2003: 水稻の登熟期における衛星データおよびアメダスデータを用いた収量予測法. 農業気象 **59**, 277-286.
- 7) 脇山恭行, 2002: 熱赤外リモートセンシングによる水稻の群落表面温度の観測並びに葉温と葉色の関係. 農業気象 **58**, 185-194.
- 8) 脇山恭行, 2005: 植生指数と水稻の籾数の関係. 農業気象 **61**, 61-67.
- 9) Wakiyama Y, 2016: The relationship between SPAD values and rice leaf blade chlorophyll content throughout the development cycle. *JARQ* **50**(4), 329-334.
- 10) 脇山恭行 (分担執筆), 2008: 南九州における平成19年産早期水稻の被害実態と要因解析および技術的方策. 第1章 宮崎・鹿児島における平成19年早期水稻栽培期間の気象概況. 農研機構九州沖縄農業研究センター緊急調査報告書, 1-10.
- 11) 脇山恭行・大原源二・丸山篤志, 2010: 水稻白未熟粒発生予測モデル構築のための登熟期の気象条件および生育状態と白未熟粒発生状況の解析. 農業気象 **66**, 255-267.
- 12) 脇山恭行, 乳白粒, 基部未熟粒の発生予測モデルの開発. https://www.ondanka-net.jp/index.php?category=measure&view=detail&article_id=548 (アクセス日: 2019/8/29)
- 13) 脇山恭行, 2012: 乳白粒発生予測プログラム. 農研機構職務作成プログラム.
- 14) 脇山恭行, 2012: 白未熟粒発生予測モデル. 農研機構平成24年農政課題解決研修 地球温暖化対策研修Ⅱテキスト, 63-68.
- 15) 脇山恭行, 2012: 水稻の高温登熟障害発生予測と早期警戒システム. 応用水文 **24**, 102-105.
- 16) 脇山恭行, 2012: 水稻の高温登熟障害と早期警戒システム. 植調 **46**(2), 60-66.
- 17) 脇山恭行 (分担執筆), 気候予測情報を活用した農業技術情報の高度化に関する研究. https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/nogyo_hokoku.html (アクセス日: 2019/8/29)
- 18) Wakiyama Y, Sameshima R, Hamasaki T, Nemoto M, Ozawa K, Ohno H, Maruyama A, 2013: Threshold intensity of twilight illumination for photoperiodism of rice based on solar altitude. *J. Agric. Meteorol.* **69**, 265-276.

1) 脇山恭行・大場和彦, 1997: 沿岸傾斜地ミカン果樹園における散乱日射の波長特性に及ぼす海面からの反射