

1

水稻生長モデルとリモートセンシングの非逐次データ同化による収量予測

野口武文¹, 安達俊輔², 山下恵², 神野恭光³,

田中浩章⁴, 井戸正和⁴, 立石涼子³, 芳賀健⁴, 山中晃徳⁵

(¹東京農工大学工学部, ²東京農工大学大学院農学研究院,

³トヨタ・コニック株式会社, ⁴株式会社電通, ⁵東京農工大学大学院工学研究院)

Non-sequential Data Assimilation of Paddy Rice Growth Model and Remote Sensing

Takefumi Noguchi¹, Shunsuke Adachi², Megumi Yamashita², Yasumitsu Jinno³,

Hiroaki Tanaka⁴, Masakazu Ido⁴, Ryoko Tateishi³, Ken Haga⁴, Akinori Yamanaka⁵

(¹Faculty of Engineering, Tokyo Univ. Agri. Tech., ²Institute of Agriculture, Tokyo Univ. Agri. Tech., ³TOYOTA CONIQ, Inc., ⁴Dentsu Inc., ⁵Institute of Engineering, Tokyo Univ. Agri. Tech.)

1. 緒言

水稻の収量予測は、昨今の気象に対応した栽培計画や効率的な営農を行うために重要である。近年では、作物モデルを用いた数値シミュレーションや機械学習に基づく収量予測の研究が盛んに行われている⁽¹⁾。作物モデルによる収量予測の精度は、モデルに含まれるパラメータに大きく依存するため、実測データに基づき正確に同定する必要がある。本研究で用いる水稻生育モデル SIMRIW⁽²⁾は気象条件と稲の生育の関係をモデル化しており、収量形成においては、光合成が主な要因として寄与する。キャノピーによって吸収される日射量に関係する葉面積指数 (LAI) はリモートセンシングによって得られるため、リモートセンシングデータを用いたパラメータ推定が有効である。本研究では、SIMRIW による数値シミュレーションの結果に、ドローン(UAV)によるリモートセンシングで計測されたデータを同化することによって、SIMRIW に含まれるパラメータを推定し、圃場単位の収量予測を高精度化することを目的とする。本稿では、ベイズの定理に基づく非逐次データ同化手法⁽³⁾により、LAI の時系列データから SIMRIW のパラメータを推定した結果を示す。

2. 作物モデル

本研究で用いる SIMRIW は、時系列の気象データから潜在収量を予測するモデルである。モデルの詳細は原著論文⁽²⁾を参照されたいが、本研究ではデータ同化により次の 5 つのパラメータを推定した：出穂に要する日数に対して気温の影響を表すパラメータ α 、最適栽培条件下での LAI の最大速度 K_f 、LAI の増加率に関わる経験パラメータ R と η 、出穂後の発育速度に関するパラメータ β である。その他のパラメータは、先行研究⁽²⁾においてコシヒカリに対して同定された値を用いた。

3. UAV によるリモートセンシング

データ同化に供する計測データを取得するために、滋賀県高島市マキノ町在原の集落全体を対象として、マルチスペクトルカメラ搭載の UAV (DJI 社製 Mavic 3M)を用いてリモートセンシングを実施した。2025 年 6 月 15 日から同年 9 月 13 日まで、およそ 2 週間に 1 度に合計 8 回の計測を実施した。Figure 1 に、例として 9 月 13 日に計測した正規化植生指数(NDVI)を示す。このように計測した NDVI から LAI に換算する回帰式を得るために、集落内の圃場 A に LAI センサ(日本環境計測製 MIJ-15LAI TypeII/K2)を設置した。この回帰式を用いて、同一集落内においてコシヒカリを栽培する圃場 B の平均 LAI を算出し、その時系列データをデータ同化に供した。

4. データ同化手法

本研究においては、DMC-TPE (Data assimilation Minimizing Cost using Tree-structured Parzen Estimator) に基づく非逐次データ同化手法⁽³⁾を用いた。本手法では、時系列の観測データと作物モデルの計算結果との誤差を評価するコスト関数を定義し、コスト関数の最小をもたらすパラメータ群を探索する。本研究では、UAV で計測した NDVI から算出した LAI と SIMRIW で計算される LAI を用いてコスト関数を評価し、その最小化計算を実施することで上記 5 つのパラメータを推定した。

5. 結果と考察

Figure 2 に、圃場 B において計測した LAI とデータ同化で推定されたパラメータを用いた LAI の計算結果を示す。データ同化を行うことにより、計測データを再現する LAI の時系列変化を計算できたことがわかる。このとき、パラメータの最適推定値は次のとおりである: $\alpha = 0.554$, $K_f = 0.079$, $R = 0.394$, $\eta = 0.657$, $\beta = 0.414$ 。これらのパラメータの最適推定値を用いて SIMRIW で計算された収量予測値は 631.98 g/m^2 であるのに対して、圃場 B で得られた収量の実測値は 1030.55 g/m^2 であった。この誤差を低減させるために、推定するべきパラメータを増加することやパラメータの気温依存性を考慮することなどが、今後の課題である。

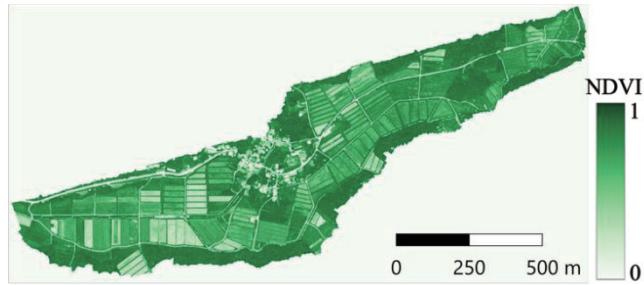


Fig. 1 Distribution of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) measured by UAV on 13th September 2025 at Arihara district in Takashima-city, Shiga prefecture

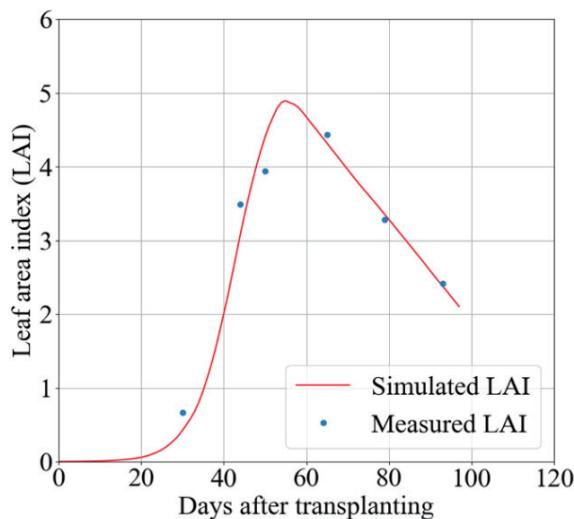


Fig. 2 Variation of Leaf Area Index (LAI) measured by UAV and simulated by SIMRIW with the optimally estimated parameters

参考文献

- (1) X. Jin, L. Kumar, Z. Li, H. Feng, X. Xu, G. Yang, J. Wang, “A Review of Data Assimilation of Remote Sensing and Crop Models”, *European Journal of Agronomy*, Vol. 92, (2018), pp. 141-152.
- (2) T. Horie, H. Nakagawa, H.G.S. Centeno and M.J. Kropff, “The Rice Crop Simulation Model SIMRIW and Its Testing”, *Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia*, (1995), pp. 95-139.
- (3) A. Ishii, A. Yamamoto and A. Yamanaka, “DMC-TPE: Tree-Structured Parzen Estimator-Based Efficient Data Assimilation Method for Phase-Field Simulation of Solid-State Sintering”, *Science and Technology of Advanced Materials: Methods*, Vol. 3 (2023), 2239133.

2

千葉県における出穂期予測モデルを活用した作付計画作成支援ツールの構築

青木 優作*・望月 篤・桑田 主税

(千葉県農林総合研究センター)

Development of the Planting Schedule Planning Support Tool

Based on Rice Heading Date Prediction Model in Chiba Prefecture.

Yusaku Aoki*, Atsushi Mochizuki and Chikara Kuwata

(Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center)

水稻栽培において、高品質・良食味米の安定生産には、作業適期を考慮した計画的な栽培管理が不可欠である。近年は栽培期間中の気温上昇や作業分散化の影響により、適期の判断や作付計画の立案が複雑化している。特に法人経営体では、多数の圃場を対象に移植・収穫時期を調整する必要があり、従来は経験と勘に依存した計画作成が行われてきたが、近年の気候変動によりその判断が難しくなっている。「コシヒカリ」の出穂期予測モデルを用いて千葉県全域の出穂期を推定した結果、2025 年の気温条件では平年値に比べて出穂期が前進し(第1図)、従来の経験的な作付スケジュールでは適期管理が困難となる可能性が示唆された。

そこで本研究では、出穂期予測モデルを活用し、生育ステージに基づいて作付計画を自動的に立案できる Excel ツールを構築し、その有効性を検討した。

【材料及び方法】

作付計画作成支援ツール(以下、本ツール)は、「Microsoft Excel(Microsoft)」を基盤として構築し、処理の自動化には「Visual Basic for Applications(VBA)」を用いた。構成は「設定」「カレンダー」「結果表示」の3シートから成る。

出穂期の推定には、望月ら(2017)が開発した出穂期予測モデルを使用した。対象品種は「ふさおとめ」「ふさこがね」「コシヒカリ」「粒すけ」「アキヒカリ」「夢あおば」の 6 品種とした。各品種については出穂期を起点に成熟期等の日数を設定し、必要に応じて変更可能とした。

本研究では、アメダス観測による直近の 10か年平年値を用い、各日平均気温を入力として出穂期を算出した。対象地点は千葉県内の主要なアメダス 10 地点(牛久、我孫子、佐倉、成田、香取、銚子、横芝光、茂原、鴨川、木更津)に対応した。

また、早期乾田直播栽培に対応するため、在原・小山(2006)の報告に基づき、出芽始期を日平均気温 11.5°C 以上・積算温度 50°C とする予測式を併用した。

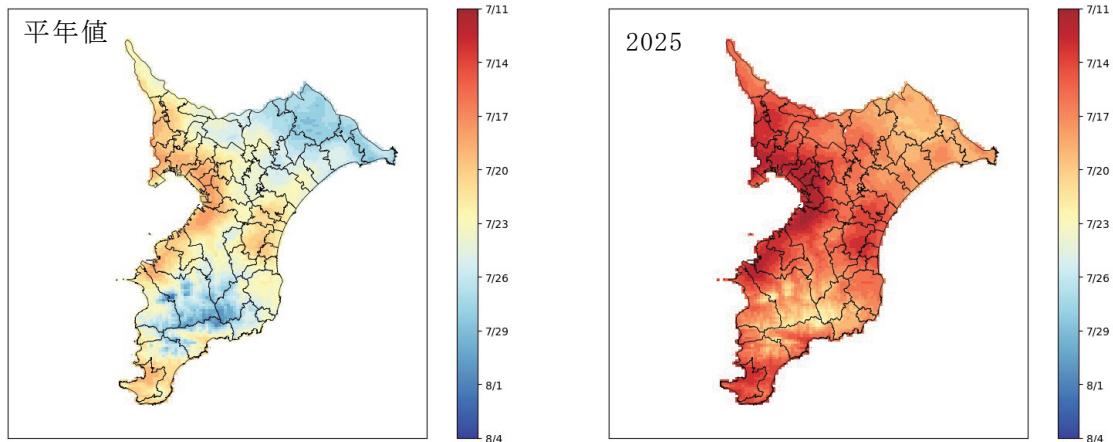
ユーザーの入力は「カレンダー」シートにまとめ、圃場名、面積、地区、品種、および基準日を指定する形式とした。基準日は、直播の場合は播種日、移植栽培の場合は移植日を入力するほか、収穫時期を先に決めて逆算する場合には収穫日を入力できるように設計した。VBA は、入力された基準日と品種情報をもとに、出穂期および成熟期を順算または逆算で推定し、その結果を所定の出力シートに自動転記する仕組みとした(第2図)。

経営体ごとの条件に合わせて、作業可能面積や作業所要日数を算出するため、(機械作業能力、乾燥機容量、育苗ハウスの播種枚数などの変数)は「設定」シートで変更できるようにした(第3図)。これにより、計算ロジックは共通のまま、異なる規模・装備の経営体にも適用可能な汎用的設計とした。また、本ツールの有効性を確認するため、千葉県内で 111ha(626 筆)の水稻を作付する A 法人を対象に、2024 年～2025 年に試行的に導入し、聞き取りを行った。

【結果及び考察】

- 1 本ツールにより、品種と基準日(播種日・移植日・収穫日)を選択・入力することで、出穂期が即時に算出され、関連する作業時期が自動的に一覧化された。出力結果は、圃場別・育苗ハウス別に整理され、作業カレンダーとして視覚的に確認できる形式とした(第4図)。
- 2 A 法人での試行導入では、従来は担当者 2 名で約 4 日を要していた作付計画作成が、ツールの利用により約 3 時間で完了した。各圃場・品種の作業時期を一覧化することで、作業毎の集中が容易に把握でき、移植・収穫などの作業順序や労務配置の見直しを検討する際の判断材料として有効であった(第4図)。

- 3 なお、本ツールでは、複数圃場での作業が同日に重なる場合、手動での調整が必要であり、今後は自動調整機能の導入など、さらなる操作性の向上が重要である。
- 4 これらの結果から、本ツールは出穂期予測モデルを実務的な作付計画立案へ応用する枠組みとして有効であり、営農計画作成の省力化と作業平準化の両立に寄与することが示唆された。今後は、他経営体への展開を通じて、汎用的な営農支援ツールとして改良を進める。



第1図 平年値および2025年の日平均気温を用いた「コシヒカリ」の出穂期推定結果

① 面積 入力	② 品種 選択	③ 日付 入力	④ 作成 選択	⑤ 空欄に 作業が転記	
C 面積 (a)	D 2024	E	F 作成	G 3/1	H 3/2
	品種	基準日	クリア	金	土
300	ふさおとめ	4/12	ふさおとめ4/12		
6 ふさおとめ ふさこがね コシヒカリ 粒すけ アキヒカリ 夢あおば	6 ふさおとめ ふさこがね コシヒカリ 粒すけ アキヒカリ 夢あおば	4/14	ふさおとめ4/14		
1		4/17	WCSコシヒカリ4/17		

第2図 ツールの操作画面

基本設定	
年次	2024
地区	木更津
浸種～播種(日)	5
4月播種～移植(日)	20
5月播種～移植(日)	14
代かき～移植(日)	3
育苗器使用	○

機械能力	
代かき(a/日)	200
田植え(a/日)	250
稲刈り(a/日)	200

第3図 基本設定画面

		面積 (a)	2025	0	作成	4/12	4/13	4/14	4/15	4/16	4/17	4/18
No	ほ場名		品種	基準日	クリア	土	日	月	火	水	木	金
1	地区A	620	直播ふさこがね	3/7	直播ふさこがね3/7							除草剤
2	地区B	300	ふさおとめ	4/12	ふさおとめ4/12	移植	移植					
3	地区C	600	ふさおとめ	4/14	ふさおとめ4/14	代かき	代かき	移植	移植	移植		
4	地区D	190	WCSコシヒカリ	4/24	WCSコシヒカリ4/24							
5	地区E	800	コシヒカリ	4/25	コシヒカリ4/25							
6	地区F	260	ふさこがね	4/29	ふさこがね4/29	緑化 ②						
7	地区G	690	ふさこがね	5/1	ふさこがね5/1	緑化 ②						
8	地区H	350	ふさこがね	5/4	ふさこがね5/4		催芽	播種				緑化 ③

第4図 ツールの表示画面

3

水稻品種「にじのきらめき」の刈取時期の違いが玄米収量、品質、食味官能値へ及ぼす影響

高橋真史*・上野直也

(山梨県総合農業技術センター)

Effects of Harvest Timing on Brown Rice Yield, Grain Quality, and Eating Quality of the Rice Cultivar 'Niji no Kirameki'

Masashi Takahashi*, Naoya Ueno

(Yamanashi Prefectural Agritechnology Center)

【目的】

「にじのきらめき」は「コシヒカリ」より多収かつ高温耐性があり、食味も同程度であることから、県内低標高地を中心に「コシヒカリ」の代替品種として作付面積が拡大している。一方、現地試験の一部において早刈による青未熟粒、刈り遅れによる胴割れ粒・碎米の多発が確認され、刈取適期を逃すことに起因する検査等級の下落や食味の低下が懸念されている。そこで本研究では、県内低標高地の代表的な移植時期である6月上旬を中心に、「にじのきらめき」の登熟特性と適切な刈取時期を明らかにすることを目的に試験を実施した。

【材料及び方法】

【試験1】 試験は山梨県総合農業技術センター内圃場(標高315m, 灰色低地土)において2024年に実施し、品種は「にじのきらめき」を用いた。移植は6月7日(以下:普通期)を行い、試験規模は28m²/区、各区2反復、栽植密度は18.5株/m²とした。施肥は被覆肥料を配合した基肥一発肥料(N8kg/10a)を用いた。出穂後積算気温約600°C~1,500°Cまで100~150°C間隔毎に約3.3m²坪刈りし、坪刈試料は1.8mmのグレーダーを用いて調整し、精玄米収量、屑米収量を求めた。糲水分は穀物水分計(静岡精機製 CD-6)にて測定し、帶緑色糲率は目視で調査した。玄米外観品質は穀粒判別器(サタケ社製 RGQI20A)、タンパク質含有率は食味計(同社製 RLTA10B)を用いて測定を行った。また、成熟期(積算気温1,170°C)のサンプルを基準として所内職員31~36人/回を対象に食味官能試験を実施した。

【試験2】 異なる移植期の登熟特性を把握するため2024年の5月16日(以下:早植)及び6月20日(以下:晚植)に移植した奨励品種決定調査試験区内の株を調査した。施肥はN7kg/10a(基肥5kg、穂肥2kg)とし、栽植密度は22.2株/m²とした。出穂後積算気温約700°C~1400°Cまで試験1と同様の間隔で生育が中庸な株を5株/回採取し、採取したサンプルは乾燥、脱穀、糲り後、1.8mmの篩で調整した。収量性は登熟歩合(精玄米/総糲数×100)及び千粒重で評価した。玄米外観品質は穀粒判別器で整粒率を調査した。なお、気温、日射量の算出は農研機構メッシュ気象データを用いた。

【結果および考察】

登熟期間中の平均気温、日射量は早植から日が進むに従い低下した(第1表)。普通期の玄米収量・整粒率は積算温度1,100~1,200°C付近で最大となり、屑米歩合も低かった。現地で多発が確認された青米や胴割れ・碎米の発生もこの範囲で低水準となつたが、胴割れ・碎米は成熟期を過ぎるとやや増加する傾向が認められた(第2表)。食味官能値は極端な早刈および刈り遅れで低下した以外は成熟期と同程度の評価であった(第3表)。早植、晚植では登熟歩合及び千粒重は900°C近辺から安定し、普通期と同様の傾向であった(第1図)。整粒率は高温登熟条件となつた早植では成熟期以降の低下が顕著であったが、晚植では大きな品質低下はみられなかつた(第2図)。以上から、県内低標高地における6月上旬の刈取適期として出穂後積算気温1,100~1,200°C・帶緑色糲率5~15%が刈取適期の目安となるが、高温・強日射となる登熟条件となる早植では、刈取の時期をやや前進させ品質低下を防止する必要があると考えられた。

第1表 各移植時期の登熟条件

移植日 (月/日)	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	登熟日数 (日)	積算気温 (°C)	平均気温 (°C)	平均日射量 (MJ/m ²)
5/16	7/27	9/6	42	1,139	27.4	20.0
6/7	8/12	9/24	44	1,170	26.4	17.3
6/20	8/17	10/3	48	1,234	25.8	16.2

1) 平均気温、平均日射量はいずれも登熟期間中の平均値

第2表 刈取時期の違いが玄米収量・玄米外観品質へ及ぼす影響

積算温度 (°C)	糊水分 (%)	帶緑色 糊率 (%)	玄米収量 (kg/10a)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	屑米収量 (kg/10a)	屑米歩合 (%)	玄米外観品質(%,粒比)									
								整粒	胴割れ ・碎米粒	青米粒							
665	29.5	100	281	c	36.6	d	22.0	c	168	a	37.4	20.8	c	9.4	a	43.8	a
774	28.3	78.0	431	b	58.8	c	23.4	b	88	b	17.0	48.5	b	3.7	b	22.9	b
887	27.4	49.0	649	a	73.4	b	24.7	a	49	c	7.0	69.1	a	2.2	b	13.5	bc
1022	26.9	24.0	682	a	83.3	a	24.8	a	26	d	3.6	71.5	a	1.3	b	5.8	bc
1170	24.5	10.0	723	a	83.5	a	24.2	a	22	d	3.0	74.4	a	2.0	b	2.0	c
1306	23.4	4.6	688	a	84.0	a	24.3	a	16	d	2.2	72.2	a	4.0	b	0.5	c
1465	21.9	1.8	688	a	85.1	a	24.1	a	16	d	2.2	62.9	ab	4.3	b	0.3	c

1) 青米粒:青未熟粒+青死米

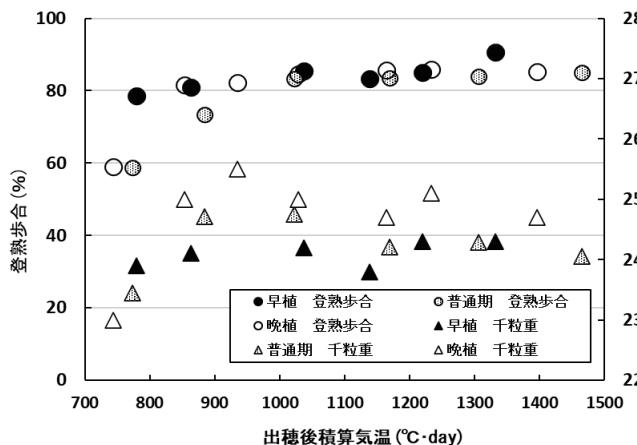
2) 屑米歩合:(屑米収量/精玄米収量)×100

3) アルファベットの異符号間にtukeyの多重比較(10%水準)で有意差あり

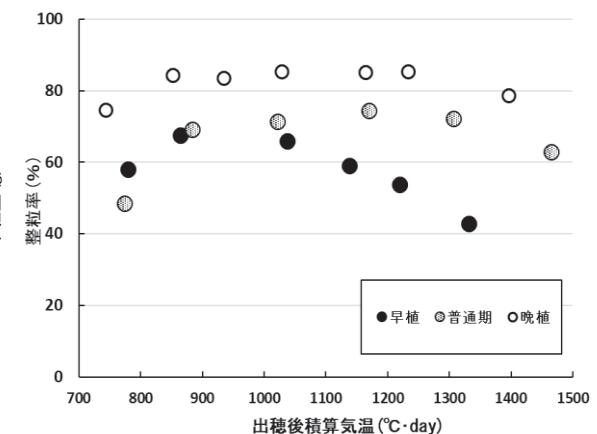
第3表 刈取時期の違いが食味官能値へ及ぼす影響

積算温度 (°C)	対成熟期 日数 (日)	タンパク質 含有率 (%)	総合	外観	香り	味	粘り	硬さ					
								*	**				
665	-19	6.9	-0.33	+	-0.25	-0.39	*	-0.33	+	-0.42	*	-0.56	**
774	-16	6.6	0.11	0.17	0.08	0.14	-0.19	-0.19	0.25				
884	-12	6.7	0.35	+	0.52	*	0.10	0.19	-0.23	0.29			
1022	-7	6.7	0.10	0.19	-0.16	0.26	-0.10	-0.10	0.23				
1170(基準)	0	6.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
1306	+7	6.9	0.10	0.00	0.16	0.19	0.16	0.16	0.00				
1465	+14	6.8	-0.36	*	-0.06	-0.22	-0.28	+	-0.22	0.39	*		

1) **は1%水準で、*は5%水準で、+は10%水準で基準に対して有意差あり



第1図 異なる移植時期における刈取時期と登熟歩合・千粒重の関係



第2図 異なる移植時期における刈取時期と整粒率の関係

4

山梨県低標高地における水稻品種「にじのきらめき」の施肥体系と幼穂形成期の生育指標値

上野直也*・高橋真史・石井利幸¹⁾

(山梨県総合農業技術センター・¹⁾山梨県食糧花き水産課)

Fertilization system and growth index values at the panicle formation stage for the rice cultivar "Niji no Kirameki" in low-altitude areas of Yamanashi Prefecture

Naoya Ueno *, Masashi Takahashi, Toshiyuki Ishii¹⁾

(Yamanashi Prefectural Agritechnology Center, ¹⁾Yamanashi Prefectural Government)

【背景・目的】

「にじのきらめき」は「コシヒカリ」より多収・良食味で高温耐性を持つことから、2022 年度に山梨県の奨励品種に指定され、高温障害が発生しやすい甲府盆地を中心とした低標高地において普及が進んでいく。しかし、多収性と良食味を両立するための施肥体系は明らかとなっていない。本研究では、普及が想定される低標高地における「にじのきらめき」の施肥体系について、収量性と食味の面から明らかにするとともに、幼穂形成期における生育指標値の設定を目的とする。

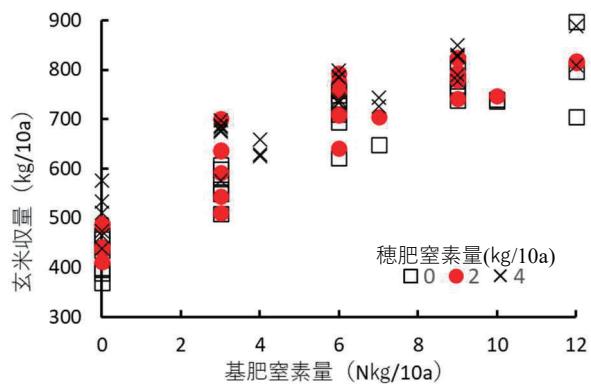
【材料・方法】

2021~2023 年に山梨県総合農業技術センター内圃場(標高 315m, 灰色低地土)において試験を実施した。窒素成分量に基づき、基肥は 0~12kg/10a の 4~5 水準、穂肥(幼穂長 2 cm の時)は 0,2,4kg/10a の 3 水準で試験区を設定した。6 月上旬に稚苗を機械移植し、栽植密度は 2021,2022 年が 18.5 株/m²、2023 年が 16.0 株/m²とした。調査項目は幼穂長 2 mm の時期(幼穂形成期)に草丈、茎数、葉色(SPAD)を、成熟期に収量及び収量構成要素とした。玄米品質はサタケ社 RGQ120A、玄米タンパク含有率(乾物換算)は同社 RLTA10B を用いて測定した。また、食味官能試験は所内職員を対象に食糧庁方式に準じて実施し、基準試料には同じ栽培試験で得られた玄米タンパク質含有率 6.8~6.9% の試料を用いた。

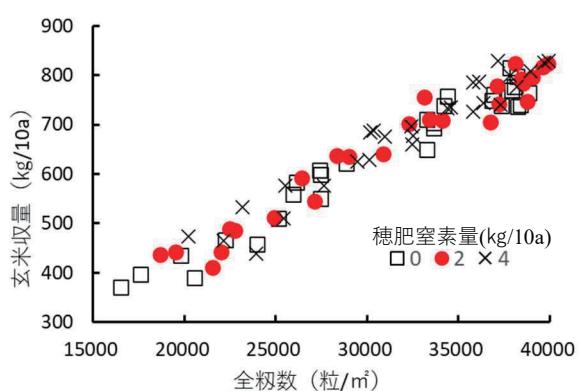
【結果・考察】

窒素施肥量と収量・品質との関係を検討した結果、施用窒素量が増加するにつれて玄米収量は増加する傾向が認められたが、窒素総施用量が 12 kg/10a(以下、施肥量は窒素成分量を示す)を超えると収量の増加は頭打ちとなる傾向が示された。玄米収量 700 kg/10a 以上を確保するためには、基肥として 7 kg/10a 以上、穂肥として 2 kg/10a 以上の施用が必要であると考えられた(第 1 図)。全総窒素施肥量が 12 kg/10a を超える場合に軽度な倒伏が認められた。穂数と玄米収量との間には年次に関わらず高い相関関係が認められ、収量 700 kg/10a 以上を達成するには、穂数 33,000 粒/m²以上の確保が必要であった(第 2 図)。また、玄米タンパク質含有率が 7.2% 以下の場合、食味官能評価(総合)は基準試料と同程度であったが、7.2%を超えると食味は低下する傾向が認められた(第 3 図)。基肥施用量が 9 kg/10a 以上の場合、穂肥の有無にかかわらず玄米タンパク質含有率が 7.2% を上回る事例が認められた。一方、基肥施用量が 7 kg/10a 以下では、穂肥の有無にかかわらずタンパク質含有率は 7.2% 以下に抑えられた(第 4 図)。さらに、全穂数と玄米タンパク質含有率との間には年次に関わらず高い相関関係が認められ、全穂数が 37,000 粒/m²を超えると玄米タンパク質含有率が 7.2% 以上となる事例が多くなった(第 5 図)。玄米整粒率は年次変動が大きいものの、総穂数が 28,000~37,000 粒/m²の範囲で 70% 以上となった(第 6 図)。幼穂形成期における生育指標値(草丈 × 茎数 × 葉色/1,000)が 1,400 以上の場合、穂肥 2 kg/10a の施用により玄米収量は 700 kg/10a 以上となった(第 7 図)。また、生育指標値が 1,700 以下であれば、穂肥 2 kg/10a を施用しても玄米タンパク質含有率は 7.2% 以下に維持された(第 8 図)。

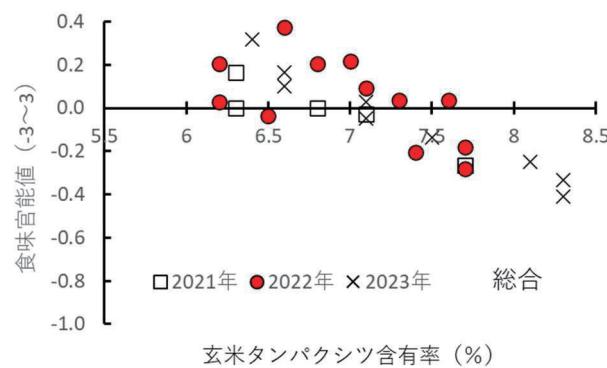
以上の結果から、「にじのきらめき」において玄米収量 700 kg/10a 以上かつ玄米タンパク質含有率 7.2% 以下という目標値を達成するためには、施肥体系として基肥 7 kg/10a、穂肥 2~3 kg/10a の施用が適当と考えられた。また、幼穂形成期の生育指標値は 1,400~1,700、成熟期の全穂数は 33,000~37,000 粒/m²の範囲にあることが望ましい。



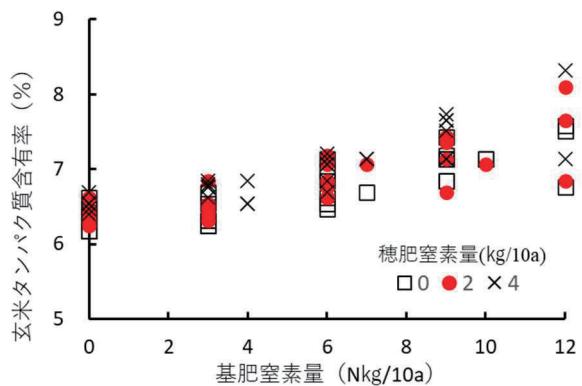
第1図 施肥量と玄米収量



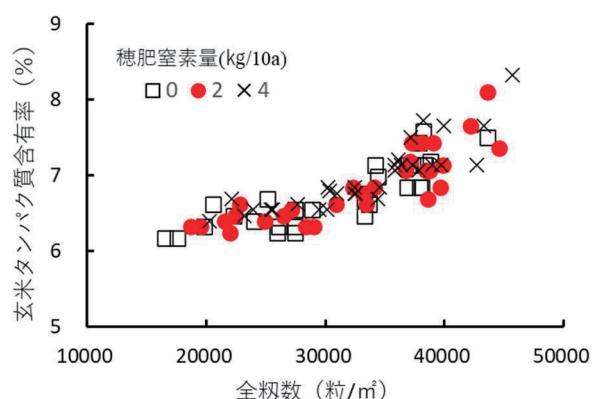
第2図 総粒数と玄米収量



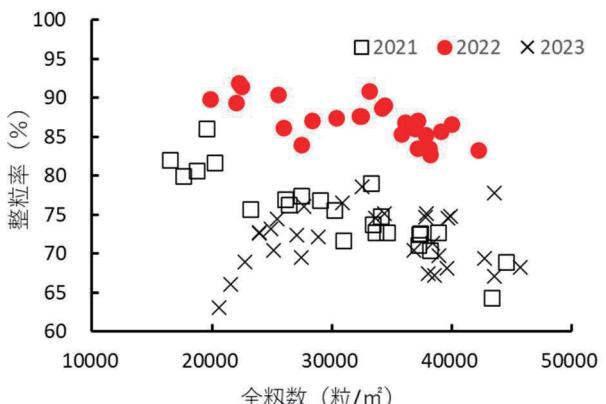
第3図 玄米タンパク質含有率と食味官能値(総合)



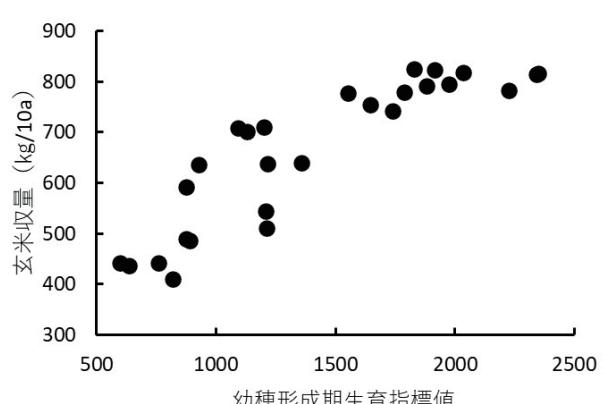
第4図 施肥量と玄米タンパク質含有率



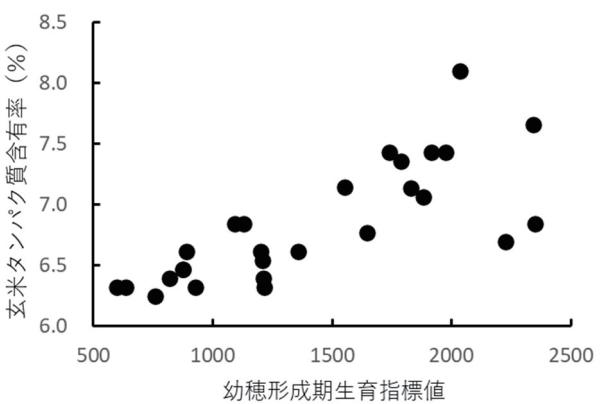
第5図 全粒数と玄米タンパク質含有率



第6図 総粒数と玄米整粒率



第7図 幼穂形成期生育指標値と玄米収量
*穂肥窒素量 2 kg/10a 区をプロット



第8図 幼穂形成期生育指標値と玄米タンパク質含有率
*穂肥窒素量 2 kg/10a 区をプロット

高温抵抗性水稻品種「ふさおとめ」における穂と止葉の表面温度および蒸散特性

北浦健生^{*1,D2}・横山杏輔^{1,B4}・水鳥希洋人²・安達俊輔¹・田中一生¹・大川泰一郎¹

(¹ 東京農工大学大学院農学府・² 千葉県農林総合研究センター)

Characteristics of panicle and flag leaf surface temperature and transpiration in a heat resistant rice cultivar 'Fusaotome'

Takeo Kitaura^{*1,D2}, Kyosuke Yokoyama^{1,B4}, Kiyoto Mizutori², Shunsuke Adachi¹,

Kazuo Tanaka¹, Taiichiro Ookawa¹

(¹Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology,

²Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center)

【緒言】 今世紀に入り温暖化が進む中、特に2023年以降の猛暑により水稻の高温登熟障害米の発生による品質低下が全国的に大きな問題となっている。今後、温暖化はさらに進む可能性があり、高温不稔や登熟障害などに対する高温回避性(heat avoidance)や高温耐性(heat tolerance)のある高温抵抗性(heat resistance)品種の育成が進められている。高温登熟障害米の発生が少ない水稻品種「ふさおとめ」は、従来品種に比べ高温下で根系の発達や根の生理的活性が高いことが報告されている(金田ら2022)。穂の穎花は葉身と異なり、内表面には気孔があるが外表面には気孔がわずかであり、個体群の上部に位置することから穂温が上昇しやすい状態にあることが高温障害を受けやすい要因の一つと考えられる。しかし、高温回避性に関わる穂の温度、蒸散特性に関する知見は少なく、根の水吸収から地上部の葉身および穂の蒸散までの過程に着目し、関連する水分生理学的な要因を解析することが重要と考えられる。そこで本研究では、高温登熟障害米の発生の少ない「ふさおとめ」と多い「コシヒカリ」を供試し、障害米発生と関連の深い出穂から登熟前期の穂と止葉について表面温度および蒸散速度を測定したところ、新たな知見が得られたので報告する。

【材料と方法】 供試品種として「ふさおとめ」および「コシヒカリ」を用いた。出穂期を揃えるため、ずらし播種を行った。表面温度は赤外線カメラ(TC003, TOPDON社製)を用いて、午前8時から午後5時まで測定した。穂および止葉の蒸散速度は、2025年5月20日播種の2品種を供試し、千葉ら(2009)の方法により測定した。器官別蒸散量は、まず止葉節上部の穂および止葉を着生した状態で、その後、穂を切除した止葉と穂首節間(穂首節～止葉節)の状態、さらに止葉を切除した穂首節間のみの状態で10時から14時の間測定し、止葉では葉面積当たり、穂では穎花当たりの蒸散量を算出した。

【結果と考察】 2品種とも穂の表面温度は止葉より高く推移した。「コシヒカリ」の穂温は午前中から気温を上回り、36°Cを超えて最高気温に達した後も36°C近くで推移した。これに対して「ふさおとめ」では午前中は気温と同様に推移し、午後は気温よりも低く推移した。一方、穂の蒸散速度はいずれの品種も止葉より小さかったが、止葉より気孔をわずかしかもたない穂でも止葉の約半分であった。「ふさおとめ」は「コシヒカリ」に比べて穂および止葉の蒸散速度が大きかった。これらのことから、「ふさおとめ」の日中の低い穂温の維持に、穎花の蒸散冷却が強く関連していると考えられた。今後は、穎花外表面の気孔密度、クチクラ蒸散に関わる表面構造に着目して、「ふさおとめ」の蒸散の大きい生理的要因と高温抵抗性の機構について検討する予定である。

*本研究は、JSPS 地域中核・特色ある研究大学強化促進事業 JPJS00420230003 の支援を受けたものである。

キノア品種の違いがアーバスキュラー菌根形成と群集構造に及ぼす影響

齋藤孝太郎^{1*}・横山愛実²・小高愛結²・吉田裕貴²・肥後昌男²・磯部勝孝²(¹日本大学大学院生物資源科学研究科, ²日本大学生物資源科学部)**Effects of Quinoa Cultivar Differences on Arbuscular Mycorrhizal Formation and Fungal Community Structure**Kotaro Saito^{1*}, Emi Yokoyama², Ayui Kodaka², Hiroki Yoshida², Masao Higo² and Katsunori Isobe²(¹Graduate School of Bioresource Sciences, Nihon University,(²College of Bioresource Sciences, Nihon University)

【目的】アーバスキュラー菌根菌（AM 菌）は、多くの陸上植物と共生し、リン酸吸収の促進や環境ストレス耐性の向上など、植物の生育に寄与する重要な土壤微生物である。一方、キノア (*Chenopodium quinoa* Willd.) は、従来 AM 菌の非宿主植物と考えられてきた。しかし、近年、キノアにおいても AM 菌による菌根形成が報告されつつあり (Kellogg ら 2021)，その共生能について再検討が求められている。また、宿主植物では共生する AM 菌が植物種や品種により異なるが (Mao ら 2014)，キノアにおいては不明な点が多い。そこで本研究では、キノアにおいて AM 菌の共生によるリン酸吸収の可能性を明らかにすることを目的として、キノアの品種間における菌根形成および AM 菌群集構造の差異を解析した。

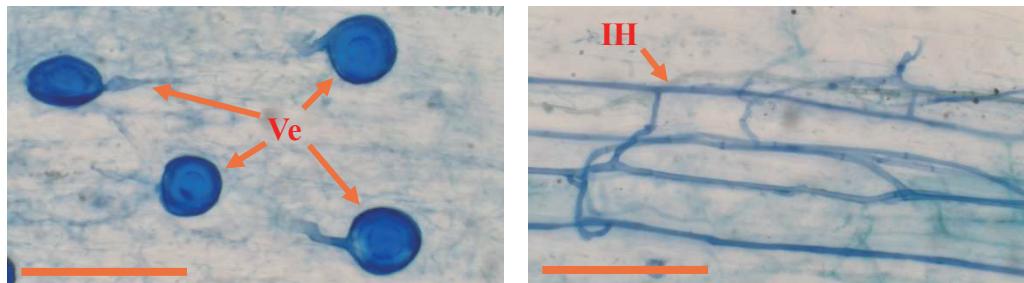
【材料と方法】試験には、日本大学生物資源科学部付属農場より採取した黒ボク土を用い、人工気象室内でコーンティナーTM容器を用いて栽培した。供試材料には、生態型の異なる 2 タイプ (Valley と Sea-level タイプ) に分類される 15 品種のキノア (Amarilla de Marangani, Baer2, Baer Union, Blanca de Junin, Cauquenes, CICA-127, CO-407, ECU-420, ECU-525, Ingapirca, Monteagudo, Narino, NL-6, RU-2, RU-5) を供試し、播種後 5 週目に根を採取した。根は染色後、生物顕微鏡を用いて AM 菌特有の構造物の観察を実施した。さらに、根からゲノム DNA を NucleoSpin Plant II (マッハライナーグル社) により抽出し、プライマーセット NS31/AML2 および AMV4.5NF/AMDGR を用いて PCR 増幅を行い、増幅産物を精製後、アンプリコンシーケンス解析を実施した。得られた配列データは MaarijAM のデータベースをもとに AM 菌の属を推定したのち、群集構造および多様性解析を行った。

【結果と考察】本研究の結果、供試した 15 品種すべてのキノア根において、AM 菌が形成する菌糸およびのう状体の形成が確認された（第 1 表）。一方で、植物との栄養交換の場とされる樹枝状体の形成は認められなかった（第 1 図）。アンプリコンシーケンス解析では、すべてのサンプルから AM 菌が検出され、特に RU-5, Baer Union, Ingapirca, ECU-525, Baer 2 において高い検出量が示された。解析により得られた配列データを属レベルに分類した結果、未分類群を除く 6 属の AM 菌が同定された。AM 菌の群集構成はキノアの生態型によって異なり、Valley タイプの多くからは土壤から検出されなかった *Scutellospora* 属の AM 菌が認められた一方で、Sea-level タイプでは供試した土壤と類似した構成であった（第 2 図）。また、主座標分析の結果、キノアの生態型間で有意な差が確認され、AM 菌の群集構造がキノア各品種の遺伝的背景や発達した地域の違いの影響を受けている可能性が示唆された（第 3 図）。以上の結果から、キノアは AM 菌との共生能を有するものの、樹枝状体の形成が確認されなかったことから、感染様式は初期的な菌根構造のみを形成する RAM 型 (rudimentary arbuscular mycorrhizal phenotype) に分類されると考えられる。実際、アブラナ科植物に形成される RAM 型菌根は栄養交換機能を持たないとされているが (Cosme ら 2018)，キノアにおいても同様に栄養交換機能を欠くかは不明である。したがって、今後はキノアの樹枝状体形成関連遺伝子群の発現解析を行って、キノアは樹枝状体を形成しない特性を有しているか解析し、生態型によって AM 菌の群集構造の違いが生じた原因を明らかにする予定である。

第1表 キノア各品種におけるAM菌感染状況.

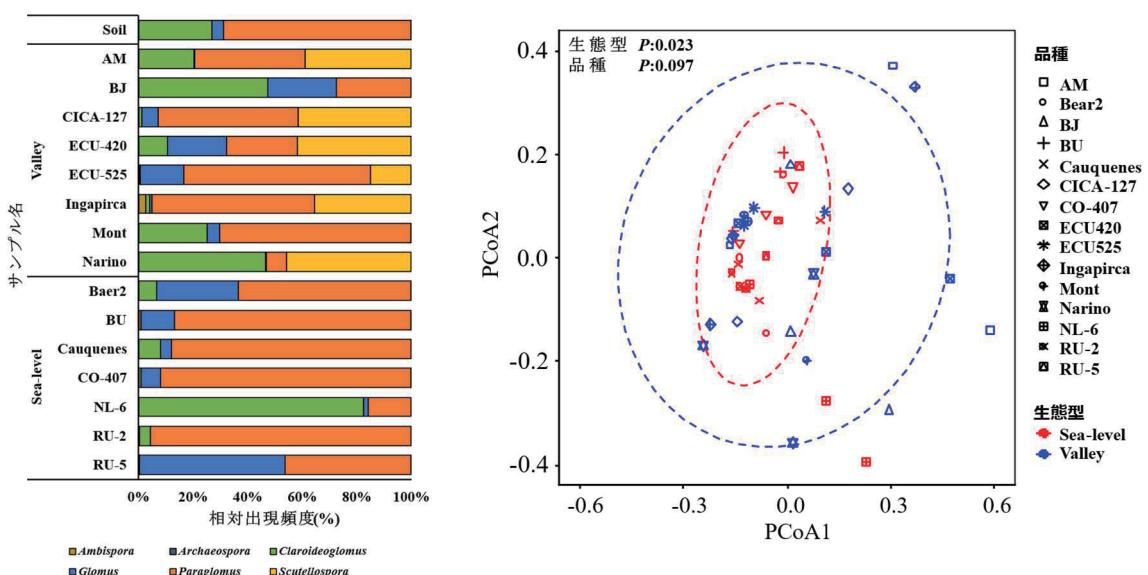
生態型	品種	のう状体	菌糸	樹枝状体
Valley	Amarilla de Marangani (AM)	○	○	—
	Blanca de Junin (BJ)	○	○	—
	CICA-127	○	○	—
	ECU-420	○	○	—
	ECU-525	○	○	—
	Ingapirca	○	○	—
	Monteagudo (Mont)	○	○	—
Sea-level	Narino	○	○	—
	Baer2	○	○	—
	Baer Union (BU)	○	○	—
	Cauquenes	○	○	—
	CO-407	○	○	—
	NL-6	○	○	—
	RU-2	○	○	—
	RU-5	○	○	—

○：器官形成あり，—：器官形成なし.



第1図 キノア根内におけるAM菌特異的構造物の形成状況.

Ve：のう状体, IH：内生菌糸。スケールバーは50μmを表す.



第2図 キノア品種の違いが根内のAM菌相対出現頻度に及ぼす影響.
未分類のAM菌属を除く.

第3図 キノア品種の違いが根内AM菌群集構造に及ぼす影響.
点線内は各生態型の分布に対する95%信頼区間を示す.

麦類難防除雑草カラスムギの登熟過程における出芽能力獲得時期と脱粒性獲得時期の解明

大橋俊子^{1*}、皆川博²、福田弥生³(¹茨城県農業総合センター農業研究所・²茨城県農業技術課・(³茨城県県南農林事務所つくば地域農業改良普及センター)Studies on Timing of Acquiring Seedling Emergence Ability and Threshablity During Ripening of Wild oat
(*Avena fatua* L.).Toshiko Ohashi^{1*}, Hiroshi Minakawa², Yayoi Fukuda³(¹Agricultural Research Institute, Ibaraki Agricultural Center,²Ibaraki Agricultural Technology Division,(³Tsukuba Agricultural Extension Center, Ibaraki Kenan Agriculture and Forestry Office)

【目的】

茨城県では県西地域を中心に県内広域でカラスムギの発生が認められている。除草剤による除草効果が不十分で、麦類の生育後半にカラスムギが繁茂してしまった場合は手取り除草を行う必要があるが、カラスムギの脱粒が始まる前に実施する必要がある。また、カラスムギが甚発生した圃場では、麦類の収穫を断念してロータリ等によるすき込みを行う場合もあるが、出芽能力を獲得する前にすき込むことが重要となる。そこで本発表では、手取り除草を行う場合や、やむを得ずすき込む場合の適切なタイミングを明らかにするため、出穂後の経時的な形態観察から脱粒開始時期を明らかにするとともに、出穂当日から出穂 6 週後までのカラスムギ種子を播種して出芽の有無を調査し、出芽能力獲得時期を明らかにしたので報告する。

【材料及び方法】

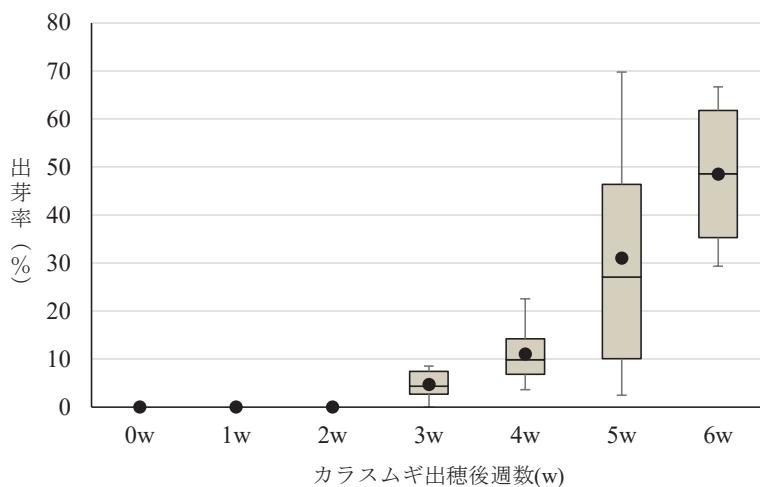
試験は 2019 年 5 月から 2022 年 4 月まで、茨城県農業総合センター農業研究所(茨城県水戸市)で実施した。耕起後の所内圃場に小麦「さとのそら」を播種し、条間に茨城県桜川市の小麦圃場から採集したカラスムギ種子 100 粒/m²を播種した。出穂したカラスムギ個体について、出穂当日(出穂 0 週後)から出穂 7 週後まで抜き取り調査を行い、小穂及び小花の形態と、脱粒の有無を観察した。また、抜き取りしたカラスムギ個体について、観察後、穂軸から全ての小穂を切り離して所内圃場に播種し、出芽個体数を調査し出芽率を算出した。

【結果及び考察】

カラスムギ種子の脱粒は出穂 5 週後から見られ始め、出穂 7 週後には 8~9 割の種子が脱粒した(第 1 表)。また、出芽能力は出穂 3 週後から認められ、出穂後の週数が進むほど出芽率が高まった(第 1 図)。以上より、手取り除草を行う場合は、遅くともカラスムギの出穂後 5 週以内に実施する必要があると考えられる。出穂 5 週後のカラスムギは、穂先の半分から約 3 分の 2 で苞穎の色が緑色から薄黄色に変わる頃であるとともに、果実を潰しても乳状物が出なくなる頃である。また、やむを得ず収穫を断念しすき込みを行う場合は、遅くともカラスムギの出穂後 3 週以内にすき込む必要があると考えられる。出穂 3 週後のカラスムギは、形態観察の結果から、苞穎は全て緑色で小花の先端は緑色、先端以外は薄い茶色と緑色の混合色である。

第1表 出穂後週数ごとのカラスムギの形態的特徴

出穂後 週数	形態的特徴
0週	苞穎は全て緑色。小花もすべて緑色。まだ出穂が不完全で、穂の先端数粒が葉鞘から出ているのが見えるのみ。果実はまだ確認できず、小花内には雄ずいと雌ずいが確認できる。
1週	苞穎は全て緑色。小花は先端4分の1ほどが緑色で他は黄～薄茶色。穂は穂首まで完全に抽出している。果実はまだ確認できず、小花内には雄ずいと雌ずいが確認できる。
2週	苞穎は全て緑色。小花はやや褐色。果実は大きいもので6mm。
3週	苞穎は全て緑色。小花の先端は緑色、先端以外は薄い茶色と緑色の混合色。果実は大きいもので10mm、軟らかく、潰すと乳状物が出る。
4週	苞穎は穂先の約3分の1で黄白色。小花の先端は緑色、先端以外は薄い茶色。果実は大きいもので10～11mm、軟らかく、潰すと乳状物が出る。
5週	穂先の数%の種子は既に脱粒。苞穎は穂先側の半分～3分の2程度が薄い黄色。小花は先端が緑色のものが多いが、先端から基部まで茶色のものもある。果実は大きいもので10mm、登熟の進んだ種子は軟らかいが潰しても乳状物は出ない。
6週	遅れ穂を除き、4割程度の種子は既に脱粒。苞穎は穂先側の8割程度が薄黄色。小花は先端が白、それ以外は茶色。果実は大きいもので10mm、爪で容易に切れ、中は粉状。
7週	遅れ穂を除き、8～9割程度の種子は既に脱粒し、穂の全体が薄い黄色。小花は先端が白、それ以外は茶色。果実は大きいもので10mm。登熟が進んでおり固いが、細いため爪で切れ、中は粉状。



第1図 カラスムギの出穂後週数による出芽率

1)出芽率=調査期間を通した累積出芽数/播種粒数×100。

2) n=10

3) グラフ中の黒点は平均値。

水稻、コムギ、ダイズ、およびトウモロコシにおける出芽性の差異

福島 勝

農研機構中日本農業研究センター

Differences of Emergence of Seedling among Rice, wheat, Soybean and Corn

Akira Fukushima

(Central Region Agricultural Research Center, NARO)

日本の水田作においては、米の需要が減少していること、経営規模の拡大が進んでいることなどから、水稻の乾田直播やコムギ、ダイズ、トウモロコシなどの畑作物の導入が進められている。水稻の移植栽培においては、移植作業が失敗することは稀であるが、作物を圃場に直接播種する場合は、出芽不良が作物の生育・収量に大きな影響を与える。水田における作物の出芽性を理解するためには、作物間の比較が有効であると考える。そこで、前報（福島 2025 日作紀 94 : 396-400）においては、4 作物の同時播種試験を行い、水稻は、コムギ、ダイズ、トウモロコシと比較して、出芽日数が長く、出芽率が低く、特に深播きにおける出芽率が顕著に低いことを明らかにした。本報告では、播種後の湛水処理により、4 作物の出芽性の差異をさらに明確にしようとした。

材料と方法

茨城県つくばみらい市の谷和原水田圃場において、前報と同様の方法で 4 作物（合計 6 品種）の同時播種試験を 2025 年に 5 回実施した。供試した作物・品種は、水稻（コシヒカリ、オオナリ）、コムギ（さとのそら）、ダイズ（里のほほえみ、そらみづき）、トウモロコシ（KD551）であった。播種深度は標播区 3cm と深播区 6cm とした。約 5a の 2 圃場を用いて、その内 1 圃場は播種翌日に湛水処理を実施した。50% 出芽日、出芽率、幼植物の形態を調査した。

結果

1) 出芽率

水稻 2 品種においては、対照区と湛水区の間で出芽率に差異は認められず、深播区は標播区より出芽率が低かった（第 1 図）。一方、コムギ、ダイズ 2 品種、トウモロコシにおいては、湛水区は対照区より出芽率が低く、深播区は標播区より出芽率が低かった。

作物間を比較すると、対照区においては、前報と同様に水稻はダイズやトウモロコシより、出芽率が低く、特に深播区の出芽率が顕著に低いことが確認された。しかし、コムギにおいては前報と異なり、ダイズやトウモロコシよりも出芽率も低かった。これは、前報より本報は、土壤水分が高く、対照区においても過湿による障害を受けたためではないかと推察される。湛水区においても、コムギはダイズ、トウモロコシより出芽率が低かった。従来から、これら 3 作物は、過湿により出芽が阻害されることが知られていたが、最も過湿に弱いのはコムギと推察される。

2) 出芽日数

深播区は標播区より、前報と同様にいずれの作物も出芽日数が長かった。一方、湛水区は対照区と比較して、コムギ、ダイズ、トウモロコシにおいては出芽日数が長かったが、水稻においては出芽日数の差異は認められなかった（図表略）。対照区標播区について、前報も合わせて、播種後 5 日間の平均気温と出芽日数の関係を調査したところ（第 2 図）、いずれの作物も 14°C～25°C の範囲では、気温が高いほど出芽日数は短かったが、28°C を超える出芽日数はやや長くなった。作物間

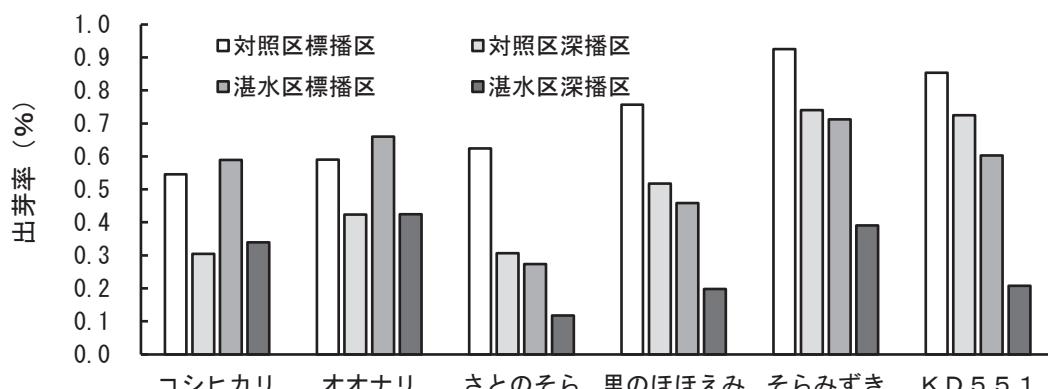
を比較すると、20°C以下では、コムギの出芽日数が最も短く、20°C～28°Cの範囲では、コムギ、ダイズ、トウモロコシの出芽日数の差異は僅かとなり、28°Cを超えるとコムギはダイズ、トウモロコシより出芽日数が長くなった。水稻は他3作物より、いずれの気温においても出芽日数が長く、特に気温が15°C以下となると顕著に出芽日数が長くなった。すなわち、低温出芽性はコムギが優り、水稻が劣ると推察される。

3) 幼植物の形態

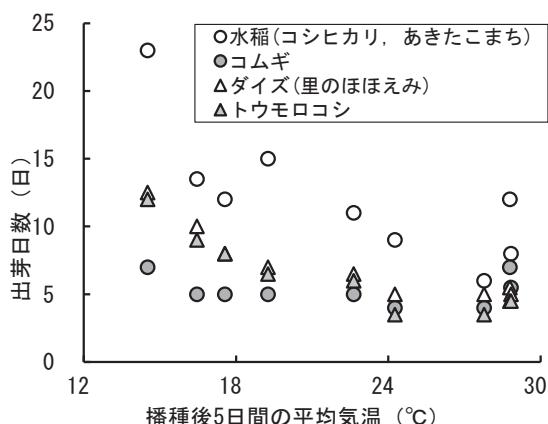
深播区においては、前報と同様に、対照区、湛水区のいずれも、コムギは第1節間、ダイズは下胚軸、トウモロコシは中茎の顕著な伸長が認められた。水稻に関しては、前報の「あきたこまち」では主に第2節間の伸長が認められたが、本報告の「コシヒカリ」「オオナリ」では、中茎と第2節間の伸長が認められた(第3図)。

4) 品種間差異

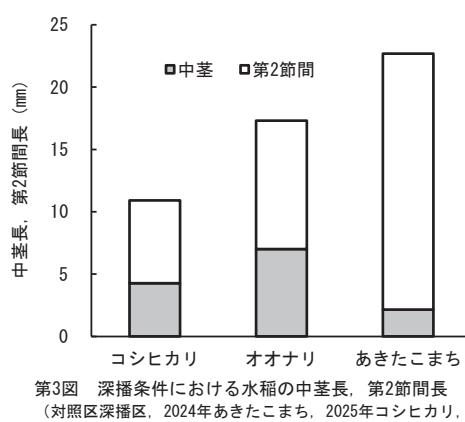
水稻においては、「オオナリ」は「コシヒカリ」より、いずれの条件においても、出芽日数が短く、出芽率がやや高かった。「オオナリ」は「タカナリ」の突然変異個体から選抜された品種であるが、「タカナリ」は発芽性が劣ることが報告されている(福島ら 2017 日作紀 86: 219-228)。よって、「オオナリ」においては、突然変異の段階で、出芽性が優れる遺伝的変化が生じた可能性がある。ダイズにおいては、「そらみづき」が「里のほほえみ」より、いずれの条件においても、出芽率が高かった。ただし、いずれも単年度の結果であることに留意する必要がある。



第1図 湛水処理および播種深度が4作物の出芽率に及ぼす影響
(4月10日, 5月1日, 5月29日, 7月23日, 8月5日播種試験の平均値)



第2図 気温が4作物の出芽日数に及ぼす影響
(対照区浅播区, 2024年4試験, 2025年5試験)



第3図 深播条件における水稻の中茎長, 第2節間長
(対照区深播区, 2024年あきたこまち, 2025年コシヒカリ, オオナリ)

土地利用型作物における導入技術選択のための圃場調査法
丹野和幸
(埼玉県大里農林振興センター)

A Field Survey Method for Technology Selection in Field Crops
Kazuyuki Tanno
(Saitama Prefectural Osato Agriculture and Forestry Promotion Center)

近年、日本各地で経営体当たりの農地面積が増加し、一圃場にかける時間が減少し、大規模法人を中心に土地利用型作物栽培における雑草多発や单収低迷が問題となっている。これは農家の技術低下というより、精密な栽培管理が困難な状況に起因すると考えられるため、通り一遍の全般的な指導ではなく、減収要因を見極め、最小限の労力で導入可能な対策を提示する必要がある。また、数多くの圃場ごとに状況が異なり、ある圃場の課題が経営全体の課題とは限らないため、全体の傾向を明らかにする必要もある。そこで本研究では、土地利用型作物の生産概況を観察で簡易に把握するための圃場巡回法を検討し、調査結果に基づく問題点抽出と対策提案を試みた。

【材料及び方法】

2024 年に熊谷市の法人 X について、市から営農計画書を入手し、eMAFF 農地ナビと Google map を用いて、各圃場の位置を携帯に登録した。水稻の出穂以降に各圃場を巡回し、策定した調査基準（表 1）に基づいて各圃場を達観で評価し、Excel で調査結果を集計した。なお、栽培上の問題点や対策に関しては用いる単語を統一し、類似の問題点や対策は一単語に集約した。

【結果及び考察】

1 匝場あたりの調査所要時間目安は 30 秒～1 分程度であった。水稻計 138 匝場を調査したところ、他要素に比べて雑草による減収が大きく、イヌビエ、クサネム、アゼガヤ等の湛水条件では発芽しない雑草種が中心で、麦あと栽培でより発生量が多いことから、水管理が行き届かず田面が露出した環境や、麦栽培の終盤で出芽していると考えられた（図 1）。また、麦あと栽培では還元害による生育量不足や生育ムラが見られた（図 2）。これらの減収要因は、管理する土地面積や圃場枚数の増加によって農繁期にきめ細かな水管理が難しくなったことで引き起こされていると考えられた。

水管理の意識向上も必要ではあるが、根本的には多少水管理が粗くても十分な除草効果や還元害抑制効果が得られる栽培体系を導入する必要がある。そのため、以下 5 点の対策を提案した。

- (1) 代かき同時除草剤→落水に強い田植え同時処理剤の初期 2 回処理除草体系
(他作業で忙しい時期の中後期除草剤になるべく頼らない)
- (2) 収穫後耕起前除草剤、栽培前石灰窒素（農閑期の埋土種子量低減対策）
- (3) 各地区担当者への水管理方法の周知徹底（除草効果発揮と還元害対策）
- (4) 普通期栽培圃場への含鉄資材の施用（還元害対策）
- (5) 昨年熊谷市で発生の多かったイネカメムシ、糲枯細菌病対策の周知

(1)～(5)の対策を導入し 2025 年の水稻で実践したところ、作物生育量の増加や雑草発生量の低下が見られ、2025 年での総合評価の平均値は 3.6（2024 年は 2.6）と向上した。調査によって必要な対策技術を絞り込むことができ、データを示すことで生産者も納得して導入する効果があった。なお、大豆や小麦でも同様の基準で調査を実施し、問題点の抽出と対策の提案を行うことができた。

表 1 土地利用型作物の圃場達観調査における評価基準。

作物生育量(多5~少1)	5	繁茂量が非常に多く条があいまいとなり、葉色も濃いため倒伏が懸念される
	4	繁茂量がやや多く、条間が少し歩きにくい
	3	地域の標準的な繁茂量
	2	繁茂量がやや少なく、条間の地面が少し見える
	1	繁茂量が極めて少なく、条間だけでなく株間も埋まらないほどスカスカ
生育ムラ(多5~少1)	5	多数の生育不良箇所がみられ、ほ場全体が波打って見える
	4	局所的な生育不良箇所や湿害等がみられる
	3	機械の作業工程の合わせ目などに多少の生育ムラがみられる
	2	枕地でのみ生育ムラがみられる
	1	ほ場一面が均一な生育
雑草発生量(多5~少1)	5	作物よりもむしろ雑草の方が優占している
	4	群落の上側に飛び出す雑草が多発している
	3	群落の上側に飛び出す雑草が散見される
	2	外側からはわかりにくいが、群落内部を見ると雑草が多く発生
	1	達観上はほとんど雑草が目につかない
倒伏指数(0~4)程度 × 面積		倒伏程度(0~4: 角度で決まる)に、発生面積割合(0~1)をかけたもの
優占雑草種		種名を書く
多発病害虫		種名を書く
栽培上の問題点		収量を制限していると思われる要因を書く
総合評価(良5~否1)	5	現状維持が望ましい
	4	基本的に良好だが、改善の余地がある
	3	収量や品質に大幅な影響はないが、少數の問題点が指摘できる
	2	収量や品質の低迷が見込まれる
	1	収量皆無となりうる
対策		次作以降の現実的な対処案を提示

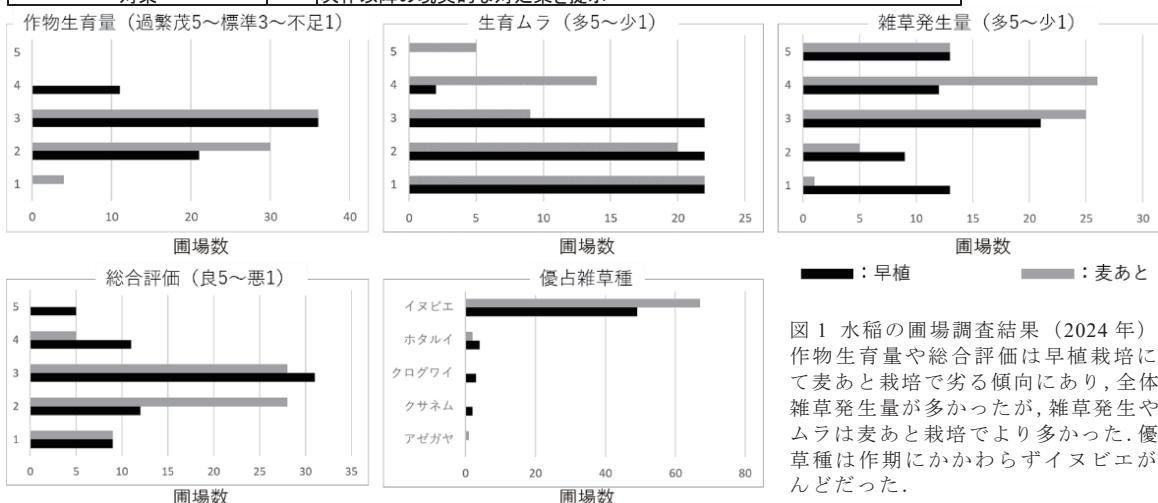


図 1 水稲の圃場調査結果(2024年)。
作物生育量や総合評価は早植栽培に比べて麦あと栽培で劣る傾向にあり、全体的に雑草発生量が多かったが、雑草発生や生育ムラは麦あと栽培でより多かった。優占雑草種は作期にかかわらずイヌビエがほとんどだった。

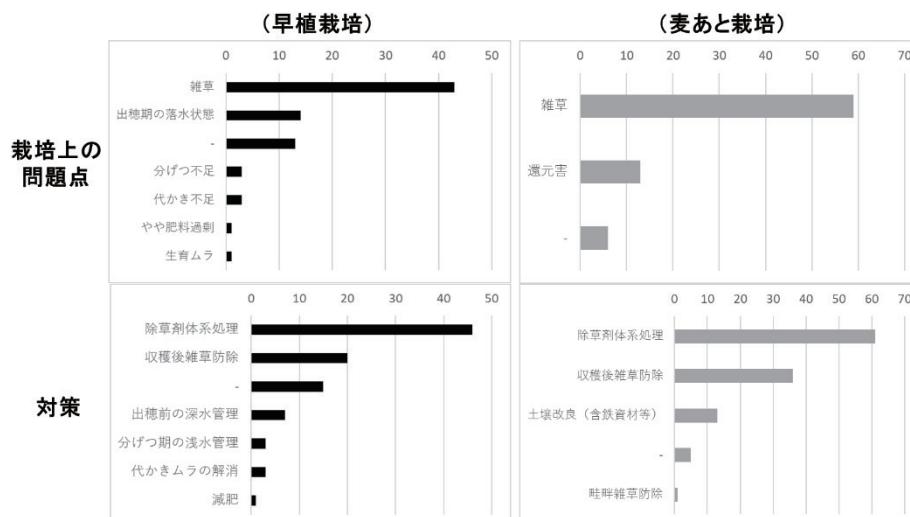


図 2 調査結果に基づく問題点の抽出と対策の提案。
早植栽培では雑草や水管理が問題となっているため、除草剤の体系処理や収穫後の雑草防除、水管理方法の周知が対策となると考えられた。麦あと栽培では、雑草や還元害が問題となっているため、除草剤の体系処理や収穫後の雑草防除、還元進行時の落水や含鉄資材の施用が対策となると考えられた。

緑肥と2月播麦類を組み合わせた主穀輪作体系の経営的評価

荒川直也^{1*}, 丹野和幸²(¹埼玉県農業技術研究センター, ²埼玉県大里農林振興センター)

Economic Evaluation of Crop Rotation System Combining Green Manure and Early Spring Seeding of Barley and wheat

Naoya Arakawa^{*} and Kazuyuki Tanno(¹Saitama Prefectural Agricultural Technology Research Center, ²Saitama Prefectural Osato Agriculture and Forestry Promotion Center)

近年、環境保全型農業の推進や肥料高騰へ対応するため緑肥栽培の重要性が見直されている。米麦二毛作は、面積当たりの生産性が高いが、各作物の収穫から次作の播種または移植までの作業が短期間に集中し、作目間の作業競合が激しい。加えて、在圃期間にほぼ切れ目がないため、緑肥の栽培期間の確保が困難である。そこで本研究では、これまで想定されてこなかった緑肥と2月下旬播種の麦類を組み合わせた新たな主穀輪作体系(以下、新体系案)(図1)を提案し、その体系に適した品種の検討と新体系案導入時の経営的効果を線形計画法により評価した。

【材料及び方法】

(1) 2月播麦類品種の比較

試験は、埼玉県農業技術研究センター玉井試験場水田(埼玉県熊谷市、細粒灰色低地土・宝田統・埴壤土)において、2024年、2025年に行った。前作に緑肥として、2024年はヘアリーベッチ、2025年はエンドウを栽培した。緑肥は2023年10月11日、2024年10月21日に播種し、両年とも翌年2月14日に正転ロータリーでさしき込み、2月27日に麦類を条播した。播種量は8g m⁻²を目安とした。品種は小麦「あやひかり」、「はる風ふわり」、「ゆめかおり」、二条大麦「ニューサチホゴールデン」、六条大麦「すずかぜ」を供試した。「あやひかり」のみ両年、「ゆめかおり」は2025年のみ、その他の品種は2024年のみ供試した。基肥は無施用とし、追肥は茎立期頃に窒素成分で3g m⁻²表層施用した。発育ステージや収量等を調査した。

(2) 新体系案導入時の経営評価

水稻と小麦の二毛作を営む主穀単一経営体をモデル(表1)とし、単作水稻、水稻と小麦の二毛作を行う慣行モデルに新体系案を加えた新経営モデルを評価した。評価はパラメトリック線形計画法(農業研究センター 1998)を用いた。制約資源の農地面積を連続的に変化させ、最適解(収益の最大化)の変化を評価した。最適解はXLP Ver2.47(大石 2006)を用いて計算した。プロセス、目的関数、制約条件は(1)の2024年産調査データや栽培暦、農林水産統計等を基に設定した。

【結果及び考察】

緑肥の全窒素量は2024年が8.6g m⁻²、2025年が8.4g m⁻²であった。麦類の出芽期、出穂期、成熟期は3月13~14日、5月4~7日、6月6~17日であった。整粒重は、2024年は「すずかぜ」が304g m⁻²と最も多収であり、次いで「はる風ふわり」、「あやひかり」、「ニューサチホゴールデン」の順となった。2025年は「あやひかり」、「はる風ふわり」とともに450g m⁻²を上回った。年次間差が大きいことから安定的に収量を確保する栽培技術の確立が必要である。稈長は2024年が2025年に比べて短い傾向であり、「すずかぜ」が32cmと最も低く、自脱型コンバインによる収穫は困難と考えられた。(2)経営評価には、2024年産のうち、収量が246g m⁻²と2番目に多く稈長が58cmの「はる風ふわり」の値を用いた。

想定する各体系の旬別作業労働時間、シミュレーション結果を図3、4に示した。慣行体系の作業ピークは主に6月上旬~下旬にかけての代かき・移植作業であり、新体系案はそのピークが7月上旬にずれたと想定した(図3)。慣行モデルは4.9haまで米麦二毛作の実施により収益が最大化するが、主に代かき、移植作業により6月下旬の労働時間が限界となり、水稻単作の作付を増やすことで収益が上がる(図4A)。しかし、6月中旬も同様に労働時間が限界となり、7.5haが規模拡大の限界であった(図4A)。新経営モデルは、新体系案の導入により既存の労働力で8.2haまで規模拡大が可能であり、このとき慣行より54万円ha⁻¹分収益が増加した(図4B)。新経営モデルは主に6月中旬の移植と10月中旬の収穫作業により労働時間が限界となつたため、臨時雇用の導入や、品種の変更による作業分散を図る必要があると考える。なお、本シミュレーションは固定費や、カントリーエレベーターの荷受可能期間を考慮していないことに注意する。

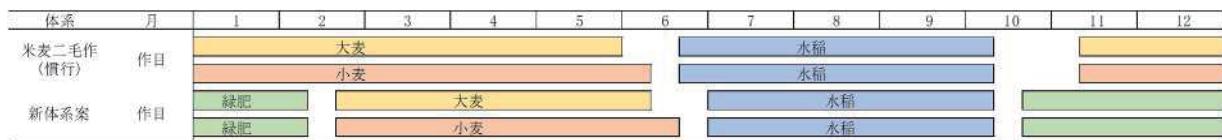


図 1 慣行の米麦二毛作体系と検討する新体系案の作付概況

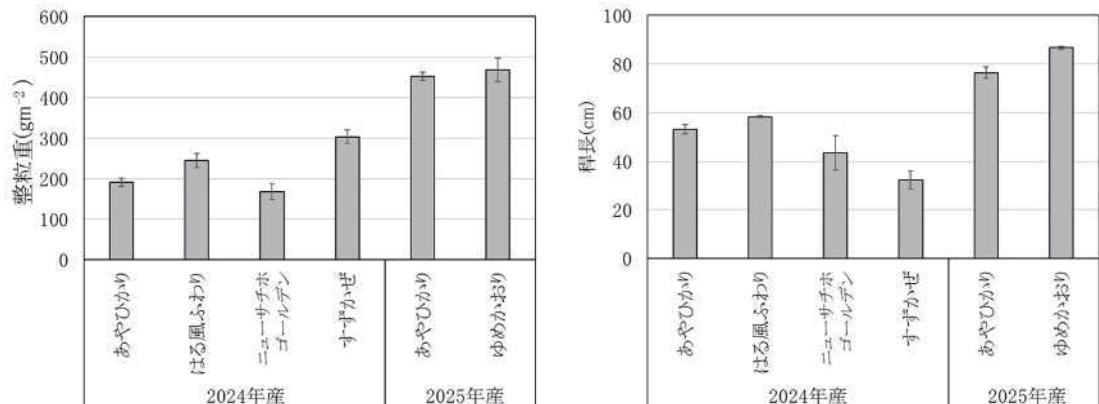


図 2 2月播麦類の収量および稈長
※エラーバーは標準偏差を示す。

表 1 モデル経営体概要

営農類型	主穀単一
労働力	基幹従事者 2人
経営規模	合計 1~20 ha
単作水稻	
水稻-小麦	
(新体系案)	
主な機械設備	トラクタ(38ps) 2台 乗用施肥田植機(8条) 1台 乗用管理機(ブーム・粒剤散布) 1台 コンバイン(自脱5条) 2台 育苗ハウス 600 m ² 温湯消毒器 1台
その他	作業機械は個人所有 乾燥調製作業はコントリー・エレベーター等を利用
販売対応	生産物は全て系統出荷

※埼玉県(2023)「農業経営基盤の強化の促進に関する基本指針_営農類型の指標」の主穀単一を参考に、大豆を作付していないと仮定した。

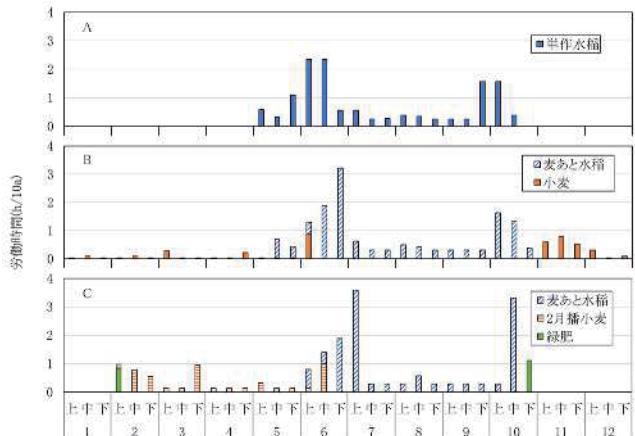


図 3 各体系の旬別作業労働時間の想定

A:单作水稻, B:水稻-小麦, C:新体系案

※作業時期は埼玉県栽培基準、作業時間は農林水産省(2024)「農業経営統計」を参考とした。

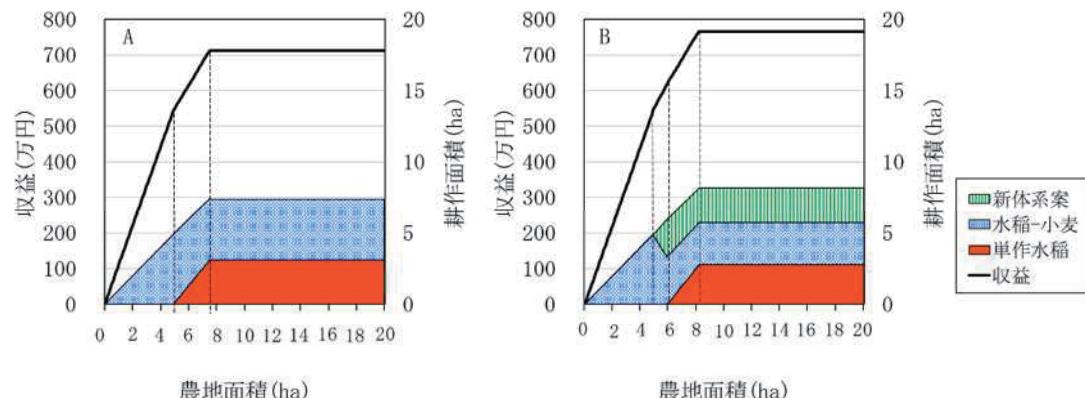


図 4 線形計画法によるシミュレーション結果
A:慣行モデル, B:新經營モデル

11

パン用小麦「ゆめかおり」の水田転換畠におけるタンパク質含有率向上のための追肥法の確立

宮本健矢*、杉山秀樹、横山朋也、池田千亜紀

(茨城県農業総合センター農業研究所)

Establishment of a fertilization method to improve protein content in paddy-field-converted croplands of the bread wheat cultivar 'Yumekaori'

Kenya Miyamoto*, Hideki Sugiyama, Tomoya Yokoyama, Chiaki Ikeda

(Agricultural Research Institute Ibaraki Agricultural Center)

【背景と目的】

小麦の価格が世界的に高騰する中、食品関連企業では原料を外国産から国産に切り替えるなど国産小麦の需要が高まっている。茨城県ではパン用小麦品種「ゆめかおり」が2010年に認定品種に採用され、県西地区を中心に約430haで栽培されている。需要拡大に伴い、従来の栽培適地である畠地のほか、水田転換畠での作付けも増加しているが、転換畠栽培におけるタンパク質含有率は畠地に比べ低く、収量および品質の安定確保が課題となっている。タンパク質含有率向上のため出穂期追肥の実施が定着しつつあるが、赤かび病防除時期と重なることから、省力化が求められている。そこで本研究は、「ゆめかおり」水田転換畠栽培において、省力的な追肥法（追肥一発肥料施用および赤かび病防除同時尿素液肥散布）を確立し、目標のタンパク質含有率の確保（13.0～14.0%）ならびに収量向上（450 kg/10a）を目指す。

【材料および方法】

2022～2024年に茨城県農業総合センター農業研究所水田利用研究室所内ほ場で、パン用小麦品種「ゆめかおり」を供試した。基肥には燐加苦土安3号（N:P₂O₅:K₂O=12-18-16）を窒素換算で2022年は8 kg/10a、2023年には4 kg/10a、2024年は塩加燐安1号（N:P₂O₅:K₂O=14-14-14）を窒素換算で6 kg/10aを施用した。

追肥一発肥料施用の検討では、セラコートRスカイ44（N:P₂O₅:K₂O=44-0-0）を窒素換算で2022年は茎立期に8、12 kg/10a、出穂前8日に8 kg/10a、出穂期に8 kg/10aを施用した。2023～2024年は施用量検討のため茎立期に同肥料を窒素換算で8、12、16 kg/10aを施用した。

赤かび病防除同時尿素液肥散布の検討では、茎立期に硫安（N:P₂O₅:K₂O=21-0-0）を窒素換算で4 kg/10aを施用したのち、開花期に大粒尿素（N:P₂O₅:K₂O=46-0-0）を2、4、8 kg/10aと赤かび病薬剤（チオファネートメチル剤、1000倍希釈）を水150L/10aに溶かした混合液を葉面散布した。2024年には同様の混合液を開花期と開花期1週間後の2回に分けて窒素換算でそれぞれ4 kg/10a葉面散布した。収穫後、収量および品質を調査した。

【結果および考察】

追肥一発肥料施用時期の検討では、茎立期追肥窒素量が増えるほど収量は増加する傾向が見られたが、出穂8日前～出穂期以降の追肥は収量への影響は少ないと考えられた。追肥の施用時期が遅くなるほど、または茎立期追肥窒素量が増えるほどタンパク質含有率は高くなる傾向が見られた。追肥一発体系と分施体系では、収量およびタンパク質含有率がほぼ同等となり、追肥一発体系

により省力化が可能と考えられた（表1）。

赤かび病防除同時の尿素液肥葉面散布による検討では、開花期追肥窒素量の違いによる収量への影響はみられず、タンパク質含有率は開花期追肥窒素量が増えるほど高くなる傾向が見られた。尿素葉面散布による葉焼けの程度は、窒素量が増えるほど大きくなる傾向が見られたが、8kg/10aに比べ2回に分けて施用（4+4kg/10a）した方が低かった。葉焼けによる収量への影響は認められなかった（表2、図1）。

表1 追肥一発肥料の施用法の収量および品質

播種年	試験区	基肥 窒素量 (kg/10a)	茎立期追肥 窒素量 (kg/10a)	出穂8日前 追肥窒素量 (kg/10a)	出穂期追肥 窒素量 (kg/10a)	稈長 (cm)	穗長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏程度	整粒重 (kg/10a)	容積重 (g/L)	千粒重 (g)	整粒歩合 (%)	タンパク質 含有率 (%)	検査等級 (等)
2022	追肥一発	8	0	0	103.3	8.3	870	4.0	649	848	40.7	97.7	12.4	1	
		8	12	0	104.8	8.4	863	4.0	713	852	39.6	97.0	13.5	1	
		0	8	0	102.9	8.0	810	4.0	659	850	40.7	98.4	12.9	1	
		0	0	8	100.3	7.8	757	4.0	634	851	40.6	98.6	13.9	1	
2023		8	0	0	86.9	7.2	660	0.0	494	875	40.2	97.0	10.7	2	
		4	12	0	89.6	7.2	773	0.0	524	874	40.4	97.5	10.6	1	
		16	0	0	91.1	7.4	780	0.0	565	877	40.8	97.3	11.7	2	
		8	0	0	96.2	7.9	640	0.0	608	883	42.1	96.9	10.3	2	
2024	分施 (対照)	6	12	0	96.7	7.9	743	0.0	656	870	42.0	96.0	11.8	2	
		16	0	0	97.1	8.0	707	0.5	693	856	42.0	94.7	13.6	2	
		4	0	4	78.9	6.5	530	0.0	394	864	41.5	98.6	10.9	1	
		4	6	0	86.7	7.1	703	0.0	465	875	42.6	98.8	12.4	1	
2023		8	0	8	90.9	7.1	720	0.0	576	876	43.1	98.8	14.5	1	
		4	0	4	96.9	7.5	673	0.0	640	895	44.8	98.3	10.9	1	
		6	6	0	95.6	8.0	613	0.0	701	878	45.5	98.2	12.6	1	
2024		6	0	6	94.6	8.1	593	0.0	721	873	44.4	96.8	13.7	1	
		8	0	8	94.6	8.1	593	0.0	721	873	44.4	96.8	13.7	1	

注) 整粒重は2.3mmのグレーダー調製による。

等級検査は全農いばらきの農産物検査に準ずる（1：1等、2：2等、3：3等）

タンパク質含有率：近赤外線多成分分析機（インフラテック1241型）による。水分13.5%換算値

2等の要因：充実不足

2022年：転換3年目、2023年：転換1年目、2024年：転換2年目

表2 赤かび防除同時の尿素液肥葉面散布による収量および品質

播種年	基肥 窒素量 (kg/10a)	茎立期追肥 窒素量 (kg/10a)	開花期追肥 窒素量 (kg/10a)	稈長 (cm)	穗長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏程度	整粒重 (kg/10a)	容積重 (g/L)	千粒重 (g)	整粒歩合 (%)	タンパク質 含有率 (%)	検査等級 (等)	葉焼け 程度
2022	8	2	100.4	8.0	753	1.5	663	847	42.5	98.0	12.6	1	—	—
		4	99.5	7.9	670	3.8	658	840	41.9	97.9	13.2	1	—	—
		8	99.2	8.0	817	2.0	562	842	39.6	94.0	14.6	2	—	—
2023	4	2	82.0	7.1	600	0.0	397	867	41.5	98.7	9.5	2	1	—
		4	80.5	6.8	557	0.0	384	875	41.7	98.9	10.6	1	2	—
		8	79.7	6.8	697	0.0	407	876	43.2	98.0	13.2	1	3	—
2024	6	2	93.1	7.4	583	0.0	555	893	42.6	97.8	9.5	2	1	—
		4	95.7	7.9	567	0.0	611	874	43.0	98.7	10.9	2	2	—
		8	93.4	8.0	650	0.0	659	877	44.7	98.7	12.5	2	3	—
		4+4	92.6	7.8	550	0.0	599	873	45.1	98.9	12.5	1	2	—

注) 整粒重は2.3mmのグレーダー調製による。

等級検査は全農いばらきの農産物検査に準ずる（1：1等、2：2等、3：3等）

タンパク質含有率：近赤外線多成分分析機（インフラテック1241型）による。水分13.5%換算値

2等の要因：充実不足

出穂期追肥と同時に赤かび防除を実施

葉焼け程度は0-5で評価した

2022年：転換3年目、2023年：転換1年目、2024年：転換2年目



図1 赤かび病防除同時尿素液肥葉面散布後の葉やけの様子（2025年5月8日時点）

（左から尿素液肥2kg/10a区、4kg/10a区、8kg/10a区、4+4kg/10a区）

12

ササゲの再生二期作栽培において刈り取り高さが収量に及ぼす影響

成本智哉^{1*^{B4}}・塩津文隆¹

(¹ 明治大学農学部)

The effect of cutting height on yield of ratoon cowpea

Tomoya Narumoto^{1*^{B4}}, Fumitaka Shiotsu¹

(¹School of Agriculture, Meiji University)

近年、異常気象や紛争、食料価格の高騰などを背景として、世界の約 7.5 億人が飢餓に直面しており、特にアフリカでは顕著である。このような状況を踏まえ、限られた農地で効率的に食料を増産する技術開発の可能性を探るため、アフリカで重要なタンパク源であるササゲ(*Vigna unguiculata* (L.))の再生二期作栽培について検討した。これまでの予備試験において、再生二期作栽培に適する品種選定と刈り取り節位(刈り株の 1 次分枝数を 2 本, 6 本, 無切除とする)について検討した結果、矮性品種と 2 本区が適切であることが示された。しかし、分枝数で刈り取り位置を決定するのは手間がかかり、現実的ではない。そこで、本研究ではササゲの再生二期作栽培において、5 cm と 15 cm の刈り取り高さを設定し、異なる刈り取り高さが一期作目と再生二期作目の合計収量に及ぼす影響を分枝数の差異や刈り株の NSC から評価した。

【材料および方法】

2025 年 5 月から 11 月に明治大学生田キャンパス南圃場で栽培試験を行った。供試品種は矮性の IT97K-1042-3 を用いた。施肥は基肥として N, P, K をそれぞれ 4, 9.3, 13.3 g/m²、一期作目の収穫直後に再生二期作目の施肥として硫安を 3 kg/10a 施用した。処理区は主茎を地際から 5 cm で刈り取る低刈り区、15 cm で刈り取る高刈り区および収穫当日に再度播種をする二期作区の 3 処理区を設けた。一期作目および再生二期作目における共通の調査項目として、草高・SPAD・分枝数の生育調査、子実収量および収量構成要素、部位別乾物重を調査した。なお一期作目の収量調査は収穫した茎に着生する子実のみを対象とした。また、一期作目の刈り取り後の分枝数(残存 1 次分枝数)、刈り株の NSC などを調査した。

【結果および考察】

一期作目の開花期は 6 月 30 日、収穫は播種後 98 日目の 8 月 7 日に行った。二期作目、再生二期作目の開花期はそれぞれ 10 月上旬、は 9 月 30 日で、播種後 194 日目の 11 月 11 日に 3 処理区ともに収穫した。栽培期間中の気象は、平年値と比較して、日平均気温が約 1.9°C 高く、降水量は 428 mm 少なかった。最低気温が 15°C を下回る日数は 5 月、10 月、11 月でそれぞれ 16, 15, 11 日であった。一期作目の子実収量は低刈り区、高刈り区、二期作区でそれぞれ 112, 15, 181 g/m² であった。収穫後の刈り株に残る莢を取らなかったことで高刈り区では著しい収量ロスが生じた。なお、FAOSTAT のデータによると、アフリカ諸国の平均収量(2014~2023 年)は 74.7 g/m² である。一期作目収穫後の残存 1 次分枝数は低刈り区、高刈り区それぞれ、2.4, 4.2 本で、二期作区の収穫時の 1 次分子数は 4.8 本であった。再生二期作目の収穫時の 1 次分枝数は二期作区、低刈り区、高刈り区それぞれ 2.6, 4.4, 5.2 本であった。再生二期作目の収量調査では着莢はしていたものの登熟していない莢が多く、収量をほとんど得ることが出来なかった。1 株莢数は、低刈り区、高刈り区、二期作区それぞれ、5.5, 5.2, 8.3 莢であった。低刈り区と高刈り区において、NSC 濃度と再生二期作目の莢数、茎乾物重の間に正の相関傾向があった。再生二期作目において登熟が進まなかった要因として積算気温が足りなかったことが考えられる。刈り取り高さに関わらず枯死する個体も確認され、要因として一期作目収穫後の 8 月の降水量が著しく少なかったことが考えられる。

以上より、一期作目の収量は二期作区、低刈り区、高刈り区の順に高く、二期作・再生二期作における刈り取り高さによる収量の差は認められなかった。今後は、一期作目収穫時の刈り株に残る莢を全て取ること、直播ではなく移植により生育を早め、再生二期作目の生育期間を確保すること、灌水を適度に行い枯死を防ぐ等により、再生二期作目の収量の向上を図る必要がある。

13

コンニャク遺伝資源の球茎におけるトリメチルアミン含量の評価

青柳大智^{1*}・岡部繭子¹・廣瀬竜郎¹・橋田庸一¹

(¹高崎健康福祉大学農学部)

Evaluation of Trimethylamine Content in Corms of Konjac (*Amorphophallus konjac*)

Genetic Resources in Japan

Daichi Aoyagi^{1*}, Mayuko Okabe¹, Tatsuro Hirose¹, Yoichi Hashida¹

(¹Faculty of Agriculture, Takasaki University of Health and Welfare)

【目的】 コンニャク(*Amorphophallus konjac*)はインドシナ半島周辺が原産とされ、日本には中国大陸から移入されたと考えられている。わが国のコンニャクは、古くからある「在来種」と「備中種」、大正時代に導入された「支那種」の3系統群、およびそれらの交配による育成品種に分類される(廣瀬ら、2025)。日本国内において、コンニャク収穫量の9割以上を群馬県が占めており、群馬県育成品種である「あかぎおおだま」、「みやまさり」が栽培面積の大半を占める。コンニャクの球茎には、こんにゃく特有のにおいの主成分であるトリメチルアミン(以下 TMA)が含まれている。TMA含量の低いコンニャクを利用することで、こんにゃく製品の多用途利用が見込める。しかし、これまでコンニャク球茎のTMA含量の系統間差を網羅的に評価した例はなく、コンニャクにおけるTMAの合成経路も明らかとなっていない。そこで本研究では、わが国のコンニャク遺伝資源の球茎におけるTMA含量を測定し、その遺伝的多様性を明らかにすることを目的とした。

【材料および方法】 群馬県農業技術センターこんにゃく特産研究センター(渋川市)に維持・保存されている日本各地で収集されたコンニャク(在来種17系統、支那種12系統、備中種45系統、品種等の交雑系統20系統)と、当研究室で収集した支那種1系統の計95系統に加え、ミャンマーで収集されたムカゴコンニャク(*Amorphophallus bulbifer*)1系統のいずれも2年生以上の球茎を用いた。TMA含量は、検知管による簡易測定法(高畠、2014)を改良した手法により測定した。

【結果および考察】 TMA含量を系統群間で比較すると、「在来種」、「備中種」の値が高く、「支那種」は中程度であり、「あかぎおおだま」や「みやまさり」を含む交雑系統は低い傾向を示した。「在来種」、「備中種」は系統間のばらつきが大きく、交雑系統並みに低い系統もあった。一方、「支那種」は系統間のばらつきが小さかった。また、ムカゴコンニャクは、TMA含量が最も低かったコンニャク系統よりもさらに低い値を示した。以上の結果から、コンニャク球茎のTMA含量には、本研究で供試した遺伝資源の中で多様性があるが、現在の栽培品種はTMA含量が既に低い水準にあることが明らかとなった。今後、さらにTMA含量の低いコンニャクを育成するためには、TMA含量の異なる系統の比較やムカゴコンニャクとの比較を通じてTMA合成のメカニズムを明らかにすることが求められる。

【謝辞】 本研究の実施にあたり、群馬県農業技術センターこんにゃく特産研究センターの多大なご協力をいただきましたことに感謝いたします。

【引用文献】 廣瀬ら 2025. 日本作物学会第260回講演会要旨集. p54. 高畠 2014. 群馬県農業技術センター研究報告 11: 9-19.

塩ストレス下でのキノアの表皮膀胱細胞へのナトリウムの蓄積について

渡邊丈^{1M2*}・伊藤優花²・瀬戸しほり²・肥後昌男²・今村智弘³・森正之³・磯部勝孝²(¹日本大学大学院生物資源科学研究科, ²日本大学生物資源科学部, ³石川県立大学生物資源環境学部)**Sodium Accumulation in Epidermal Bladder Cells of Quinoa under Salt Stress Condition**Jou Watanabe^{1*}, Yuka Ito², Shihori Seto², Masao Higo², Tomohiro Imamura³, Masayuki Mori³ and Katsunori Isobe²(¹Graduate Schools of Bioresource Sciences, Nihon University, ²College of Bioresource Sciences, Nihon University, ³Department of Production Science, Ishikawa Prefectural University)

【背景と目的】 キノア (*Chenopodium quinoa* Willd.) は耐塩性が高いことが知られているが、これはキノアの表面に存在している表皮膀胱細胞（以下 EBC）に Na を蓄積して生育阻害を軽減していると考えられている (Kiani ら 2017)。しかし、近年 EBC の有無はキノアの耐塩性に影響しないと考えられる事象も報告されている (Moog ら 2022)。そこで本研究ではキノアの耐塩性に EBC がどの程度寄与しているのかを明らかにするため、塩ストレス下で育成したキノアの葉と EBC の Na 含量を調査してキノアの耐塩性に EBC の存在がどの程度影響しているか明らかにした。

【材料及び方法】 風乾重で 2.5 kg の黒ボク土壌 (過リン酸石灰と硫酸アンモニウムを各 1g 施用) を充填した 1/5000 a ポットでキノアを育成した。供試品種は CQ127 の表面に EBC を作出しない *rebc1* とその野生種である WT である。試験区は肥料のみ施用した対照区と肥料の他に NaCl をポット当たり 60g 施用した塩区である。キノアの育成は本学農場のビニールハウスで実施した。

実験 1 EBC の有無による生育抑制の比較

播種は 2024 年 9 月 10 日に行い、播種後 4 週目、7 週目に草丈、葉面積、地上部新鮮重、地上部乾物重を調査した。

実験 2 EBC と葉の Na 含量の調査

播種は 2025 年 7 月 2 日に行い、実験 1 と同様に播種後 4 週目、7 週目に地上部の生育調査を行い、さらに WT では EBC を除去した葉と EBC、*rebc1* では葉の Na 含量を調査した。

【結果及び考察】実験 1 4 週目、7 週目を通じて、両系統とも対照区に比べ塩区では全ての調査項目で有意に低下した (第 1 表)。それぞれの系統において対照区に対して塩区ではどの程度生育が抑制されたか明らかにするため、対照区の値を 100 とした時の塩区の相対値を算出したところ、4 週目では全ての調査項目で *rebc1* に比べ WT の方が塩区の相対値が小さく、地上部乾物重以外の調査項目では WT と *rebc1* の間には有意差が認められた。ただし、7 週目では WT と *rebc1* の塩区の相対値は全ての項目で有意差がなく、塩区での生育阻害程度は EBC のある系統とない系統で同程度であった (第 2 表)。つまり、EBC が存在しても塩ストレス下における生育抑制程度が小さくなることはなかった。

実験 2 両系統ともに対照区から塩区になると葉の Na 含量は有意に高くなった。塩区での Na 含量は 4 週目では WT と *rebc1* の系統間で差がなかったが、7 週目では EBC のない *rebc1* より EBC のある WT の方が有意に高く、EBC が存在しても塩ストレス下で葉の Na 含量が低下することはなかった (第 1 図)。次に WT で葉と EBC 間で Na 含量を比較したところ、塩化ナトリウムを施用していない対照区では葉と EBC 間で Na 含量に有意差はなかったが、塩区では 4 週目、7 週目ともに葉より EBC の方が Na 含量が有意に低かった (第 2 図)。そして、塩区での葉の Na 含量は WT と *rebc1* 間では差がないか *rebc1* の方が低かった (第 1 図)。つまり、塩ストレス下でもキノアは葉から EBC に積極的には Na を移行させることはないと考えられた。このことはキノアの EBC は耐塩性の向上にはあまり寄与していないことを示唆するとも考えられる。

第1表 第1実験での対照区と塩区の生育状況。

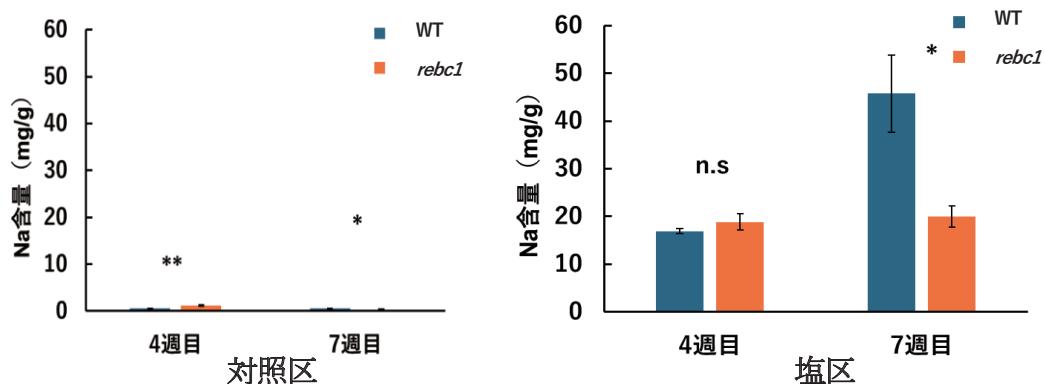
系統	試験区	草丈 (cm)		葉面積 (cm ² /ポット)		地上部新鮮重 (g/ポット)		地上部乾物重 (g/ポット)	
		4週目	7週目	4週目	7週目	4週目	7週目	4週目	7週目
WT	対照区	22.6 ± 0.4	29.3 ± 0.8	330.3 ± 17.3	436.1 ± 29.2	13.5 ± 0.7	20.1 ± 1.1	1.4 ± 0.0	3.7 ± 0.2
	塩区	8.4 ± 0.7	12.2 ± 0.7	37.1 ± 4.2	114.4 ± 14.5	1.5 ± 0.1	5.7 ± 0.7	0.2 ± 0.0	0.7 ± 0.1
	t検定	***	***	***	***	***	***	***	***
<i>rebc1</i>	対照区	17.1 ± 1.9	28.4 ± 0.3	218.0 ± 28.2	368.8 ± 4.4	11.0 ± 1.7	21.5 ± 0.7	0.8 ± 0.1	3.2 ± 0.1
	塩区	9.6 ± 1.7	11.6 ± 0.2	59.6 ± 8.0	113.2 ± 4.1	2.9 ± 0.4	6.0 ± 0.3	0.2 ± 0.0	0.6 ± 0.0
	t検定	***	***	***	***	***	***	***	***

※ ***は0.1%水準で区間に有意差があることを示す。

第2表 第1実験での対照区の値を100とした時の塩区の相対値。

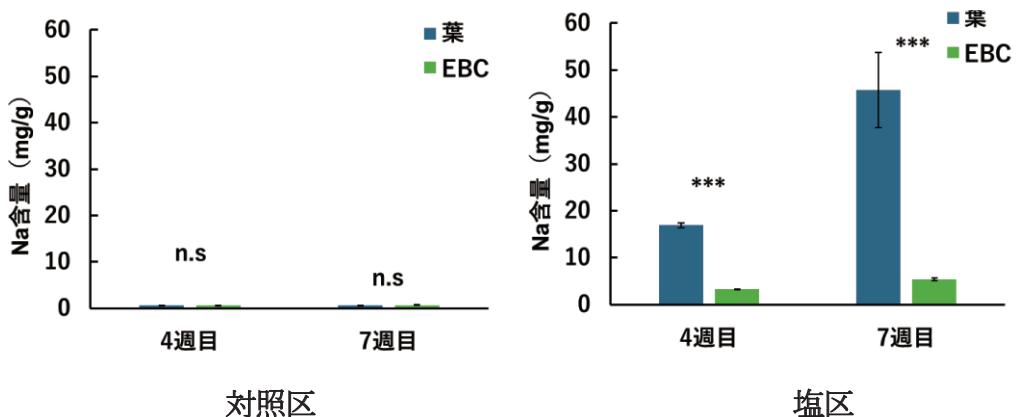
系統	草丈		葉面積		地上部新鮮重		地上部乾物重	
	4週目	7週目	4週目	7週目	4週目	7週目	4週目	7週目
WT	37.2 ± 3.2	41.6 ± 2.6	11.2 ± 0.9	26.2 ± 3.7	11.3 ± 0.8	28.4 ± 3.3	14.4 ± 3.1	18.9 ± 3.6
<i>rebc1</i>	56.0 ± 3.2	40.8 ± 0.9	27.3 ± 4.7	30.7 ± 1.2	26.4 ± 4.1	27.9 ± 1.8	27.6 ± 5.7	18.8 ± 1.1
t検定	**	n.s	*	n.s	*	n.s	n.s	n.s

※ **は1%水準で、 *は5%水準で系統間に有意差があることを、 n.s.は有意差がないことを示す。



第1図 WT の葉と *rebc1* の葉の Na 含量(mg/g)の比較。

※**は1%水準で、 *は5%水準で有意差があることを、 n.s.は有意差がないことを示す。



第2図 WT の葉と EBC の Na 含量(mg/g)の比較。

※***は0.1%水準で有意差があることを、 n.s.は有意差がないことを示す。

本研究の一部は市村清新技術財団 第34回植物研究助成によって行われた。

15

土壤の酸化還元状態を制御した水稻における生育期間全体を通じたメタン排出の動態

五十嵐匡日子^{1B4*}・堀口元気²・大川泰一郎²・安達俊輔²

(¹東京農工大学農学部・²東京農工大学大学院農学府)

Methane Emission Dynamics during Paddy Rice Cultivation under Controlled Soil Redox Potential throughout the Growing Season

Tokihiko Igarashi^{1B4*}, Genki Horiguchi², Taiichiro Ookawa and Shunsuke Adachi²

(¹Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, ²Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology)

[緒言] 温室効果ガスの一つであるメタンの主要な発生源は水田であり、その排出削減技術の確立が求められる。湛水により土壤が還元状態になると、メタン生成菌による有機物の嫌気的分解が進み、生成されたメタンは稻体の通気組織を通じて大気中へ放出される。メタン排出の抑制方法の一つとして、土壤を一時的に酸化状態に戻す間断灌漑(AWD)が近年注目されている。一方、AWD は水稻に水ストレスを与える可能性があり、ストレス回避とメタン排出抑制の両立が課題である。本研究では、土壤水分を精密に制御できるワグネルポットを用い、水ストレス強度の異なる AWD 処理が生育期間全体を通じてメタン排出と水稻の生育に与える影響を明らかにすることを目的とした。

[材料と方法] 東京農工大学府中キャンパス内の網室にプールを設置し、「コシヒカリ」と「北陸 193 号」を 1/5000 a ワグネルポットで栽培した。水管理は、常時灌水(CF)区ならびに水ストレス強度が異なる 2 つの AWD 区を設定した。具体的には、土壤水ポテンシャルが-20 kPa を下回った日を基準とし、その日に湛水状態に戻す区を mild AWD (mAWD) 区、その翌日または-40 kPa を下回った日に湛水状態へ戻す区を severe AWD (sAWD) 区を設け、湛水から中 3 日を空けて排水するサイクルを繰り返した。メタン排出量測定 (LI-7810)、非破壊的な生育調査、土壤化学性の測定を生育期間を通じて実施した。

[結果と考察] 両品種ともに CF 区では移植後約 30 日頃からメタン排出が増加し、生育後半にはピークアウトする傾向を示した。mAWD 区と sAWD 区では、栽培期間を通じてメタン排出量がほぼゼロで推移し、土壤酸化による抑制効果が顕著だった。CF 区における品種間差に注目すると、北陸 193 号に比べてコシヒカリではメタン排出の開始およびピークが早く、ピーク時の排出量も多い傾向が認められた。生育特性に関しては CF 区と比較して、両品種とも sAWD 区では生育期間を通して草丈および茎数が低下した。一方、mAWD 区では、草丈や茎数に CF 区との差がほとんど見られない期間が存在した。以上より、AWD における土壤水ポテンシャルを指標とした精密な水管理は、水稻の生育への影響を最小限に抑えつつメタン排出を抑制できると期待される。

[謝辞] 本研究は、福島国際研究教育機構(F-REI; Grant No.JPFR24030103)の助成を受けた。

異なる点滴灌漑制御下におけるイネ品種「モンスター農工大1号」のバイオマス生産特性

佐野朱理^{1*}, B⁴・小林勇太^{2, M¹}・安達俊輔²・大川泰一郎²(¹ 東京農工大学農学部, ² 東京農工大学大学院農学府)

**Characteristics of biomass production in rice cultivar “Monster Rice 1”
under different drip irrigation controls**

Akari Sano^{1*, B⁴}, Yuta Kobayashi^{2, M¹}, Shunsuke Adachi², Taiichiro Ookawa²(¹ Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology,² Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology)

【緒言】 世界的な気候変動による干ばつの頻発化は、水稻生産において食料安全保障上の重大な課題となっている (IPCC, 2023)。日本でも近年、高温や渇水による水稻の収量および品質低下が報告され、米生産の安定性が脅かされている (農林水産省, 2024)。この気候変動による複合的なリスクに対応するため、干ばつ抵抗性品種の開発や節水型灌漑システムの構築が急務となっている。本学で育成したイネ極長稈品種「モンスター農工大1号」(以下 MR1) は系譜上に熱帯ジャポニカの陸稈系品種を含み、水田では高い収量とバイオマス生産量を持ち (Nomura et al, 2019)，発達した根系を持つことが報告されている。また、MR1 を親に持つ選抜系統「モンスターライス7号」(以下 MT-7) を陸稈として栽培したところ、水田と同様に旺盛な生育により葉面積指数が高く、高い地上部バイオマス生産を示し、陸稈として高い栽培適性があることが示唆されている (小林ら, 2024)。そこで本研究では、MR1 に陸稈としての栽培適性があるか検討しその要因を検討するため、MR1 と同じ中生品種の「コシヒカリ」を異なる点滴灌漑制御下の畑圃場で栽培し、バイオマス生産量の相違とバイオマス生産過程における生理生態的要因を検討した。

【材料と方法】 MR1 およびコシヒカリの2品種を用い、東京農工大学農学部 FM 府中の畑圃場にて、2025年5月13日に条間30cm, 6kg/10aの播種量でドリル播きした。施肥は基肥として窒素を3kg/10a、リン酸とカリウムはともに6kg/10a 施用し、7月上旬に窒素を3kg/10a 追肥した。土壤水ポテンシャルセンサー (TEROS-21) で土壤水分をモニターし、-200kPa, -500kPa を切った時点でそれぞれ灌水する-200 区、-500 区を各処理3反復設けた。最高分けつ期、出穂期、収穫期に成長解析を行った。各処理区で基準の土壤水ポテンシャルを切った際に各品種の葉身水ポテンシャルをプレッシャーチャンバー法により測定した。

【結果と考察】 収穫期における各処理の地上部バイオマス生産量は、-200 区で約3倍、-500 区でも有意に MR1 がコシヒカリより高かった。出穂期から収穫期の個体群成長速度 (CGR) は-200 区で MR1 が有意に大きく、-500 区でも大きい傾向にあった。平均葉面積指数 (meanLAI) は-200 区で高い傾向があり、-500 区で有意に大きかったことから、MR1 の高い CGR は LAI によるものであるといえる。MR1 では日中もコシヒカリより葉身水ポテンシャルが高く維持された。このことから、MR1 は、土壤水ポテンシャルが-500kPa まで低下する環境条件下においても、発達した根系から地上部へ安定的に水を供給し、その結果として葉面積を拡大できた可能性がある。今後は、根系の吸水能力に関わる生理生態的性質に着目して検討する予定である。

* 本研究は JST COI-NEXT (JPMJPF2104) で得られた成果である。

水稻再生二期作栽培の北限である関東地域におけるコシヒカリ、にじのきらめきの収量性評価

永友理久^{1*B4}、畠板穂¹、柴田栄里²、加藤洋一郎³、塙津文隆¹(¹明治大学農学部、²明治大学農学研究科、³東京大学農学部)

Evaluation of the Yield of Koshihikari and Nijinokirameki under Ratoon Rice Cultivation at the Northern Limit in the Kanto Region

Riku Nagatomo^{1*B4}、Minoru Hataita¹、Shiori Shibata²、Yoichiro Kato³、Fumitaka Shiotsu¹(¹School of Agriculture, Meiji University, ²Graduate School of Agriculture, Meiji University,(³Faculty of Agricultural and Life Science, The University of Tokyo)

水稻再生二期作栽培は、一期作目の収穫後に刈株から萌芽する再生芽を利用して二期作目を栽培する方法であり、労力や資材の削減が可能な栽培方法として注目されている。一方で、再生二期作目の収量は一期作目と比較して低いことが知られている。特に、再生二期作栽培の北限である関東地方においては、研究事例は限られている。今後の展開のためには、再生二期作栽培における栽培技術のひとつである施肥管理の最適化を図る必要があるが、十分に検討されていない。そこで、本研究では関東地域において、一期作目収穫前後の窒素追肥時期に着目し、再生二期作目の収量に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

【材料および方法】

試験は2025年4月から10月に、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（東京都西東京市）の水田で実施した。供試品種は「コシヒカリ」と「にじのきらめき」である。3月24日に播種し、4月25日に栽植密度26.6株/m²（条間30cm×株間12.5cm）で移植した。施肥は、基肥としてN:P:K=4.5:6:6 g/m²、追肥として移植後40日および70日後にそれぞれ4.5, 3 g/m²を施用した。再生二期作目の追肥処理として、収穫直後(A)と一期作目収穫10日前(B)に、窒素をそれぞれ5 g/m²施用する処理区を設けた。一期作目の収穫時における刈り高は25cmとした。一期作目および再生二期作目ともに収量（粗収量と精玄米収量）および収量構成要素を調査した。また、一期作目収穫時における25cm以下の刈り株（稈および葉鞘）について、アンソロン硫酸法で非構造性炭水化物(NSC)含有量を測定した。さらに、茎再生率（一期作目収穫3週間後の再生茎数/一期作目の穗数）を算出した。

【結果および考察】

一期作目の収量については、コシヒカリAは570 g/m²、Bは524 g/m²、にじのきらめきAは563 g/m²、Bは542 g/m²であり、品種間および追肥時期による差は認められなかった。刈り株のNSC含有量は、収穫時においては、コシヒカリ(A:48.4 g/m²、B:45.3 g/m²)の方がにじのきらめき(A:34.5 g/m²、B:44.1 g/m²)よりも高かった。また、処理区間においても有意差は認められなかった。また、収穫時におけるNSC含有量と茎再生率との関係を見ると、有意な関係は認められなかった。再生二期作目の収量はコシヒカリAは172 g/m²、Bは128 g/m²、にじのきらめきAは163 g/m²、Bは159 g/m²であった。茎再生率と再生二期作目収量との間には、正の相関傾向が認められた。一期作目と再生二期作目の合計収量はコシヒカリAは742 g/m²、Bは652 g/m²、にじのきらめきAは726 g/m²、Bは701 g/m²であった。本試験で得られた合計収量は、令和7年産水稻の10a当たり収量である526 kgよりも高い値を示した。

以上より、今回の試験においては、追肥時期の違いはNSC含有量、茎再生率および収量に影響を及ぼさないと考えられた。また、本試験条件下では、にじのきらめきはコシヒカリと比較して収量ボテンシャルを十分に発揮できていない可能性が示唆された。今後は、両品種それぞれの一期作目と再生二期作目の合計収量を最大化するための栽培条件を検討する必要がある。

【謝辞】

本研究はJSPS科研費25K09079の助成を受けて実施された。また、実験の遂行にあたり、東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和機構にご協力を頂いた。

茨城県筑西市の水稻再生二期作栽培における刈り取り高さがの収量および品質に及ぼす影響

松本充平^{1***B4**}・加島美空¹・成本智哉¹・堀内結衣¹・高木亜希歩¹・永友理久¹・井上菜々子¹・畠板穂¹・山田廉²・塩津文隆¹(¹明治大学農学部, ²明治大学農学研究科)

Effects of Different Harvesting Heights on Yield and Quality under ratoon rice cultivation in Chikusei City, Ibaraki Prefecture

Shuhei Matsumoto^{1***B4**}, Miku Kashima¹, Tomoya Narumoto¹, Yui Horiuchi¹, Akiho Takagi¹,Riku Nagatomo¹, Nanako Inoue¹, Minori Hataita¹, Ren Yamada², Fumitaka Shiotsu¹(¹School of Agriculture, Meiji University, ²Graduate School of Agriculture, Meiji University)

今後の稻作農業においては省力化, 低コスト, 多収を実現し, 収益を確保することが求められている。その方策のひとつとして, 水稻再生二期作栽培が注目されている。茨城県筑西市では再生二期作栽培に取り組む農家が増え, 栽培面積が増加しつつある。しかし, 現場の生産農家へ栽培技術に関する情報は十分に提供されていない。そこで, 本研究では茨城県筑西市における再生二期作栽培のさらなる普及・拡大のため, 基本的な栽培技術のひとつである一期作目の刈り取り高さが再生二期作目の収量・品質に及ぼす影響を評価し, 地域の生産農家に資する有用な知見を得ることを目的とした。

【材料および方法】

2025年3月～11月に茨城県筑西市の松本農園の水田で試験を行った。供試品種は筑西地域で広く栽培されているコシヒカリを用いた。3月30日に播種・育苗した苗を4月30日に栽植密度26.6株/m²で移植した。水田には前年11月に牛糞堆肥を約1200kg/10a, 米ぬかを200kg/10aを施用した。基肥としてN, P, Kを0.8, 1.0, 0.8kg/10a, 追肥として移植61日後にN, P, Kを1.5, 1.875, 1.5kg/10aを施用した。再生二期作目の追肥として, 一期作目収穫直後にNを5.0kg/10a施用した。処理区は一期作目の収穫時の刈り取り高さを10cm, 20cm, 30cmとする3処理区を設けた。一期作目の収穫は8月26日に行つた。一期作目では草丈, 茎数, SPAD, 収量(14.5%精玄米収量), 収量構成要素を, 再生二期作目では再生草丈, 再生茎数, SPAD, 再生茎率, 収量, 収量構成要素を調査した。一期作目収穫時の刈り株の非構造性炭水化物(NSC)含有量を調査した。品質評価は, 穀粒判別機(RGQI100B), 食味計(RLTA10C)を用いて測定した。水管理については筑西地域の慣行法に基づいて実施した。

【結果および考察】

2025年における栽培期間中の気象条件は平年と比較して, 平均気温は1.84°C高く, 降水量は27.5%少なく, 平均日照時間は15.7%高かった。また, 7月29日には観測史上一となる最高気温39.4°Cを記録した。灌漑用水の利用可能期間は8月28日まで, 再生二期作目は天水のみで栽培した。試験水田は, 周辺の水田よりも出穂が早かったため, 鳥害, 虫害が集中して発生した。一期作目の収量は622kg/10aであった。2025年における筑西地域のコシヒカリの収量は約480kg/10aであり, 約140kg高かった。この収量差は, 栽植密度の影響が大きかったと考えられる。一期作目のアミロース含有率は19.0%, タンパク質含有率は7.9%であった。刈り株NSC含有量は, 刈り取り高さが高くなるについて高くなった。NSC含有量と一期作目収穫3週間後の再生茎率との間に有意な関係は認められなかった。再生二期作目の収穫は11月14日にやや早刈りで収穫した。収穫時の草丈は30cm区が最も高く, 次いで20cm区, 10cm区であった。試験区では周辺の水田と比べて, 再生二期作目の生育が良好であり, 多収が見込まれる。現在, 再生二期作目の収量調査および品質調査を進めている。

【謝辞】 本研究は明治大学重点研究の助成を受けたものです。

ハワイと日本で栽培した日本由来イネ品種の収量特性の比較

滝明花音^{1B4*}・堀内尚美¹・本田爽太郎¹・田中一生¹・山下恵¹・大川泰一郎¹・Tomoaki Miura²・山中晃徳³・安達俊輔¹(¹ 東京農工大学農学部・² ハワイ大学マノア校 CTAHR・³ 東京農工大学工学部)

Comparison of yield characteristics of Japanese rice varieties cultivated in Hawai'i and Japan

Akane Taki^{1B4*}, Naomi Horiuchi¹, Sotaro Honda¹, Kazuo Tanaka¹, Megumi Yamashita¹,Taiichiro Ookawa¹, Tomoaki Miura², Akinori Yamanaka³, Shunsuke Adachi¹(¹Fac. Agric., Tokyo Univ. Agric. Tech., ²CTAHR, Univ. Hawai'i at Mānoa,(³Fac. Eng., Tokyo Univ. Agric. Tech.)

【緒言】作物の安定供給は世界的な課題である。ハワイ州では食料自給率が約 16%と低く、その多くをアメリカ合衆国本土からの輸入に依存している (Loke & Leung 2013)。この状況は、同じ島嶼地域である日本と類似している。また、ハワイ州では一切の稲作が廃れている一方で、コメに対する需要は依然として高く、州内の自給生産への期待は大きい。日本に由来する高品質なイネ品種や多収栽培技術を普及させることは、ハワイ州の食料安全保障の向上に資するだけでなく、日米間の文化的交流の促進や省力的な新規栽培技術の確立など、多面的な意義を持つ。そこで本研究では、ハワイにおける商業的イネ栽培の可能性を検討するため、日本由来品種をハワイで栽培し、その収量特性を日本の圃場での栽培結果と比較した。

【材料と方法】供試品種には「コシヒカリ」と「ひとめぼれ」を用いた。ハワイ州カウアイ島の農家圃場（圃場 A, N22° 09', W159° 35'）および東京農工大学 FM 府中の畑圃場（圃場 B, N35° 68', E139° 48'）において、種子を条間 30 cm で条播きし、陸稲として畑状態で栽培した。圃場 A では 2025 年 3 月 21 日に播種し、6 月 27 日に収穫した。緑肥すき込み後に基肥を N:P:K=6.4, 6.4, 6.4 kg 10a⁻¹ 施用し、追肥は行わなかった。圃場 B では 5 月 13 日に播種、9 月 24 日に収穫を行い、基肥として N:P:K=5, 10, 8 kg 10a⁻¹、追肥として N:P:K=14, 12, 12 kg 10a⁻¹ を 4 回に分施した。灌漑は両圃場で適宜行い、過度な乾燥ストレスは生じなかつた。東京農工大学 FM 本町の水田圃場（圃場 C, N35° 66', E139° 47'）では、苗を条間 30 cm・株間 15 cm で移植し、水稻として水田状態で栽培した（5 月 14 日播種、5 月 28 日移植、9 月 17 日収穫）。基肥として N:P:K=3, 6, 6 kg 10a⁻¹ を施用し、追肥は行わなかつた。気象データは、圃場に設置した気象観測システム (METER) により取得した。収穫後、収量ならびに収量構成要素を評価した。

【結果と考察】播種後 1 ヶ月間の平均気温はハワイが日本より高く、その後は日本の方が高い値で推移した。日射量は概してハワイの方が高かつた。播種から出穂までの日数は、圃場 A で約 60 日、圃場 B で 96-99 日、圃場 C で 80-84 日であり、ハワイにおける出穂到達日数はかなり短く、生育の早さが顕著であつた。精玄米収量は、圃場 A で 383-401 kg 10a⁻¹、圃場 B で 416-420 kg 10a⁻¹、圃場 C で 505-523 kg 10a⁻¹ であり、水稻は陸稲より約 25%高い収量を示した。圃場 A と圃場 B を比較すると、一穂粒数は圃場 A でやや少なかつたものの千粒重が大きく、収量は同程度であった。ハワイでは日本由来の早生・中生品種の生育期間が日本より約 1 ヶ月短いにもかかわらず、高温・多照条件により生育が促進され、遜色ない収量が得られたと考えられる。今後は、収量形成過程や玄米品質の比較を進める予定である。

【謝辞】ハワイ現地農家の Jerry Ornellas 氏ならびに東京農工大学の技術職員の皆様に感謝申し上げる。

本研究は JSPS 地域中核・特色ある研究大学強化促進事業 JPJS00420230003 の支援を受けたものである。