

## 【特別講演 1】

### 地球温暖化が千葉県の水稲に及ぼす影響と対策技術の開発

望月 篤

(千葉県農林総合研究センター)

Effects of Global Warming Climate Change on Rice Paddy Cultivation in Chiba Prefecture and  
Research on the Countermeasures

Atsushi Mochizuki

(Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center)

#### 1 はじめに

地球温暖化により、日本の気温も 100 年で 1.2℃程度上昇しており、今後、更に早いペースで気温が上昇すると予測されている。気温の上昇が水稲に及ぼす影響として、出穂期後の高温により白未熟粒が多発し、外観品質が低下する高温登熟障害がしられており、全国的な問題となっている。また、高温登熟障害の他にも、水稲の生育期間全般にわたる気温上昇が水稲の生育や収量等に影響を及ぼしていると考えられる。

そこで、千葉県において温暖化が水稲に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、これまで千葉市(壤質土)で行った過去の試験データを基に、生育期間中の気温が水稲に及ぼす影響について解析を行った。本報では、その解析結果の一部と解析結果を基に現在取り組んでいる対策技術の開発について紹介する。

#### 2 千葉県における水稲生育期間中の気温の年次推移

水稲の生育期間である4月～8月の平均気温は、近年、上昇傾向にある(図1)。また、月毎に見ても、直近 10 年間(2013～2022 年)の平均気温は平年値(1991～2020 年の 30 年間)と比べいずれの月も 0.41～0.92℃高くなっており、特に5月の気温が高くなっている(図2)。

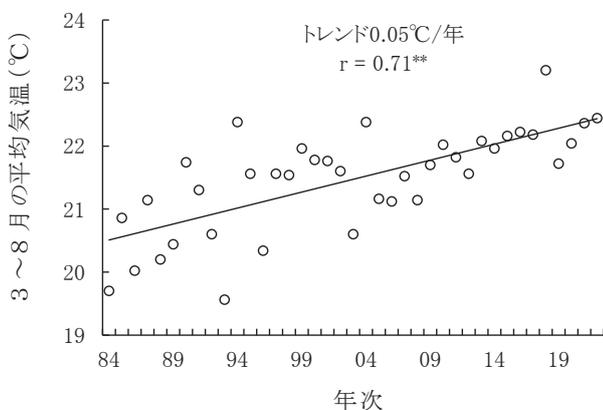


図1 4月～8月の平均気温の年次推移  
(アメダス,千葉)

注1) \*\*は1%以下の危険率で有意

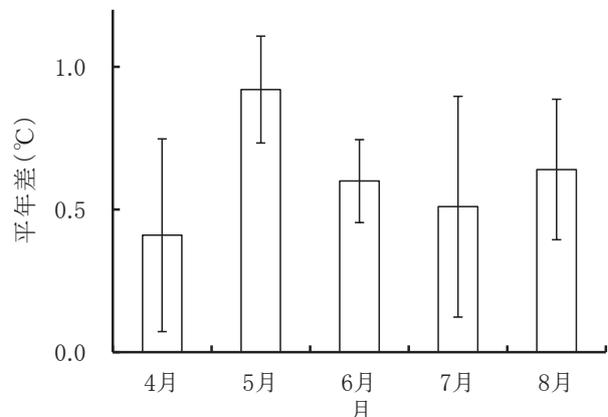


図2 各月の直近 10 年の平均気温の平年差

注1) 平年差は直近 10 年(2013～2022 年)の平均気温と平年値(1991～2020 年の 30 年間)との差

2) エラーバーは標準誤差を示す

#### 3 温暖化が水稲に及ぼす影響と対策技術の開発

##### (1) 出穂期に及ぼす影響

生育期間中の気温上昇により、水稲の生育ステージが前進しており、出穂期も4年で1日程度早くなる傾向が認められる(図3)。このため、生育に伴う追肥や病害虫防除、収穫などの管理時期も生育ステージに合わせて早める必要がある。

そこで、千葉県で栽培されている主要品種について、移植後の日平均気温と日長から出穂期を予測できる堀江・中川の出穂期予測モデルを簡素化したモデルを作成し、各品種のパラメータを整

備した(図4)。このモデルを用いて前日までの気温データを入力すると、品種・移植日毎の栽培適期を予測できる。この情報を生産者が参照しやすい形で配信することで、当年の気象条件に即した適期管理に対しての支援が可能と考えられる。

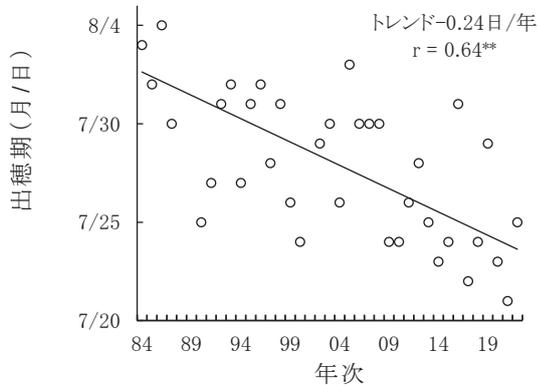


図3 「コシヒカリ」における出穂期の年次推移 (千葉市)

注1) 各年,移植日は4月30日~5月2日  
2) \*\*は1%以下の危険率で有意

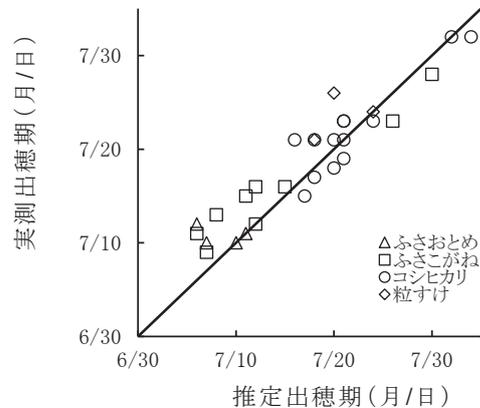


図4 出穂期予測モデルの推定誤差(2022年)

注1) 2022年の水稲作柄安定対策調査圃(千葉県全域)のデータにて検証  
2) 気温は過去値より推定

(2) 生育前半の茎数に及ぼす影響

近年,移植後30日(6月1日)や幼穂形成期における茎数,穂数が増加している(図5)。この要因の一つとして,移植直後の気温上昇により,前半の生育が旺盛となり,幼穂形成期までの生育が過剰となっていることが推察される。このため,籾数の過剰により,外観品質の低下や倒伏の危険性を高める。

したがって,生育前半に茎数を制御することのできる中干し管理がより重要となってきた。千葉県では品種・土性に応じて中干しを開始することが可能な茎数が定められている。このため,茎数が指定された本数以上となれば中干しを開始するように推奨しているが,複数の圃場を管理する生産者が各圃場で茎数を数えるには多大な労力が必要となる。そこで,水稲群落をスマートフォンで撮影した画像から植被率を算出し,植被率から茎数を推定する技術を開発した(図6)。本技術により推定した中干し開始適期を判断する方法は既存の茎数を実測する方法と同程度の精度で診断が出来ることが確かめられている(図7)。現在,本技術を活用した茎数推定アプリ(株式会社スカイマティクス)が提供されており,本アプリを用いることで生産者が画像解析等の難しい作業を行わずに,撮影直後に茎数を推定することができる(写真1)。

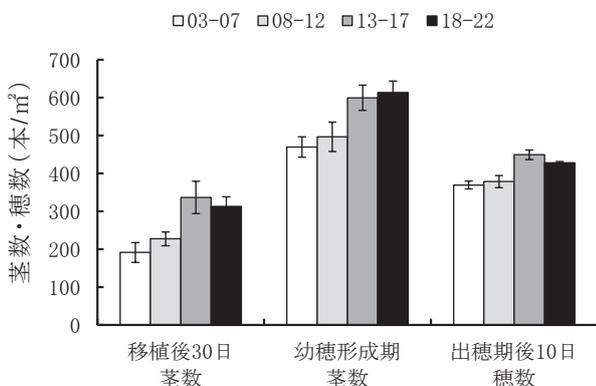


図5 「コシヒカリ」における移植後30日,幼穂形成期の茎数及び穂数の5年平均(千葉市)

注) 移植日は4月30日~5月2日,窒素施用量は基肥3kg/10a-追肥3kg/10a,中干しは6月上旬実施

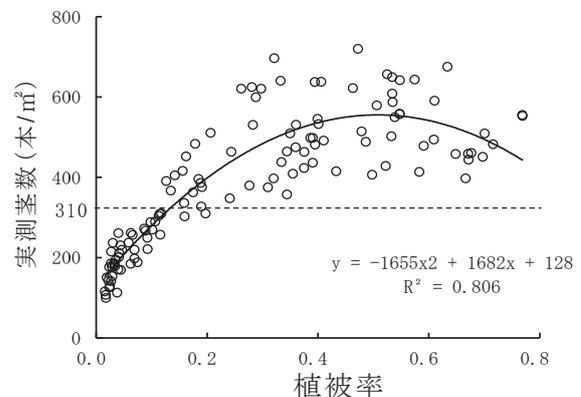


図6 植被率と茎数との関係

注) 中干し開始適期の茎数は,壤質土310本/m²(黒点線)

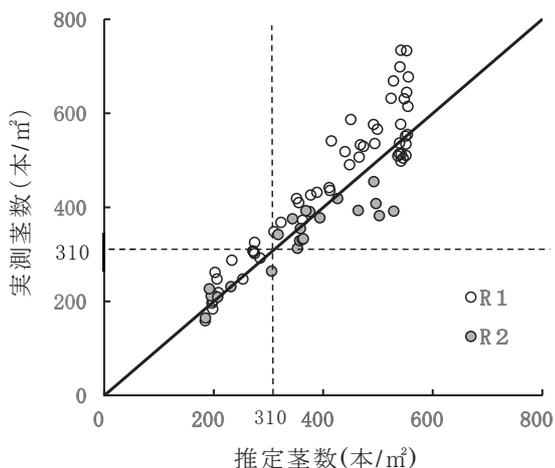
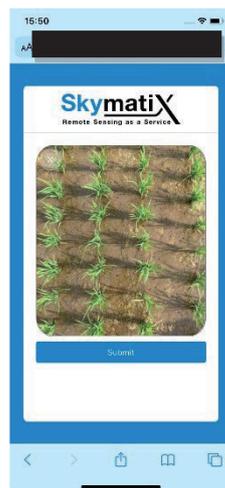


図7 撮影画像(高さ 1.5m)から推定した茎数と実測値との関係  
 注) 中干し開始適期の茎数は壤質土 310 本/m<sup>2</sup> (点線)



圃場で撮影・

画像をサーバーへ送信



サーバーが解析・

推定茎数を表示

写真1 茎数推定アプリ  
 (株式会社スカイマティクス)

### (3) 稈長に及ぼす影響

稈長は、近年長くなる傾向が認められている(図8)。特に、出穂期前 50～4日の日最低気温が高いほど、稈長が長くなる傾向が認められており(図9)、今後、更に温暖化が進むと、稈が伸長し、倒伏が助長されることにより収量や外観品質の低下が懸念される。

この対策としては耐倒伏性の強い品種を作付けるのが有効である。一方、県内主要品種の中で比較的倒伏しやすい「コシヒカリ」への対策として、幼穂形成期の草丈と茎数×葉色の2つの指標を基に水稻の生育状況を診断し、追肥窒素の施用時期や施用量を判断する技術を確認した。しかし、草丈、茎数、葉色の調査には多大な労力がかかるため、近年、技術開発が進んでいるUAV(ドローン)を用いて上空から撮影した水稻群落画像から算出したNDVIを基に水稻の生育量を推定し、追肥を診断する技術を開発している(表1)。本技術は、撮影に必要な装備や労力がかかる上、高度な画像処理技術を要するという課題が残っているものの、衛星画像を用いた診断技術や民間企業による診断サービスが始まっており、今後の普及が期待される。

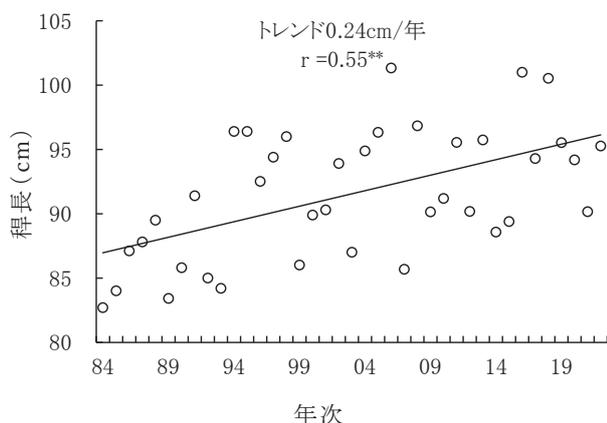


図8 「コシヒカリ」における稈長の年次推移(千葉市)

注1) 各年,移植日は4月30日～5月2日

2) \*\*は1%以下の危険率で有意

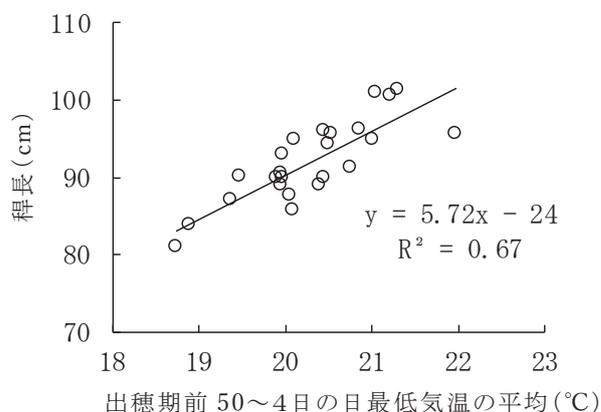


図9 出穂期前 50～4日の日最低気温の平均と「コシヒカリ」の稈長との関係(千葉市)

注1) 2003～2018年データ,移植日は4/19～5/1

2) 窒素施用量は基肥3kg/10a,追肥3kg/10a

表1 幼穂形成期の NDVI<sub>pv</sub> を用いた追肥の診断方法

NDVI <sub>pv</sub>	診断	追肥窒素の施用法
0.09未満	生育不足	標準の施用より施用時期を早める、もしくは施用量を増やす
0.09～0.17	生育適正	標準どおりの施用
0.17以上	生育過剰	追肥窒素の施用時期を遅らせる、もしくは施用量を減らす

注) 植生の活性度等を示す指標である植生指数(NDVI)(可視域赤の反射率(R)と近赤外域の反射率(IR)より、 $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$ により算出)が0以上のピクセルを抽出し、平均した値。

#### (4) 高温登熟障害の増加

近年、登熟期間中の高温により白未熟粒が発生し、外観品質が低下する高温登熟障害が全国的に問題となっている。これまで千葉県では高温登熟障害によって等級が大きく低下する程の被害は発生していないが、千葉県の高温登熟障害の発生危険期にあたる7月下旬～8月上旬の日最低気温の平均は近年 25℃(いくつかの品種で等級が低下する危険性を高めることが明らかになっている)を超える年が増加しており、千葉県においても高温登熟障害の発生リスクは高まっていると考えられる(図 10)。

この高温登熟障害の発生には品種間差が大きいことがわかっており、耐性が強い「ふさおとめ」を作付けすることで、被害の発生を軽減することができる。また、その他の品種では、登熟期間中の葉色を低下させない管理を行うことで発生が軽減できる(図 11)。このためには、基本技術を励行し、幼穂形成期の生育量を品種ごとの適正範囲内に納め、標準的な追肥窒素を適期に施用することが第一の対策である。さらに、緊急的な対策として、高温登熟障害の発生が予測される圃場では葉色が各品種で定められている目標値より低下する場合は、出穂期前7～5日に速効性肥料で窒素(追肥窒素量は1kg/10a まで)を追肥することで高温登熟障害が軽減できると考えられる。

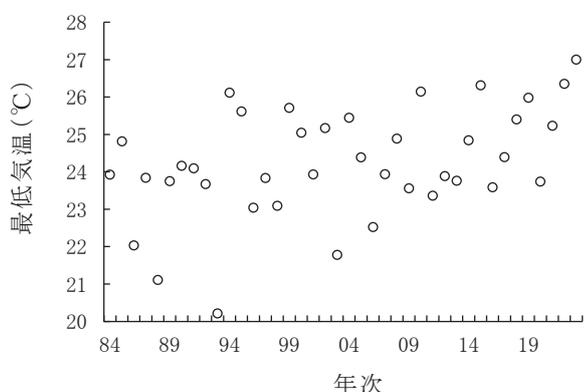


図 10 7月下旬～8月上旬の日最低気温平均値の年次推移(アメダス千葉)

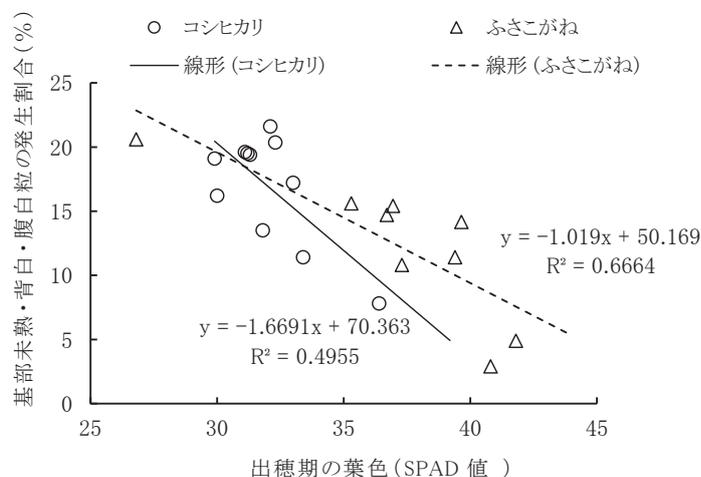


図 11 出穂期の葉色と基部未熟・背白・腹白粒の発生割合との関係(2014～2018年)

注) 基部未熟・背白・腹白粒の発生割合は穀粒判別機 RGQI20A(サタケ社製)で測定

#### 4 おわりに

以上のように、近年の温暖化の影響により、千葉県の水稻栽培でも生育ステージの前進、生育前半の分けつ過剰、稈の伸長、高温登熟障害の発生などにより、収量や外観品質が低下する危険性が高くなっている。これら対応策の多くは、従来から行われている基本技術を励行することであるが、経営規模の拡大や高齢化等の理由から基本技術に則った栽培管理ができない生産者は多い。このような生産環境の中で、本報で紹介した技術は、生産者の安定生産に寄与できると考えられる。今後、更に技術を発展させ、普及可能な技術に昇華することを目指したい。

## 【特別講演 2】

水稲新品種「粒すけ」の品種特性と栽培法  
水鳥希洋人  
(千葉県農林総合研究センター)

Varietal Characteristic and Cultivation Method of Paddy Rice “Tsubusuke”  
Kiyoto Mizutori\*<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center)

本県の水稲の作付面積・単収はともに全国9位(2021年度)であり、全国有数の米どころである。本県においては「コシヒカリ」が水稲栽培面積の54.3%(2021年度)を占める主力品種であるが、登熟期間中の台風や長雨等によって倒伏が発生し、収穫の作業効率が低下することから、生産状況は不安定となっている。このような情勢から、「コシヒカリ」と同様の収穫期で、「コシヒカリ」と比べて倒伏に強く、多収で大粒の「粒すけ」を育成した。さらに、「粒すけ」が速やかに普及し、安定的に生産できる体制を整えるために、特性を最大限発揮させる栽培法の検討を行った。本報では、「粒すけ」の育成経過、品種特性および栽培方法について報告する。

### 【「粒すけ」の育成経過】

2005年に良食味の晩生品種「コシヒカリ」を母、耐倒伏性といもち病抵抗性が強く、大粒で良質・良食味の中生系統「佐系1181」を父として交配を行い(図1)、得られたF<sub>1</sub>個体を蒔培養し、自然倍加した再分化個体の後代系統から「コシヒカリ」と比べて収量性や耐倒伏性等が優れる系統の選抜を行った。2014年に選抜系統の中から「佐系蒔1376」について優良系統として地方番号「千葉36号」を付与し、2018年に「粒すけ」と命名し、同年12月に品種登録出願した。

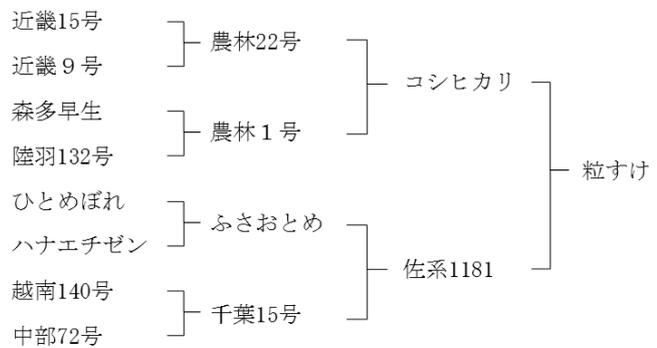


図1 「粒すけ」の系譜図

### 【「粒すけ」の品種特性】

「粒すけ」は「コシヒカリ」と比較して、出穂期および成熟期がほぼ同時期であり、稈長が短く耐倒伏性が高い(写真1)。10aあたり窒素施用量を基肥6kg+追肥3kgとした場合に、平均精玄米重は8%多い。また、玄米千粒重は10%多く、玄米が大きい(写真2、表1)。草型は「中間型」に分類され、芒の発生程度は「コシヒカリ」並みである。また、葉いもち・穂首いもち抵抗性は「コシヒカリ」よりも強く、耐冷性は「コシヒカリ」並みの「強」、穂発芽性は「やや難」である(表2)。

また、炊飯米の官能食味は「コシヒカリ」と比べて、外観がよく、やや軟らかく、同等以上の食味であるという結果を得た(図2)。炊飯米のやや軟らかいという特性から、「粒すけ」の良食味を発揮させるために、家庭用炊飯器ではやや少なめの加水量で炊飯することが望ましい。



粒すけ                      コシヒカリ

写真1 成熟期における倒伏程度の比較



粒すけ                      コシヒカリ

写真2 籾および玄米の比較

表1 「粒すけ」の生育、収量及び玄米外観品質

試験地	品種・系統名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	倒伏程度	精玄米重 (kg/a)	同左対 コシヒカリ 比(%)	玄米 千粒重 (g)	玄米 外観 品質
香取市	粒すけ	7.24	9.01	81	405	1.3	65.8	103	22.3	4.3
	コシヒカリ	7.24	9.01	91	427	3.1	63.6	-	20.5	4.4
千葉市	粒すけ	7.16	8.24	87	464	2.3	71.8	109	22.2	3.9
	コシヒカリ	7.17	8.25	94	531	3.8	65.7	-	20.2	4.0
山武市	粒すけ	7.27	9.04	83	396	2.0	68.3	112	23.6	4.5
	コシヒカリ	7.28	9.06	97	432	3.8	60.9	-	21.2	4.6
平均	粒すけ	7.22	8.30	84	421	1.8	68.6	108	22.7	4.2
	コシヒカリ	7.23	8.31	94	463	3.6	63.4	-	20.6	4.3

注1) 2013～2016年の4か年の平均

2) 香取市(水田利用研究室, 砂質土), 千葉市(水稻温暖化対策研究室, 壤質土), 山武市(成東育成地, 壤質土)

3) 移植時期は、香取市及び千葉市4月下旬。山武市5月上旬

4) 10a当り窒素施用量は、基肥6kg+穂肥3kg

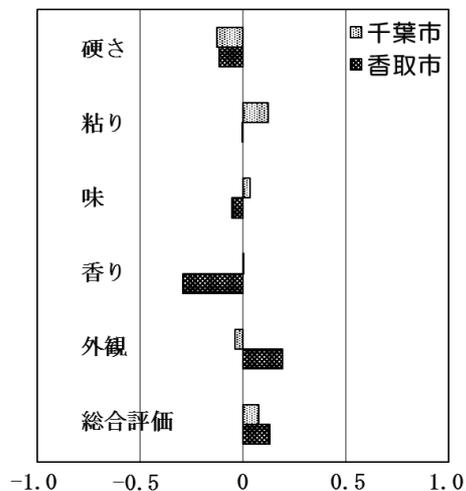
5) 倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階評価

6) 玄米外観品質は1(上上)～9(下下)の9段階評価で、4以下は1等米、5は2等米相当

表2 「粒すけ」の諸抵抗性

品種・系統名	葉いもち	穂首いもち	耐冷性	耐倒伏性	穂発芽性
粒すけ	強	中	強	やや強	やや難
コシヒカリ	弱	やや弱	強	極弱	難

注1) 2022年主要農作物等奨励品種特性表より引用



(不良, 軟らかい) (コシヒカリ並み) (良, 硬い)

図2 「粒すけ」の官能食味結果

注1) 2015～2017年の3か年の平均

2) 標準的な栽培の「コシヒカリ」を基準とし、7段階評価(-3:かなり不良～3:かなり良)

3) 食味試験に供試した精米の試験地は表1の注2)と同じ

【「粒すけ」の目標生育量および栽培方法】

整粒歩合70%以上が農産物検査において1等相当となることから、整粒歩合75%以上を玄米外観品質の目標とした。玄米外観品質が1等相当であるという目標を達成しつつ、「粒すけ」の品種特性を最大限発揮させるための栽培法の確立に向けて、最適生育相の解明とこれを達成する肥培管理技術等を検討し

た。その結果、籾数 31,000 粒/m<sup>2</sup>以下になるように栽培管理することで、1 等相当の品質の玄米が得られるということが明らかとなった(図3)。籾数が 31,000 粒/m<sup>2</sup>の場合の玄米千粒重は 22.9g であり、「粒すけ」の「コシヒカリ」よりも大粒という特性が発揮される(データ省略)。

また、m<sup>2</sup>あたり籾数が 31,000 粒/m<sup>2</sup>である時の精玄米重は約 630kg/10a であり、精玄米重が 630kg/10a を超える場合、倒伏の危険性が高まることから(図4)、目標収量を 630kg/10a とした。さらに目標収量を達成するために必要な幼穂形成期の生育目標値を、茎数が砂質土で 590 本/m<sup>2</sup>、壤質・粘質土で 550 本/m<sup>2</sup>とし、葉色値(SPAD 値)を 39 前後とした(表3)。

「粒すけ」は「コシヒカリ」よりも耐倒伏性があり、多収・大粒であることから、生育期間中に窒素成分を過不足なく吸収させることが目標収量・品質を達成するうえで必要である。そこで、m<sup>2</sup>あたり籾数と成熟期の地上部窒素吸収量との関係を調査・解析したところ、適正籾数での最適窒素吸収量は4月下旬移植で約 11.6kg/10a、5月中旬移植で約 13kg/10a であることが明らかとなった(図5)。本県の水田は砂質土から粘質土まで幅広い土壌条件であることから、県内土壌実態調査における可給態窒素含量の分布等を考慮し、土性毎の適正な窒素施用量を定めた(表4)。なお、追肥(穂肥)は施用時期が遅くなるほど玄米中の粗タンパク質含有率は上昇する傾向がみられ、土性によらず精玄米重が減少する(データ省略)。そのため、穂肥は砂質土および壤質土で窒素 3kg/10a、粘質土で 2kg/10a を出穂期前 18 日(幼穂長平均 1cm)に施用する(表5)。

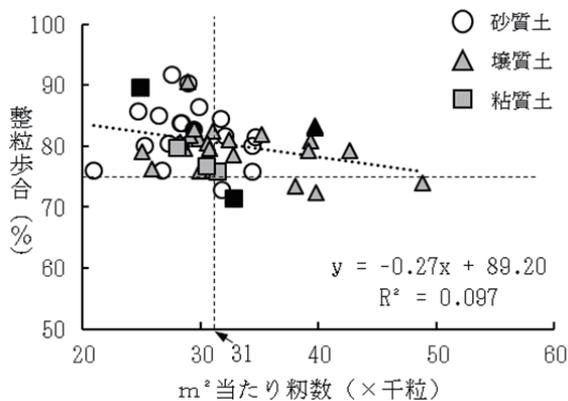


図3 「粒すけ」のm<sup>2</sup>あたり籾数と整粒歩合の関係

- 注1) 2015年～2019年  
 2) 基肥窒素量は砂質土と壤質土は0, 1.5 (壤質土のみ), 3, 6, 9kg/10a, 粘質土は2kg/10a  
 3) 穂肥は出穂期前18日に窒素で砂質土と壤質土は3kg/10a, 粘質土は2kg/10a 施用  
 4) 黒い塗りつぶしは倒伏程度3.5以上

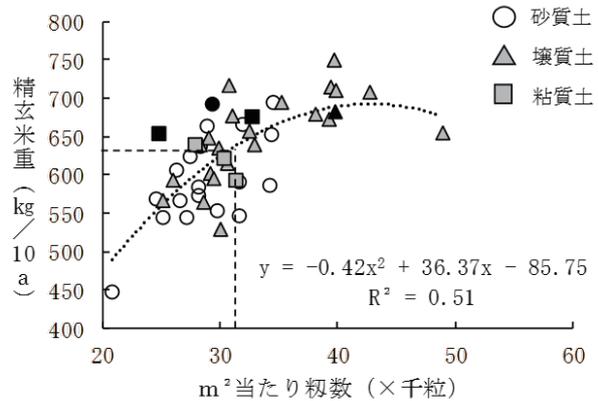


図4 「粒すけ」のm<sup>2</sup>あたり籾数と精玄米重の関係

- 注1) 2015年～2019年  
 2) 栽培方法は図3に同じ  
 3) 黒い塗りつぶしは倒伏程度3.5以上

表3 4月下旬～5月上旬移植における「粒すけ」の生育目標と目標収量

幼穂形成期の生育				穂数 (本/m <sup>2</sup> )	籾数 (粒/m <sup>2</sup> )	登熟歩合 (%)	目標精玄米重 (kg/10a)	玄米千粒重 (g)	整粒歩合	
茎数 (本/m <sup>2</sup> )	草丈	葉色値 (SPAD値)	葉色 票値							
590 (砂質土)	65cm	39	5.0	440 (砂質土)	31,000	85～	630	23.0～	75% 以上	
550 (壤質土・粘質土)	以下	前後		400 (壤質土・粘質土)	前後	90		23.5		
<参考>「コシヒカリ」の4月下旬移植の生育・収量の目標値										
430～560	70cm 未満	29～33	3.5～ 4.0	400	32,000 以下	80	540	21.0		

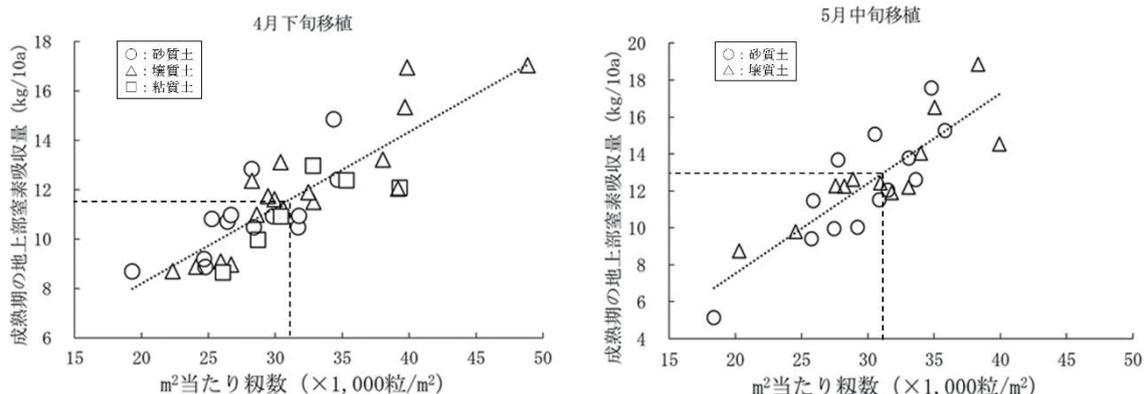


図5 「粒すけ」の $m^2$ あたり粒数と成熟期の地上部窒素吸収量との関係

注1) 2017年～2019年

- 2) 基肥窒素量は砂質土と壤質土は0, 3, 6, 9kg/10a, 粘質土は2kg/10a
- 3) 穂肥は出穂期前18日に窒素0又は3(粘質土は0, 2又は3)kg/10a施用

表4 土壌条件および移植時期別の「粒すけ」の基肥施用量 (kg/10a)

土性	窒素・移植時期		リン酸	加里	4月下旬移植 「コシヒカリ」 標準窒素施用量
	4月下旬～ 5月上旬	5月中旬			
砂質土	6～8	5～7	} 7～9	} 8	3～4
壤質土	3～5	2～4			2～3
粘質土 (房総南部)	2～3	1～2			2

表5 土性別の穂肥施用量 (kg/10a)

土性	窒素	加里
砂質土	3	3
壤質土	3	3
粘質土 (房総南部)	2	3

### 【最後に】

「粒すけ」は2019年3月26日に「千葉県主要農産物奨励品種審査会」において千葉県の奨励品種に採用、2020年度から一般栽培が開始された。近年、本県では「コシヒカリ」は栽培面積が減少傾向である一方で、「粒すけ」は増加傾向にあり、2021年度の品種別作付比率は3.4%である。

生産者に対しては農業事務所(普及組織)を中心に栽培暦の配付や栽培展示ほの設置および現地検討会の実施等により栽培方法の周知を図っている。

また、一般消費者向けに認知度向上を図るため、ラジオやテレビ等メディアでの紹介をはじめ、特設webサイトの開設やTwitterキャンペーン(粒すけ公式アカウントのフォローとリツイートにより抽選で無料プレゼント)、飲食店キャンペーン等の媒体を用いてプロモーションを行っている。

今後は「粒すけ」の特性を発揮する全量基肥肥料の検討等を進めていく予定である。