

# 栃木県における水稻や麦類の品質安定化に関する研究

大谷和彦

## 目次

総合要旨	.....	1
要旨	.....	1
第1章 序論	.....	4
第2章 水稻の品質変動要因と地域間差異	.....	6
第1節 外観品質，玄米千粒重の変動要因	.....	6
I 緒言	.....	6
II 材料と方法	.....	6
III 結果と考察	.....	8
第2節 安定性と年次推移	.....	10
I 緒言	.....	10
II 材料と方法	.....	10
III 結果と考察	.....	10
第3節 栽培法，農業形質による地域間差異	.....	11
I 緒言	.....	11
II 材料と方法	.....	11
III 結果と考察	.....	11
第4節 栃木県内水稻栽培の特徴づけとグループ分け	.....	14
I 緒言	.....	14
II 材料と方法	.....	14
III 結果と考察	.....	14
第5節 品質向上のための技術指針	.....	17
I 緒言	.....	17
II 材料と方法	.....	17
III 結果と考察	.....	17
第6節 まとめ	.....	17
第3章 白未熟粒発生機構とその制御	.....	18
第1節 出穂期前後の気象要因と白未熟粒率	.....	18
I 緒言	.....	18
II 材料と方法	.....	18
III 結果と考察	.....	20
第2節 白未熟粒率の品種間差異	.....	20
I 緒言	.....	20
II 材料と方法	.....	20
III 結果と考察	.....	20

第3節	送風処理時期と白未熟粒率	22
I	緒言	22
II	材料と方法	22
III	結果と考察	24
第4節	白未熟粒率の推定	25
I	緒言	25
II	材料と方法	25
III	結果と考察	25
第5節	白未熟粒発生の抑制のための技術指針	26
I	緒言	26
II	材料と方法	26
III	結果と考察	27
第6節	まとめ	28
第4章	麦類の収量、品質の変動要因	29
第1節	気象による収量、外観品質の変動要因と安定性	29
I	緒言	29
II	材料と方法	29
III	結果と考察	30
第2節	まとめ	37
第5章	水稲育成品種の遺伝的背景と農業形質との関係	37
第1節	育成品種の祖先数、祖先品種の寄与率、主要品種との近縁度	38
I	緒言	38
II	材料と方法	38
III	結果と考察	38
第2節	育成品種の農業形質と主要品種との近縁度の関係	41
I	緒言	41
II	材料と方法	41
III	結果と考察	41
第3節	育成品種の現地試験結果	44
I	緒言	44
II	材料と方法	44
III	結果と考察	44
第4節	遺伝資源と外観品質、白未熟粒率の関係	45
I	緒言	45
II	材料と方法	45
III	結果と考察	45
第5節	まとめ	48
第6章	総合考察	48
引用文献		50
Summary		54
謝辞		55

## 総合要旨

数10年間の栃木県内の現地試験結果から、水稻、麦類の収量、外観品質の変動要因を解析した。地域、栽培年次による特異性や類似性が認められた。玄米収量、倒伏などは、外観品質に対し適正値があり、外観品質とその安定性には品種間差異があった。調査地ごとに外観品質向上のための要因の効果が違い、基肥窒素量、出穂期、成熟期、穂いもち病、倒伏、稈長、穂長、穂数、玄米重及び玄米千粒重の適正値を明らかにした。

玄米の乳白粒、基白粒、背白粒等を総称した白未熟粒の発生要因を探った。栃木県産米の一等米比率と気象、農業形質の解析から、出穂後6～25日の飽差と最大風速、出穂前・後各20日間の気温、出穂前30日間の日照時間、一穂粒数が白未熟粒発生の要因であった。基白粒、背白粒は出穂後6～10日の登熟初期の送風処理により穂上着粒位置にかかわらず、乳白粒は出穂後21～25日の登熟中期の送風処理により、上・中位の1次枝梗に多く発生した。白未熟粒の発生には品種間差異があり、その発生量を推定できた。

麦類の収量、外観品質の変動要因を明らかにし、気象要因が影響を及ぼす時期は麦種による違いが少なかった。ビール大麦、六条大麦、小麦の出穂期、成熟期、稈長、穂数など要因ごとの適正値を明らかにした。

栃木育成水稻品種の系譜は近年複雑になっているが、遺伝資源は狭かった。主要品種との近縁係数と栃木育成品種の農業形質との間には有意な相関が認められた。白未熟粒の発生が少ない品種はてんたかく、晴れすがた、ふさおとめ、栃木13号であった。栃木県育成品種の出穂期、成熟期、倒伏程度、穂長、玄米重、玄米千粒重、外観品質に関する特性が明らかとなった。

本研究により水稻、麦類の品質変動要因が明確となり、高品質化のための品種の選定や組合せ、播種期、肥培管理、病虫害防除、水管理などの生産現場に応じた技術指針を明らかにした。この技術指針を実践することにより、高品質米・麦が効果的に安定生産できる。

## 要旨

1. 米麦の品質は生育量、要因を受ける時期、栽培地などによって違う。品質安定のために、効果的で地域性に応じた品種ごとの技術指針を作成しようとした。
2. 玄米外観品質の変動要因は調査地により異なり、播種期を遅らせるか成熟期を早めると外観品質が向上する調査地や、通常は高品質で安定した品種が不安定に変動する調査地があった。基肥窒素量、穂いもち病は多くの調査地で、玄米千粒重の充実の変動要因となり、玄米千粒重と出穂前20日間の日照時間との間には正の相関が認められた。
3. 外観品質の平均値と安定性でグループ分けすると、コシヒカリ、あさひの夢及びひとめぼれは中程度の外観品質で中程度の安定性であった。初星の外観品質は安定して劣り、月の光は調査地によって高品質だが不安定であった。
4. コシヒカリの播種期、到穂日数、出穂期、成熟期、倒伏、穂長、穂数及び玄米重に関して、地域間差異が認められた。県北部山沿い（日光、矢板）、県平野部（大田原～真岡）、早植の県南部（芳賀、小山）、普通植の県南部（栃木、佐野、足利）及び1調査地だけの所（那須、那須烏山、鹿沼、下野）に分けられ、那須、那須烏山、県平野部の外観品質が良質で安定していた。
5. 栃木県内の水稻栽培を、栽培年次、調査地、栽培法及び農業形質を用いて主成分分析でグループ分けすると4つに分けられ、近年の県中・北部の早植グループの外観品質が良質で安定していた。
6. 類似した地域ごとの、外観品質向上のための技術指針は、
  - (1) 基肥窒素量は少なめとする。
  - (2) 出穂期の適正値は早植が8月7～15日、普通植は8月16～25日とする。
  - (3) 稈長は91～93cmとやや短くし、倒伏程度は少なくする。
  - (4) 玄米千粒重は21.5gと現在値より重くする。そのため栽培法は基肥窒素量は少なく、いもち病を抑制し、適期に追肥し、出穂前20日間の日照時間が多くなる時期に移植する。

7. 栃木県産米の一等米比率と気象、水稻生育の解析から、出穂後6～25日の平均飽差と最大風速、出穂前・後各20日間の平均気温、出穂前30日間の積算日照時間、一穂粒数が、日照不足年を除いた時の白未熟粒の発生要因であった。
8. 送風処理による白未熟粒の発生程度は、他の検定方法による評価とほぼ一致していた。白未熟粒発生には品種間差異が認められ、発生量が最も少ないのはふさおとめで、多いのは栃木15号で、コシヒカリとひとめぼれの白未熟粒率は両品種の中間にあった。
9. 乳白粒は出穂後21～25日の登熟中期の送風処理により、上・中位の1次枝梗に多く発生した。枝梗内では弱勢穎花の白未熟粒率が高かった。基白粒、背白粒は出穂後6～10日の登熟初期の送風処理により、穂上着粒位置にかかわらず多く発生した。
10. 白未熟粒率を、出穂後0～20日の日平均気温、出穂後6～25日の $[(100 - \text{最小相対湿度}) \times \text{最大風速}]$ の平均値を用いて推定できた。
11. 白未熟粒発生を抑制するための技術指針は、  
(1) 白未熟粒発生の少ない品種を作付ける。  
(2) 根系を大きくする。  
(3) 窒素追肥は出穂前10日ごろに施用する。  
(4) 乾燥風が吹く時には、水深を5cm程度に保つ。  
(5) 日照不足が予測される時には、全粒数を29000粒/m<sup>2</sup>程度と少なめにする。
12. 麦類の収量の変動要因は、稈長、穂数、倒伏、容積重、千粒重であった。穂数の変動要因として影響が強い降水量と日射量の時期は2～3月中旬の分けつ期で、千粒重の変動要因として影響が強い降水量と最低気温の時期は5月中旬の登熟期で、麦種による違いは少なかった。
13. 麦類の外観品質の変動要因は、出穂期、稈長、容積重で、その適正值は、  
(1) ビール大麦あまぎ二条、ミカモゴールドンの出穂期は4月15～23日、成熟期は5月31日～6月6日、稈長は89cm以下、穂数は750～850本/m<sup>2</sup>とする。  
(2) 六条大麦シュンライの稈長は100cm程度、容積重は650g/L以上とする。  
(3) 小麦農林61号の稈長は95cm以下、穂数は500～600本/m<sup>2</sup>とする。
14. 栽培地間で外観品質の安定性に違いがみられた。安定してビール大麦の外観品質が劣る栽培地、小麦の外観品質が不安定な栽培地は県北と県南を中心に分布していた。
15. 栃木県の麦作において収量、外観品質が不安定な地域へは、麦種の選定や組合せ、播種期、湿害対策、適正な生育量を確保するための肥培管理などの対策により高品質になると考えられる。
16. 高品質米の安定生産や白未熟粒発生を軽減する栽培法、品種育成に対応するために、遺伝資源と白未熟粒率、食味評価、農業形質との関係を明らかにした。
17. 2000年に配布を開始した栃木11号以降系統の総祖先数は1100～2600と2倍以上になり、系譜は複雑になった。一方、愛国、大場、旭（朝日）、器量好、上州、亀の尾6品種合計の寄与率は79.4%で、栃木育成系統の遺伝構成は狭かった。多様な食味、病虫害抵抗性、耐倒伏性、多収性などの集積を目的に遺伝的多様性の拡大を図る必要があると考えられる。
18. 到穂日数は旭（朝日）との近縁度が高いほど長くなった。穂長は月の光、日本晴との近縁度が高いほど長か

った。全重，玄米重は器量好，上州との近縁度が低いほど重く，愛国との近縁度が低いほど玄米重は重かった。玄米千粒重は器量好，月の光，日本晴との近縁度が低いほど重かった。これらの情報は熟期，穂長，収量性，玄米千粒重の改良を狙った交配母本の選定の参考になると考えられる。

19. 栃木育成系統の食味評価で，農林22号，器量好，上州との近縁度が高いほど硬く，器量好，上州との近縁度が高いほど粘りが弱かった。コシヒカリとの近縁度と食味関連形質との間に相関関係は認められなかった。これらの情報は硬さ，粘りなどの食味特性集積のための育種素材選定の参考になると考えられる。

20. 旭（朝日），日本晴，月の光との近縁度が高いほど，白未熟粒率は下がった。

21. 生産者の評価（有望度）と玄米重，粒張りの間には強い正の相関が認められ，対象品種との比較で多収なほど，評価は高まった。また，成熟期は早いほど，評価は高まる傾向であった。

22. 栃木県の早植栽培において，多収で高品質になる頻度が高い出穂期は8月11日ごろで，成熟期は9月28日ごろであった。

23. 2001年，2002年の7月22～8月5日に出穂して，外観品質が優れる品種は少なかった。一方，8月6日～10日に出穂した中生品種の外観品質は優れていた。乾燥風や日照不足などの気象要因を受ける時期は定まっていないので，品種や栽培時期を分散させる必要があると考えられる。

24. 白未熟粒発生が少ない品種はてんたかく，晴れすがた，ふさおとめ，栃木13号であった。

25. このように本論文では，主食である米・麦の気象，地域性，品種，作物生育量に対応した高品質安定のための品種育成法，技術指針に基づく栽培法を確立した。これらの成果は実需者，消費者ニーズに応じた高品質米・麦生産の振興や新たな需要の喚起につながると考えられる。

## 第1章 序 論

国際的な穀物需要量は逼迫状態にある。2008年の国際穀物需要量21.8億トンは、1970年の11.1億トンのほぼ2倍に増えているが、高温乾燥、洪水、冷害などの気象要因により穀物生産量は不安定性を繰り返している。日本の米、麦など主食用穀物自給率は60%と少なく、高品質な国産穀物の安定供給が求められている（農林水産省 2008）。

湿性植物であるイネは乾燥に弱く、葉身の水ポテンシャルは大気の蒸散要求に強く支配され、その影響される程度は生育時期にともない変化し、特に登熟期において栽培条件の違いが強く反映される（小葉田ら 1993）。気象変動が大ききことにより、米、麦類の品質、収量の優劣の振幅も大きく、実需者・消費者からはニーズに応じた高品質米・麦の安定生産が求められている。米においては2001年の日照不足、2002年は7,8月の高温と乾燥風による白未熟粒・胴割粒などの発生により、外観品質が低下し、2001年の1等米比率は50年間で最も劣った（大谷ら 2003）。

一方、兼業化や高齢化によって作物生産意欲は低下傾向にあり、栃木県の耕地利用率は94.9%と低下している。10a当たりの労働時間は、水稲が27.0時間（2006年）で1980年のほぼ半分、ビール大麦が5.2時間（2004年）、小麦が8.0（2005年）と少なくなっている。耕作放棄地率は7.4%（2005年）で、1990年のほぼ3倍に増えている。担い手へ農地利用を集積するための取組みは進めているが、農地利用集積率は34%と計画を下回っている。これらのことから土地利用型作物においては、一層の省力、低コスト生産技術が求められている（栃木県農政部生産振興課 2008）。

米に求められる品質には、栄養的価値、安全・衛生面、食味、外観品質などが含まれている。米の品質を評価するために、我が国には国が決めた農産物規格規定がある。容積重、整粒割合、水分含量、被害粒・死米・異種穀粒の最高限量が定められている。この等級規格は米の搗精歩留、貯蔵性、食味と密接な関係にある。整粒の食味評価、総合、外観、味、粘り、硬さは乳白粒に比べて優る（大江ら 2007）。乳白粒、胴割粒は部分的に剛度も小さく搗精時に砕けやすく、米の硬度による産地のグループ分けがされている（長戸・河野 1963）

これまで、気象、栽培条件と玄米品質、食味の関係（吉田ら 1975、佐々木 1989、日本総合研究所 2007）、窒素施肥法が玄米タンパク質含量に及ぼす影響（石間ら 197

4）、炊飯米の光沢と食味の関係（藤巻・楠淵 1975）、登熟温度と米アミロース含量の関係（稲津 1988）、登熟期の気温と米食味の関係（平 1977、松江 1995）が明らかにされている。しかし、土壌条件を除き地域間差異の検討が十分されていない。地域の分類に関しては、社会科学分野における都市の分類（町村・高橋 1990、鯉坂・高原 1999）、水稲病害虫の発生による地域分類（沼田・伊藤 2002）がある。しかし、極長期の現地データを用いた作物生産分野における、変動要因と調査地の分類に関する報告はない。

白未熟粒と高温、日射量の関係、品種間差異について解析され、軽減のための対策が検討されている（松島・真中 1957、長戸・江幡 1965、木戸・梁取 1968、高松ら 1982、今野ら 1990、寺島ら 2001、松本・齋藤 2002、飯田ら 2002、松田 2004、森田ら 2005、石崎 2006）。気温上昇による収量低下（金ら 1996）、高温による食味低下（佐藤ら 2005、河津ら 2007）についても明らかにされている。一般に、白未熟粒の気象による発生要因は高温、日照不足と言われている。しかし、河津ら（2007）は1999年九州地方、2002年関東、九州地方の1等米比率低下の要因は、出穂後10～30日の平均最低気温、日射量から説明できないことを明らかにしている。また、1990、1995、2005年栃木県の出穂後20日間の平均日最高気温は32.4～32.6℃と高温であったが、白未熟粒の発生は少なく、高温だけが白未熟粒発生の要因ではないことが窺えた。そこで、栃木県産米20年間の1等米比率と気象要因、農業形質との関係の解析から、白未熟粒発生の要因を検討した。水分ストレスにより白未熟粒が発生することは大谷ら（2003）、石原ら（2005）の報告があるのみである。気象要因、特に出穂後の乾燥風が白未熟粒発生に及ぼす影響の検討は不十分である。そこで、本研究では風に注目して、各種白未熟粒の発生時期を検討した。水欠乏の指標として水ポテンシャルの重要性が示され（Hsiano 1973, Boyer and McPherson 1975, Begg and Turner 1976, Mussell and Staples 1979, Turner and Kramer 1980, Kramer and Boyer 1995）、日本においては畑作物に加え、水稲の高日射、低湿度、強風などによる水欠乏と生理機能、生産量に関する研究が開始された。乾燥風は台風通過後のフェーン風だけでなく、関東平野では山地の高温による上昇気流で乾燥した南風、風速2.5～5.0m/sの「広域海陸風」が23年間で236例報告されている（藤部ら 2003）。このような乾燥風による品質低下はいつ起こるか予測が不可能である。そこで、白未熟粒発生が少ない高品質で安定した米生産のために、技術指針による栽培法、品種育成による

対応を検討した。

ビール大麦、六条大麦、小麦などの麦類は様々な特性を持ちそれを活かすように、品種や気候風土に応じて栽培されている。栃木県における秋播き麦類の生育時期は、10月下旬から翌年6月中旬の8か月間と長く、気象は冬から梅雨と変動が大きい。麦類の分けつの規則性（片山 1951）、小麦の気象要因と収量、品質の関係（中川ら 1968、石丸・派多江 1971、田谷ら 1981、Clark 1983）、小麦単収の地域間差異や高温が生育・収量に及ぼす影響（福嶋 2009）、小麦の穂、胚嚢の形成（星川・樋口 1960）が明らかにされている。また、小麦の胚乳に蓄積されるデンプン粒には形態的に1次、2次2種類のタイプがあり、2次デンプン粒は、1次デンプン粒を包蔵するアミロプラスト膜部分から生ずる（Buttrose 1963）との観察もある。小麦のタンパク質含量を増加させるためには穂孕み期の窒素追肥が効果的である（谷口ら 1999）。大麦の気象要因と収量、品質については Weaver（1943）、金川（1948）、高橋（1955）、浜地・吉田（1989）によって明らかにされている。大麦の根系は半径15～30cm、深さ90～110cmまで分布し（Weaver 1943）、小麦よりやや浅い。特に大麦では湿潤地では浅い根系となる性質が強い。一般に北日本の大麦品種は深い根系を作り、暖地の品種は浅い傾向がある（Takahashi 1955）。大麦の生育期要水量の合計は170～188Lで、節間伸長開始とともに盛んになり出穂頃に3～4L/日最高に達し、以降成熟につれて減少する（玉井 1956）。大麦、小麦とも栽培期間を通じて多照寡雨であることが望ましく、特に春季の伸長期、出穂期には降雨が少ないことが多収になる。登熟前期15日間の降雨は粒重の低下に及ぼす影響が著しい（松江ら 2000）。水田における麦類の湿害（大谷 1948）や、湿害対策（吉田 1977）が示されている。しかし、ビール大麦、六条大麦、小麦の収量、品質の変動要因を同一条件で比較したものは、全国農業協同組合中央会（1983）があるが少ない。そこで、本研究では、収量、外観品質の変動要因を明らかにし、3麦種を比較しながら、農業形質、収量、外観品質及び気象要因の関係を解析した。

稲、麦の品種育成には、一般に10年以上の期間と、育成者の優れた直感性が必要とされている。育成過程における苦心や知見は応用技術とされ、学術論文として発表されることは少ない。1人の研究者が交配から品種の普及まで手掛けることは稀で、交配母本の特徴を習熟するまで育種に携わることも少ない。栃木県農業試験場の20歳代研究員の割合は29%と全国平均11%に比べ高く、経験年数5年以下の割合は58%と全国平均の34%に比べ高い。研究職員の若年齢、短期化が課題となっている。本

研究では、優良品種育成、高品質で安定した品質の米生産のために、食味、白未熟粒率及び農業形質と系譜との関係を解析し、家系分析を行った。

これまで、血縁関係を数量的に表す近縁係数（Kempthorne 1969）を用いて、日本稲（酒井 1957）、大豆（Delannay ら 1983）、アメリカ稲（Dilday 1990）、台湾とIRRIの稲（Lin 1991, 1992）などに家系分析がなされている。家系分析用プログラムが作成され、ビール大麦品種育成へ近縁係数が応用（大塚ら 1985）され、その後、福岡農試の水稻（大里・吉田 1996）、九州水稻の遺伝的背景（吉田・今林 1998）、北陸研究センターの水稻（重宗ら 2006）、水稻関東系統（太田ら 2006）、小麦、大麦（小林・吉田 2006）、福島県的水稻（佐藤・吉田 2007）の家系分析がされている。いずれの育成地でも遺伝構成の狭さから、遺伝的脆弱性（Walsh 1981）が指摘されている。そこで、米品質の高位安定化、白未熟粒発生を軽減する栽培法や品種育成に対応するために、栃木県で育成、または所有する遺伝資源と白未熟粒率、食味評価、農業形質との関係を分析した。

温暖化によって気温は上昇傾向にあり、1年あるいは1栽培期間内の気象変動も大きくなっている。米麦の整粒割合は、生育量やストレスを受ける時期によって違う。また、土地利用型作物生産は大規模化によって、肥培管理にかかる時間は少なくなっている。そこで、米、麦品質の変動要因を解析して、対策を施す時期を明らかにして、効果的で地域性に応じた指針を策定した。水稻、麦類奨励品種決定現地調査、作況調査などの長期データを用いて、調査地の特徴及び調査地間差異を分析し、外観品質が向上する品種育成法、栽培法を検討した。

このように本論文では、主食である米、麦の気象要因、地域性、農業形質に着目して、高品質米、麦の安定生産のために新品種の育成ならびに技術指針に基づいた栽培法を確立することを目的として、次章以下に述べる一連の実験を行った。

## 第2章 水稲の品質変動要因と地域間差異

栃木県の耕地面積は13万haで、水田率と乾田率が全国平均に比べて高く、米麦、園芸、畜産の産出額のバランスが良く、作物種、品種及び作型の選択幅は広い（栃木県水田農業推進協議会 2006）。しかし、水稲の作付は単一品種に集中している（栃木県農政部生産振興課 2008）。また、近年の気象変動により、玄米品質や収量も変動し、2001年は日照不足、2002年は7、8月の高温と乾燥風による白未熟粒、胴割粒などの発生により、著しく外観品質が低下した（大谷ら 2003）。玄米品質の変動要因は、調査地や栽培年次により異なり地域性が強く、そのような現地の米生産において、実需者や消費者からは品質の安定が求められている。

そこで、県内の生産環境ごとの細やかな技術指導の指針を得るために、長期間での現地調査のデータを用いて、外観品質の変動要因と生育、収量の地域間差異を検討した。

### 第1節 外観品質、玄米千粒重の変動要因

#### I 緒言

これまで、松江ら（1991, 1992）の食味の安定性に関する品種・地域間差異や石塚・田中（1956）の生育相による全国規模での地域特異性の報告、平（1977）の栽培・貯蔵と玄米品質に関する研究や松本（1991）の外観品質とタンパク質及びアミロース含量の関係、近藤・岡村（1931）、小泉・藤（1993）、楠谷ら（1992）などの個々

の要因と外観品質の関係の報告、町村・高橋（1990）による地方都市を変動要因により分類した報告はあるが、極長期間におよぶ現地データを用いた、農業分野における変動要因と調査地の分類に関する報告はこれまでみあたらない。本研究では、コシヒカリの外観品質、玄米千粒重の変動要因を、数十年間の現地調査の農業形質から解析した。

#### II 材料と方法

第1表に供試品種とその品種の調査年次を、また第2表に調査地とその調査年次を示した。調査年次が第1、2表と異なる場合はその都度本文に記した。この試験は主に水稲奨励品種決定現地調査（以下、現地調査）によるもので、特に記さない限り、現地の慣行法で栽培されている。水稲の形態・収量に関する調査項目とその調査方法は、農林水産省の調査基準に準じ、病虫害及び倒伏程度は0（無）～5（甚）の6段階で評価した（主要農作物種子問題研究会 1987）。玄米の外観品質は、関東農政局栃木農政事務所が、農産物規格規定（財団法人全国食糧検査協会 2002）に基づき1（上上）～9（下下）の9段階評価で行った。期間中に調査基準の変更があったため、1977年以前の玄米検査等級1～3等を現1等に、1968年以前の病虫害及び倒伏程度、無、微、少少～多多、甚の12段階評価を、0（無）～5（甚）の6段階に換算した（注：栃木県農業試験場水稲品種試験成績書 1955—2005）。期間中の調査地は、隣接地内で地域を代表するほ場への変更があり、栽培法も調査地や年次により変更した。移植期の平均は5月26日（4月30日～7月7日）、基肥窒素量は0.6 kg/a（0～2.0 kg/a）であった。育苗は、1971年以前は育苗日数38日程度の中苗～成苗、それ以後の早植は育苗日

第1表 品質変動要因の供試品種。

品種名	調査年 (年)	到穂日数 (日)	標本数 (年×調査地)
初 星	1976～1998	103	187
ひとめぼれ	1989～2005	108	120
コシヒカリ	1956～2005	112	4593
アキニシキ	1971～2005	120	244
月の光	1984～2005	121	120
あさひの夢	1996～2005	122	56
その他			
早生 81品種	1956～2005	106	824
コシヒカリ級51種	1956～2005	113	881
中生 98品種	1956～2005	121	1859

到穂日数は播種日～出穂期までの日数を表し、5月10日より早く播種した試験の平均値。その他は、奨励品種と育成途上の品種で、到穂日数110～115日をコシヒカリ級、それより早い品種を早生、遅い品種を中生とし、3つに分類した。

数25日程度の稚苗，普通植は育苗日数27日程度の稚苗～中苗とした。

**(1) 外観品質の調査地別の変動要因**

コシヒカリの外観品質の変動要因を，各調査地別に，重回帰分析（注：Excel多変量解析ver4.0）により抽出した。説明変数に用いた形質は，第3表に示したもので，その中からF値が1.5を規準とした増減法により選択し，変数相互の相関関係が強い場合は，外観品質と相関関係が弱い方を除いた（管 1996）。調査地は，第2表のうち那須，大田原，日光，矢板，那須烏山（那珂川），さく

ら（高根沢），芳賀，真岡，小山（以上早植），鹿沼，栃木，佐野，足利（以上普通植），下野（1987，2000～2005年は早植で，それ以外の年は普通植）の計14か所とした。調査年は，第2表に示した。

また，倒伏程度と外観品質の関係について，上記14か所を込みにした1980～2005年のコシヒカリを用いて検討した。

**(2) 玄米千粒重の変動要因**

玄米千粒重の変動要因を，コシヒカリとあさひの夢を用いて重回帰分析を行い，(1)と同様な規準で検討した。

第2表 調査地とその調査年次，標高。

番号	調査地名	栽培時期	調査年	標高
1	那須：	早植	1968～2005年	480～500m
2	那須塩原：	〃	1967～72年，1995年	250～280m
3	大田原：	〃	1956～2005年	180～250m
4	日光：	〃	1956～2005年	290～360m
5	矢板：	〃	1956～99年	180～210m
6	那珂川：	〃	1956～77年，1996～2002年	110～200m
	那須烏山：	〃	1978～95年，2003～05年	110～130m
7	さくら：	〃	1997～2005年	120～160m
	高根沢：	〃	1959～96年	110～160m
8	宇都宮（農業試験場）：	〃	1956～2005年	150～170m
9	宇都宮（国本）：	〃	1956～62年	120～130m
10	鹿沼：	普通植	1956～99年	80～120m
11	宇都宮（上籠谷）：	〃	1956～64，1975～87年	90～100m
	河内：	〃	1965～74，1988～90年	150～160m
	上河内：	〃	1991～93年	165m
	上三川：	〃	1994年	60m
	下野：	〃	1995～2005年	50～60m
12	芳賀：	早植	1956～2004年	70～100m
13	真岡：	〃	1956～99年	60～90m
14	益子：	〃	1956～66年	80～90m
15	旧国分寺：	〃	1956～67年	20～30m
16	小山：	〃	1956～99年	30～50m
17	栃木：	普通植	1974～2005年	40～50m
18	佐野：	〃	1972～2005年	20～30m
19	足利：	〃	1972～1999年	25～30m
20	藤岡：	早植	1968～73年	20～30m

第1表のコシヒカリについての調査地，年次，標高。同一番号に複数調査地は，市町村の範囲を超えた変更を年次間で行った。栃木，佐野の1997～2005年9年間及び足利の1997～1999年3年間の供試品種はあさひの夢。宇都宮（上籠谷）の1987年と下野の2000～2005年は早植栽培。

第3表 外観品質の変動要因を検討した項目。

1. 栽培法  
播種期，移植期，栽植密度，基肥窒素量，リン酸施用量
2. 生育  
到穂日数，出穂期，成熟期，稈長，穂長，穂数，倒伏，病虫害（穂いもち病，紋枯病，縞葉枯病）
3. 収量  
玄米重，玄米千粒重

調査地はコシヒカリが那須，大田原，日光，矢板，那須烏山（那珂川），さくら（高根沢），芳賀，真岡，小山（以上早植），鹿沼（普通植）と下野（河内）の11か所，あさひの夢は栃木，佐野，足利（以上普通植）の3か所，合計14か所とした．調査年は，第2表に示した．

**(3)日照時間と玄米千粒重の関係**

出穂前20日間は，籾の数や大きさが決定する時期であることから，出穂前20日間の日照時間とコシヒカリの玄米千粒重の関係をみた．年次は1986～2005年とし，農業試験場（宇都宮市）産コシヒカリを用いた．この20年間のコシヒカリの出穂期は7月25日～8月15日で，年ごとの出穂前20日間の日照時間を宇都宮地方気象台（1986—2005）のデータを用いて算出した．玄米千粒重は粒厚1.75mm以上の玄米について測定した．基肥窒素量は0.3kg/aで，追肥窒素は出穂前18日に0.3～0.4kg/a施用した．

**Ⅲ 結果と考察**

コシヒカリの1956～2005年の結果を用いて調査地別に重回帰分析を行い，外観品質の変動に影響を及ぼす項目を，外観品質が優れるのはどの場合かを付記して，第4表に示した．県北の那須，大田原では，播種期の平均4月15日の平均気温は9.6℃，コシヒカリの成熟期10月初めの平均気温は16℃であり（表は省略），播種期と成熟期の気温によって生育期間が制限されており，播種期を遅らせるか成熟期を早めた方が外観品質が向上する傾向であった．真岡では移植期を早く，成熟期を遅くすることで外観品質が向上した．県中部のさくら，那須烏山及び芳賀のコシヒカリの出穂期は，3調査地とも8月6日で（表は省略），この調査地は生育期間を遅らせる方が玄米品質は向上した．その他の調査地の播種期，成熟期は変

第4表 調査地別の外観品質の変動要因.

調査地	外観品質の変動要因				自由度	外観品質 変動係数%	重相関 係数	決定係数 検定 P 値
那須	成熟期を早く +0.60	基肥窒素少なく +0.46	倒伏少なく +0.32		29	51	0.75	0.00**
大田原	播種期を遅く -0.52	穂長を短く +0.54	紋枯病多 -0.29	玄米千粒重重い -0.70	19	43	0.90	0.00**
矢板			多収 -0.37	玄米千粒重重い -0.49	23	48	0.81	0.00**
日光				玄米千粒重重い -0.38	27	44	0.38	0.04*
さくら	成熟期を遅く -0.21	倒伏をやや多く -0.21	穂いもち病少 +0.35		36	40	0.31	0.19
那須烏山	到穂日数を長く -0.26	稈長を短く +0.28	紋枯病多 -0.38		21	53	0.62	0.03*
芳賀	播種期を遅く -0.34	稈長を長く -0.31	穂数を少なく +0.72	紋枯病多 -0.56	21	41	0.83	0.00**
真岡	移植期を早く +0.51	成熟期を遅く -0.37	稈長を短く +0.27		28	54	0.55	0.03*
小山	基肥窒素少ない +0.32	倒伏少なく +0.57	葉いもち病少 +0.35	玄米千粒重重い -0.26	21	51	0.83	0.00**
鹿沼		穂いもち病少 +0.32	紋枯病少 +0.19	玄米千粒重重い -0.56	26	44	0.82	0.00**
下野	到穂日数を短く +0.50			玄米千粒重重い -0.67	28	47	0.63	0.01**
栃木	基肥窒素少なく +0.86		多収 -0.19		23	51	0.88	0.00**
佐野	穂数を多く -0.37	倒伏少なく +0.35	穂いもち病少 +0.39	多収 -0.27	23	40	0.66	0.02*
足利	到穂日数を長く -0.26	登熟日数を短く +0.24	稈長を短く +0.22	玄米千粒重重い -0.63	26	31	0.64	0.02*

第2表の年次のコシヒカリについて，重回帰分析した．変動要因は，調査地ごとに第3表の項目を用いた重回帰分析により，F値が1.5を規準とした増減法で選択した項目で，外観品質が優れるのはどの場合かを付記した．下段は外観品質と各要因の標準化偏回帰係数．決定係数検定のP値\*\*は99%，\*は95%の分析精度を示す．

動要因になっていなかった。

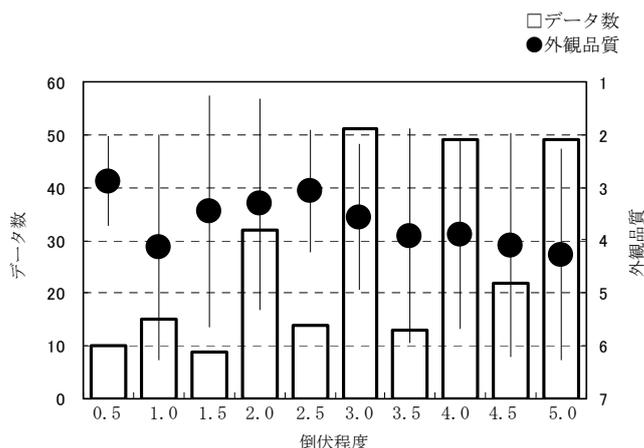
基肥窒素量, 稈長あるいは倒伏は, 大部分の調査地の外観品質の変動要因になっていた(第4表)。穂いもち病が変動要因になっているのはさくら, 鹿沼及び佐野の3調査地であった(第4表)。小泉・藤(1993)は, 穂いもち病の発生程度が多くなるに従い, 外観品質が劣ると述べており, 本報告においても同様なことが認められた。

多収なほど外観品質は良好な所と, 要因になっていない調査地があった。収量を上げた方が外観品質が優れる調査地は, 矢板, 栃木及び佐野であった。県南部の栃木, 佐野では, 基肥窒素量あるいは倒伏を少なくした方が外観品質が優れることから, 過剰な生育が外観品質, 収量を阻害していたものと考えられる。一方, さくらの倒伏程度は現在値よりやや増すほど外観品質は優れた。これらのことから, 外観品質が安定する適正な生育量レベルがあると推察できた。玄米千粒重も多くの調査地で変動要因になっていた。

第1図に倒伏程度別の外観品質頻度を示した。コシヒカリの倒伏程度が4.0(多)より増すと, 外観品質は4.0(中上)より劣る傾向が見られた。倒伏が1(微)で外観品質が劣った要因は, 主に1980, 1988, 1993年の冷害と いもち病による充実不足で(表は省略), 外観品質が良好な倒伏程度は2.5(中)までであった。

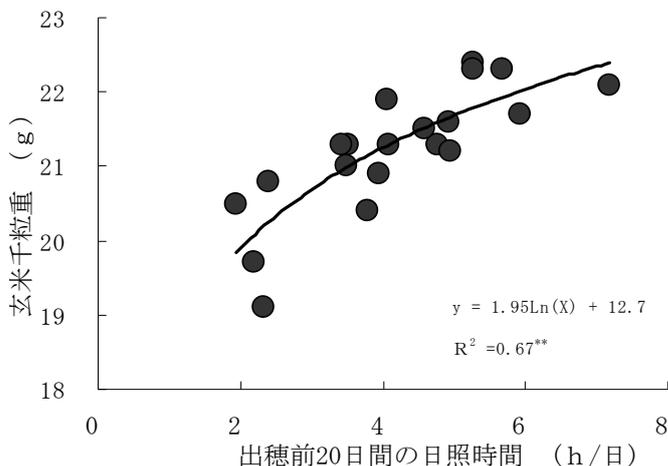
玄米千粒重を目的変数とした(1)と同様な重回帰分析では, コシヒカリとあさひの夢を込みにしてみると, 基肥窒素量, 穂いもち病が多くの調査地で変動要因になっていた(第5表)。各地の玄米千粒重の変動要因数は1~4個で, 各要因と玄米千粒重の重相関係数は0.49~0.98, 決定係数の検定P値は0.00~0.04となった(表は省略)。品種別に見るとコシヒカリの基肥窒素量が要因になっている調査地は, 県中・北部の那須, 大田原, 日光, さくら及び鹿沼の5か所で, 強稈なあさひの夢には栃木, 佐野の2か所あった(第5表)。

コシヒカリの出穂前20日間の日照時間と玄米千粒重の間には正の相関関係が認められた(第2図)。玄米千粒重は外観品質の主要な変動要因であることから, 出穂前の日照時間は, 玄米千粒重を介して外観品質の良否に影響を及ぼすと考えられた。



第1図 倒伏程度別の外観品質頻度。

品種は第2表のコシヒカリで, バーは標準偏差。倒伏程度は0(無)~5(甚)。外観品質は1(上上)~9(下下)。



第2図 出穂前20日間の日照時間と玄米千粒重の関係。

品種は第2表のコシヒカリ, 調査地は宇都宮で, 20年間の値。\*\*は1%水準で有意。

第5表 玄米千粒重の向上要因。

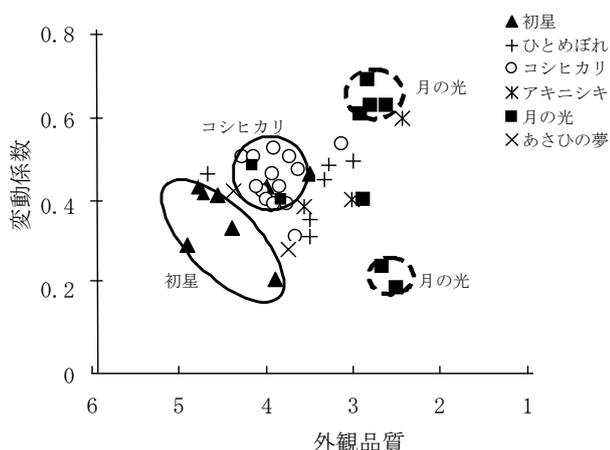
要因	調査地数	調査地名
基肥窒素量を少なく	7	那須, 大田原, 日光, さくら, 鹿沼, 栃木, 佐野
穂いもち病を少なく	6	日光, 矢板, さくら, 那須烏山, 芳賀, 小山
穂長を長く	4	日光, 芳賀, 真岡, 下野
穂数を少なく	3	那須烏山, 芳賀, 小山
基肥リン酸量を少なく	2	那須烏山, 鹿沼
倒伏を少なく	2	大田原, 鹿沼
成熟期を早く	2	那須, 下野

要因は, 第2表の年次のコシヒカリ11か所, あさひの夢3か所の第3表の項目を用いた重回帰分析により, F値が1.5を規準とした増減法で選択された項目。コシヒカリ, あさひの夢を込みにして, 玄米千粒重が優れるのはどの場合かを付記した要因ごとに調査地数と地名を示した。

## 第2節 安定性と年次推移

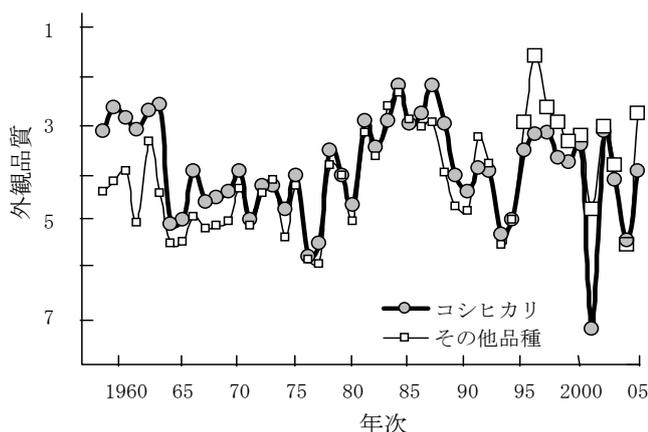
### I 緒言

品種、産地、年次間が異なっても外観品質が安定して良好であることが重要である。そこで多数品種を多くの調査地で栽培した結果を用いて品種、産地の外観品質の安定性を検討した。さらに、コシヒカリの外観品質の安定性を経時的にみて、他品種と比較した。



第3図 品種別外観品質の平均値と変動係数。

各点は初星8調査地、ひとめぼれ6調査地、コシヒカリ14調査地、アキニシキ3調査地、月の光9調査地、あさひの夢2調査地別の値で、栽培年次間の変動係数を計算した。外観品質は1(上上)~9(下下)。



第4図 コシヒカリとその他品種の外観品質の推移。

その他品種は第1表の合計235品種。年次ごとの全品種、全調査を平均した。外観品質は1(上上)~9(下下)。

## II 材料と方法

品種別に外観品質の安定性をみるため、第1表の初星、ひとめぼれ、コシヒカリ、アキニシキ、月の光及びあさひの夢の外観品質の年次間の変動係数を計算した。また、コシヒカリ以外の全品種全調査地の外観品質平均値を、経年的にコシヒカリと比較した。

初星の8調査地(鹿沼, 下野, 芳賀, 真岡, 小山, 栃木, 佐野, 足利), ひとめぼれの6調査地(那須, 大田原, 日光, 矢板, 那須烏山, さくら), コシヒカリの14調査地(那須, 大田原, 日光, 矢板, 那須烏山, さくら, 鹿沼, 下野, 芳賀, 真岡, 小山, 栃木, 佐野, 足利), アキニシキの3調査地(大田原, 日光, 矢板), 月の光の9調査地(那須烏山, さくら, 鹿沼, 下野, 芳賀, 真岡, 小山, 栃木, 足利)及びあさひの夢の2調査地(栃木, 佐野)の外観品質の年次間の変動係数(標準偏差/平均)を調査地別に計算した。また、コシヒカリ以外の全品種全調査地の外観品質平均値を、1956~2005年の年次別に計算し、経年的にコシヒカリと比較した。

## III 結果と考察

品種別、調査地別の外観品質の平均と変動係数(安定性)の値を第3図に示した。品種をグループ別にみると、4グループに分けられ、コシヒカリ、あさひの夢及びひとめぼれは中程度の外観品質で中程度の安定性であった。初星の外観品質は安定して劣っていた。一方、月の光は高品質で安定していることも、調査地によって高品質だが不安定なこともあった。アキニシキの分布も月の光に似ていた。

コシヒカリとその他品種の外観品質の年次による推移を比較すると、1993年頃までは、コシヒカリの外観品質が全供試品種の平均を上回っていたが、1994年以降は、コシヒカリの外観品質が供試品種の平均を下回るようになった(第4図)。このように、外観品質とその安定性には品種間差異があり、近年の品種は、コシヒカリより外観品質が向上する傾向であった。松江ら(1992)は米の食味について品種や産地間に差が認められ、良食味で安定性がある品種や調査地、食味・安定性とも劣る品種や調査地に分類できると報告している。ここでも同様なことが認められた。

### 第3節 栽培法，農業形質による地域間 差異

#### I 緒言

調査地間の類似性を，栽培法，農業形質を説明変数に用いて検討した．松江ら（1992）は新品種の育成や奨励品種採用の効率化のために，品種と環境条件の相互作用を検討し，水稻の収量と食味について年次，数調査地の試験を重ねる重要性を示している．そこで，栃木県的水稻栽培における地域を，1980～2000年21年間のコシヒカリの現地調査結果を用いて分類した．

#### II 材料と方法

第4表の14か所に宇都宮（農業試験場）を加えた調査地間の類似性を，コシヒカリの播種期，到穂日数，出穂期，成熟期，稈長，穂長，穂数，穂いもち病，紋枯病，倒伏，玄米重，玄米千粒重及び外観品質別に，年次を反復としてチューキーの多重比較（注．Excel統計ver5.0対比較法）を用いて検討した．同比較法において，調査地間に有意差が認められたとき地域間差異があると判定した．さらに，上記で用いた項目の年平均値を用いて，調査地の類似性をワード法によるクラスター分析（注：Excel多変量解析ver4.0）で検討した．

次に，前節と同じ材料の初星，コシヒカリ及び月の光の播種期～出穂期の日数（以下，到穂日数）やその年次による変動を移植期の異なる地域別に検討した．早植の大田原（県北），宇都宮（県中），小山（県南）と，普通植の佐野（県南）における1977～1999年の初星（早生）とコシヒカリ，1984～99年のコシヒカリと月の光（中生）の到穂日数差の平均を比較した．

#### III 結果と考察

コシヒカリの播種期，生育，収量，外観品質などの値について，調査地別の平均値を多重比較した（第6表）．播種期，到穂日数，出穂期，成熟期，倒伏，穂長，穂数及び玄米重に関して，地域間差異が認められた．紋枯病と外観品質に有意差は認められなかった．一方，穂いもち病，稈長，玄米千粒重に関しては地域間差異はあるものの，有意差のない地域が広範囲にあった．

これらを総合したクラスター分析の結果を第5図に示す．調査地間の距離0.03を規準に分けると，県北部山沿い（日光，矢板），県平野部（大田原～真岡），早植の県南部（芳賀，小山），普通植の県南部（栃木，佐野，足利）及び1調査地だけの所（那須，那須烏山，鹿沼，下野）に分けられた．第7表にグループ別の平均値を示し

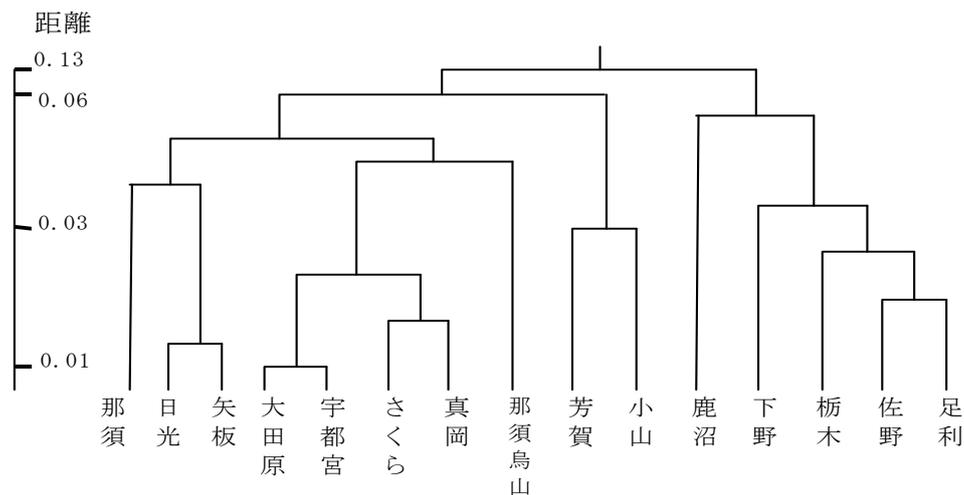
た．県北部山沿いの日光と矢板は，厚層多腐植質多湿黒ボク土が多く台地間の低地には地下水位の高い黒ボクグライ土があり，生育初期は冷涼で地温の上昇に伴って窒素溶出量が多くなる調査地（栃木県農業試験場 1978）で，到穂日数は120日と長く，穂いもち病がやや多い．県中部の大田原，宇都宮，さくら及び真岡の土壤は厚層あるいは表層多腐植質多湿黒ボク土が多く，鉄含量が多く，湛水透水性がやや大きく（栃木県農業試験場 1978），玄米重は55.2kg/aと多収である．6月移植の県南部の栃木，佐野及び足利は稲麦二毛作地帯で，礫質あるいは細粒灰色低地土が多く，鉄含量が少～中で還元による根の生育障害のおそれが多い調査地で，出穂前の高温も加わり倒伏が4.2と多い．第6，7表からも那須の出穂期，那須烏山の穂数及び鹿沼の播種期などは，他の調査地との類似性が比較的なく，特徴がある調査地であった．調査地の標高の範囲は20～500mで出穂期の差は11日程度あり，栽培時期による出穂期の差は20日程度あった（第2，7表）．この知見は，現地試験の調査地数の合理化を図らねばならない時の参考になるものと考えられる．

地域別の品種間の到穂日数差を第8表に示した．細井（1981）は，日本水稻の早生，中生，晩生品種の出穂特性が気象要因で変動すると報告しており，松村ら（2000）は幼穂形成期前の葉室窒素濃度が窒素条件による出穂期変動と関連すると報告している．このように出穂期は各種の要因で変動するが，数品種の到穂日数の差を見ることでそれらの要因を消去して，より正確な調査地間の差を見られることが期待できる．本調査において，早生品種初星とコシヒカリの到穂日数差は7.8～8.6日と，早植の大田原，宇都宮，小山においては調査地によらず安定していた．しかし，この到穂日数差は，栽培時期が普通植の佐野では縮まった．一方，コシヒカリと月の光（中生）の到穂日数差は，早植栽培においては6.2～12.0日と調査地による変動が大きかった．これらのことから，品種ごとに基本栄養生長性，感温性及び感光性の程度が異なることも予想され（片山 1987），現地適応性を把握するためには，早植，普通植の数か所の試験地が必要と考えられた．

第6表 多重検定による調査地間の類似性.

	播種 期	到穂 日数	出穂 期	成熟 期	倒伏	穂 いもち病	紋枯 病	稈長	穂長	穂数	玄米重 千粒重	玄米 品質	外観 品質
那須	a	g	de	f	a	ab	a	a	ab	d	d	ab	a
日光	a	fg	bc	cde	abc	ab	a	ab	abcde	cd	cd	ab	a
矢板	a	efg	cd	de	abcd	b	a	ab	abcde	abcd	bcd	ab	a
大田原	a	defg	bcd	bcd	abc	ab	a	b	cde	d	d	ab	a
宇都宮	a	cde	ab	abcd	abcd	ab	a	ab	bcde	bcd	d	ab	a
さくら	a	cdef	abc	abcd	abc	ab	a	ab	bcde	bcd	d	ab	a
真岡	a	defg	abc	abc	ab	ab	a	ab	bcde	bcd	cd	ab	a
那須烏山	a	cd	ab	ab	abc	ab	a	ab	bcde	d	bcd	a	a
芳賀	a	cdef	abc	abcd	abc	ab	a	ab	e	abc	d	ab	a
小山	a	c	a	a	ab	ab	a	ab	de	abc	cd	ab	a
鹿沼	b	ab	def	ef	abcd	ab	a	ab	abcd	a	a	ab	a
下野	c	ab	f	f	bcd	ab	a	ab	a	abcd	ab	ab	a
栃木	c	a	f	f	bcd	ab	a	ab	ab	ab	abc	b	a
佐野	c	ab	f	f	cd	ab	a	ab	abc	ab	a	ab	a
足利	c	ab	f	f	d	a	a	ab	abc	abcd	a	ab	a
自由度(全体)	280	280	292	292	292	266	282	294	294	293	292	292	292
P値	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.07	0.03*	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.01*	0.99

品種は第2表の1980～2000年の年次を反復とするコシヒカリで、同じアルファベットには5%水準で各項目の平均値間に有意差がないことを示す（チューキーの多重比較）。



第5図 クラスタ分析による調査地間の類似性.

品種は第2表の1980～2000年のコシヒカリで、各調査地の播種期、到穂日数、出穂期、成熟期、稈長、穂長、穂数、穂いもち病、紋枯病、倒伏、玄米重、玄米千粒重及び外観品質の13項目の年次平均値を用いた（ワード法）。

第7表 類似した調査地ごとの生育，収量.

調査地名	播種	到穂	出穂	成熟	穂	紋枯	倒伏	稈長	穂長	穂数	玄米	玄米	外観
	期	日数	期	期	いもち病	病							
	月/日	日	月/日	月/日			cm	cm	本/m <sup>2</sup>	kg/a	g	品質	
日光, 矢板	4/12	120	8/11	9/26	1.4	1.3	2.7	94	18.6	367	50.9	20.9	3.6
大田原, 宇都宮, さくら, 真岡	4/14	116	8/ 8	9/20	1.0	0.9	2.7	95	19.0	407	55.2	21.0	3.4
芳賀, 小山	4/16	111	8/ 5	9/17	0.8	1.0	2.6	95	19.4	365	54.1	21.2	3.5
栃木, 佐野, 足利	5/24	93	8/25	10/10	1.0	1.2	4.2	96	18.1	363	39.8	21.2	3.9
那須	4/15	120	8/16	10/ 6	0.9	0.9	2.0	91	18.1	423	53.5	21.6	3.4
那須烏山	4/15	112	8/ 6	9/15	1.1	1.4	2.7	93	18.7	423	50.9	20.5	3.4
鹿沼	5/13	99	8/20	10/ 3	1.3	1.2	3.2	92	18.3	344	38.1	21.1	3.6
下野	5/22	93	8/23	10/ 8	1.3	1.0	3.8	95	17.5	383	41.8	20.8	3.4

品種は第2表の1980～2000年のコシヒカリで，下野の1987年と2000年は早植栽培．穂いもち病，紋枯病，倒伏は0（無）～5（甚）．外観品質は1（上上）～9（下下）．

第8表 到穂日数差による調査地間差異.

調査地	移植期 月/日	初星ーコシヒカリ		コシヒカリー月の光	
		到穂 日数差(日)偏差	標準	到穂 日数差(日)偏差	標準
大田原	5/ 9～11	8.6	1.9	12.0	2.8
宇都宮	5/ 8	7.8	1.5	6.2	1.7
小山	5/ 9～10	7.9	1.7	9.9	3.7
佐野	6/18～19	2.1	2.0	6.0	3.7

早植の大田原（県北），宇都宮（県中），小山（県南）と，普通植の佐野（県南）における1977～1999年の初星（早生）とコシヒカリ，1984～99年のコシヒカリと月の光（中生）の到穂日数差の平均を比較した．

## 第4節 栃木県内水稲栽培の特徴づけとグループ分け

### I 緒言

水稲栽培の変化や特徴を概観するために、年次、調査地、農業形質を用いて、主成分分析を行った。沼田・伊藤（2002）は岩手県の病害虫発生における地域を、クラスター分析と主成分分析を用いて7グループに分類している。本研究では、1956～2005年50年間のコシヒカリの現地調査結果を用いて、栃木県の水稲栽培を特徴づけている要因とその変化を検討した。

### II 材料と方法

栽培年次や各調査地別の栽培法、生育、収量、外観品質などの変化や特徴を概観するために、前節で示したコシヒカリの調査年次（1956～2005年）、第2表の調査地を県北:1（那須）～県南:20（藤岡）に数値化したもの、第3表の項目（育苗日数、外観品質を加え、不詳な調査地があったリン酸施肥量は除いた）計20項目を用いて、主成分分析（注:Excel多変量解析ver4.0）を行った。計485の標本を、主成分分析の結果からグラフ化して分類し

た。

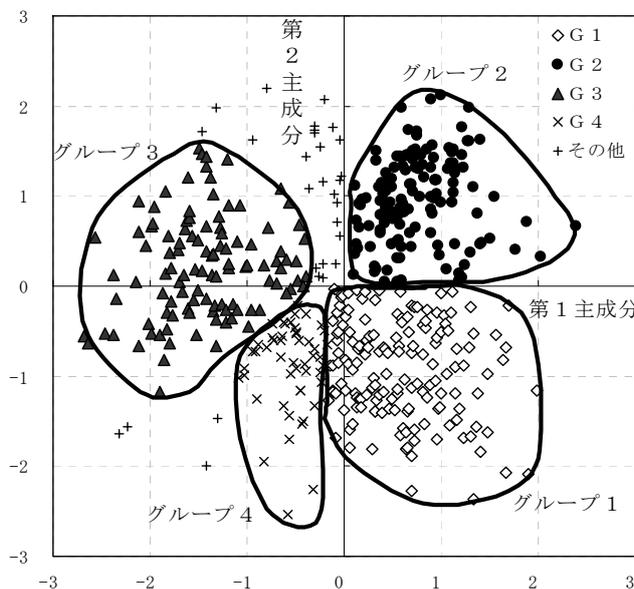
### III 結果と考察

コシヒカリを対象として、栽培年次、調査地、栽培法、生育、収量、外観品質などを総合して栃木県内の水稲栽培を、主成分分析でグループ分けすることを試みた。第1主成分は、播種期は早く、到穂日数は長く、出穂期は早く、多収ほど大きく、寄与率は23%であった。第2主成分は、栽培年次は近年で、栽植密度は疎らで、基肥窒素量は少なく、病害虫（穂いもち病、紋枯病、縞葉枯病）は少ないほど大きく、寄与率は14%で、第1、第2主成分の累積寄与率は37%であった。グループは大きく4つに分けられた（第6図）。第9表にグループ別の平均値を示した。

グループ1が第1主成分:-0.17以上、第2主成分:負、(以下同)、グループ2が正、正、グループ3が-0.4以下、-1.3～1.5、グループ4は-1.1～-0.17、負で、図中に点線で囲まれる範囲とした。

グループ1の栽培年次の平均は1973年で現在のほぼ30年前と古く、調査地は県中・北部地域が多かった。このグループの特徴は、基肥窒素量が0.8kg/aと多く、栽植密度も現在よりやや多い22.9株/m<sup>2</sup>、穂数も411本/m<sup>2</sup>と多かった。しかし、必要茎数確保後（6月下旬）に中干しを行っていたため、稈長はあまり伸びず倒伏は2.0（少）程度と比較的軽かった。穂数は4グループ中でこのグループが最も多く、玄米千粒重は20.1gと軽かった。この年代は、日本晴、アキニシキ及びトヨニシキなど、穂数の確保が早く、穂揃いが良く、耐倒伏性に優れる機械化適正が高い品種の作付割合が高く、熟期のバランスは良く3品種で85000ha、栃木県水稲栽培面積の84%に達していた（注:関東農政局栃木農政事務所調べ 2006）。

グループ2は、栽培年次の平均が1994年と近年で、調査地は県中・北部の早植（移植期の平均は5月9日）であった。グループ2の特徴は、多収で、穂長が長く、玄米千粒重が重いことであった。山口（1993）のいわゆる「じっくり型稲作り」である、基肥窒素量、1株当たり植付本数を少なくし、土壌診断、間断灌水及び生育診断に基づく追肥による栽培方法が普及し、グループ2の慣行法になったためと考えられる（山口ら 2003）。穂いもち



第6図 栃木県水稲栽培のグループ分け。

品種は第2表のコシヒカリで、栽培年次、調査地別に（標本数は計485）、栽培法、生育、収量など20項目を用いて主成分分析を行った。第2主成分までの累積寄与率は37%である。

第9表 水稻の栽培年次、栽培法、生育及び収量を用いた主成分分析で分類したグループの平均値.

グループ	年次	調査地	移植期 月/日	栽植密度 株/m <sup>2</sup>	窒素		到穂日数 日	出穂期 月/日	倒伏	穂いもち病	紋枯病	縞葉枯病	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m <sup>2</sup>	玄米重 kg/a	玄米千粒重 g	外観品質
					基肥	追肥												
G 1	1973 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	5/13 <sup>b</sup>	22.9 <sup>b</sup>	0.8 <sup>c</sup>	0.2 <sup>a</sup>	119 <sup>c</sup>	8/9 <sup>b</sup>	2.0 <sup>a</sup>	1.4 <sup>b</sup>	1.3 <sup>b</sup>	0.7 <sup>b</sup>	92 <sup>a</sup>	18.4 <sup>a</sup>	411 <sup>b</sup>	49.2 <sup>b</sup>	20.1 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>
G 2	1994 <sup>c</sup>	6.5 <sup>a</sup>	5/9 <sup>a</sup>	21.0 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>	115 <sup>b</sup>	8/6 <sup>a</sup>	2.8 <sup>b</sup>	0.7 <sup>a</sup>	0.8 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	95 <sup>b</sup>	19.3 <sup>b</sup>	398 <sup>b</sup>	58.6 <sup>c</sup>	21.5 <sup>c</sup>	3.7 <sup>a</sup>
G 3	1982 <sup>b</sup>	14.8 <sup>c</sup>	6/13 <sup>d</sup>	21.1 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	96 <sup>a</sup>	8/22 <sup>c</sup>	4.2 <sup>c</sup>	1.2 <sup>b</sup>	1.3 <sup>b</sup>	0.9 <sup>b</sup>	97 <sup>b</sup>	18.3 <sup>a</sup>	360 <sup>a</sup>	40.5 <sup>a</sup>	20.8 <sup>b</sup>	4.1 <sup>a</sup>
G 4	1973 <sup>a</sup>	11.4 <sup>b</sup>	5/21 <sup>c</sup>	21.3 <sup>a</sup>	0.6 <sup>b</sup>	0.2 <sup>a</sup>	113 <sup>b</sup>	8/10 <sup>b</sup>	2.7 <sup>ab</sup>	1.9 <sup>c</sup>	1.7 <sup>c</sup>	1.3 <sup>c</sup>	94 <sup>ab</sup>	18.8 <sup>ab</sup>	354 <sup>a</sup>	43.9 <sup>a</sup>	19.9 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>

品種は第2表の1956～2005年のコシヒカリ。G1～4は分別したグループ名（第6図を参照）。調査地は1（那須，県北）～20（藤岡，県南）に数値化した。倒伏，穂いもち病，紋枯病，縞葉枯病は0（無）～5（甚）。外観品質は1（上上）～9（下下）。同じアルファベットには，グループ平均値間に1%水準で有意差がないことを示す（チューキーの多重比較）。

病、紋枯病及び縞葉枯病などの病害虫は少なく、外観品質も全般に良好であった。グループ1とグループ2の播種期はそれぞれ4月12日、4月13日とほぼ同じで、グループ2の到穂日数は30年前の多肥多穂数のグループ1に比べ4日ほど短く、出穂期も3日程度早かった。グループ3は、1967～現在までの県南地域の普通植栽培で、特徴は出穂期が8月22日と遅く、節間伸長期の高温により倒伏が4.2程度と多いことであった。なお、現在の6月移植による普通植栽培の割合は、栃木県水稲栽培面積の17%である（注：栃木県農政部会議資料 2006）。グループ4の栽培年次平均は1973年でおおよそ30年前と古く、一部近年も含まれるが県全域の早植～普通植（5月7日～6月23日移植）栽培における病害虫発生が多い調査地で、穂いもち病発生のため玄米千粒重が軽くなる傾向が認められた。1970年代後半には縞葉枯病の多発生が減収の大きな要因になっていたが、1982年に縞葉枯病抵抗性品種星の光、1986年には月の光を奨励品種に採用し（注：栃木県奨励品種審査会資料 1982, 1986）、同病保毒虫率が低下したため、現在の縞葉枯病発生割合は極わずかである（注：県農政部調べ 2006）。

なお、このように外観品質などの変動要因を明らかに

し、各調査地の特徴づけと比較するような手法は、社会学、経済学分野における研究でも用いられているものである。例えば社会科学分野の都市比較において、町村・高橋（1990）は都市化への過程の重要性を指摘し、変動要因として歴史的、経済的、政治・軍事的、交通的、立地的各要因を上げ、繁栄衰退の解析を用いた都市の分類を報告している。鯉坂・高原（1999）は、都市比較の視点の提示と、住民の生活評価に関するアンケートの因子分析を用いた全国11都市の規模別特徴づけを報告している。

第10表 類似した調査地ごとの水稲栽培指針.

調査地名	基肥窒素 (現状に比べ)	出穂期	成熟期	穂				倒伏 程度	玄米重 kg/a	玄米 千粒重 g
				いもち病	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m <sup>2</sup>			
日光, 矢板	少なく	8月11～15日	9月25～30日	0.5	93	19.0	370	2.5	52.0	21.5
大田原, 宇都宮 さくら, 真岡	少なく	8月 7～11日	9月18～23日	0.5	92	19.0	400	2.5	55.0	21.5
芳賀, 小山	同じ	8月 7～11日	9月18～23日	0.5	93	19.5	350	2.0	54.0	21.5
栃木, 佐野, 足利	少なく	8月21～25日	10月 6～11日	0.5	91	18.0	380	2.5	42.0	21.5
那須	少なく	8月11～15日	10月 1～ 6日	0.9	90	18.0	420	1.8	54.0	21.6
那須烏山	りん酸少	8月 7～11日	9月18～23日	0.5	92	18.7	400	2.5	51.0	21.0
鹿沼	少なく	8月16～20日	10月 1～ 6日	0.5	91	18.5	350	2.5	42.0	21.5
下野	同じ	8月16～20日	10月 1～ 6日	1.0	92	18.0	380	2.5	42.0	21.5

品種は第2表のコシヒカリ。穂いもち病、倒伏は0（無）～5（甚）。

## 第5節 品質向上のための技術指針

### I 緒言

外観品質向上のために指導指針を、類似した調査地ごとにまとめた。

### II 材料と方法

本章の以上の実験結果から、外観品質の変動要因のうち基肥窒素量、出穂期、成熟期、穂いもち病、穂数、倒伏、成熟期、玄米千粒重の現場に対応できる指針を作成した。

### III 結果と考察

コシヒカリの外観品質向上のためには、早植の出穂期は出穂前20日間の日照時間が多くなる8月7～15日で、成熟期は9月18～10月5日が適正期間である(第10表)。県北部の那須や普通植の成熟期はやや早めた方が外観品質が優れる(第4表)。

穂いもち病は0.5程度までである(第4、5表)。稈長の適正值は91～93cmで、地域による違いは少なく、現状より短くした方が倒伏は少ない(第4表)。穂数の適正值は350～400本/m<sup>2</sup>である(第4表)。倒伏程度は最大でも2.5までである(第1図)。

外観品質が安定する適正な玄米収量レベルは早植が51～55kg/a、普通植は42kg/aである。玄米千粒重の適正值は21.5gである(第4表)。外観品質の向上には、全籾数の制御や適期追肥により現状より玄米千粒重を重くするのが良い。

## 第6節 まとめ

玄米外観品質の変動要因は調査地により異なり、播種期を遅らせるか成熟期を早めると外観品質が向上する調査地や、通常は高品質で安定した品種が不安定に変動する調査地があった。基肥窒素量、穂いもち病は多くの調査地で、玄米千粒重の変動要因になっていた。出穂前20日間の日照時間と玄米千粒重の間には正の相関関係が認められた。

品種をグループ別に見ると4グループに分けられコシヒカリ、あさひの夢及びひとめぼれは中程度の外観品質で中程度の安定性であった。初星の外観品質は安定して劣り、月の光は高品質で安定していることも、調査地によって高品質だが不安定なこともあった。

コシヒカリの播種期、到穂日数、出穂期、成熟期、倒伏、穂長、穂数及び玄米重に関して、地域間差異が認められた。県北部山沿い(日光、矢板)、県平野部(大田原～真岡)、早植の県南部(芳賀、小山)、普通植の県南部(栃木、佐野、足利)及び1調査地だけの所(那須、那須烏山、鹿沼、下野)に分けられた。

栃木県内の水稻栽培を、栽培年次、調査地、栽培法及び農業形質を用いて主成分分析でグループ分けすると4つに分けられた。グループ1の特徴は、平均年次はほぼ30年前と古く、中干しを行い倒伏は軽い、穂数が多く玄米千粒重は20.1gと軽い。グループ2は近年の県中・北部早植で、穂長は長く多収で玄米千粒重は重い。グループ3は県南部普通植で、倒伏程度が4.2と多い。グループ4の特徴は県全域の病害虫の発生が多く、玄米千粒重が軽いことであった。

類似した地域ごとに、外観品質向上のための技術指針をまとめた。基肥窒素量は現状に比べ少なくする。出穂期の適正值は早植が8月7～15日、普通植は8月16～25日である。稈長は91～93cmと現状より短くし、倒伏程度は多くても2.5までとする。玄米千粒重は21.5g程度と現状より重い方が外観品質が安定して良くなる。

### 第3章 白未熟粒発生機構とその制御

地球温暖化により気温、地温は長期的には上昇傾向にあり、かつ気温、日照時間、降水量等の変動幅は大きく（原沢 2007）、生育予測や玄米品質の管理技術は大変難しくなっている。最近、特に1999年全国の水稲作においては、乳白粒、基白粒、背白粒等の発生により、一部の地域を除いて米品質が劣った。近年の低タンパク質米が食味の関係で重視され、生育後半の窒素制限が外観品質の低下をもたらす可能性が指摘されている（寺島ら 2001）。栃木県においては、その後も2001年の日照不足、2002年の出穂前の高温、出穂後の乾燥風等により1等米比率がそれぞれ42%、60%と大幅に低下した（大谷ら 2003）。長田ら（2004）は胴割れ粒と登熟初期の高温や追肥無施用の関係を、佐藤ら（2005）は登熟期の25.5℃以上の高温による食味低下をテクスチャー特性値で評価できると報告している。これら気象要因による整粒不足は、米を収穫してから分かるのが現状で、整粒不足の軽減技術はもちろんのこと、生育や気温、乾燥風、日照時間等の気象に応じた整粒不足発生の予測方法の開発も求められる。

なお、農産物検査法の品位では、玄米を整粒、未熟粒、被害粒、着色粒、死米に分け、未熟粒をさらに胚乳が白色不透明になる位置に基づき、乳白粒、心白粒、基白粒、背白粒、腹白粒と青未熟粒、その他未熟粒に区分している（財団法人全国食糧検査協会 2002）。寺島ら（2001）、森田ら（2005）は乳白粒、心白粒、基白粒、背白粒、腹白粒を総称して白未熟粒と記述している。本論文においても、これらを白未熟粒と総称することとする。

これまで、土壌温度や高水温の玄米品質に及ぼす影響については高村ら（1961）、植木（1960）が、日照不足の影響については今野ら（1990）、小谷ら（2006）が、乾燥風の影響については大谷ら（2003）が報告している。水稲の風害に関する報告は、坪井・氷高（1958）、今井ら（1979）、村松・鴨田（1981）の水分ストレスによる白穂、不稔、薄茶米等の発生に関するものがある。石原ら（2005）は穂先端の穎花開花後、1次枝梗の穎花は9～16日後の土壌の乾燥で、2次枝梗の穎花は10～19日後の土壌の乾燥によって乳白粒が発生すると報告している。これまでの松島・真中（1957）、長戸・江幡（1965）、森田ら（2005）の登熟期の高温による白未熟粒発生に関する研究においては、乳白粒、基白粒、背白粒など個々の発生時期に関する検討や、出穂後の乾燥風が白未熟粒の発生に及ぼす影響の検討が不十分である。そこで、本

章では特に風に注目して、水分ストレスが白未熟粒発生に及ぼす影響、特に発生時期について検討した。

## 第1節 出穂期前後の気象要因と白未熟粒率

### I 緒言

栃木県気象データ、同県産の1等米比率、同県農業試験場水田・ガラス室の栽培試験データを用いて、気象、農業形質による白未熟粒の発生要因を検討した。気温、水温、日照時間が外観品質に及ぼす影響の報告はあるが、風や飽差に関するものは少ない。そこでここでは風、飽差が、乳白粒、基白粒、背白粒の発生に及ぼす影響を検討した。

### II 材料と方法

#### (1) 出穂期前後の気象要因と白未熟粒率

出穂前後の気象条件と、栃木県産米の1等米比率の関係を解析するため、栃木県産米の1等米比率の年次による変動要因を、重回帰分析法（注：Excel 多変量解析 ver4.0）により、出穂前20日間の平均日最高気温、出穂後20日間の平均日最低気温、出穂後20日間の平均気温日較差、出穂後6～10日、16～20日あるいは出穂後6～10日、21～25日計10日間の平均飽差、出穂後6～10日、16～20日計10日間の平均日最大風速、出穂前・後各30日間の積算日照時間、同年の栃木県内現地18～23か所の標準的早植栽培コシヒカリの全籾数、1穂籾数、倒伏程度の平均値を説明変数に用いて、F値が1.5を規準とした増減法により抽出した。倒伏程度の判定規準は0（無）～5（甚）の6段階とした。全籾数、倒伏程度を説明変数に含めたのは、これらの影響を重回帰分析で消去し、他の気象要因のみによる影響をみるためである。

気温、最小相対湿度、日照時間は、宇都宮地方気象台の1987～2006年のデータを用いた（注：宇都宮地方気象台、栃木県気象年報 1987—2006）。

出穂期は、各年の農業試験場（宇都宮市）で標準栽培した5月6日移植コシヒカリの値を用いた。

日最大風速は、10分間平均風速の最大値で示される。宇都宮地方気象台の風速計が市街地の地上49mにあるため、農業試験場の地上4mにある風速計の2002年7～8月の観測値との相関関係から求めた（1）式により補正した（中村ら 1999）。夜間に最大風速を示す日もあったため、11時～15時の10分間平均風速で最大のものを各日の最大風速として用いた。

飽差は、飽和水蒸気圧と飽和水蒸気圧に最小相対湿度

$$\text{最大風速 (m/s)} = 0.665 \times (\text{宇都宮地方気象台最大風速値}) - 0.52 \quad \dots (1)$$

$$\text{飽和水蒸気圧 (hPa)} = 6.11 \times \exp \left[ \frac{17.50 \times (\text{気温})}{(\text{気温}) + 240.97} \right] \quad \dots (2)$$

を乗じた値の差とし、出穂後6～10日、16～20日あるいは出穂後6～10日、21～25日計10日間の各日の平均値として求めた。飽和水蒸気圧は、気温を用いて(2)のTetensの式(久米ら 2003)により算出した。

1等米は整粒割合が70%以上、形質が1等標準品相当のもので、関東農政局栃木農政事務所が品位区分し、栃木県水稻うるち米検査総数17～20万tに対する1等米の割合を1等米比率として公表したデータから、早植栽培産を対象にした10月末におけるものを用いた。検査等級の格下げ理由は、胴割粒、虫害粒、発芽粒を一部含むが、大部分は白未熟粒による整粒不足であった(注：関東農政局栃木農政事務所 1987—2003)。コシヒカリの作付

面積割合は44% (1987年)～86% (2006年)であった。

### (2)各気象要因の時期と白未熟粒率

各気象要因の時期の影響を見るため、2002年農業試験場黒ボク土水田に第11表に示す45品種を5月8日に移植した。基肥窒素量は6 kg/10aとし、追肥窒素は出穂前18日に4 kg/10a施用した。一部の品種は6月14日移植の普通植水稻も用いた。白未熟粒率は品質判定機(RS-2000, 静岡精機社)を用いて、玄米2000粒当たりの白未熟粒を計測して求めた。45品種の出穂後1～5日, 6～10日, 11～15日, 16～20日, 21～25日, 26～30日, 31～35日, 6～25日の計8時期別に飽差と日最大風速を計算し、飽差、日最大風速の時期と白未熟粒率の相関を比較した。さら

第11表 気象要因と白未熟粒率の供試品種。

少 (9品種)	中～多 (36品種)		
てんたかく	ひとめぼれ	なすひかり	初 星
晴れすがた	まなむすめ	ゆめひたち	キヌヒカリ
越南192号	奥羽371号	コシヒカリ	中部105号
群馬28号	北陸195号	アキニシキ	関東212号
う系123	中部106号	月の光	北陸191号
う系128	栃木12号	あさひの夢	北陸194号
う系131	う系119	日本晴	愛知108号
う系132	う系124	中部107号	関東209号
う系135	う系125	関東216号	栃木12号
	う系127	栃木13号	う系130
	う系129	むさしの1号	う系133
	う系134	愛知109号	う系136

白未熟粒の程度を2002年ほ場発生した白未熟粒率にもとづいて、少ない方から1/3を少、それ以上発生したものを中～多の2グループに分けた。一部の品種は早植と普通植のデータを含む。う系は栃木農業試験場育成品種。

に、出穂後10～15日、5～20日、0～20日、0～25日の日最高気温、日平均気温、日最低気温の平均と白未熟粒率の相関関係を比較した。

### Ⅲ 結果と考察

1987～2006年20年間の出穂前20日間の最高気温、出穂後6～10日、21～25日計10日間の平均飽差、出穂前30日間の積算日照時間は、重回帰分析を用いた検討から1等米比率の変動に及ぼす影響が強い気象要因といえた（第12表）。全籾数と、出穂前20日間の平均日最高気温、出穂前30日間の積算日照時間の相関関係はやや強いが（表は省略）、1等米比率に及ぼす影響は弱かった（第12表）。1988、1989、1998、2001年の日照不足年においては、全粒数が多いほど1等米比率が低下し（第7図）、日照不足年は全20年間との傾向が異なった。そこで日照不足年を除いて重回帰分析を行ったところ、出穂前20日間の平均日最高気温、出穂後6～10日、16～20日及び出穂後6～10日、21～25日計10日間の平均飽差、出穂前30日間の積算日照時間、1穂籾数は1等米比率の変動に及ぼす影響が強い要因であった（第12表）。出穂前20日間の平均日最高気温、出穂後6～10日、16～20日計10日間の平均飽差は1等米比率との相関関係も強かった（第12表）。出穂後20日間の平均気温日較差と出穂後6～10日、16～20日計10日間の平均最大風速は1等米比率の変動に及ぼす影響の弱い気象要因であったが相関関係は強かった（第12表）。

飽差、最大風速について、時期と白未熟粒発生の関係を第8図に示した。出穂後6日から35日までの5日間ごとの平均最大風速と白未熟粒率の間には正の相関関係が認められた。特に、出穂後6～10日、出穂後16～20日、出穂後6～25日、出穂後31～35日の平均最大風速と白未熟粒の相関関係が強かった。出穂後6～10日、出穂後6～25日、出穂後31～35日の飽差と白未熟粒率の間にも正の相関関係が認められた。

日最高気温、日平均気温、日最低気温の平均値と白未熟粒率との関係の相関関係はいずれも有意であった（第9図）。しかし、これらの関係の出穂後の期間による違いは大きくなかった。

## 第2節 白未熟粒率の品種間差異

### Ⅰ 緒言

白未熟粒率の品種間差異を知るために、送風処理により白未熟粒の発生を促した。また、送風処理による白未熟粒率を、飯田ら（2002）、山川ら（2002）、福井（2004）、石崎（2006）の検定結果と比較した。

### Ⅱ 材料と方法

2004年にふさおとめ、栃木13号、愛知109号、コシヒカリ、ひとめぼれ、中部107号、なすひかり、ハナエチゼン、初星、栃木15号の10品種を供試した。農業試験場黒ボク土水田に5月11日に1株4本植えて移植し、基肥窒素量は6 kg/10a、追肥窒素は施さなかった。出穂30日以上前の7月3日に1/5000aワグネルポットに1株ずつ株上げし、ガラス室で成熟期まで栽培した。ガラス室の大きさは幅が7.2m、奥行き14m、高さ4mで、床はコンクリート製であった。反復数は1品種当たり3（1品種3株）とし、個体間の地温や水位のばらつきを無くすため、水位をポット地表上0～5cmに保ったプール内で栽培した。ガラス室内で大型扇風機を用いて穂に送風し（以下、「送風処理」）、白未熟粒の発生を促した。送風処理は、各品種3株、1～2品種ずつ出穂後7～13日の7日間、8時30分～16時30分の8時間行った。羽根の直径が0.8mの大型扇風機を用いて、穂に風速4m/sの風が水平に当たるように稲体と大型扇風機の距離を2～2.5mに調整した。ガラス室内の気温は、日最高気温は外気温より平均で7.3℃（2～13℃）高く、日最低気温は外気温とほぼ同程度になるように天窗と側窓の開閉で調節した。湿度の調整は行わなかった（第10図）。コシヒカリの出穂後20日間のガラス室内気温の平均値は、日最高気温が38.2℃、日平均気温が29.1℃、日最低気温が24.0℃であった。気温と湿度はおんどとり（TR—72UTJ、ティアンドデイ社）を、風速は風速計（Kestrel—4000、ニールセン・ケラーマン社）を用いて計測した。籾は風乾後籾摺機（テストTHU、サタケ社）を用いて玄米に脱ぶし、白未熟粒率は品質判定機（RS—2000、静岡精機社）を用いて計測し、白未熟粒発生の品種間差異をみた。

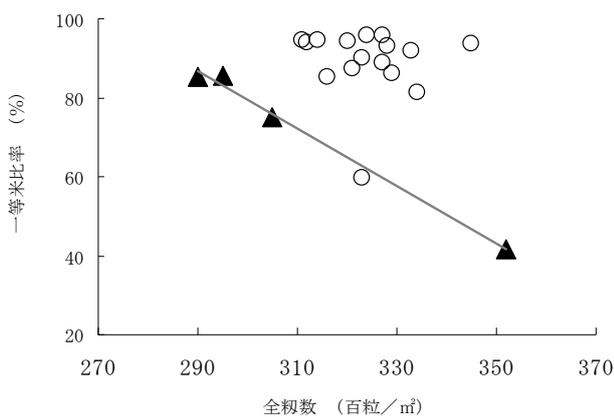
### Ⅲ 結果と考察

送風処理による白未熟粒発生には、品種間差異が認められた。供試した10品種の中で白未熟粒の発生量が最も少ないのはふさおとめで、多いのは栃木15号であった（第13表）。コシヒカリとひとめぼれの白未熟粒率は両品種の間であった。これは石崎（2006）の温水かけ流し、

第12表 出穂期前後の気温、飽差、風速、日照時間及び生育と1等米比率の重回帰結果.

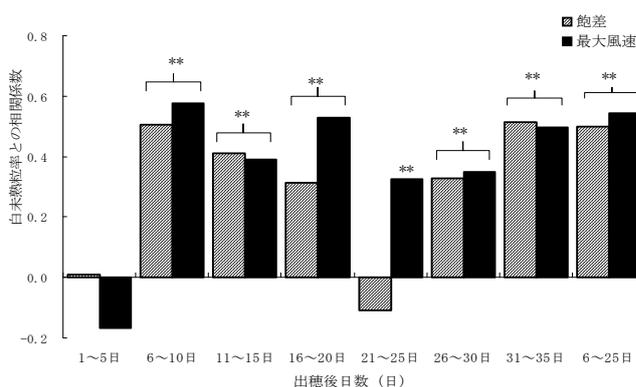
気象要因, 生育	平均	標準偏差	全20年間			日照不足年を除く16年間			
			標準偏回帰係数	F 値	単相関係数	標準偏回帰係数	F 値	単相関係数	
気温	最高 出穂前20日間	30.0	2.0	-1.2	8.1*	-0.45*	-1.7	16.1**	-0.41
	最低 出穂後20日間	22.6	1.1	—	—	—	0.4	4.7	-0.11
	日較差 出穂後20日間	8.0	1.0	—	—	—	-0.7	1.5	-0.57*
飽差 (hPa)	出穂後6~10日, 16~20日	19.5	3.91	-0.9	4.0	-0.11	-1.1	16.7**	-0.48
	出穂後6~10日, 21~25日	19.0	4.29	-1.2	6.5*	-0.22	1.4	12.8*	-0.34
最大風速 (m/s)	出穂後6~10日, 16~20日	3.7	0.8	—	—	—	-0.3	3.0	-0.40
日照 (h)	出穂前30日間	113	38.9	0.9	6.4*	-0.39	1.5	36.6**	-0.05
	出穂後30日間	133	38.4	0.8	4.7	0.07	—	—	—
生育	1穂粒数 (粒/穂)	91	5.3	—	—	—	1.0	25.6**	0.17
	全粒数 (百粒/m <sup>2</sup> )	347	28.0	—	—	—	0.3	4.6	-0.07
	倒伏程度	2.8	1.0	0.3	2.5	0.37	-0.3	4.4	-0.01
1等米比率 (%)	85.7	13.1	—	—	—	—	—	—	—

検討に用いた期間は1987~2006年の20年間。平均と標準偏差も20年間に対する値。日照不足年は1988, 1989, 1998, 2001年。最高, 最低気温, 気温日較差, 飽差, 風速は示されている期間の平均値。日照時間は示されている期間の積算値。倒伏程度は0 (無)~5 (甚)。規準F値1.5以下の項目は除いた。\*, \*\*はF値あるいは相関係数に5%, 1%水準で有意性があることを示す。



第7図 全粒数と1等米比率の関係.

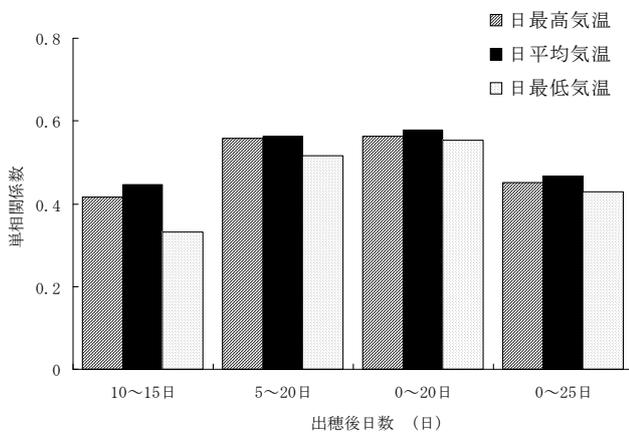
▲は日照不足年1988, 1989, 1998及び2001年を示す。1988, 1989, 1998年の出穂前30日間の積算日照時間は73~98時間, 2001年の出穂後30日間の積算日照時間は84時間で, 全20年間の各平均値よりそれぞれ15~49時間少ない。○はそれ以外の16年。



第8図 飽差, 最大風速と白未熟粒率の相関関係.

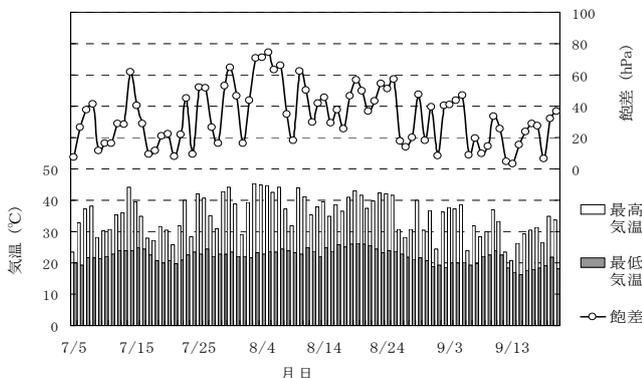
第11表の45品種を供試。\*\*は相関係数が1%水準で有意である。

ビニルハウス等を用いたふさおとめ、コシヒカリ、福井ら (2004) のふさおとめ、ひとめぼれ、山川ら (2002) のふさおとめ、ひとめぼれ、初星、飯田ら (2002) のひとめぼれ、初星の結果と一致しており、送風処理による白未熟粒率の品種間差評価が、他の検定方法による評価とほぼ一致していた。



第9図 日最高、日平均、日最低気温と白未熟粒率の相関関係。

第11表の45品種を供試。いずれの相関係数も1%水準で有意であった。



第10図 ガラス室内の気温、飽差の推移 (2004年)。

### 第3節 送風処理時期と白未熟粒率

#### I 緒言

稲の生育ステージと白未熟粒発生の関係を、送風による処理方法を用いて検討した。長戸・江幡 (1965) は出穂後0~10日の高温処理で背白粒が発生すると報告している。一方、森田 (2008) は出穂後16~24日の高温処理で背白粒が発生し、この発生時期の違いは処理温度の違いによると推察している。そこで、送風処理による白未熟粒各タイプの発生時期を検討した。

#### II 材料と方法

##### (1) 風速と白未熟粒率

2005年に前節と同じ方法で大小の扇風機を用いて風速0 m/s, 2 m/s, 4 m/sに設定した送風処理をコシヒカリに施し、風速と白未熟粒率の関係を検討した。コシヒカリは農業試験場黒ボク土水田に5月10日に1株4本植で22.2株/m<sup>2</sup>の密度で移植し、基肥窒素量は4 kg/10a施した。前節と同じ方法で株上げしガラス室内で栽培し、出穂前7日に、窒素と加里 (20%—0—20%, 肥効調節型窒素肥料50%を含む) をポット当たり0.4g (窒素4 kg/10a) 追肥した。送風処理は出穂後7~13日の7日間、反復数は1処理当たり2とした。乳白粒は白色不透明の面積から、玄米平面の1/2程度のを乳白粒 (小), 3/4程度のを乳白粒 (大) に分別した。

第13表 送風処理による白未熟粒率の品種間差異。

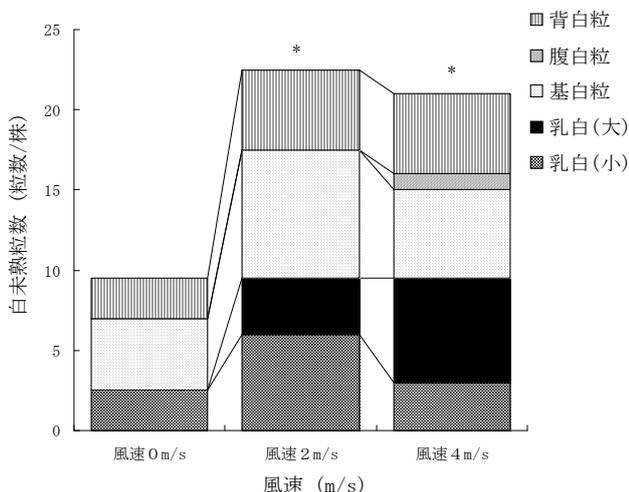
品種名	白未熟粒率 (%)	
ふさおとめ	7.4	a
栃木13号	10.3	ab
愛知109号	11.4	ab
コシヒカリ	13.4	abc
ひとめぼれ	13.8	abc
中部107号	16.0	abc
なすひかり	19.8	bcd
ハナエチゼン	24.4	cde
初星	28.3	de
栃木15号	34.7	e

基肥窒素量は6kg/10a+無追肥で栽培し、ガラス室で出穂後7~13日の7日間送風処理を施した。同じアルファベット間には5%水準で有意差がないことを示す (チューキーの多重比較)。

(2) 送風処理時期と白未熟粒率

2006年に前節と同じ方法で、出穂後1~5日、6~10日、11~15日、16~20日、21~25日、26~30日、31~35日、36~40日の計8時期に、反復数は1処理当たり3としてコシヒカリに5日間送風処理をした。供試したコシヒカリは5月9日に前節と同じ方法で移植し、同じ時期にガラス室に株上げし、追肥窒素は施さなかった。無処理は、株

上げた水稻を風の影響がないように成熟期までガラス室で栽培した。玄米の着粒位置は、9~12穂が着生する1個体すべての穂について、1穂当たり8~10本着生する1次枝梗を3本ごとに上から上位、中位、下位の3つに分別し、3等分できない時は中位を2あるいは4本とした。次に、松島・真中（1956）の着粒位置、開花順位、穎花の分化発育程度に従い、各1次枝梗内の先端を1番粒、最下位から先端に向かって2~6番粒として分別した。2次枝梗も同様に先端を1番粒、最下位粒を2番粒、その上を3番粒とした。3次枝梗はなかった。着粒位置別に手で脱穀し、卓上すり器を用いて玄米に脱ぶし、品質判定機を用いて白未熟粒率を計測した。品質判定機の分光比（玄米の反射光の赤色光量/緑色光量×100）が69以上108未満で、光透過率（透過光量/反射光量×100）が100以下の玄米を白未熟粒とした。さらに白未熟粒として分画された粒を、肉眼で未熟粒判定基準（財団法人全国食糧検査協会 2002）に準じて、乳白粒、基白粒、背白粒に判別した。基白と背白が同一玄米に発生している時は、白色不透明部分の面積が大きい方に分別した。乳白粒と心白粒の区別は行わなかった。

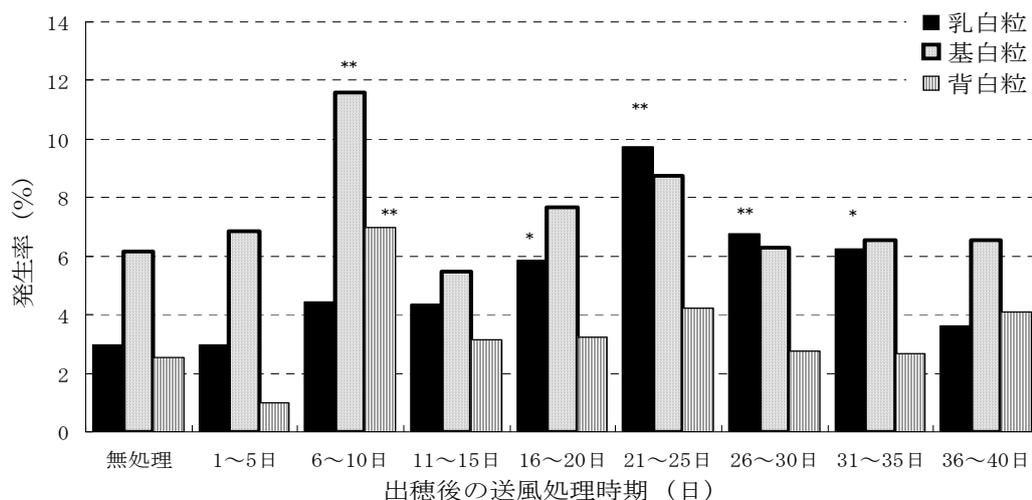


第11図 風速と白未熟粒数。

\*は風速0m/sに比べて5%水準で有意差があることを示す（t検定）。品種はコシヒカリ。送風処理は出穂後7~13日の7日間施した。乳白粒（大）は白色不透明の面積が玄米平面の3/4程度のもの、乳白粒（小）は1/2程度のものに分別した。

(3) 着粒位置別の玄米千粒重と白未熟粒率

2006年に出穂後11~15日のコシヒカリに前節と同じ方法で5日間送風処理し、着粒位置別の玄米千粒重と白未熟粒率の関係を調べた。供試したコシヒカリは農業試験場黒ボク土水田に5月9日に1株4本植で22.2株の密度で移植した。基肥窒素量は0, 2, 4, 6 kg/10aの4段階とし、出穂前10日に追肥窒素量を0, 2, 4 kg/10aの3段階に変えて生育させた。併せて、基肥として窒素2kg/10aを施



第12図 送風処理時期と乳白粒、基白粒、背白粒発生率。

無処理は株上げし、ガラス室で風の影響がないように栽培した。品種はコシヒカリ。\*, \*\*は各タイプの白未熟粒ごとの無処理に比べて5%, 1%水準で有意差があることを示す（t検定）。

し、窒素を4 kg/10a追肥した水稻（以下、基肥窒素2 kg/10a+追肥窒素4 kg/10a）と基肥窒素4 kg/10aを施し窒素を追肥しなかった水稻（以下、基肥窒素4 kg/10a+無追肥）を用いて、白未熟粒発生の多少と玄米千粒重のばらつきを比較し

た。

### Ⅲ 結果と考察

風速2m/s以上の風を出穂後7～13日の7日間、毎日8時間ずつ稲体送到ると白未熟粒の発生が多くなった(第11図)。風速2 m/sと4 m/sの間に白未熟粒率の差はなかったが、風速4 m/sの方が乳白粒(大)の割合が高かった。

乳白粒は出穂後21～25日の5日間送風処理した水稲に最も多く発生した(第12図)。送風処理による乳白粒の発生率が、無処理に比べて有意に高かったのは出穂後16～20日、21～25日、26～30日、31～35日で、長期間に渡っていた。出穂後21～25日処理では乳白粒は、上位、中位の1次枝梗に多く発生していた(第14表)。出穂期に送風処理した籾には不稔籾が29%、薄茶米が16%発生し、整粒割合は低かった(表省略)。

基白粒は、出穂後6～10日に送風処理したものに多く発生した(第12図)。基白粒の発生割合の着粒位置による違いは下位2次枝梗は低く、他の部位間には違いが認められなかった(第14表)。

背白粒は、基白粒と同じ出穂後6～10日の時期に送風処理した水稲に多く発生した(第12図)。着粒位置別の背白粒発生割合は下位2次枝梗は低く、他の部位間の差は小さかった(第14表)。

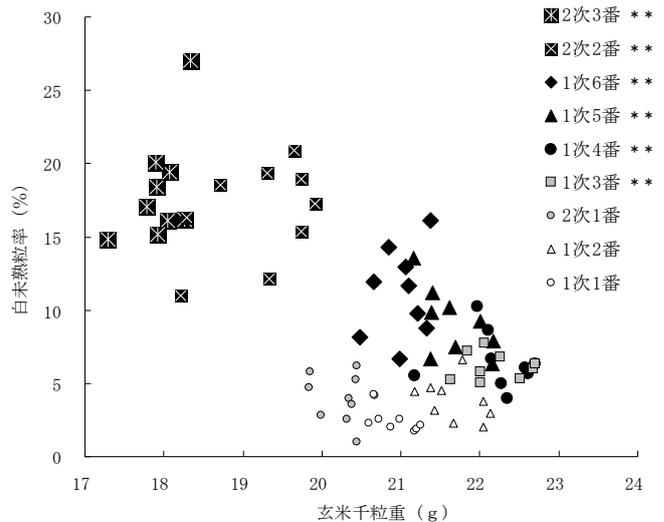
乳白粒の発生は基白粒、背白粒の発生時期より遅いが、基白粒、背白粒より長期間に渡って高い発生率を示した。基白粒と背白粒の発生割合の着粒位置による違いは類似していた(第14表)。発生率は基白粒が最も高く、次いで乳白粒、背白粒の順に高かった(第12図)。

木戸・梁取(1968)は、腹白粒、基白粒は開花時期が早い強勢穎花に、乳白粒は開花時期が遅い弱勢穎花に多く発生し、米粒生育ステージの違いや同化産物の競合により種々の不透明部を形成すると報告している。松本・齋藤(2002)は、温度勾配チャンバーを用いた試験で、乳白粒は出穂後10～15日、背白粒は出穂後15～20日の高温で発生すると報告している。長戸・江幡(1965)は、乳白粒は米粒の透明化が進行している時の障害によって起こり、基白粒と背白粒の発生は酷似していること、そして、乳白粒、基白粒、背白粒とも出穂後0～30日の高温処理の水稲に最も発生することを報告している。野並(2001)は水分ストレス下における細胞生長の阻害を明らかにし、胚乳細胞数は開花後のほぼ10日間で決まる(星川 1967)。松田(2004)は登熟初～中期の高温により同化産物の輸送経路である珠心表皮が早く退化し、森田ら(2005)は高夜温による玄米千粒重の低下は胚乳細

第14表 送風処理による着粒位置別の乳白粒、基白粒、背白粒の発生割合。

着粒位置	枝梗	乳白粒 (%)	基白粒 (%)	背白粒 (%)
上 位	1次	2.02**	2.55**	1.01
	2次	1.77*	2.30**	1.66*
-----				
中 位	1次	3.14**	2.18**	1.07
	2次	1.46*	1.53**	1.36*
-----				
下 位	1次	1.27	2.67**	1.81**
	2次	0.26	0.36	0.07

品種はコシヒカリ。乳白粒の送風処理時期は出穂後21～25日、基白粒と背白粒は出穂後6～10日。1穂当たり9～12穂着生1次枝梗を上から上位、中位、下位の3つに分別。各白未熟粒率は、全粒に対する割合。下位2次枝梗の白未熟粒率は不稔や奇形粒の発生により、全粒に対する各白未熟粒の割合は少なかった。\*、\*\*は下位2次枝梗の値に比べて5%、1%水準で有意差があることを示す(t検定)。



第13図 着粒位置別の玄米千粒重と白未熟粒率。

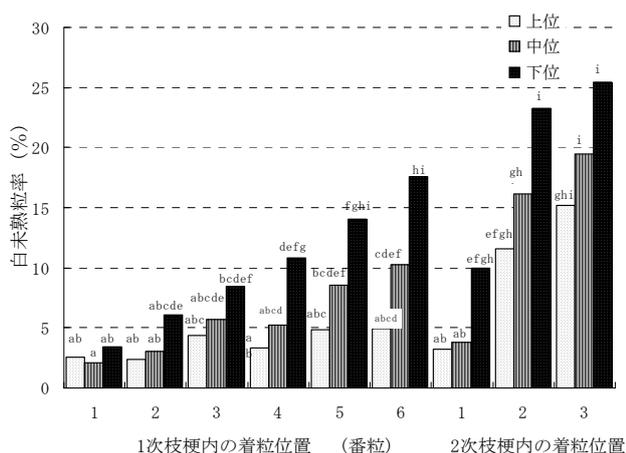
品種はコシヒカリ。基肥窒素4kg/10a+無追肥で栽培したものを株上げし、ガラス室で出穂後11～15日の5日間送風処理を施す。\*\*は1次枝梗1番粒の白未熟粒率に比べて1%水準で有意差があることを示す(t検定)。

胞サイズが小さくなることによると報告している。

1次枝梗3～6番粒と2次枝梗2～3番粒の白未熟粒率は、1次枝梗1番粒に比べて高かった(第13図)。白未熟粒率が高かった水稲(基肥窒素4 kg/10a+無追肥)は、白未

熟粒率が低かった水稻（基肥窒素2 kg/10a+追肥窒素4 kg/10a）に比べて、玄米千粒重が軽く、玄米千粒重のばらつきは大きかった（第15表）。1次枝梗内の着粒位置に着目すると、白未熟粒率は、上位の1次枝梗の1～6番粒間に差は認められなかった（第14図）。一方、中、下位の1次枝梗においては、着粒位置の番号が大きくなり、いわゆる弱勢穎花になるほど白未熟粒率は高まった。2次枝梗においては、上、中、下位いずれの位置においても、1から3番粒の順に白未熟粒率が高まった。

弱勢穎花へのRNA、mRNAの取り込み量は開花後16日頃から、窒素量は4週目になって増える（前 1990）。寺井ら（2008）は1次枝梗と2次枝梗の粒重増加過程の違いを明らかにし、2次枝梗の粒重の着粒位置別変異は大維管束などの分枝構造や器官の老化等が関与していると考察している。本研究において、乳白粒の発生時期が出穂後16～35日と登熟中期の長期に渡ったのは、2次枝梗への同化産物の登熟過程と関連していると考えられる。



第14図 着粒位置別の白未熟粒率。

調査材料と方法は第13図と同じ。同じアルファベット間には1%水準で有意差がないことを示す（チューキーの多重比較）。

## 第4節 白未熟粒率の推定

### I 緒言

気象要因の平均気温、最小相対湿度、日最大風速を用いて、白未熟粒率の推定法を検討した。佐々木ら（2006）は出穂後11～20日の平均気温日較差、穂揃期の葉色（SPAD値）、窒素含有量及び玄米千粒重を用いてひとめぼれの白未熟粒率を、同化産物の蓄積の競合から推定している。しかし、登熟期の送風処理など水分ストレスによる細胞生長の障害に関する点が十分でない。そこで、白未熟粒の発生要因を考慮し、容易で、迅速に、多品種に対応できる白未熟粒率の推定法を検討した。

### II 材料と方法

2002年に農業試験場黒ボク土水田で栽培した第11表に示す45品種に発生した白未熟粒を、品質判定機（RS-2000、静岡精機社）で計測し、日平均気温、 $\{(100 - \text{最小相対湿度}) \times \text{最大風速}\}$ を用いて重回帰分析法（注：Excel多変量解析統計ver4.0）により白未熟粒率の推定式を導き出した。平均気温、最小相対湿度及び日最大風速の間に相互作用は認められなかった。併せて2002年県内現地試験の那須塩原市2か所、大田原市、那珂川町、日光市、塩谷町、那須烏山市、高根沢町、宇都宮市3か所、芳賀町、真岡市、鹿沼市、西方町、小山市2か所、佐野市の計18か所で発生したコシヒカリとあさひの夢の白未熟粒の発生率を上述の品質判定機を用いて測定し、推定式の精度を検討した。日平均気温と最大風速は最寄りの宇都宮地方気象台観測所の測定データを、最小相対湿度は県中部（宇都宮市）の宇都宮地方気象台データを用いた。現地試験18か所の出穂期は7月30日～8月29日、白未熟粒率は1.7～22.3%、倒伏程度は前述の6段階評価で0～4.5、全粒数は26000～35000粒/m<sup>2</sup>であった。

### IV 結果と考察

2002年には場栽培した45品種に発生した白未熟粒率にもとづいて、少ない方から1/3を少、それ以上発生したものを中～多と2グループに分けた（第11表）。最小相対湿度と最大風速の時期は、第8図と第12図に基づいて出穂後6～25日とし、気温は第9図に基づいて出穂後0～20日の日平均気温の平均値を用いた。そして各グループごとに白未熟粒率の推定式を $\{(100 - \text{最小相対湿度}) \times \text{最大風速}\}$ と日平均気温を用いて(3)、(4)式のように求めた。

中～多品種の推定式を用いて推定した白未熟粒率と、2002年県内現地ほ場で発生したコシヒカリ、あさひの夢

の白未熟粒率は、発生率が低いときは一致し、発生率が高くなると推定値は実測値よりも低くなったが、推定値と実測値は直線的関係にあった（第15図）。

## 第5節 白未熟粒発生抑制のための技術指針

### I 緒言

白未熟粒の発生を抑制するための技術指針を作成した。森田（2008）は登熟期を高温に当てない技術や当たっても白未熟粒を発生させない技術を、高橋ら（2004）は栽植密度、村松・千葉（2006）は堆肥の投入や深耕の効果を示している。これらは高温条件下の検討で、送風処理などの水分ストレスによる白未熟粒発生軽減効果は不明である。

本節では、送風処理における白未熟粒の発生軽減技術を検討した。

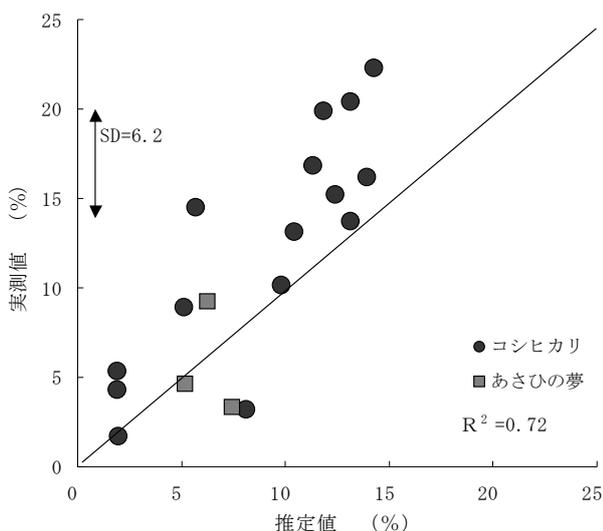
$$\begin{aligned} \text{少品種の} \\ \text{白未熟粒率} \\ (\%) \end{aligned} &= 0.794 X_1 + 0.033 X_2 - 22.8 \quad (R^2=0.72) \quad \dots (3)$$

$$\begin{aligned} \text{中～多品種の} \\ \text{白未熟粒率} \\ (\%) \end{aligned} &= 1.80 X_1 + 0.052 X_2 - 44.8 \quad (R^2=0.55) \quad \dots (4)$$

$X_1$ ：出穂後0～20日の日平均気温（℃）の平均値。

$X_2$ ：出穂後6～25日の {(100－最小相対湿度)×最大風速} (%×m/s) の平均値。

Rは自由度修正済み重相関係数



第15図 白未熟粒率推定値と実測値との関係。

白未熟粒率推定値は、2002年農業試験場で栽培した第11表の36品種から求めた（4）式を使用。実測値は同年現地試験したコシヒカリ15か所、あさひの夢3か所の白未熟粒率。

### II 材料と方法

本章の以上の実験結果から、現場に対応できる指針を作成した。さらに、根域、送風処理時の水位が白未熟粒発生に及ぼす影響について検討した。

#### (1) 根域と白未熟粒率の関係

2006年に1/5000a, 1/2000aの2種類のワグネルポットで生育させたコシヒカリに前節と同じ方法で送風処理し、根域の大きさと白未熟粒率の関係を調べた。5月にコシヒカリを、農業試験場黒ボク土ほ場に埋込んだ1/5000a, 1/2000aのワグネルポットにポット当たり1株、株当たり4本移植し、周りを他の稲株で囲んだ。7月にワグネルポットごとほ場からガラス室に移し、出穂後11～15日の5日間送風処理し、反復数は1処理当たり3とした。追肥は行わなかった。1/5000aの大きさは直径15.9cm, 深さ19cmで、1/2000aは各々25.2cm, 30cmであった。ワグネルポットの土は、基肥窒素4 kg/10aを施用したほ場の土を使用した。無処理はほ場に埋め込んだまま送風処理をしない1/2000aワグネルポットの個体とし、根域と

白未熟粒率の関係を検討した。

**(2)送風処理時の水位と白未熟粒率の関係**

2006年に出穂後11～15日のコシヒカリに前節と同じ方法で5日間送風処理し、処理時の水位と白未熟粒率の関係を調べた。送風処理の5日間の水位は、土表面上5cmになるよう1/5000aワグネルポットごとバットに入れたもの、土が湿っている程度に灌水したもの、完全に落水した3処理とし、反復数は1処理当たり3とした。送風処理時以外の水管理は間断灌水とした。送風処理時の水位と白未熟粒率の関係を、着粒位置別に比較した。

**Ⅲ 結果と考察**

現場に対応できる白未熟粒発生の抑制のための指針をまとめた。品種、耕深、窒素追肥の時期、全粒数、水位について効果的な対策を明らかにした。

(1)白未熟粒の発生程度には品種間差があるため(第11表)、白未熟粒の発生が少ない品種を作付けする。

(2)根系を大きくする。根域を生育初期から1/5000aワグネルポットに制限した稲体に送風処理をすると、1/2000aのワグネルポットに生育させたものに比べて白未熟粒率は高まった(第16表)。根域を1/5000aに制限した稲株の全粒数は16000粒/m<sup>2</sup>で生育量が小さく、登熟期の葉色も淡かった(データ省略)。白未熟粒発生を軽減するためには、根葉部(ソース)の生育量を適正量確保して、バランスのとれた全粒数(シンク)にコントロールすることが重要と考えられる。

(3)窒素の追肥時期は出穂前10日頃とする。基肥窒素量2kg/10a+追肥窒素量4kg/10aを施した水稻の白未熟粒率

は、基肥窒素量4kg/10a+無追肥を施した水稻の白未熟粒率に比べて低かった(第15表)。

松島(1977)は出穂前10日に弱勢穎花の退化が最大になり、秋田県農林水産技術センター(2006)、楠田ら(2004)は出穂前15～8日の追肥で乳白粒、基白粒、背白粒の発生を抑制できると報告している。ただし、障害型冷害の感受性もこの時期の追肥で高まるので、気象情報に留意する必要がある。

(4)コシヒカリの全粒数は29000粒/m<sup>2</sup>程度に制御する。ただし、日照不足時には、全粒数が多いほど1等米比率は低下するので(第7図)、品種、栽植密度及び受光体勢などによって適正な全粒数は違う可能性はある。

(5)登熟期に乾燥風が予測される時には水位を5cm程度に保つ。送風処理時の水位を5cmに保つと、完全に落水したものに比べ白未熟粒率はほぼ半減した(第17表)。各枝梗の先端の1次枝梗5番粒、2次枝梗2、3番粒の弱勢穎花ほど、水位の違いによる白未熟粒率の差が大きくなる傾向であった。

白未熟粒発生を軽減するためには、白未熟粒発生の少ない水稻品種を作付けし、根系を大きくする。生育診断による1穂粒数、全粒数のコントロール、出穂前10日頃の窒素追肥などによる肥培管理をする。気象要因による予測技術を用いて、水分ストレス危険期には5cmの深水にする。これらの技術を駆使することにより、白未熟粒は少なく整粒が多い高品質で安定した米の生産ができると考えられる。

第15表 窒素肥培管理と着粒位置による白未熟粒率と玄米千粒重の変動。

	窒素肥培管理		玄米千粒重 (g)								
	基肥-追肥 (kg/10a)	白未熟 粒率(%)	1次枝梗				2次枝梗				
			1番	2番	3番	4番	5番	6番	1番	2番	3番
玄米	2-4	6.4	21.3	22.5	23.1**	22.8*	22.1	21.1	20.6	20.6	19.6**
千粒重(g)	4-0	9.1*	21.2	22.0*	22.1**	22.3**	21.6	21.3	20.5*	19.8**	18.8**
変動	2-4	-	1.2	4.5	3.1	2.0	1.6	2.6	2.7	4.6	9.2
係数 (%)	4-0	-	2.5	4.3	3.7	3.3	2.8	4.5	3.7	5.9	7.8

品種はコシヒカリ。肥培管理2-4の追肥は出穂前10日に4kg/10a施し、株当たり全粒数は窒素肥培管理2-4が733粒、4-0が700粒で有意差はなかった。

送風処理は出穂後11～15日の5日間施す。白未熟粒率は全玄米の平均値で、\*は5%水準で有意差があることを示す。

玄米千粒重は、1次枝梗内の先端を1番粒、最下位から先端に向かって2～6番粒とし、各着粒位置ごとの玄米の平均値。\*、\*\*は1次枝梗1番粒の玄米千粒重に比べて5%、1%水準で有意差があることを示す。

## 第6節 まとめ

栃木県産米の1等米比率と気象、水稲の生育の解析から、出穂後6～25日の飽差と最大風速、出穂前・後各20日間の気温、出穂前30日間の日照時間、一穂粒数が白未熟粒の発生要因であった。

送風処理による白未熟粒発生には品種間差異が認められ、発生量が最も少ないのはふさおとめで、多いのは栃木15号で、コシヒカリとひとめぼれの白未熟粒率は両品種の中間にあった。送風処理による白未熟粒率の品種間差評価は、他の検定方法による評価とほぼ一致していた。

乳白粒は出穂後21～25日の登熟中期の送風処理により、上・中位の1次枝梗に多く発生した。枝梗内では弱勢穎花の白未熟粒率が高かった。基白粒、背白粒は出穂後6～10日の登熟初期の送風処理により、穂上着粒位置にかかわらず多く発生した。

白未熟粒率を、出穂後0～20日の日平均気温と、出穂後6～25日の [(100-最小相対湿度)×最大風速] の平均値を用いて推定できた。

白未熟粒発生抑制のための技術指針をまとめた。すなわち、白未熟粒発生の少ない品種を作付けする。根系を大きくする。窒素追肥は出穂前10日頃に施用し、コシヒカリの全粒数は29000粒/m<sup>2</sup>程度とする。水分ストレスを受けそうな時は水深5cm程度に深くする。

第16表 根域と白未熟粒率の関係。

	送風処理		ほ場
	1/2000a	1/5000a	1/2000a
白未熟粒率 (%)	4.8	9.7*	1.9

品種はコシヒカリ。根域は1/5000a, 1/2000aのワグネルポットを用いてほ場で栽培したものを株上げし、ガラス室で出穂後11～15日の5日間送風処理を施す。  
\*はほ場に埋め込んだまま1/2000aワグネルポットの根域で栽培した水稲の白未熟粒率に比べて、5%水準で有意差があることを示す。

第17表 送風処理時の水位と着粒位置ごとの白未熟粒率の多少。

水位	白未熟粒率 (%)								
	1次枝梗						2次枝梗		
	1番	2番	3番	4番	5番	6番	1番	2番	3番
5cm	2.3	3.2	6.0	4.5	4.4a	7.3	2.0	9.7	12.2
間断灌水	3.6	3.1	4.6	6.5	7.0ab	7.0	4.1	12.0	15.1
落水	5.7	6.7	3.0	8.0	10.6b	9.9	5.2	16.8	23.8

品種はコシヒカリ。ガラス室に株上げした稲株に、出穂後11～15日の5日間送風処理を施す。水位は送風処理の5日間、地表上5cm、間断灌水、落水の3処理とした。同じアルファベットには5%水準で有意差がないことを示す (チューキーの多重比較)。

## 第4章 麦類の収量、外観品質の変動要因

国内産麦は2000年に民間流通制度が導入され品質評価に従って価格が設定されることになり、2007年産小麦の生産量は87万トンで2000年に比べ142%に増加した。しかし、麦需要の約9割は外国産麦の輸入に頼っており、国内産麦の生産拡大が望まれている（農林水産省 2008）。大麦においては国内産に匹敵する精麦加工品質を備えた外国産大麦がなく、需要が逼迫している。需要に応じた品質、数量の麦生産が切望されている。

栃木県の気象は東日本型で、内陸県のため冬季の気温日較差は大きく、男体おろし、那須おろしと呼ばれる北西の乾燥風が吹き、晩霜等が特徴である。栃木県の水田化率は80%と高く、基盤整備率、乾田化率も高いことから灌排水が容易で、水田作と畑作の輪作が大部分の水田で可能である。栃木県は、ビール大麦を全国第2位、六条大麦を第4位、小麦は第13位と広い作付面積に、3麦種を栽培している。栃木県産ビール大麦の2001～2007年各年7000～8900点の品質調査において、タンパク質含有率の目標値10～11%より低い分析点数の年次別割合は11～50%、一方、目標値より高い分析点数の割合も9～47%と年次間のばらつきが大きく、実需者からは高品質麦生産の要望が強い（栃木県農政部生産振興課 2008）。

そこで、県内の生産環境ごとの細やかな技術指導の指針を得るために、県内の多数試験地で長期間に麦類を栽培し、収量、外観品質の変動要因を検討した。

### 第1節 気象による収量、外観品質の変動要因と安定性

#### I 緒言

気象条件と麦類の生育の解析については、これまでに小麦を中心に中川ら（1968）、田谷ら（1981）、石丸・派多江（1971）が報告している。佐々木（1994）は、北海道における小麦作付面積の拡大と収量増加の要因を解析している。大麦については高橋（1955）、金川（1948）、浜地・吉田（1989）のものがある。しかし、ビール大麦、六条大麦、小麦の収量、品質の変動要因を比較したものは全国農業協同組合中央会（1983）以外にはみられない。

本節では、3麦種を同一な栽培条件下で比較しながら、収量、外観品質の変動要因を明らかにするために、農業形質と収量、外観品質、気象要因の関係を、前章の米でのように重回帰法で解析した。気象要因、農業形質相互

の影響を考慮しながら分析した。さらに、麦種別に外観品質の安定性をみるため、ビール大麦あまぎ二条、ミカモゴールドン、六条大麦シュンライ、小麦農林61号の外観品質の年次間の変動を検討した。

## II 材料と方法

麦類の形態・収量に関する調査項目とその調査方法は農林水産省の調査基準に準じ、倒伏程度は0（無）～5（甚）の6段階で評価した（主要農作物種子問題研究会 1987）。関東農政局栃木農政事務所が、麦類の外観品質を農林水産省の方法（全国瑞穂食糧検査協会 2007）にもとづき評価をした。ビール大麦の一等品位は、容積重645g以上、発芽勢95%以上、整粒割合90%以上、一等標準品相当の形質である。六条大麦の一等品位は、容積重600g以上、整粒割合75%以上、一等標準品相当の形質である。小麦の一等品位は、容積重780g以上、整粒割合75%以上、一等標準品相当の形質である。さらに一等、二等を3つに細分し、1等上：1、1等中：2、1等下：3、2等上：4、2等中：5、2等下：6、規格外（等外上）：7の7段階評価をした。ビール大麦の整粒重は2.5mm、六条大麦、小麦の子実重は2.0mmの縦目篩を用いて選別した健全粒の重量とした。容積重は1リットル升で測定した重量とした。

### (1) 農業形質による収量、外観品質の変動要因

農業試験場（宇都宮市）の水稻跡、灰色低地土灰褐系ほ場において栽培した。調査年は、ビール大麦あまぎ二条とミカモゴールドンは1990～2006年産の17年間、六条大麦シュンライは1990～1991年、1996～2007年産の14年間、小麦農林61号は1989～2007年産の19年間とした。各年とも反復数は3で、その平均を用いて検討した。播種期は11月1日、播種量は0.8kg/a、畦幅30cmのドリル播きとした。基肥窒素量は0.8kg/a（被覆尿素LP40を40%含む、2007年は1.0kg/a）、リン酸量は1.6kg/a（2005～2006年は1.0kg/a、2007年は1.3kg/a）、カリ量は1.6kg/a（2005～2006年は0.8kg/a、2007年は1.0kg/a）であった。堆肥は200kg/a、熔成リン肥は30kg/a施用した。これらは麦類奨励品種決定調査や作況試験の結果であり、その農業形質と収量、外観品質の関係を解析した。収量、外観品質の変動要因を重回帰分析（注：Excel多変量解析ver4.0）により抽出した。説明変数に用いた形質は第18表に示した項目で、その中からF値が2.0を規準とした増減法により選択した。変数相互の相関関係が強い場合は、目的変数と相関関係が弱い方を除いた（管 1996）。

### (2) 時期別気象要因と農業形質の関係

第19表に示したうちの、農業試験場（宇都宮）におけ

る、ビール大麦あまぎ二条、ミカモゴールドン、六条大麦シュンライ、小麦農林61号の収量、外観品質に及ぼす影響が強い気象要因を重回帰分析（注：Excel多変量解析ver4.0）により抽出した。説明変数に用いた項目は、11月～6月の降水量、気温、日射量で、その中からF値が2.0を規準とした増減法により選択した。降水量、気温及び日射量は宇都宮地方気象台の1988～2007年のデータを用いた（注：宇都宮地方気象台、栃木県気象年報 1988～2007）。3～6月は旬ごとに気象要因と農業形質の関係が異なることがあったので旬別とし、気温と日射量は日当たりの平均値、降水量は10日間の合計値を用いた。気温は日平均気温、日最高気温、日最低気温のうち最も寄与率が高いものを記した。

### (3) 県内各地の麦類外観品質の安定性

ビール大麦あまぎ二条、ミカモゴールドン、六条大麦シュンライ、小麦農林61号の調査地ごとの外観品質の変動係数を比較した。この試験は麦類奨励品種決定調査現地調査によるもので、特に記さない限り、現地の慣行法で栽培されている。地域別に外観品質の安定性をみるため、第19表のあまぎ二条の6調査地（大田原、宇都宮、西方、小山、佐野、足利）、ミカモゴールドンの5調査地（大田原、宇都宮、小山、佐野、足利）、シュンライの4調査地（那須塩原、大田原、宇都宮、小山）、農林61号の10調査地（那須塩原、大田原、宇都宮、西方、栃木、小山、益子、藤岡、佐野、足利）の外観品質の年次間の変動係数（標準偏差/平均）を計算した。

## Ⅲ 結果と考察

### (1) 農業形質による収量、外観品質の変動要因

麦種、品種ごとに変動要因の影響の強さや変動要因は異なっていた（第20表）。稈長は、あまぎ二条は短いほど、シュンライはやや長い方が高品質であった。ビール大麦あまぎ二条とミカモゴールドンの品種間で、収量、外観品質の変動要因のうち、稈長、穂数、千粒重は一致していた。あまぎ二条は出穂期が、ミカモゴールドンは成熟期が外観品質に及ぼす影響が強く、第16図にあまぎ二条、ミカモゴールドンの出穂期、成熟期別の外観品質を示した。出穂期、成熟期の時期には適正值があると推察できた。農林61号の外観品質の変動要因の出穂期～成熟期の日数は、短い方が高品質であった（第20表）。これは農林61号の出穂期～成熟期の日数49日間はビール大麦の42～44日間より長く、登熟期間が梅雨にかかることが影響していると考えられる（第21表）。

### (2) 時期別気象要因と農業形質の関係

3麦種の農業形質に及ぼす気象要因の時期を比較するために、第21表の農業形質の中から影響が強い稈長、穂数、茎立期・出穂期・成熟期、千粒重、容積重について解析した。

#### 1) 茎立期、出穂期、成熟期

あまぎ二条、ミカモゴールドンの外観品質が安定する適正な出穂期、成熟期があると推察できる。外観品質が3（上下）より優るサンプル割合は、出穂期は4月15～23日、成熟期は5月31日～6月6日の期間で高まった（第16図）。六条大麦シュンライの茎立期の平均値は3月24日と、供試した3麦種の中で最も遅く、安定しており、成熟期はあまぎ二条並に早かった（第21表）。シュンライのこの特性は凍霜害による幼穂凍死や、梅雨の降雨などによる気象被害の軽減に有効であると考えられる。農林61号の外観品質に影響を及ぼす気象要因は出穂期～成熟期の日数で、出穂期～成熟期の日数は短いほど外観品質は優れた（第20表）。松江ら（2000）、田谷ら（1981）は農林61号の低収要因の1つに、登熟期の高温による出穂期～成熟期の日数の短縮、降雨による千粒重の低下をあげている。栃木県の農林61号の成熟期は6月16日（6月7～27日）と梅雨に当たるため（第21表）、成熟期が5月下旬の北部九州とは出穂期～成熟期の日数の適正值が違ふと考えられる。外観品質を考慮した農林61号の出穂期～成熟期日数の適正值は、農業試験場（宇都宮市）の平均値48日より短いと考えられる。

#### 2) 稈長

ビール大麦あまぎ二条の稈長に及ぼす影響が強い気象要因は降水量で、出穂期に相当する4月下旬の降水量は少ないほど、稈長は長かった（第22表）。ミカモゴールドンの稈長は4月下旬の最高気温が高いほど長く、六条大麦シュンライの稈長は4月下旬の最低気温が低いほど、長かった（第22表）。4月下旬の気温日較差と日射量の間には正の相関関係（ $r=0.77^{**}$ 、表は省略）があり、日射量が多いほど稈長は長くなると考えられる。あまぎ二条、ミカモゴールドンの稈長と倒伏程度の間には正の相関関係が認められ（第17図）、稈長は89cmを超えると、倒伏程度は1（微）より多くなった。一方、あまぎ二条の稈長は5月上・中旬の降水量が多いほど、長かった。これは施用した基肥肥料BBビール麦エース（14-18-14）の窒素量の40%が被覆尿素LP40であることが影響したと考えられる。当ほ場での被覆尿素LP40の日当たり溶出量が最も多いのは積算溶出率が50%の時期であるが、次に多い時期は地温がほぼ20℃になる5月初めであった。

第18表 収量，外観品質の農業形質による変動要因を  
検討した項目.

1. 生育
出穂期，出穂期～成熟期の日数，成熟期，稈長， 穂長，穂数，倒伏
2. 収量関連形質
子実重，容積重，千粒重，整粒重，整粒歩合

整粒重と整粒歩合はビール大麦のみ。収量の変動要因を  
検討する時は，子実重や整粒重の項目は除く。

第19表 供試品種，調査地とその調査年次，土壌群名.

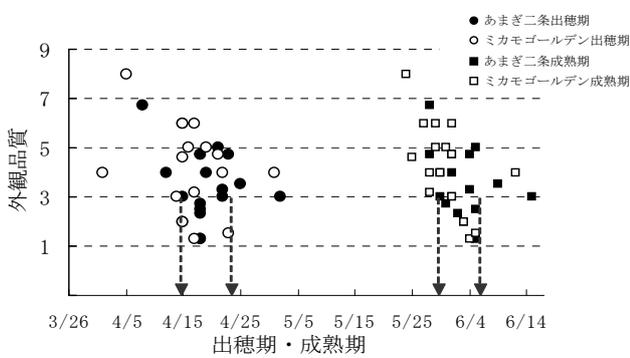
麦種	品種名	調査地	(年数)	調査年(生産年)	土壌群名
ビール 大麦	あまぎ二条	大田原	(15)	1990～97, 1999, 2000, 2002～06	表層多腐植質多湿黒ボク土
	〃	宇都宮	(17)	1990～2006	中粗粒灰色低地土
	〃	西方	( 6)	1990～95	礫質灰色低地土
	〃	小山	(11)	1990, 1992～97, 1999, 2000, 2002～03	礫質灰色低地土
	〃	佐野	( 6)	1990～93, 1998～99	灰色低地土
〃	〃	足利	(11)	1992～97, 1999～2000, 2002～04	灰色低地土
〃	ミカモ	大田原	( 5)	1990, 1999, 2000, 2005～06	表層多腐植質多湿黒ボク土
	ゴールドン	宇都宮	(17)	1990～2006	中粗粒灰色低地土
	〃	小山	( 3)	1990, 1999～2000	礫質灰色低地土
	〃	佐野	( 4)	1990～91, 1998～99	灰色低地土
六条 大麦	シュンライ	大田原	( 7)	1991, 1996, 2001～05	表層多腐植質多湿黒ボク土
	〃	宇都宮	(14)	1990～91, 1996～2007	礫質灰色低地土
	〃	栃木	( 4)	1990～91, 1996～2005	細粒灰色低地土
	〃	小山	( 3)	1991, 1996, 2002	礫質灰色低地土
小麦	農林61号	那須塩原	( 6)	1989, 1990, 1994～97	表層多腐植質多湿黒ボク土
	〃	大田原	( 7)	1989～91, 1998～2001	表層多腐植質多湿黒ボク土
	〃	宇都宮	(19)	1989～2007	中粗粒灰色低地土
	〃	西方	( 3)	1989～91	礫質灰色低地土
	〃	栃木	(13)	1989, 1991～2000, 2005～06	細粒灰色低地土
	〃	小山	( 7)	1991, 1998～2003	礫質灰色低地土
	〃	益子	( 5)	2002～2006	淡色黒ボク土
	〃	藤岡	( 3)	2004～06	黒ボク土
	〃	佐野	(11)	1989～1999	灰色低地土
〃	足利	(11)	1990～91, 1998～2006	灰色低地土	

調査地の宇都宮は農業試験場.

第20表 収量，外観品質に影響を及ぼす農業形質の要因.

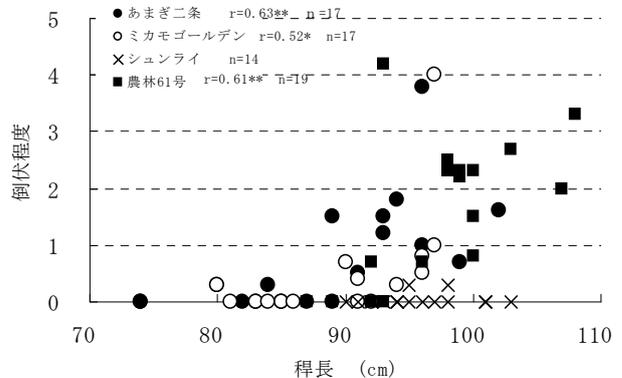
品種名	収 量	寄与率 $R^2$	外観品質	寄与率 $R^2$
あまぎ二条	穂数** 千粒重** 出穂期* 倒伏* 0.94 0.93 0.58 0.57	0.91	稈長** 出穂期** 0.75 -0.73	0.46
ミカモ ゴールデン	千粒重** 穂数** 稈長** 0.89 0.74 0.56	0.85	成熟期* -0.58	0.29
シュンライ	稈長** 容積重** 倒伏** 0.83 0.77 -0.72	0.64	容積重** 稈長* -0.75 -0.69	0.51
農林61号	穂数** 0.57	0.39	出穂期～成熟期の日数* 0.50	0.42

調査地，調査年，品種は第19表の宇都宮（農業試験場）. ビール大麦の収量は整粒重，六条大麦と小麦の収量は子実重を用いた. 下段は偏相関係数. 変動要因は重回帰分析（注：Excel多変量解析ver4.0）により抽出した. 説明変数に用いた形質は第18表に示した項目で，その中からF値が2.0を規準とした増減法により選択した. 変数相互の相関関係が強い場合は，目的変数と相関関係が弱い方を除いた. \*\*, \*は1%，5%水準で回帰が有意な項目であることを示す.



第16図 ビール大麦の出穂期，成熟期の外観品質.

調査地，調査年は第19表の宇都宮（農業試験場）. 播種期は11月1日. 1等上：1，1等中：2，1等下：3，2等上：4，2等中：5，2等下：6，等外上：7の7段階評価をした.



第17図 麦類の稈長と倒伏程度.

調査地，調査年，品種は第19表の宇都宮（農業試験場）. 倒伏程度は0（無）～5（甚）の6段階で評価した. \*, \*\*は5%，1%水準で有意であることを示す.

第21表 麦種別，年次間の生育，収量の安定性.

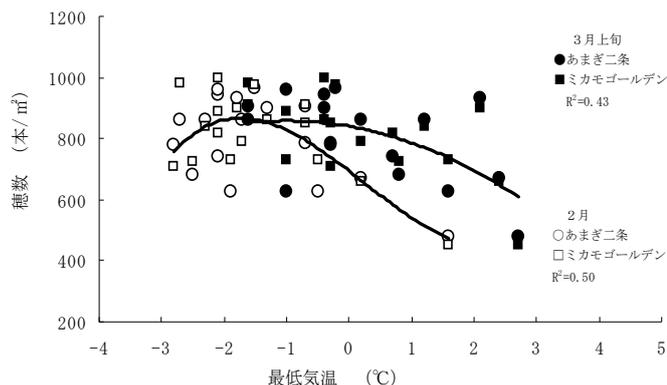
品種名	茎立期 (月日)	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	倒伏 程度	収量 (kg/a)	千粒重 (g)	容積重 (g/L)	外観 品質
あまぎ二条	3/14	4/19	6/ 2	88.9	5.6	798	0.9	42.0	37.0	663	3.5
	10.6	5.2	4.5	8.9	6.7	17.7	119	18.5	6.1	4.2	39.6
ミカモ ゴールドデン	3/11	4/16	5/31	88.7	5.0	813	0.5	38.0	38.0	656	4.1
	10.4	6.6	4.6	6.9	8.2	16.9	197	20.2	7.3	4.2	44.3
シュンライ	3/24	4/20	6/ 2	95.9	4.5	462	0	54.7	34.1	625	3.4
	5.1	4.4	3.9	4.0	6.8	17.6	-	16.8	9.9	7.6	37.4
農林61号	3/22	4/29	6/16	97.1	8.2	563	1.6	45.1	38.8	777	2.1
	11.3	4.9	4.8	5.7	7.7	16.2	84	13.9	6.1	3.1	51.4

第19表の宇都宮（農業試験場）の14～19年間の平均値. 茎立期，出穂期，成熟期の下段は標準偏差，それ以外は変動係数を示す. 倒伏程度は0（無）～5（甚）. あまぎ二条，ミカモゴールドデンの収量は粒厚2.5mm以上の整粒重，シュンライ，農林61号の収量は粒厚2.0mm以上の子実重を示す. 外観品質は1（上上）～6（中下），7（規格外，ビール麦は等外上）.

第22表 麦の時期別気象要因と生育，収量構成要素の関係.

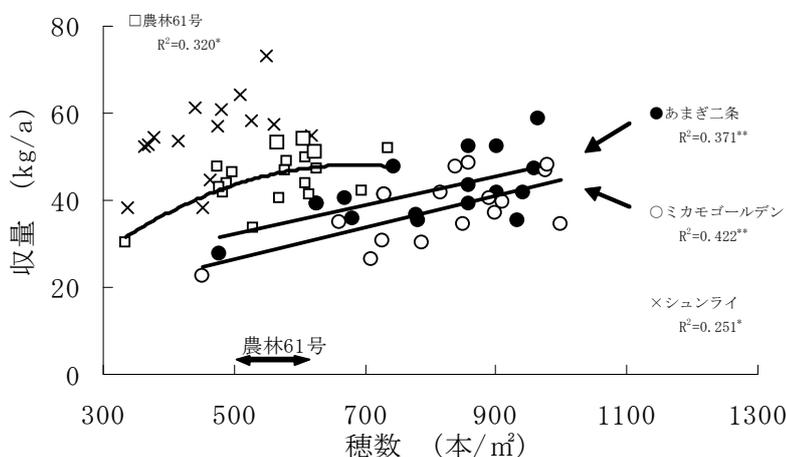
形質	品種名	気象	寄与率	11月	12月	1月	2月	3月			4月			5月			6月	
								上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中
稈長	あまぎ二条	降水量(mm)	0.60**								5*	13**	13**					
	ミカモゴールドデン	最高気温(°C)	0.71**	9*				6*						-0.58	0.74	0.73		
	シュンライ	最低気温(°C)	0.28*	-0.67														
穂数	あまぎ二条	日射量(MJ/m <sup>2</sup> )	0.58**							5*	18**							
	ミカモゴールドデン	降水量(mm)	0.58**															
	シュンライ	日射量(MJ/m <sup>2</sup> )	0.58**															
	農林61号	日射量(MJ/m <sup>2</sup> )	0.59**															
容積重	シュンライ	最低気温(°C)	0.50*															
千粒重	あまぎ二条	降水量(mm)	0.49**															
	ミカモゴールドデン	降水量(mm)	0.51**															
	シュンライ	最低気温(°C)	0.73**															
	農林61号	降水量(mm)	0.68**															

調査地，調査年，品種は第19表の宇都宮（農業試験場）. 上段はF値，下段は偏相関係数. \*\*, \*は1%，5%水準で有意であることを示す. 収量，外観品質に及ぼす影響が強い気象要因を重回帰分析（注：Excel多変量解析ver4.0）により抽出した. 説明変数に用いた項目は，11月～6月の降水量，気温，日射量で，その中からF値が2.0を規準とした増減法により選択した. 降水量，気温及び日射量は宇都宮地方気象台の1988～2007年のデータを用いた. 3～6月は旬ごとに気象要因と農業形質の関係が異なることがあったので旬別とし，気温と日射量は日当たりの平均値，降水量は10日間の合計値を用いた. 気温は日平均気温，日最高気温，日最低気温のうち最も寄与率が高いものを記した.

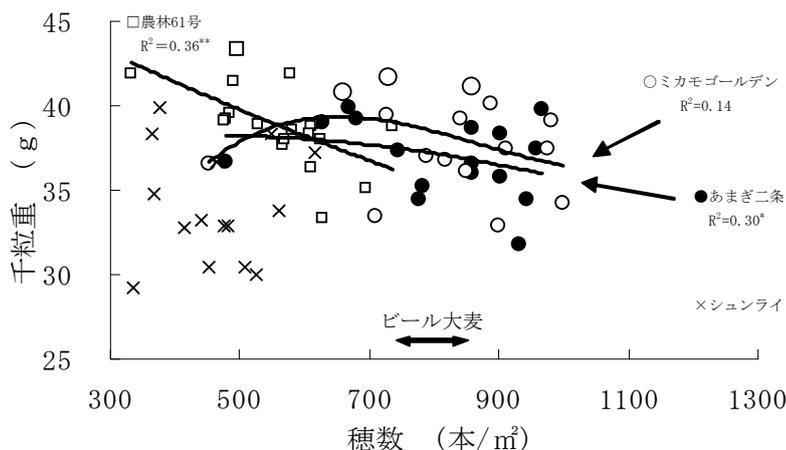


第18図 2月，3月上旬の最低気温と穂数の関係。

農業試験場（宇都宮）. あまぎ二条，ミカモゴールドデン.



第19図 麦類の穂数と収量.



第20図 麦類の穂数と千粒重.

調査地，調査年，品種は第19表の宇都宮（農業試験場）. あまぎ二条，ミカモゴールドデンの収量は粒厚2.5mm以上の整粒重，シュンライ，農林61号の収量は粒厚2.0mm以上の子実重を示す.

六条大麦シュンライの稈長は収量，外観品質に及ぼす影響が強く，稈長は長いほど多収で，外観品質は優れた（第20表）. 稈長が100cm程度までは，第19表の全調査地で倒伏がほとんど見られず，シュンライの稈長の適正値は100cm程度と考えられる. 一方，シュンライの倒伏と下位節間伸長期に相当する4月上旬の最低気温との間には正の相関（ $r=0.49^*$ ，表は省略）が認められ，4月上旬の最低気温は高いほど倒伏程度が増した. 小麦農林61号の稈長と倒伏程度の間には正の相関関係が認められ，稈長は95cmを超えると，倒伏程度が徐々に増えた（第17図）.

### 3) 穂数

ビール大麦あまぎ二条の穂数に及ぼす気象要因は日射量で，分けつ盛期に相当する3月中旬の日射量は少ないほど，出穂前4月中旬の日射量は多いほど穂数は多かつた（第22表）.

3月中旬の日射量と乾燥した寒風の間には有意な正の相関関係（ $r=0.51^{**}$ ，表は省略）があり，3月中旬の乾燥した寒風があまぎ二条の穂数の減少に影響を及ぼしたものと考えられる. 六条大麦シュンライ，小麦農林61号の穂数も3月中旬の日射量は少ないほど，穂数は多かつた. ミカモゴールドデンの穂数に及ぼす気象要因は降水量で，3月中旬の降水量は少ないほど穂数は多かつた. 栃木県において適正な穂数を確保するためには，冬季3月の日射量，乾燥した寒風，降水量に応じて茎数の制御を行うことが効果的であると考えられる. 明渠などの排水対策，畦立て栽培，踏圧（麦踏み）をし，麦の生育に応じて追肥，土入れ等の技術で適正な穂数を確保する必要がある（全国農業協同組合中央会 1983）.

あまぎ二条，ミカモゴールドデン両品種とも最低気温と穂数の関係には適正値が認められ，2～3月上旬の最低気温は-2～0℃と考えられる（第18図）. 野田ら（1955）は，冬期の気温上昇によって分けつ数，穂数が減少し，減収すると報告しており，本調査においても最低気温と分けつ数の間には同様な関係が認められた.

小麦農林61号の穂数と収量の間には正の相関関係が（第19図），穂数と千粒重の間には負の相関関係が認められた（第20図）. この関係から農林61号の穂数の適正値は，収量400～500kg/10a，千粒重38～40gを目標にする

と、500~600本/m<sup>2</sup>と考えられる。松江ら(2000)、田谷ら(1981)は農林61号の低収要因は、生育前半の高温多雨による穂数不足に伴う粒数減少と報告しており、本章においても穂数と収量の関係は同様であった。

#### 4) 千粒重

あまぎ二条、ミカモゴールドンの千粒重に及ぼす影響が強い気象要因は、5月中旬の降水量で、降水量は少ないほど千粒重は重かった(第22表)。あまぎ二条、ミカモゴールドンの穂数と収量の間には正の相関関係が認められ(第20表、第19図)、穂数と千粒重の間には適正なレベルがあると推察できる(第20図)。この関係から、あまぎ二条、ミカモゴールドンの収量と千粒重が高位安定する穂数の適正值は、750~850本/m<sup>2</sup>と考えられる。吉田(1977)は麦類の耐湿性は節間伸長期と登熟期に最も弱く、浜地・吉田(1989)はビール大麦の低収要因は多雨による穂数不足が主であり、さらに多雨に伴う千粒重や整粒歩合の低下によると報告している。栃木県においても3月中旬の降水量と穂数、5月中旬の降水量と千粒重の関係は、吉田(1977)、浜地・吉田(1989)の報告と一致していた。

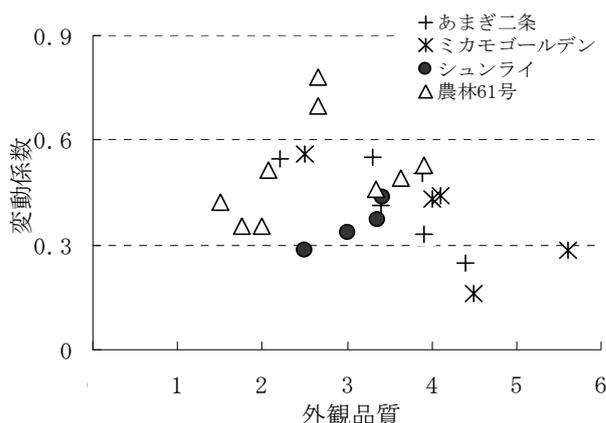
#### 5) 容積重

六条大麦シュンライの容積重に及ぼす影響が強い気象要因は、5月上~中旬の最低気温で、低い方が容積重は重かった(第22表)。千粒重も5月中旬の最低気温は低い方が重かった(第22表)。六条大麦シュンライの容積重、千粒重は3麦種の中で最も軽く変動も大きく(第21表)、千粒重の変動へ及ぼす5月中旬の最低気温の寄与率は大きかった(第22表)。外観品質3.0(上下)を目標にすると、容積重の適正值は650g/L以上と考えられる(第20、21表)。松江ら(2000)は登熟期の高温により結実日数が短縮し、結実日数の短縮により未熟粒が増加すると報告している。本調査においても5月上~中旬の最低気温と、容積重、千粒重の間には同様な関係が認められた。また、シュンライの容積重は4月上旬の最低気温が高いほど、重かった(第22表)。これは、出穂前20日間は穎花の数や大きさが決定する時期であることから、4月上旬の最低気温が穎花の発達に影響したのと考えられる。

本章において、麦類の農業形質による収量、外観品質の変動要因と、気象要因の及ぼす影響が強い時期を明らかにした(第20、22表)。収量、外観品質を変動させる農業形質は、麦種によって違っていた。収量の変動要因として影響が強い農業形質は、ビール大麦あまぎ二条は穂数、千粒重で、ミカモゴールドンは稈長、穂数、千粒重、六条大麦シュンライは稈長、倒伏、容積重、小麦農林61

号は穂数であった。出穂前後の4月下旬の降水量は少なく、最高気温は高く、最低気温は低いほどあまぎ二条、ミカモゴールドン、シュンライの稈長は長くなった。また、あまぎ二条の稈長に及ぼす降水量の時期は4月下旬~5月中旬とミカモゴールドン、シュンライに比べて長期間であった。あまぎ二条、シュンライ、農林61号の穂数は、3月中旬の日射量や乾燥した寒風が少ないほど多かった。一方、ミカモゴールドンの穂数は3月中旬の降水量は少ないほど多かった。穂数に及ぼす降水量や日射量の時期は、3麦種間で違いは少なく、3月中旬の分けつ期であった(第22表)。あまぎ二条、ミカモゴールドン、農林61号の千粒重に及ぼす影響が強い降水量の時期は登熟期の5月中旬で、降水量は少ないほど千粒重は重かった。シュンライの千粒重の変動要因も5月中旬の最低気温で、最低気温は低いほど千粒重は重かった。千粒重に及ぼす降水量、最低気温の時期は、3麦種間で違いは少なく、5月中旬の登熟期であった(第22表)。Wignarajah(1989)は降雨による湿害について、山崎(1952)は冬期、春季の湿害が根の呼吸の減退や障害を介して地上部の生育阻害に影響を及ぼしていると報告している。栃木県の麦作においては、2~3月、5月の降水量が多いことが、収量、外観品質の阻害要因になることが明らかとなった。したがって、湿害回避のための耐湿性品種の育成、明渠や暗渠による排水、地下水位が高いほ場での畦立て播種等の技術開発と現場への普及が有効と推察される。

麦類の外観品質の変動要因として影響が強い農業形質は、ビール大麦あまぎ二条が稈長、出穂期で、シュンラ



第21図 地域別外観品質と変動係数。

調査地、調査年、品種は第19表。外観品質は1(上上)~6(中中)、7(規格外、ビール麦は等外上)。外観品質の年次間の変動係数は、標準偏差/平均で、小さいほど安定性が高い。

イが容積重であった。あまぎ二条の稈長は短いほど、外観品質が優れた（第20表）。六条大麦シュンライの容積重に及ぼす影響が強い最低気温の時期は5月上～中旬で、最低気温は低いほど容積重が重くなった（第22表）。シュンライの外観品質は、稈長のこれまでの平均値96cmより長いほど優れていた（第20表）。

### (3) 県内各地の麦類外観品質の安定性

麦種別、調査地別の外観品質の平均と変動係数（安定性）の値を第21図に示した。調査地間で外観品質の安定性に違いがみられた。小麦は高品質で中程度に安定していることも、調査地によって不安定なことや中程度の外観品質で中程度に安定していることもあった。ビール大麦は中程度の外観品質で中程度に安定していることも、調査地によって安定して外観品質が劣ることもあった。調査年がほぼ等しい農業試験場（宇都宮）の外観品質の安定性を麦種間で比べると、あまぎ二条の変動係数は0.40、ミカモゴールドンは0.44、シュンライは0.37、農林61号は0.51で、シュンライの変動係数が最も小さかった。ビール大麦の安定して外観品質が劣る調査地、小麦の外観品質が不安定な調査地は県北と県南を中心に分布し、品質向上のためには適正値などの栽培指針が必要と考えられる。

### (4) 品質安定のための技術指針

本章の以上の実験結果から、外観品質が不安定な地域の麦品質を高位安定させるために、収量、外観品質の変動に影響を及ぼす農業形質を明らかにし、収量、外観品質の変動要因のうち出穂期、成熟期、稈長、穂数の現場に対応できる指針を作成した。

ビール大麦あまぎ二条、ミカモゴールドンの出穂適期は4月15～23日、成熟適期は5月31～6月6日（第16図）、稈長は89cm以下が望ましく（第17図、第20表）穂数の適正値は750～850本/m<sup>2</sup>（第19、20図）と考えられる。六条大麦シュンライの稈長は100cm程度と、現在の平均値より長くした方が高品質になると考えられる（第17図、第20表）。シュンライの茎立期、成熟期及び外観品質は、ビール大麦、小麦に比べて安定しており、広域に適応していると考えられる（第21表、第21図）。シュンライの容積重の適正値は650g/L以上と考えられる。小麦農林61号の適正な稈長は95cm以下（第16図）、穂数の適正値は500～600本/m<sup>2</sup>（第19、20図）と考えられる。農林61号の出穂期～成熟期の日数は現在の平均値より短くした方が、外観品質が良好であった（第20表）。麦種、品種間で穂数、千粒重に及ぼす日射量、降水量、最低気温などの気象要因の時期はほぼ一致していた（第22表）。ただし、麦種ごとに収量、外観品質の変動に及ぼす農業形質

の要因は違い（第20表）、出穂期、成熟期、稈長、穂数の適正値も違っていた。

以上のことから、気象変動に対する麦類千粒重の安定のためには、麦種の組合せによる危険分散の効果が期待できる。5月の降水量、最低気温が千粒重に及ぼす影響は、麦種間で違った。六条大麦シュンライの千粒重、容積重に及ぼす5月の最低気温の影響は大きい、降水量の影響は少なかった。一方、ビール大麦あまぎ二条、ミカモゴールドン、小麦農林61号の千粒重に及ぼす降水量の影響は大きく、次いで最低気温の影響（偏相関係数-0.425～-0.884）も大きかった。麦類の耐湿性には品種間差異があり、近年のビール大麦の耐湿性は大麦のなかでも劣る（浜地ら 1985）。茎立期、出穂期が不安定な地域には、茎立期が安定していて、強稈で適正な稈長が長い六条大麦シュンライの作付けを図る。気象災害回避のためには、ビール大麦、小麦と六条大麦を組合せた作付けが効果的であると考えられる。このように高品質安定多収のために、収量、外観品質の変動要因を解析し、農業形質の適正値を明らかにでき、地域特性を生かしたニーズに応える麦生産のためのより有効な指針が得られた。

## 第2節 まとめ

十数年間の栃木県内の現地試験を行った結果から、麦類の収量と外観品質の変動要因を検討した。収量の変動要因は、稈長、穂数、倒伏、容積重、千粒重であった。穂数の変動要因として影響が強い降水量と日射量の時期は分けつ期で、千粒重の変動要因として影響が強い降水量と最低気温の時期は登熟期で麦種による違いは少なかった。麦類の外観品質の変動要因は、出穂期、稈長、容積重であった。

外観品質の変動には地域間差異があった。また、出穂期、成熟期、稈長、穂数など要因ごとの適正値を明らかにした。すなわち、ビール大麦あまぎ二条、ミカモゴールドの出穂期は4月15～23日、成熟期は5月31日～6月6日、稈長は89cm以下、穂数は750～850本/m<sup>2</sup>が適正値であった。六条大麦シュンライの稈長は100cm程度、容積重の適正値は650g/L以上であった。小麦農林61号の稈長は95cm以下、穂数は500～600本が適正値であった。本章の解析の結果、栃木県の麦作において収量、外観品質が不安定な地域へは、茎立期、出穂期が安定している六条大麦の導入や組合せ、3～5月の湿害対策、耐湿性が強い品種の作付け、適正な生育量を確保するための播種量、播種時期、施肥窒素量、追肥量などの肥培管理があると推察された。

## 第5章 水稻育成品種の遺伝的背景と農業形質との関係

日本で水稻の交配育種が開始されてからほぼ100年が経ち、系譜は非常に複雑になっている。今日ではコシヒカリなどの良食味米の生産においても、低コスト化技術、安全性を重視した減農薬・減化学肥料生産技術が必要になっており、倒伏しやすく、病気に弱い品種は向かない（井辺 1991）。品種育成において良食味、多収、耐倒伏性、病虫害抵抗性を合わせ持ち、実需者のニーズに応える特性を集積するためには、遺伝的多様性を拡大しながら、的確な交配母本を選定する必要がある。品種の家系を分析するために、家系図中の祖先数、最終祖先まで遡る世代数、主な品種との近縁係数を計算し、遺伝的背景を数量的に扱うことができる。重宗ら（2006）は北陸育成系統の祖先数の平均は1122で、最近10年間で2倍に増加し系譜は複雑になっているが、愛国、旭（朝日）、器量好、上州、大場、亀の尾の遺伝的寄与率（近縁係数の累積）は72%と、遺伝資源の範囲は狭いと報告している。関東育成系統の同6祖先品種の遺伝的寄与率は73%（太田ら 2006）、福岡育成系統は69%（大里・吉田 1996）、福島育成系統も81%と高い（佐藤・吉田 2007）。これら4育成地の育成系統の遺伝資源は少数の祖先品種で大部分が占められていた。

前章までは主に高品質、安定のための栽培法を探ってきた。もちろん栽培法改善とともに大切なのは高品質、安定のための新品種の改良や品種の選定である。そこで、本章では栃木育成系統の優良形質を集積するために、育成地における育成系統の遺伝的背景や多様性を検討した。さらに、水稻の外観品質の安定化、白未熟粒発生を軽減する栽培法や品種育成に対応するために、現地試験結果を用いて、遺伝的背景と白未熟粒率、食味評価、農業形質との関係を解析した。高品質米の安定生産のための効果的な栽培法、品種育成法を検討した。

## 第1節 育成系統の祖先数，祖先品種の寄与率，主要品種との近縁度

### I 緒言

栃木県は1987年に水稲育種を開始してから，良食味，高品質を重視した育種を行い，晴れすがた，なすひかり，とちぎ酒14を育成した．栃木育成系統の祖先数，最終祖先まで遡る世代数，ある品種との近縁係数を計算し，遺伝資源を数量的に表し特徴を分析した．また，祖先品種の遺伝的寄与率を計算し，遺伝資源の構成を検討した．

### II 材料と方法

品種は栃木県が育成した栃木1号から栃木20号の18系統（第23表）を用いた．特殊用途である半糯系統の栃木d8号と酒米のとちぎ酒14は除いた．育成系統の交配両親名データベースは，水稲育成品種・系統の来歴データベース（農業技術研究機構作物研究所 2004）を用いて作成した．純系淘汰品種，変種，突然変異品種は原品種と同一とした．旭と朝日，大場と森田早生，器量好と撰一，神力は同一品種とした．両親に旧系統名が用いられている場合は現品種名に統一した．

家系分析は吉田（2009）が作成した家系分析Web（Windows版家系分析用Prologプログラム）を用いた．本プログラムはURL；<http://www.d1.dion.ne.jp/~tmhk/yosida.htm>に公開されている．系譜図中の祖先の総数（総祖先数），総祖先のうち重複する品種を除いた数（以下，除く共通祖先），系譜図中の最終祖先までの世代数の中で最大の数（世代数），主要品種との近縁係数を計算した．

### III 結果と考察

1992年に配布を開始した栃木1号からなすひかりまでの総祖先数は160～550であった．2000年以降に配布を開始した栃木11号から栃木20号までの総祖先数は1100～2600と1990年代の2倍以上になり，系譜は複雑になった（第22図、第24表）．世代数の平均も13.6から17.4へ増加し，2000年以降配布した系統の共通祖先を除いた祖先数は115～148，平均131であった．中央農業総合研究センター北陸研究センターも1990年代に育成した系統に比べ，その後10年間に育成した系統の総祖先数は2倍以上の1122に増加したと報告している．栃木育成系統の祖先数の増加も，ほぼ一致していた．これは育成途中の栃木番号やう系番号といった若い世代の系統を，積極的に交配親に用いた結果と考えられる．また，飯田・大谷（2008）は，栃木育成系統への愛国，大場，旭，器量好，上

州，亀の尾6品種の遺伝的寄与率は79.4%で，福岡育成系統の68.7%，北陸育成系統の72.2%，近年育成の関東22系統の73%よりも大きく，栃木育成系統の遺伝資源は狭いと指摘している．

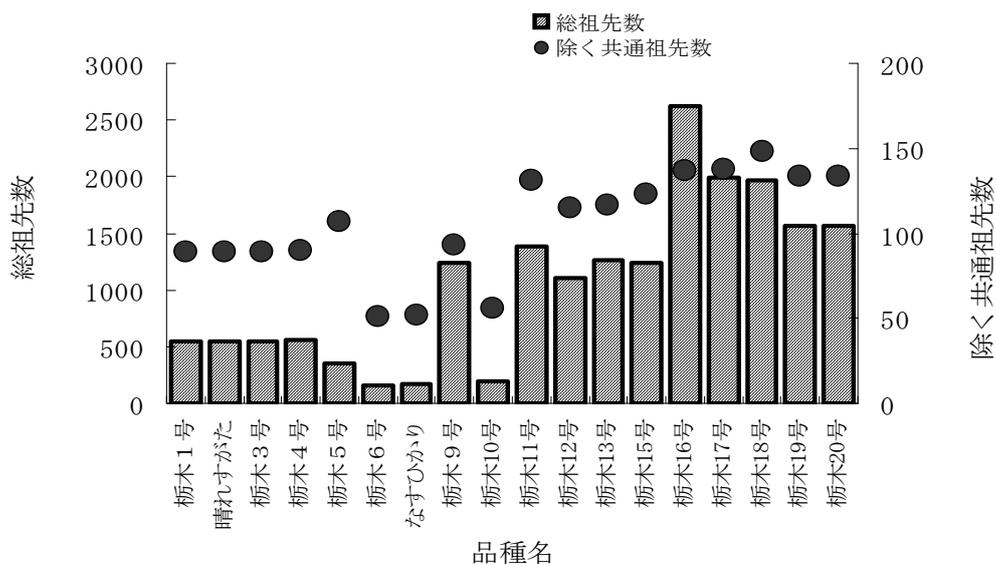
栃木育成18系統と主な祖先品種との近縁度を，配布年別に第23図に示した．18系統と最終祖先との近縁係数の平均は，対愛国が0.201，以下大場0.150，旭0.139，器量好0.124，上州0.117，亀の尾0.087の順であった．これは北陸育成系統に比べて亀の尾の寄与率が低く，福島育成系統に比べて旭，亀の尾の寄与率が低かった．かつての良食味品種である西日本の旭，東日本の亀の尾の寄与率が育成地によって異なっていた．栃木育成系統は，福岡育成系統，関東育成系統に比べて大場との近縁度が高かった．

コシヒカリ，ひとめぼれ，月の光などとの近縁度は近年低くなっているが，古い品種農林22号との近縁係数は0.442と依然高かった．愛国 $0.201 \pm 0.024$ ，旭 $0.139 \pm 0.023$ ，亀の尾 $0.087 \pm 0.015$ との近縁係数は，コシヒカリとの近縁係数 $0.654 \pm 0.104$ に比べて変動が少なく安定していた．

第23表 育成系統現地調査の供試品種.

品種名	旧系統名	両親 (母/父)	配布 開始年	供試 数	供試 年
栃木1号	う系4	朝の光/コシヒカリ	1992	4	1990~1992
晴れすがた	う系5	朝の光/コシヒカリ	1992	7	1990~1996
栃木3号	う系2	朝の光/コシヒカリ	1993	18	1990~1995
栃木4号	う系19c	あかね空/コシヒカリ	1994	15	1991~1995
栃木5号	う系58	あきたこまち/星の光	1995	28	1994~1998
栃木6号	う系63	コシヒカリ/初星	1996	4	1994~1997
なすひかり	う系82	コシヒカリ/愛知87号	1998	39	1995~2003
栃木9号	う系97	栃木4号/祭り晴	1999	6	1996~2001
栃木10号	う系104	ひとめぼれ/う系53	2000	4	1997~2000
栃木11号	う系112	東北156号/栃木3号	2000	3	1998~2000
栃木12号	う系117	う系59/ひとめぼれ	2001	4	1999~2002
栃木13号	う系120	青系129号/あさひの夢	2002	12	1999~2004
栃木15号	う系130	はたじるし/中国142号	2004	17	2001~2006
栃木16号	う系155	栃木11号/栃木9号	2005	19	2004~2008
栃木17号	う系163	栃木11号/中国101号	2006	9	2005~2007
栃木18号	う系177	栃木12号/奥羽371号	2008	5	2007~2008
栃木19号	う系181	う系136/なすひかり	2008	5	2007~2008
栃木20号	う系184	う系136/なすひかり	2008	5	2007~2008
コシヒカリ	越南17号	農林22号/農林1号	1953	94	1994~2005
ひとめぼれ	東北143号	コシヒカリ/初星	1988	70	1994~2005
あさひの夢	愛知93号	あいちのかおり//月の光/愛知65号	1992	17	1999~2005

供試品種は主食用で現地調査に供試したもの. 両親のうち, 純系淘汰品種, 変種, 突然変異品種は現品種名にした. 両親のうちう系53はアキニシキの突然変異, う系59はあかね空/西海190号, う系136は栃木11号の選抜品種. 供試数は現地及び栃木県農業試験場の供試年内の早植栽培数 (冷害年の1993年は除いた).



第22図 栃木育成18系統の総祖先数, 除く共通祖先数.

第24表 栃木育成系統の祖先数，世代数，主な品種との近縁係数.

品種名	除共通			対											
	祖先数	祖先数	世代数	コシヒカリ	農林1号	農林22号	ひとめぼれ	月の光	日本晴	愛国	大場	旭 (朝日)	器量好	上州	亀の尾
栃木1号	542	89	14	0.637	0.308	0.468	0.547	0.475	0.397	0.203	0.137	0.148	0.136	0.125	0.074
晴れすがた	542	89	14	0.637	0.308	0.468	0.547	0.475	0.397	0.203	0.137	0.148	0.136	0.125	0.074
栃木3号	542	89	14	0.637	0.308	0.468	0.547	0.475	0.397	0.203	0.137	0.148	0.136	0.125	0.074
栃木4号	556	90	15	0.818	0.419	0.499	0.672	0.455	0.318	0.227	0.193	0.136	0.131	0.125	0.100
栃木5号	358	107	13	0.612	0.303	0.453	0.501	0.317	0.284	0.256	0.133	0.208	0.105	0.099	0.066
栃木6号	162	51	12	0.796	0.417	0.473	0.796	0.299	0.225	0.215	0.188	0.116	0.129	0.125	0.109
なすひかり	176	52	13	0.898	0.474	0.502	0.672	0.285	0.227	0.232	0.219	0.121	0.127	0.125	0.117
栃木9号	1236	93	16	0.626	0.306	0.454	0.558	0.559	0.354	0.197	0.134	0.138	0.136	0.125	0.079
栃木10号	192	56	13	0.718	0.357	0.494	0.764	0.321	0.243	0.232	0.156	0.152	0.158	0.156	0.086
栃木11号	1388	131	17	0.526	0.274	0.382	0.476	0.339	0.292	0.166	0.121	0.123	0.109	0.101	0.075
栃木12号	1102	115	17	0.607	0.291	0.448	0.686	0.373	0.298	0.179	0.129	0.123	0.135	0.127	0.073
栃木13号	1260	117	16	0.553	0.286	0.403	0.571	0.366	0.262	0.192	0.122	0.178	0.107	0.100	0.080
栃木15号	1238	123	17	0.623	0.372	0.412	0.560	0.246	0.209	0.193	0.168	0.133	0.104	0.100	0.106
栃木16号	2626	137	18	0.576	0.290	0.418	0.517	0.449	0.323	0.182	0.127	0.130	0.122	0.113	0.077
栃木17号	1988	138	18	0.516	0.279	0.380	0.502	0.311	0.239	0.168	0.119	0.125	0.111	0.103	0.088
栃木18号	1964	148	18	0.565	0.306	0.404	0.627	0.187	0.149	0.175	0.134	0.137	0.114	0.107	0.097
栃木19号	1566	134	18	0.712	0.374	0.442	0.611	0.313	0.264	0.199	0.170	0.122	0.118	0.113	0.096
栃木20号	1566	134	18	0.712	0.374	0.442	0.611	0.313	0.264	0.199	0.170	0.122	0.118	0.113	0.096

## 第2節 育成品種の農業形質と主要品種との近縁度の関係

### I 緒言

前節の家系分析結果を用いて、収量、外観品質などの量的形質と品種の系譜を解析した。瀬古（1979）は各地域には中心的役割を担う品種があり、それが優れた母本であるかどうかは育種家が交配後代の選抜経験を通して評価していると報告している。今後の母本の選定や育種方針の決定のために、育成系統の現地調査データを用いて、栃木の品種育成に影響を与えている遺伝資源を検討した。

### II 材料と方法

第23表に示した栃木1号から栃木20号の18系統を用い、供試表における各品種の平均値を第25表に示した。農業形質の値は栃木県農業試験場、現地の早植栽培の供試年における調査結果を用いた。冷害年の1993年は除いた。第25表に示す農業形質20項目と系譜との関係を解析した。農業形質に関する調査項目とその調査方法は農林水産省の調査基準に準じ、倒伏程度、病害虫の発生程度は0（無）～5（甚）の6段階で評価した（主要農作物種子問題研究会 1987）。関東農政局栃木農政事務所が、玄米の外観品質を農林水産省の方法（全国瑞穂食糧検査協会

2008）に基づき評価した。食味官能検査は栃木県農業試験場において、場内の標準栽培産米を、農業試験場職員パネラー15～25名が基準品種初星と比較しながら、-3（劣る、柔らかい、粘らない）～+3（優る、硬い、粘る）の7段階評価を行った。第23表の供試年の食味総合、外観、香り、味、硬さ、粘りの平均を品種別に計算し、主な品種との近縁係数の関係を解析した。

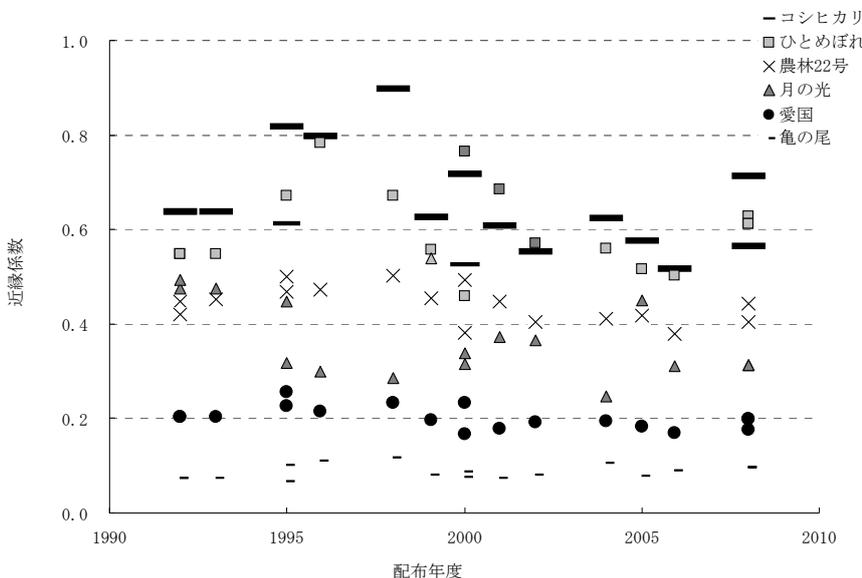
### III 結果と考察

栃木育成18系統の農業形質、現地の評価は第25表に示した。農業形質と主な品種との近縁度（近縁係数）のうち、相関関係が強い項目を第26表に示した。到穂日数は旭（朝日）との近縁度が高いほど長かった。ただ品種数は少ないが育成途上品種の中にはひとめぼれ～コシヒカリ熟期の早生品種に旭（朝日）との近縁度が高い品種があった。穂長は月の光、日本晴との近縁度が高いほど長かった。全重、玄米重は器量好、上州との近縁度が高いほど軽く、愛国との近縁度も高いほど玄米重は軽かった。玄米千粒重は器量好、月の光、日本晴との近縁度が高いほど軽かった。玄米重と玄米千粒重の間にも正の強い相関があった（第27表）。熟期の早晩、穂形、収量性、玄米千粒重の向上を狙った育種においては、愛国、旭、月の光、日本晴、器量好、上州との近縁係数を参考にす

れば、長年の選抜経験がなくても適正な交配母本を選定でき、効率的な品種育成が行えると考えられる。

玄米重、外観品質と農業形質との関係も有意であった（第27表）。出穂期、成熟期と玄米重の間には正の相関が、出穂期、成熟期と外観品質の間には負の相関が認められ、出穂期、成熟期は遅いほど多収で、外観品質は優れていた（第24図）。栃木県の早植栽培において、多収で高品質になる頻度が高い出穂期は8月11日ごろ、成熟期は9月28日であった。栃木育成

系統の晩熟で、良質性の遺伝資源は旭（朝日）から、多収で玄米千粒重が重い遺伝資源は亀の尾から（第26表）引き継いでいることが窺える。亀の尾の特性は耐冷性が強く、少ない施肥量でも多収なことである（大沼 1995）。コシヒカリとの近縁度は高いが、旭（朝日）、亀の尾の孫に相当する農林22号、農林1号と栃木育成系統との平



第23図 配布年度別の栃木育成18系統と主な祖先品種との近縁係数。

供試品種は第23表の18系統。近縁係数は吉田（2009）が作成した家系分析Web（Windows版家系分析用Prologプログラム）を用いて計算した。

第25表 供試品種の農業形質，現地の評価．

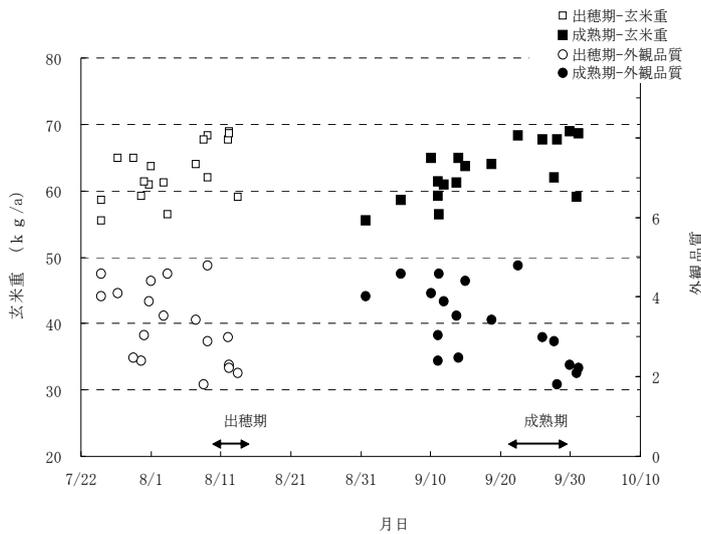
品種名	現地	到穂 日数 日	出穂 期 月日	成熟 期 月日	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m <sup>2</sup>	諸 障 害						全重 kg/a	玄米 重 kg/a	同左 比率 %	屑米 重 kg/a	玄米 千粒重 g	外観 品質	食味 総合	評価
								いもち病		紋枯 病	白葉 枯病	縞葉 枯病									
								倒伏	葉 穂												
栃木1号	9.0	107	7/31	9/12	79	19.7	396	0.1	0.2	0.3	0.7	0.0	0.0	161	60.8	102	3.0	22.0	3.9	0.52	3.3
晴れすがた	8.3	109	7/30	9/11	81	19.8	371	0.2	0.1	0.5	0.5	0.0	0.0	164	59.2	99	2.9	20.4	2.4	0.16	3.1
栃木3号	5.8	112	8/ 2	9/13	85	20.7	383	2.1	0.7	1.0	1.0	0.4	0.0	173	61.1	107	2.2	22.3	3.5	0.29	2.5
栃木4号	6.5	114	8/ 3	9/11	86	21.0	386	2.0	0.9	0.9	0.9	0.2	0.0	155	56.5	101	3.2	20.8	4.6	0.32	2.6
栃木5号	5.6	122	8/13	9/30	80	20.7	369	0.5	0.4	0.5	0.7	0.6	0.0	171	59.0	98	3.5	21.8	2.1	0.05	2.5
栃木6号	8.0	121	8/12	9/30	91	20.4	373	1.5	0.0	1.2	0.1	0.0	0.2	186	68.8	108	2.0	23.2	2.3	-0.06	1.9
なすひかり	5.1	109	7/31	9/11	83	19.1	413	0.5	0.2	0.4	0.7	0.1	0.0	159	61.3	103	1.8	22.9	3.0	0.43	2.7
栃木9号	8.0	116	8/ 9	9/27	80	21.9	369	0.4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.1	178	62.0	100	3.2	21.6	2.9	0.74	2.5
栃木10号	8.0	100	7/25	8/31	78	18.4	414	0.5	0.1	0.4	0.8	0.0	0.0	144	55.6	97	2.0	22.2	4.0	-0.45	2.5
栃木11号	8.0	106	8/ 1	9/15	81	21.1	394	0.6	0.3	0.7	1.4	0.0	0.0	170	63.7	106	1.9	23.2	4.4	0.10	2.3
栃木12号	8.0	100	7/25	9/ 5	81	20.4	444	1.6	0.5	0.3	2.0	0.0	0.0	165	58.6	113	3.9	21.0	4.6	0.74	2.3
栃木13号	7.7	115	8/ 7	9/18	88	19.9	387	0.7	0.1	0.3	0.9	0.0	0.0	202	64.0	108	1.4	24.3	3.4	0.60	2.6
栃木15号	4.7	105	7/27	9/10	82	18.4	388	1.1	0.1	0.2	0.8	0.1	0.0	184	64.9	105	2.2	23.7	4.1	0.26	2.9
栃木16号	8.4	123	8/12	9/26	81	20.8	352	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.0	209	67.6	104	5.6	23.3	3.0	-0.06	2.9
栃木17号	7.4	119	8/ 9	9/22	84	20.3	374	0.6	0.1	0.3	0.5	0.0	0.0	197	68.3	105	0.9	25.4	4.8	0.14	2.2
栃木18号	4.8	109	7/29	9/14	74	19.6	416	0.1	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	150	64.9	101	3.4	23.6	2.5	0.41	2.6
栃木19号	9.0	119	8/ 8	9/28	91	19.5	395	0.3	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	185	67.7	100	2.2	24.9	1.8	0.13	2.4
栃木20号	9.0	123	8/12	10/1	88	19.1	451	0.1	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	191	68.5	102	2.4	25.0	2.2	0.16	2.5
平均	7.3	113	8/ 4	9/17	83	20.0	393	0.7	0.2	0.4	0.7	0.1	0.0	174	62.9	103	2.7	22.9	3.3	0.25	2.6
コシヒカリ	5.2	122	8/ 4	9/17	95	19.3	384	2.9	0.7	0.7	0.6	0.2	0.0	-	57.9	-	4.1	21.6	4.1	0.66	-
ひとめぼれ	4.2	119	7/30	9/11	83	19.4	423	1.1	0.5	0.6	1.0	0.3	0.0	-	60.9	-	1.8	22.5	3.2	0.50	-
あさひの夢	7.9	120	8/12	9/23	79	21.6	347	0.0	0.0	0.2	0.6	0.2	0.0	-	61.6	-	2.0	22.8	2.9	0.01	-

供試品種は第23表の品種．現地は第2表の1（那須，県北）～16（小山，県南）の平均値で，数字が大きいほど県南現地の割合が高いことを示す．到穂日数は播種日から出穂期までの日数．諸障害の倒伏，いもち病，紋枯病，白葉枯病，縞葉枯病は0（無）～5（甚）．玄米重の比較に用いた対照品種は，熟期別にひとめぼれ，コシヒカリ，月の光などと違う．屑米重は農業試験場産の粒厚1.75mm未満の玄米を調査した．外観品質は1（上上）～9（下下）．食味総合は3（良）～-3（劣）の7段階評価で，基準品種に初星を用いた農業試験場職員による官能検査，2008年の基準品種はあさひの夢．評価は品種の有望度を1（×），2（△），3（○），4（◎）の4段階で，農家，農業改良普及員，農業試験場の各担当者が行った．

第26表 栃木育成18系統における農業形質と主な品種との近縁度の相関係数.

農業形質	愛国	大場	旭	器量好	上州	亀の尾	月の光	日本晴
到穂日数	0.39	-0.05	0.47*	-0.46	-0.46	-0.15	-0.03	-0.01
穂長	-0.15	-0.37	0.07	-0.02	-0.15	-0.46	0.60**	0.47*
白葉枯病	0.62**	0.08	0.60**	-0.14	-0.14	-0.21	0.08	0.20
全重	-0.37	-0.24	-0.08	-0.52*	-0.54*	-0.05	0.06	-0.01
玄米重	-0.51*	-0.03	-0.44	-0.55*	-0.54*	0.33	-0.35	-0.37
玄米千粒重	-0.39	0.00	-0.26	-0.58*	-0.51	0.37	-0.57*	-0.57*

供試品種は第23表の18系統. 検討した農業形質は第25表の項目. \*, \*\*は相関係数が5%, 1%水準で有意であることを示す.



第24図 栃木育成系統の出穂期, 成熟期と玄米重, 外観品質の関係.

供試品種は第25表の18品種. 図中の出穂期, 成熟期は多収で外観品質が優れる品種の頻度が高い時期を示す.

均近縁係数もそれぞれ0.425, 0.336 (第24表)と依然高かった.

食味と主な品種との近縁係数の関係を第28表に示した. コシヒカリとの近縁度と食味関連形質の間に相関は認められなかった. 一方, 他の農林22号, 器量好, 上州との近縁度と硬さの間には正の相関があった (第28表). 粘りと器量好, 上州との間には負の相関が認められた. 農林22号は1943年に兵庫県農業試験場が育成し, 平成20年も山梨県で生産されている. 器量好は1877年に兵庫県の農業丸尾重次郎が水田で発見し, 玄米の形質を生かし, 現在も酒造好適米として生産されている (たつの市教育委員会 2005). 大里・吉田 (1996) はコシヒカリと近縁度の高い系統は食味が優れ, 一方, 太田ら (2006) はコシヒカリとの近縁度と食味, 葉いもち病の相関は弱いことを報告している. 栃木育成系統の食味レベルは高く (第25表), コシヒカリとの近縁係数も0.526~0.898と高いことから, 栃木育成系統はコシヒカリの食味の延長線上にあると考えられる.

第27表 栃木育成18系統における農業形質と玄米重, 外観品質の相関係数.

	玄米重	外観品質
出穂期	0.56*	-0.51*
成熟期	0.67*	-0.62**
稈長	0.47*	-0.21
紋枯病	-0.44	0.54*
玄米千粒重	0.82**	-0.15
玄米重	-	-0.34

供試品種は第23表の18系統. 検討した農業形質は第25表の項目. 紋枯病は0 (無)~5 (甚), 外観品質は1 (上上)~9 (下下). \*, \*\*は相関係数が5%, 1%水準で有意であることを示す.

### 第3節 育成品種の現地試験結果

#### I 緒言

生産者ニーズの把握のために、現地調査結果を用いて、栃木育成系統の農業形質と品種の評価（以下、有望度）との関係を解析した。生産者が要望する熟期、収量性、粒張り（屑米重）を解析し、生産者が求める優良品種の農業形質を検討した。また、いもち病、紋枯病が外観品質、玄米千粒重に及ぼす影響を解析し、良質米生産のために栃木育成系統に今後付与すべき耐病性を分析した。

#### II 材料と方法

1990～2008年の農業試験場を含む現地9～14か所の栃木育成18系統のデータ202を用いて、有望度と第25表の農業形質の関係を解析した。有望度は現地農家、農業改良普及員、農業試験場担当者が、1（×）～4（◎）の4段階評価で行った。

#### III 結果と考察

栃木育成系統の現地調査（n=79）の解析から、熟期はコシヒカリより早いものが10系統、遅いものが8系統で、その幅は7月25日～8月13日と広がった（第25表）。

穂長と屑米重との間にも弱い相関（ $r=0.520^*$ 、表は省略）が認められ、穂長は長いほど屑米重が重く、粒揃いが劣る傾向であった。これはコシヒカリを用いた第15表の結果から、穂長が長い栃木育成系統ほど、玄米千粒重が軽く変動が大きい2次枝梗2、3番粒などのいわゆる弱

勢穎花の割合が高まったと推察される。

栃木育成系統の葉いもち病、穂いもち病の発病程度と玄米千粒重との間には強い負の相関（各 $r=-0.816^*$ 、 $-0.813^*$ 、表は省略）が認められた。いもち病の発病程度はコシヒカリより少なかった。栃木育成系統のコシヒカリとの近縁度は高いが、葉いもち病の発病程度はコシヒカリより改善され、太田ら（2006）のコシヒカリとの近縁度と葉いもち病発病程度との相関は低いという報告と一致していた。また、紋枯病と出穂期との間には負の相関（ $r=-0.681^{**}$ 、表は省略）、紋枯病と外観品質の間には正の相関（第27表）が認められた。温暖化傾向にあり早生品種の高品質化のためには、紋枯病抵抗性の一層の強化が必要と考えられる。栃木育成18系統の玄米重、玄米千粒重の平均はあさひの夢並に多収で、重かった（第25表）。栃木育成系統はコシヒカリの遺伝資源を多く引き継ぎ良食味で、収量性、玄米千粒重についてはコシヒカリより改善していると考えられる。

現地調査における有望度と農業形質の関係を、第29表に示した。玄米重と有望度の間には強い正の相関が認められた。特に対照品種に比べて多収なほど、有望度は高まった。屑米重（粒張り）と有望度の間にも強い負の相関が認められた。成熟期が早いほど、有望度は高かった。成熟期、収量性、粒張りに関するこれらの情報は、生産者のニーズに応える品種育成の参考になると考えられる。

第28表 栃木育成18系統における食味と主な品種との近縁度の相関係数。

	コシヒカリ	月の光	日本晴	農林22号	旭	器量好	上州	亀の尾
総合	-0.09	0.30	0.21	-0.05	-0.02	-0.11	-0.19	-0.07
外観	0.03	-0.03	0.00	-0.03	-0.06	-0.17	-0.17	0.18
香り	0.26	0.34	0.21	0.28	-0.06	0.17	0.15	0.18
味	-0.11	0.37	0.30	-0.11	-0.02	-0.20	-0.29	-0.04
硬さ	0.41	0.04	0.17	0.58*	-0.08	0.55*	0.58*	0.00
粘り	-0.12	-0.02	-0.02	-0.22	-0.01	-0.47*	-0.52*	0.04

供試品種は第23表の18系統。基準品種は初星、-3（劣る、柔らかい、粘らない）～3（優る、硬い、粘る）の7段階評価で、農業試験場職員による官能検査。\*、\*\*は相関係数が5%、1%水準で有意であることを示す。

## 第4節 遺伝資源と外観品質、白未熟粒率の関係

### I 緒言

近年の整粒不足の要因である白未熟粒の発生を軽減するために、品種育成、栽培法による対応を検討した。白未熟粒が少ない品種育成のために、第11、13表に示す品種を用いて、品種の遺伝資源と白未熟粒率の関係を解析した。白未熟粒の発生要因である水分ストレス、日照不足の両条件下で白未熟粒率が少ない品種を検討した。また、白未熟粒の発生を軽減するために、栽培法特に出穂期と白未熟粒率の関係を検討した。

### II 材料と方法

供試品種と主な品種との近縁係数を、前節と同じ方法で計算し、遺伝資源と白未熟粒率の関係を解析した。第11表の45品種の白未熟粒率は、2002年に農業試験場（宇都宮）水田で発生した値を用いた。第13表の10品種の白未熟粒率は、2004年ガラス室で送風処理により発生させた値を用いた。白未熟粒率は品質判定機（RS-2000、静岡精機社）を用いて、玄米2000粒当たりの白未熟粒を計測して求めた。

さらに、2001年と2002年の外観品質の関係を検討した。2001年に102品種、2002年に103品種栽培した。このうち

#### 第29 現地調査における栃木育成系統の農業形質と評価（有望度）の相関関係。

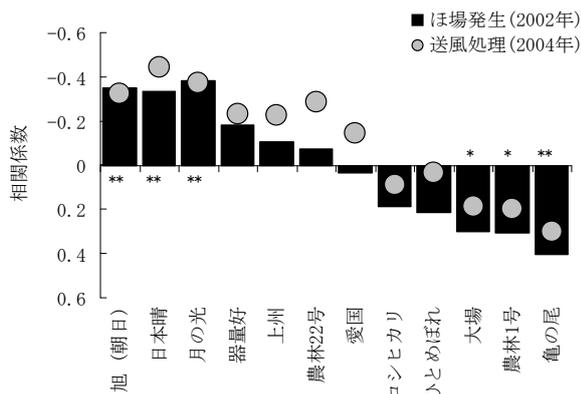
農業形質	有望度
出穂期	-0.08
成熟期	-0.14*
稈長	0.03
玄米重	0.21**
玄米重比率	0.33**
屑米重	-0.26*
玄米千粒重	-0.00
外観品質	0.01

供試品種は第23表の18系統で、供試数は202。検討した農業形質は第25表の項目。外観品質は1（上上）～9（下下）。有望度は1（×）、2（△）、3（○）、4（◎）の4段階。\*、\*\*は相関係数が5%、1%水準で有意であることを示す。

兩年とも供試した奥羽371号、初星、越南192号、中部105号、ひとめぼれ、まなむすめ、う系119、う系123、う系124、う系125、う系127、う系128、晴れすがた、コシヒカリ、キヌヒカリ、ゆめひたち、福系7442、関東209号、アキニシキ、月の光、あさひの夢、日本晴、和系137の合計23品種を用いた。また、2001年の外観品質と送風処理により発生した白未熟粒の関係は、2001年、2004年の両試験に供試した第13表中の5品種ふさおとめ、初星、ひとめぼれ、なすひかり、コシヒカリを用いて検討した。供試品種は、生産力検定試験（生検）、系統適応性検定試験（系適）、奨励品種決定調査（奨決）として供試され、耕種概要は第3章3節と同じで、反復数は2（一部の品種は3反復で6月中旬植の普通期栽培の成績を含む）である。系適の移植日は生検、奨決の1日後で、基肥窒素量4.5kg/10aを施用し、追肥は施さなかった。外観品質は関東農政局栃木農政事務所が第2章と同じ方法で調査した。検査等級の格下げ理由は、胴割粒、虫害粒、発芽粒を一部含むが、大部分は白未熟粒による整粒不足であった（注：関東農政局栃木農政事務所 1987—2003）。

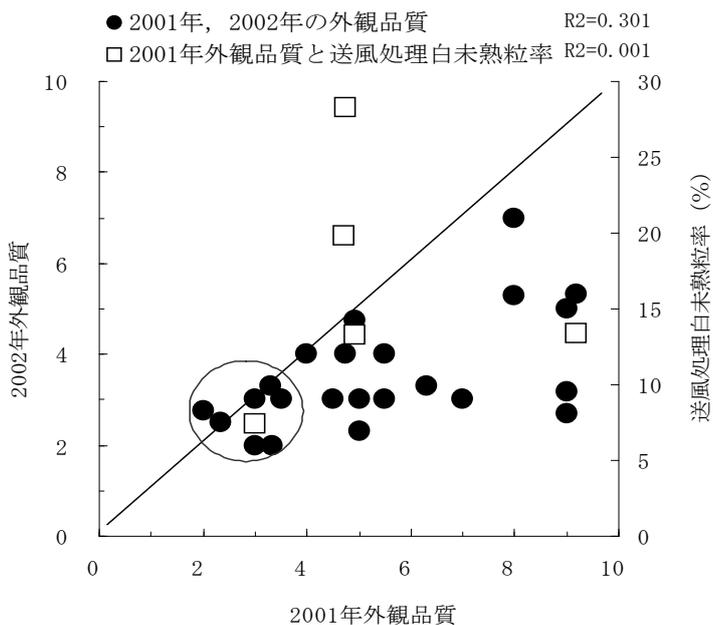
### III 結果と考察

第11表の45品種について計算した相関係数で、2002年ほ場で発生した白未熟粒率と主な品種との近縁係数との間に有意な相関が認められた（第25図）。第13表の10品種について計算した相関係数で、2004年ガラス室で出穂後7～13の7日間送風処理により発生させた白未熟粒率と近縁係数との間の関係も、2002年ほ場で発生した白未熟粒率と近縁係数の関係とほぼ一致していた。旭（朝日）、日本晴、月の光の遺伝資源の割合が高いほど、白未熟粒率は下がった。旭（朝日）と日本晴との間の近縁係数は0.367で、日本晴育成者の香村（1979）は日本晴の温暖地における安定多収性、良質性は旭（朝日）の血が濃いためであると報告している。一方、亀の尾、農林1号、大場の遺伝資源の割合が高いほど、白未熟粒率は高まった。亀の尾の孫、大場の子が農林1号である。亀の尾は一穂粒数が多く、長稈で穂長が長い穂重型品種である（注：栃木県農業試験場水稲育種、品種試験成績書 1992）。白未熟粒率との相関が有意である日本晴、月の光の白未熟発生程度は中程度（第11表）であることから、白未熟粒率との相関が有意な旭（朝日）、日本晴、月の光などの遺伝資源を集積することにより、さらに白未



第25図 白未熟粒率と主な品種との近縁係数の相関係数.

ほ場発生の白未熟粒率の相関は第11表の45品種について、送風処理による白未熟粒率の相関は、第13表の10品種について計算した。送風処理はガラス室で出穂後7～13日の7日間風速4m/sの風を当てて発生させた。\*、\*\*は相関係数が5%、1%水準で有意であることを示す。



第26図 2001年の外観品質と2002年の外観品質の関係.

2001年と2002年の外観品質の関係は奥羽371号、初星、越南192号、中部105号、ひとめぼれ、まなむすめ、う系123、う系124、う系125、う系128、う系127、う系119、晴れすがた、コシヒカリ、キヌヒカリ、ゆめひたち、福系7442、関東209号、アキニシキ、月の光、あさひの夢、日本晴、和系137の合計23品種を用いた。2001年の外観品質と送風処理により発生した白未熟粒の関係はふさおとめ、初星、ひとめぼれ、なすひかり、コシヒカリの合計5品種を用いた。

熟粒 発生が少ない品種を育成できるか検討する必要があると考える。

2001年と2002年の玄米品質の関係を第26図に示した。2001年と2002年の外観品質の間に相関は認められなかった。2001年の外観品質と送風処理により発生した白未熟粒率の間にも相関は認められなかった。2001年の白未熟粒の発生要因は、幼穂形成期の高温多照による一穂粒数が91粒/穂と多く、出穂後の日照不足によりデンプン蓄積の競合と考えられる。2001年の宇都宮市の気象は出穂前7月1～25日の日最高気温の平均が33.1℃と高温・多照で早植栽培の登熟期に相当する8月2～22日21日間の日当たり日照時間の平均は2.0時間で、平年の40.4%と寡照であった。そのため現地調査18か所のコシヒカリの全粒数の平均は35200粒/m<sup>2</sup>、平年比110%と多くなった。これまで日照不足が白未熟粒発生に及ぼす影響については、今野ら(1990)、大谷ら(2004)、小谷ら(2006)が報告している。一方、2002年の白未熟粒の発生要因は水分ストレスと考えられる(大谷 2008)。2002年の気象は7月7日～8月15日の日平均気温が32.7℃と高温で、7月30～8月2日、8月6～11日、8月20～21日、8月31～9月1日の合計13日の飽差は30hPaより大きく、最大風速は3m/s以上と水分ストレスの強い日が多かった。気象要因を用いた解析(第7図)と本章の品種を用いた解析から、一穂粒数が多く日照不足による要因と、登熟期の水分ストレスによる要因が白未熟粒発生に及ぼす関係の間に相関は少ないと考えられる。ただ、両年とも外観品質が優れる品種があった(第26図、第30表)。

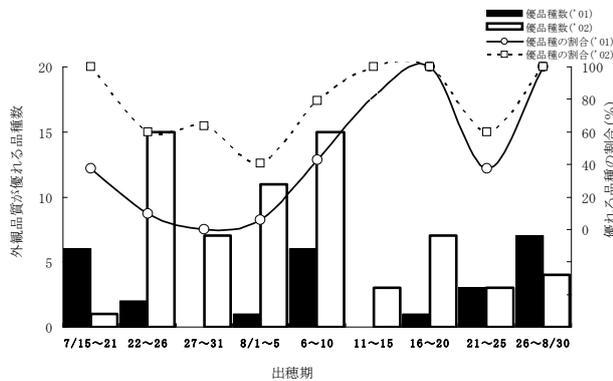
2001年、2002年の外観品質が4.0(中上)より優れる品種の出穂期別頻度を第27図に示した。2001年の7月22～8月5日に出穂して外観品質が優れる品種数は0～2と少なく、出穂期別供試品種数に占める割合も0～9.5%と少なかった。2002年の7月22日～8月5日に出穂して外観品質が優れる品種はあったが、出穂期別供試品種数に占める割合は40.7～63.6%と他の時期に比べて低かった。これらのことから、7月22日～8月5日頃に出穂する早生品の外観品質の良質性は必須条件と考えられる。一方、8月6～15日頃に出穂する中・晩生種については、白未熟粒発生程度が中程度(第11表)でも2年間の玄米外観品質は良質であった。

以上から、白未熟粒の発生が少ない品種は

第30表 1等米比率が低下した年に、外観品質が4.0（中上）より優れた品種.

出穂期	2001年		2002年						
7月15～21日	ふ系195号 う系123*、 ふさおとめ	越南187号 羽系591 越南192号*(6)	稲系951(1)						
22～26日	う系128*	う系126(2)	う系123* う系124 う系127	う系129 う系131 う系132	稲系949 奥羽371号 羽系722(15)	稲系960 てんたかく	稲系954 越南192号*	稲系961 栃木12号	
27～31日			う系128* 晴れすがた	和D167 中部106号	ひとめぼれ 北陸195号	なすひかり			
8月 1～ 5日	収6632(1)		ゆめひたち 愛知109号	栃木13号 福系7442	福系7794 福系7673	福系7899 収6768	福系7923 収6786(11)	和系192	
6～10日	アキニシキ*月の光* 関東200号 あさひの夢* 収6630 日本晴*(6)	う系136 関東209号 和系213	う系135 月の光* 和系216	う系134 アキニシキ* 関東216号 あさひの夢* むさしの1号(15)	福系8079 和系208	群馬28号 日本晴*			
11～15日			愛知108号	和系211	中部105号(3)				
16～20日	晴れすがた(1)		晴れすがた ゆめひたち	栃木12号 (7)	コシヒカリ	関東212号	ひとめぼれ	初星	
21～25日	群馬20号 なすひかり(3)	ゆめひたち	愛知109号	栃木13号	なすひかり(3)				
26～30日	関東209号 月の光 中部102号 あさひの夢 アキニシキ 栃木9号(7)	う系113	月の光	群馬28号	あさひの夢	むさしの1号(4)			

2001年栃木県の玄米1等比率は42%，2002年は60%と平年に比べて劣った。\*は2001年，2002年両年の外観品質が優れた7品種に付した（5月上旬植栽培の外観品質が劣り，6月中旬植の外観品質が優れた品種は除いた）。早生品種う系128はう系68/う系77の組合せで，月の光との近縁係数は0.346，日本晴とは0.291と比較的高かった。



第27図 2001年，2002年の出穂期別の外観品質が優れる品種数と供試品種に対する割合.

2001年の全供試品種数は102，2002年の全供試品種数は103。外観品質4未満を優れるとした。

てんたかく，晴れすがた（第11表），ふさおとめ，栃木13号（第13表）であった。ただ，これらの品種の収量性，耐冷性，穂発芽性，食味は，対照品種のひとめぼれに比べて不十分であったため，これらの品種の遺伝資源を利用した品種育成をさらに進める必要がある。なお，2008年千葉県はふさおとめを8000ha，富山県はてんたかくを4300ha作付けし，白未熟粒発生程度の少ない品種の普及拡大を図っている。

今後，気象の変動幅は一層大きくなると予測されている。社会情勢や食生活の変化，実需者ニーズを的確に捉えた良質品種の育成を図る必要がある。農業や化学肥料の低投入，軽労化のためには，耐病虫性，耐倒伏性に関する簡易で，迅速な検定法の確立も必要である。需要が増えている弁当，おにぎり，寿司などのテイクアウト食品には，粘りが少なく硬めで機械適性が高く，低温でも良食味な米が適している（石谷 2002）。コシヒカリとは違う良食味な品種育成のためには，新たな遺伝資源の利用も必要であろう。また，米デンプン，タンパク質，脂質，ビタミン類などの利用法の開発は，新たな米需要の拡大につながるであろう。家系分析によって，多様な遺伝資源の特徴や母本的評価が明らかになった。

## 第5節 まとめ

高品質で安定した生産には、栽培法のみでなく新品種育成や選定が重要である。そこで、育成品種の遺伝的背景と農業形質との関係を明らかにした。

2000～2008年に配布を開始した栃木11号から栃木20号の総祖先数は1100～2600と系譜は複雑になったが、愛国、大場、旭、器量好、上州、亀の尾6品種合計の遺伝的寄与率は79.4%で、栃木育成系統の遺伝構成は狭かった。

到穂日数は旭（朝日）との近縁度が高いほど長くなった。穂長は月の光、日本晴との近縁度が高いほど長かった。全重、玄米重は器量好、上州との近縁度が低いほど重く、愛国との近縁度が低いほど玄米重は重かった。玄米千粒重は器量好、月の光、日本晴との近縁度が低いほど重かった。食味の硬さは農林22号、器量好、上州との近縁度が高いほど強く、粘りは器量好、上州との近縁度が高いほど弱かった。

栃木県の早植栽培において、多収で高品質になる頻度が高い出穂期は8月11日ごろで、成熟期は9月28日ごろであった。

白未熟粒率と主な祖先品種との近縁係数の間に相関関係が認められた。旭（朝日）、日本晴、月の光との近縁度が高いほど、白未熟粒率は下がった。

2001年、2002年の7月22～8月5日に出穂して外観品質が優れる品種は少なかった。7月22日～8月5日頃に出穂する早生品種の外観品質の良質性は必須条件であった。

白未熟粒の発生が少ない品種はてんたかく、晴れすがた、ふさおとめ、栃木13号であった。

## 第6章 総合考察

安全な国産農産物の需要は高まっているが、気象、品種、環境、人的要因などによって、近年穀物の品質、収量は不安定になっている。ニーズに応じた高品質で安定した米・麦生産のために、品種育成ならびに現場に応じた技術指針による栽培法の確立を目指して本研究を実施した。

米・麦品質の安定には、生産現場の特性の把握が不可欠だが、土壌条件や気象による区分だけで、水稻・麦の農業形質による地域特性の把握はほとんどされてこなかった。また、品質や農業特性の経年的変化の検討も行われてこなかった。

そこで、まず米の品質、収量の変動に及ぼす影響が強い農業形質の解析をした。玄米品質の変動要因は調査地によって異なっていた。播種期を遅らせるか成熟期を早めると外観品質が向上する調査地や、通常は高品質で安定した品種が不安定に変動する調査地があった。基肥窒素量、穂いもち病は多くの調査地で、玄米千粒重の充実の変動要因となり、玄米千粒重と出穂前20日間の日照時間との間には正の相関が認められた。県央平野部の地域特性は似ていたが、周縁部の中山間地や作期が違う県南部の水稻生育は違い、品質の変動要因も違っていた。外観品質向上のために、類似した調査地ごとの基肥窒素量、出穂期、稈長、倒伏程度、玄米千粒重などの技術指針に基づく栽培法を明らかにした。

栃木県産米の1等米比率と気象、水稻生育の解析から、出穂後6～25日の平均飽差と最大風速、出穂前・後各20日間の日平均気温、出穂前30日間の積算日照時間、一穂粒数が、白未熟粒の発生要因であった。白未熟粒の発生には、様々な環境要因が影響を及ぼしているのであろうが、栃木県の近年20年間の外観品質低下に及ぼす影響は、高温より水分ストレスや日照不足の方が強かった。乳白粒は出穂後21～25日の登熟中期の送風処理により、上・中位の1次枝梗に多く発生した。枝梗内では弱勢穎花の白未熟粒率が高かった。基白粒、背白粒は出穂後6～10日の登熟初期の送風処理により、穂上着粒位置にかかわらず多く発生した。登熟初期の短期間、登熟中期の比較的長い期間の水分ストレスによって、白未熟粒の種類は違うことを明らかにした。白未熟粒発生の機作は、2つ以上あることが窺えた。今後、白未熟粒発生の低減のために、複数の発生機作に応じた対策が必要であろう。玄米千粒重の軽さに関係が強い遺伝資源を持つ日本晴、月の光は、白未熟粒発生との関係も強かった。品種育成に

において、穂相や籾の大きさが白未熟粒発生低減のために重要な形質となることが窺えた。

次に、麦類の収量・外観品質の変動要因を検討した。栃木県はビール大麦、六条大麦、小麦3麦種合計で52000トン（2008年）生産し、作付面積はほぼ14000haと全国でも有数の麦作県である。麦類外観品質の変動要因は出穂期、稈長、容積重であった。収量の変動に影響を及ぼす要因は稈長、穂数、倒伏、容積重、千粒重であった、3麦種の穂数、千粒重変動に影響を及ぼす気象要因の時期は、それぞれ2～3月、5月中旬と麦種による違いは少なかった。変動要因の時期を明らかにすることにより、効果的な対策を施す時期が明らかにでき、高品質麦生産が省力的に実現できるだろう。調査地間で麦類外観品質の安定に違いがみられた。安定してビール大麦の外観品質が劣る調査地、小麦の外観品質が不安定な調査地があった。そこで、出穂期、成熟期、稈長、穂数の指標値を、十数年間の調査データを用いて策定した。適正值は麦種によって違っていた。収量・外観品質が不安定な地域は、2～3月の気温、降水量及び乾燥した寒風、4～5月の気温、日射量、降水量などの影響を受けていることが窺えた。これらの自然条件に応じた麦種の選定・組合せ、播種期、3月、5月の湿害対策、適正な肥培管理による稈長、穂数など生育量の制御により、収量・品質が高位安定すると考えられる。

水稲品種育成による高品質米の安定のために、栃木育成系統の家系と食味、白未熟粒、農業形質との関係を解析した。栃木育成系統の系譜は複雑になっているが、遺伝的背景は狭かった。食味評価の硬さ、粘りと農林22号、器量好、上州との近縁度との間には強い相関が認められた。白未熟粒率と旭（朝日）、日本晴、月の光との近縁度の間には強い相関が認められた。遺伝資源を集積することにより、一層の高品質化の可能性が窺えた。白未熟粒発生の要因は様々報告されているが、本研究において、日照不足、水分ストレスなどと要因が違うと白未熟粒発生の機作が違うことが窺えた。また、水分ストレスを受ける水稲生育ステージが違うと、白未熟粒の種類が違った。

このように新品種の開発、品種の組合せにより、高品質米・麦の安定生産ができる。複数の要因が関連しているのであろうが、気象、地域、作物の生育が違う生産現場に応じた技術指針が確立できた。高品質米・麦の安定生産のための、品種、根系の大きさ、追肥時期、水管理などの効果を明らかにできた。作物ごとの出穂期、成熟期、稈長、穂数、倒伏、玄米重、玄米千粒重、容積重などの適正な指標値が明確にできた。品質変動要因が影響

を与える作物の生育ステージの時期が分かり、効果的な対策を施す時期も示せるであろう。品種育成のための、到穂日数、穂長、玄米重、玄米千粒重、食味、白未熟粒率などの特に品質変動に及ぼす影響が強い農業形質の遺伝的背景を明らかにした。これらの品種、技術指針に基づく栽培法を実施することにより、地域の特性を生かした新たな需要が形成され、主食として米・麦が重要な役割を果たし、人々に生きる力と幸福をもたらし続けることを期待する。

## 引用文献

- 鱒坂学・高原一隆 1999. 地方都市の比較研究. 法律文化社, 京都. 1—22.
- 秋田県農林水産技術センター 2004. 「あきたこまち」の白未熟粒の発生を低減させる施肥方法. 秋田県試験研究主要成果集 平成18年. 3—4.
- Begg, J.E. and N.C. Turner. 1976. Crop water deficit. *Adv. Agron.* 28:161—217.
- Boyer, J.S. and H.G. McPherson. 1975. Physiology of water deficits in cereal crops. *Adv. Agron.* 27:1—23.
- Buttrose, M.S. 1963. Ultrastructure of the developing wheat endosperm. *Aust. J. Biol. Sci.* 16:305—317.
- Clarke, M.C. 1983. Time of physiological maturity and post—physiological maturity drying rates in wheat. *Crop Sci.* 23:1203—1205.
- Delannay, X., D.M. Rodgers and R.G. Palmer. 1983. Relative genetic contributions among ancestral lines to North American soybean cultivars. *Crop Sci.* 23:944—949.
- Dilday, R.H. 1990. Contribution of ancestral lines in the development of new cultivars of rice. *Crop Sci.* 30:905—911.
- 藤部文昭・瀬古弘・小司貞教 2003. 関東平野における夏季高温日午後の降水分布と地上風系との関係. *天気* 50:777—786.
- 藤巻宏・櫛淵欽也 1975. 炊飯米の光沢による食味選抜の可能性. *農及園.* 50:253—257. 福井清美・桑原浩和・佐藤光徳 2004. 水稲品種系統の高温登熟性について. *九州農業研究* 66:16.
- 福寫陽 2009. 地球温暖化が麦の生育・収量におよぼす影響. *米麦改良* 2009:9—11.
- 浜地勇次・古庄雅彦・伊藤昌光 1985. 節間伸長期におけるビールオオムギの耐湿性. *日作九支報* 52:81—83.
- 浜地勇次・吉田智彦 1989. 暖地のビール大麦の収量と気象条件の關係の統計的解析. *日作紀* 58:1—6.
- 原沢英夫 2007. 地球温暖化の影響研究の最前線. 総合科学技術会議, 東京. 71—94.
- 星川清親・樋口明 1960. 小麦の胚嚢形成に関する研究. *日作紀* 29:107—113.
- 星川清親 1967. 米の胚乳発達に関する組織形態学的研究. 第1報胚乳細胞組織の形成過程について. *日作紀* 36:151—161.
- 細井徳夫 1981. 気象要因による水稲生育の変動性に関する研究 V. 日本の主要水稲品種の感温性, 感光性, 基本栄養生長性と出穂日数の制限要因の地域的特徴. *育雑* 31:239—250.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519—570.
- 飯田貴子・大谷和彦 2008. 栃木県育成水稲品種の家系分析. *日作関東支報.* 23:54—55.
- 飯田幸彦・横田国夫・桐原俊明・須賀立夫 2002. 温室と高温年の圃場で栽培した水稲における玄米品質低下程度の比較. *日作紀* 71:174—177.
- 今井秀明・石原信一郎・林征三 1979. フェーン気象下における稲体の水分変化と登熟障害に関する研究. *富山農試報* 10:17—25.
- 稲津脩 1988. 北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究. *北海道立農業試験場報告* 66:1—89.
- 井辺時雄 1991. 良食味水稲品種の育成と今後の方向. *農及園.* 66:575—581.
- 石原邦・堀口友子・水野五月・高橋久光・在原克之・志和地弘信 2005. 水稲「高温障害」による乳白粒等の発生要因の検討—体内水分と窒素濃度に着目して (2003年, 2004年). *日作紀* 74(別1):122—125.
- 石間紀男・平宏和・平春枝・御子柴穆 1974. 米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響. *食総研報* 29:9—15.
- 石丸治澄・波多江政光 1971. 九州地域における小麦の作況判定に関する解析研究. 第1報 収量推定に関する解析. *日作九支報* 35:94—96.
- 石谷孝佑 2002. 米の事典—稲作からゲノムまで. 幸書房, 東京. 159—204.
- 石塚喜明・田中明 1956. 水稲生育相, 特にその栄養生理的特性の地域性について (第1報) 生育概況並びに気象条件. *土肥誌* 27:1—6.
- 石崎和彦 2006. 水稲の高温登熟性に関する検定方法の評価と基準品種の選定. *日作紀* 75:502—506.
- 菅民郎 1996. ホントにやさしい多変量統計分析. 現代数学社, 東京. 207—236.
- 金川修造 1948. 宮崎県における麦作と気象. *九州農業研究* 2:8—9.
- 片山忠夫 1987. 熱帯アジアの野生稲の分布とその特性. *東南アジア研究* 25:1—27.
- 片山佃 1951. 稲麦の分げつ研究1. 大麦及び小麦の主稈及び分げつにおける相似生長の法則. *日作紀* 15:109—118.

- 河津俊作・本間香貴・堀江武・白岩立彦 2007. 近年の日本における稲作気象の変化とその水稲収量・外観品質への影響. 日作紀. 76:423—432.
- Kemphthorne, O. 1969. *An Introduction to Genetic Statistics*. Iowa state university press, Iowa. 72—80.
- 木戸三夫・梁取昭三 1968. 腹白, 基白, 心白状乳白, 乳白米の穂上における着粒位置と不透明部のかたちに関する研究. 日作紀 37:534—538.
- 金漢龍・堀江武・中川博視・和田晋征 1996. 高温・高(CO<sub>2</sub>)環境が水稲の生育・収量に及ぼす影響. 第2報 収量及び収量構成要素について. 日作紀 65:644—651.
- 小葉田亨・塩野健児・武井利彰・勝部淳史・今木正 1993. 水田条件下における蒸発要求に対するイネ葉身水ポテンシャル反応 第1報 生育にともなう変化. 日作紀 62:9—16.
- 小泉信三・藤晋一 1993. イネの収量と品質・食味に及ぼすいもち病の影響. 愛知農総試研報 25:45—50.
- 香村敏郎 1979. 続・稲の品種改良. 全国米穀配給協会, 東京. 129—240.
- 近藤万太郎・岡村保 1931. 水温と稲の生育との関係第2報. 農及園 6:517—530.
- 今野周・今田孝弘・中山芳明・宮野斉 1990. 登熟期の少照条件が水稲の登熟, 品質, 収量に及ぼす影響. 東北農業研究 43:29—30.
- 小谷俊之・松村洋一・黒田晃 2006. 出穂前後の遮光処理が水稲品種「ゆめみずほ」の収量および品質に及ぼす影響. 石川農試研報 27:1—9.
- Kramer, J.K. and J.S. Boyer. 1995. *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press, California. 1—495.
- 久米篤・大槻恭一・熊谷朝臣・小川滋 2003. 生物環境物理学の基礎 第2版. 森北出版, 東京. 42—45.
- 楠田幸・福嶋陽・中野洋 2004. 水稲「ヒノヒカリ」における窒素追肥時期が白未熟粒率の発生に及ぼす影響. 日作九支報 70:1—3.
- 楠谷彰人・浅沼興一郎・木暮秩・関学・平田壮太郎・柳原哲司 1992. 暖地における早期栽培水稲品種キヌヒカリの収量および食味. 日作紀 61:603—609.
- Lin, M.S. 1991. Genetic base of Japonica rice varieties released in Taiwan. *Euphytica* 56:43—46.
- Lin, M.S. 1992. Ancestral contribution to IRRI rice varieties (IR5—IR62). Japan. *J. Breed.* 42:437—442.
- 前忠彦 1990. 窒素栄養代謝における新しい研究の展開. 土肥誌 36:37—38.
- 町村敬志・高橋勇悦 1990. 現代都市の社会構造. 学文社, 東京. 19—20.
- 松田智明 2004. イネの登熟期の子房における転送系の構造と貯蔵物質の蓄積. 日作紀 73(別1):300—301.
- 松江勇次・水田一枝・古野久美・吉田智彦 1991. 北部九州産米の食味に関する研究. 第1報 移植時期, 倒伏の時期が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響. 日作紀 60:490—496.
- 松江勇次・原田皓二・吉田智彦 1992. 北部九州産米の食味に関する研究第4報. 日作紀 61:545—550.
- 松江勇次 1995. 北部九州産米の食味に関する研究 第5報 1993年の低温, 寡照条件下における米の食味と理化学的特性. 日作紀 64:709—713.
- 松江勇次・山口修・佐藤大和・馬場孝秀・田中浩平・古庄雅彦・尾形武文・福島裕助 2000. 1998年における北部九州の麦作不作の要因解析とその技術対策. 日作紀 69:102—106.
- 松本美枝子 1991. コシヒカリの外観品質と食味. 農業技術体系作物編2. 農文協, 東京. 685—690.
- 松本靖・齋藤弘文 2002. 水稲は出穂後10—15日の高温により白未熟粒の発生が増加する. 東北農業研究成果情報 平成14年度:177—178.
- 松村謙生・鴨田福也 1981. 水稲のフェーン害に関する研究. 北陸農試研報 23:19—56.
- 松村修・山口弘道・八百坂正則・福田直子 2000. 葉身窒素濃度, 葉色による水稲出穂の変異予測. 日作紀 69(別2):260—261.
- 松島省三・真中多喜夫 1956. 水稲幼穂の発育経過とその診断, 全茎を対象とした幼穂の発育経過とその基準及び各発育段階の特徴. 農業技術協会, 東京. 26—31.
- 松島省三・真中多喜夫 1957. 水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究 XXXIX. 水稲の登熟機構の研究(5) 生育各期の気温の高低・日射の強弱並びにその複合条件が水稲の登熟に及ぼす影響. 日作紀 25:203—206.
- 松島省三 1977. 稲作診断と増収技術. 農山漁村文化協会, 東京. 24—28.
- 森田敏・松村修・三ツ井敏明・福山利範・田畑美奈子・石崎和彦・近藤始彦・石丸努・三王裕見子・梅本貴之 2005. 特集: 稲の高温登熟性に関する研究の進展1—6. 農業技術 60:437—470.
- 森田敏 2008. イネの高温登熟障害の克服に向けて. 日

- 作紀 77:1—12.
- 村松修・千葉雄大 2006. 高温登熟状況下で高品質を維持する稲作生産者の諸特徴. 日作紀 75 (別2):54—55.
- Mussell, H. and R.C. Staples. 1979. *Stress Physiology in Crop Plants*. A Wiley Interscience Passioura, New York. 1—510.
- 長田健二・吉永悟志・福田あかり・滝田正・寺島一男 2004. 米粒の胴割れ発生程度と登熟期の気象条件との関係. 東北農業研究成果情報 平成16年度:55—56.
- 長戸一雄・河野恭広 1963. 米の粒質に関する研究 第1報 米粒の硬質分布と二, 三の形質の関係. 日作紀 32:181—189.
- 長戸一雄・江幡守衛 1965. 登熟期の高温が穎果の發育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34:59—66.
- 長戸一雄 1973. 米の品質について. 日作紀 42:238—257.
- 中川元興・牛腸英夫・西尾小作 1968. 東海近畿地域における府県別小麦収量と月別気象要因との関係. 東海近畿農試速報 5:31—59.
- 中村修・宮下康一・植松康・山田大彦 1999. 都市域における平均風速の鉛直分布の検討. 社団法人日本建築学会, 東京. 105—106.
- 日本総合研究所 2007. コメの生育と気象の関係 日本人の主食「コメ」の生育を知る. 東京穀物商品取引所, 東京. 1—80.
- 野田健児・熊本司・茨木和典・江口馬末 1955. 九州地方における暖冬の小麦の生育過程. 暖地麦類の生育相にかんする研究 第4報. 農業気象 11:71—75.
- 農業技術研究機構作物研究所 2004. 水稻育成品種・系統の来歴データベース収録CD-ROM 2004版.
- 野並浩 2001. 植物水分生理学. 養賢堂, 東京. 151—178.
- 農林水産省 2008. 新たな食料・農業・農村基本計画の策定に向けて—我が国の食料持久力・自給率の向上—. [http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k\\_aratana/081202\\_1.html](http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/081202_1.html) (2009/1/16 閲覧).
- 農林水産省大臣官房統計部 2008. 農林水産統計. 農林水産省. 1—14.
- 沼田芳宏・伊藤美穂 2002. 岩手県における水稻主要病害虫の被害発生の地域性とリスク. 東北農業研究成果情報 平成14年度:146—147.
- 大江和泉・松江勇次・斉藤邦行・黒田俊郎 2007. 気温上昇が水稻の外観品質, 食味と理化学的特性におよぼす影響. 岡山大学農学部学術報告. 96:13—18.
- 大沼済 2001. 記念出版「浪漫亀の尾/列島」. 第3章亀の尾の特徴と由来. 創造ネットワーク研究所. 山形. 31—38.
- 大里久美・吉田智彦 1996. イネ育成系統の近縁係数およびその食味との関係. 育雑 46:295—301.
- 太田久稔・安東郁男・吉田智彦 2006. 関東系統の近縁係数によるイネ育成系統の分類および葉いもち, 食味との関連. 日作紀 75:159—164.
- 大谷義雄 1948. 麦の湿害について. 農及園 23:115—118.
- 大塚雅雄・佐々木昭博・宮川三郎 1985. 論理型言語Prologによるイネ品種の血縁関係処理. 育雑 35 (別1):146—147.
- 大谷和彦・青木純子・高齋光延・山口正篤 2003. 栃木県における白未熟粒の発生要因. 日作関東支報 18:58—59.
- 大谷和彦・吉田智彦 2008a. 栃木県水稻の品質変動要因と地域間差異—数10年の現地試験データを用いた検討—. 日作紀 77:133—141.
- 大谷和彦・吉田智彦 2008b. 送風時期が水稻「白未熟粒」発生に及ぼす影響. 日作紀 77: 434—442.
- 大谷和彦・吉田智彦. 栃木県における麦類の収量, 外観品質の変動要因. 日作紀. 投稿中.
- 酒井寛一 1957. 植物育種法に関する理論的研究 V. 自殖性植物の育種における近縁係数の応用. 育雑 7:87—92.
- 佐々木宏 1994. 北海道における最近のコムギ栽培事情. 日作紀 63:370—376.
- 佐々木次郎・小野寺博稔・関口道 2006. 穂揃期の形質と気温日較差による玄米の白未熟粒発生率の推定. 東北農業研究成果情報 平成18年度:105—106.
- 佐々木康之 1989. 稲と米 品質を生かす 稲の栽培条件と品質. 農林水産省農業研究センター. 茨城. 49—66.
- 佐藤弘一・吉田智彦 2007. 水稻福島県育成系統の家系分析. 日作紀 76:238—244.
- 佐藤大和・陣内陽明・尾形武文・内川修・田中浩平 2005. 水稻の高温登熟条件下における食味評価指標形質. 九州農業研究 67:10.
- 瀬古秀生 1979. 続・稲の品種改良. 全国米穀配給協会, 東京. 3—51.
- 重宗明子・三浦清之・笹原英樹・後藤明俊・吉田智彦 2006. 北陸研究センターで育成した水稻品種系統の家系分析. 日作紀 75:153—158.
- 主要農作物種子問題研究会 1987. 技術革新と新しい主

- 要農作物種子制度. 地球社, 東京. 313—335.
- 平宏和 1977. イネ品質・貯蔵. 日本作物学会編 日本作物学会50年の歩み. 日本作物学会, 東京. 99—106.
- 高木淳子 2004. 理科実験実習講座資料. 京都地学教育研究会. 1—3.
- 高橋渉・野村幹雄・荒井清完・守田和弘 2004. 温暖化条件下におけるコシヒカリの白未熟粒発生軽減のための適正栽植密度. 関東東海北陸農業研究成果情報. 平成16年:679—680.
- Takahashi, R. 1955. The origin and evolution of cultivated barley. in *Advances in Genetics*. Academic Press VII:227—266.
- 高橋俊明 1955. ビール麦の収量予想. 生研時報 7:118—122.
- 高松美智則・香村敏郎・釈一郎・朱宮昭男・谷口学・伊藤和久 1982. 水稲品種の特性に関する試験 第3報 県内主要品種の作期と米質変動. 愛知農業総合試験場報告 14:16—30.
- 高村泰雄・竹内史郎・長谷川浩 1961. 土壌温度が作物の生育に及ぼす影響. 日作紀 29:1 95—198.
- 玉井虎太郎 1956. 陸稲と二, 三の作物の生育時期別吸水特性の自記装置による調査. 日作紀 25:61—63.
- 谷口義則・藤田雅也・佐々木昭博・氏原和人・大西昌子 1999. 九州地域におけるコムギの粗タンパク質含有率に及ぼす穂孕み期追肥の効果. 日作紀 68:48—53.
- たつの市教育委員会 2005. 郷土の発展につくした人たち. たつのし小学校社会科副読本編集委員会. 1—2.
- 田谷省三・荒木均・野中舜二 1981. コムギ農林61号の収量および諸形質に及ぼす気象条件の影響. 日作九支報 48:15—18.
- 寺井健次・眞崎聡・川本朋彦・松本眞一・小玉郁子・山下清次 2008. イネ穎果の登熟と穂上位置及び開花時期との関係. 日作紀 77:191—197.
- 寺島一男・齋藤祐幸・酒井長雄・渡部富雄・尾形武文・秋田重誠 2001. 1999年の夏期高温が水稲の登熟と米品質に及ぼした影響. 日作紀 70:449—458.
- 栃木県農業試験場 1978. 地力保全基本調査総合成績耕地土壌図. 栃木県農業試験場, 宇都宮市. 1—2.
- 栃木県農政部 2007. とちぎ”食と農”躍進プランレポート—首都圏農業の新たな展開—. 栃木県. 1—19.
- 栃木県農政部生産振興課 2008. 稲麦大豆等生産推進資料. 栃木県. 113—139.
- 栃木県水田農業推進協議会 2006. 栃木県水田農業構造改革活動指針. 栃木県. 16—37.
- 坪井八十二・氷高信雄 1958. 水稲の風害に関する研究, 不受精の原因について. 日作紀 27:207—209.
- Turner, N.C. and P.J. Kramer. 1980. *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. A Wiley—Interscience Publication, New York. 1—482.
- 植木健至 1960. 暖地における水稲生育に及ぼす灌漑水温の影響. V. 幼穂発育に及ぼす高水温の影響—特に根の発育との関連において—. 日作紀 29:75—78.
- 宇都宮地方气象台 1986—2007. 栃木県気象年報. 気象庁. 1—50.
- Walsh, J. 1981. Genetic vulnerability down on the farm. *Science* 214: 161—164.
- Weaver, J.C. 1943. Climatic relations of American barley production. *Geog. Rev.* 33:569—588.
- Wignarajah, K. 1989. Effect of waterlogging in barley during the seedling stage. *Indian J. Plant Physiol.* 30:44—51.
- 山岸米二郎 2002. 気象予報のための風の基礎知識. オーム社, 東京. 28—38.
- 山口正篤 1993. あなたにもできる安心イネづくり—ラクして倒さず1俵増収—. 農文協, 東京. 15—20.
- 山口正篤・塩山房男・塩野晃一・福島敏和・大谷和彦 2003. 北関東内陸部における水稲収量向上と品質の安定化. 日作紀 72(別1):368—373.
- 山川智大・神田幸英・村上高敏・宮本啓一 2002. 短日処理を利用した水稲高温耐性の検定法と基準品種選定. 関東東海北陸農業研究成果情報. 平成14年:366—367.
- 山崎伝 1952. 畑作物の湿害に関する土壌科学的並びに植物生理学的研究. 農技研報 B1:1—98.
- 吉田浩・山崎栄蔵・谷藤雄二・芳賀静雄 1975. 山形県内陸平坦における「ササニシキ」の産米品質に関する環境要因解析. 東北農業研究 17:52—54.
- 吉田智彦・今林惣一郎 1998. 水稲良食味育成品種の遺伝的背景. 日作紀 67:101—103. 吉田智彦 2009. 家系分析Webの作成と利用. 日作紀 78:92—94.
- 吉田美夫 1977. 水田におけるムギの湿害の理論と実際 (1). 農業技術 32:492—496.
- 財団法人全国食糧検査協会 2002. 農産物検査ハンドブック/米穀篇. 日本農民新聞社, 東京. 157—201.
- 全国瑞穂食糧検査協会 2007. 平成19年度農産物検査手帳. 全国瑞穂食糧検査協会, 東京. 175—192.
- 全国農業協同組合中央会 1983. 全国麦作共励会10年の歩み—高水準麦作をめざして—. 全国農業協同組合中央会, 東京. 83—231.

## Studies on the Stability of Quality of Rice, Barley and Wheat in Tochigi Prefecture

Kazuhiko Oya

### Summary

The factors causing variation of rice quality (appearance) and their regional difference in Tochigi prefecture were examined. Sowing time, heading time, maturing time, basal dressing, culm length, lodging, panicle blast, brown rice weight, thousand-kernel weight and duration of sunshine hours were factors causing the regional difference. The factors causing a change in quality varied with the regions. In some regions, quality was improved when sowing time was delayed or maturing time was hastened. In some regions, normally stable and high quality cultivars became unstable. A certain range of lodging and brown rice weight was necessary to obtain high quality rice, and the quality became unstable out of this range. The author found similarity in rice quality in some adjacent regions.

Factors of occurrence of chalky grains including milky white rice grains, white-based rice grains and white-back grains in rice were studied. The factors causing occurrence of chalky grains in rice were the saturation deficit and ventilation from 6 to 25 days after heading, the temperature for 20 days before and after heading, the daylight hours for 30 days before heading, and the number of spikelets per panicle. When kept under ventilation for 6-10 days after heading, white-based rice grains and white-back rice grains occurred in every position on the panicle. On the other hand, when kept under ventilation for 21-25 days after heading, milky white rice grains occurred on the primary rachis-branch at top and medium positions. The rate of chalky grains was high on inferior spikelets. The rate of chalky grains in rice could be estimated from the mean temperature from 0 to 20 days after heading and  $[(100 - \text{minimum humidity}) \times \text{maximum wind velocity}]$  from 6 to 25 days after heading. The occurrence of chalky grains varied with the cultivar.

The factors causing variation of barley and wheat quality and yield in Tochigi prefecture were also examined. Culm length, ear number, lodging, bulk density and thousand-kernel weight were factors causing a change in yield. The period of precipitation and solar radiation causing a change in ear number was tillering stage for both of barley and wheat. The period of precipitation and minimum air temperature causing a change in thousand-kernel weight was ripening period for barley. Heading time, culm length and bulk density were factors causing a change in quality of barley and wheat. The change in quality was different in each region. The optimum heading time, maturing stage, culm length and ear number of barley cultivars "Amagi Nijo" and "Mikamo Golden" were 15~23 April, 31 May~6 June, below 89 cm and 750~850/m<sup>2</sup>, respectively. The optimum culm length of six-rowed barley cultivar "Shunrai" was 100 cm. The optimum culm length and ear number of wheat cultivar "Norin 61" were below 95 cm and 500~600/m<sup>2</sup>, respectively. Selection or combination of barley and wheat cultivars, optimum sowing time, prevention of wet injury and manuring for suitable growth were effective for stable production in each region.

Pedigree analysis of rice cultivars developed in Tochigi Prefecture (Tochigi lines) was conducted. For Tochigi lines, the maximum generation traced in the pedigree, total number of ancestors in the pedigree and total number of ancestors except common ones was 12~18, 160~2600 and 51~148, respectively. Aikoku contributed 16.6~25.6% of the genetic background of Tochigi lines. Six ancestors, collectively, contributed 79.4% to the gene pool. Koshihikari had the highest mean coefficient of parentage to Tochigi lines and the value was 51.6~89.8%. Tochigi lines more related to Asahi tended to be late heading. Tochigi lines related to Tsukinohikari or Nipponbare had longer panicle length. Kiryoyoshi, Josyu or

Aikoku did not contribute to high brown rice weight. Kiryoyoshi, Tsukinohikari or Nipponbare did not contribute to high thousand-kernel weight.

The number of chalky grains of Tentakaku, Haresugata, Husaotome and Tochigi 13 was few, showing that these cultivars were promising for stable and high quality rice production in Tochigi Prefecture.

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、宇都宮大学農学部 吉田智彦 教授の懇切丁寧なご指導，叱咤激励を賜りました。心からお礼申し上げます。

東京農工大学農学部 平澤正 教授，茨城大学農学部 新田洋司 教授，宇都宮大学農学部 和田義春 准教授，同 高橋行継 准教授には，本論文の御校閲を賜りました。

栃木県環境指導センター 山口正篤 所長，石原邦博士には，実験の遂行にあたりご指導を頂きました。極長期に及ぶ現地試験の遂行と成績のまとめをしていただいた120名余りの現地農家，110名余りの作物関係農業改良普及員，農業試験場担当者及び関係者に心から感謝の意を表します。貴重な材料をご分譲いただきました伊澤由行，加藤常夫，藤井真弓各氏に心から感謝の意を表します。

栃木県農業試験場においては，五月女恭子主任研究員，山口昌宏主任研究員，白間香里研究員，飯田貴子研究員，塚原俊明研究員，山崎周一郎主任研究員，篠崎敦研究員の多大な協力と助言を頂きました。

また，事務職員，業務科職員，非常勤職員の方々には，研究材料の栽培，収穫及び調査などの本研究の基盤となる部分を担っていただきました。

ここに記して深く感謝いたします。