

今、九州で起こっていること ～水稻に注目して～

九州沖縄農業研究センター 暖地温暖化研究チーム

森田 敏

1. はじめに

九州ではここ数年、水稻の作柄と品質が低迷している。本稿では、その実態と要因、今後の対応について概説したい。

2. 近年の九州産水稻の作柄・品質

1992年から2001年の10年間の平均では、九州と全国のいずれでも水稻の作況指数が100であり、一等米比率は九州が64%と全国の76%よりやや低い程度であった。しかし、2003年から2007年にかけての5年間に九州では作況指数が78～95と100を下回り、一等米比率も30%前後と低迷している。一方、全国平均では、2003年に冷害・日照不足が発生して作況が90になったものの2004～2007年の作柄、品質は平年並みを維持した。したがって、特にこの4年間で九州と全国の作柄・品質は明暗が分かれた形となった。作柄・品質低下が著しかったのは、北部九州を中心とした地域の普通期栽培（6月田植え）の水稻で、2007年には九州南部の早期水稻（3～4月田植え）でも作柄・品質が大幅に低下した。九州でここ数年、等級が低下した主な理由は、米が白く濁る「白未熟粒」（図1）と、粒張りが低下する「充実不足」の発生が挙げられている。

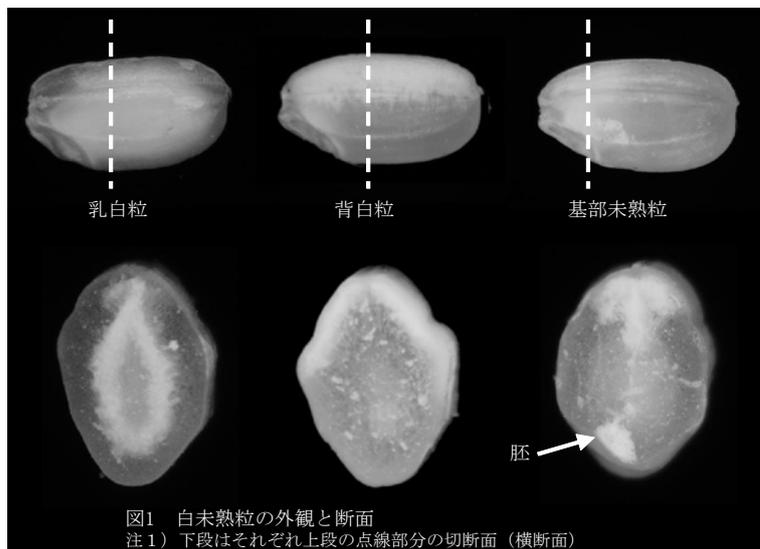


図1 白未熟粒の外観と断面
注1) 下段はそれぞれ上段の点線部分の切断面（横断面）

3. 作柄・品質低下の要因は登熟不良

九州産水稻の作柄・品質低下の要因を明らかにするために、九州北部にある福岡県の作況標本調査データを用いて5年間の作柄・品質低下の要因を解析した。気象など環境条件が作柄や品質に及ぼす影響は品種によって異なると思われるため、解析にはヒノヒカリの調査圃場が4割を超えた1996年以降の12年間のデータを用いた。その結果、

表1 作柄・品質低下の要因: 粒数減少型か登熟不良型か? (福岡県)

年次	精玄米収量		全粒数		千粒収量	
	(g/m ²)	平年比 (%)	(百粒/m ²)	平年比 (%)	(g)	平年比 (%)
平年(96-02年)*	522	100	293	100	17.8	100
03-07年平均	473	91	290	99	16.3	91
2003年	495	95	288	98	17.2	97
2004年	451	86	296	101	15.2	85
2005年	499	96	301	103	16.6	93
2006年	425	81	276	94	15.4	86
2007年	495	95	290	99	17.1	96

1996～2007年の12年間の福岡県作況標本調査データ(九州農政局調べ)で解析。

*: 平年値は1999年を除いて算出。

表1に示したように、この5年間の平均収量は、台風等で作柄が低下した1999年を除く1996年から2002年（以下、平年とする）の収量に比べて約1割減収したことが示された。特に2006年は19%減、2004年は14%減と減収程度が大きかった。

収量は、米を入れる容器にあたる籾の数と、その籾にどれだけ米を詰めることができるかという登熟の程度によって決まるので、このような視点から減収要因を解析した。その結果、全籾数は5年間の平均では平年とほとんど変わらず、登熟の程度を示す千籾収量が約1割低下した。したがって、九州北部のこの5年間の減収は登熟不良型であり、2004年、2005年、2006年で特にその傾向が強かった。登熟不良になると多くの場合に玄米品質も低下するが、実際、5年間の一等米比率の平均値は平年より40ポイント以上低下しており（表2）、この解析結果に符合した。

表2 近年の登熟不良の要因：不稔型か玄米成長阻害型か？（福岡県）

	千籾収量		稔実歩合		玄米粒数/ 稔実粒数		玄米千粒重		一等米比率	
	(g)	平年比 (%)	(%)	平年比 (%)	(%)	平年比 (%)	(g)	平年比 (%)	(%)	平年差
平年(96-02年)*	17.8	100	88.5	100	93.2	100	21.6	100	64	0
03-07年平均	16.3	91	84.5	96	90.8	97	21.2	98	21	-43
2003年	17.2	97	86.8	98	93.6	100	21.2	98	40	-24
2004年	15.2	85	80.1	91	89.0	96	21.4	99	13	-51
2005年	16.6	93	86.4	98	90.4	97	21.2	98	19	-45
2006年	15.4	86	84.1	95	87.5	94	20.9	97	11	-58
2007年	17.1	96	85.2	96	93.5	100	21.4	99	27	-37

1996～2007年の12年間の福岡県作況標本調査データ(九州農政局調べ)で解析。

*: 平年値は1999年を除いて算出。

登熟の良否の指標である千籾収量は、①稔実歩合（全ての籾のうち稔実、すなわち受精して玄米が成長した籾の割合）、②玄米粒数／稔実粒数（稔実した玄米のうち粒厚1.7mm以上に達した玄米の割合）、③玄米千粒重（粒厚1.7mm以上の玄米1000粒の重さ）の3つの要素の積に一致する。①が低下すると不稔型、②、③が低下すると玄米成長阻害型とみることができる。そこで、5年間の千籾収量の低下要因をこれらの要素から解析した。その結果、表2に示したように、5年間の平均で、稔実歩合は平年より4%、玄米粒数／稔実粒数は3%、玄米千粒重は2%、それぞれ低下していた。したがって、不稔型に玄米成長阻害型が重なって登熟不良となったと考えられた。なお、2004年と2007年は不稔の影響が玄米成長の阻害の影響よりも大きかったとみられた。

4. 日照不足と台風および高温が登熟不良の要因

これらの登熟不良が登熟期間のどのような気象条件と関係があったのかを、12年間の九州沖縄農業研究センター筑後拠点の気象データと上述の作況試験データとの相関分析により検討した（表3）。その結果、出穂後20日間の日照時間は、精玄米収量、千籾収量、稔実歩合、一等米比率のいずれとの間にも有意な正の相関が見出された。出穂後20日間は登

表3 登熟期の気象条件と収量・登熟関連形質との間の相関係数(1996～2007年).

形質	出穂後20日間					出穂前2日～ 出穂後7日
	日平均気温	日最高気温	日最低気温	日照時間	湿度	風速 1)
精玄米収量	0.097	0.247	-0.125	0.609 *	-0.699*	-0.315
千粒収量	0.103	0.254	-0.125	0.707 *	-0.664*	-0.332
稔実歩合	-0.041	0.164	-0.198	0.690 *	-0.699*	-0.487
一等米比率	-0.218	-0.056	-0.411	0.579 *	-0.785**	-0.111

福岡県における1996～2007年の12年間の作況標本調査データ(九州農政局調べ)で解析.

気象データは九州沖縄農業研究センター筑後研究拠点の気象観測値を用いた.

1) 風速は、出穂前2日～出穂後7日の合計値とした。ただし、出穂後2日の風速には10を乗じ、これより1日離れる毎に乗数を1減らして合算した。

**は1%水準、*は5%水準、斜字は10%水準でそれぞれ有意。

熟の良否を決める大事な時期で、この時期の日照が不足して光合成が抑制されたことが登熟不良に結びついたとみられた。また、この時期の湿度も収量、登熟、一等米比率との間に負の相関が認められ、高湿度条件による病害および虫害の多発（あるいは高湿度そのもの）により受精障害や品質低下が発生したことが示唆された。また、出穂直前から出穂後1週間の風速が大きいと稔実歩合が低くなる傾向にあった。この5年間は水稻の登熟期間に九州を通過した台風の数が多く、その規模も大きかった(図2)。日照時間の減少、湿度の上昇、強風のいずれも台風の通過に伴って発生するため、この5年間の九州の作柄・品質低下に台風がもたらした影響は甚大であったと考えられる。なお、12年間のデータによる相関分析では、出穂後20日間の日最低気温が高いと一等米比率が低い傾向がみられたが、収量や稔実歩合と出穂後20日間の日平均気温、日最高気温、日最低気温との間には密接な関係が見出されなかった。しかし、この5年間の九州産水稻の作柄・品質低下には登熟期の高温が少なからず関与したと考えられる。その根拠は、1) これまでの多数の研究で、登熟適温は日平均気温で22～23℃付近にあり、26程度を境に整粒歩合や千粒重の低下が著しくなることが知られていること、2) この5年間はいずれの年次でも出穂後20日間の日平均気温が26℃前後あるいはそれ以上となっていたこと、が挙げられる。相関分析で気温と登熟との関係が見出されなかったのは、この5年間以外の年次もやはり26℃前後の高温となっていたためと考えられる。なお、図3から、過去約80年間の中でこの12年間は明らかにそれ以前よりも高温化していることがわかる。この高温化は、「地球温暖化」の影響を大きく受けていることは間違いない

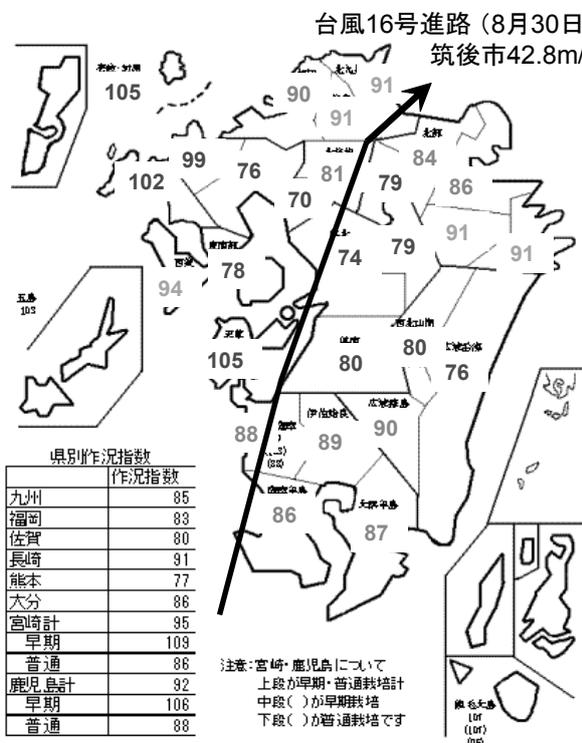


図2 2004年の九州産米(普通期)の作況指数と台風進路

いだろう。しかし、この12年間の中で特にこの5年間が登熟不良となったのは、前述の相関分析でも示されたように他の年次よりも日照が少なかったためと考えられた。図3を見ると、この5年間が高温かつ日照不足であったことがよくわかる。高温に日照不足が重なると登熟不良が甚大化することは古くから知られており、筆者の人工気象室での実験結果でも、日照が十分にあるときは、登熟期の高温条件(34/27℃)では適温条件(27/19℃)より粒重増加速度が大きくなるものの粒重増加期間が短縮して最終粒重が約12%低下することが示された。一方、日照が半減すると、高温条件では適温条件より粒重増加速度は大きくなり粒重増加期間のみが短縮するため、最終粒重が約20%低下することが示された。このように、高温による粒重低下は日照不足で甚大化する。したがって、この5年間の作柄・品質低下には高温と日照不足が重なったことが大きく影響したと推察される。温暖化に伴って、気温の上昇だけでなく日照も減少するという予測もあり、この5年間に九州で発生した高温+日照不足という気象条件が将来常襲化することも懸念され、高温のみならず日照不足にも対応した研究・技術開発が重要となろう。

ところで、5年間の中で2006年は2005年に比べて一層減収し一等米比率が低下した(表2)が、その要因は何だったのだろうか。2006年は佐賀県、長崎県、福岡県等で台風13号に伴い潮風害が発生したが、潮の影響を受けなかった当研究センター筑後拠点でも、2005年より2006年の登熟が不良であった。このため、潮風害以外の要因を探る必要がある。台風の通過時期は、2005年が9月6日(台風14号)、2006年が9月17日(台風13号)と、むしろ2005年の台風が出穂期に近く、そういう点では登熟

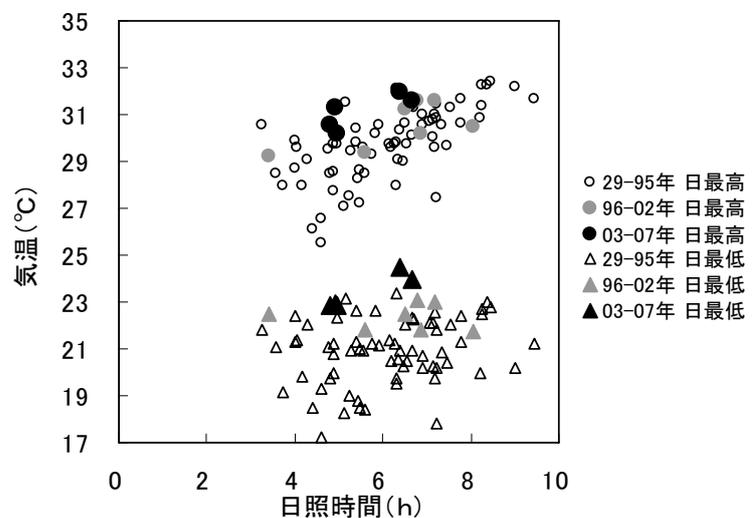


図3 出穂後20日間の日照時間と日最高・最低気温との関係(九州沖縄農研(福岡県筑後市))
出穂期は1975~2007年では福岡県作況標本調査の出穂最盛期(8/21~9/4)とし、1929~1974年は8/25として算出した。

への影響が大きかったと考えられる。両年の登熟期の気象条件を、台風以外についても比較すると、出穂後20日間の日平均気温は2005年で26.2℃、2006年で25.9℃、同期間の日平均日照時間も同様に4.8時間、5.0時間と大差なかった。したがって、登熟期の気象条件からでは、両年の登熟の違いを説明できない。また、登熟は籾数が多い場合に低下しやすいが、2006年は2005年よりもむしろ籾数が少なく(表1)、この点からも説明できない。

そこで、出穂前の気象条件を比較すると、移植後1ヶ月間の日照時間が2006年では2005年に比べて約4割減、平年比で約5割減と少なかったことが認められた。この分けつ期の日照不足は穂数不足を介して籾数不足をもたらしただけでなく、登熟不良にも結びついた可能性がある。その根拠として、穂揃期のイネの茎葉に蓄積された非構造化炭水化物(細胞壁などの構造化以外の転流可能な炭水化物)が2005年より2006年で明らかに少なかったこと(森田、未発表)が挙げられる。穂揃い期の茎の中の非構造化炭水化物は登熟期に穂へ移動して玄米成長に使われ、いわば炭水化物の貯金のような役割を果たすことが知られている。特に登熟期に日照不足などの不良条件になるとこの貯金の貢献が大きくなる。

2006年は、分けつ期の日照不足によってこの炭水化物の貯金が少なくなり、登熟期も日照不足であったため、登熟が著しく不良となったと考えられる。

この登熟のための炭水化物の貯金の効果は、2007年すなわち今年と2000年の作柄・品質の違いにも反映されたと考えられる。すなわち、2007年の普通期栽培は、登熟期の日照が比較的多く、台風害の影響も受けなかったが、作柄は今ひとつで品質も低迷した。この要因として、登熟期の気温が高すぎたことが考えられるが、この年と同様に登熟期が高温多照であった2000年は、収量・品質ともに良好であった。そこで、2005年と2006年の比較と同様に、両年の移植後1ヶ月の日平均日照時間を調べてみると、2000年が6.4時間と比較的多かったのに対して、2007年は3.7時間とかなり少なかった。このことが、2007年における穂揃期の茎に貯蔵される非構造的炭水化物の量を減らして、登熟不良の要因のひとつになったと推察された。

このように、日照が増えないのに気温が高くなって発生する登熟不良は、今後も続くことが懸念される。また、近年の穂肥施用量や堆肥投入量の減少が、登熟不良の助長要因となっていることも懸念される。さらに、温暖化の進行に伴って昼温より夜温の上昇が著しくなること、昼温より夜温が玄米の成長を一層阻害することが明らかになっており、今後この点にも注目した対応が必要であろう。

5. 今後の対応

高温による白未熟粒の発生回避技術を提示するにあたって、その考え方は大きく二つに分けられる。一つは登熟期を高温に当てない技術で、もう一つは高温に当たっても耐える、すなわち白未熟粒を発生させない技術である。

前者では出穂期を遅らせることが効果的で、現在多くの地域で遅植えが導入され、直播や晩生品種の導入も検討されている。

後者の高温に当たっても耐える技術については、耐性品種の導入が効果的である。九州沖縄農業研究センターは、2005年に高温寡照耐性のある新品種「にこまる」を育成しており、長崎県では奨励品種として普及が始まっている。この品種の耐性のメカニズムは現在研究が進められているが、一つには前述した「炭水化物の貯金」である茎葉の非構造的炭水化物が「にこまる」で「ヒノヒカリ」よりも明らかに多いことが挙げられる（森田、未発表）。この炭水化物の蓄積を栽培的に増やす方策についても今後検討する必要があるだろう。

また、食味向上のための穂肥量の減少が近年の高温登熟障害を助長している可能性があるため、穂肥量の増加や疎植栽培により出穂期以降の葉色を維持することにより背白粒・基部未熟粒を減らすという方向がある。ただし、これらの方向は籾数の過剰着生による乳白粒の増加や食味の低下を招きやすいため、地域の実情に照らしながら適正な施肥量や栽植密度を提示する必要がある。なお、堆肥投入や深耕が高温年における米の品質維持に効果があることも農家圃場の調査から浮き彫りになっており、地力増強の必要性も示唆される。

このほか、早期落水や乾燥風などによる水ストレスが高温登熟障害の助長要因になっている可能性もある。今後、コンバイン収穫や二毛作地帯では麦播種などの作業体系を考慮しながら適正な落水時期を明確にして現場に示す必要がある。

これらの技術の効果は、現在多くの地域で検討が進められており、すでに技術体系を現場に提示して一定の品質向上効果を上げている地域もある。今後は、さらに技術を高度化していくことが期待される。また、中長期的には、今後さらに耐性の強い品種や栽培技術

を開発するために高温障害のメカニズムの解明を一層進める必要がある。現在、ゲノム研究の成果も活用して玄米でのデンプン合成能力について鋭意研究が進められている。耐性品種の育成に関しては、高温や日照不足を人工的に与えて耐性品種を選抜する試みも行われており、その成果が期待される。栽培法については、高温条件に対応した施肥法や水管理法に関する研究も盛んになっている。しかし、一層の低コスト化・省力化が求められる中で、きめの細かい栽培管理が難しくなっており、コストアップを伴わない効果的な対応技術の開発が望まれており、そのハードルは決して低くない。現場の生産者・団体、研究機関、普及指導機関そして行政が問題を共有して、解決策を講じる必要がある。

6. おわりに

以上をまとめると、1) 九州産水稻の5年連続の作柄・品質低下は登熟不良によってもたらされたこと、その要因としては、日照不足による光合成の低下や高湿度による病害虫の発生、台風による受精障害と玄米成長抑制が示唆される。2) ただし、この5年間の登熟気温は適温である22~23℃を超えており、登熟への影響が明確になりはじめる26℃前後を超えていたことから、高温の影響も少なからず受けていたことが推察された。3) 登熟に及ぼす高温の悪影響は日照不足で甚大化するという実験結果からも、この5年間の登熟不良が高温と日照不足のダブルパンチの影響を受けたことが強く示唆される。4) 高温登熟障害の回避技術としては、移植期の後進や晩生品種の利用により出穂期を遅らせて高温を避ける方向と、高温に当たっても品質や収量が低下しない栽培法や品種を開発する方向があり、現在、鋭意研究が進められており、耐性品種の育成など成果も出つつある。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の最近の報告では、気候温暖化は加速度的に進行していることが指摘されている。もともと高温環境である九州は、温暖化による作物生育への影響もいち早く現れることが懸念される。温暖化に負けないスピードで高温障害を克服できるように一層の取り組みが必要である。

参考文献

- 林陽生 2003. 日本の水稻栽培への影響. 地球温暖化—世界の動向から対策技術まで—. 大政謙次・原沢英夫・(財)遺伝学普及会編. 生物の科学 遺伝別冊 17号. 119—127.
- 近藤始彦・石丸努・三王裕見子・梅本貴之 2005. イネの高温登熟研究の今後の方向. 農業技術 60:462—470.
- 松村修・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.
- 森田敏 2005. 水稻の登熟期の高温によって発生する白未熟粒, 充実不足および粒重低下. 農業技術 60:442—446.
- 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. (印刷中)
- 坂井真・岡本正弘・田村克徳・梶亮太・溝淵律子・平林秀介・深浦壮一・西村実・八木忠之 2007. 玄米品質に優れる暖地向き良食味水稻品種「にこまる」の育成について. 育種学研究 9: 67—73.
- 高橋渉 2004. 農及園 81: 1012—1018.
- 寺島一男・斉藤祐幸・酒井長雄・渡部富雄・尾形武文・秋田重誠 2001. 日作紀 70: 449—458.
- 塚口直史・堀江武・大西政夫 1996. 日作紀 65: 445—452.