

特集

2010年夏季の異常高温と農業被害 —水稲を中心として—

編集委員会

主査 松村 伸二*

本特集の趣旨

松村 伸二*

2010年は2007年以来3年ぶりの異常高温の夏となり、全国各地で高温記録を更新した。猛暑に伴い、電力や都市ガスの需要も過去最高となり、7～9月の熱中症による救急搬送人員は53,843人と前年の4倍以上に達し、死者も167人報告された。

各方面で異常高温による影響がでたが、農業分野においても水稲の1等米比率の大幅な低下という衝撃的な事態が発生した。口蹄疫の再発に始まり、春先の異常低温と、2010年は日本農業にとって苦しい立ち上がりとなったが、それに追い討ちをかけるような夏季の異常高温・少雨は農業全体に大きな打撃を与えた。この猛暑によって秋野菜は品薄となり高騰したため、農水省は野菜の安定供給に向けた対策の検討を始め、10月に野菜出荷安定対策本部を設置し、事態の収拾に努めた。通常は全農産物を対象とするが、野菜だけに限定した異例の対策本部設置であり、消費社会への猛暑の影響の大きさをあらためて認識させられた。

このような農業生産から流通に至るまで多大な影響を与えた昨夏の猛暑について、まとめて総括することが重要であると考え、また今後も気候の温暖化傾向が持続し、極端な異常気象が頻発すると予想されることから、今回の被害を農業の高温リスク対策を考える上での好機として捉え、本特

集を企画することとした。

本企画では、初めに昨夏の気象状況と農業全般の被害統計について概説し、その後は水稲被害を中心に、報道的視点、水稲の高温対策研究の視点、そして農業災害情報伝達の取り組みについて生産現場の視点からそれぞれ報告していただき、最後に将来的な水稲の被害リスクについてまとめていただいた。本年もすでに6月の高温記録の更新が報道されており、農業の高温対策が急務となっているのは紛れもない事実であり、早急な対応が期待される。

1. 2010年夏季の気象状況と農業被害の概要

松村 伸二*

1.1 気象統計値から見た2010年夏季の特徴

(1) 2010年夏季(6月～8月)の気象の特徴

この期間の気象の特徴は、「統計開始以来」という記録づくしの高温である。特にこの3か月平均気温に関してはほぼ全国的に平年値に比べ0.5℃以上高く、地域別では北日本と東日本において1946年以降で最高となり、地点別では全国154地点のうち55地点で最高記録を更新した¹⁾。また8月については、多くの高温記録を更新した2007年と比べても、2010年はその年を超える77地点で月平均気温の最高値を更新している²⁾。6月、7月の平均気温においても平年を大きく上回り、この

* 香川大学農学部

期間の高温レベルは全国的な渇水年である1994年や猛暑年の2007年をはるかに超えていた。

2010年6月～8月期間の平均気温，降水量，日照時間を平年と比較したものが図1-1である。平年を上回る場合は白で，逆に下回る場合は色づけしている。平均気温については全国的に平年を上回ったため地図全体が白っぽいが，降水量については逆に北日本を除いて濃くなっている。平均気温の平年差の値を見ると，東日本で1.5℃以上，北日本では2℃以上あり，西日本に比べて大き

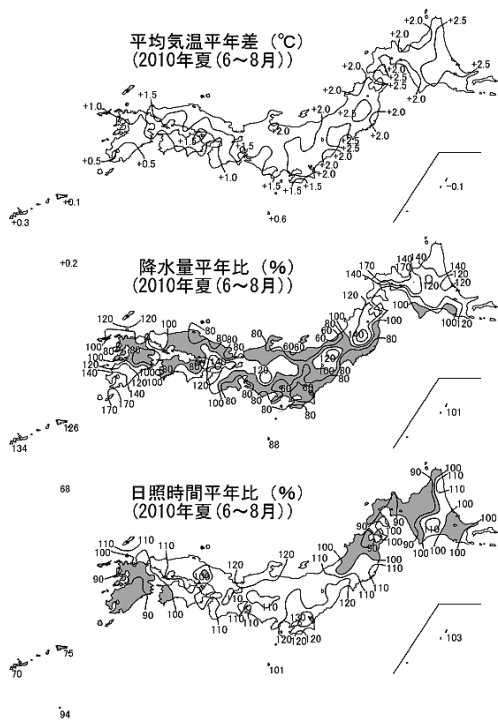


図1-1 2010年6月～8月の期間の平年差，平年比 (気象庁，2011)

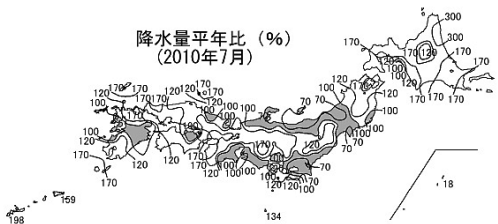


図1-2 2010年7月の降水量平年比 (気象庁，2010)

い。また，降水量については北日本が平年を大きく上回り，東日本や渇水の常襲地である瀬戸内・北九州で少なくなっている。日照時間については降水量の平年比分布とほぼ逆の様相を呈している。

特徴的な点は，多くの農作物の産地を抱える北日本や東日本に広がる平年差2℃以上の高温域である。特に北海道ではほとんどの地域で期間平均気温の平年差が2.0℃以上となり，図1-2に示すように7月の降水量については平年の1.7倍となるほどの多雨であった³⁾。気温を絶対値でみると北日本はそれ以外の地域よりも低温であるが，地域の気候に適した，言い換えれば平年値に適応した作物が栽培されているため，各気象値の平年偏差が大きくなれば，生育は停滞し，収量減少のリスクが高まることになる。

(2) 夏季における上空大気の流れの特徴

図1-3は2010年夏季(6月～8月)の平均500hPa天気図を示したものである¹⁾。北極付近の高緯度が大きな負偏差，日本などの中緯度帯では正偏差が卓越し，中緯度の気温が高かったことを示している。またチベット高気圧が日本付近に張り出し，日本周辺は対流圏から成層圏下部に及ぶ背の

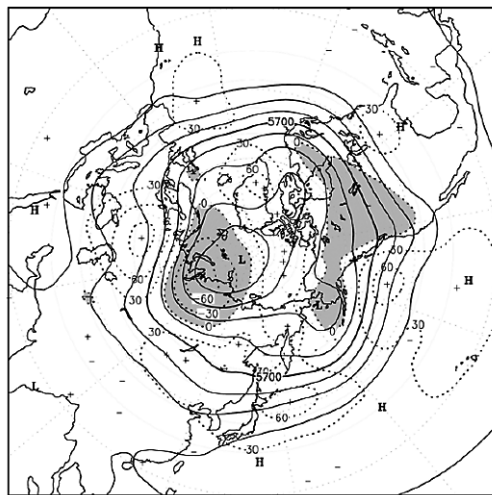


図1-3 2010年6月～8月の平均500hPa天気図 (気象庁，2010)
陰影域は負偏差，破線は平年からの偏差。

高い高気圧におおわれた。このような大気の状態は、平成の大渇水と言われた1994年夏季における500hPa 高度の平均偏差とよく一致している⁴⁾。

1.2 農林水産省統計から見た農業被害概要

(1) 水稻

全国的な作況指数は98で「やや不良」となったが⁵⁾、一部地域を除いて極端な減収にはならなかった。問題はむしろ米の品質低下であって、北日本を除いて全国的に1等米比率が大きく低下した⁶⁾。日本を代表する新潟産コシヒカリは、例年80%以上の1等米比率となるが平成22年産は20%を割り込むほど低下した。米はその等級によって買取価格が変わるため、等級が下がることは収入の減少を意味する。1等米比率の低下は農家にとって大きな問題となったが、それに加えて21年産米の持ち越し在庫が多かったため、卸売業者への販売価格も大幅に下がり、二重の痛手となった。

表1-1 農業地域別の作況指数と1等米比率

農業地域	作付面積		10a当たり	10a当たり	作況指数	1等比率	1等比率
	ha	kg	収量	平均収量		%	(前年産)
北海道	114,600	525	535	98	88.1	85.5	
東北	419,300	558	557	100	75.4	94.0	
北陸	210,900	526	533	99	43.3	89.2	
関東・東山	299,500	520	534	97	75.0	92.7	
東海	104,400	495	502	99	24.4	67.1	
近畿	110,500	500	509	98	35.9	73.7	
中国	117,500	501	517	97			
四国	57,700	481	483	100	36.0	66.6	
九州	190,000	491	502	98	35.3	58.1	
沖縄	914	293	309	95	44.0	27.4	
全国	1,625,000	522	530	98	61.6	85.1	

(2) 小麦

小麦は全国的には秋まきが一般的であるが、春まきのほとんどは北海道である。北海道を除いて、秋まき小麦は秋に播種して6月中旬頃までに収穫期を迎えるため、昨夏の高温の影響を受けることはなかったが、22年産小麦の10a当たり平均収量対比をみると68となっており、大きく減収している⁷⁾。これは、昨年の春先の天候不順（異常低温など）とその後の降水によるものである。北

海道秋まき小麦の成熟期は通常7月中下旬、春まき小麦は8月上旬となるが、いずれの麦も昨年は6月中旬頃からの高温が生育を急速に進め、登熟日数（発育・肥大する時期の日数）が短くなったため、細麦傾向となり、製品歩留まりが低下し、減収となった。

表1-2 全国及び北海道の小麦収量

地域・種別	作付面積	10a 当たり	10a 当たり	10a 当たり
	ha	収量	平均収量	平均収量対比
全国	206,900	276	408	68
北海道	116,300	300	470	64
秋まき小麦	106,800	313	481	65
春まき小麦	9,500	154	300	51

(3) 野菜

野菜への夏季の高温の影響を考える上で、春野菜と夏秋野菜を分けて取扱う必要がある。春野菜とは、季節区分で冬春（主たる収穫・出荷期間12月～6月）、春（同4月～6月）、春夏（同4月～7月）に区分されるものであり、冬春きゅうり、春だいこん、春夏にんじん等をいう。夏秋野菜とは、季節区分で夏（同7月～9月）、夏秋（同7月～10月）、秋（同8月～10月）に区分されるものであり、夏だいこん、夏秋キャベツ、秋にんじん等をいう。従って、昨夏の猛暑の影響を直接受けたのは夏秋野菜であり、全体として前年比でかなり収量が減少している⁸⁾。それに対して春野菜の落ち込みは小麦の場合と同様に昨春の異常低温などの天候不良が原因とされる。なお、春野菜、夏秋野菜が前年度対比で示しているのは、水稻のような単一作物の場合と違い、多種類の野菜が含まれるので、全体としての平均収量的な数値がないためである。

夏秋野菜を品目別にみると、一部を除いて各野菜とも前年比で落ち込んだのがわかる。また表中の平均収量対比とは、10a当たり平均収量（過去7か年のうち最高、最低を除いた5か年の平均値）と当年産の10a当たり収量との対比である。安定的な生産が可能な水稻に比べて、野菜生産においては収量の年次変動が非常に大きく、平均収量を出しにくいいため、単一野菜品目では参考値と

して平均収量対比が用いられている。この値をみても昨夏の夏秋野菜の多くは近年の平均的な収量を下回っていることがわかる。

また、秋から冬にかけて収穫する秋冬野菜は種まきや苗の植付けの時期が8、9月となるが、昨年のこの時期は高温、少雨であったため発芽不良や苗の生育不良が生じて大幅に遅れた地域が多かった。レタスを例にあげると、通常は長野産が10月中旬まで出回り、後続する茨城産が10月上旬から出荷が始まるのに対して、昨年は気温高で長野産は10月上旬には入荷がなくなり、干ばつで定植が遅れた茨城産の入荷が10月中旬となり、品薄高を招いた。このように昨夏の猛暑では円滑な産地リレーを阻害するという影響もでた。

表1-3 春野菜と夏秋野菜の収量（全国）

区分	10a 作付面積 当たり 収量		前年産対比				平均 収量 対比
	ha	kg	t	%	%	%	
春野菜計	36,700	-	1,908,000	100	-	96	-
夏秋野菜計	69,200	-	2,252,000	99	-	95	-
(品目別)							
夏だいこん	6,880	3,390	233,100	96	95	91	95
秋にんじん	6,550	2,780	182,200	103	89	92	87
夏はくさい	2,710	6,150	166,600	97	97	94	101
夏秋キャベツ	10,100	4,370	440,900	99	98	97	102
夏秋レタス	8,860	2,820	250,100	103	97	100	103
夏ねぎ	5,120	1,780	90,900	99	93	92	92
夏秋きゅうり	90	3,150	283,800	98	97	95	98
夏秋なす	950	2,370	214,800	99	100	99	98
夏秋トマト	8,340	3,870	322,500	99	94	93	93
夏秋ピーマン	2,660	2,520	66,900	100	93	93	96

(4) 果樹

ミカンについては、和歌山、愛媛の両県合計で全国の1/3を超える収穫量を占めているが、昨夏はその両県で果実肥大期にあたる時期が高温、少雨となり、果実肥大が進まず小玉傾向となったため収穫量は大きく減少した⁹⁾。なお、ミカンは果実数が多くなる「表年」と少なくなる「裏年」が交互に発生する「隔年結果」が顕著であり、前年でなく前回の裏年にあたる平成20年産との対比となっている。

他の果樹についても、昨夏の高温と少雨で全般

表1-4 みかんとその品種別の収穫量

品目・品種	結果樹 10aあたり 面積 収量		20年産対比			
	ha	kg	t	%	%	%
みかん計	46,100	1,700	786,000	95	90	87
早生温州	26,300	1,770	466,700	96	89	86
うち極早生みかん	8,490	1,640	139,100	95	86	82
普通温州	19,900	1,600	319,300	96	92	88

的に小玉傾向となり収穫量が減少したが、強日射と高温で日焼け果が発生したり、着色不良による出荷遅れになるなどの影響もでた。なお、果樹の場合も収量の年次変動が大きく、前年度対比となっている。

表1-5 みかん以外の主な果樹の収穫量（全国）

品目・品種	結果樹 10aあたり 面積 収量		前年産対比			
	ha	kg	t	%	%	%
りんご	38,100	2,100	798,200	98	96	94
うち つかる	5,210	1,650	85,900	99	90	89
ふじ	19,900	2,230	443,900	99	94	93
西洋なし	1,640	1,600	26,200	98	80	78
かき	22,400	846	189,400	99	74	73
日本なし	13,900	1,860	258,700	98	83	81
ぶどう	18,000	1,030	184,800	98	94	91
もも	10,000	1,370	136,700	99	92	91
びわ	1,630	350	5,700	97	88	86

(5) 畜産

水稲や野菜などに生育適温があるように、家畜にも生産性を維持するための適温域があり、乳牛、肉牛、肥育豚、採卵鶏、ブロイラーでそれぞれ違いがあるが、上限温度は乳牛で27℃、肥育牛（去勢）で30℃、ブロイラーで25℃ほどと言われている。それを超える暑熱環境下に置かれると家畜の呼吸量は増え、飼料摂取量は急激に落ち込み、著しく生産性が阻害され、最悪のケースとしては死に至る。

2010年7月～9月の暑熱による畜産関係被害状況（家畜の廃用・死亡頭羽数）によるといずれの畜種も2008年の死亡頭羽数を圧倒的に上回っている¹⁰⁾。表には示していないが地域別の死亡頭羽数についても九州・沖縄を除いて全国的に2008年より多かった。また、2008年では9月の死亡頭羽数

表 1-6 暑熱による畜産関係被害状況 (全国)

畜種	平成22年				平成20年
	7月	8月	9月	累計	7月～8月 累計
乳用牛	447	1,344	614	2,405	885
肉用牛	155	261	119	535	307
豚	378	782	149	1,309	767
採卵鶏	68.85	154.94	15.18	238.98	61.89
ブロイラー	144.02	395.42	79.15	618.58	187.36

(単位:牛・豚 頭、採卵鶏・ブロイラー 千羽)

が少なかったのに対し、2010年はかなりの被害があり、残暑が相当厳しかったことを示している。

1.3 あとがき

一般に農業被害は複数の気象要因によって引き起こされることが多く、昨夏の猛暑による被害量だけを抽出することが難しいため、平年比や前年比によりその減収量を示した。しかし、昨年のほとんどの減収理由は、高温や少雨、多雨などと明確になっている。各農作物の高温における症状、水の過不足による症状等が生理的にはっきりと現われるからである。

平均気温からみて、昨夏の異常高温のレベルは著しいものであった。そしてその影響は、秋冬野菜の準備(播種や植付け)を遅れさせ、年末まで品薄高が続いたように、夏季だけにとどまらず以後の季節までじわじわと長引かせた。なお、紙面の都合で省略したが、大豆は少雨による干ばつで、また北海道産馬鈴薯は高温と多雨で、生乳生産量は猛暑でそれぞれ大きな減収・減産となっている。

農業における昨夏の猛暑被害は大きな打撃であったが、今後も引き続き異常気象の多発が予想されるため、高温化対策が急務であることをこれらの統計値は物語っている。

参考文献

- 1) 気象庁:夏(6～8月)の天候, 2010, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/stat/tenko100608.pdf>, 2011年3月15日
- 2) 気象庁:8月の天候, 2010, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/stat/tenko1008.pdf>, 2011年3月15日

- 3) 気象庁:7月の天候, 2010, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/stat/tenko1007.pdf>, 2011年3月15日
- 4) 日本気象学会:1994年8月の大気大循環と世界の気候-月平均500hPa 天気図, 天気, vol. 41, pp. 36, 1994.
- 5) 農林水産省:平成22年産水陸稲の収穫量, http://www.maff.go.jp/j/tokei/sokuhou/syukaku_suitou_10/index.html, 2011年6月15日
- 6) 農林水産省:平成22年産米の検査結果(速報値)(平成23年5月31日現在), <http://www.maff.go.jp/j/soushoku/syoryu/kensa/kome/pdf/22km2305.pdf>, 2011年6月15日
- 7) 農林水産省:平成22年産4麦の収穫量(第2報), http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/pdf/syukaku_4mugi2_10.pdf, 2011年6月15日
- 8) 農林水産省:平成22年産春野菜、夏秋野菜等の作付面積、収穫量及び出荷量, http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/pdf/yasai_syunka_10.pdf, 2011年6月15日
- 9) 農林水産省:作況調査(果樹), http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kazyu/index.html, 2011年6月15日
- 10) 農林水産省:暑熱による地域別の畜産関係被害状況, http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/c_suisin/pdf/101029_2-01.pdf, 2011年6月30日

2. 2010年夏季の異常高温

—日本各地を取材して

吉沢 博英*

2.1 高温障害に見舞われた農業

気象庁の観測史上、類のない猛暑に襲われた2010年夏の記憶は生々しい。地球温暖化が進行し、21世紀半ばには訪れるだろうと想定される夏の暑さを早くも先取りした様相だ。生産者は対応に追われたが、農業研究者にとっては貴重な「実験年」となったのではないか。その成果を今後の研究に生かし、生産現場へのアドバイスに役立ててほしい。

異常高温で最も衝撃を受けたのは稲作関係者

* 日本農業新聞営農生活部

だ。全国的に高温障害を受け、関東、北陸以西で軒並み乳白米など白未熟粒が発生し、品質とブランド評価を下げた。1等米比率（11月時点）は62.4%と異例の低水準だった。農業環境技術研究所の数十年後の将来予測では、二酸化炭素（CO₂）が増えて光合成が活発になり、稲作は総じて増収する。他地域は3度までの気温上昇では増収傾向だが、その後は減収し、高温不稔で品質も落ちる——という。その予測を先取りした形だ。産地は高温に強い品種選択を余儀なくされ、土づくりや深耕の重要性の再確認、作期・肥培管理の見直しなどを迫られている。価格も、従来のブランド評価が崩れた価格形成にあり、ブランドの再構築が急務だ。

他分野でも影響は深刻だった。施設野菜では高温による着花・着果不良などの生育不良、露地野菜では葉物類の抽だい、果樹ではリンゴやブドウの着色不良、温州ミカンの浮き皮発生など品質低下がみられた。家畜は熱死や増体の遅れ、乳量低下などだ。

ここでは、10年産水稲の高温障害を克服した産地の幾つかの事例をみるとともに、「温暖化時代の稲作」のあるべき姿を探る。

2.2 高温を克服した稲作産地事例

高温下でも、高品質の米を収穫できた産地や農家がいる。稲作の基本技術を励行したケースといえ、温暖化に太刀打ちできる対策を考える参考事例になる。

①深耕と根域確保の重要性

新潟県上越市の平たん地域で「コシヒカリ」を作る農家のOさんは昨年、地域の1等比率が2割前後と落ち込む中、丹念な土づくりを行い、収量は若干減ったものの8割の1等比率を達成した。特に、秋にプラウで25センチの深耕と天地返しをした圃場では全量が1等だった。天地返しは、作土層の上層と下層を入れ替える作業で、土壤の乾燥を促す。その後、碎土・整地して春に作付けする。

深耕した圃場では、稲株の根は白くて長く、健全だった。Oさんは「プラウ耕で根の生育範囲が

広がり、透水性も高まった。根が水分や養分を十分に吸収し、高温でも登熟がうまく進んだためだろう」とみている。プラウ耕の他にも植え付け株数を抑えて疎植にし、稲体の生育状況に合わせてこまめに水管理をしている。

作土深が深い圃場ほど根圏が広がり、米の品質が良くなる傾向は、複数の研究機関が明らかにしている。各県の栽培指針では、作土深の目安を15センチ以上の深耕とすることが多い。しかし深耕では大型化した農機が安定走行しにくく作業性が落ちるため、ロータリーで浅めに耕起するケースが増えている。農研機構・中央農業総合研究センター北陸研究センターは、高温障害を受けた10年産米の特徴として、米粒の背側が白くなる背白粒と、真中だけ白くなる心白粒が多いことを挙げ、「いずれも登熟後期の稲体の活性が弱いと生じやすい」と指摘。気象変動に強い米づくりには、深耕などで登熟後期まで根の活力が保てる栽培が大切だと強調する（写真2-1）。



写真2-1 両面プラウで深耕・天地返しを行い、11年産に備えるOさん（10年11月、新潟県上越市で）

②遅植えの効果

夏の高湿傾向が続く中、登熟期間中の高温遭遇を避けるために各地で田植えを遅らせる遅植えが浸透している。しかし、9月前半まで高温が続いた10年産の場合、高温障害回避の効果は低かったと考えざるを得ない。その中でも、極端に田植えを遅らせ、3ヘクタールながら「コシヒカリ」を全量1等に仕上げたのが香川県東かがわ市の農事組合法人Sだ。

「コシヒカリ」を慣行より2カ月遅い7月7日に植える「七夕（たなばた）米」。出穂期は8月末と遅く、収穫は慣行より1カ月遅い10月上旬。生育期間が短いため、密植にして穂数を確保し、窒素成分が早めに溶け出して初期生育を促す独自の肥効調節型肥料を使う。10年、東かがわ市では8月下旬、9月上旬の日平均気温は28度だったが、9月中旬には25度、下旬には22度まで低下。その結果、登熟後期の高温を避けられ、白未熟粒の発生を防いだ。

10アール収量は420キロと地域平均より60キロ少ないが、大手デパートなどで「七夕米」のブランドで高値販売する。法人代表は「1等米だからこそ評価を受けている」と自信を深める。田植え時期が遅いため、讃岐うどん用に需要の多い小麦との二毛作にも力を入れる（写真2-2）。



写真2-2 超遅植えの「七夕米」は全量が1等だ（10年12月、香川県東かがわ市で）

③穂肥の見直し

米のたんぱく質含量を減らして食味を上げよう

と、10数年前から水稲生育後期の施肥量を抑える栽培管理が追求されてきた。県などの栽培指針では、出穂後に施用する実肥は論外とされ、穂肥の施用回数・量も減らす傾向が続く。しかし、10年産の稲作では、高温に遭った時に養分吸収を促すための穂肥の重要性を指摘する関係者の意見が相次いだ。食味重視で穂肥を軽視し過ぎたのではないか——。10年産の貴重な経験は、温暖化時代を迎えた稲作の施肥管理を見直す転換点になると感じる。

典型的な例が、福井県と新潟県の10年産の対照的な結果だ。同じ北陸にあって、1等比率は福井県の85%に対し、新潟県は21%と大きく落ち込んだ。兼業化が進む福井県では省力的な施肥方法として元肥一発肥料の利用が盛んだ。08年には穂肥施用時期に重点的に肥効が現れる肥料に変更した。その結果、高温多照の気象推移の中で窒素が登熟期に十分に効き、稲体の活力が保たれて白未熟粒の発生が少なかったと県関係者はみる。一方、新潟県では元肥と中間追肥、生育状況を見ながらの1～2回の穂肥施用という、米所ならではの丹念な施肥管理が主流だ。しかし10年は、6月までの低温・日照不足で徒長気味に生育したため、1回目の穂肥施用を避け、2回目の施用のタイミングも逃したケースが多かったようだ。登熟期の窒素不足で稲の活力が低下し、登熟不良で1等比率が下がった—というのが関係者の見方だ。

手間を省く省力管理で品質が上がり、こまめに管理しながら判断のミスや遅れで品質が落ちたというのは皮肉だ。福井県は「仮に高温でも日照不足だったら光合成量が落ち込み、窒素過剰でたんぱく含有量が増える可能性もあった」とし、突然の気象変動に対応できない元肥一発施肥の限界を指摘する。しかし、穂肥の重要性を再確認するための貴重な事例を提供したといえるだろう。

穂肥の役割を見直す上で、農研機構・九州沖縄農業研究センターが提起する「気象対応型栽培法」は注目だ。その年の気象条件に応じて施肥法や水管理を変える。高温・多照年には、穂肥を多めに、回数を増やして施用することを提案している。10年の「にこまる」を使った試験栽培では、8月上旬に向こう1カ月の高温・多照傾向の気象予測を踏ま

え、十分な量の穂肥を1回目に施用し、その後は継続的に追肥する「少量継続穂肥」の実施を決めた。稲体の窒素を維持して登熟を進め、減収を防ぐためにもみ数を増やす必要があると判断したためだ。もみ数が増え、千粒重も24グラムと米粒が充実した結果、穂肥2回施用区と比べ20～30キロの増収となった。仮に高温でも日照不足の年には、もみ数を抑えるため穂肥は控えめにすることを提案する。

施肥回数の増える少量継続穂肥の実施には労力がかかるが、同センターは液肥や粒状窒素肥料を水田の水口施用で簡易に行う方法を勧める。

2.3 高温耐性品種の頭角

11年産では高温耐性品種が高い品質を保ち、従来のブランド品種との違いが鮮明になった。高温に弱い品種は登熟期間中に高温に遭うと、もみにでんぷんが十分にたまらず、白未熟粒が発生する。これに対し、高温耐性品種として育成された品種は、茎内にでんぷんをためる能力が高く、もみにでんぷんを行き渡らせる組織が壊れにくいなどの構造を持つ。

高温耐性品種が有利だったのは、全国の普及指導センターの調査を元に、農水省が今春まとめた「10年度高温適応技術レポート」を読むと良く分かる。一例が山形県の「つや姫」だ。1等比率は県平均で98%だが、主力の「はえぬき」は73%だった。沿岸部2地域、内陸部4地域に分けた地域別の1等比率も、「つや姫」は96～100%と安定していたが、「はえぬき」は63～92%とばらついた。「はえぬき」は、内陸の標高の高い中山間部では高温障害が出にくかったが、盆地や沿岸平たん部では高温障害が出やすかったということだろう。「つや姫」の気象条件に左右されない安定感が実証された形だ。

他県でも傾向は同様だ。高温耐性品種は、新潟県の「ゆきん子舞」が53%（「コシヒカリ」21%）、富山県の「てんたかく」が90%（「コシヒカリ」58%）、福岡の「元気つくし」が87%（「ヒノヒカリ」16%）、大分県の「にこまる」が73%（「ヒノヒカリ」39%）、佐賀県の「さがびより」が79%

（「ヒノヒカリ」15%）だった。「さがびより」は中山間地、平たん地の県内計6地域で67～89%と品質が比較的安定したが、「ヒノヒカリ」は1地域の71%を除き、全て1桁台の1等比率だった。

ここでは「つや姫」と、高温障害で品質、収量が大きく落ち込んだ埼玉県の「彩のかがやき」を例に、10年産の概況とその後の産地の取り組みをみたい。

① 「つや姫」

「つや姫」は、山形県が「コシヒカリを超える米」との触れ込みで、産地での普及とブランド販売に力を入れている。主力品種の「はえぬき」は外観品質、食味ともに良いが、業務向け主体の販売で、一般に消費者への知名度はあまり高くないようだ。量販店でも比較的安価で販売されており、「いい米なのにブランド戦略を間違えた」と惜しむ米穀関係者もいる。「つや姫」を「ポストはえぬき」に位置付け、起死回生を目指す山形県にとって、10年産の生産・販売環境は消費地に売り込む格好の年となった。

「つや姫」の特性は、多収で倒れにくいことから栽培しやすく、玄米の光沢、粒ぞろいといった外観品質が良い。品種名の由縁通り炊飯米にはつやがあり、甘みが強く食味が良い。筆者が10年産を食べた印象では、炊き上がりの米の照りが素晴らしく、甘みと適度な粘りがあったとてもおいしかった。米の外観品質も良かった。他産地のブランド米よりもおいしいと感じ、「魚沼コシ」に勝るとも劣らない良食味米と評価している。

山形県は今年、昨年の3200ヘクタールから5000ヘクタール以上と作付けを大きく増やした。良食味で、かつ気象条件に左右されにくい米として他県も注目している。現在、「つや姫」を奨励品種に採用しているのは山形県の他、大分県と宮城県。試験栽培は32府県が行う。宮城県では10年産で62ヘクタール栽培された。同県JA 栗っこは7.8ヘクタールで栽培し、倒伏や高温障害が少なく、品質も高く評価した結果、11年産では77ヘクタールまで面積を増やした。

西日本有数の良食味米産地として知られる島根

県も、「つや姫」に目を付けた。将来の奨励品種化を視野に入れ、今年産は10ヘクタールで試験栽培している。うち2.8ヘクタールを栽培する平たん部にあるJA 斐川町の狙いは、高温障害を克服しての良食味米生産だ。「コシヒカリ」一辺倒の生産を改め、多収の良食味品種「きぬむすめ」を主力品種に切り替えた。しかし10年産の1等比率は「コシヒカリ」がわずかに1.5%、出穂が遅く登熟期に高温に遭いにくいとされた「きぬむすめ」も44.5%と、いずれも過去最低だった。JAも10年産の気象条件が「技術対策でカバーできるレベルを超えていた」と認める。出来秋の米の評価が高ければ、米産地の将来を「コシヒカリ」から高温に強い「つや姫」に託す選択も考えている。

②「彩のかがやき」

「彩のかがやき」は、埼玉県が「コシヒカリ」「キヌヒカリ」と並ぶ良食味米として主力品種に位置付け、作付けを急速に増やした。1等比率は例年100%近く、高温にも一定に強いとみられており、10年産は推定1万2000ヘクタールと県内作付面積の3割を占めた。しかし高温障害で、県内で1等比率に格付けされた米は1%に満たない惨状だった。他のうち品種も合わせると、同県の規格外の割合は4割に達し、作況指数は86で生産者の収入は大きく減った。異常気象が原因で生じた社会現象の一つとして全国的にも注目され、「産地支援」の掛け声の下で、「彩のかがやき」は量販店などが5キロ1000円を切る価格で販売したこともある。支援を受けながらも、生産者のプライドは大きく傷ついた。

それでも県の推定によると、今年の「彩のかがやき」の作付面積は昨年並みと見込まれる。県は「10年は気象庁の観測史上でも特別な高温だった。そんな年が何年も続くとは考えにくく、多少の高温であれば技術対応でカバーできると産地が判断した結果だろう」と指摘する。種子調達の問題もあるが、産地は総じて「彩のかがやき」のブランド立て直しにかけたということだろう。

県は7月中旬から8月中旬にかけ「米の品質向上強化月間」と定め、高温障害の回避技術を指導

する「あぜ道講習会」を集中的に開いている。150人の普及指導員を総動員し、県内各地で350回程度の講習会を開く計画だ。7、8月の高温期に水温を下げるために夜間にかん水したり、稲の健全性を保つために穂肥で十分な窒素肥料を補給したりと、「例年並みの1等比率を確保する」（県）ための対策を講じる計画だ。

2.4 今後の稲作に何が求められるか

10年産の反省を踏まえ、冷夏、猛暑など様々な気象条件に対応できる稲作技術の確立が重要だ。そのためにはまず、稲の生理を踏まえた深耕、ケイ酸肥料施用など土づくりをしっかりと行い、強い稲に育てることが肝心だ。さらに九州沖縄農業研究センターの「気象対応型栽培法」の考え方を参考に、生育状況に合わせ、穂肥施用など最適な施肥管理を進める必要がある。今年全国各地で穂肥を重視した栽培指導が行われているようだ。

ただ、稲作農家の高齢化や兼業化で、労力不足にあるのは事実だ。きめ細かい管理の必要性が分かっているにもかかわらず、一発元肥施肥のように手を抜かざるを得ない状況があるのは確かだ。普及指導機関やJAが温暖化時代に合った適切な管理方法をまとめ、省けるところは省き、手抜きできない肝心な節目所では管内全域で実践させるといった指導力が求められるのではないだろうか。一部農家の努力だけでは産地全体の評価の底上げにはならない。

産地ブランドの維持、さらにはアップにつなげるためにも、産地全体で温暖化に負けない米作りを追求しなければならない。10年産は、産地ブランドの評価に大きな変化が生じた年と思えるからだ。

7月上旬、筆者の住む埼玉県和光市にある大手量販店で米売り場をのぞき、米の価格を見て様変わりを感じた。10年産5キログラム入りで秋田産「あきたこまち」「めんこいな」が各1580円、宮城産「ひとめぼれ」が1680円、宮城産「ササニシキ」が1480円。米所の銘柄米が軒並み1600円前後で取引されている中、北海道産「おぼろづき」が2180円だった。粘りの強い低アミロース米で、同じ低アミロースの関東産「ミルクークイーン」と価格はほぼ同程度だろう。

いずれも特別栽培などの付加価値はない米だが、北海道米が堂々と東北産を出し抜いている。その量販店ではこの冬、道産「ゆめびりか」が2000円台半ばの価格を付けていた。それだけ北海道米の品質評価が高く、米穀業者や消費者に認知されてきたということだろう。そこには、本州以西の10年産米の外観品質と食味が平年より劣ったことで、北海道米の評価が相対的に高まったという事情もありそうだ。いずれにしても北海道米の品質が上がっていることは事実で、夏の高温年が続く可能性が高い状況下では、北海道がブランド米産地として評価される時もほど遠くなく訪れるかもしれない。それはそれで結構なことだが、同時に九州が米の不適地と見なされたり、日本海側や中山間地などの良質米地帯が「普通の米産地」に落ち込む事態は避けたいものだ。米所の産地の奮起を期待したい。

3. 高温による米品質被害の発生メカニズムと助長要因、ならびに技術対策

松村 修*

3.1 はじめに

昨年夏の猛暑は全国で米の品質低下をもたらした。被害の多くは玄米胚乳が白濁する白未熟粒が増えたことによる。白未熟粒は物理的強度が劣るので精米等で碎米を生じやすく、これが多い米は精米歩留り（精白米/玄米）が悪く食味も劣る。米品質検査の重要項目でもあり、昨年は多発により1等米格付けを逃した産地が多かった。本稿では白未熟粒を中心に高温による米品質被害の発生メカニズム、発生を助長する要因、北陸地域で実施されている技術対策について述べる。

3.2 白未熟粒の発生メカニズム

胚乳が白く見えるのは、胚乳細胞に蓄積したデンプン粒間にすきまがあり光が乱反射するためである(Rosario et al.)¹⁾。要するに胚乳へのデンプ

ン蓄積が不十分な際に生じるのだが、そのタイプは3つある。一つは光合成同化産物（デンプン）の生成量そのものが少ない場合（生成量不足）、次に生成量は充分だが生成場所の葉から貯蔵場所の胚乳への輸送・蓄積に問題がある場合（転流障害）、最後に同じく生成量は充分だが貯蔵場所の容量が過剰なため結果として米一粒当たりでは充実不足となる場合（初数過剰）、である。つまりデンプンの生成量、転流、貯蔵場所の容量、これら3つの要素と各要素への気象条件や栽培条件などの影響や作用によって白未熟粒発生のメカニズムは説明できるのである。以上の考え方をイネの成長との関係で示したのが図3-1である。初数過剰の原因は生育の初中期にかけての茎数過多等の過剰生育によるものであり、気温の高い暖地・温暖地でこのパターンが多い。デンプン生成量不足に影響する気象条件としては7～8月の低温、低日射が大きい。北日本の冷害は典型的な例である。出穂後の登熟期における転流障害は、期間中の高温・低温・日照不足がその時々において作用することで各種の白未熟粒を発生させると考えられる。高温遭遇時期と白未熟粒の白濁部位との関係については田代ら(1991)²⁾による研究がある。一方、山川ら(2007)³⁾は胚乳細胞内の糖・デンプン代謝関連酵素の遺伝子発現におよぼす温度の影響を解析し、高温下で多くのデンプン合成系酵素や糖代謝系酵素の発現が低下し、逆に α -アミラーゼなどデンプン分解系酵素の発現は高まることを明らかにし、高温時の転流障害の背景にこれら酵素の代謝異常があることを示した。

白未熟粒発生要因となる気象条件の中で、最も注目されているのが高温である。図3-2に北陸4県の「コシヒカリ」1等米比率と、夏季の平均気温の関係を示した。平均気温25℃付近を境としてこれより高温年では1等米比率が明らかに低下しており、北陸では低温よりも高温の方が品質への影響が大きいことがみてとれる。

3.3 被害発生の助長要因

一方で、高温でもさほど品質が低下しない年もある。図3-2でも高温域での1等米比率分布のば

* (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター

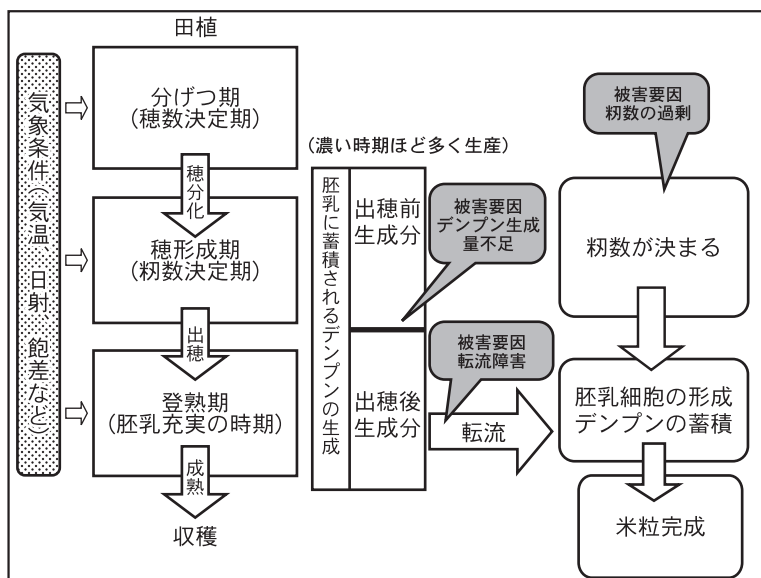


図3-1 イネの成長と白未熟粒被害発生要因との関係

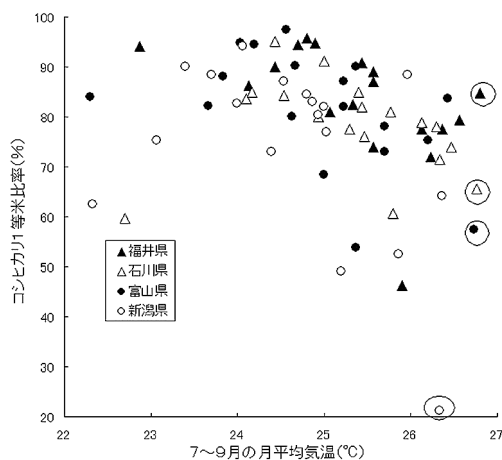


図3-2 北陸各県のコシヒカリ1等米比率と夏季気温の関係
1993~2000年、各県庁所在地気象台の観測値。1等米比率は2010年10月31日現在、○囲みは2010年

らつきはかなり大きい。また、狭い地域内においても被害程度が大きく異なる場合がある。2006年夏、新潟県蒲原平野で発生した高温による米品質被害の地域間差について表3-1に各地区の1等米比率の違いで示した。作付品種に大きな違いはなく、アメダスデータから推測される気温も大差は

表3-1 新潟県蒲原平野における1等米比率の地域格差(2006)

市町村区分	合併前旧区分	1等米比率 %	
新潟市	旧新潟市	80~90	
	豊栄・水原	85~90	
	亀田・横越	85~90	
	白根	50~75	
	黒埼	49	
	味方	40	
	潟東	55	
	中之口	41	
	月潟	24	
	西川	86	
	巻	64	
	岩室	62	
	弥彦村	弥彦村	76
	燕市	旧燕市	26
吉田		63	
分水		51	

なかったが、1等米比率80~90%におよぶ地区から20%台の地区まで大きな差がみられた。北部(旧新潟市から亀田・横越まで)でやや高いようにもみえるが、旧燕市と吉田との差のように、隣接するごく近い地区間でも明瞭な差が存在した。この年はまた品質の生産者間差も大きかった。このような違いの存在は、被害要因が単純に気象条件

だけで説明できないことを意味する。おそらくは栽培方法の違いや土壌条件、水利条件など細かな圃場環境、営農環境の違い等が影響して地域間差や農家間差が生じるのであろう。これらの要因は被害発生の「助長要因」ととらえることができる。

ここまでの考え方を整理し、気象要因を引き金要因とした上で助長要因との関係を図3-3に示した。助長要因のうち作物的要因は、肥料過多による籾数過剰や逆に肥料や地力の不足による窒素栄養不足、根の機能低下などがあげられ、いずれも水稲が障害を受けやすい体質に育ってしまう原因である。営農的要素として、著者はブランド品種への過度の異存による不適地での作付拡大、浅耕化による作土層の減少、農業用水の富栄養化、農業地帯におけるヒートアイランドの影響などを指摘したが（松村2007）⁴⁾、これらの要因は稲作構造を障害を受けやすい状態に置くこととなる。気象条件がほぼ同じ地域や農家間での被害の差は、これら助長要因の違いにより説明できるだろう。

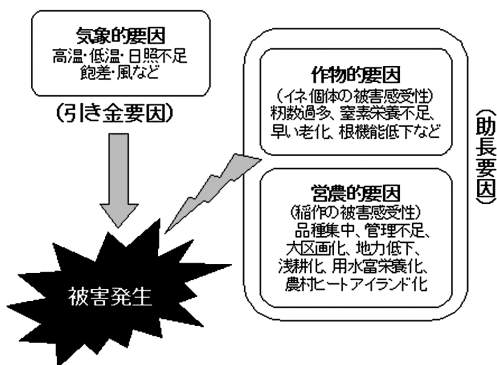


図3-3 品質被害発生に関わる引き金要因と助長要因のイメージ

平成22年産米の品質低下では、北陸地域にあっては新潟県の被害がとくに顕著であったが（図3-2）、これも助長要因との関係で説明でできる。すなわち、新潟県では生育診断結果からイネの倒伏を予想し、これを回避するため穂が発育する時期の施肥（通常2回）を1回に減らしたが、そのため稲穂が出穂期以降窒素栄養不足気味となった。一方、被害が小さかった他県では、窒素を徐々に放出する肥効調節型肥料の田植時全量施用体系の普及率が高く例年と施肥量に変化がなかった（福井、石川）、肥料不足になりやすい砂壤土が広く分布し施肥回数を減らすことがもともとと考える（富山）、ことなどから窒素施肥量が維持された。この窒素施肥量の違いが、登熟期稲体窒素栄養の差となり、被害程度につながったと考えられる。新潟県ではまた、生育抑制のため水田を干す「中干し」を必要以上に長期かつ強く実施した農家が多く、出穂以降の根の機能低下が顕著となったと思われる。以上の助長要因の違いが被害に差が生じた原因であったと推察される。

3.4 助長要因としての土壌管理要因

根の機能や稲体の栄養条件に関係する土壌管理要因は、助長要因の中でも極めて重要である。深耕や有機物・土壌改良材の施用、水管理が相当する。以下に筆者らが実施した研究を一部紹介したい（松村ら2006）⁵⁾。表3-2は、新潟県内で毎年比較的高い1等米比率を保つ高品質米生産者に栽培法に関するアンケートを行った結果である。調査結果から明らかになった彼らの栽培の大きな特徴は、土壌改良材・堆肥の施用率や稲わらすき込み実施率が高く、深耕を意識的に行うなど土壌管

表3-2 高品質米生産者の栽培・土壌管理と県平均比較

	窒素施肥量 (kg/10a)	土壌改良材施用率 (%)	堆肥施用率 (%)	わらすき込み 実施率 ¹⁾ (%)	深耕の 実施率 ²⁾ (%)	栽植密度 (株/m ²)	溝切り・ 中干しの実施率 (%)
調査生産者	4.7	65	48	100	78	16.9	100
新潟県平均 ³⁾	5.1	36	5	94	-	17.7	溝切り70 中干し89

- 1) わらを堆肥化して投入している場合は実施とした。
- 2) 「意識的に深耕に努めている」と回答した率。
- 3) 新潟県農林水産部「平成16年度稲作概況と課題」2005年3月による。ただし栽植密度のみ農水省「平成16年度作物統計」による。

理を積極的に行っていることであった。中でも注目されたのは深耕に対する意識の高さであった。深耕は根の分布域を確保する重要な手立てであり、根の機能維持を通じて品質確保に貢献すると考えられるが、回答者の多くが意識的に深耕につとめていた。

品質におよぼす深耕の影響をさらに詳しく把握するため、大規模農家が自作地には手厚い土壤管理を行うが借地には行わないことに着目し、回答者の中から自作地とそれに近接する借地圃場を持つ生産者を選び出し、圃場毎の平均作土深と玄米整粒歩合との関係を調査した(図3-4)。整粒とは胚乳に濁りなど無く十分に充実した米粒のことでこの割合が高いほど米品質は良い。品種と施肥法が同じ条件の中で、作土深が深いほど整粒歩合が高い傾向が認められ、深耕によって培われた作土の深さが品質に大きな影響をおよぼしていることが認められた。さらに土壤管理の違いが根の活性におよぼす影響を明らかにするため、登熟期の水稻根の活性を窒素安定同位体(重窒素)でラベルした窒素肥料を用いて調べた。図3-5に圃場ごとのイネの重窒素吸収率を示した。吸収率が高いほど

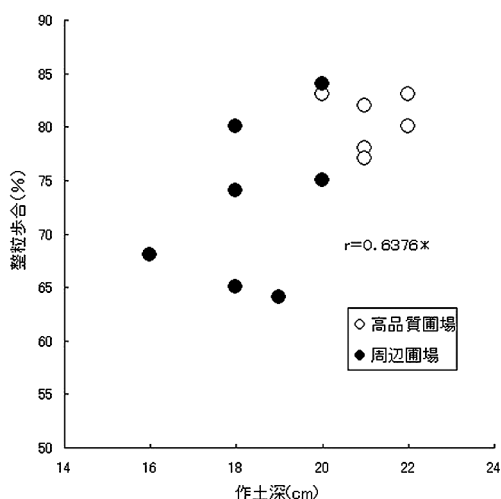


図3-4 圃場の作土深と整粒歩合の関係(コシヒカリ) 作土深は土壤貫入抵抗測定器を田面に貫入し、その抵抗値が急上昇するポイントを耕盤の位置とみなし、そこまでの深さを作土深とした。各圃場とも同一日に測定。

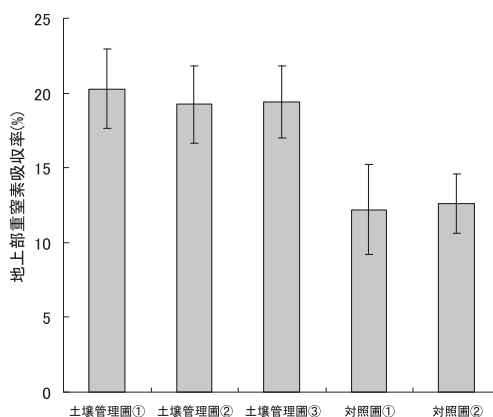


図3-5 土壤管理が異なる水稻の重窒素吸収率の違い 出穂後14日目に重窒素標識硫酸を施用、48時間後の吸収率。品種はひとめぼれ。土壤管理圃①～③は連年稲わら還元し深耕を実施、対照圃①②は近接するが稲わらは連年持ち出しし、深耕も実施していない共に耕作者は同じで栽培法も同じ。土壤管理圃は耕作者自作地、対照圃は借地。エラーバーは標準偏差。

根の活性が高いと考えられるが、深耕など土壤管理を実施した圃場の吸収率は明らかに高く、より根の活性が高く維持されていた。これら一連の結果から、土壤管理の違いは高温時のイネの被害感受性に大きく影響することわかった。以上、土壤管理という栽培の一側面からの結果であるが、助長要因の改善が被害対策となりうることを示した。

3.5 北陸での高温被害対策

3.5.1 移植時期の繰り下げ

新潟や富山、福井では、登熟期の暑熱を回避するため移植時期を繰り下げ、出穂を遅くさせている。石川県は、4月下旬など極端に早い田植えの回避や、移植栽培より出穂が遅くなる直播栽培を奨励している。

3.5.2 適正籾数への制御・誘導

籾数過剰を避けるため、地域や品種ごとの目標籾数や穂数を決めて栽培管理を行っている。制御手段として溝切り・中干しの適期実施を呼びかけている。

3.5.3 疎植栽培

過剰生育の防止や生育後期の窒素栄養の維持のため疎植栽培を奨励している例もある。側条施肥普及率の高い福井県では、根系の表層部への集中傾向が品質低下の一因であるとみており、この場合とくに疎植の効果が高いとしている。

3.5.4 施肥改善

田植時全量施用体系の普及地域では、異常高温の場合には追肥もありうることを説明している。生育後半の窒素栄養凋落が懸念される場合、2回行う穂肥の時期と量を工夫する指導も実施されている。米タンパクが多いと食味が落ちるが、これを意識しすぎて稲体が窒素栄養不足に陥ることがないように管理が必要である。

3.5.5 早期落水の防止

収穫時のコンバイン走行を安定させるため早い時期から落水する傾向があったが、根の活力維持には良くないので防止を呼びかけている。

3.5.6 地力向上と作土深の確保

有機物の施用や稲わらの還元、15cm程度の適正作土深確保を奨励している。有機物の適度な施用は土壌から放出される窒素（地力窒素）を増やし、イネの極端な窒素栄養不足を予防する。作土深確保は根の機能維持に有効で、転流障害を受けにくい稲体を形成する。

3.5.7 高温耐性品種の育成と普及

新潟の「こしいぶき」、富山の「てんたかく」は高温でも白未熟粒が少ないことを目標に育成された。ただし「こしいぶき」は昨年やはり被害を受けており、品種の高温耐性を温度耐性と乾燥耐性にかけて考えるなどの検討が今後必要である。

3.5.8 被害回避対策のあり方

引き金要因である高温を防ぐための手だては、今のところ移植時期繰り下げしかないのが現状である。高温時に水の入れ換えを積極的に行い水温や地温下げる方法もあるが（永島ら2005）⁶⁾、全農

家が実施するほど用水量に余裕のある地域は少ない。対策の中心は、やはりイネの被害感受性を減らす上記2～7となる。イネは本来、熱帯～亜熱帯起源の作物である。日本の稲作技術の主眼はそのイネを寒冷適応させることに置かれてきており、高温適応への意識は相対的に小さかった。これを考えると、高温障害を克服する品種開発や栽培技術開発は必ず早期に実現されると確信する。

参考文献

- 1) Rosario, A.R.D., et al.: Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel, *Cereal Chem.* Vol.45, pp.225-235, 1968.
- 2) Tashiro, T. et. al.: The effect of high temperature on kernel dimensions and the type and occurrence of kernel damage in rice, *Aust. J. Agric. Res.*, Vol.42, pp.485-496, 1991.
- 3) Yamakawa, H. et al.: Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using DNA microarray, *Plant Physiol.* Vol.144, pp.258-277, 2007.
- 4) 松村 修: 高温障害に強いイネ, 養賢堂, pp.1-10, 2007.
- 5) 松村 修・他: 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*, Vol.75 (別2), pp.54-55, 2006.
- 6) 永島秀樹・他: 高温登熟条件下における乳白粒および胴割粒の発生軽減技術, *石川農総研報*, Vol.26, pp.1-19, 2005.

4. 水稲作柄等情報共有化の成果

小森 盛三*

4.1 はじめに

本県の水稲は、約2万ヘクタール栽培されており、太平洋沿岸の早期水稲約8千ヘクタールと内陸部の普通期水稲約1万1千ヘクタールの10万tの生産量となっている。

早期水稲は、秋の台風被害を避けるため昭和28年より、温暖な気候を活かして3月から4月に移

* 宮崎県西臼杵支庁農業普及課

植し、台風シーズンとなる8月下旬までに収穫を終える防災営農として、県沿岸地域を中心に普及し定着している。昭和30年代後半より良食味のコシヒカリが導入され、昭和46年からの稲作転換対策等により良食味品種による産地間競争が激化する中、お盆前に出荷できる「日本一早いコシヒカリ」の産地として、温暖な気候を活かした稲作を長年営んでいる。

しかしながら、平成19年の早期水稲では、生育後半の長雨・日照不足に加え、台風4号の襲来により、出荷量の7割が乳白米で規格外となる未曾有の被害を受けた(図4-1)。

特に、台風通過後一昼夜吹き続けたフェーン風が、登熟後半の初に大きな影響を与えた。

この被害は、外見上異常が見られなかったこともあり、収穫作業が始まり農産物検査まで気づくことが出来ず、県、関係機関の対応が遅れ農業共済制度の運用にも大きな支障をきたした。

その後に各種支援対策は講じたものの、農家の経営不安や当時、東国原知事就任で販売増を期待し、販売計画を立てていた県内外の米流通販売業者の信頼を失うなど、本県水稲の生産・販売に与えた影響は甚大であった。

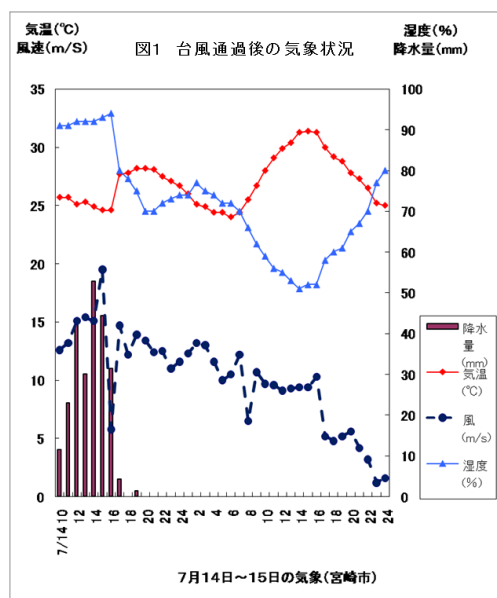


図4-1 台風通過後の気象状況

このような事態を受け、作柄や品質等の迅速な情報共有化体制の整備を進め、一定の成果を得たので紹介する。

4.2 情報共有化体制の整備

今後も台風などの広域的な気象災害をはじめ、温暖化が原因とも言われる局地的な災害が懸念される中で、安定した米の生産や栽培農家の経営安定を図る必要がある。そこで、平成19年の経験を踏まえ、普及指導員をはじめ関係機関・団体が作柄や気象等の情報を迅速に収集し、共有化する体制の整備が重要との考えから、支庁・農林振興局(農業改良普及センター)が地区水稲技術員会(県、市町村、JA、NOSAI担当で構成)組織をリードし、

- ①作況の把握や気象データ(台風情報等)の収集・提供
- ②台風等の事前事後対策や品質低下防止対策の支援
- ③収穫前品質調査による品質・被害程度の把握及び対応策の共有化

などで、連携を密にすることとした。

特に、異常を感知した場合は、技術員会で対策を検討し、関係機関の伝達手段を使い、栽培農家等へ迅速に情報を伝達し、適切な対応が出来るよう体制づくりを行った(図4-2)。

4.3 収穫前品質調査の実施について

今回の情報共有化体制整備の主題である収穫前品質調査について、平成19年の普通期水稲から試験的に実施することとした。その際、サンプリングや品質判定方法の確立と関係機関との役割分担などの調査体制と作業手順の確認などの課題の整理を行った(図4-3)。

(1) 調査時期

- ①早期水稲(コシヒカリ)(※平成20年以降)
出穂後おおむね20~25日頃
- ②普通期水稲(ヒノヒカリ)
出穂後おおむね35日頃

なお、調査時期以後に台風等の被害を受けた場合は、その都度調査を実施。

(2) サンプルの収集(支庁・振興局、NOSAIで

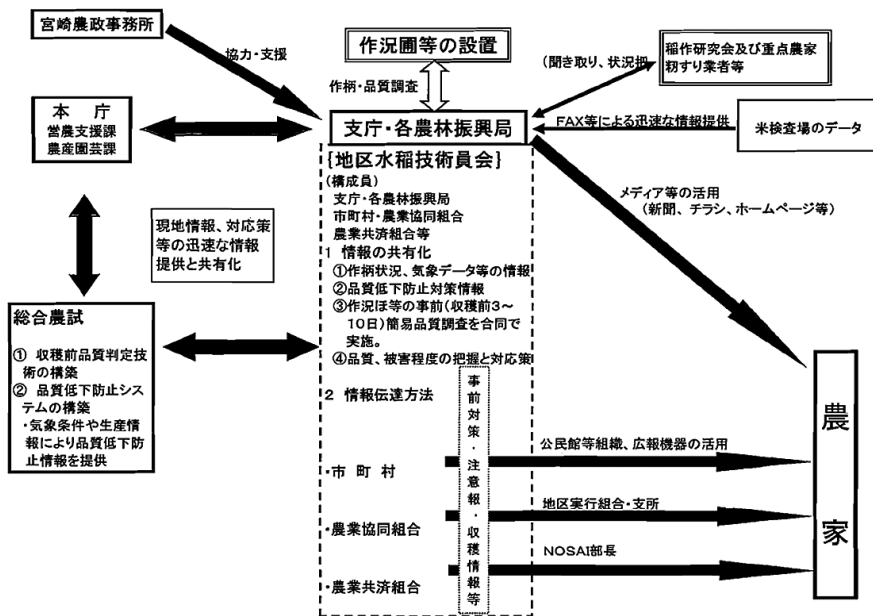


図4-2 普及現場における水稲作柄等情報共有化体制について



図4-4 玄米の登熟状況

図4-3 収穫前品質調査作業行程

実施)

支庁・振興局やNOSAI等が設置している作況等の栽培履歴が把握できるほ場から、管内5筆を基準としてサンプル収集し、1筆当たり平均的な5株を採取する。

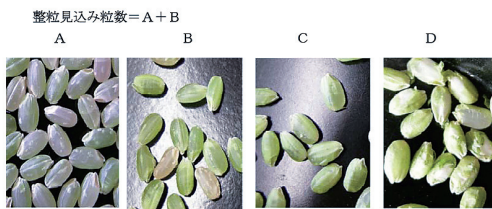
(3) 乾燥調整 (NOSAIの施設を利用)

採取した稲は、農作物共済損害評価組合等実測調査要領に準じて、乾燥・初すり・調整を行う。

(4) 品質判定

①分析機による調査 (JA又は支庁・振興局)

穀粒判定機により、整粒歩合及び未熟粒割合



整粒 今後の生育によって整粒になる可能性の高いもの。 今後の生育によってBになる可能性の高いもの

図4-5 整粒見込み基準

(乳白粒，基部未熟粒，腹白未熟粒)について調査を行う。

②農産物検査 (JA)

等級及び格下げ理由について、JAの農作物検査員が判定を行う。

③収穫前調査での整粒歩合及び等級予測の方法

図4-4のように登熟中盤まで出穂後日数の違いにより登熟程度に差があり、青未熟が多いことに加え作業中の急激な乾燥により砕粒や胴割粒の発生が多い。穀粒判定機では、整粒歩合が低く分析データだけでは等級の判定が困難であるため、検査員の経験を頼りに目視判定を行った。

このうち中部農林振興局では、玄米10グラムを図4-5のように①整粒(A)、②整粒になると思われるもの(B)、③Bにまで登熟すると思われるもの(C)、④青未熟又は死米(D)の4ランクに分け、重さを量り、AとBを整粒見込みとして整粒歩合を算定し、そのデータを使い結果を説明することとした。

4.4 調査結果 (中部農林振興局調査データより)

平成20年の調査では、コシヒカリが出穂後33日目には収穫期となるため、1回目の調査を平成19年に被害のあった出穂後20日程度の時期とし、2回目をその5日後、3回目を収穫期調査時に実施した。その結果は表4-1にまとめているが、

①1回目の調査から、出穂後20日以内では青未熟粒が多く整粒歩合が0～数パーセントと低いた

め目視での品質判定は困難である。

②出穂26日目頃になると整粒も60%になるため、目視でも十分判定が可能となった。

③平成19年のような気象状況でないため、乳白米の発生が確認できるかについては不明であるが、収穫前10日目頃にはおおよその品質判定が可能と判断し、21年度は収穫前10日目頃を基準として調査をすることとした。

平成21年は、低温のため登熟が遅れたため、表4-2のとおり整粒歩合が20～30%台と低かったため、前年同様の機械による判定は困難であったが、目視による農産物検査では収穫期時の品質判定との差がほとんど無かったため、収穫前10日の調査で、十分品質判定は可能であった(表4-2)。しかし、本来目的である乳白米等の被害粒確認については、台風の影響が無い場合十分な検討は残されたままであるが、収穫前10日を基準に調査を続け、調査精度の向上と継続的な調査体制を維持する。

4.5 水稲作柄・品質等情報共有化体制の成果

この収穫前品質調査により、収集されたデータやサンプリングした玄米が、技術指導の材料や米流通・販売業者の信頼回復の材料として役立ち、

表4-1 平成20年度品質判定機結果及び農産物検査結果

番号	出穂後日数 (収穫前日数)	穀粒判定機			整粒歩合 (予測) (%)	農産物検査	
		整粒歩合 (%)	未熟粒割合 (%)	内乳白粒割合 (%)		検査等級 (予測)	格下理由
【1回目】							
1	24(-8)	19.4	42.0	2.1	(74)	(1等)	
2	21(-8)	9.4	56.5	4.5	(75)	(1等)	
3	20(-11)	16.6	76.7	5.1		(1等)	
4	20(-11)	4.7	42.2	6.0	(65)	(2等)	青未熟
5	16(-14)	0.0	69.0	7.7		判定不能	
【2回目】							
1	29(-3)	59.3	35.5	0.7	(73)	(1等)	
2	26(-3)	60.2	33.1	0.6	(75)	(1等)	
3	-	-	-	-	-		調査中の事故により
4	-	-	-	-	-		測定不能
5	21(-9)	17.1	77.1	1.9	(66)	(2等)	整粒不足
【成熟期】							
1	32	89.0	8.0	0.9	89.0	2等	カメムシ
2	29	89.3	7.4	1.3	89.3	1等	
3	31	86.2	11.5	1.4	86.2	1等	
4	31	83.1	10.9	1.2	83.1	1等	
5	30	71.8	26.7	0.8	71.8	1等	

表4-2 平成21年度品質判定機結果及び農産物検査結果

番号	出穂後日数 (収穫前日数)	穀粒判定機			整粒歩合 (予測) (%)	農産物検査	
		整粒歩合 (%)	未熟粒割合 (%)	内乳白粒割合 (%)		検査等級 (予測)	格下理由
1	26(-6)	33.9	36.2	2.6	(74)	(1等)	
2	26(-6)	44.2	26.3	1.2	(77)	(1等)	
3	25(-6)	29.5	40.4	3.4	(73)	(1等)	
4	25(-7)	25.9	31.6	2.5	(74)	(1等)	
5	23(-8)	13.8	49.2	4.5	(67)	(2等)	整粒不足
6	23(-9)	34.4	37.8	2.8	(75)	(1等)	
7	22(-9)	7.9	53.1	4.9	(64)	(2等)	整粒不足
8	21(-8)	10.1	51.6	6.3	(65)	(2等)	整粒不足
1	32	74.6	23.4	2.0	74.6	1等	
2	31	81.5	17.3	1.4	81.5	1等	
3	31	73.9	20.2	5.1	73.9	1等	
4	32	77.7	20.1	2.7	77.7	1等	
5	31	82.1	12.4	2.6	82.1	1等	
6	32	74.5	19.5	3.9	74.5	1等	
7	31	79.5	16.6	2.9	79.5	2等	斑点米
8	29	75.9	21.3	4.0	75.9	1等	

あわせて病害虫の被害低減効果等の成果が現れている。

(1) 栽培技術指導に活用

本県の早期水稲は、中干し時期が梅雨時期と重なるため、収穫前の早期落水により玄米の充実不足が問題となっており、平成19年も早期落水が被害を助長した原因の一つと考えられていた。日頃から、間断かん水の重要性を説いているものの、機械の作業性を重視している農家が多いため、な

かなか落水の延長が実行されていなかった。しかし、図4-6のように、収穫前品質調査のデータから出穂後日数と整粒歩合の動きを見ると、出穂後20日目以降に急激に整粒歩合が向上していくことが、グラフにすることで可視化され、間断かん水や落水延長の必要性が理解されるようになった。特に、被害が出穂後20～23日目であったことを強調することにより、水管理の重要性を説明する良い材料となっている。

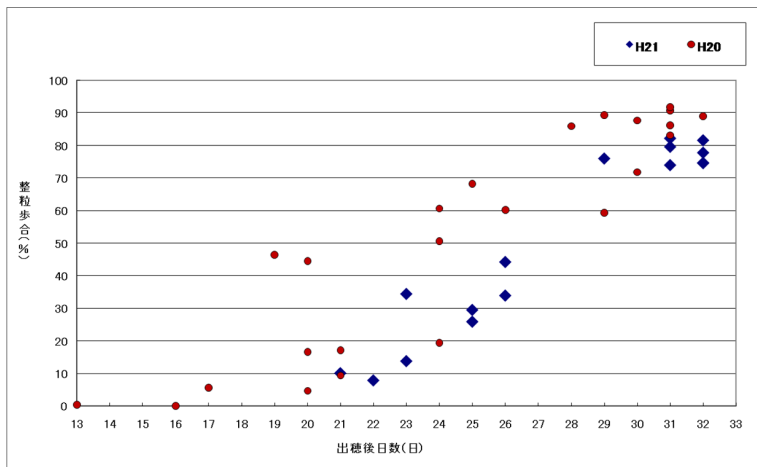


図4-6 出穂後日数と整粒歩合

(2) 米流通・販売業者への信頼回復

平成19年は、県内外の米流通販売業者の知事ブームを見込んだ販売計画が根底から崩れたことから、50年培ってきた本県コシヒカリの信頼を失ったが、収穫前品質調査で使用した試料を県経済連及び県集荷組合へ、県外で行っている販売活動の資料として提供し、品質面で問題ないことをアピールしてきた。試料提供することにより、県外流通販売業者から「到着するまでの品質不安が払拭され、計画販売が立てやすい。」との高い評価を受け、信頼回復の近道となった。

(3) 病害虫被害の低減効果

病害虫については、毎年のように被害があるため、現場活動で得られた情報や対策の共有を図っている。特に海外飛来害虫のウンカ類については、ウンカ類飛行予測システムを参考に病害虫防除センターによる飛来量の調査結果から防除警報等の情報提供を行っているが、関係機関までで終わっていることが多く、農家まで十分な情報提供となっていないため、緊急防除時の迅速な情報提供が課題となっていた。

水稲作柄等情報共有化体制で、情報の共有化等を進めていた平成20年度はウンカ類飛行予測システムの飛来予想を参考に現地調査した結果、近年にない飛来数が確認できたため、平年より早い7月下旬に、病害虫防除センターが病害虫発生予察警報を発表し、8月上旬の防除の周知を図った。

しかし、8月中旬になっても短翅型雌成虫の密度が依然として高いため、8月13日に再度記者発表を行い、新聞等で防除を呼びかけたが、周知が徹底されなかった。そのため、例年より早い出穂後の8月28日には一部で坪枯れが確認され、このままでは2千ヘクタール以上の坪枯れ等の被害に拡大する恐れがあった。そこで、水稲作柄等情報共有化体制により緊急広報活動を行うよう、本庁営農支援課から普及センターに指示を出した。

地域では、普及センターの指示のもと決められた役割分担により、広報車や防災無線にチラシや広報誌での呼びかけ等により周知活動を徹底し、被害を最小限の80ヘクタール程度に抑えることが出来た。

翌年もウンカ類飛行予測システムの予測から、県北中心に同様の活動を行い効果を上げた。このことから、病害虫対策としても、この体制で十分対応出来ることが確認された。

4.6 残された課題

平成19年以降にフェーン風等による被害が無い

- ため、
- ①収穫前10日に高温やフェーン風による白未熟粒が確認できるのか
 - ②仮に確認されたとして出穂から収穫まで期間の短いコシヒカリの場合（宮崎県では出穂後32日で収穫）は、調査結果まで3日以上かかる現方式で各種対策を周知する時間が確保できるのか
 - ③収穫時期で出荷価格が異なる早期コシヒカリの場合、どの程度の被害で収穫を止めるのか等の課題が残されている。

4.7 おわりに（課題解決に期待すること）

課題解決のため、平成19年より九州沖縄農業研究センター、愛媛大学、宮崎県、鹿児島県とで、日照不足と台風による早期米品質低下の予測・対策技術開発について共同研究が行われ、発生メカニズムや予測、被害の軽減技術、新たな品質判定技術等の研究成果が平成22年度にまとめられたことから、普及現場と一体的な成果の普及が期待されている。また、迅速な広報活動の手法として、地上デジタル放送や携帯メール等を活用した広報手段についても積極的な活用を期待したい。

5. 地球温暖化と異常気象の影響

－2010年夏猛暑の水稲品質への影響－

林 陽生・岡田 将誌*

5.1 はじめに

大気中の温室効果ガス濃度の増加などによる地球規模の環境変動と、エル・ニーニョやラ・ニーニャなどの大気と海洋の間でおこるエネルギー取

* 筑波大学生命環境科学研究科

支の平均状態からの偏差が重なり合って、日々の気象環境が生まれる。農業は、この気象環境の変動と密接に関係している。

全球気候モデルは、将来の気候の状態を予測する手法として極めて重要な役割を持っている¹⁾。しかし、一つのモデルで地球規模と異常気象の規模の現象を同時に取り扱うことには、まだ成功していない。従って、本報告のテーマである、水稲品質への影響を議論する場合には、モデルの結果を利用した予測と同じ程度に、過去に発生した異常高温時の実態の解明が重要な意味をもつ。こうしたなかで、2010年の夏は猛暑となった。各方面に現れた影響は、将来を考える上で非常に貴重なサンプルである。本報告は、最近研究が進みつつある水稲品質の低下の問題と、その背景にある収量現象や栽培適期の移動について、農業気象の立場から解説する。

5.2 変化する収量と栽培期間

これまでに研究対象となることが多かった水稲収量と栽培期間への影響について、はじめに示す。気温上昇が水稲の収量と栽培的期へ及ぼす影響を考える場合には、次の三つの関係が重要である。すなわち、(1)水稲の収量は出穂後約1ヶ月間の気温および日射量と密接な関係があり、一般には、出穂後40日間の平均気温が約21℃より高温の条件になると単位日射量あたりの収量が減少することが知られている。林ほか(2001)²⁾によると、もし2℃上昇する場合を考えると、日本全国の平均収量(気象条件のみで決まる潜在的な収量)は、約3%減少することになる。また、(2)生育が進み登熟に至るには一定の積算温度が必要であるが、気温が上昇すると短い栽培期間で必要な積算温度を獲得することができる。この結果、栽培期間が短縮する。さらに、(3)気温が上昇することにより、従来の気象条件に応じて実施していた移植日が暦上で早まることになる。

これら(2)と(3)が、単独あるいは相乗して働くと、(1)による収量減少を緩和する効果がある。林(2003)³⁾は、こうした関係性を考慮して、全国に分布する栽培地域ごとに将来の気象変化を予

測し、その条件のもとで収量を高く維持できる栽培期間(最適栽培期間)を決め、収量を推定した。その結果、全国の水稲収量に変化が現れた。特徴は次の通りである。最も水稲に適した地帯が、現在の気候条件での北陸地方から、温暖化時には東北地方の北部と北海道地方の一带に移す。収量の変化をみると、東北地方の一部と北海道地方では一定水準まで増加する一方、関東地方および標高が高い地域を除いた西南暖地の広い領域で減少することが示された。ただしこの推定では、現在と同じ品種を栽培するものとし、大気中の二酸化炭素濃度の上昇による施肥効果は考慮していない。

興味ある点は、地球温暖化が進むと収量を維持するために栽培に最適の期間が変化する点である。栽培期間の変化と重要な関係がある最適移植日の変化を図5-1に示す。今世紀末までの代表的な10年間の平均状態について、地方別にみたものである。縦軸の最適移植日は、1月1日を起日とした数値で表してある。北海道地方では今世紀中ごろまでは移植日を早めることで収量を維持できるが、その他の地方では年代の経過に従い移植日を遅らせる必要がある。こうして今世紀中ごろになると、甲信越/北陸/東海地方では、40日以上遅くなると予想される。

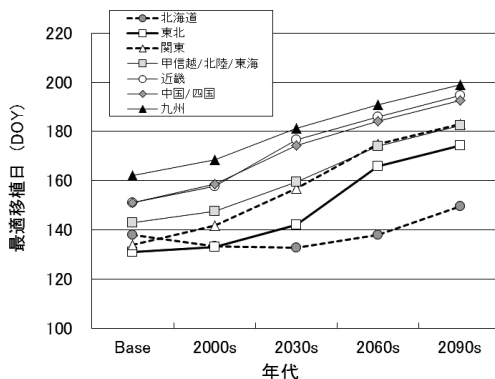


図5-1 将来における最適移植日の変化(林：原図)

5.3 一等米比率の低下

一般に、作物の生長の程度は生長を促す光合成と成長を抑制する呼吸に必要なエネルギーの差し引きによって決まるが、気温の上昇は呼吸による消耗

を増加させてバイオマスの増加に負の影響を及ぼす。また出穂した後の生殖成長期になると、高温のため白濁した玄米が増えて一等米比率が低下し、最終的に品質が低下する。従って、ある程度は収量と品質は対応して変化する。白濁した玄米は白未熟粒と呼ばれ、さまざまなタイプが認められており要因が異なることが明らかになっている(森田, 2008)⁴⁾。

農林水産省では「累年の作況指数, 一等米比率, 10a 当たり収量及び平年収量」のデータを提供している⁵⁾。これをもとに、代表的な地域別に近年の一等米比率の変化を示した結果を図5-2に示す。幾つの特徴が現れている。全国平均値(沖縄は除く)はほぼ60~70%を推移しているが、北海道地方の一等米比率は変動しながら上昇する一方、九州地方は低下するという逆方向の変化が認められる。これらに対して北陸地方(新潟, 富山, 石川, 福井)は、高い品質水準であったものが

2010年に急激に59.5%に低下した。この低下幅は1979年以来最大である。この他、1993年の冷害や1999年の台風害の影響で、どの地方でも同時に一等米比率が低下する傾向が現れている。

気温上昇による一等米比率の低下は、2004~2008年の九州地方で顕著だった。しかし2009年に一度高まった後に再び2010年の猛暑で低下する一方、北陸地方でも大きく低下した。

Okadaほか(2009)⁶⁾は、将来の気候条件のもとで九州地方の水稻品質にどのような変化が現れるかについて解析を行った。気候モデルの予測値を利用する場合に、予測に使用したモデルに起因する不確実性を考慮しなければならない。そこで、利用できるモデルの中から10種類を選び、2つの温室効果ガス排出シナリオ(SRES-A1BGとSRES-A2)と2つの将来年代ごとの将来気候と、現在気候を条件として一等米比率を求めた。この結果を図5-3

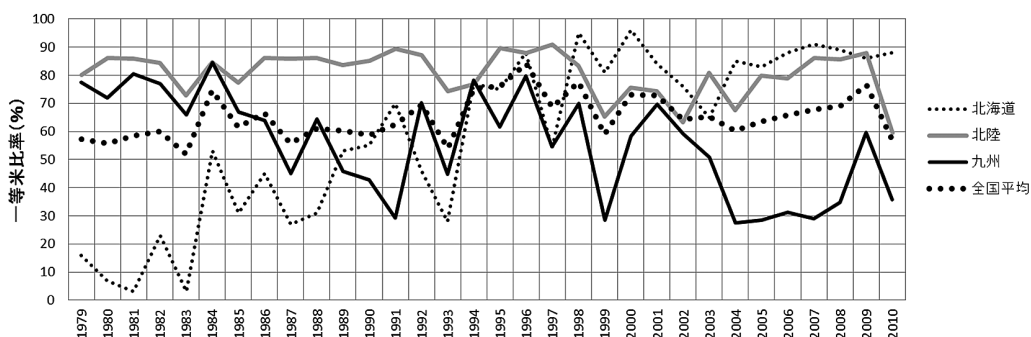


図5-2 近年における地域別一等米比率の変化 (林: 原図)

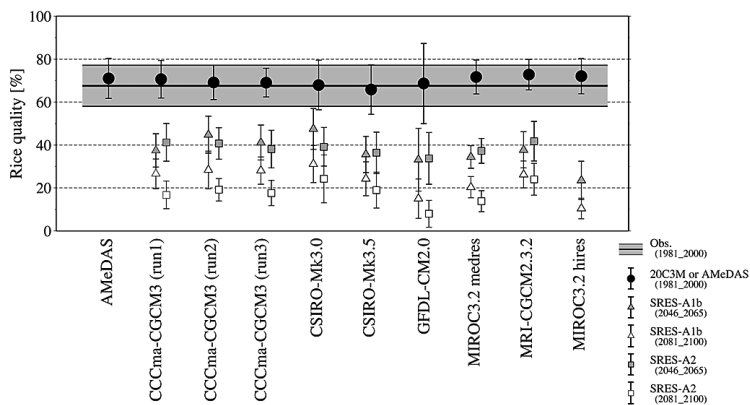


図5-3 九州を対象にした将来の水稻品質の予測 (岡田, 2009)

に示す。それによると、黒丸および影をつけたほぼ60～80%の範囲に分布する現在の状態から、いずれのモデルと温室効果ガス排出シナリオの組み合わせにおいても今世紀の中頃にはほぼ40%の状態、さらに今世紀末頃には20%の水準へ低下することがわかる。

5.4 2010年猛暑の影響

2010年の夏季は全国的に高温となり、6～8月の全国平均気温は、1898年の統計開始以来113年間で最も高かった。特に8月には強い太平洋高気圧に覆われて気温が高く、各地で月平均気温の高い記録を更新した。その結果、コメの品質には全国的に顕著な低下が現れた。原因は登熟期の高温に伴う白未熟粒の発生によると推測されている。

こうした2010年夏季猛暑による影響の実態を知ることが、将来の温暖化影響に対する評価および適応策の開発のためには重要である。そこで、過去10年間について食糧統計年報(農林水産省)、作物統計(農林水産省)、気象データにはアメダス観測値のメッシュ分布を用いて解析を行った。沖縄県を除く46道府県の一等米比率(Quality)と、出穂後20日間の平均日最低気温(Tmin)および平均日積算日射量(SR)の関係を図5-4に示す。縦

軸は出穂後20日間における単位日射量当たりの一等米比率を、横軸は同じ20間の平均日最低気温である。

地点や年度によるバラツキはあるが、平均日最低気温が約19℃より高温側は気温上昇に伴いQuality/SRの値が低下する関係が現れている。低温側でも若干低下していることから、この関係は2次関数で当てはめることができる。また、地域特性も現れている。高緯度の地域ほど低温かつQuality/SR値が高い位置に、南の地域ほど高温かつQuality/SR値が低い位置にプロットされている。

図5-4では同時に、平年と2010年の差異を読み取ることができる(同じ地域でも濃い色が2010年の値を示す)。いずれの地域も平年と比べ2010年のTmin値が高くQuality/SR値が低下している。従って、2010年の品質低下は出穂後の気象環境と密接に関係すると考えられる。詳細に見ると、2010年のプロットが平年のプロット集団に対し、少し高温側に分布している。この特徴は、高温耐性品種の導入や栽培管理上での対応が施された結果、本来Quality/SR値が下位に分布するケースでも多少高めに維持された結果と推測することができる。しかし、詳細な因果関係については生育過

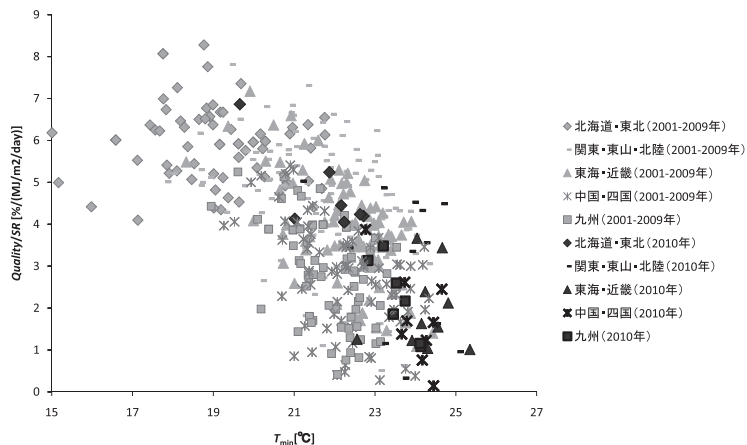


図5-4 一等米比率と出穂後20日間の平均気象環境の関係(2001-2010年)(岡田:原図)

Tmin: 出穂後20日間の平均日最低気温

Quality: 一等米比率

SR: 出穂後20日間の平均日積算日射量

各地域で平年(2001-2009年)は淡色、2010年は濃色で、濃淡差をつけている

程全般への影響を考慮して明らかにする必要がある。

以上の議論は、全国的な品質変化を出穂後の気象条件をもとに説明したものである。しかし、2010年に一等米比率が大幅に低下した北陸地方(新潟、富山、石川、福井)のなかでも、栽培技術面の条件の違いが品質の違いを引き起こしたことが指摘されている。新潟、富山、石川、福井の一等米比率はそれぞれ21%、64%、69%、84%と、新潟県の値が最も低い。各県における栽培技術の差異については別の機会に譲ることとし、気象条件の違いとの関わりについて指摘しておこう。すなわち、新潟県では他県と比較して5～6月の気温がかなり低く経過した。このため、稲体が平年並みに生育せず、その後の登熟期の高温に対する耐性が十分備わらずに顕著な品質低下が現れたという指摘がある。さらに、発育遅延により通常の施肥方法を実行できず肥料不足となったなどの調査結果も示されている。これらの点についても、詳細に検討する価値がある。

5.5 あとがき

地球温暖化が我々の社会に与える影響が顕在化しつつあり、温室効果ガスの排出を抑える「緩和策」だけでなく、温暖化が進んだ気候に合わせて社会システムを調節する「適応策」を実現させる必要性が増している。特に農業生産の場においては、比較的短い時間スケールで発現する異常気象への備えを考慮しつつ「適応策」を考えることが重要である。このためには、過去に発生した、将来と類似な現象の徹底解明が求められる。

こうした解析と同時に、半旬～旬程度の時間刻みで、今、国内のどこで、どのような生育状況が進行しているか、また被害が発生しているか、などの情報を共有して栽培に当たることができれば非常に効果的と考えられる。このような過去の情報の活用については「農業温暖化ネット」(<https://www.ondanka-net.jp/index.php>)が公開されているので、参考にされたい。

本報告では、気象環境が変動しているという視点から、水稻品質変動の特徴について解説した。

気象環境以外にも様々な要因が水稻品質に影響する。総合的な解析と評価、さらに将来の環境変動への対応が、今ほど求められる時代は無い。

参考文献および資料

- 1) 環境省：気候変動への賢い適応－地球温暖化影響・適応研究委員会報告書－。地球温暖化影響・適応研究委員会，340p，2008。
- 2) 林 陽生，石郷岡康史，横沢正幸，鳥谷 均，後藤慎吉：温暖化が日本の水稻栽培の潜在的特性に及ぼすインパクト。地球環境，6，pp.141-148，2001。
- 3) 林 陽生：日本の水稻栽培への影響。遺伝，別冊17（地球温暖化），裳華房，pp.119-127，2003。
- 4) 森田 敏：2007年を含む最近の九州産水稻の作柄・品質低下の実態と要因，日作紀，77，pp.1-12，2008。
- 5) 農林水産省：一等米比率の推移及び平成22年産水稻うるち玄米の検査結果（平成23年1月31日現在），http://166.119.78.61/j/study/suito_sakugara/h2203/pdf/ref_data2-4.pdf，2011年6月30日
- 6) Okada, M., T. Iizumi, Y. Hayashi, and M. Yokozawa: A climatological analysis on the recent declining trend of rice quality in Japan. J. Agric. Meteorol., 65, pp.327-337, 2009.

6. まとめにかえて

松村 伸二*

本特集では、水稻を中心に2010年の猛暑による農業被害や対策についてまとめた。農業分野特有の専門用語はできるだけわかりやすく説明していただいたつもりであるが、行き届かない部分についてはご容赦願いたい。

松村（主査）は猛暑の気象的な特徴と農業全般の被害状況を気象庁及び農水省の資料からまとめている。食料基地としての北日本・東日本の高温は多くの農産物の国内需給バランスに大きな影響を与えていたことがわかる。

猛暑による農業被害のポイントを報道的視点から取り上げた吉沢は、いくつかの猛暑対策の成功

* 香川大学農学部

事例を紹介している。そのような現場の生産者の知恵や行動力による成果は研究者にとって耳が痛いところもあるが、研究上のヒントになる可能性も大いにある。

松村は、水稲の高温障害の発生メカニズムを噛み砕いて解説しつつ、米どころ北陸における水稲被害とその助長要因と対策をまとめている。水稲の高温対策研究の最前線の紹介から、日本の水稲栽培技術の高さに驚かされ、いずれ高温対策も克服されるだろうという期待が高まる。

宮崎県で整備された水稲栽培における情報共有化体制や、その技術指導への実際の成果が事例的に小森から示された。この情報共有化体制は農業に限らず一般災害時の避難体制の構築にも多くの示唆を与えるものであろう。それぞれの体制づくりに互いの知恵を融通し合って改善されていくことを願うしだいである。

林らは、水稲における気温上昇を考える上でのポイントを示し、各種の気候モデルに複数の温暖化シナリオを仮定して計算した水稲品質の予測事例を紹介し、将来的な品質低下の可能性を指摘している。直近の対策だけでなく、長期的な視点での対策が必要なが思い知らされる。

近年の気温上昇は農業の高温対策の構築を急がせているが、気象庁は冷夏のような異常気象も多発すると予測している。極端な気象変動が起りやすいという見方である。従って、高温対策も急務であるが、北日本は冷害対策にも備える必要がある。その際の対応にも迅速な情報収集が大切になってくることは言うまでもない。林らが紹介しているような「温暖化ネット」や小森が紹介したような地域的な「情報共有化体制」が今後益々重要かつ効果的な農業対策の一つとなるであろう。

なお、紙面の都合で各執筆者には当初の予定より大幅にページ数を制限したにもかかわらず、快くコンパクトに仕上げてくださいました。ここに記して感謝するしだいである。