

II. 育種指定試験地における耐性育種の成果と展望

1. 水稻耐冷性育種の成果と展望

菊 地 治 己*

1. はじめに

北海道立上川農業試験場は1886年に現在の旭川市に設立された。1896年には水稻の試作試験を実施し、その後、本格的な育種が開始されたが、1927年には、全国的水稻育種体制の整備に伴って指定試験地が設置された。

戦後まもない1947年に、この試験地は札幌農事改良実験所上川試験地と改称され、農林省の直轄事業となったが、1950年には廃止され、育種事業は札幌の北海道農業試験場に移管された。その後は道費試験による育種のみとなったが、1964、65年の連続冷害を契機として、1966年に再び指定試験地が設置された⁷⁶⁾。

この間、上川農試は文字どおり寒地における早生耐冷性品種の育成の最前線基地として、幾多の品種を世に送り出し、北海道の稲作発展に大きく貢献してきた。上川農試稲作研究100年、指定試験再設置30年という記念すべき節目の年である1996年に奇しくも耐冷性が強く、かつ食味の良い「ほしのゆめ」が育成された意義は大きい。以下、当指定試験地における1966年以降の耐冷性育種の成果について述べる。

2. 水稻の冷害研究

1) 北海道の冷害

世界的にも北限の稲作地帯である北海道では過去110年間に29回にもものぼる冷害が発生しており、稲作に対する最大の脅威となっている⁷⁷⁾。明治、大正期の大冷害についてはもはや記録によってその惨状を偲ぶしかないが、昭和以降も冷害は頻発している。特に1993年は道内の作況指数が40、全国平均で74と戦後最大規模の大冷害であった。この結果、深刻な米不足がおり、買いためや売り惜しみなど、いわゆる平成の米騒動が繰り広げられたことは記憶に新しい。

減反による生産調整がきびしく行われている米ではあ

るが、ひとたび、1993年級の大冷害がくれば、再び需給が逼迫することは明らかである。とりわけ、国内総生産の約8%のシェアを占める北海道稲作の安定化が極めて重要であり、冷害に関する研究、特に育種に対する期待は大きい。

北海道の冷害および冷害研究に関しては多くの優れた論文、総説等があるので^{74,76,77,84,86,87,98)}、詳細についてはそれらに譲り、ここでは耐冷性育種の基礎として重要な耐冷性の遺伝について簡単に述べたい。

2) 耐冷性の遺伝解析

水稻の冷害を障害型と遅延型の2つの型に分類したのは、1945年から1949年に上川農試の支場長であった酒井寛一博士であるが⁹⁰⁾、以来、北海道農業試験場を中心に上川農試をはじめ道立農試各場による耐冷性に関する栽培生理研究が着実に進展してきた。

近年、穂孕期の障害型冷害に対する耐冷性については、低温による障害不稔の発生機構に対する研究が進み、成熟花粉による受精率を(分化小胞子数×発育花粉歩合×受粉歩合×受精効率)の4つの構成要素の積としてとらえる理論がSatakeにより提唱され⁹²⁾、これらの各要素の決定プロセスにさまざまな遺伝子が関与しているのではないかと考えられている。

障害型耐冷性の遺伝解析については、酒井が1947年に上川農試でおこなったタベート肥大に関する遺伝子分析がおそらく最初であろう。その後、鳥山⁹⁶⁾によって北海道大学農学部作物育種学教室の保有する標識遺伝子を利用した耐冷性に関する連鎖分析が行われ、数個の遺伝子の関与が推定された。

最近では、「Silewah」などの外国稲に由来する耐冷性遺伝子の解析が進みつつあるが^{82,83,88,89)}、日本稲のもつ耐冷性遺伝子との異同は明らかではない。

東北など寒地に栽培される日本品種の耐冷性の起源については、系譜的な考察から、明治時代に関東以西に普及していた「愛国」や「神力」に由来するという説が有力であるが⁹¹⁾、北海道品種の耐冷性に関しては、その品種成立過程から推測して、江戸時代に東北途地方から道南

*北海道立上川農業試験場
水稻育種指定試験地

地方に導入された在来品種から選抜育成された「赤毛」の持つ耐冷性をベースに、上記の府県品種の耐冷性遺伝子などが集積されてきたものと思われる⁷⁷⁾。

いずれにしても、前述のように、これら日本稲の耐冷性に関する遺伝子分析が進んでいないので、関与遺伝子の実体については不明である。ただし、最近、北海道品種と東北品種の耐冷性の直接的な比較が試みられ^{81,85)}、両者の強弱関係が明らかになりつつある。育種的には多様な母本を用いて耐冷性遺伝子の集積をはかることが重要と思われる。

遅延型耐冷性や、開花期の障害型耐冷性に関する研究も稍力的に行われて来たが^{78-80,93-95)}、関与遺伝子の同定には至っていない。また、直播育種に関連して、低温発芽性や、低温下における出芽性、初期伸長性などの解析では、一部、分子生物学的な手法が導入され、低温で発現が誘導される遺伝子などが単離されている⁹⁹⁾。

このように、稲の耐冷性といっても、その生育時期に対応した種々の耐冷性があり、それらを多面的に、あるいは単独で制御する耐冷性遺伝子が想定されるが、今後、RFLP(制限酵素断片長多型)などのDNA分子マーカーを用いたQTL(量的遺伝子)解析が進めば、やがて、こう

した耐冷性遺伝子も次第に解明されていくものと思われる。

3. 品種育成試験の成果

1) 育種目標

上川農試に置かれた指定試験地の目的ならびに育種目標は、1975年に策定された国の作物育種基本計画によれば、「寒地中北部向良質品種の育成ならびに高度耐冷性早生品種の育成」であったが、1993年の作物育種基本計画においては、「早生・高度耐冷性、良食味及び直播栽培適性品種の育成」となった。具体的には下記の目標のもとに品種育成試験を実施している。

- 1) 早生高度耐冷性：極強クラスの実用品種
- 2) 良食味：「コシヒカリ」並の極良食味
- 3) 直播適性：極早生、高度苗立、良食味
- 4) 多収：低コスト栽培用多収品種
- 5) 糶：府県糶並の良質性、加工適性
- 6) 縞葉枯病抵抗性：良食味実用品種

2) 早生耐冷性品種

前述のように、上川農試における水稻育種の歴史は

表1 指定試験事業により育成された品種 (1966年以降)

品種名	系統名	農林登録 番号(水稻)	品種 決定年	交配組合せ	育成 方法	主要特性	最大普及 面積(ha)
イシカリ	道北1号	217号	1971	北海182号/空育4号	集団	中生、多収、良質、耐病	73,337
キタアケ	道北36号	268号	1983	永系7361/道北5号	集団	早生、耐冷、多収	10,000
ハヤカゼ	道北47号	303号	1990	北育74号/道北36号	集団	早生、耐冷、早熟	300
彩	道北52号	309号	1991	永系84271/キタアケ	約培養	中生、低アミロース	394
きたいぶき ¹⁾	上育413号	318号	1993	上育395号/上育397号	集団	極早生、直播用	40
風の子もち ²⁾	上育糶417号	糶333号	1995	上系85201/北育糶80号	集団	中生、耐冷、良質	2,000 ³⁾
ほしのゆめ	上育418号	340号	1996	あきたこまち/道北48号 //上育397号	集団	中生、耐冷、良食味	38,000 ³⁾

注1) きたいぶきは新配布時は道費育成系統、1991年に指定試験に移管
2) 風の子もちは1991年に指定試験に移管
3) 普及見込み面積

表2 育成品種の特性一覧

品種名	出穂 早晩	草型	ふ先 色	芒性	耐冷性		いもち病耐病性		耐倒伏性	玄米 品質	食味 (全国基準)
					障害型	遅延型	葉いもち	穂いもち			
イシカリ	中早	偏穂数	黄白	無	や強	や強	や強	強	強	上下	下上
キタアケ	早中	穂数	黄白	稀一極短	強	や強	中	中	強	上下	中下~下上
ハヤカゼ	早早	穂数	黄白	無	強	や弱	強	強	や強	上下	中下
彩	中晩	穂数	黄白	中一短	や強	や強	弱	弱	中	上下	上下
きたいぶき	極早	穂数	黄白	稀一短	や強	や弱	強	強	中~や強	上下上	中中
風の子もち	中早	偏穂数	黄白	少一短	強~極強	弱	中	中	や強	上下上	上下上*
ほしのゆめ	中早	穂数	黄白	少一短	強	中	中	中	や弱~中	上下上	上下

*：道内基準

表3 育成系統一覧 (1966年以降)

系統名	配布年	交配組合せ	育成方法	出穂 早晩	耐冷性 障害型	備 考
道北1号	1968	北海182号/空育4号	集団	中早	や強	イシカリ
道北2号	1968	みまさり/農林20号	集団	早晩	強	
道北3号	1968	みまさり/新雪	集団	早早	や強	
道北糯4号	1968	みまさり/双豊糯	集団	極早	中	ユーカラの早生変異
道北5号	1969	北海182号/ふくゆき	集団	早早	や強	
道北6号	1969	巴まさり/空育4号	集団	早中	や強	
道北糯7号	1969	みまさり/双豊糯	集団	早早	や強	ユーカラの早生変異
道北8号	1970	ささほなみ/上育234号	集団	早早	や強	
道北9号	1970	ユーカラ × 線照射処理	突然	早晩	や強	
道北10号	1971	ささほなみ/上育234号	集団	早早	強	ユーカラの早生変異
道北11号	1971	上育294号/豊雪A	集団	極早	強	
道北12号	1972	上育254号/上育234号	集団	早早	や強～強	
道北13号	1972	ささほなみ/上育234号	集団	早早	中～や強	ユーカラの早生変異
道北14号	1973	ユーカラ/上育349号	集団	早晩	や強	
道北15号	1973	ユーカラ/上育349号	集団	中早	や強	
道北16号	1973	ユーカラ/上育349号	集団	中中	や強	ユーカラの早生変異
道北17号	1973	上育323号/新雪	集団	中中	や強	
道北糯18号	1973	かむいもち/ささほなみ	集団	中早	強～極強	
道北糯19号	1973	かむいもち/ささほなみ	集団	中中	や強	ユーカラの早生変異
道北20号	1974	北海222号/上育323号	集団	中中	や強	
道北21号	1974	北海222号/上育323号	集団	中中	や強	
道北22号	1974	北海222号/上育323号	集団	晩中	強	ユーカラの早生変異
道北糯23号	1975	ふ系糯84号/道北1号	集団	晩晩	中～や強	
道北24号	1975	はやゆき/道北1号	集団	早晩	や強	
道北25号	1975	レイホウ/道北6号	集団	早晩	や強	ユーカラの早生変異
道北26号	1975	ふ系69号/石狩白毛//上育350号	集団	中晩	や強	
道北27号	1976	道北1号/永系68209	集団	早晩	や強	
道北28号	1976	道北1号/空育87号	集団	中早	や強	ユーカラの早生変異
道北29号	1976	コシヒカリ/道北1号	集団	中早	中～や強	
道北30号	1977	コシホマレ/道北10号//道北10号	系統	早早	や強～強	
道北31号	1977	レイホウ/イシカリ//イシカリ	系統	早晩	や強	ユーカラの早生変異
道北32号	1977	北海228号/イシカリ//イシカリ	系統	中早	や強～強	
道北33号	1977	道北1号/永系68128	集団	中中	や強	
道北34号	1978	永系71303/イシカリ	集団	早中	や強	ユーカラの早生変異
道北35号	1978	道北14号/きたこがね	集団	早中	や強	
道北36号	1980	永系7361/道北5号	集団	早中	強	
道北37号	1981	キタヒカリ/道北24号	集団	中早	中～や強	ユーカラの早生変異
道北38号	1982	道北糯18号/道北11号	集団	極早	や強	
道北39号	1982	キタヒカリ/道北24号	集団	中早	や強～強	
道北40号	1984	渡育214号/道北糯18号	約培養	中早	強	ユーカラの早生変異
道北41号	1984	道北21号/道北31号	集団	中早	や強～強	
道北42号	1985	ミネアサヒ/道北36号	約培養	中早	や強	
道北43号	1985	NM397/イシカリ	集団	中中	中	ユーカラの早生変異
道北44号	1986	注2)	約培養	早晩	中～や強	
道北45号	1986	道北37号/空育114号	集団	早晩	強	
道北46号	1986	道北36号/キタヒカリ	集団	中早	強	ユーカラの早生変異
道北47号	1987	北育74号/道北36号	集団	早早	強	
道北48号	1987	北育74号/道北36号	集団	早晩	や強～強	
道北49号	1988	空育114号/道北36号	集団	早中	強	ユーカラの早生変異
道北50号	1988	永系78415/道北36号	集団	早晩	極強	
道北51号	1988	永系84271/キタアケ	約培養	早晩	や強～強	
道北52号	1988	永系84271/キタアケ	約培養	中晩	や強	ユーカラの早生変異
道北53号	1989	永系84271/キタアケ	約培養	早晩	や強	
道北54号	1990	道北46号/上育397号	約培養	中早	や強	
上育414号	1991	上育397号/道北47号	約培養	早晩	強	ユーカラの早生変異
上育415号	1991	道北44号/みちこがね	集団	早晩	や強	
上育416号	1991	道北46号/上育397号	集団	中早	や強	
上育糯417号	1992	上系85201/北育糯80号	集団	中早	強～極強	ユーカラの早生変異
上育418号	1993	あきたこまち/道北48号//上育397号	集団	中早	強	
上育419号	1994	あきたこまち/道北48号//上育397号	集団	中中	や強～強	
上育420号	1995	上育414号/上育413号	約培養	中早	強	ユーカラの早生変異
上育421号	1995	東北143号/上育404号//道北54号	集団	中中	強	
上育422号	1995	道北52号/上育413号	約培養	中中	や強～強	
上育423号	1996	上系91340/AC91678	約培養	早晩	強	ユーカラの早生変異
上育424号	1996	上系91340/空系90242 (A)	約培養	中早	や強	
上育糯425号	1996	上育糯411号/はくちょうもち	集団	早中	強～極強	
上育糯426号	1996	上育糯411号/北育糯83号	集団	早晩	強	旧北育90号

注1) 特性は主に新配布系統に関する参考成績書ならびに新品種決定に関する参考成績書による。

 2) 渡育214号/道北36号//コシヒカリ/奥羽305号/永系77168)F₂

100年であるが、この間に育成された品種は69品種に上り、うち指定試験および国の直轄事業による育成品種は31品種、残りの38品種が道費により育成されている。1966年以降に指定試験地により育成された品種は7品種である(表1、表2)。

また、1966年以降に指定試験より配布された地方番号系統は67系統であるが(表3)、これらの系統と品種について、まず、耐冷性の中でも、もっとも重要と思われ

る穂孕期における障害型耐冷性(以下耐冷性)と出穂早晩性の関係について表4にまとめて示した。

これによると、耐冷性に関しては、極強が1系統、強から極強が3系統品種、強が16品種系統、や強～強が9系統あり、半数近い系統品種の耐冷性が強いことがわかる。

また、熟期別に見ると、育成系統の約半数の34品種系統が極早生、早生であり、このうち、耐冷性が強以上のものは12系統である。この中で品種となったものは「ハ

表4 育成系統の出穂早晩と耐冷性

出穂早晩 耐冷性	極早生	早生			中生			晩生			系統数
		早早	早中	早晩	中早	中中	中晩	晩早	晩中	晩晩	
極強				D 50							1
強～極強			JM 425		DM 18 風の子もち						3
強	D 11	ハヤカゼ D 10	キタアケ D 49	D 2、D 45 J 414、J 423 JM 426	D40、D46 ほしのゆめ J 420	J 421			D 22		16
や強～強		D 12 D 30		D 48 D 51	D 32、D 39 D 41	J 419、J 422					9
や強	きたいぶき D 38	D 3、D 5 DM 7 D 8	D 6、D 34 D 35	D 9、D 14、D 24 D 25、D 27、D 31 D 53、J 415	イシカリ、D 15 D28、D42、D54 J 416、J 424	D 16、D 17 DM 19、D 20 D 21、D 33	D 26 彩				32
中～や強		D 13		D 44	D 29、D 37				DM 23		5
中	DM 4										2
系統数	4	9	6	17	18	10	2		1	1	68

D：道北、DM 道北稻、J：上育、JM：上育稻

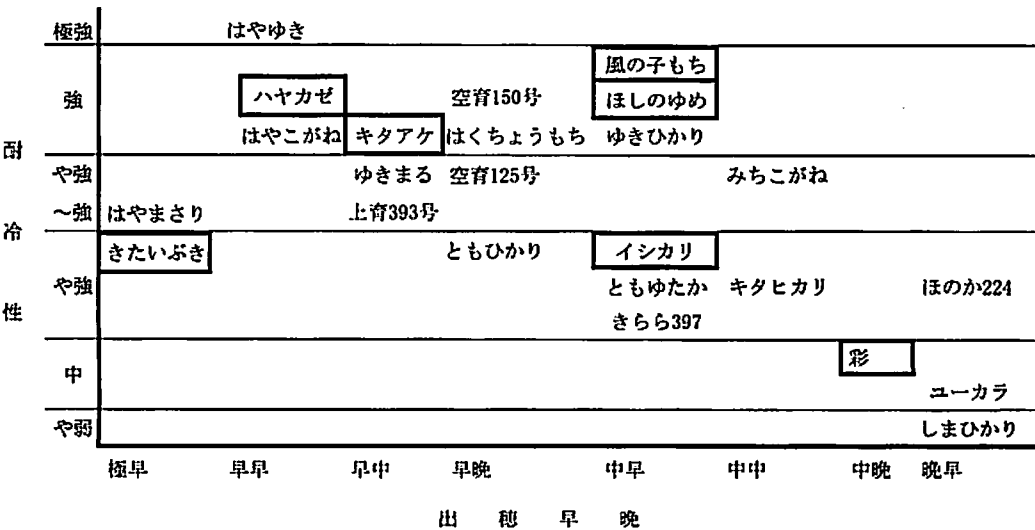


図1 品種の耐冷性と出穂早晩の関係
□：上川農試指定試験地育成品種

ヤカゼ」と「キタアケ」である。なお、参考までに、図1に最近の北海道品種の出穂早晚性と耐冷性の関係を示した。各熟期とも耐冷性の強い品種が育成されてきたことがわかる。

(1) キタアケ (道北 36 号)

「キタアケ」は1988年に品種となったが、耐冷性が強く、食味も「キタヒカリ」に近く、当時としては良食味であり、早生一耐冷性一良食味の結合を大きく前進させた。大粒、強稈で多収であり、早生種地帯を中心に広く栽培された。「キタアケ」は交配母本としても優れており、「きらら397」、「ハヤカゼ」、「彩」などを生んだが、現在の道内品種系統にはこの「キタアケ」を祖先に持つものが多い。

「キタアケ」の両親は「永系7361」と「道北5号」である。「永系7361」はいもち病耐病性の強いアメリカ品種「Cody」に耐冷性が強い「そらち」を一回戻し交雑して育成された中生の耐病、強稈系統で、耐冷性はやや強から強であった。一方、「道北5号」は「ユーカラ」と「ふくゆき」から育成された早生、強稈系統で、その耐冷性はやや強であったことから、「キタアケ」の耐冷性は両親のもつ耐冷性遺伝子の集積効果によるものと考えられている。

(2) ハヤカゼ (道北 47 号)

1990年に品種となった「ハヤカゼ」は早生、耐冷、耐病品種として、道東、道北の稲作限界地帯への普及が期待された。「ハヤカゼ」の耐冷性は「キタアケ」にはやや劣るが、「はやこがね」並みの強に判定されている。熟期は両親よりも早くなっており、食味も「キタアケ」よりは優れており、「上育393号並」みであったものの、収量品質が劣ったことから、1993年の259 haが最高の普及面積であった。

なお、「ハヤカゼ」の食味については育成地では「ゆきひかり」に劣ったが、適地産米では「ゆきひかり」並みの評価となり、食味に関して地域変動性が認められた。また、本品種においては地方番号を付ける際に、北見農試における系統適応性検定試験の結果を重要視したが、1996年に北見農試における水稻育種試験が廃止され、それに伴って同農試で実施されていた系統適応性検定試験も他場に移管された。したがって、今後、これらの地帯に適應する早生品種の開発を効率的に推進するためには、系統適応性検定試験にかわる現地試験地等を早急に設定する必要がある。

3) 耐冷良質品種

北海道の中心熟期はもちろん中生種であるが、この熟期では早生種以上に良質性が要求される。表4によれば、

中生種は30系統であるが、このうち16系統が中早の粳種であり、この中で耐冷性が強いものが4品種系統ある。「イシカリ」、「ほしのゆめ」はいずれも中早で、耐冷性は、それぞれや強、強である。

最近におけるこの熟期の品種構成は、「きらら397」と「ゆきひかり」の2品種に集中している。両品種は文字どおり北海道の基幹品種として道産米の品質、食味向上に大きく貢献してきたが、「きらら397」は耐冷性が不十分であり、年次、地帯によっては品質、食味の低下が問題となっているし、「ゆきひかり」は耐冷性は強いものの、その食味はもはや時代の要請にこたえるものではない。したがって、「ゆきひかり」並みに耐冷性が強く、「きらら397」よりもさらにおいしい新品種の登場が強く望まれていた。「ほしのゆめ」は、耐冷性が「ゆきひかり」よりも強く、食味は「きらら397」よりもおいしいことから、今後の道産米のエースとしての期待が大きい。

なお、北海道における水稻粳の作付面積は15万 haほどであるが、1995年の作付率をみると「きらら397」が51%、「ゆきひかり」が39%で、2品種のみで実に90%を占めている。1996年には、「ゆきひかり」が前年より2万 ha以上も少ない35,830 haに減少したのに対して、「きらら397」は、前年に比べて、さらに1万 ha以上も増えて、92,751 haとなった。これは、北海道における1品種の栽培面積としては、これまでの最高記録である。いずれにしても、このような「きらら397」への集中は冷害の危険分散上、大きな問題であるので、「きらら397」の過作部分を新品種の「ほしのゆめ」、「空育150号」等に置き換えていく必要がある。

(1) イシカリ (道北 1 号)

本品種は、その系統番号が示すとおり指定試験再設置後の最初の配布系統であり、1971年に優良品種となった。交配組合せは「ユーカラ」×「ささほなみ」で、草姿が良好で、強稈、多収、耐病、良質と諸特性が揃っており、折しも機械移植栽培の普及と相まって1970年代には北海道に広く栽培された。1977年にはそれまで「富国」の持っていた最大普及面積87,787 haに次ぐ73,337 haを記録した。しかし、食味があまり良くなかったことから、1980年代に入ると急減し、その地位を「キタヒカリ」、「ゆきひかり」など良質良食味品種に譲ったが、寒地稲作安定への大きな貢献が認められ、1980年度には日本育種学会賞を受けた。

(2) ほしのゆめ (上育 418 号)

1996年に品種となった「ほしのゆめ」は極良食味品種「あきたこまち」と早生耐冷系統の「道北48号」のF₁を母に、これに「上育397号」(きらら397)を父として交

配し、その雑種後代より選抜固定された。

上川農試では1980年から、鹿児島県（2期作栽培）、沖縄県石垣島（冬季栽培）での1年に3世代進める世代促進栽培を行っているが、本品種は沖縄県における世代促進栽培を経由して育成された最初の品種である。亜熱帯の石垣島での冬季栽培で自然低温による障害不稔が発生し、その結果、耐冷性の強いものが選ばれたものと思われる。1993年の冷害においても、「きらら397」、「ゆきひかり」を上回る耐冷性を示した（図2）。なお、「ほしのゆめ」の親の「道北48号」は「北育74号」×「道北36号」（キタアケ）から育成された。

「ほしのゆめ」は、当指定試験地としては「イシカリ」以来、久々の中生品種である。「ササニシキ」など府県の極良食味米に匹敵する食味特性と耐冷性の結合に高いレベルで成功したと思われる（図3）、今後の普及が期待されている。しかし、いもち病耐病性は葉・穂いもち病ともに「きらら397」に劣る中であり、耐倒伏性が弱く、割粃などの欠点も多い。適地帯での適正な肥培管理によって良質米生産に努め、北海道の極良食味品種としてのブランド化をはかっていくことが重要と思われる。

4) 耐冷糯品種

1968年以来、糯系統は全部で8系統育成されたが、このうち品種となったのは「風の子もち」のみである。これら糯系統のうち半数以上が耐冷性強である。なかでも、「道北糯18号」は中早で耐冷性が強～極強で、当時とし

ては、粳品種系統も含めてもっとも強い系統のひとつであった。

この系統は「かむいもち」×「ささほなみ」の組合せから育成されたが、両親の耐冷性はいずれも、や強程度であるので、本系統の耐冷性は遺伝子の集積効果によるものと思われる。なお、「道北糯18号」の後代からは、「たんねもち」、「はくちょうもち」を介して、「風の子もち」が育成された。また、耐冷性が強いことから、粳品種の育成母本としても用いられ、「道北38号」、「道北40号」などが育成された。

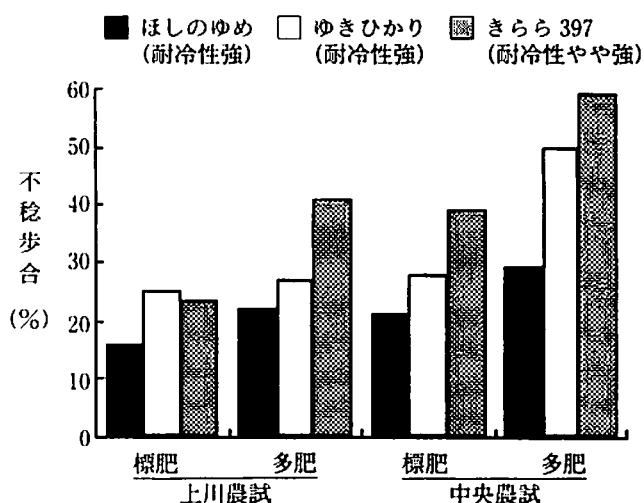


図2 1993年（平成5年）冷害における障害不稔の発生

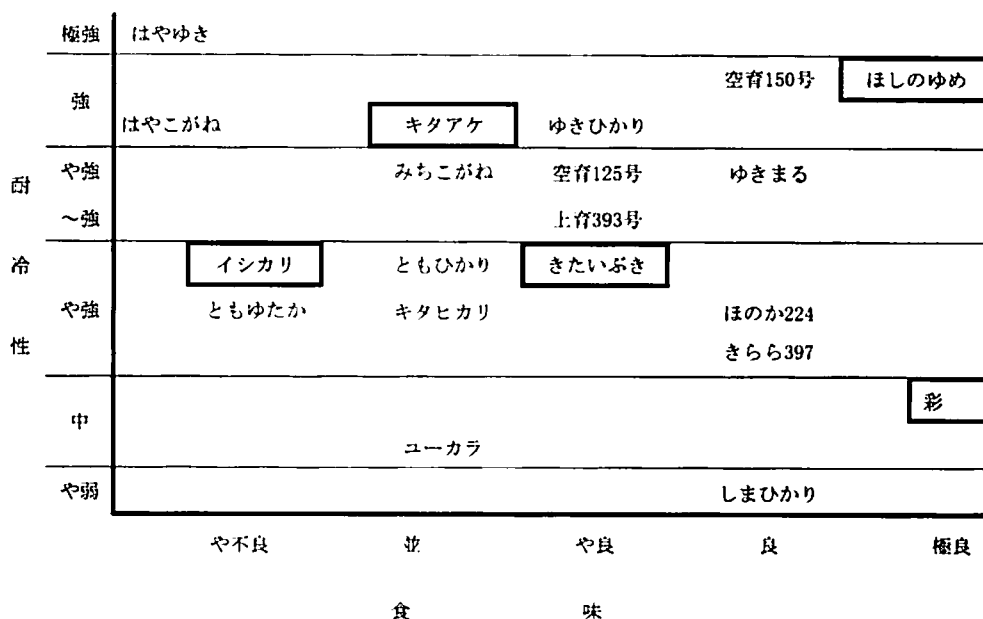


図3 品種の耐冷性と食味の関係

□：上川農試指定試験地育成品種

前述のように、北見農試における水稻育種試験が廃止となったので、同農試の糯の育成材料は 1996 年度より上川農試に移管された。「上育糯 426 号」は、北見農試における最後の新配布候補系統として分譲されたものである。今後は、道内における本格的な糯の育成場は上川農試のみとなるが、北限地帯の糯生産の安定化をはかるために、糯品種の育種体制を早急に整備する必要がある。

(1) 風の子もち (上育糯 417 号)

「風の子もち」は、「北育糯 80 号」(はくちょうもち)×「上系 85201」の組合せから育成された中生(中早)の糯種である。両親の耐冷性は「はくちょうもち」が強で、「上系 85201」は、判定が年次によって若干異なっていたが、強程度と思われる。「風の子もち」の耐冷性は、「はくちょうもち」よりも強く、強～極強程度と思われる。多収で、「はくちょうもち」並みの良質の糯品種として、中生地帯における「たんねもち」と「はくちょうもち」の一部に置き換えての普及が期待されている。

5) 直播向き品種

北海道における直播栽培の歴史は古く、明治末期に上白石稲作試験場で、直播栽培に関する試験が開始されている。北海道においては、大正～昭和 20 年代までは直播時代ともいうべき時代であり、この時期の品種改良は直播向き品種の育成であった。その後、冷床苗の移植栽培、そして機械移植栽培の普及にともなって直播栽培が激減し、現在に至っているが、再び低コスト栽培の切り札として直播栽培への期待が高まっている。

直播は、湛水直播と乾田直播に大別されるが、最近、北海道では乾田状態で播種し出芽前に入水する折衷直播が増加しており、直播専用品種の開発に対する期待が大きい。

上川農試では、指定試験の設置直前の 1965 年に極早生の「きよかぜ」が育成され、直播栽培向き品種としての利用が考えられたが、一部での作付けにとどまった。その後、直播専用品種として「はやまさり」(1988 年)が育成され、ついで 1993 年に「きたいぶき」が育成された。

指定試験の育成系統中、直播熟期の極早生種は、「きたいぶき」以外に 3 系統あるが、いずれも品種にはなっていない。1982 年に育成された「道北 38 号」は極早生で、直播による試験も実施されたが、食味が不良であった。これら、極早生系統の耐冷性は、「道北 11 号」が強であったほかは、「道北糯 4 号」が中、「道北 38 号」、「きたいぶき」がやや強と、いずれも耐冷性が不十分である。今後は、低温苗立ち性などの直播品種に求められる特性の付与とともに、極早生種の耐冷性検定を強化する必要がある。

なお、上川農試は、北海道立中央農業試験場稲作部とともに北海道グリーンバイオ研究所と直播育種に関する共同研究を行っており、1989～1992 年には「水稻直播栽培用品種育成のための中間母本の作出」試験を実施し、直播向けの中間母本、「緑育 PL 1」を育成した⁷⁵⁾。また 1993 年からは「水稻直播栽培品種の早期開発」の課題名で、薬培養を利用した直播品種の共同開発に取り組んでいる。この共同研究で育成された「緑育 PL 1」は高度低温苗立ち性をもつイタリア品種「Italica Livorno」と「きらら 397」の組合せから、薬培養によって育成された。本系統は、北海道の在来種の「胆振早生」よりも高い低温苗立ち性をもち、低温下での出芽、苗立ち性が優れているが、稈質がやや弱く、障害型耐冷性は中～やや強とあまり強くない。

(1) きたいぶき (上育 413 号)

「きたいぶき」は、「上育 395 号」(はやまさり)×「上育 397 号」(きらら 397)の組合せから育成された直播向き品種であり、直播栽培用として農林登録された日本初の実用品種である。「はやまさり」並みの苗立ち性をもち、直播栽培に適するが、食味が「ゆきひかり」クラスであるために、栽培面積は極めて少ない。現実には、早生で「きらら 397」並みの良食味の「ゆきまる」が直播栽培にも用いられており、良食味の直播専用品種の開発が強く求められている。

6) 高度耐冷系統の育成

上川農試で育成中の高度耐冷性系統の一部を表 5 に示した。耐冷性の強い道内の品種系統や、インドネシアの在来種である「Silewah」、中国品種の「CI 107」、「昆明小白夜」などの障害型耐冷性の強いといわれる外国稲が交配母本として用いられており、冷水田での選抜等によって、耐冷性遺伝子の集積や、外国稲由来の耐冷性遺伝子の導入を進めている。従来の極強レベルよりもさらに強い系統がいくつか見出されており、これらの利用による極強以上の実用品種の作出も夢ではなくなっている。

最近では、日中の水稻育種共同研究で育成された耐冷性品種や、海外遺伝資源収集により入手した外国稲およびフィリピンにある国際稲研究所 (IRRI) で実施されている国際ネットワーク試験 (IRCTN) の供試材料についても、障害型耐冷性や初期耐冷性などの評価を行っており、新たな耐冷性母本の導入をはかっている。

(1) 道北 50 号

本系統は耐冷性が極強の中生種で、1988 年に新配布された。両親は「永系 78415」と「道北 36 号」(キタアケ)

で、「永系 78415」は「永系 71303」×「イシカリ」から育成された耐冷性強系統であった。F₂₋₃ 世代は、鹿児島における世代短縮栽培され、F₄₋₅ 世代は冷水田における集団選抜、個体選抜に供試され、F₆₋₇ 世代は同じく冷水田

における系統選抜試験に供試された。したがって、F₄₋₇ の4世代にわたる冷水田での選抜で残ったもので、生産力検定予備試験以来、耐冷性の評価は一貫して極強である。食味は「ゆきひかり」程度であり、耐冷性の母本として多用されているが、その後代からは極強系統が多数出現している。

表5 指定試験事業により最近育成された耐冷性極強系統

系統名	交配組合せ	耐冷性 (障害型)
90 DSW 6	Silewah/ゆきひかり//キタアケ	極強
90 DSW 26	Silewah/ゆきひかり//キタアケ	極強
90 DSW 91	CI 107/2*キタアケ	極強
91 J 409	CI 107/2*キタアケ	極強
91 J 411	昆明小白夜/2*キタアケ	極強
90 DP 26-76	空育 134 号/道北 50 号	極強
90 DP 26-163	空育 134 号/道北 50 号	極強
91 J 51	北海 PL 3/道北 50 号	極強
92 DSW 1505	永系 88295-L/道北 50 号	極強
92 DSW 1524	永系 88295-L/道北 50 号	極強
92 DSW 1540	永系 88295-L/道北 50 号	極強
92 DSW 1606	永系 88295-L/道北 50 号	極強
92 DSW 1637	永系 88295-L/道北 50 号	極強
92 JS 31-2	北海 PL 7/空育 131 号	極強
AC 9347	上育 414 号/上育 413 号	極強
AC 93298	上育 411 号/上育 414 号	極強
AC 93322	上育 411 号/はくちょうもち	極強
上系 93293	東北 143 号/上育 404 号//道北 47 号	極強
上系 94010	ヒノヒカリ/空育 143 号//空育 144 号	極強
上系 94178	雲 82-148/キタアケ//道北 50 号	極強
上系 94180	AC 8804/道北 50 号	極強
上系 94210	上育 411 号/はくちょうもち	極強
上系 94259	上育 411 号/はくちょうもち	極強
上系 95081	上系 91409/道北 50 号	極強
上系 95082	上系 91409/道北 50 号	極強
上系 95092	空系 90242 (A)/道北 50 号	極強
道北 50 号	永系 78415/道北 36 号	極強

4. 耐冷性に関する育種法試験

育種を効率的におこなうためには、各種の特性検定法が極めて重要であることはいうまでもない。上川農試では、耐冷性検定法の試験方法に関しても多くの研究を実施し、効率的な方法の開発に努めてきた。こうして開発された各種の耐冷性検定法の概略を表6に示した。また、引用文献の1～73)は1966年以降に当指定試験地より報告公表された耐冷性と品種育成に関する研究成果である。

1) 耐冷性検定法に関する試験

(1) 冷水掛け流しによる耐冷性検定

耐冷性に関する品種間差異については、近代育種が開始される以前より知られていたが、上川農試において、人工的な条件下での品種の耐冷性の検定を行ったのは1936年からである。このときは、直播栽培された圃場に冷水を6月16日から7月22日まで掛け流し、出穂前の8月11日から落水までの2週間掛け流している。処理区の収量減によって品種の耐冷性の程度を見ているが、障害不稔よりは、生育遅延による減収であったと思われる。

その後、冷水掛け流しの方法や、検定材料の栽培方法、

表6 現在実施中の各種耐冷性検定法

試験名	処 理 方 法			育成試験名			備 考
	施設	温度	処理期間	生育	生本	莢決	
冷水掛け流しによる検定	冷水田	13-14℃	播種後2-3週間	○	○	○	本田直播栽培 1区面積0.30平方m
人工気象室による 出穂遅延型耐冷性検定	人工気象室	高温区(昼一夜) 26-20℃ 低温区(昼一夜) 18-12℃	3-4-6葉期 15日間			○	バット移植栽培 5cm×5cm、 1本/株、7株/区
中期冷水掛け流しによる 障害型耐冷性検定	冷水田	19℃	6月下旬から 8月中下旬	○	○	○	本田移植栽培 27cm×10cm 3本/株、7株/区
人工気象室による 穂孕み期耐冷性検定	人工気象室	15℃	止葉葉耳抽出から 7日間			○	ポット移植栽培 2株/ポット 2ポット/区
人工気象室による開花期 耐冷性検定	人工気象室	15℃	開花始めから 8日間			○	同上

結果の判定方法等について、多くの試験研究が実施され、次第に検定精度が向上してきた。1972年には、それまでの自然灌漑水の掛け流しから、地下30mから汲み上げられた冷水（10～11℃）の混合による灌漑水の温度コントロールが開始された。なお、この当時の冷水田の面積は20aであり、生産力検定予備試験以上の系統の耐冷性検定と、冷水掛け流しによる個体、系統、集団選抜試験が実施されていた。

1980年に優良米の早期開発試験が開始されたが、これに伴う育種規模拡大や耐冷性の緊急育種試験に対応するために、1982年には地下水ポンプが増設され、冷水田の面積も85aに大きく拡大された。

1994年の比布町への移転によって冷水田も新たに造成されたが、これは掛け流した水を揚水ポンプによって回収し、再び地下水を加えて掛け流す、いわゆる循環方式を採用している。冷水田面積はさらに増えて120aとなった。現在、当で行われている耐冷性検定法は、極早生種の止葉葉耳抽出期から晩生種の開花出穂前期までの間、平均水温が19℃となるように設定した中期冷水掛け流し法である。このほか、冷水掛け流し法による個体選抜、系統選抜および集団選抜試験を実施しており、初期世代からの耐冷性に関する積極的な選抜に取り組んでいる。

(2) 人工気象箱による耐冷性検定

指定試験地の再設置に伴い、1967年には屋外型の人工気象箱10基が設置された。気象箱の空調室部分の大きさは2m×2mであった。人工的な低温下での高精度の検定法の確立をめざし、設置当初から各種の試験が精力的に実施された。

1994年の移転に伴い、人工気象室が新たに建設された。これは、1部屋が3m×3mの広さで、横に12室連結した構造となっている。空調室部分の総面積は108m²であるが、旧人工気象箱に比べ約70m²も広がった。

穂孕期の障害型耐冷性検定に関しては、1/5000のワグネルポットで養成した材料を止葉葉耳の抽出始めから15℃で7日間処理する方法が確立された。この方法では、穂別に穂日と稔歩歩合の調査が必要であるために、多くの労力がかかるので、現在は奨励試験の供試材料についてのみ実施している。

開花期の耐冷性についても、上記と同様にポットで養成された材料について、開花始めより15℃で8日間処理する方法を行っているが、処理法や判定方法について問題点が残されており、参考程度の検定にとどめている。現在、さらに精度の高い方法の確立に向けて試験中である。また、開花期耐冷性については冷水田を利用したの

集団選抜試験等が出来ないため、人工気象箱を用いた大量検定法の開発も試みている。

出穂遅延型に対する耐冷性検定としては、バット栽培された苗について3～6葉期から高温（昼間26℃、夜間20℃）と低温（昼間18℃、夜間12℃）処理を15日間おこなって、両区における主稈葉数と止葉期の変動から検定する方法が確立されているが、この検定法も労力がかかるので奨励品種決定試験に供試中の系統についてのみ実施している。

このほか、低温下での登熟性に関する検定法の開発も試みられたが、現在では登熟性に関する検定は実施されていない。ただし、異なる温度条件における米の化学的成分の変動に関しては、食味に関する基礎試験として実施されてきた。府県産米に比べて食味の年次変動や地域変動が大きいとされる北海道米の改良を進める上で、低温登熟性のみならず、高温登熟耐性も問題となる可能性があり、人工気象箱による登熟性に関する試験を再開する必要がある。

(3) 低温発芽性および低温苗立ち性検定

寒地における直播向き品種の具備すべき特性として、早熟性ととも到低温下における発芽、苗立ち、初期伸長性の優れていることが上げられる。上川農試では、低温下での発芽性、発根性、初期伸長性に関する品種間差異や雑種集団を用いた遺伝解析を実施し、直播品種育成のための多くの基礎的知見を得ている。

現在、冷水田において冷水掛け流し処理による低温苗立ち性検定を実施しているが、これは落水した田面に播種し、13～14℃の冷水を2～3週間掛け流して苗立ち性を検定するもので、直播向け品種育成試験における系統選抜以降の材料を供試している。田面の均平度など土壌表面の状態による検定結果の変動が大きいので、さらに検定精度を上げる必要がある。

なお、温室を利用した低温発芽苗立ち検定法について検討中であるが、これは温室内の土耕ベッドに直播し、約15℃の冷水を掛け流すもので、通年試験が可能である。また、この方法によって世代促進栽培も兼ねた集団選抜を実施中である。これによって初期世代における低温苗立ち性に関する選抜効果が期待できそうである。このほか、土中播種による還元条件下での苗立ち性に関する検定法についても検討中である。

2) 耐冷性に関する基礎試験

外国稲や新旧品種、北海道大学の標識遺伝子系統などを用いて、耐冷性に関する遺伝子分析や選抜実験がおこなわれ、耐冷性遺伝子の集積効果や耐冷性に関する組合

せ能力など耐冷性育種のための重要な知見が得られている。特に、雑種初期世代における耐冷性に関する選抜をおこなっても、収量性や良質性など、他の重要形質について集団が極端に歪むことがないことが確認された意義は大きい。これによって冷水田における集団選抜が可能となった。

なお、上川農試では、1980年より暖地を利用した世代促進栽培が本格化した。鹿児島県における世代促進栽培では1期作、2期作とも折衷直播による集団養成をおこなっており、石垣島では冬季間における移植栽培による穂別系統選抜試験も実施している。これらの世代促進栽培が育成系統の遺伝的特性にどのような影響を及ぼしているかは不明であるが、石垣島の冬季栽培では低温による障害不稔が発生するので、これによって耐冷性に関する選抜が可能である。

このように、耐冷性品種の育成に関しても大きな効果のあった世代促進事業であるが、数年後には事情により廃止される予定である。これにかわり、道南農試における大規模温室を利用した世代促進栽培が計画されているが、道内の温室を用いた場合の集団の遺伝的構成の変化等について検討する必要がある。

5. 今後の課題

1) 高度耐冷極良食味品種の育成

「ほしのゆめ」の育成によって、耐冷性と良食味がより高いレベルで結合されたが、さらに耐冷性と食味レベルを上げ、名実ともに「コシヒカリ」級の極良食味品種を育成する必要がある。

耐冷性の母本については、前述のように、すでに利用可能な極強系統が多数得られている。ただし、これらの極強系統は、品質、食味に問題のあるものが多い。耐冷性が強程度であれば、食味が「ほしのゆめ」にやや優る系統も見い出されている。

耐冷性や食味に関しては超越的な分離が期待できるので、耐冷性、食味とも「ほしのゆめ」程度の系統間の交配によって、耐冷性遺伝子と良食味遺伝子の集積をはかる方が現実的かもしれない。いずれにしても、由来の異なる良食味系統や耐冷性系統など、多様な育種材料を揃えることが重要と思われる。

2) 直播向き耐冷良食味品種の育成

北海道の直播栽培の今後の見通しについては、現在のところ不確定要素が多いので、予測が困難であるが、食味の良い直播向き品種が育成されれば、栽培面積が急増

する可能性もある。

「きたいぶき」の食味レベルは「ゆきひかり」クラスであり、今後の作付け面積の拡大は期待できない。「ゆきまる」は「きらら397」並みの食味ではあるが、直播栽培での熟期に不安がある。したがって、これからの直播品種には、「きたいぶき」並みの熟期と少なくとも「きらら397」並みの品質、食味が要求されよう。

現在、配布中の空育159号は、「はやまさり」×「空育139号」(ゆきまる)から育成された直播向け極早生系統であるが、食味が「きらら397」並みで、低温苗立ち性も良いとされる。稈質、玄米品質が劣るものの、収量性は「きたいぶき」に優る。したがって、(1)の場合と同様、当面、この「空育159号」クラスの育成系統を揃え、遺伝子の集積効果に期待しつつ、食味と耐冷性の向上をはかるというのが、現実的な戦略と思われる。

同時に、野生稲や外国稲などから高度低温苗立性や耐倒伏性などを導入した中間母本の作出についても、強力に取り組む必要があろう。

3) 先端技術の利用による耐冷性育種強化

RFLP解析によって、インドネシア品種の「Silewah」に由来する耐冷性遺伝子が染色体3、4に座乗していることが明らかとなりつつある⁸⁸⁾。現在、これらの耐冷性遺伝子とさらに強く連鎖するマーカーの開発も進んでおり、こうした分子マーカーを用いた耐冷性の間接選抜が遠からず可能となろう。

冷水田における耐冷性の検定は年一回であり、耐冷性に関する効率的な戻し交雑などが困難である。もし、分子マーカーによって苗の段階で耐冷性遺伝子をもっていることが判定できれば、年数回の連続戻し交配や、異なる耐冷性遺伝子の集積が容易となり、耐冷性育種が飛躍的に効率化されるに違いない⁹⁷⁾。すでに北海道農業試験場を始め、青森県農業試験場の藤坂支場や宮城県古川農業試験場では、外国稲に由来する耐冷性遺伝子の分子マーカーの探索に取り組んでいるが、上川農試もこれらの機関との連携を強め、新しい育種法の導入による耐冷性育種の強化をはかる必要がある。

引用文献

- 1) 和田 定・佐々木一男・高橋三平(1967) 水稻における障害型冷害の2・3の事例について — 1966年、上川農試の圃場における調査 —。日作紀, 36(4), 525.
- 2) 佐々木一男・柴田和博(1969) 水稻における2, 3の集団養成方法の差異が主要形質に及ぼす影響につい

- て、育作道会報、9.
- 3) 柴田和博・佐々木一男・本間 昭 (1969) 水稻品種の肥料三要素反応の一例——その品種間差と年次差。育種学雑誌、19、28-38.
- 4) 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎 (1970) 時期別の気温・水温処理が水稻の生育に及ぼす影響 第1報 昼夜別気温、水温及び処理日数と不稔歩合との関係。日本作物学会紀事、39、401-408.
- 5) 和田 定・国広泰史・本間 昭 (1969) 人工気象箱による耐冷性検定方法の改善に関する研究 1. 移植期における気温、水温、水深、光、品種ならびに処理期間の組合せ実験(2n実験)。日本作物学会紀事、38(別1)
- 6) 和田 定・国広泰史・本間 昭 (1970) 人工気象箱による耐冷性検定方法の改善に関する研究 2. 穂首分化期における気温、水温、水深、光、品種ならびに処理期間の組合せ実験(2n実験)。育作道会報、10、1.
- 7) 和田 定・国広泰史・本間 昭 (1970) 人工気象箱による耐冷性検定方法の改善に関する研究 3. 幼穂形成期における気温、C水温、水深、光、品種ならびに処理期間の組合せ実験(2n実験)。育作道会報、10、2.
- 8) 和田 定・国広泰史・本間 昭 (1970) 人工気象箱による耐冷性検定方法の改善に関する研究 4. 減数分裂期における気温、水温、水深、光、品種ならびに処理期間の組合せ実験(2n実験)。育作道会報、10、3.
- 9) 佐々木一男・伊東 馨・桑山 貢 (1970) 水稻の幼穂発育各期における低温障害の品種間差異—低温処理時期と不稔発生程度との関係—。育作道会報、10、3.
- 10) 佐々木多喜雄 (1970) 稲品種の低温発芽性に関する育種学的研究 第5報 雑種初期世代集団における発芽性。北海道立農試集報、21、48-56.
- 11) 佐々木多喜雄・山崎 信弘 (1970) 水稻品種の低温発芽性と初期生育との関係 第3報 初期分けつ性との関係。北海道立農試集報、22、1-9.
- 12) 佐々木多喜雄・山崎信弘 (1970) 水稻品種の低温発芽性と初期生育との関係 第2報 初期発根性との関係。日本作物学会紀事、39(1)、117-124.
- 13) 和田 定・国広泰史・本間 昭 (1970) 水稻における枝梗別着生穎花の不稔発生状況。農及園、45、1707-1709.
- 14) 佐々木一男・前田 博 (1971) 水稻の生育各期におけるN、P、KおよびMgの施用量と温度処理が、出穂期におよぼす影響——人工気象箱による肥料要素と温度の組合せ試験(3n実験)。育作道会報、11、7.
- 15) 佐々木多喜雄・山崎 信弘 (1971) 水稻品種の低温発芽性と苗立性との関係。育作道会報、11、5.
- 16) 佐々木多喜雄・山崎 信弘 (1971) 水稻品種の低温発芽性と初期生育との関係 第4報 苗立性との関係。日本作物学会紀事、40(4)、474-479.
- 17) 和田 定・国広泰史・本間 昭 (1971) 水稻の障害不稔に及ぼす低温と遮光の影響。日作紀、40(別2)、93-94.
- 18) 本間 昭・国広泰史 (1972) 出穂期前の各種の気温が水稻の出穂期と稔歩合にあたえる影響(人工気象箱による実験)。育作道会報、12、20.
- 19) 佐々木多喜雄 (1972) 水稻の低温発芽性に対する粒選抜の効果。育作道会報、12、18.
- 20) 和田 定・国広泰史・本間 昭 (1972) 水稻の減数分裂期における水温、気温ならびに遮光などの処理が不稔歩合に及ぼす影響。日作紀、41(3)、340-347.
- 21) 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎 (1973) 時期別の気温・水温処理が水稻の生育に及ぼす影響 第2報 昼夜別気温、水温及び処理日数と出穂記との関係。日本作物学会紀事、42、267-274.
- 22) 佐々木多喜雄 (1973) 水稻の雑種初期世代における低温発芽性と初期伸長性および初期発根性との関係。育作道会報、13、11.
- 23) 佐々木一男・和田 定 (1973) イネの幼穂発育各期の低温障害の品種間差異——最高不稔歩合と不稔歩多発期間——。北農、40(8)、7-14.
- 24) 佐々木一男・前田 博・和田 定 (1973) イネの減数分裂期の不稔発生に及ぼす窒素と温度の影響 人工気象箱による肥料要素と温度の組合せ実験。北農、40(9)、1-7.
- 25) 和田 定・国広 泰史・本間 昭 (1973) 水稻の出穂期における水温・気温ならびに遮光などの処理が不稔歩合に及ぼす影響。北海道立農試集報、28、45-51.
- 26) 佐々木一男・柳川 忠男 (1973) 水稻雑種集団の養成方法が主要形質に及ぼす影響。北海道立農試集報、28、52-61.
- 27) 佐々木多喜雄・山崎信弘 (1974) 栽培条件が稲品種の低温発芽性の品種間差異に与える影響。育作道会報、14、11.
- 28) 佐々木一男・和田 定 (1974) 水稻の出穂開花期における低温処理による2、3の知見。育作道会、14、9.
- 29) 佐々木多喜雄 (1974) 稲品種の低温発芽性に関する育種学的研究。北海道立農試報告、24、1-90.
- 30) 佐々木一男・和田 定 (1975) イネの障害不稔発生に及ぼす燐酸の効果。育作道会報、15、12.
- 31) 佐々木一男・和田 定 (1975) イネの障害型耐冷性検定方法に関する一改善案について。育種学雑誌、25

- (1), 13-16.
- 32) 佐々木一男・和田 定 (1975) イネの冷害不稔発生に及ぼす窒素、燐酸および加里の影響。日本作物学会紀事。44(3), 250-254.
- 33) 森村克実 (1976) 水稻の割れ粳と黒蝕米の発生について (V) 2・3 条件下における割れ率の変異。育種。27(別2), 18-19.
- 34) 佐々木多喜雄・本間 昭 (1976) 稲品種の低温発芽性の選抜が後代の主要農業形質に及ぼす影響。育種学雑誌。26(別2), 1-2.
- 35) 佐々木多喜雄・本間 昭 (1977) 稲品種の低温発芽性に関する育種学的研究 VI. 雑種初期世代における低温発芽性の選抜が後代の主要農業形質に及ぼす影響。育種学雑誌。27(2), 157-166.
- 36) 柴田和博・本間 昭 (1978) 地帯区分のための反復力の計算。農林研究計算センター報告。A(14), 141-159.
- 37) 佐々木一男・沼尾吉則 (1979) イネの出穂開花期における高温 (温湯) 不稔と障害型耐冷性。育作道会報。19, 6.
- 38) 佐々木多喜雄 (1979) 稲品種の低温発芽性に関する育種学的研究 VII. 雑種初期世代の育成条件が低温発芽性および初期生育性に及ぼす影響。北海道立農試集報。42, 11-19.
- 39) 佐々木多喜雄 (1979) 水稻品種の低温発芽性と初期生育の関係 第5報 低温下における発芽と発根。日本作物学会紀事。48(1), 39-45.
- 40) 佐々木多喜雄 (1980) 水稻雑種世代における冷水灌漑処理が後代の耐冷性およびその他の主要形質に及ぼす影響。育種学雑誌。30(別1), 88-89.
- 41) 佐々木多喜雄 (1981) 北海道の耐冷性稲品種に関する母能力の検定。北海道立農試集報。46, 51-60.
- 42) 佐々木多喜雄 (1981) 水稻品種の低温発芽性と初期生育との関係 第6報 粳の乾熱処理が低温発芽性と初期生育に及ぼす影響。日本作物学会紀事。50(1), 1-24.
- 43) 佐々木多喜雄 (1982) 水稻品種の低温発芽性と初期生育との関係 第7報 過酸化石灰粉衣処理が出芽と初期伸長の品種間差異に与える影響。育作道会報。22, 14.
- 44) 佐々木多喜雄 (1982) γ 線照射による水稻耐冷性の変異。育種学雑誌。32(別1), 208-209.
- 45) Sasaki, T. (1983) Relationship between germinability of rice seeds at low temperature and subsequent early growth of seedlings. JARQ. 17(2), 73-80.
- 46) 佐々木多喜雄 (1983) 冷水処理が水稻雑種初期世代におけるアミロース含有率に及ぼす影響。育種学雑誌。33(別1), 328-329.
- 47) 佐々木多喜雄 (1984) 水稻品種の低温発芽性と初期生育との関係 第8報 生育時期別葉面積指数と受光態勢。育作道会報。24, 7.
- 48) 佐々木多喜雄 (1984) 暖地における世代促進が水稻雑種集団の耐冷性およびその他の形質に及ぼす影響。育種学雑誌。34(別2), 118-119.
- 49) 佐々木多喜雄 (1984) 水稻冷害克服の戦略——育種の立場から——。作道会報。24(別), 33-50.
- 50) 佐々木多喜雄 (1985) 稲品種の低温発芽性に関する育種学的研究 VIII. 低温発芽性の品種間差異 (補遺) とアミロース含有率及びいもち耐病性との関係。育作道会報。25, 8.
- 51) 佐々木多喜雄・沼尾吉則・柳川忠男。 (1985) 水稻の耐冷性に関する遺伝子集積の効果。育種学雑誌。35(別1), 158-159.
- 52) 新橋 登・相川宗敏 (1986) 水稻育種における薬培養法の利用。育種学最近の進歩。27, 13-19.
- 53) 國廣泰史 (1987) 耐冷性品種育成方法についての提言。21 回熱帯農業研究国際シンポジウム要旨
- 54) 菊地治己・國廣泰史。 (1987) ガンマー線照射処理によるイネの耐冷性 (障害型) 突然変異の誘発。育作道会報。28, 39.
- 55) 國廣泰史・江部康成・和田 定・新橋 登・本間 昭・佐々木多喜雄・佐々木一男・沼尾吉則・森村克美・丹野 久 (1988) 新品種「キタアケ」の育成について。北海道立農試集報。59, 67-80.
- 56) 丹野 久・國廣泰史 (1990) 水稻新品種「ハヤカゼ」。農業技術。45(10), 465.
- 57) 國廣泰史 (1990) 水稻新品種「ハヤカゼ」。北農。57(3), 88.
- 58) 菊地治己・國廣泰史 (1991) 水稻新品種「彩」。農業技術。46(10), 472.
- 59) 佐々木多喜雄 (1993) 水稻良食味品種「きらら 397」, 「ゆきひかり」, 「彩」の育成。育種。43(別2), 282-283.
- 60) 新橋 登 (1993) 水稻直播品種の開発。育種学雑誌。43(別2), 336-339.
- 61) 國廣泰史・江部康成・新橋 登・菊地治己・丹野 久・菅原圭一 (1993) 薬培養による底アミロース良食味新品種「彩」の育成。育種学雑誌。43, 155-163.
- 62) 田縁勝洋・前田 博 (1993) 水稻直播栽培向き新品種「きたいぶき」。農業技術。48(10), 462
- 63) 佐々木多喜雄。 (1994) 水稻早生良食味品種「きらら 397」及び早生耐冷性品種の育成。農業技術。49(2), 72-76.
- 64) 新橋 登 (1995) 水稻新品種「上育粳 417 号」。北農。

- 62(3), 74.
- 65) 新橋 登 (1995) 水稻新品種「上育 418 号」, 北農, 63(2), 176.
- 66) 丹野 久・熊 建華・陸 載園・葉 昌榮, (1996) 中国雲南省における耐冷性品種・系統の特性について, 育作道会報, 37, 44-45.
- 67) 北海道立上川農業試験場 (1971) 水稻新品種決定に関する参考成績書 道北 1 号.
- 68) 北海道立上川農業試験場 (1983) 水稻新品種決定に関する参考成績書 道北 36 号.
- 69) 北海道立上川農業試験場 (1990) 水稻新品種決定に関する参考成績書 道北 47 号.
- 70) 北海道立上川農業試験場 (1991) 水稻新品種決定に関する参考成績書 道北 52 号.
- 71) 北海道立上川農業試験場 (1993) 水稻新品種決定に関する参考成績書 上育 413 号.
- 72) 北海道立上川農業試験場 (1995) 水稻新品種決定に関する参考成績書 上育 417 号.
- 73) 北海道立上川農業試験場 (1996) 水稻新品種決定に関する参考成績書 上育 418 号.
- 74) 天野高久 (1984) 水稻の冷害に関する作物学的研究, 北海道立農試報告, 7, 1-151.
- 75) 北海道立中央農業試験場・北海道立上川農業試験場・北海道グリーンバイオ研究所 (1993) 新中間母本決定に関する参考成績書 稲 緑育 PL 1.
- 76) 北海道立上川農業試験場 (1986) 北海道立上川農業試験場百年史.
- 77) 石塚喜明監修・星野達三編著 (1994) 北海道の稲作, 財団法人 北農会
- 78) 刈屋国男・佐竹徹夫・小池説夫 (1986) 開花期耐冷性と穂ばらみ期耐冷性の品種間相関, 日本作物学会紀事, 55(別 2), 183-184.
- 79) 刈屋国男, (1996) 北海道稲作期間の気象変動と葎の生育 — 平成 5 年から 7 年のデータを中心に —, 農業および園芸, 71(12), 21-24.
- 80) 刈屋国男, (1996) イネ穂ばらみ期及び開花期における障害型耐冷性, 低温生物工学会誌, 42(1), 37-44.
- 81) 刈屋国男・松葉修一 (1996) 水稻品種の生殖生長各時期における耐冷性 — 北海道品種と東北品種の比較 —, 育作道会報, 37, 46-47.
- 82) 前川雅彦・刈谷国男・佐竹徹夫・喜多富美治 (1987) 外国稲の耐冷性に関する遺伝子分析 1. Silewah の耐冷性遺伝子, 育種学雑誌, 37(別 1), 84-185.
- 83) 三浦清之・斎藤浩二・加藤 明・永野邦明・荒木 均 (1996) 水稻中間母本農 8 号の耐冷性遺伝子の近傍に位置する農業関連形質の QTL について, 育種学雑誌, 46(1), 81.
- 84) 村上利男・森田弘彦・土井康生・今野一男 (1982) 寒地水稻の計画的栽培に関する解析的研究, 北海道農試研報, 133, 61-100.
- 85) 永野邦明・荒木 均, (1996) 北海道と東北地域で育成された耐冷性極強水稻品種系統の穂ばらみ期耐冷性の比較, 育種学雑誌, 46(2), 186.
- 86) 西山岩男 (1985) イネの冷害生理学, 北海道大学図書刊行会
- 87) 沼尾吉則 (1995) 1994 年度日本作物学会シンポジウム〔1〕 作物にとって寒さとは何か イネの耐冷性と品質, 農業および園芸, 70(4), 11-16.
- 88) 斎藤浩二・三浦清之・永野邦明・早野由里子・荒木均・加藤 明 (1995) RFLP マーカーによる水稻中間母本農 8 号の穂ばらみ期耐冷性の QTL 解析, 育種学雑誌, 45(1), 73.
- 89) 斎藤浩二・早野 (斎藤) 由里子・加藤 明, (1996) 水稻中間母本農 8 号の穂ばらみ期耐冷性と関連する RAPD マーカーの探索, 育種学雑誌, 46(1), 52.
- 90) 酒井寛一 (1949) 冷害におけるイネ不稔性の細胞組織学的並びに育種学的研究 特に低温によるタペート肥大に関する実験的研究, 北海道農試報告, 43, 1-46.
- 91) 佐々木武彦 (1995) わが国の食糧と日本農学〔4〕 — イネを中心として — イネの耐冷性遺伝資源と育種の展望, 農業および園芸, 70(10), 37-43.
- 92) Satake, T. (1989) Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXXI Four components participating in fertilization, Jpn. J. Crop Sci., 61, 454-462.
- 93) 柴田和博 (1975) 水稻品種の気温による出穂変動性の簡易検定法 (第 1 報), 育作道会報, 15, 24.
- 94) 柴田和博 (1976) 水稻品種の気温による出穂変動性の簡易検定法 (第 2 報), 育作道会報, 16, 9.
- 95) 柴田和博 (1977) 水稻品種の気温による出穂変動性の簡易検定法 (第 3 報), 苗素質による処理適期の差異, 育作道会報, 17, 3.
- 96) 鳥山國士 (1962) 水稻品種の耐冷性検定法並びに耐冷性の遺伝に関する研究, 青森農試研報, 7, 109-153.
- 97) 鳥山國士 (1994) イネの耐冷性育種の展開と将来への期待〔2〕, 農業および園芸, 69(7), 11-15.
- 98) 和田 定 (1992) 水稻の冷害, 養賢堂
- 99) 吉田 均・加藤 明, (1996) イネ低温誘導性遺伝子群の解析, 育種学雑誌, 46(1), 17.