

第1章 緒 言

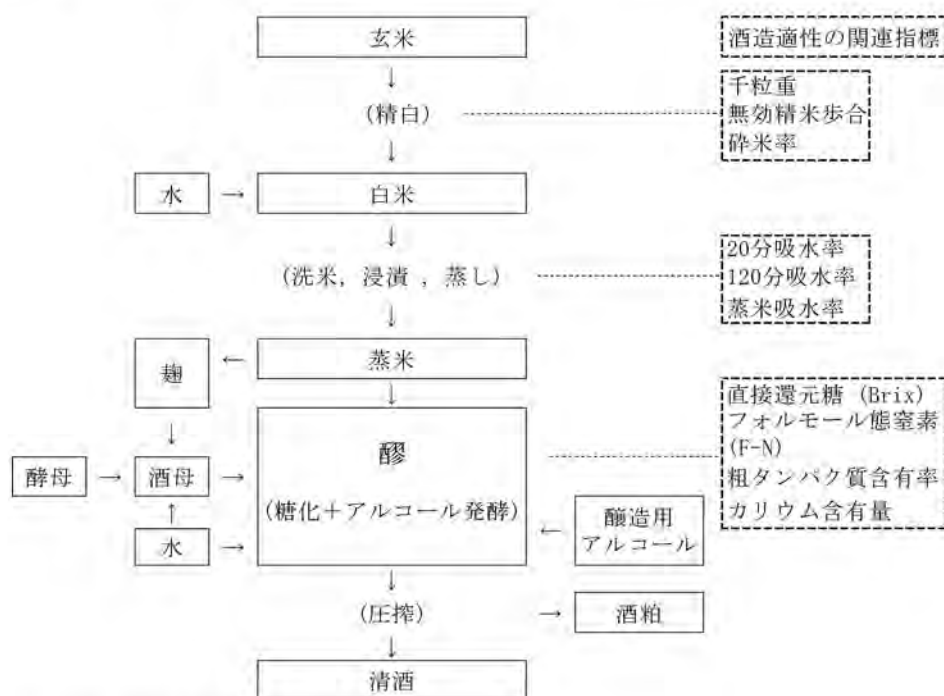
第1節 背 景

清酒（日本酒）の主原料は米である。その中で、特に酒造適性が高く良質な酒を製造できる米は、酒造好適米（以下、酒米：さかまい）と呼ばれ、食用米と区別される。酒米は食用米に比べて、玄米の外観が大粒で、千粒重が重く、心白（しんぱく：米粒の中心付近の白色不透明に見える部分）の発現が良好である（前重・小林2000）。一方、食用米は心白が発現すると、心白粒に分類されて乳白粒と同様に玄米等級の落等要因になる。そのため、酒米は農産物検査法により醸造用玄米として、一般の水稻うるち米とは別個の規格（検査基準）が定められている（農産物規格規程，平成13年2月28日農林水産省告示第244号）。また、食用米の検査等級は、1等（整粒歩合70%以上）、2等（同60～70%未満）、3等（同45～60%未満）および規格外（同45%未満）の4段階に区分されるが、酒米の検査等級は、さらに上位等級の特等（同80～90%未満）と特上（90%以上）があり、6段階に区分される。

玄米が大粒であることや心白の発現が良好であることは、搗精歩合や搗精後の白米の吸水速度および麹菌のハゼ込み（麹菌の菌糸が蒸米の内部に侵入すること）等に大きく関係し、酒米の重要な特性である（花本1976，前川ら1976，米崎1976，松永1997）。また、酒米は内部品

質として、粗タンパク質含有率と脂肪含有率が低く、カリウムやリンなどのミネラル分を適量含む（前重・小林2000）。そのため酒米は、酒造の要と言われる麹（蒸米に麹菌を混ぜ合わせ繁殖させたもの）や酒母（醪：もととも呼ばれ、麹、蒸米および水に酵母を加え培養し増殖したもの、清酒の元になる）に多く使用される。その他の原料米は、掛米（かけまい）と呼ばれ、一般の食用米を使用することが多い。酒造における配米と掛米の使用割合は、およそ3対7で配米の割合が小さいが、酒質に及ぼす影響は、配米の方が大きい（前重・小林2000）。

第1-1図に、清酒の製造工程（兵庫県酒米研究グループ編2010）と各工程に関係する酒造適性の関連指標を示した。清酒は、麹菌がデンプンをブドウ糖に変え（糖化）、そのブドウ糖を酵母がアルコールに変えて（発酵）、醪（もろみ：酒母に蒸米および水を加えて大型のタンクで発酵管理したもの）の中で糖化と発酵が同時に行われる（平行複発酵）。これに対して、ビールは、原料である麦のデンプンを麦芽の糖化酵素（アミラーゼ等）で分解して麦汁を作り、これを酵母によりアルコール発酵させ、糖化と発酵が別工程で行われる（単行複発酵）。またワインは、原料であるぶどう果汁に糖が含まれているため、酵母によるアルコール発酵のみを行う（単発酵）。このように、同じ醸造酒でも醸造工程が大きく異なる。



第1-1図 清酒の製造工程と酒造適性の関連指標。

兵庫県酒米研究グループ2010，図4 清酒の工程を改変

清酒は原料と製造方法によって、普通酒と特定名称酒に大別される。特定名称酒は、使用原料と精米歩合に基づき、吟醸酒、大吟醸酒、純米酒、純米吟醸酒、純米大

吟醸酒、特別純米酒、本醸造酒および特別本醸造酒の8酒類に分類され、いずれも麴米の使用割合が原料米の15%以上と定められている(第1-1表)。

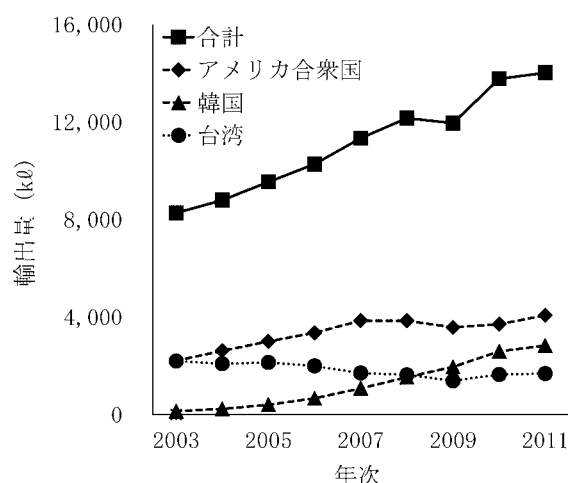
第1-1表 特定名称酒の分類。

特定名称	使用原料	精米歩合	麴米使用割合	香味等の要件
吟醸酒	米，米麴， 醸造アルコール	60%以下	15%以上	吟醸造り，固有の香味，色沢が良好
大吟醸酒	〃	50%以下	〃	吟醸造り，固有の香味，色沢が特に良好
純米酒	米，米麴	—	〃	香味，色沢が良好
純米吟醸酒	〃	60%以下	〃	吟醸造り，固有の香味，色沢が良好
純米大吟醸酒	〃	50%以下	〃	吟醸造り，固有の香味，色沢が特に良好
特別純米酒	〃	60%以下または 特別な製造方法 (要説明表示)	〃	香味，色沢が特に良好
本醸造酒	米，米麴， 醸造アルコール	70%以下	〃	香味，色沢が良好
特別本醸造酒	〃	60%以下または 特別な製造方法 (要説明表示)	〃	香味，色沢が特に良好

国税庁2003年改正，「清酒の製法品質表示基準」の概要より一部改変した。醸造アルコール：デンプンや糖から醸造されたアルコール，吟醸酒や本醸造酒に使用できる醸造アルコールの量は白米の重量の10%以下に制限される。吟醸酒：精米歩合の高い白米を専用の優良酵母を用いて低温でゆっくり発酵させ，特有な芳香（吟香）を有するように醸造した酒

酒米は食用米に比べて，一般にアミロース含有率が高く食味が劣り，食用米への転用が難しく，生産量が酒造会社の需要量を超えた場合は，加工用米や飼料米等に転用せざるを得ない。そのため，酒米は生産者と酒造会社との契約栽培が一般的である。例えば兵庫県には，明治期から「山田錦」(1936年，兵庫県立農事試験場，現兵庫県立農林水産技術総合センター酒米試験地育成)の生産者と酒造会社との間に，相互扶助を伴う村米（むらまい）制度と呼ばれる取引がある（兵庫県酒米研究グループ編2010）。また，酒米は食用米に比べて，一般に高価格で取引されるので，生産者にとって安定した収益を見込める品目である。例えば，2013年産の玄米60 kg当たりの相対取引価格（農林水産省が全国出荷団体等と卸売業者との当事者間の交渉後の取引価格を食糧法に基づき調査し公表）は，新潟県産の「コシヒカリ」が16,600円，北海道産の「ななつぼし」が14,400円（注：2013年農林水産省「米の取引に関する報告」）であったのに対して，兵庫県産の「山田錦」は23,600円（注：日本酒造組合中央会から聞き取り）であった。日本の食用米の需要が減っている状況下で，酒米は加工原料用途米としてもち米に次いで需要量が多い（注：清酒用のうるち米の使用量24万ト

ンの内，酒米8万トン，包装用もち用等のもち米19万トン，農林水産省「米に関するマンスリーレポート」2014年3月号）。また，清酒の輸出货量はアメリカ合衆国向けを中心増加しており，今後，酒米はコメの需要を拡大するための重要な品目の一つである（第1-2図）。



第1-2図 清酒の国別輸出货量の推移。

財務省「日本貿易統計」2012より作図

2012 年の日本全国における酒米の作付面積は 14,211 ha であり、その内、「山田錦」の作付面積は 4,423 ha で、全体の 31.1%を占める (第 1-2 表). 特に兵庫県は「山田錦」の作付面積が多く、全国の作付面積の約 80%を占める (注: 公益社団法人米穀安定供給確保支援機構情報部, 道府県別平成 24 年産水稻の作付上位品種 (醸造用玄米) の作付割合, 2012 年). 兵庫県は「灘」地区を中心に酒蔵会社が多く立地し、清酒の生産量が 3,772 t (2005 年) と日本一を誇り、兵庫県産の「山田錦」は極上の酒米として高く評価されている (東条山田錦フェスタ実行委員会

2006, 兵庫県酒米研究グループ編 2010). 「山田錦」は通常、千粒重が 27~28 g と大粒で、心白粒の発生が全粒の約 80%にみられる. また、玄米横断面で見た心白の形状が線状で、眼状の心白粒に比べて、砕米の発生が少なく高度精米に適している (江幡・長戸 1960, 前重・小林 2000). このため、高度精米を必要とする吟醸酒等の特定名称酒 (第 1-1 表) の原料に多く使われている. さらに、「山田錦」は多くの酒米品種の交配親になっている (中村ら 2005, 小林ら 2006).

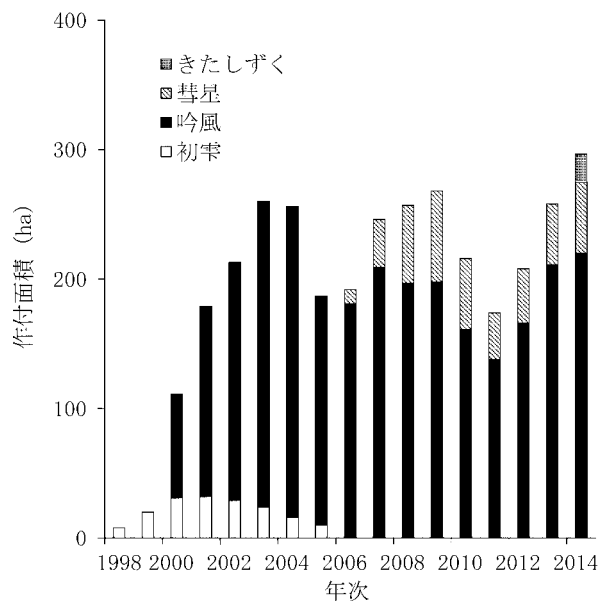
第1-2表 全国の酒造好適米の作付面積上位10品種 (2012年).

品種名	作付面積 (ha)	比率 (%)	主産地	育成地	育成年
山田錦	4,423	31.1	兵庫県, 福岡県	兵庫県立農事試験場	1936
五百万石	4,265	30.0	新潟県, 富山県	新潟県農業試験場中条試験地	1957
美山錦	877	6.2	長野県, 秋田県	長野県農業総合試験場農事試験場	1978
雄町	361	2.5	岡山県	民間育成	1908
秋田酒こまち	277	1.9	秋田県	秋田県農業試験場	2001
八反錦1号	267	1.9	広島県	広島県立農業試験場	1983
出羽燦々	264	1.9	山形県	山形県立農業試験場庄内支場	1995
華吹雪	182	1.3	青森県	青森県農業試験場	1985
ひだほまれ	171	1.2	岐阜県	岐阜県高冷地農業試験場	1981
吟風	171	1.2	北海道	北海道立中央農業試験場	1999
合計	11,258	79.2	—	—	—

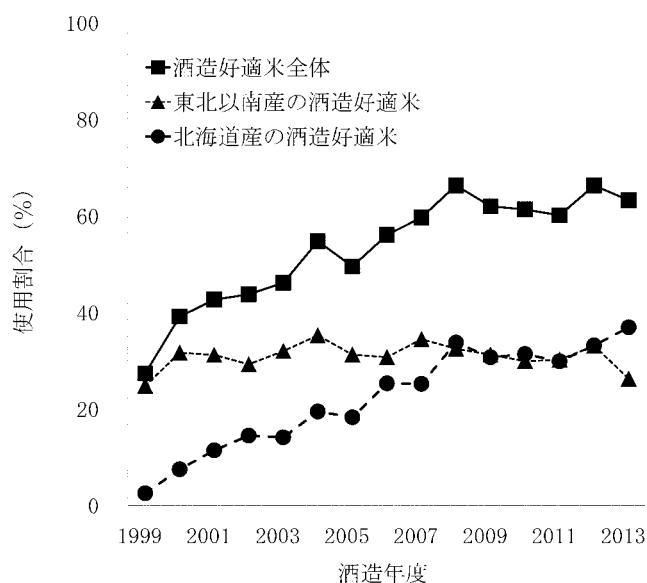
作付面積は、公益社団法人米穀安定供給確保支援機構情報部、道府県別2012年産水稻の作付上位品種 (醸造用玄米) の作付割合をもとに推定した. 作付割合が示されていない石川県, 福井県, 長野県, 鳥取県, 島根県, 徳島県の酒造好適米の作付面積は、各県に聞き取り調査をした. また、作付面積が少ない静岡県, 熊本県は除いた. 比率は、2012年全国の酒造好適米品種作付面積14,211haに対する、各品種の作付面積の割合 (%) を示す. 各品種の育成地および育成年は、農業・食品産業技術総合研究機構作物研究所イネ品種データベース検索システム (<http://ineweb.narcc.affrc.go.jp/index.html>) による命名年とした. ただし、「山田錦」と「雄町」の育成年は、それぞれ兵庫県と岡山県で水稻奨励品種に採用された年を示す.

北海道産米が清酒生産に本格的に使用されるようになったのは、2000 年に「吟風」(1999 年, 北海道立中央農業試験場, 現北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場育成) の栽培面積が増えてからである (第 1-3 図). 2014 年での北海道全体の酒米栽培面積は 297 ha で、その内、「吟風」が 220 ha (北海道の酒米栽培面積の 74.0%), 「彗星」が 55 ha (同 18.5%), 「きたしずく」が 22 ha (同 7.5%) である (第 1-3 図).

北海道の酒造会社の酒造原料に占める北海道産の酒米の使用割合は 2000 年以降に増加し、2008 年には東北以南産の酒米使用割合と同等になり (33.8%), 2013 年には東北以南産の酒米使用割合を上回った (37.0%, 第 1-4 図). 北海道の酒造会社で北海道産の酒米を 100%使用し製造された清酒が、2003 年以降、全国の新酒鑑評会で金賞を受賞している (注: 酒類総合研究所, 日本酒造組合, 2003~2013 年).



第1-3図 北海道の酒造好適米作付面積の推移 (北海道酒造組合調べ).



第1-4図 北海道の酒造会社の酒造原料米に占める酒造好適米の使用割合 (北海道酒造組合調べ)。

しかし、2012 年におけるこれらの酒米品種の作付面積は、北海道での水稲作付面積 112,000 ha (農林水産省大臣官房統計部編 2012) の 0.3%未満であり、全国の酒米品種の作付面積 14,211 ha の約 1.9%に過ぎない。また、北海道産米の北海道外への出荷割合は、食用米の 63%に対して、酒米は 22%と低い状況にある (注：ホクレン農業協同組合連合会からの聞き取り，2012 年)。

酒類総合研究所 (広島県東広島市) に事務局がある酒米研究会では 1976 年以降、日本全国から酒造用原料米を集めて、酒造適性に関連する 15 項目を酒造原料米全国統一分析法 (注：酒米研究会 <http://www.sakamai.jp/>, 1996 年) で分析し、その結果をデータベース化して会員に公開している。このデータベースの内、特に重要と考えられる 10 項目 (千粒重、無効精米率、砕米率、20 分吸水率、120 分吸水率、蒸米吸水率、直接還元糖、フォルモール態窒素、粗タンパク質含有率、カリウム含有量) と心白発現率、心白率および腹白率を、本研究での酒造適性の関連指標として解析に利用した (第 1-3 表)。

第1-3表 酒造適性の関連指標の用語説明。

用 語	説 明
千粒重	一般に食用米に比べて重い傾向があり、24.5 g 以上が酒造好適米の目安とされる。値が高いと精米時間が短く、精米歩留が高く、原料処理や製麹の操作がし易い。「山田錦」の千粒重は、およそ24.6～28.0 g (水分13.8%) である。
無効精米歩合 砕米率	値が低いものが良い。値が高いと精米歩留が低下し、相対的に精米の粗タンパク質含有率が高くなるため酒造適性が低い。
20分吸水率 120分吸水率 蒸米吸水率	白米や蒸米の吸水性を表す。最大吸水量 (120分吸水率) に品種間差異はほとんどないが、吸水速度あるいは吸水率比 (20分/120分) は品種間で異なる。これらの吸水率は酵素による被消化性との間に強い正の相関関係が認められ、値が高いものが良い。
直接還元糖 (Brix)	米のデンプンが麹の酵素により主にグルコース (ブドウ糖) に分解されるため、ほぼグルコース量に一致する。値が高いと消化性が良く酒米として適する。
フォルモール 態窒素 (F-N)	フォルモール法で測定された窒素量である。値が高いと消化性が良くなるが、高すぎると雑味等の酒質悪化の原因となる。
粗タンパク質含有率	一般に値が低いものが良いとされ、値が低いと吸水速度が大きくなる傾向にある。また、タンパク質は清酒の呈味成分、香り成分になるが、値が高すぎると清酒のアミノ酸含量も多くなり、雑味が生じたり、着色の原因となる。
カリウム含有量	カリウム含有量は菌体量や酵素活性との間に正の相関関係が認められ、カリウムは麹菌の増殖に関わる重要な成分とされる。ただし、多すぎると麹菌の増殖が過進するため製麹しにくい。品種間差は大きく、適量は明確ではないが、75%精米の「山田錦」では通常400～600 ppmである。
心白発現率 心白率 腹白率	心白発現率は、心白の発現頻度を示し、心白発現粒数/全粒数から算出する。心白率は、心白の大きさの程度を示し、心白の大きさを大、中、小に分類後、(5×大心白粒数+4×中心白粒数+2×小心白粒数)/(5×調査粒数) から算出する。心白発現率および心白率の高い米は麹菌の菌糸のハゼ込みが良好で、良い麹になるとされる。腹白率は、腹白粒数/全粒数から算出し、腹白率が高い米は精米時に砕米になり易い傾向がある。

北海道農業試験会議 (成績会議) 水稲新品種候補 「空育酒177号」 2014年より抜粋し、一部改変した。

第2節 既往の研究成果

1. 北海道における酒米品種育成以前の食用米を用いた酒造適性に関する研究

1926～1945年に北海道立工業試験場（現北海道立総合研究機構産業技術研究本部工業試験場）において、酒造原料に北海道産米を使用することを目的に、食用米を用いた酒造適性に関する多くの研究が行われた（生原 1926, 1928a, b, 1931, 生原・多田 1933, 鈴木ら 1934, 岡田 1927, 阿部ら 1940, 1941）。生原（1928b）は、北海道産の食用米を原料とした清酒は、貯蔵後の品質低下が大きく、その大きな原因として粗タンパク質含有率が高いことを指摘した。鈴木ら（1934）は、全国の水稲 18 品種を用いた麴の糖化試験を行い、北海道の「北海坊主 5 号」は、アミノ酸と糖分が平均値前後であったが、清酒の官能検査での色沢と香味は、供試品種中で最低の点数であったと報告した。

1950 年代に入ると北海道の食用米は生産が安定し、道外への出荷が可能となった。しかし、北海道の酒造会社の原料米は全て東北以南産であった。赤井ら（1973）は、北海道の酒米専用品種の開発と栽培条件の解明に関する基礎的な知見を得るために、北海道の食用米品種を用いた酒造適性試験を行った。その結果、「巴まさり」（1951 年、北海道立道南農業試験場育成）など一部の品種は、食用米品種の中では粒厚が厚く大粒であったが、玄米の糠層が厚く、溝が深く、粗タンパク質含有率が高く、浸漬米の吸水速度が小さく、蒸米の硬化速度が大きく、総体的にみると酒米としての利用に適さなかったと報告した。

1969 年に自主流通米制度が導入され、北海道の一部の酒造会社で北海道産の食用米を用いた醸造試験が行われた。その結果、鉄分の影響により製造酒の着色が問題となった。これを契機にして、1970 年に北海道農政部、北海道酒造組合、ホクレン農業協同組合連合会および北海道産米改良協会連合会の 4 機関が発起人となり、「北海道酒米研究会」が設立された。この会において、原料米の自主流通対策として、粗タンパク質含有率の低減に向けた品種改良および栽培技術、食用米品種の醸造試験による酒造適性の評価を開始した（高橋 1993）。赤井ら（1973）は、北海道の食用米品種は東北以南の食用品種に比べて、カリウム含有量が多いため製造時に醪の温度が上昇して醱酵が急進しやすいこと、放冷時の蒸米に粘りがなく、蒸米の硬化速度が大きいことを報告した。一方、24 時間放冷後の醪の溶解性および糖化性、粕歩合、製造酒の官能検査（きき酒）の結果には大きな差がなかったと指摘し、北海道の食用米品種は品質の向上によって酒造適性も改善したと報告した。

木曾ら（1989）は、東北以南の食用米品種で作られた麴と酒母を用いて、良食味品種の「ゆきひかり」（1984

年、北海道立中央農業試験場育成）の掛米としての酒造適性を調べた結果、作業性、発酵管理、製造酒の成分および品質は、東北以南の食用米品種と差がなかったと報告した。野本・高橋（1992）は、北海道で 1980 年代後半から 1990 年代に育成された食用米品種は、それ以前に育成された食用米品種に比べて、吸水性および消化性が高く、東北以南の食用米品種並にカリウム含有量が少なく、掛米としての酒造適性が改善されたと報告した。

柳原（2002）は、1990～1993 年に北海道の食用米品種と東北以南の食用米品種を用いて小仕込み試験（少量の醸造試験）を実施し、製造酒の粕中のタンパク質を分析し、北海道の食用米品種は、東北以南の食用米品種に比べて、難消化性の PB（プロティンボディー）-I のタンパク質に対する易消化性の PB-II（清酒の味に影響するとされる）のタンパク質の割合が明らかに低く優れていると評価した。また富永（1998）は、北海道の食用米品種および石川県の酒米品種の「五百万石」（1957 年、新潟県農業試験場育成）を用いて、掛米用の小仕込み試験を行い、清酒の官能検査の評点とアミノ酸度の結果から、北海道の食用米品種は酒米としても有望であると報告した。

以上の北海道の食用米品種における酒造適性の評価は、あくまで掛米としての評価であり、麴米や配米としての評価は、ほとんど行われなかった。北海道産米について麴米や配米としての評価が本格的に行われたのは酒米専用の系統や品種が育成されてからである。

2. 北海道における酒米品種の育成

東北以南では、民間育種家の手によって 100 年以上前に選出された「雄町」（1908 年、岡山県で優良品種に認定）等の在来の酒米品種を交配親に用いて酒米育種が行われ（前重・小林 2000）、「山田錦」をはじめ、「五百万石」および「美山錦」（1978 年、長野県農業総合試験場農事試験場育成）等の酒造適性の優れる多くの酒米品種が育成された（第 1-2 表）。

一方、北海道では、東北以南に比べて酒米育種が大きく遅れた。北海道で育成段階から酒造適性の検討が行われたのは、1976 年に北海道農業試験場（現独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター）で育成された「北海 240 号」（札系 7450）が最初である。「北海 240 号」は、タンパク質含有率が 11.3%（90 % 精米）と高かったが、千粒重が 25.0 g と大粒で、心白率は 24.0% であり、北海道内の酒造会社から酒米品種として有望であると評価された。しかし、「北海 240 号」は、生産者と酒造会社との間で生産物の売買に関する問題が生じ、北海道の優良品種には採用されなかった（高橋 1993）。

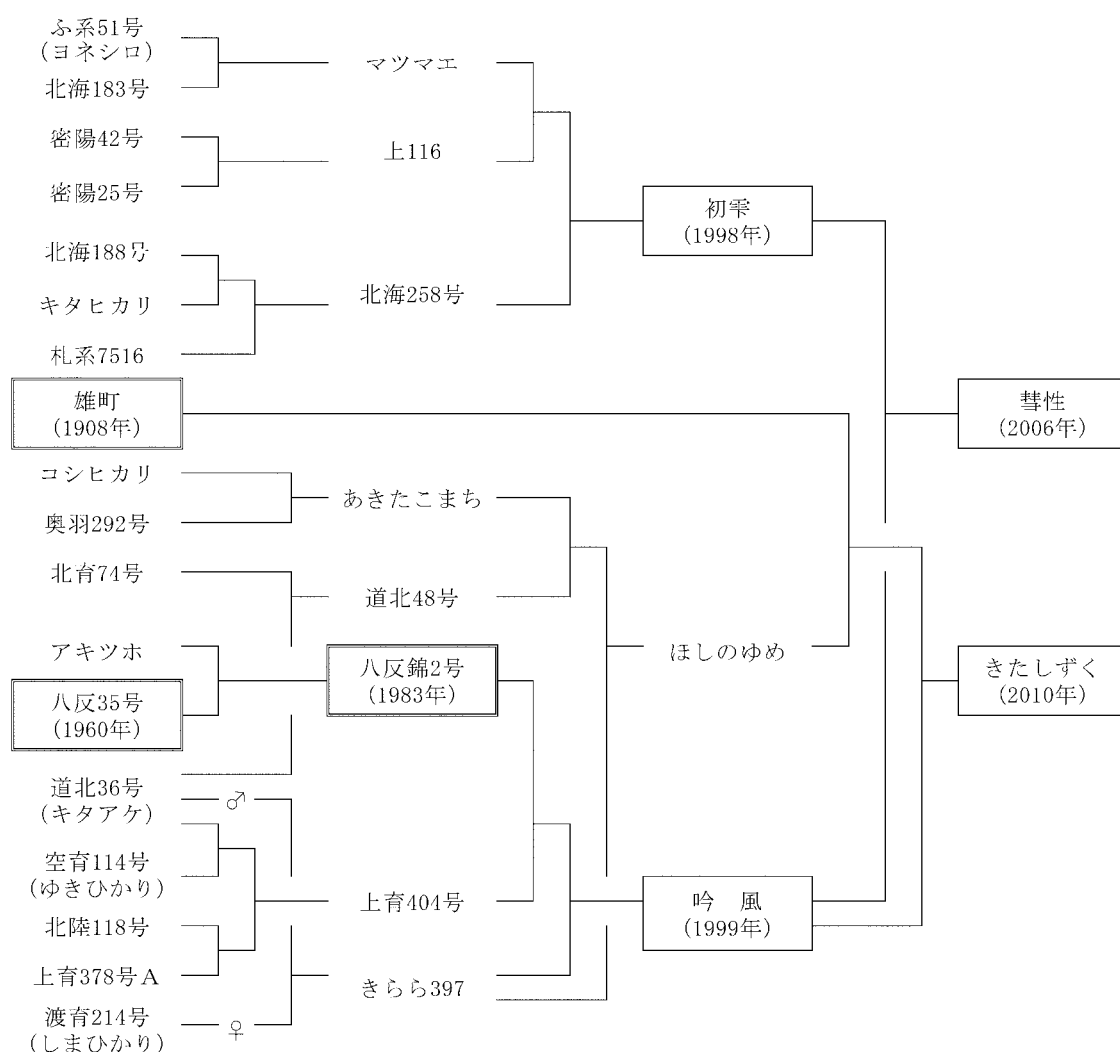
1998 年に北海道農業試験場において北海道で初めて酒米専用の優良品種の「初雫」が育成された（荒木ら 2002）。「初雫」は、大粒、多収の食用米品種の「マツマ

エ」と韓国稲間の交配により育成された多収系統の「上 116」との F_1 を母親に、耐冷性の強い多収系統の「北海 258 号」を父親にした交配により育成された (第 1-5 図)。「初雫」は、当初の育種目標が酒米用ではなかったため、系譜に酒米品種はなく、 F_6 世代までは酒造適性に関する試験は行われなかった。また、心白発現率が食用米並に低く、食用米品種の「きらら 397」(1988 年、北海道立上川農業試験場育成、佐々木ら 1990) に比べて玄米品質や吸水性が劣ったため、最大作付面積は 2001 年の 32 ha に止まり、2006 年以降は作付けされていない (第 1-3 図)。

1999年に北海道立中央農業試験場において初めて心白発現率が高く、大粒である本格的な酒米品種の「吟風」が育成された。「吟風」は、広島県の酒米品種の「八反錦2

号」(1983 年, 広島県農業試験場育成) と北海道の多収系統の「上育 404 号」との F_1 を母親に, 「きらら 397」を父親にした交配により育成された (第 1-5 図, 丹野ら 2002).

その後2006年に、同農業試験場において、「初雫」を母親に、「吟風」を父親にした交配により、「吟風」よりも耐冷性が強く、タンパク質含有率が低い「彗星」が育成された(第1-5図、田中ら2011)。さらに2010年に、同農業試験場において、岡山県の酒米品種の「雄町」と北海道の耐冷性が強い良食味品種の「はしのゆめ」(新橋ら2003)とのF₁を母親に、「吟風」を父親にした交配により、「吟風」および「彗星」より開花期の耐冷性が明らかに強く、大粒で多収の「きたしずく」が育成された(第1-5図)。



第1-5図 北海道で育成した酒造好適米品種の系譜.

各品種の両親の上段は母親，下段は父親を示し、「きらら397」のみ上段は父親，下段は母親を示す。
一重囲いは北海道の酒造好適米品種，二重囲いは東北以南の酒造好適米品種を示し，その他は食用米品
種・系統を示す。囲いの（ ）は育成年（命名年）を示す。ただし、「雄町」と「八反35号」は，それぞ
れ岡山県と広島県で水稻奨励品種に採用された年を示す。

第3節 本研究の目的

今後、北海道内外の酒造会社での北海道産の酒米の評価を高め、需要及び栽培面積を拡大するためには、北海道産の酒米の酒造適性を兵庫県産の「山田錦」並に改善し、北海道の酒米団地の形成を促進して、高品質な酒米を安定生産する必要がある。本研究は、北海道で育成した酒米品種における農業特性と酒造適性の関連指標の改善を目的として行った。

第2章では、2008～2012年に北海道岩見沢市で栽培された「吟風」、「彗星」および「きたしずく」と兵庫県加東市で栽培された「山田錦」を含む酒米3品種における農業特性と酒造適性の関連指標を比較し、北海道の酒米品種の優点と欠点を明らかにした。

第3章では、2005～2013年に北海道の空知地域の岩見

沢市と上川地域の比布町で生産された「吟風」と「彗星」を用いて、農業特性と酒造適性の関連指標の産地間・品種間差異を検討した。また、農業特性では食用米品種の「ゆめぴりか」および「ななつぼし」との比較も行った。さらに、第2章で指摘した兵庫県産の「山田錦」に対するこれらの品種の農業特性および酒造適性の関連指標の優点と欠点について、産地間・品種間差異を考察した。

第4章では、第3章と同じ年次および品種のデータを用いて、農業特性と酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす気象条件の影響について検討した。

最後の第5章では、第2章～第4章で明らかにした北海道の酒米品種の農業特性と酒造適性の関連指標の改善に対して、これまで北海道の食用米品種で行われてきた栽培技術と育種の適応性を検討し、総合的に考察した。

第2章 北海道と兵庫県の酒造好適米品種における農業特性と酒造適性の関連指標の比較

北海道産の酒造好適米（以下、酒米）の評価をさらに高めて需要を増やすためには、北海道産の酒米の酒造適性を兵庫県産の「山田錦」並に向上させる必要がある。しかし、これまで北海道と東北以南の酒米品種の農業特性と酒造適性の関連指標を比較した報告は少ない（田中ら 2015）。

そこで本章では、北海道と東北以南の酒米の代表的な産地である兵庫県の酒米品種における農業特性と酒造適性の関連指標を比較し、北海道の酒米品種の優点と欠点を明らかにして、今後の北海道の酒米品種に改善が必要な農業特性と酒造適性の関連指標を示した。

第1節 材料および方法

供試品種として、北海道岩見沢市で栽培した酒米品種の「吟風」、「慧星」および「きたしずく」を、兵庫県加東市で栽培した酒米品種の「山田錦」、「五百万石」および「兵庫北錦」(1986年、現兵庫県立農林水産技術総合センター酒米試験地育成)を、それぞれ用いた。

北海道の酒米品種は全て中苗で、兵庫県の酒米品種は全て稚苗であった（第2-1表）。播種日は、北海道の酒米品種が4月11日で、「五百万石」と「兵庫北錦」より12日、「山田錦」より33日早かった。移植日は北海道の酒米品種が5月21日で、「五百万石」と「兵庫北錦」より1日遅く、「山田錦」より17日早かった。栽植密度は、北海道の酒米品種が25.1株 m^{-2} で、兵庫県の酒米品種より5.5～5.8株 m^{-2} 高かった（「五百万石」・「兵庫北錦」対比130%、「山田錦」対比128%）。窒素施肥量は、北海道の酒米品種が8.0g m^{-2} で、兵庫県の酒米品種より1.7～3.3g m^{-2} 多かった（「五百万石」・「兵庫北錦」対比170%、「山田錦」対比127%）。また、北海道の酒米品種のみ化成肥料に加えて、稲わら堆肥を1.0kg m^{-2} 施用した。

各品種の稈長、穂長、 m^2 当たり穂数（以下、穂数）、玄米収量および倒伏程度は、水稻奨励品種決定基本調査成績データベース（注：農業・食品産業技術総合研究機構作物研究所稲研究領域、2012年）の中から、北海道岩見沢市と兵庫県加東市の2008～2012年のデータを抽出し用いた。また、出穂後31日間の平均気温（以下、登熟気温）はアメダス岩見沢とアメダス三木の気象データから算出した。酒造適性の関連指標は、第1章で示した醸造用玄米全国統一分析値および水稻奨励品種決定基本調査結果を用いた（第1-3表）。なお、直接還元糖はBrixと、フォルモール態窒素はF-Nと、それぞれ以下で略した。

第2-1表 耕種概要

産地	品種	育苗 様式	播 種 日	移 植 日	栽植 密度 (株 m^{-2})	窒素 施肥量 (g m^{-2})
北海道 岩見沢市	吟風 慧星 きたしずく	中苗	4月11日	5月21日	25.1	8.0
兵庫県 加東市	五百万石 兵庫北錦	稚苗	4月23日	5月20日	19.3	4.7
	山田錦		5月14日	6月7日	19.6	6.3

窒素施肥量は追肥を含む。数値は2008～2012年の平均値を示す。北海道の酒米品種のみ5カ年とも、化成肥料に加えて、稲わら堆肥を1.0kg m^{-2} 施用した。

北海道と兵庫県の酒米の各形質について、年次を反復（ブロック）とし、品種を地域間比較、北海道内比較および兵庫県内比較の3つに直交分解した乱塊法による分散分析を行った。また、品種間の比較はTukey法（ $p<0.05$ ）を用いて行った（田中・垂水 1986）。

第2節 結 果

1. 農業特性

出穂期は、北海道の酒米品種が7月31日～8月2日で「山田錦」より25～27日有意に早く、「五百万石」より7～9日有意に遅かった（第2-2表）。また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が8月27日で、「五百万石」と「兵庫北錦」より、それぞれ34日と28日有意に遅かった。

成熟期は、北海道の酒米品種が9月21日～22日で「山田錦」より18～19日有意に早く、「五百万石」と「兵庫北錦」より16～20日有意に遅かった（第2-2表）。また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が10月10日で、「五百万石」と「兵庫北錦」より、それぞれ38日と35日有意に遅かった。

稈長は、北海道の酒米品種が67.1～72.5cmで、兵庫県の酒米品種より14.1～39.4cm有意に短かった（第2-2表）。また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が106.5cmで、「五百万石」と「兵庫北錦」より、それぞれ13.0cmと19.9cm有意に長かった。

穂長は、北海道の酒米品種が16.5～17.0cmで、兵庫県の酒米品種より3.5～6.4cm有意に短かった（第2-2表）。また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が20.5cmで、「五百万石」より2.4cm有意に短かった。

穂数は、北海道の酒米品種が604～661本 m^{-2} で、兵庫県の酒米品種より221～397本 m^{-2} 有意に多かった。

(第2-2表). また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が 383 本 m^{-2} で、「五百万石」と「兵庫北錦」より、それぞれ 78 本 m^{-2} と 119 本 m^{-2} 有意に多かった。

全重は、北海道の酒米品種が $144 \sim 145 \text{ kg a}^{-1}$ で、「山田錦」より $33 \sim 34 \text{ kg a}^{-1}$ 有意に軽かった (第2-2表). また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が 178 kg a^{-1} で、「五百万石」と「兵庫北錦」より、それぞれ 35 kg a^{-1} と 29 kg a^{-1} 有意に重かった。

玄米収量は、北海道の酒米品種が $59.2 \sim 61.3 \text{ kg a}^{-1}$ で、「山田錦」と「五百万石」より $9.6 \sim 13.7 \text{ kg a}^{-1}$ 有意に多かった (第2-2表). また、北海道の酒米品種間および兵庫県の酒米品種間に、それぞれ有意差がなかった。

玄米品質は、上上を1から下下を9として北海道の酒米品種が $4.00 \sim 4.30$ で、「兵庫北錦」より有意に $3.20 \sim 3.50$ 低く優れた (第2-2表). また、北海道の酒米品種間および兵庫県の酒米品種間に、それぞれ有意差がなかった。

た。

倒伏程度は、無を0から甚を5として北海道の酒米品種が $0.00 \sim 0.20$ で、「山田錦」と「五百万石」より $2.16 \sim 3.16$ 有意に小さかった (第2-2表). また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「兵庫北錦」が 1.10 で、「山田錦」と「五百万石」より、それぞれ 2.06 と 1.26 有意に小さかった。

登熟気温は、北海道の酒米品種が $21.8 \sim 21.9^{\circ}\text{C}$ で、兵庫県の酒米品種より $3.0 \sim 6.2^{\circ}\text{C}$ 有意に低かった (第2-2表). また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が 24.9°C で、「五百万石」と「兵庫北錦」より、それぞれ 3.1°C と 3.0°C 有意に低かった。

以上のように、北海道の酒米品種は、兵庫県の酒米品種に比べて、出穂期と成熟期が遅く、稈長と穂長が短く、穂数が多く、全重が軽く、玄米収量が多く、玄米品質が優れ、倒伏程度が小さく、登熟気温が低かった。

第2-2表 北海道と兵庫県の酒造好適米品種における農業特性と出穂後31日間の平均気温。

地域	品種	出穂期 (7月1日=1, 日)	成熟期 (9月1日=1, 日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本 m^{-2})
北海道	吟風	$32.8 \pm 2.08 \text{ b}$	$22.4 \pm 2.68 \text{ b}$	$67.1 \pm 1.33 \text{ c}$	$16.5 \pm 0.16 \text{ c}$	$604 \pm 32.8 \text{ a}$
	彗星	$32.4 \pm 2.14 \text{ b}$	$21.8 \pm 2.58 \text{ b}$	$70.1 \pm 1.50 \text{ c}$	$16.9 \pm 0.19 \text{ c}$	$606 \pm 41.7 \text{ a}$
	きたしずく	$30.8 \pm 1.93 \text{ b}$	$21.2 \pm 2.31 \text{ b}$	$72.5 \pm 1.44 \text{ c}$	$17.0 \pm 0.39 \text{ c}$	$661 \pm 32.9 \text{ a}$
兵庫県	山田錦	$58.0 \pm 0.63 \text{ a}$	$40.0 \pm 3.89 \text{ a}$	$106.5 \pm 1.71 \text{ a}$	$20.5 \pm 0.47 \text{ b}$	$383 \pm 30.2 \text{ b}$
	五百万石	$24.0 \pm 1.26 \text{ c}$	$1.8 \pm 1.24 \text{ c}$	$93.5 \pm 1.66 \text{ b}$	$22.9 \pm 0.54 \text{ a}$	$305 \pm 12.1 \text{ c}$
	兵庫北錦	$30.2 \pm 1.39 \text{ bc}$	$4.8 \pm 1.39 \text{ c}$	$86.6 \pm 1.73 \text{ b}$	$22.0 \pm 0.52 \text{ ab}$	$264 \pm 7.8 \text{ c}$
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方
年次	4	27.37 ns	88.92 **	7.15 ns	1.65 ns	17887 **
品種	5	701.74 **	962.05 **	1207.08 **	40.14 **	150320 **
地域間比較	1	218.70 **	294.53 **	4943.40 **	186.00 **	704414 **
北海道内比較	2	5.60 ns	1.80 ns	36.58 ns	0.36 ns	5177 *
兵庫県内比較	2	1639.40 **	2256.07 **	509.42 **	6.98 **	18416 **
誤差	20	11.11	19.94	13.35	0.67	1438

地域	品種	全重 (kg a^{-1})	玄米収量 (kg a^{-1})	玄米品質	倒伏程度	出穂後31日間 平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)
北海道	吟風	$144 \pm 6.44 \text{ b}$	$59.2 \pm 2.88 \text{ a}$	$4.30 \pm 0.20 \text{ b}$	$0.00 \pm 0.00 \text{ b}$	$21.9 \pm 0.65 \text{ c}$
	彗星	$145 \pm 7.49 \text{ b}$	$61.3 \pm 2.03 \text{ a}$	$4.00 \pm 0.16 \text{ b}$	$0.20 \pm 0.20 \text{ b}$	$21.8 \pm 0.67 \text{ c}$
	きたしずく	$145 \pm 7.36 \text{ b}$	$61.0 \pm 1.99 \text{ a}$	$4.20 \pm 0.25 \text{ b}$	$0.20 \pm 0.20 \text{ b}$	$21.8 \pm 0.65 \text{ c}$
兵庫県	山田錦	$178 \pm 5.63 \text{ a}$	$47.6 \pm 3.30 \text{ b}$	$5.36 \pm 0.87 \text{ ab}$	$3.16 \pm 0.43 \text{ a}$	$24.9 \pm 0.68 \text{ b}$
	五百万石	$143 \pm 5.33 \text{ b}$	$49.6 \pm 4.10 \text{ b}$	$6.40 \pm 0.93 \text{ ab}$	$2.36 \pm 0.37 \text{ a}$	$28.0 \pm 0.35 \text{ a}$
	兵庫北錦	$149 \pm 7.22 \text{ b}$	$53.6 \pm 0.85 \text{ ab}$	$7.50 \pm 0.92 \text{ a}$	$1.10 \pm 0.34 \text{ b}$	$27.9 \pm 0.41 \text{ a}$
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方
年次	4	471.29 ns	116.64 **	2.70 ns	0.60 ns	9.04 **
品種	5	940.55 **	177.85 **	9.95 **	8.63 **	44.76 **
地域間比較	1	1148.25 *	784.39 **	38.08 **	32.24 **	193.55 **
北海道内比較	2	3.84 ns	6.42 ns	0.12 ns	0.07 ns	0.00 ns
兵庫県内比較	2	1773.40 **	46.00 ns	5.73 ns	5.39 **	15.12 **
誤差	20	169.66	21.52	2.06	0.40	0.24

産地は北海道が岩見沢市、兵庫県が加東市である。出穂期と成熟期は、それぞれ7月1日と9月1日を1とした時の日数を示す。玄米品質は玄米の外観品質を1(上上)～9(下下)の9段階で評価し、倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階で評価したスコアの平均値を示す。出穂後31日間の平均気温はアメダス岩見沢とアメダス三木のデータから算出した。各品種の数値は2008～2012年5カ年の平均値を、±は標準誤差を示す(n=5)。異なる英小文字で示した値間には5%水準で有意差があることを示す(Tukey法)。分散分析は年次を反復(ブロック)とし、品種を地域間比較、北海道内比較および兵庫県内比較の3つに直交分解した(乱塊法)。**, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意であり、nsは有意でないことを示す。

2. 酒造適性の関連指標

千粒重は、「吟風」と「彗星」が 23.7 g と 25.4 g で、「山田錦」と「兵庫北錦」より 1.9～4.9 g 有意に軽く、「きたしずく」が 25.9 g で、「兵庫北錦」より 2.7 g 有意に軽かった (第 2-3 表). また、「吟風」の方が「きたしずく」より 2.2 g 有意に軽く、「五百万石」が 24.7 g で、「山田錦」と「兵庫北錦」より、それぞれ 2.6 g と 3.9 g 有意に軽かった.

無効精米歩合は、有意な品種間差異がなかったが、「吟風」が 2.80%で、その他の品種より 0.20～1.54 ポイント (百分率の差の単位は、%ではなくポイントとした. 以下同様) 低かった (第 2-3 表). 砕米率は、有意な品種間差異がなかったが、北海道の酒米品種が 4.28～4.83%で、「山田錦」と「五百万石」より 0.78～2.73 ポイント低かった.

20 分吸水率は、「彗星」が 26.5%で、「山田錦」と「兵庫北錦」より、それぞれ 3.4 ポイントと 3.9 ポイント有意に低かった (第 2-3 表). また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「五百万石」が 27.9%で、「兵庫北錦」より 2.5 ポイント有意に低かった.

120 分吸水率は、「きたしずく」が 30.6%で、「五百万石」より 1.1 ポイント有意に高かった (第 2-3 表). また、北海道の酒米品種間に有意差はなく、「山田錦」が 31.0%で、「五百万石」より 1.5 ポイント有意に高かった.

蒸米吸水率は、北海道の酒米品種が 33.1～33.7%で、「山田錦」より 1.7～2.3 ポイント有意に低かった (第 2-3 表). また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が 35.4%で、「五百万石」より 1.7 ポイント有意に高かった.

Brix は、「吟風」が 9.55%で、「彗星」と「五百万石」より、それぞれ 0.87 ポイントと 0.93 ポイント有意に高かった (第 2-3 表). また、「山田錦」が 9.51%で、「五百万石」より 0.89 ポイント有意に高かった.

F-N は、「吟風」が 0.81 ml で、「彗星」と「山田錦」より、それぞれ 0.10 ml と 0.09 ml 有意に多く、「彗星」が 0.71 ml で、「五百万石」より 0.10 ml 有意に少なかった (第 2-3 表). また、兵庫県の酒米品種間に有意差がなかつ

た.

粗タンパク質含有率は、「吟風」と「きたしずく」が 5.64%と 5.66%で、「山田錦」より、それぞれ 1.01 ポイントと 1.03 ポイント有意に高かった (第 2-3 表). また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が 4.63%で、「五百万石」と「兵庫北錦」より、それぞれ 0.87 ポイント有意に低かった.

カリウム含有量は、北海道の酒米品種が 303～339 ppm で、「五百万石」と「兵庫北錦」より 147～256 ppm 有意に少なかった (第 2-3 表). また、北海道の酒米品種間に有意差がなく、「山田錦」が 379 ppm で、「五百万石」と「兵庫北錦」より、それぞれ 107 ppm と 180 ppm 有意に有意に少なかった.

心白発現率は、「彗星」が 59.6%で、「吟風」、「きたしずく」および「兵庫北錦」より、それぞれ 24.3 ポイント、27.1 ポイントおよび 36.8 ポイント有意に低かった (第 2-4 表). また、「五百万石」が 70.6%で、「兵庫北錦」より 25.8 ポイント有意に低かった.

心白率は、「吟風」と「彗星」が 46.5%と 26.0%で、兵庫県の酒米 3 品種より 16.5～69.4 ポイント有意に低かった (第 2-4 表). また、「きたしずく」は 54.3%で、「兵庫北錦」より 41.1 ポイント有意に低く、「彗星」より 28.3 ポイント有意に高かった. また、「兵庫北錦」が 95.4%で、「山田錦」と「五百万石」より、それぞれ 28.4 ポイントと 32.4 ポイント有意に高かった.

腹白率は、「彗星」が 7.01%で「山田錦」と「五百万石」より、それぞれ 32.09 ポイントと 30.39 ポイント有意に低かった (第 2-4 表). また、北海道の酒米品種間および兵庫県の酒米品種間に、それぞれ有意差がなかった.

以上のように、北海道の酒米品種は兵庫県の酒米品種に比べて、千粒重が軽く、砕米率、20 分吸水率および蒸米吸水率が低く、粗タンパク質含有率が高く、カリウム含有量が少なく、心白率と腹白率は低かった (第 2-3 表, 第 2-4 表). 一方、無効精米率、120 分吸水率、Brix、F-N および心白発現率には明瞭な地域間差異が認められなかった.

田中一生：北海道で育成した酒造好適米品種における農業特性と酒造適性に関する研究

第2-3表 北海道と兵庫県の酒造好適米品種における酒造適性の関連指標.

地域	品種	千粒重 (g)	無効精米歩合 (%)	砕米率 (%)	20分吸水率 (%)	120分吸水率 (%)
北海道	吟風	23.7 ± 0.47 d	2.80 ± 0.40 a	4.28 ± 0.91 a	28.5 ± 0.53 abc	30.3 ± 0.31 abc
	彗星	25.4 ± 0.49 cd	3.16 ± 0.79 a	4.34 ± 0.89 a	26.5 ± 0.57 c	30.0 ± 0.44 bc
	きたしずく	25.9 ± 0.45 bc	4.34 ± 0.59 a	4.83 ± 0.49 a	28.6 ± 0.52 abc	30.6 ± 0.32 ab
兵庫県	山田錦	27.3 ± 0.51 ab	3.00 ± 0.58 a	7.01 ± 1.66 a	29.9 ± 0.54 ab	31.0 ± 0.12 a
	五百万石	24.7 ± 0.34 cd	3.18 ± 0.34 a	5.61 ± 1.13 a	27.9 ± 0.52 bc	29.5 ± 0.12 c
	兵庫北錦	28.6 ± 0.34 a	4.11 ± 0.68 a	4.77 ± 0.71 a	30.4 ± 0.17 a	30.7 ± 0.12 ab
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方
年次	4	1.77 ns	4.85 **	19.25 **	1.13 ns	1.11 **
品種	5	15.51 **	2.00 ns	5.31 ns	9.93 **	1.48 **
地域間比較	1	24.51 **	0.00 ns	12.90 *	18.00 **	0.06 ns
北海道内比較	2	6.71 **	3.23 ns	0.45 ns	7.20 **	0.45 ns
兵庫県内比較	2	19.81 **	1.77 ns	6.38 ns	8.61 **	3.21 **
誤差	20	0.79	1.08	2.53	1.23	0.20

地域	品種	蒸米吸水率 (%)	直接還元糖 (Brix) (%)	フォルモール 態窒素 (F-N) (ml)	粗タンパク質 含有率 (% 乾物 ⁻¹)	カリウム 含有量 (ppm 乾物 ⁻¹)
北海道	吟風	33.3 ± 0.57 b	9.55 ± 0.17 a	0.81 ± 0.04 a	5.64 ± 0.23 a	303 ± 25.9 b
	彗星	33.1 ± 0.60 b	8.68 ± 0.15 b	0.71 ± 0.02 c	5.20 ± 0.12 ab	339 ± 25.8 b
	きたしずく	33.7 ± 0.43 b	9.28 ± 0.11 ab	0.77 ± 0.03 abc	5.66 ± 0.17 a	313 ± 24.1 b
兵庫県	山田錦	35.4 ± 0.70 a	9.51 ± 0.32 a	0.72 ± 0.03 bc	4.63 ± 0.14 b	379 ± 27.6 b
	五百万石	33.7 ± 0.46 b	8.62 ± 0.23 b	0.81 ± 0.04 ab	5.50 ± 0.17 a	486 ± 41.9 a
	兵庫北錦	34.3 ± 0.24 ab	9.14 ± 0.30 ab	0.79 ± 0.04 abc	5.50 ± 0.15 a	559 ± 31.3 a
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方
年次	4	4.92 **	0.66 *	0.03 **	0.35 *	17548 **
品種	5	3.41 **	0.81 **	0.01 **	0.77 **	53902 **
地域間比較	1	8.75 **	0.05 ns	0.00 ns	0.63 *	183893 **
北海道内比較	2	0.48 ns	1.00 *	0.01 *	0.34 *	1771 ns
兵庫県内比較	2	3.68 *	1.00 *	0.01 *	1.27 **	41038 **
誤差	20	0.65	0.18	0.00	0.09	1907

産地、数値および分散分析は第2-2表の脚注を参照。千粒重は水分13.5%に換算した玄米を、その他の酒造適性の関連指標は精米歩合70%の白米を用いた。±は標準誤差 (n=5) を示す。異なる英小文字で示した値間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。**, *はそれぞれ1%水準, 5%水準で有意であり, nsは有意でないことを示す。

第2-4表 北海道と兵庫県の酒造好適米品種における心白発現率, 心白率および腹白率.

地域	品種	心白発現率 (%)	心白率 (%)	腹白率 (%)
北海道	吟風	83.9 ± 4.30 ab	46.5 ± 2.09 c	19.48 ± 8.60 ab
	彗星	59.6 ± 8.64 c	26.0 ± 3.81 d	7.01 ± 2.48 b
	きたしずく	86.7 ± 3.73 ab	54.3 ± 1.94 bc	18.46 ± 7.91 ab
兵庫県	山田錦	78.0 ± 3.75 abc	67.0 ± 4.33 b	39.10 ± 9.53 a
	五百万石	70.6 ± 5.84 bc	63.0 ± 4.42 b	37.40 ± 11.5 a
	兵庫北錦	96.4 ± 1.03 a	95.4 ± 1.12 a	21.00 ± 4.92 ab
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方
年次	4	81.6 ns	48.3 ns	788 *
品種	5	833.8 **	2669.3 **	756 *
地域間比較	1	182.8 ns	8097.2 **	2302 **
北海道内比較	2	1110.7 **	1066.8 **	240 ns
兵庫県内比較	2	882.5 **	1557.8 **	500 ns
誤差	20	140.0	52.5	233

産地、数値および分散分析は第2-2表の脚注を参照。心白発現率は心白発現粒数/全粒数から、心白率は心白の大きさを大, 中, 小に分類後, (5×大心白粒数+4×中心白粒数+2×小心白粒数)/(5×調査粒数) から算出した。心白発現粒には乳白粒も含まれる。±は標準誤差 (n=5) を、異なる英小文字で示した値間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。**, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意であり, nsは有意でないことを示す。

第3節 考 察

1. 農業特性

北海道の酒米品種は、短程で穂長が短く、穂数が多い中間型または偏穂数型であった。一方、兵庫県の酒米品種は、長程で穂長が長く、穂数が少ない穂重型であり、草型は地域間で大きく異なった（第2-2表）。本研究で用いた兵庫県の酒米品種の系譜には、酒米の在来種または酒米品種がある（注：作物研究所イネ品種・特性データベース検索システムを参照）。一方、北海道の酒米品種の系譜には、「きらら397」や「ほしのゆめ」などの穂数型の食用米品種がある（第1-5図）。北海道の酒米品種は、これらの食用米品種を、東北以南の酒米品種の「八反錦2号」や「雄町」に交配し選抜することによって、東北以南の酒米品種の酒造適性を導入した（丹野ら2002, 田中ら2011）。このような両地域の酒米品種の系譜の違いが、草型の違いに反映されていると考えられた。

また稈長は、北海道の酒米品種の方が兵庫県の酒米品種より有意に短かった（第2-2表）。このことが、北海道の酒米品種の倒伏程度が兵庫県の酒米品種の倒伏程度に比べて、有意に小さかった要因の一つであると考えられた。特に「山田錦」は、その他の品種に比べて、全重が有意に重かったが、稈長が有意に長く倒伏程度が最も大きかったため、玄米収量はむしろ低かった。世古（2000）は、「山田錦」は長程で倒伏しやすく、いもち病にも弱いため、施肥に十分な注意が必要であると報告し、本研究結果と一致した。さらに腹白率は、北海道の酒米品種の方が兵庫県の酒米品種より有意に低かった（第2-4表）。このことが北海道の酒米品種の玄米品質が兵庫県の酒米品種の玄米品質に比べて優れた要因の一つと考えられた。

2. 酒造適性の関連指標

1) 千粒重

酒米は千粒重が大きいほど搗精歩留が高く、吸水特性が優れるとされる（前重・小林2000）。北海道の酒米品種の千粒重は、「兵庫北錦」の千粒重に比べて、有意に軽く、特に主要品種の「吟風」が軽かった（第2-3表）。千粒重が北海道の酒米品種の中で最も重かった「きたしずく」の25.9gでも、供試品種の中で最も重かった「兵庫北錦」に比べて有意に2.7 g、「山田錦」に比べて有意差はないものの1.4 g軽く劣った。したがって、千粒重を「山田錦」や「兵庫北錦」並に増加させることが、今後の北海道における酒米育種の目標の一つであると考えられた。

千粒重は玄米の長さ、幅、厚さおよび比重などによって決められる量的形質で、多数の遺伝子に支配されるとされる（前重・小林2000）。一方、大粒品種の「房吉」や「たいほう」の粒大は少数の主働遺伝子に支配されているとの報告もある（武田・斎藤1980, 滝田1985）。北海道の酒米品種の系譜には、これらの大粒品種が含まれて

いないので（第1-5図）、これらの大粒品種を交配親に用いて、北海道の酒米品種の千粒重を増加させる可能性がある。

2) 碎米率と無効精米歩合

酒米は粒大が大きく千粒重が重く、心白発現率が高くなると、碎米率が高くなる傾向がある（池上・世古1995）。北海道の酒米品種は、「山田錦」と「五百万石」に比べて、心白発現率は有意な差異がなかったが、碎米率は低い傾向があった（第2-3表, 第2-4表）。碎米率からみると、北海道の酒米品種の精米特性は、「山田錦」や「五百万石」の精米特性に優る傾向があると考えられる。

無効精米歩合は精米特性を評価する指標である。家村ら（1996）は、碎米率と無効精米歩合との間に1%水準で有意な正の相関関係（相関係数, $r=0.797$, $n=20$ ）が認められたと報告した。しかし、本研究では、北海道と兵庫県の酒米品種のいずれも、碎米率と無効精米歩合との間に有意な相関関係は認められなかった（北海道の酒米品種: $r=0.201$, 兵庫県の酒米品種: $r=0.459$, 各 $n=15$ ）。この要因については明らかでなく、今後の課題である。

3) 吸水特性

柳内（1996）は、20分吸水率は心白粒の方が無心白粒より高く、この差は米粒内部組織構造において心白粒では、デンプン粒子間の大きな間隙へ急速な吸水が起こっていることに起因すると報告した。本研究においても、20分吸水率、心白発現率および心白率は、それぞれ「兵庫北錦」が最も高く、「彗星」が最も低かった（第2-3表）。このことから、本研究においても20分吸水率に心白発現率と心白率が関係していると考えられた。また、酒米は千粒重が重いものが吸水特性に優れるとされる（前重・小林2000）。「兵庫北錦」の千粒重は最も重かったことから、「兵庫北錦」の20分吸水率の高さは、心白発現率と心白率の高さに加えて、千粒重が重いことも関係していると考えられた。

一方「吟風」は、20分吸水率では、その他の品種と有意な差は認められなかったが、千粒重が最も軽かった。また、心白発現率では、「彗星」より有意に高く、その他の品種と有意な差異が認められなかった。これらのことから、「吟風」の20分吸水率には心白発現率が強く関係し、千粒重の影響は小さかったと推察した。

小関ら（2004）は、登熟期に「山田錦」および食用米品種の「日本晴」を高温で生育させた場合、いずれも吸水率の上昇が見られたと報告した。本研究においても、20分吸水率および蒸米吸水率は、登熟気温の低い北海道の酒米品種の方が、登熟気温の高い兵庫県の酒米品種に比べて有意に低く（第2-2表, 第2-3表）、小関ら（2004）の報告と一致した。

4) 消化性 (Brix と F-N)

Brix と F-N は、蒸米をアミラーゼが含まれるコハク酸緩衝液中で、15℃、24時間糖化した濾液中の測定値で (注：酒造原料米全国統一分析法，酒米研究会，1996年)，消化性の指標である。蒸米の酵素消化性は、醗における酒造米の溶解性に関係し、製造酒の酒質のみならず、粕歩合などの原料米の利用効率にも影響する (長沼ら2012)。本研究では、北海道と兵庫県の酒米品種のBrixとF-Nは有意な地域間差異がなかった (第2-3表)。

一方、米原ら (2005) は、登熟期に「山田錦」を低温 (平均20℃) で生育させた場合、高温 (平均35℃) で生育させた場合に比べて、Brixが高くなる傾向が認められたと報告した。また小関ら (2004) は、登熟期に「山田錦」および「日本晴」を高温 (平均35℃) で生育させた場合、いずれもBrixの低下が認められ、蒸米の消化性は米の物性やデンプンの構造の差異が関係していると示唆した。さらに奥田ら (2010) は、高温年ではデンプンのアミロペクチンの長鎖の割合が高くなり、蒸米の消化性が劣ると報告した。これらのことから、登熟気温が低い北海道は、登熟気温の高い兵庫県に比べて、気象条件の点で消化性に関して有利であると考えられた。

Brix は、「彗星」と「五百万石」が他の品種に比べてやや低い傾向を示した (第2-3表)。柳内 (1996) は、Brix は、心白粒の方が無心白粒に比べて有意に高く、心白粒は無心白粒に比べて溶解性に優れており、この差は米粒内部組織構造に起因すると報告した。このことから、「彗星」の Brix がやや低い傾向を示した要因の一つとして、「彗星」の心白率の方が、その他の品種の心白率より有意に低かったことが考えられた (第2-4表)。

5) 粗タンパク質含有率

粗タンパク質含有率は、精白米の吸水性や消化性に関係して、そのアミノ酸組成により、清酒の味、香り等の成分として不可欠であると同時に、変色、変質およびごり等清酒の品質上の不安定要因となる (吉沢ら 1974, 佐村 1976)。そのため、粗タンパク質含有量が過多の品種は酒米として好ましくない。北海道の酒米品種の粗タンパク質含有率は、最も低かった「山田錦」より 1%程度高かった (第2-3表)。これらのことから、北海道内外の酒造会社での北海道の酒米品種の評価を高めるためには、粗タンパク質含有率を「山田錦」並に低下させることが必要である。

米粒中のタンパク含有率は、特に窒素施肥量の影響を強く受ける (五十嵐ら 2005)。本研究において、平均施肥量は、北海道の酒米品種の方が兵庫県の酒米品種に比べて窒素成分で 2.8 g m^{-2} 多く、さらに北海道の酒米品種では稲わら堆肥を 1.0 kg m^{-2} 施用した (第2-1表)。このような施肥量の違いが、北海道の酒米品種の粗タンパク質含有率を高めた要因であると考えられた。また、北海道の

酒米品種の施肥量が多い要因として、北海道の酒米品種は兵庫県の酒米品種に比べて、短程で穂数が多い草型であり、施肥量が多いにもかかわらず倒伏の発生が少なかったことが考えられた (第2-2表)。このため、北海道の酒米品種は倒伏による登熟障害は少ないが、多収を目標に多肥栽培にすると、 m^2 当たり総粒数の過剰による登熟不良や高タンパク質化による品質低下が生じやすい。玄米収量は、北海道の酒米品種の方が兵庫県の酒米品種より有意に多った (第2-2表)。この北海道の酒米品種の収量性を維持しながら低タンパク質化を図り、良質な酒米生産をするためには、適正な目標収量と施肥量の設定が重要であると考えられた。

吉沢ら (1973) は、20分吸水率と粗タンパク質含有率との間に強い負の相関関係が認められたと報告した。また、花本 (1976) は、粗タンパク質含有率が高いと吸水速度が小さくなる傾向があると報告した。北海道の酒米品種は兵庫県の酒米品種に比べて、20分吸水率と蒸米吸水率が有意に低く、粗タンパク質含有率が高かったことから (第2-3表)、粗タンパク質含有率を低下させることにより、間接的に、北海道の酒米品種の20分吸水率と蒸米吸水率を高める可能性がある。

6) カリウム含有量

カリウム含有量は、麹菌や酵母の生育のために適量必要とされるが (前重・小林 2000)、適量の範囲について明確にした報告はない。カリウム含有量は、北海道の酒米品種の方が兵庫県の酒米品種より有意に少なかった (第2-3表)。小関ら (2004) は、登熟期に「山田錦」および「日本晴」を高温で生育させた場合、いずれもカリウム含有量の増加が見られたと報告した。また、米原ら (2005) は、低温と高温で生育させた場合、カリウム含有量は低温区で少なかったと報告した。これらのことから、北海道の登熟気温が兵庫県の登熟気温に比べて低かったことが、北海道の酒米品種でのカリウム含有量の少なさに関係していると推察した。

一方、高橋ら (1972)、赤井ら (1973) および佐伯ら (1973) は、1970年代の北海道産の食用米の特徴として、東北以南産の食用米よりカリウム含有量が多く、醸造試験では醗の発酵が急進して製造管理が難しいと報告した。また、木曾ら (1989) と野本・高橋 (1992) は、その後に育成された「ゆきひかり」ならびに「きらら 397」等のカリウム含有量については、東北以南の食用米品種の「トヨニシキ」(1969年、現農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター育成) と同じレベルまで少なくなり、北海道と東北以南の地域間差がなくなったと報告した。これらの報告の違いは、1980年代以降の北海道の水稲栽培において、良食味のために多肥栽培を避け、稲わらを可能な限り搬出するなど、低タンパク質米の生産技術が励行された副次的な効果であると考えられた。

7) 心白発現率、心白率および腹白率

池上・世古 (1995) は、大粒で心白発現率が高い米は、大吟醸酒等を製造する時のように 50%以下の精白歩合にすると、碎米率が高くなるため高度精白適性は低い傾向があると報告した。「吟風」と「きたしずく」は、兵庫県の酒米品種と異なり、心白発現率が高かったにも関わらず、碎米率が低い傾向があり、池上・世古 (1995) の報告と異なった。碎米率は、心白の形状や米粒中での発現位置の影響を受けるとされる (畠山 1994)。「吟風」および「きたしずく」の心白の形状は、本研究での観察によると眼状であった。北海道の酒米品種の心白の形状を育種により「山田錦」のような線状に改良することにより、北海道の酒米品種の碎米率をさらに低下させる可能性がある。

腹白率は、北海道の酒米品種の方が兵庫県の酒米品種より有意に低かった (第 2-4 表)。腹白粒は、整粒に比べて精米時に砕け易い傾向がある。このことから、北海道の酒米品種の方が兵庫県の酒米品種より碎米率が低かった要因の一つは、腹白率が低かったことであると考えられた。北海道と兵庫県の酒米品種の心白発現率には、地域間で明瞭な差異がなかったにも関わらず、碎米率と腹白率は、北海道の酒米品種の方が兵庫県の酒米品種より有意に低かった。このことから、北海道の酒米品種は兵

庫県の酒米品種に比べて、高度精白適性が高いと推察した。品種間で腹白率を比べると、特に「彗星」は「山田錦」と「兵庫北錦」に比べて有意に低く、その他の品種に比べても低い傾向があった。心白粒は、品種、年次および産地により発生位置が中心部からずれて腹側に片寄って腹白粒になることがある。これらのことから「彗星」の腹白率が低かった要因の一つは、「彗星」の心白発現率がその他の品種の心白発現率に比べて、低かったことであると考えられた。

8) まとめ

以上のように、北海道の酒米品種は優点として、穂数が多いため玄米収量が多く、稈長が短いため倒伏程度が小さく、腹白率が低いため玄米品質が優れ、碎米率が低いことが明らかとなった。一方、欠点として、千粒重が軽く、20 分吸水率と蒸米吸水率が低く、粗タンパク質含有率が高いことが明らかとなった。したがって、北海道内外の酒造会社での北海道の酒米品種の評価を高め、需要を増やすためには、玄米収量などの農業形質の優点を維持しつつ、千粒重を増加させ、20 分吸水率と蒸米吸水率を高め、粗タンパク質含有率を低下させることが必要である。

第3章 北海道で育成した酒造好適米品種における農業特性と酒造適性の関連指標の産地間・品種間差異

池上・世占 (2000) と池上ら (2015) は、兵庫県の酒米品種の酒造適性には品種間差異があるとともに、産地や気象条件の影響で大きく変動すると報告した。第2章で用いた北海道の酒米品種の産地は、空知地域の岩見沢市1ヶ所のみであり、これらの酒米品種の農業特性と酒造適性の関連指標の産地間差異については未検討であった。北海道の酒米品種についても産地や年次が異なると農業特性と酒造適性の関連指標が変動する可能性がある。

2014年の北海道の酒米の作付面積は303haで、その内、空知地域が164haで最も多く、次いで上川地域が69haで多く、この2地域で約80%を占める(注：北海道のお米 ホクレン農業協同組合連合会, 2015年)。空知地域は、偏東風の影響で上川地域に比べて風が強く水稻の初期生育が遅れる(田口 2011)。また、土壌はグライ土や泥炭土の割合が高い(渡邊 2011)。一方、上川地域は、盆地で空知地域に比べて風が弱く水稻の初期生育が進む。また、土壌は褐色低地土の割合が高い(渡邊 2011)。このように北海道は地域によって気象条件や土壌条件が大きく異なり、これらの地域間差異が、酒米品種の農業特性と酒造適性の関連指標に影響を及ぼすと考えられる。

北海道の水稻品種の農業特性における産地間・品種間差異について、これまで食用米品種では、多くの報告がある(稲津ら 1982, 稲津 1988, 田中ら 1999, 2008, 柳原哲司 2002, 梶原ら 2004, 2005a, 2005b, 木下・佐藤 2004, 木下ら 2007, 木下 2013, 五十嵐ら 2005, 後藤 2007, 丹野 2010)。一方、酒米品種での報告は乏しい(佐々木・後藤 2009)。そこで、本章では2005～2013年に空知地域と上川地域で栽培した「吟風」と「彗星」の農業特性と酒造適性の関連指標の産地間・品種間差異について、農業特性では、食用米品種とも比較して明らかにし、北海道の酒米品種の農業特性と酒造適性の関連指標の改善方向を示した。また、これまで北海道の食用米品種で行われてきた栽培技術と育種が、北海道の酒米品種の農業特性と酒造適性の関連指標の改善にも適用が可能なのか検討した。

第1節 材料および方法

供試品種は、2005～2013年に空知地域の岩見沢市にある中央農業試験場と上川地域の比布町にある上川農業試験場で栽培した北海道の酒米品種の「吟風」と「彗星」である。また農業特性では、比較品種として同一圃場で生産した食用米品種の「ゆめぴりか」と「ななつぼし」を用いた。両産地ともに、苗の種類は中苗(3～5本

株⁻¹)で、窒素施肥量は全層で8.0 g m⁻²であり、その他に稲わら堆肥を0.0～1.0 kg m⁻²施用した。栽植密度は岩見沢市が25.3株 m⁻²、比布町が25.0株 m⁻²であった(注：平成17年度～平成25年度北海道農業試験会議(設計会議)資料 試験研究設計概要集—作物開発部会(稲)一)。移植日は9年間の平均値で、岩見沢市が5月21日(5月19日～22日)、比布町が5月18日(5月17日～20日)で、岩見沢の方が比布町より3日遅かった。土壌型は岩見沢市がグライ土、比布町が褐色低地土である。参考として、第2章の2008～2012年の兵庫県加東市で栽培した「山田錦」の平均値と標準誤差を用いた。

農業特性として、出穂期、成熟期、登熟日数、稈長、穂長、m²当たり穂数(以下、穂数)、1穂粒数、m²当たり総粒数(穂数×1穂粒数から算出、以下、総粒数)、不稔歩合、千粒重、玄米収量および倒伏程度について、2005～2013年の前段の品種と耕種概要による北海道水稻奨励品種決定基本調査結果(1試験区4 m², 2反復)を用いた。千粒重は、酒造適性の関連指標としても重要な特性であるが、重複を避けるため本章では農業特性に含めた。なお、2009年は冷害年であり、作況調査の結果では、「きらら397」、「ほしのゆめ」および「ななつぼし」の3品種を込みにした精玄米収量(平年100対比)は、中央農業試験場が519 g m⁻²(96)、上川農業試験場が433 g m⁻²(74)であった(柳沢 2010)。

酒造適性の関連指標として、2005～2013年の酒米研究会の酒造原料米全国統一分析法(注：酒米研究会 <http://www.sakamai.jp/>, 1996年)による分析結果の中から、「吟風」と「彗星」について、第2章で指摘した兵庫県の「山田錦」より劣った形質である、精米歩合70%(水分13.5%)の20分吸水率(%), 蒸米吸水率(%), および粗タンパク質含有率(%)を用いた。その他にフォルモール態窒素(ml, 以下, F-N)とカリウム含有量(ppm)を用いた。また、酒米の大きな特徴である心白については、2008～2012年に行った水稻奨励品種決定試験基本調査の心白発現率(%、心白発現粒数/全粒数から算出)のデータを用いた。なお、「ゆめぴりか」と「ななつぼし」は、酒造適性の関連指標の分析と心白発現率の調査を行わなかった。

気象条件の解析には、2005～2013年の農業環境技術研究所(現農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター)のモデル結合型作物気象データベース(<http://metecrop.dc.affrc.go.jp/real/top.php>)を用いた。出穂期前後80日間を10日間隔に8区分し、それぞれの区分ごとに毎日の最高気温(以下、最高気温)、同平均気温(以

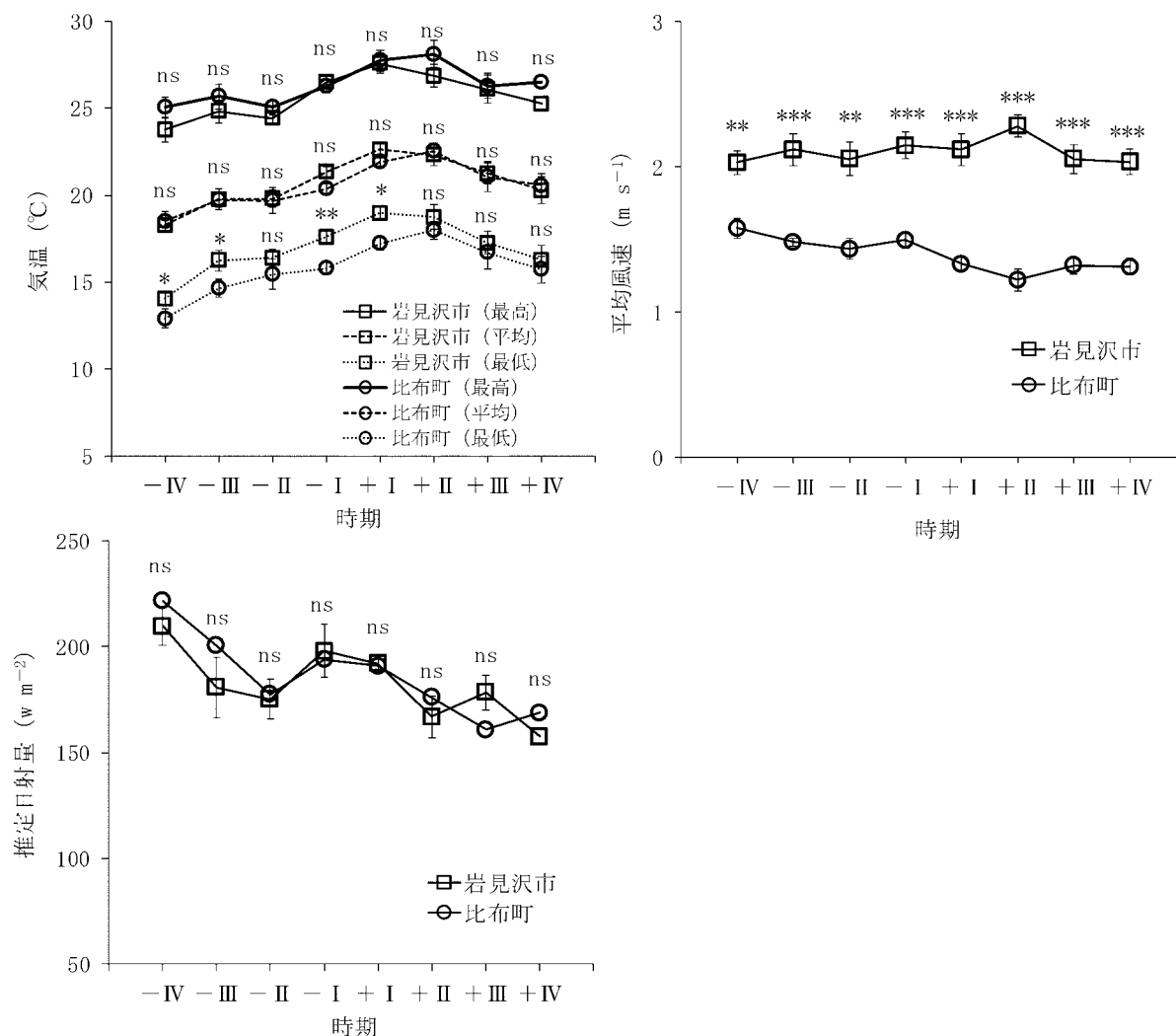
下, 平均気温) および同最低気温 (以下, 最低気温), 高度 2.5m の毎日の平均風速 (以下, 平均風速), 毎日の日照時間から推定した日射量 (以下, 推定日射量) の平均値を算出した. 8 区分は出穂期-39~-30 日 (-Ⅳ期), -29~-20 日 (-Ⅲ期), -19~-10 日 (-Ⅱ期), -9~0 日 (-Ⅰ期), +1~+10 日 (+Ⅰ期), +11~+20 日 (+Ⅱ期), +21~+30 日 (+Ⅲ期) および+31~+40 日 (+Ⅳ期) とした. なお, 各品種は中生種で, 両産地における各年次での出穂期の品種間差が最大でも 1.7 日であったので, 各品種ともに同一の 8 区分で示した.

各気温, 平均風速および日射量の岩見沢市と比布町の産地間差異を, 年次を反復とする対応のある t 検定法により検定した. 農業特性と酒造適性の関連指標の分散分析は, 年次を反復, 産地を主区, 品種を副区とする分割区法で行った. また, 農業特性では品種を酒米比較, 食用米比較および酒米と食用米比較の 3 つに直交分解した (田中・垂水 1986). なお, 計算にはエクセル統計 2015 (社会情報サービス株式会社) を用いた.

第2節 結果

1. 出穂期前後 80 日間の気象条件

出穂期前後の 80 日間は, 両産地を込みにすると 6 月 15 日~9 月 11 日で, この期間は, おおよそ各品種の幼穂形成期~登熟期に相当した. 第 3-1 図に, 出穂期前後 80 日間の時期別の最高気温, 平均気温, 最低気温, 平均風速および推定日射量を示した. 各気温は, 岩見沢市では +Ⅰ期が, 比布町では +Ⅱ期が最も高い傾向を示した. 最高気温と平均気温は, いずれの時期でも有意な産地間差異を示さなかったが, 最低気温は, -Ⅳ期, -Ⅲ期, -Ⅰ期および +Ⅰ期で, 岩見沢市の方が比布町より有意に高かった. 平均風速は, いずれの時期でも岩見沢市の方が比布町より有意に大きかった. 一方, 推定日射量は, いずれの時期でも有意な産地間差異を示さず, 両産地ともに出穂期前の方が出穂期後より多い傾向を示した.



第3-1図 出穂期前後80日間の時期別の気温, 平均風速および推定日射量 (2005~2013年).

時期は出穂期を基点 (0日) にして出穂期前後80日間を10日間隔で8区分した. -Ⅳ: -39~-30日, -Ⅲ: -29~-20日, -Ⅱ: -19~-10日, -Ⅰ: -9~0日, +Ⅰ: +1~+10日, +Ⅱ: +11~+20日, +Ⅲ: +21~+30日, +Ⅳ: +31~+40日. 縦棒は標準誤差 (n=9) を示し, ***, **, *は産地間で, それぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意差があることを示す (対応のあるt検定法, n=9).

2. 農業特性

第3-1-1表と第3-1-2表に、農業特性についての分散分析の結果を示した。各形質は総稈数を除き、産地と品種との間に有意な交互作用を示さなかった。そこで総稈数を除き、産地間・品種間の差異について交互作用を考慮せずに検討した。

岩見沢市と比布町の4品種を含めた出穂期は、2005～2013年の9年間の平均で、それぞれ8月2日と7月25日であり、岩見沢市の方が比布町より8日遅かった(第3-1-1表)。また、酒米2品種の平均の方が食用米2品種の平均より1.4日遅かった。

成熟期と登熟日数は、産地間には有意な差異を示さなかった(第3-1-1表)。しかし、品種間には有意な差異を示し、酒米2品種の平均の方が食用米2品種の平均より、成熟期は2.4日遅く、登熟日数は1.1日多かった。

稈長は、岩見沢市の方が比布町より4.0 cm(比布町対比106%)長かった(第3-1-1表)。また、酒米2品種平均の方が食用米2品種の平均より3.3 cm(食用米2品種の平均対比95%)短く、「吟風」の方が「彗星」より1.6 cm(「彗星」対比98%)短かった。穂長と倒伏程度は、産地間および品種間のいずれにも有意な差異がなかった(第3-1-1表)。

第3-1-1表 酒造好適米品種と食用米品種における農業特性の産地間・品種間比較①。

産地・品種	出穂期 (7月1日=1, 日)	成熟期 (9月1日=1, 日)	登熟日数 (日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	倒伏程度
岩見沢市	32.5 ± 0.73	19.1 ± 0.94	48.6 ± 0.73	68.4 ± 0.56	16.5 ± 0.11	0.15 ± 0.07
比布町	24.8 ± 0.79	13.8 ± 1.44	51.1 ± 0.96	64.4 ± 0.74	16.7 ± 0.10	0.17 ± 0.09
平均	28.7 ± 0.76	16.5 ± 1.19	49.9 ± 0.85	66.4 ± 0.65	16.6 ± 0.11	0.16 ± 0.08
吟風	29.6 ± 1.42	17.6 ± 1.89	50.1 ± 1.20	64.0 ± 0.98	16.5 ± 0.11	0.06 ± 0.06
彗星	29.1 ± 1.40	17.7 ± 2.04	50.7 ± 1.45	65.6 ± 1.08	16.7 ± 0.14	0.11 ± 0.11
平均	29.4 ± 1.41	17.7 ± 1.97	50.4 ± 1.33	64.8 ± 1.03	16.6 ± 0.13	0.09 ± 0.09
ゆめぴりか	27.9 ± 1.46	14.9 ± 1.63	49.0 ± 1.11	67.2 ± 0.83	16.6 ± 0.17	0.22 ± 0.12
ななつぼし	28.1 ± 1.40	15.6 ± 1.75	49.6 ± 1.21	68.9 ± 0.94	16.6 ± 0.17	0.25 ± 0.15
平均	28.0 ± 1.43	15.3 ± 1.69	49.3 ± 1.16	68.1 ± 0.89	16.6 ± 0.17	0.24 ± 0.14
山田錦(参考)	58.0 ± 0.63	40.0 ± 3.89	45.0 ± 4.14	106.5 ± 1.71	20.5 ± 0.47	3.16 ± 0.43
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方
主区						
年次	8	150.4 **	304.5 ns	92.0 ns	65.0 *	1.2616 ns
産地	1	1058.0 ***	501.4 ns	107.6 ns	284.8 **	0.5512 ns
誤差	8	23.8	121.4	112.2	17.5	0.7472
副区						
品種	3	11.5 ***	35.9 ***	9.7 ns	78.8 ***	0.1079 ns
酒米比較	1	2.3 *	0.3 ns	4.0 ns	24.5 *	0.3211 ns
食用米比較	1	0.3 ns	4.7 ns	2.8 ns	26.2 *	0.0025 ns
酒米と食用米比較	1	32.0 ***	102.7 ***	22.2 **	185.6 ***	0.0001 ns
産地×品種	3	0.7 ns	12.8 ns	9.4 ns	3.6 ns	0.4342 ns
誤差	48	0.6	3.4	2.8	3.7	0.2142

出穂期と成熟期は、それぞれ7月1日と9月1日を1とした時の日数を、倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階で評価したスコアの平均値を、それぞれ示す。産地・品種の各数値は2005～2013年の平均値を、平均は岩見沢市と比布町の平均値、「吟風」と「彗星」の平均値および「ゆめぴりか」と「ななつぼし」の平均値を、土は標準誤差を、それぞれ示す(産地 n=36, 品種 n=18)。参考品種として、第2章の2008～2012年での兵庫県加東市産の「山田錦」の値を示した。分散分析は年次を反復、産地を主区、品種を副区とする分割区法で行い、品種を酒米比較、食用米比較および酒米と食用米比較の3つに直交分解した(「山田錦」を除く)。***, **, *は、それぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意であり、nsは有意でないことを示す。

穂数、1 穂粒数、総粒数および不稔歩合は、産地間および品種間のいずれにも有意な差異があった (第 3-1-2 表)。すなわち、穂数は、岩見沢市の方が比布町より 57 本 (比布町対比 109%) 多かった。また、酒米 2 品種の平均の方が食用米 2 品種の平均より 153 本 (食用米 2 品種の平均対比 80%) 少なかったが、酒米 2 品種間に有意な差異はなかった。1 穂粒数は、岩見沢市の方が比布町より 4.8 (比布町対比 111%) 多かった。また、酒米 2 品種の平均の方が食用米 2 品種の平均より 4.8 (食用米 2 品種の平均対比 111%) 多く、「吟風」の方が「彗星」より 4.6 (「彗星」対比 110%) 多かった。総粒数は、岩見沢市の方が比布町より $6.1 \times 10^3 \text{ m}^{-2}$ (比布町対比 121%) 多かった。また、酒米 2 品種の平均の方が食用米 2 品種の平均より $3.9 \times 10^3 \text{ m}^{-2}$ (食用米 2 品種の平均対比 88%) 少なかった。また、酒米 2 品種間および食用米 2 品種間のいずれにも有意な差異がなかった。なお、産地と品種の間に交互作

用が認められ、2012 年では、岩見沢市の方が比布町より、「ななつぼし」を除き、3 品種の平均で $1.3 \times 10^3 \text{ m}^{-2}$ (比布町対比 96%) 少なかった。不稔歩合は、岩見沢市の方が比布町より 3.07 ポイント (百分率の差の単位は、%ではなくポイントとした。以下同様、比布町対比 142%) 高かった。また、「吟風」の方が「彗星」より 4.40 ポイント (「彗星」対比 171%) 高かった。

千粒重と玄米収量は、産地間には有意な差異がなかったが、品種間には有意な差異があった (第 3-1-2 表)。すなわち、千粒重は、酒米 2 品種の平均の方が食用米 2 品種の平均より 2.8 g (食用米 2 品種の平均対比 113%) 重く、「吟風」の方が「彗星」より 1.6 g (「彗星」対比 94%) 軽かった。玄米収量は、酒米 2 品種の平均の方が食用米 2 品種の平均より 24 g m^{-2} (食用米 2 品種の平均対比 104%) 多く、「吟風」の方が「彗星」より 32 g m^{-2} (「彗星」対比 95%) 少なかった。

第3-1-2表 酒造好適米品種と食用米品種における農業特性の産地間・品種間比較②。

産地・品種		穂数 (本 m ⁻²)	1穂粒数	総粒数 (×10 ³ m ⁻²)	不稔歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米収量 (g m ⁻²)
岩見沢市		706 ± 17.8	49.6 ± 0.97	34.8 ± 0.88	10.41 ± 0.91	23.4 ± 0.31	590 ± 10.4
比布町		649 ± 17.4	44.8 ± 0.87	28.7 ± 0.61	7.34 ± 1.11	23.6 ± 0.31	615 ± 9.4
平均		678 ± 17.6	47.2 ± 0.92	31.8 ± 0.75	8.88 ± 1.01	23.5 ± 0.31	603 ± 9.9
吟風		596 ± 15.1	51.9 ± 1.27	30.9 ± 1.03	10.57 ± 1.76	24.1 ± 0.25	598 ± 16.8
彗星		606 ± 17.5	47.3 ± 0.92	28.7 ± 1.04	6.17 ± 0.80	25.7 ± 0.27	630 ± 10.8
平均		601 ± 16.3	49.6 ± 1.10	29.8 ± 1.04	8.37 ± 1.28	24.9 ± 0.26	614 ± 13.8
ゆめぴりか		795 ± 15.1	42.7 ± 1.13	33.9 ± 1.07	9.70 ± 1.51	22.2 ± 0.23	578 ± 13.2
ななつぼし		713 ± 20.2	46.8 ± 1.45	33.5 ± 1.60	9.07 ± 1.52	21.9 ± 0.25	602 ± 13.8
平均		754 ± 17.7	44.8 ± 1.29	33.7 ± 1.34	9.39 ± 1.52	22.1 ± 0.24	590 ± 13.5
山田錦 (参考)		383 ± 30.2	—	—	—	27.3 ± 0.51	476 ± 30.3
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方	平均平方
主区							
年次	8	17022 ns	51.7 ns	30.4 ns	218.3 ***	7.11 *	149.9 ns
産地	1	57630 *	422.2 *	651.9 *	169.6 *	0.64 ns	113.3 ns
誤差	8	10514	50.0	59.8	30.8	1.84	59.1
副区							
品種	3	161209 ***	257.2 ***	107.7 ***	65.3 ***	55.26 ***	80.9 ***
酒米比較	1	880 ns	190.8 ***	44.6 ns	174.0 ***	22.88 ***	87.4 **
食用米比較	1	60927 ***	154.7 ***	1.3 ns	3.5 ns	0.67 **	52.8 ns
酒米と食用米比較	1	421821 ***	426.0 ***	277.1 ***	18.5 ns	142.24 ***	102.5 **
産地×品種	3	5080 ns	19.8 ns	37.8 **	24.5 ns	0.04 ns	15.9 ns
誤差	48	1367	10.1	6.2	6.6	0.07	10.5

千粒重と玄米収量は水分15.0%に換算した数値を、玄米収量は篩目1.85~1.90mm上の収量を、それぞれ示す。産地・品種の各数値は2005~2013年の平均値を、平均は岩見沢市と比布町の平均値、「吟風」と「彗星」の平均値および「ゆめぴりか」と「ななつぼし」の平均値を、±は標準誤差を、それぞれ示す (産地 n=36, 品種 n=18)。参考品種として、第2章の2008~2012年での兵庫県加東市産の「山田錦」の値を示した。分散分析は年次を反復、産地を主区、品種を副区とする分割区法で行い、品種を酒米比較、食用米比較および酒米と食用米比較の3つに直交分解した (「山田錦」を除く)。***, **, *は、それぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意であり、nsは有意でないことを示す。

3. 酒造適性の関連指標

第 3-2 表に、酒造適性の関連指標についての分散分析の結果を示した。いずれの形質についても、産地と品種の間には有意な交互作用は認められなかった。そこで、産地間・品種間差異について交互作用を考慮せずに検討した。

20 分吸水率、カリウム含有量および心白発現率は、産地間には有意な差異がなかったが、品種間には有意な差異があった (第 3-2 表)。すなわち、「吟風」の方が「彗星」より、20 分吸水率は 2.0 ポイント (「彗星」対比 108%) 高く、カリウム含有量は 37 ppm 乾物⁻¹ (「彗星」対比 89%)

少なく、心白発現率は 25.2 ポイント (「彗星」対比 142%) 高かった。

F-N と粗タンパク質含有率は、産地間および品種間のいずれにも有意な差異があった (第 3-2 表)。F-N は、岩見沢市の方が比布町より、「吟風」の方が「彗星」より、それぞれ 0.08 ml 多かった (岩見沢市対比, 「彗星」対比, それぞれ 112%)。粗タンパク質含有率は、岩見沢市の方が比布町より 0.67 ポイント (比布町対比 113%), 「吟風」の方が「彗星」より 0.43 ポイント (「彗星」対比 108%), それぞれ高かった。蒸米吸水率は、産地間および品種間のいずれにも有意な差異がなかった (第 3-2 表)。

第3-2表 「吟風」と「彗星」における酒造適性の関連指標の産地間・品種間比較。

産地・品種		20分吸水率 (%)	蒸米吸水率 (%)	フォルモール 態窒素量 (F-N) (ml)
岩見沢市		26.9 ± 0.36	33.28 ± 0.28	0.77 ± 0.02
比布町		26.7 ± 0.34	33.27 ± 0.34	0.69 ± 0.01
平均		26.8 ± 0.35	33.28 ± 0.31	0.73 ± 0.02
吟風		27.8 ± 0.26	33.27 ± 0.27	0.77 ± 0.02
彗星		25.8 ± 0.25	33.28 ± 0.35	0.69 ± 0.01
平均		26.8 ± 0.26	33.28 ± 0.31	0.73 ± 0.02
山田錦 (参考)		29.9 ± 0.54	35.40 ± 0.70	0.72 ± 0.03
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方
主区				
年次	8	3.14 ns	5.033 *	0.0096 ns
産地	1	0.27 ns	0.001 ns	0.0526 **
誤差	8	1.17	1.457	0.0041
副区				
品種	1	36.67 ***	0.001 ns	0.0683 ***
産地×品種	1	0.06 ns	0.002 ns	0.0004 ns
誤差	16	0.24	0.522	0.0010
産地・品種		粗タンパク質 含有率 (%)	カリウム 含有量 (ppm 乾物 ⁻¹)	心白発現率 (%)
岩見沢市		5.65 ± 0.12	317 ± 12.4	72.2 ± 6.2
比布町		4.98 ± 0.10	343 ± 12.2	71.9 ± 6.6
平均		5.32 ± 0.11	330 ± 12.3	72.1 ± 6.4
吟風		5.53 ± 0.15	311 ± 12.0	84.6 ± 2.7
彗星		5.10 ± 0.11	348 ± 11.9	59.4 ± 6.3
平均		5.32 ± 0.13	330 ± 12.0	72.0 ± 4.5
山田錦 (参考)		4.63 ± 0.14	379 ± 27.6	78.0 ± 3.8
分散分析	自由度	平均平方	平均平方	平均平方
主区				
年次	8(4)	0.35 ns	6767 ns	598.239 ns
産地	1	4.12 **	6149 ns	0.498 ns
誤差	8(4)	0.32	3181	132.007
副区				
品種	1	1.68 ***	11942 ***	3159.808 **
産地×品種	1	0.04 ns	75 ns	0.002 ns
誤差	16(8)	0.04	91	163.092

精米歩合70%の水分13.5%に調整した白米を分析に用いた。産地・品種の数値は2005～2013年 (心白発現率のみ, 2008～2012年) の平均値を, 平均は岩見沢市と比布町の平均値, 「吟風」と「彗星」の平均値を, ±は標準誤差を, それぞれ示す (産地・品種 n=18, 心白発現率のみ, n=10, 平均 n=2)。参考として第2章の2008～2012年での兵庫県加東市の「山田錦」の値を示した。心白発現率は心白発現粒数/全粒数から算出した。分散分析は年次を反復, 産地を主区, 品種を副区とする分割区法で行った (「山田錦」を除く)。なお心白発現率のみ, 主区の年次と誤差の自由度はそれぞれ4, 副区の誤差の自由度は8である。***, **, * はそれぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意であり, nsは有意でないことを示す。

第3節 考 察

1. 農業特性

「山田錦」や「雄町」等の東北以南の酒米品種は優れた酒造適性を有している。しかし、これらの品種は「コシヒカリ」や「あきたこまち」等の東北以南の食用米品種に比べて、出穂期および成熟が遅く、長程で耐倒伏性が弱く、総じて農業特性の劣るものが多い(前重・小林 2000)。そこで、北海道の酒米品種の「吟風」と「彗星」における農業特性の産地間・品種間差異を、食用米品種の「ゆめぴりか」と「ななつぼし」との比較を通じて検討した。

いずれの産地でも、酒米2品種の平均の方が食用米2品種の平均より、稈長は有意に短く、倒伏程度は小さい傾向を示し、既報(丹野ら 2002, 田中ら 2011, 尾崎 2008, 吉村ら 2002)で示されている酒米2品種の耐倒伏性(やや強～強)および食用米2品種の耐倒伏性(やや弱)と同じ傾向であった(第3-1-1表)。また、いずれの産地でも、酒米2品種の平均の方が兵庫県の「山田錦」より、稈長は短く、倒伏程度は小さかった(第3-1-1表)。これらのことから、北海道の酒米2品種の耐倒伏性は、食用米2品種の耐倒伏性より強く、また、兵庫県の「山田錦」の耐倒伏性より明らかに強いと考えられた。

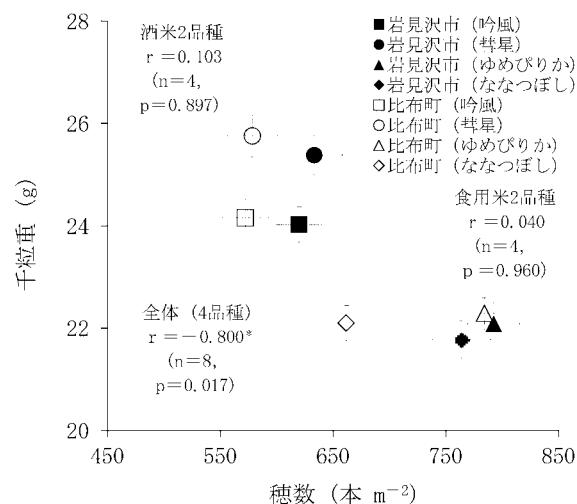
玄米収量は、酒米2品種の平均の方が食用米2品種の平均より多かった。この要因について収量構成要素に分けて考察する。酒米2品種の平均の方が、穂数は少なく、1穂粒数は多く、総粒数は少なかった。また、不稔歩合は有意な差異がなかった。その結果、 m^2 当たりの稈実総粒数(総粒数 $\times$ (1-不稔歩合/100)から算出)は、酒米2品種の平均(27.3×10^3)の方が食用米2品種の平均(30.5×10^3)より少なかった。しかし千粒重は、酒米2品種の平均の方が重かった。これらのことから、酒米2品種の平均の方が食用米2品種の平均より玄米収量の多かった主要因は、千粒重が重かったことであると推察した。

同様に「吟風」と「彗星」の玄米収量の差異を収量構成要素から考察する。穂数は有意な品種間差異がなく、1穂粒数は「吟風」の方が多かった。しかし、総粒数は品種間差異がなかった。また、「吟風」の方が不稔歩合は高く、千粒重は軽かった。これらのことから、「吟風」の方が「彗星」より玄米収量の少なかった主要因は、不稔歩合が高く、千粒重が軽かったことであると推察した。

玄米収量は、いずれの産地でも北海道の酒米2品種の方が兵庫県の「山田錦」より多かった(第3-1-2表)。また、穂数は、北海道の酒米2品種の方が兵庫県の「山田錦」より明らかに多かった。しかし千粒重は、北海道の酒米2品種の方が兵庫県の「山田錦」より軽かった。これらのことから、北海道の酒米2品種は、いずれの産地でも兵庫県の「山田錦」に比べて、穂数が多いことが関係して収量性が高いと考えられた。

前述のとおり、北海道の酒米2品種における玄米収量

の品種間差異は、千粒重および不稔歩合の品種間差異が主要因で生じたと考えられたので、千粒重および不稔歩合について考察する。酒米品種における千粒重は、玄米収量に関係するとともに、酒造適性として重要な精米歩留や白米の吸水性にも関係し、千粒重の重い品種が酒米に適するとされる(前重・小林 2000)。食用米では、一般に収量構成要素の間に、その要素よりも前に決まる要素の大きさと負の相関関係があるとされ、穂数と千粒重との間に負の相関関係が認められる(松崎 1997)。本研究の酒米2品種および食用米2品種では、穂数と千粒重との間に有意な相関関係は認められなかったが、4品種を全て含めた場合では、 $r = -0.800$ ($n=8$, $p=0.017$)の有意な負の相関関係が認められた(第3-2図)。太田ら(2005)は、千葉県の酒米品種「総の舞」の特性として、穂数の増加は、 m^2 当たり粒数の増加に繋がりが易く、 m^2 当たり粒数が過剰になった場合に、千粒重は低下すると報告した。また、穂数は栽植密度や施肥量などの栽培法が影響することが知られている(近藤 1944)。これらのことから、今後、北海道における酒米品種でも、穂数や粒数と千粒重との関係について詳細に検討し、育種に加えて栽培法にも留意して千粒重の増加を図る必要がある。



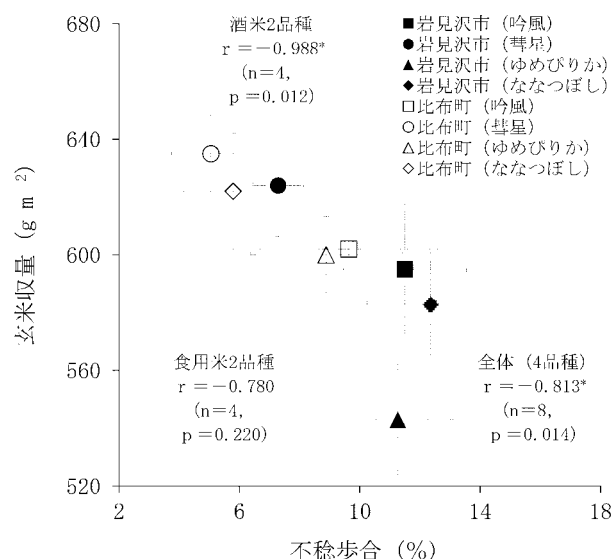
第3-2図 穂数と千粒重の関係。

縦棒と横棒は標準誤差 ($n=9$) を、*は5%水準で有意であることを示す。

2011年の岩見沢市と旭川市での北海道の酒米系統「空育酒177号」(後の「きたしずく」)の千粒重は、それぞれ28.1gと28.5gであり(注:北海道農業試験会議(成績会議)水稻新品種候補「空育酒177号」2014年), 兵庫県の「山田錦」の千粒重(29.2g)との差が小さかった。兵庫県では、1972年に極大粒の放射線突然変異系統の「I.M.106」を系譜に持つ、「山田錦」より重い千粒重の酒米品種の「兵系酒18号」を育成した(池上・西田 2008)。秋田県では、「兵系酒18号」由来の酒米品種の「華吹雪」(1985年、青森県農業試験場育成)を系譜に持つ、「山田

錦」並の千粒重である酒米品種の「秋田酒こまち」(2001年, 秋田県農業試験場)の育成に成功した(眞崎ら2006). 北海道の酒米品種の系譜には, これらの東北以南の酒米品種が含まれていないので(田中ら2015), 今後, これらの酒米品種を交配親に用いて北海道の酒米品種の千粒重を増加させる可能性がある.

北海道の水稲では, 不稔歩合と玄米収量は密接に関係し, 低温や日照不足によって不稔が多発すると大きく減収する(丹野2011). 本研究においても, 不稔歩合と玄米収量との間には, 両産地の4品種で $r = -0.813$ ($n=8$, $p=0.017$) の, 酒米2品種で $r = -0.988$ ($n=4$, $p=0.012$) の, それぞれ強い負の相関関係が認められ, 不稔歩合が高くなると, 玄米収量は顕著に低下した(第3-3図). 「吟風」は, 「彗星」や食用米2品種に比べて耐冷性が弱い(田中ら2011). 酒米においても食用米と同様に育種による耐冷性の強化は重要な課題である.



第3-3図 不稔歩合と玄米収量の関係.

縦棒と横棒は標準誤差 ($n=9$) を, * は5%水準で有意であることを示す.

2. 酒造適性の関連指標

1) 粗タンパク質含有率

白米の粗タンパク質含有率は, 岩見沢市の方が比布町より, 「吟風」の方が「彗星」より, それぞれ高かった(第3-2表). また, 産地間差異の方が品種間差異より大きかった. 白米の粗タンパク質含有率に及ぼす影響の程度は, 産地の土壌の方が品種や栽培法より大きいことが知られている(五十嵐ら2005). 前述したように, 岩見沢市と比布町の土壌は, それぞれグライ土と褐色低地上で(渡邊2011), グライ土の方が褐色低地上よりタンパク質含有率は高まりやすい(五十嵐ら2005). したがって, 岩見沢市の方が比布町より粗タンパク質含有率が高かった主要因は, 土壌の産地間差異であると考えられた. また,

丹野(2010)は「きらら397」を用い, 分けつ期の平均風速と白米のタンパク質含有率との間に有意な正の相関関係が認められると報告した. 本研究でも, 平均風速は調査した期間を通じて, 岩見沢市の方が比布町より明らかに大きかった(第3-1図). これらのことから, 粗タンパク質含有率の産地間差異には, 平均風速も関係したと推察した. 2012年の比布町での「吟風」と「彗星」の白米の粗タンパク質含有率(精米歩合70%)は, それぞれ5.12%と4.75%であり, 兵庫県での「山田錦」の粗タンパク質含有率(4.84%)との差異が小さかった. これらのことから, 比布町は岩見沢市より, 粗タンパク質含有率の低い酒米を生産するのに適した産地であると考えられた. また, 粗タンパク質含有率は, いずれの産地でも「吟風」の方が「彗星」より高かった. 低タンパク質な酒米生産のためには, 産地とともに品種の選定が重要である.

北海道の食用米では, 良食味生産のために客土や側条施肥, 幼穂形成期後7日目のケイ酸追肥, 収穫後の稲わらの搬出などの土壌改良や, 成苗を用いた密植栽培によって低タンパク質化を図っている(柳原2002, 後藤2007). これらの土壌改良や栽培法は, 低タンパク質な酒米生産にも応用できると考えられる. また, 北海道の水稲は不稔歩合が高くなると, 白米のタンパク質含有率が上昇し, タンパク質含有率の上昇は, 食用米では, 食味の低下を招き(丹野2011), 酒米では, 製造酒のアミノ酸含量が増加して雑味や着色の原因になる(前重・小林2000). したがって, 北海道で低タンパク質の酒米を安定生産するためには, 食用米の生産と同様に, 冷害対策技術である防風網等の設置や(眞木1979, 山崎ら1982), 前歴期間～冷害危険期の深水かんがいを行行し(Satakeら1987), 不稔の発生を防止することが重要である.

2) 20分吸水率

20分吸水率は, 白米の吸水速度を示す指標の一つであり, 20分吸水率の高い酒米は, 白米の吸水速度が大きいので作業性が良いとされる(前重・小林2000). 本研究において, 20分吸水率は, 有意な産地間差異がなかったが, 「吟風」の方が「彗星」より有意に高かった(第3-2表). そこで, 「吟風」と「彗星」の20分吸水率に差異が生じた要因について考察する. 20分吸水率には心白発現率が関与し, 心白発現率が高くなると20分吸水率は高くなる傾向がある(前重・小林2000). 柳内(1996)は, 20分吸水率は心白粒の方が無心白粒より高く, この差は米粒内部組織構造に起因するもので, 心白粒ではデンプン粒子間の大きな間隙へ急速な吸水が起ると報告した. 20分吸水率の高かった「吟風」は心白発現率が高く(第3-2表), 20分吸水率の低かった「彗星」は心白発現率が低く, 本研究の結果は柳内(1996)の報告と一致した.

一方, 吉沢ら(1973, 1974)と花本(1976)は白米の吸水性に粗タンパク質含有率が関与し, 粗タンパク質含有率が高くなると20分吸水率は低下する傾向があると報

告した。しかし本研究において、20分吸水率の高かった「吟風」は粗タンパク質含有率が高く、20分吸水率の低かった「彗星」は粗タンパク質含有率が低く、上述の報告と相反した。これらのことから、「吟風」の方が「彗星」より20分吸水率が高かった主要因は、心白発現率が高かったことであると推察した。

3) 蒸米吸水率

蒸米吸水率は、醗における蒸米の溶解性に関係し、蒸米の消化性の指標の一つであり、生成酒の酒質のみならず粕歩合などの原料利用効率にも影響する（吉沢ら1974）。蒸米吸水率の高い米は粕歩合が低く、原料利用効率が高い傾向がある（前重・小林2000）。本研究において、蒸米吸水率は産地間、品種間のいずれにも有意な差異がなく、北海道の酒米2品種の蒸米吸水率は、兵庫県の「山田錦」の蒸米吸水率（35.4%）に比べて、2.1ポイント（「山田錦」対比94）低かった（第3-2表）。一方、第2章で示したように、「兵庫北錦」の蒸米吸水率（34.3%）は、「山田錦」の蒸米吸水率と同様に高かった。北海道の酒米品種の系譜には、「山田錦」や「兵庫北錦」が含まれていないので（田中ら2015）、今後は、これらの酒米品種を交配親に用いて、北海道の酒米品種の蒸米吸水率を高める可能性がある。

4) 心白発現率

上島（1981）は、「山田錦」と食用米品種の「朝日」および「千本旭」を交配して得られたF₂集団において、心白発現率に関係する広義の遺伝率（0.622～0.824）は高

かったと報告した。また池上ら（2003）も、「山田錦」と食用米品種の「レイホウ」との正逆組み合わせ交雑によるF₂集団において、心白発現率の広義の遺伝率（0.860～0.825）は高く、心白発現率を高めるためには個体選抜が有効であると報告した。第2章で示したように、兵庫県の「兵庫北錦」の心白発現率（96.4%）は、「山田錦」の心白発現率（78.0%）と同様に高かった。また、「彗星」は他の品種に比べて、20分吸水率および心白発現率が低い傾向にあった。「彗星」の系譜には「兵庫北錦」や「山田錦」が含まれていないので（田中ら2015）、今後は、これらの酒米品種を「彗星」に交配し、心白発現率の高い系統を選抜して、間接的に20分吸水率を高める可能性がある。

5) まとめ

以上のように、粗タンパク質含有率は、両品種ともに岩見沢市の方が比布町より、いずれの産地でも「吟風」の方が「彗星」よりそれぞれ高かった。低タンパク質な酒米生産のためには産地と品種の選定が重要である。20分吸水率は、いずれの産地でも「吟風」の方が「彗星」より高く、その主要因は心白発現率が高かったことであると推察した。北海道産の酒米2品種は兵庫県の「山田錦」に比べて、いずれの産地でも、千粒重は軽く、タンパク含有率は高く、20分吸水率と蒸米吸水率は低いなどの酒造適性の関連指標は劣った。今後は北海道の酒米品種におけるこれらの酒造適性の関連指標を栽培法や育種によって兵庫県の「山田錦」並に改善する必要がある。

第4章 北海道で育成した酒造好適米品種における農業特性と酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす気象条件の影響

北海道は日本の水稻栽培の北限地域であるため、冷害年では、低温の影響により不稔が多発生し、千粒重が低下して大きく減収する(和田 1992, 丹野 2011)。また、食用米品種では、農業特性や玄米品質・食味に及ぼす気象条件の影響に関する報告は多い(安積 2011, 五十嵐ら 2005, 五十嵐 2011, 丹野 2010, 2012, 柳原 2011)。一方、酒米品種では、農業特性、玄米品質および酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす気象条件の影響に関する報告は乏しく(佐々木・後藤 2009)、これらに及ぼす気象条件の影響については不明な点が多い。

北海道の酒米の主産地は、食用米と同様に空知地域と上川地域であり、産地によって土壌や気象条件が大きく異なる。このため北海道の酒米品種における酒造適性の関連指標は、産地や年次の気象条件の影響により大きく変動する可能性がある。そこで本章では、第3章と同じ産地・年次に栽培した酒米品種のデータを用いて、農業特性と酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす気象条件の影響について、農業特性では食用米品種とも比較して検討した。

第1節 材料および方法

供試した品種は、第3章と同じく 2005～2013 年に空知地域の岩見沢市にある中央農業試験場と上川地域の比布町にある上川農業試験場の水稻奨励品種決定基本調査で栽培した酒米品種の「吟風」と「彗星」および食用米品種の「ゆめぴりか」と「ななつぼし」である。

データ解析は、第3章と同じく、北海道水稻奨励品種決定基本調査結果、酒米研究会の酒造原料米全国統一分析法(注：酒米研究会 1996 年 10 月 15 日)による分析結果および農業環境技術研究所(現農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター)のモデル結合型作物気象データベースを利用し、出穂期前後 80 日間を 10 日間隔に 8 区分し、区分ごとに毎日の最高・最低気温、平均風速および推定日射量の平均値を算出して用いた。

農業特性として、第3章で検討した形質の中から、玄米収量と主要な収量構成要素である m^2 当たり穂数(以下、穂数)、1 穂粒数、千粒重および不稔歩合の同調査結果を選択し、全重(地上部全乾物重)を加えた。耕種概要と土壌型は第3章と同様である。

酒造適性として、第3章で検討した分析項目の中から、「吟風」と「彗星」について、第2章で指摘した兵庫県の「山田錦」に比べて劣った形質である、70%精白した白米(水分 13.5%)の 20 分吸水率(%), 蒸米吸水率(%) および粗タンパク質含有率(%)を用いた。また心白発現率

については、2008～2012 年に行った水稻奨励品種決定試験基本調査のデータを用いた。

農業特性および酒造適性の年次変動の大きさを検討するために、品種および産地別に 2005～2013 年(心白発現率のみ 2008～2012 年)における最大値、最小値、最大値と最小値の差、平均値および変動係数(以下、CV)を算出した。各形質に及ぼす各気象条件の影響の程度を比較するために、各形質と各気象条件との単相関係数を算出し、各品種の回帰直線について平行性の検定を行い、傾きの大きさの品種間差異を判定した。回帰直線が平行である場合は、共分散分析法により y 切片の大きさの品種間差異を判定した(田中・垂水 1986)。なお、計算にはエクセル統計 2015(社会情報サービス株式会社)を用いた。

第2節 結果

1. 農業特性の年次変動

各形質の CV を指標にして年次変動の大きさを形質間で比較すると、CV の 4 品種・2 産地の全体平均値($n=8$)は、不稔歩合が 66.3%で最も大きく、穂数(9.9%)、玄米収量(9.5%)、1 穂粒数(9.2%) および全重(7.5%)が続く、千粒重が 4.7%で最も小さかった(第 4-1 表)。各品種での 2 産地の CV の平均値($n=2$)でも、不稔歩合が最も大きく、千粒重が最も小さく、4 品種・2 産地の全体平均値と同様の傾向を示した。

酒米品種と食用米品種で年次変動の大きさを比較すると、CV の 2 品種・2 産地の平均値($n=4$)は、酒米平均の方が食用米平均より、穂数で 2.1 ポイント(百分率の差の単位は%ではなく、ポイントで示した。以下同様、食用米平均対比 124%)、千粒重で 0.1 ポイント(同 102%)、全重で 0.2 ポイント(同 103%) および玄米収量で 0.6 ポイント(同 107%)、それぞれ大きかった(第 4-1 表)。また、1 穂粒数で 1.0 ポイント(同 90%)、不稔歩合で 3.6 ポイント(同 95%)、それぞれ小さかった。酒米 2 品種間で比較すると、CV の 2 産地の平均値($n=2$)は、「吟風」の方が「彗星」より、1 穂粒数で 2.9 ポイント(「彗星」対比 140%)、不稔歩合で 16.5 ポイント(同 129%)、全重で 0.3 ポイント(同 104%) および玄米収量で 4.8 ポイント(同 165%)、それぞれ大きかった。また、穂数で 1.4 ポイント(同 88%)、千粒重で 0.6 ポイント(同 88%)、それぞれ小さかった。

次に、年次変動の大きさを最大値と最小値との差で比較すると、2 品種・2 産地の平均値($n=4$)は、酒米平均の方が食用米平均より、千粒重で 0.6 g(食用米平均対比

119%), 玄米収量で 16 g m^{-2} (同 110%), それぞれ大きかった (第 4-1 表). また, 不稔歩合で 1.0 ポイント (同 95%) 小さく, CV の傾向と一致した. 一方, 酒米平均の方が食用米平均より, 穂数で 19 本 (同 91%), 全重で 39 g m^{-2} (同 89%) 少なく, 1 穂粒数で 0.5 (同 104%) 大きく, CV の傾向と異なった. 酒米 2 品種間で比較すると, 最

大値と最小値との差の 2 産地の平均値 ($n=2$) は, 「吟風」の方が「彗星」より, 1 穂粒数で 5.8 (「彗星」対比 153%), 不稔歩合で 14.4 ポイント (同 244%), 全重で 14 g m^{-2} (同 104%) および玄米収量で 72 g m^{-2} (同 153%), それぞれ大きかった. また, 穂数で 16 本 (同 92%), 千粒重で 0.6g (同 85%), それぞれ小さく, CV の傾向と一致した.

第4-1表 北海道の酒造好適米品種および食用米品種における農業特性の最大値, 最小値, 平均値および変動係数.

区分	品種	産地	穂数 (本 m^{-2})					1穂粒数					千粒重 (g)				
			最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)	最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)	最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)
酒造好適米	吟風	岩見沢市	690	522	168	620	9.8	60.5	41.5	19.0	53.6	9.7	25.7	22.5	3.2	24.0	4.3
		比布町	651	462	189	572	10.8	56.1	41.8	14.3	50.3	10.6	25.7	22.1	3.6	24.2	4.6
		平均	671	492	179	596	10.3	58.3	41.7	16.7	52.0	10.2	25.7	22.3	3.4	24.1	4.5
	彗星	岩見沢市	730	510	220	633	11.8	54.4	42.6	11.8	49.3	7.4	27.3	23.3	4.0	25.4	5.5
		比布町	666	497	169	578	11.5	49.9	40.0	9.9	45.4	7.1	27.6	23.7	3.9	25.8	4.7
		平均	698	504	195	606	11.7	52.2	41.3	10.9	47.4	7.3	27.5	23.5	4.0	25.6	5.1
食用米	酒米平均		684	498	187	601	11.0	55.2	41.5	13.8	49.7	8.7	26.6	22.9	3.7	24.9	4.8
	ゆめぴりか	岩見沢市	914	724	190	806	9.1	53.6	36.0	17.6	44.8	11.2	23.5	20.4	3.1	22.1	4.9
		比布町	900	732	168	784	7.1	46.3	35.8	10.5	40.6	9.1	23.3	20.5	2.8	22.3	4.1
		平均	907	728	179	795	8.1	50.0	35.9	14.1	42.7	10.2	23.4	20.5	3.0	22.2	4.5
	ななつぼし	岩見沢市	867	602	265	764	10.2	60.2	44.2	16.0	50.8	11.9	23.2	20.0	3.2	21.8	5.0
		比布町	751	550	201	662	9.0	46.1	36.9	9.2	42.9	6.5	23.6	20.2	3.4	22.1	4.7
		平均	809	576	233	713	9.6	53.2	40.6	12.6	46.9	9.2	23.4	20.1	3.3	22.0	4.9
	食用米平均		858	652	206	754	8.9	51.6	38.2	13.3	44.8	9.7	23.4	20.3	3.1	22.1	4.7
	全体平均		771	575	196	677	9.9	53.4	39.9	13.5	47.2	9.2	25.0	21.6	3.4	23.5	4.7
区分	品種	産地	不稔歩合 (%)					全重 (g m^{-2})					玄米収量 (g m^{-2})				
			最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)	最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)	最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)
酒造好適米	吟風	岩見沢市	25.9	5.9	20.0	11.5	53.4	1586	1227	359	1459	8.5	668	479	189	595	11.4
		比布町	32.1	3.4	28.7	9.6	92.1	1564	1265	299	1435	7.0	683	459	224	602	13.0
		平均	29.0	4.7	24.4	10.6	72.8	1575	1246	329	1447	7.8	676	469	207	599	12.2
	彗星	岩見沢市	11.8	4.1	7.7	7.3	34.7	1586	1211	375	1480	8.6	705	550	155	624	8.4
		比布町	13.8	1.5	12.3	5.1	77.8	1605	1350	255	1466	6.3	700	585	115	635	6.3
		平均	12.8	2.8	10.0	6.2	56.3	1596	1281	315	1473	7.5	703	568	135	630	7.4
食用米	酒米平均		20.9	3.7	17.2	8.4	64.5	1585	1263	322	1460	7.6	689	518	171	614	9.8
	ゆめぴりか	岩見沢市	18.8	4.4	14.4	10.5	51.1	1625	1219	406	1465	8.6	660	471	189	556	11.5
		比布町	28.3	3.5	24.7	8.9	85.1	1624	1313	311	1501	6.4	648	535	113	600	6.6
		平均	23.6	4.0	19.6	9.7	68.1	1625	1266	359	1483	7.5	654	503	151	578	9.1
	ななつぼし	岩見沢市	23.3	5.3	18.0	12.3	51.1	1609	1250	359	1490	7.1	634	499	135	583	9.1
		比布町	17.8	2.2	15.6	5.8	85.0	1671	1305	366	1540	7.5	672	490	182	622	9.7
		平均	20.6	3.8	16.8	9.1	68.1	1640	1278	363	1515	7.3	653	495	159	603	9.4
	食用米平均		22.1	3.9	18.2	9.4	68.1	1632	1272	361	1499	7.4	654	499	155	590	9.2
	全体平均		21.5	3.8	17.7	8.9	66.3	1609	1268	341	1480	7.5	671	509	163	602	9.5

数値は2005～2013年の値を示し, CV (%) は変動係数を示す ($n=9$). 千粒重, 全重 (地上部全乾物重) および玄米収量は水分13.8%に調整した値を用いた.

2. 農業特性と気象条件との関係

1) 不稔歩合

不稔歩合は, 4 品種ともに出穂期-19～-10 日 (-Ⅱ期) および出穂期+31～+40 日 (+Ⅳ期) の最高気温との間に有意な負の相関関係が, -Ⅱ期および出穂期+21～+30 日 (+Ⅲ期) の平均風速との間に有意な正の相関関係が, それぞれ認められた (第 4-2 表). また, 酒米 2 品種および「ゆめぴりか」では, +Ⅲ期の最高気温およ

び最低気温との間に, それぞれ有意な負の相関関係が認められた. 酒米 2 品種では, +Ⅱ期の最高気温との間に有意な負の相関関係が認められた.

不稔歩合は, 「吟風」と「ゆめぴりか」では, +Ⅳ期の最低気温との間に有意な負の相関関係が認められた. 「彗星」と食用米 2 品種では, 出穂期+1～+10 日 (+Ⅰ期) の平均風速との間に有意な正の相関関係が認められた. 「彗星」と「ゆめぴりか」では, -Ⅱ期の最低気温との間

に有意な負の相関関係が認められた。食用米2品種では、出穂期-39～-30日（-Ⅳ期）の最低気温との間に有意な正の相関関係が認められた。「彗星」では、+Ⅱ期の推

定日射量との間に有意な負の相関関係が認められたが、その他の品種では、いずれの時期の推定日射量とも有意な相関関係が認められなかった。

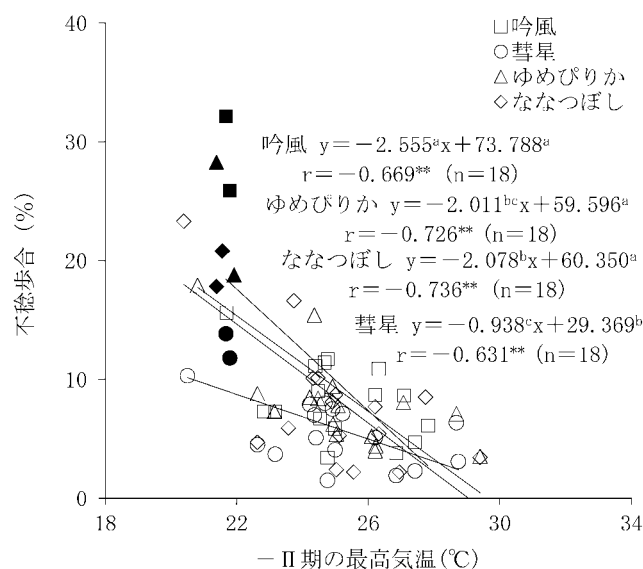
第4-2表 不稔歩合と時期別の気象条件との単相関係数。

時期	最高気温				最低気温			
	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし
-Ⅳ	0.161	0.089	0.276	0.022	0.283	0.322	0.510 *	0.687 **
-Ⅲ	-0.387	-0.224	-0.244	-0.268	-0.156	-0.053	0.001	-0.008
-Ⅱ	-0.669 **	-0.631 **	-0.726 **	-0.736 **	-0.468	-0.491 *	-0.498 *	-0.349
-Ⅰ	-0.361	-0.321	-0.282	-0.282	0.109	0.236	0.047	0.215
+Ⅰ	-0.045	-0.205	-0.010	-0.078	0.009	0.111	0.149	0.403
+Ⅱ	-0.611 **	-0.510 *	-0.424	-0.446	-0.229	-0.056	-0.130	-0.048
+Ⅲ	-0.634 **	-0.496 *	-0.509 *	-0.428	-0.523 *	-0.470 *	-0.484 *	-0.376
+Ⅳ	-0.635 **	-0.495 *	-0.630 **	-0.580 *	-0.577 *	-0.406	-0.609 **	-0.441

時期	平均風速				推定日射量			
	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし
-Ⅳ	0.352	0.297	0.069	0.426	-0.002	-0.052	-0.052	-0.189
-Ⅲ	0.210	0.276	0.292	0.433	-0.221	-0.143	-0.163	0.002
-Ⅱ	0.717 **	0.739 **	0.663 **	0.839 **	-0.300	-0.187	-0.245	-0.220
-Ⅰ	0.636 **	0.636 **	0.352	0.632 **	-0.378	-0.416	-0.334	-0.178
+Ⅰ	0.342	0.592 *	0.580 *	0.739 **	0.074	-0.121	-0.054	-0.152
+Ⅱ	0.316	0.410	0.206	0.460	-0.441	-0.491 *	-0.352	-0.261
+Ⅲ	0.585 *	0.643 **	0.499 *	0.751 **	-0.195	0.045	0.013	0.162
+Ⅳ	0.196	0.236	0.208	0.405	-0.065	-0.003	-0.194	-0.216

供試年次は2005～2013年で、各品種の産地は岩見沢市と比布町である。時期は出穂期を基点（0日）にして出穂期前後80日間を10日間隔で8区分した。-Ⅳ：-39～-30日、-Ⅲ：-29～-20日、-Ⅱ：-19～-10日、-Ⅰ：-9～0日、+Ⅰ：+1～+10日、+Ⅱ：+11～+20日、+Ⅲ：+21～+30日、+Ⅳ：+31～+40日。推定日射量は日照時間から推定した。**, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す（n=18）。ただし、平均風速のみ冷害年の2009年を除く（n=16）。

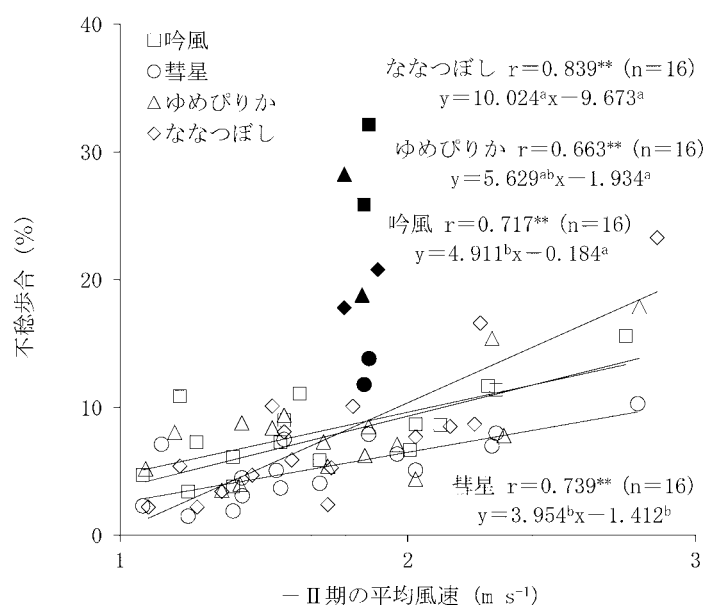
不稔歩合は、4品種ともに特に-Ⅱ期の最高気温との間に強い負の相関関係（ $r=-0.631\sim-0.736$, $p<0.01$ ）が認められ（第4-2表）、-Ⅱ期の最高気温が上昇すると、不稔歩合は低下する傾向を示した（第4-1図）。-Ⅱ期の最高気温に対する不稔歩合の回帰直線の傾きの絶対値は、「吟風」の方が「彗星」および食用米2品種より有意に大きく（ $p<0.05$ ）、「彗星」の方が「ななつぼし」より有意に小さかった（ $p<0.05$ ）。一方、同回帰直線の傾きの絶対値は、「彗星」と「ゆめぴりか」との間に、「ゆめぴりか」と「ななつぼし」との間に、それぞれ有意な差異がなかった（それぞれ $p=0.808$, $p=0.160$ ）。-Ⅱ期の最高気温を共変量とする共分散分析の結果、y切片は「彗星」の方が「ゆめぴりか」より有意に小さかった（ $p<0.01$ ）。しかし、「ゆめぴりか」と「ななつぼし」との間には有意な差異がなかった（ $p=0.524$ ）。



第4-1図 出穂期-19日～-10日（-Ⅱ期）の最高気温と不稔歩合との関係。

黒塗りは冷害年の2009年。傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ有意差（ $p<0.05$ ）があり、**は1%水準で有意であることを示す。

また不稔歩合は、冷害年の2009年を除き、4品種ともに特に－Ⅱ期の平均風速との間に強い正の相関関係 ($r=0.663\sim0.839$, $p<0.01$) が認められ (第4-2表), -Ⅱ期の平均風速が増加すると、不稔歩合は増加する傾向を示した (第4-2図). -Ⅱ期の平均風速と不稔歩合との回帰直線の傾きは、酒米2品種の方が「ななつぼし」より有意に小さかった ($p<0.05$). 同回帰直線の傾きは、その他の品種間に有意差がなく ($p=0.081\sim0.737$), -Ⅱ期の平均風速を共変量とする共分散分析の結果、y切片は、「吟風」および食用米2品種の方が「彗星」より有意に大きかった ($p<0.05$). しかし、食用米2品種間に有意な差異がなかった ($p=0.969$).



第4-2図 出穂期－19日～－10日（－Ⅱ期）の平均風速と不稔歩合の関係.

回帰直線は黒塗りの冷害年の2009年を除く. 傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ有意差 ($p<0.05$) があり, ** は1%水準で有意であることを示す.

2) 千粒重

千粒重は、4 品種ともに－Ⅱ期の最高気温および最低気温との間に有意な正の相関関係が認められた (第 4-3 表). また、酒米 2 品種と「ななつぼし」では、＋Ⅱ期の最高気温との間に有意な負の相関関係が認められた. 「彗星」と「ななつぼし」では、＋Ⅲ期の最高気温および最低気温との間に、それぞれ有意な正の相関関係が認められた.

千粒重は、食用米 2 品種では、－Ⅳ期の最低気温および－Ⅱ期の平均風速との間に有意な負の相関関係が、＋Ⅳ期の最低気温との間に有意な正の相関関係が、それぞれ認められた. また、「ゆめぴりか」のみ＋Ⅳ期の最高気温との間に有意な正の相関関係が認められた. 4 品種ともに、いずれの時期の推定日射量とも有意な相関関係が認められなかった.

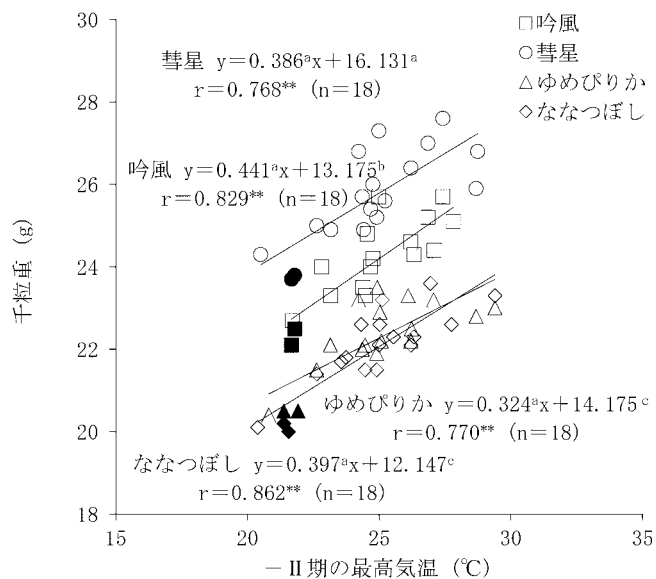
第4-3表 千粒重と時期別の気象条件との単相関係数.

時期	最高気温				最低気温			
	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし
－Ⅳ	-0.133	-0.203	-0.338	-0.290	-0.114	-0.107	-0.539 *	-0.482 *
－Ⅲ	0.256	0.159	0.396	0.296	0.148	0.156	0.210	0.242
－Ⅱ	0.829 **	0.768 **	0.770 **	0.862 **	0.618 **	0.648 **	0.615 **	0.641 **
－Ⅰ	0.212	0.239	0.167	0.222	0.079	0.036	0.081	-0.029
＋Ⅰ	0.344	0.329	0.135	0.120	0.082	0.092	-0.110	-0.019
＋Ⅱ	0.596 **	0.573 *	0.379	0.484 *	0.458	0.459	0.251	0.371
＋Ⅲ	0.453	0.496 *	0.386	0.494 *	0.440	0.492 *	0.403	0.502 *
＋Ⅳ	0.352	0.339	0.520 *	0.438	0.446	0.451	0.600 **	0.523 *

時期	平均風速				推定日射量			
	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし
－Ⅳ	-0.107	-0.073	0.136	-0.129	-0.155	-0.230	-0.078	-0.057
－Ⅲ	0.069	-0.008	-0.045	-0.128	0.090	-0.002	0.132	0.060
－Ⅱ	-0.409	-0.401	-0.532 *	-0.553 *	0.213	0.259	0.131	0.222
－Ⅰ	-0.431	-0.312	-0.165	-0.226	0.092	0.153	0.111	0.176
＋Ⅰ	-0.153	-0.138	-0.241	-0.305	0.129	0.136	0.149	0.127
＋Ⅱ	-0.131	-0.058	0.000	-0.065	0.322	0.181	0.142	0.031
＋Ⅲ	-0.144	-0.178	-0.334	-0.349	0.159	0.179	0.022	0.051
＋Ⅳ	0.066	0.081	-0.057	-0.029	-0.151	-0.125	0.064	-0.027

供試年次は2005～2013年で、各品種の産地は岩見沢市と比布町である. 時期は出穂期を基点 (0日) にして出穂期前後80日間を10日間隔で8区分した. ーⅣ：－39～－30日, ーⅢ：－29～－20日, ーⅡ：－19～－10日, ーⅠ：－9～0日, Ⅰ：＋1～＋10日, Ⅱ：＋11～＋20日, Ⅲ：＋21～＋30日, Ⅳ：＋31～＋40日. 推定日射量は日照時間から推定した. **, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す (n=18).

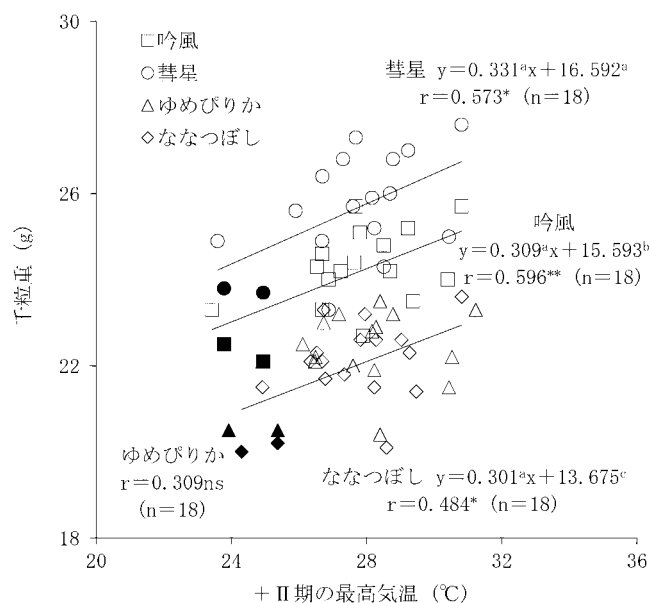
千粒重は、4 品種ともに特に－Ⅱ期の最高気温との間に強い正の相関関係が認められ ($r=0.770\sim0.862$, $p<0.01$), －Ⅱ期の最高気温が上昇すると、千粒重は増加する傾向を示した (第 4-3 図)。－Ⅱ期の最高気温に対する千粒重の 4 品種の回帰直線の傾きには有意な品種間差異はなく ($p=0.419\sim0.937$), Ⅱ期の最高気温を共変量とする共分散分析の結果, y 切片は, 「彗星」の方が「吟風」より, 酒米 2 品種の方が食用 2 品種より, それぞれ有意に大きかったが ($p<0.01$), 食用 2 品種間に有意な差異はなかった ($p=0.260$)。



第4-3図 出穂期－19日～－10日（－Ⅱ期）の最高気温と千粒重の関係。

黒塗りは冷害年の2009年。傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ有意差 ($p<0.01$) があり, **は1%水準で有意であることを示す。

また千粒重は, 「ゆめぴりか」を除く 3 品種では, 特に＋Ⅱ期の最高気温との間に強い正の相関関係が認められ ($r=0.484\sim0.596$, $p<0.05$), ＋Ⅱ期の最高気温が上昇すると、千粒重は増加する傾向を示した (第 4-4 図)。＋Ⅱ期の最高気温に対する千粒重の回帰直線の傾きの大きさには有意な品種間差異はなく ($p=0.807\sim0.960$). ＋Ⅱ期の最高気温を共変量とする共分散分析の結果, y 切片は, 「彗星」, 「吟風」および「ななつぼし」の順に有意に大きかった ($p<0.01$).



第4-4図 出穂期＋11日～＋20日（＋Ⅱ期）の最高気温と千粒重の関係。

黒塗りは冷害年の2009年。傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ1%水準で有意差があり, *, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを, nsは有意でないことを示す。

3. 酒造適性の関連指標の年次変動

各形質の CV を指標として形質間で年次変動の大きさを比較すると, CV の 2 産地・2 品種の全体平均値 (n=4) は, 心白発現率が 23.0% で最も大きく, 次に粗タンパク質含有率が 8.0% で大きく, 20 分吸水率 (4.1%) および蒸米吸水率 (4.1%) が比較的小さかった (第 4-4 表).

また, 各品種での CV の 2 産地の平均値 (n=2) でも, 2 産地・2 品種の全体平均値と同様の傾向を示した.

品種間で年次変動の大きさを比較すると, CV の 2 産

地の平均値は, 「吟風」の方が「彗星」より, 心白発現率で 24.9 ポイント (「彗星」対比 30%) 小さく, 粗タンパク質含有率で 2.4 ポイント (同 135%) 大きかった. 20 分吸水率および蒸米吸水率の CV の 2 産地の平均値は, 品種間差が 1.0 ポイント以下で比較的小さかった. 次に, 最大値と最小値との差 (a-b) を指標にして, 品種間で年次変動の大きさを比較すると, CV の 2 産地の平均値と同様の傾向を示した.

第4-4表 「吟風」と「彗星」における酒造適性の関連指標の最大値, 最小値, 平均値および変動係数.

品種	産地	20分吸水率 (%)					蒸米吸水率 (%)				
		最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)	最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)
吟風	岩見沢市	30.0	26.4	3.6	27.9	4.2	35.0	32.2	2.8	33.3	3.2
	比布町	29.5	25.7	3.9	27.8	3.9	35.2	31.3	3.9	33.3	4.0
	平均	29.8	26.1	3.8	27.9	4.1	35.1	31.8	3.4	33.3	3.6
彗星	岩見沢市	28.2	24.2	4.0	25.9	4.5	35.8	31.7	4.1	33.3	4.2
	比布町	27.5	24.4	3.1	25.7	3.7	35.5	30.9	4.7	33.3	5.0
	平均	27.9	24.3	3.6	25.8	4.1	35.7	31.3	4.4	33.3	4.6
全体平均		28.8	25.2	3.7	26.8	4.1	35.4	31.5	3.9	33.3	4.1

品種	産地	粗タンパク質含有率 (%)					心白発現率 (%)				
		最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)	最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値	CV (%)
吟風	岩見沢市	6.84	5.00	1.84	5.90	9.1	95.5	69.5	26.1	84.8	11.2
	比布町	5.85	4.43	1.41	5.16	9.3	93.6	74.8	18.8	84.4	9.9
	平均	6.35	4.72	1.63	5.53	9.2	94.6	72.2	22.5	84.6	10.6
彗星	岩見沢市	5.87	4.85	1.02	5.40	6.3	80.1	29.7	50.4	59.6	32.4
	比布町	5.23	4.25	0.97	4.79	7.2	87.0	24.0	63.0	59.3	38.6
	平均	5.55	4.55	1.00	5.10	6.8	83.6	26.9	56.7	59.5	35.5
全体平均		5.95	4.63	1.31	5.31	8.0	89.1	49.5	39.6	72.0	23.0

心白発現率を除き, 精米歩合70%の水分13.5%に調整した白米を用い, 心白発現率は水分13.8%に調整した玄米を用いた. CV (%) は変動係数を示す. 産地の平均は2産地の平均値 (n=2) を, 全体平均は2品種・2産地の平均値 (n=4) をそれぞれ示す. 数値は2005~2013年 (心白発現率のみ, 2008~2012年) の平均値を示す (n=9, 心白発現率のみ, n=5). 心白発現率は心白発現粒数/全粒数×100から算出した.

4. 酒造適性の関連指標と気象条件との関係

1) 20 分吸水率

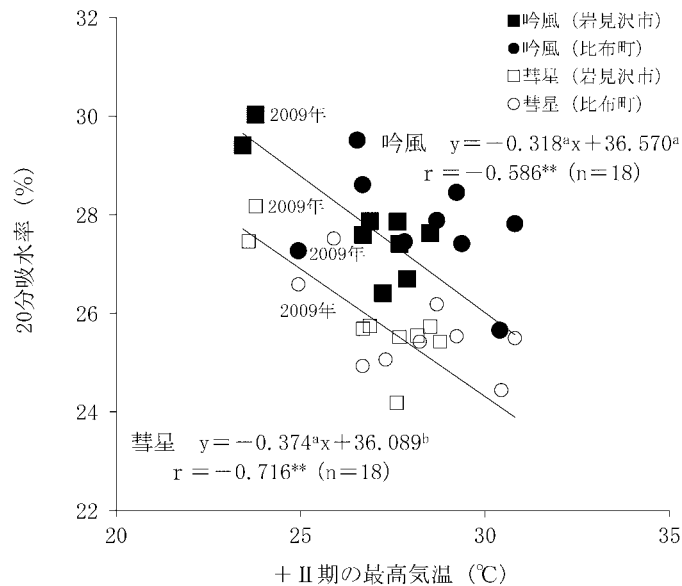
20 分吸水率は、「吟風」では、+Ⅱ期の最高気温および最低気温との間に、+Ⅰ期の最低気温および+Ⅲ期の推定日射量との間に、それぞれ有意な負の相関関係が認められた(第4-5表)。一方、「彗星」では、+Ⅱ期の最高気温および最低気温との間に、+Ⅲ期の最高気温および-Ⅱ期の推定日射量との間に、それぞれ有意な負の相関関係が認められた。両品種の20分吸水率は、いずれの時期の平均風速とも有意な相関関係が認められなかった。

両品種の20分吸水率は、特に+Ⅱ期の最高気温との間に強い負の相関関係が認められ(「吟風」, 「彗星」, それぞれ $r = -0.586$, $r = -0.716$, $p < 0.05$), +Ⅱ期の最高気温が上昇すると、20分吸水率は低下する傾向を示した(第4-5図)。+Ⅱ期の最高気温に対する20分吸水率の回帰直線の傾きの大きさに、有意な品種間差異はなく($p = 0.697$), +Ⅱ期の最高気温を共変量とする共分散分析の結果、y切片は「吟風」の方が「彗星」より有意に大きかった($p < 0.01$)。

第4-5表 20分吸水率と時期別の気象条件との単相関係数.

時期	最高気温		最低気温		平均風速		推定日射量	
	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星
-Ⅳ	-0.013	0.013	-0.174	-0.029	0.060	0.213	0.051	-0.072
-Ⅲ	-0.053	-0.190	0.008	0.023	0.026	0.148	-0.110	-0.360
-Ⅱ	0.103	-0.232	0.280	0.159	-0.258	-0.142	-0.307	-0.525 *
-Ⅰ	-0.273	-0.464	0.011	-0.005	-0.057	-0.073	0.031	-0.239
+Ⅰ	-0.075	0.040	-0.527 *	-0.352	-0.068	-0.127	0.404	0.399
+Ⅱ	-0.586 *	-0.716 **	-0.532 *	-0.618 **	0.176	0.271	0.343	-0.209
+Ⅲ	-0.122	-0.529 *	-0.001	-0.438	0.023	0.120	-0.567 *	-0.213
+Ⅳ	0.039	-0.298	0.072	-0.149	-0.125	-0.103	0.209	-0.139

供試年次は2005～2013年で、各品種の産地は岩見沢市と比布町である。時期は出穂期を基点(0日)にして出穂期前後80日間を10日間隔で8区分した。-Ⅳ：-39～-30日、-Ⅲ：-29～-20日、-Ⅱ：-19～-10日、-Ⅰ：-9～0日、+Ⅰ：+1～+10日、+Ⅱ：+11～+20日、+Ⅲ：+21～+30日、+Ⅳ：+31～+40日。推定日射量は日照時間から推定した。**, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す(n=18)。



第4-5図 出穂期+11～20日(+Ⅱ期)の最高気温と20分吸水率の関係。

2009年は冷害年。傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ1%水準で有意差があり、**は1%水準で有意であることを示す。

2) 蒸米吸水率

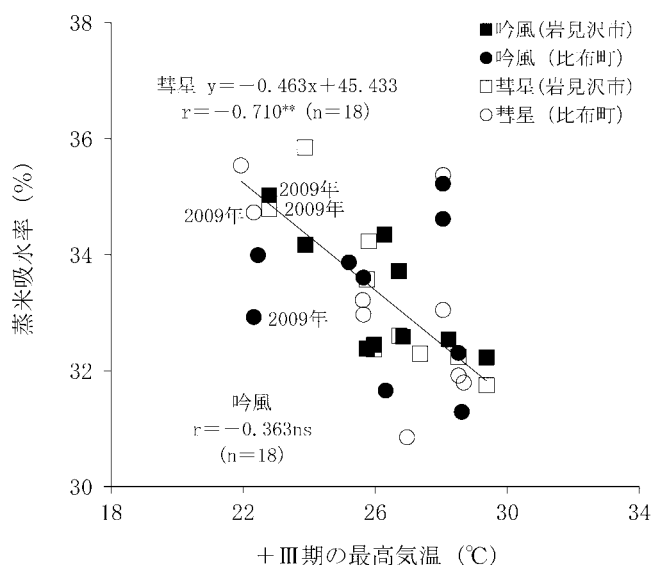
蒸米吸水率は、「吟風」では、いずれの時期の気象条件とも有意な相関関係が認められなかった(第4-6表)。一方、「彗星」では、+Ⅲ期の最高気温との間に有意な正の相関関係が、+Ⅲ期の最高気温、最低気温および-Ⅲ期の推定日射量との間に有意な負の相関関係が、それぞれ

認められた。また「彗星」では、特に+Ⅲ期の最高気温との間に強い負の相関関係が認められ($r=-0.710$, $p<0.01$)、+Ⅲ期の最高気温が上昇すると、蒸米吸水率は低下する傾向を示したが、「吟風」では、その傾向が明瞭でなかった(第4-6図)。

第4-6表 蒸米吸水率と時期別の気象条件との単相関係数。

時期	最高気温		最低気温		平均風速		推定日射量	
	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星
-Ⅳ	0.168	0.282	0.201	0.108	-0.124	0.111	0.004	0.329
-Ⅲ	-0.336	-0.327	-0.188	-0.036	0.183	0.057	-0.355	-0.505 *
-Ⅱ	0.030	-0.166	0.114	-0.003	-0.273	-0.075	-0.175	-0.234
-Ⅰ	0.021	-0.168	0.071	0.228	-0.326	-0.188	-0.019	-0.207
+Ⅰ	0.353	0.492 *	-0.103	0.116	-0.167	-0.069	0.267	0.398
+Ⅱ	-0.090	-0.330	-0.287	-0.458	0.108	0.068	0.205	0.173
+Ⅲ	-0.363	-0.710**	-0.121	-0.476 *	0.022	0.087	-0.322	-0.456
+Ⅳ	-0.414	-0.437	-0.297	-0.358	-0.178	-0.167	-0.252	-0.174

供試年次は2005～2013年で、各品種の産地は岩見沢市と比布町である。時期は出穂期を基点(0日)にして出穂期前後80日間を10日間隔で8区分した。-Ⅳ：-39～-30日、-Ⅲ：-29～-20日、-Ⅱ：-19～-10日、-Ⅰ：-9～0日、+Ⅰ：+1～+10日、+Ⅱ：+11～+20日、+Ⅲ：+21～+30日、+Ⅳ：+31～+40日。推定日射量は日照時間から推定した。**, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す(n=18)。



第4-6図 出穂期+21～+30日(+Ⅲ期)の最高気温と蒸米吸水率の関係。

2009年は冷害年。**は1%水準で有意であり、nsは有意でないことを示す。

3) 粗タンパク質含有率

粗タンパク質含有率は、「吟風」では、－Ⅱ期および＋Ⅳ期の最高気温との間に有意な負の相関関係が、＋Ⅰ期の最低気温との間に有意な正の相関関係が、それぞれ認められ、「彗星」では、いずれも有意な相関関係が認められなかった(第4-7表)。両品種の粗タンパク質含有率は、＋Ⅰ期の「吟風」を除き、各時期の平均風速との間に有意な正の相関関係が認められた。両品種の粗タンパク質含有率は、いずれの時期の推定日射量とも有意な相関関係が認められなかった。

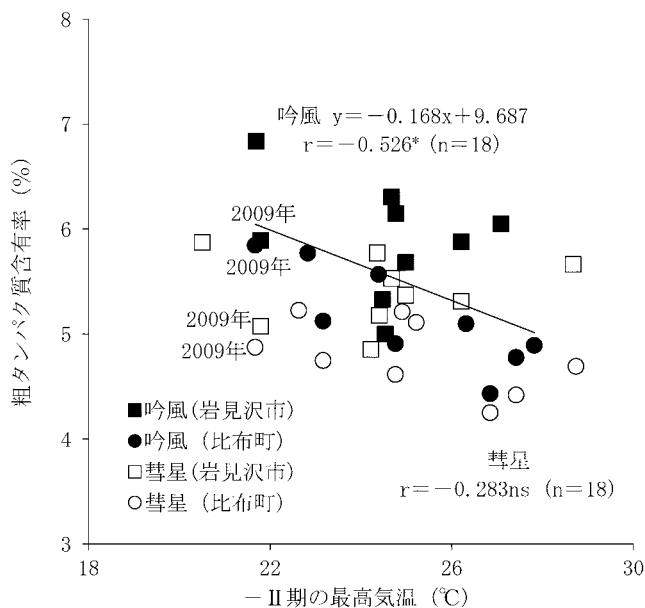
粗タンパク質含有率は、「吟風」では、特に－Ⅱ期の最高気温との間に強い負の相関関係が認められ

($r=-0.526$, $p<0.05$)、－Ⅱ期の最高気温が上昇すると、粗タンパク質含有率は低下する傾向が示したが、「彗星」では、その傾向が明瞭でなかった(第4-7図)。また、両品種のタンパク含有率は、特に－Ⅱ期の平均風速との間に強い正の相関関係が認められ(「吟風」, 「彗星」, それぞれ $r=0.823$, $r=0.776$, $p<0.01$)、－Ⅱ期の平均風速が増加すると、粗タンパク質含有率は上昇する傾向を示した(第4-8図)。－Ⅱ期の平均風速に対する粗タンパク質含有率の回帰直線の傾きの大きさに有意な品種間差はなく($p=0.174$)、－Ⅱ期の平均風速を共変量とする共分散分析の結果、y切片は「吟風」の方が「彗星」より有意に小さかった($p<0.01$)。

第4-7表 粗タンパク質含有率と時期別の気象条件との単相関係数。

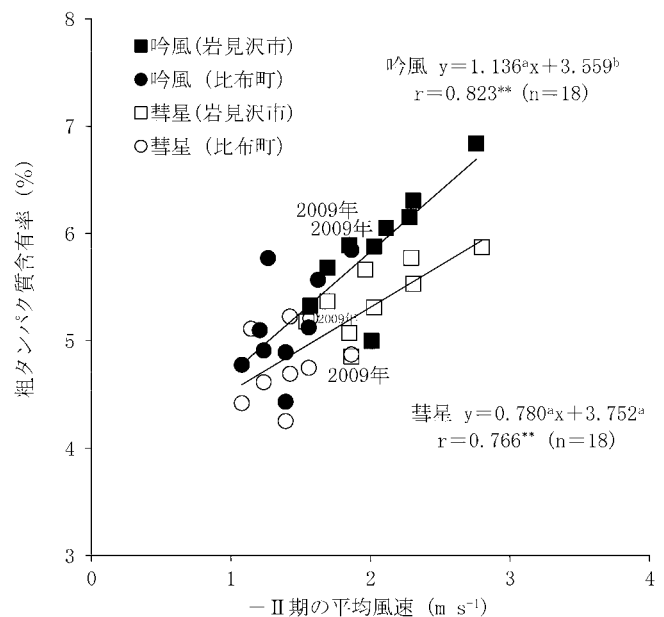
時期	最高気温		最低気温		平均風速		推定日射量	
	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星
－Ⅳ	-0.237	-0.300	0.100	-0.005	0.512 *	0.574 *	-0.047	0.015
－Ⅲ	-0.301	-0.134	-0.002	0.103	0.532 *	0.605 **	-0.196	-0.119
－Ⅱ	-0.526 *	-0.283	-0.371	-0.198	0.823 **	0.766 **	0.093	0.121
－Ⅰ	0.032	0.007	0.221	0.208	0.573 *	0.677 **	-0.010	0.056
＋Ⅰ	-0.161	-0.187	0.474 *	0.435	0.330	0.534 *	-0.201	-0.174
＋Ⅱ	-0.282	-0.169	0.089	0.132	0.578 *	0.531 *	-0.353	-0.102
＋Ⅲ	-0.251	-0.192	-0.295	-0.216	0.672 **	0.672 **	0.443	0.421
＋Ⅳ	-0.473 *	-0.246	-0.220	-0.087	0.543 *	0.583 *	-0.345	-0.171

供試年次は2005～2013年で、各品種の産地は岩見沢市と比布町である。時期は出穂期を基点(0日)にして出穂期前後80日間を10日間隔で8区分した。－Ⅳ：－39～－30日、－Ⅲ：－29～－20日、－Ⅱ：－19～－10日、－Ⅰ：－9～0日、＋Ⅰ：＋1～＋10日、＋Ⅱ：＋11～＋20日、＋Ⅲ：＋21～＋30日、＋Ⅳ：＋31～＋40日。推定日射量は日照時間から推定した。**, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す(n=18)。



第4-7図 出穂期－19日～－10日(－Ⅱ期)の最高気温と粗タンパク質含有率の関係。

粗タンパク質含有率は70%精米の値。2009年は冷害年。
*は5%水準で有意であり、nsは有意でないことを示す。



第4-8図 出穂期－19日～－10日(－Ⅱ期)の平均風速と粗タンパク質含有率の関係。

粗タンパク質含有率は70%精米の値。2009年は冷害年。
傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ有意差($p<0.01$)があり、**は1%水準で有意であることを示す。

4) 心白発現率

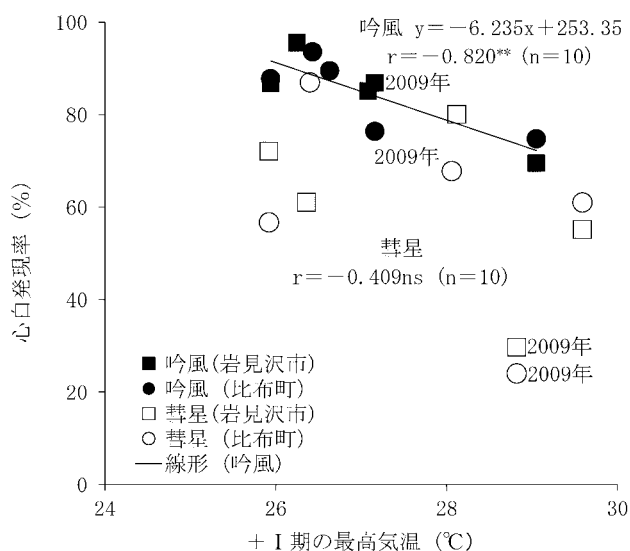
心白発現率は、「吟風」では、+I期の最高気温および推定日射量との間に有意な負の相関関係が認められた。また、-IV期および+IV期の推定日射量との間に有意な正の相関関係が認められた(第4-8表)。「彗星」では、-II期および+IV期の最高気温との間に、-II期の最低気温との間に、それぞれ有意な正の相関関係が認められた。両品種の心白発現率は、いずれの時期の平均風速とも有意な相関関係が認められなかった。

心白発現率は、「吟風」では、特に+I期の最高気温との間に強い負の相関関係が認められ($r=-0.820$, $p<0.01$)、+I期の最高気温が上昇すると、心白発現率は低下する傾向を示したが、「彗星」では、その傾向が明瞭でなかった(第4-9図)。また「彗星」では、特に-II期の最高気温との間に強い正の相関関係が認められ($r=0.852$, $p<0.01$)、-II期の最高気温が上昇すると、心白発現率は増加する傾向を示したが、「吟風」では、その傾向が明瞭でなかった(第4-10図)。

第4-8表 心白発現率と時期別の気象条件との単相関係数。

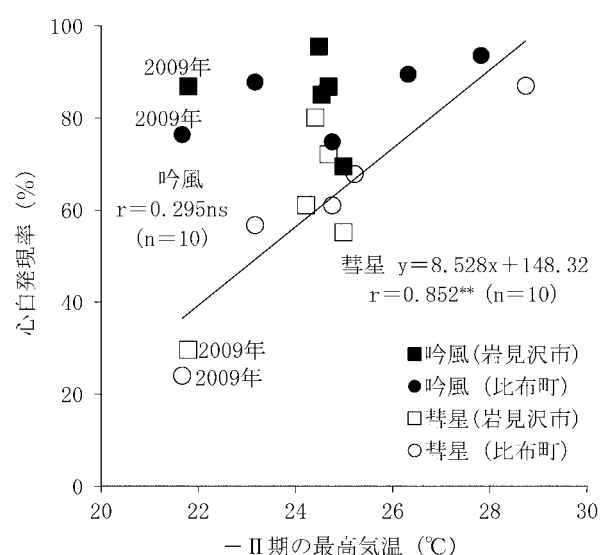
時期	最高気温		最低気温		平均風速		推定日射量	
	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星
-IV	0.615	-0.035	0.154	-0.316	-0.313	-0.117	0.791**	0.400
-III	0.153	0.609	-0.042	0.535	-0.325	-0.166	0.290	0.399
-II	0.295	0.852**	0.062	0.675*	-0.074	-0.293	0.339	0.474
-I	-0.229	0.211	0.282	-0.021	0.324	0.513	-0.228	0.367
+I	-0.820**	-0.409	-0.109	0.057	0.204	0.315	-0.647*	-0.323
+II	-0.367	0.300	-0.405	-0.033	-0.047	-0.151	0.011	0.402
+III	0.258	0.593	0.244	0.539	0.194	-0.229	-0.394	0.174
+IV	0.131	0.704*	-0.054	0.604	-0.443	-0.095	0.659*	0.300

供試年次は2008～2012年で、各品種の産地は岩見沢市と比布町である。時期は出穂期を基点(0日)にして出穂期前後80日間を10日間隔で8区分した。-IV:-39～-30日、-III:-29～-20日、-II:-19～-10日、-I:-9～0日、+I:+1～+10日、+II:+11～+20日、+III:+21～+30日、+IV:+31～+40日。推定日射量は日照時間から推定した。**, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意であることを示す(n=10)。



第4-9図 出穂期+1～+11日(+I期)の最高気温と心白発現率の関係(2008～2012年)。

2009年は冷害年。**は1%水準で有意であり、nsは有意でないことを示す。



第4-10図 出穂期-19～-10日(-II期)の最高気温と心白発現率の関係(2008～2012年)。

2009年は冷害年。**は1%水準で有意であり、nsは有意でないことを示す。

第3節 考 察

1. 農業特性

農業特性の年次変動は、いずれの品種および産地でも不稔歩合が最も大きく、千粒重が最も小さかった (第 4-1 表). これらの形質は、時期によって各気象条件の中でも、特に最高気温との関係が強かった (第 4-2 表, 第 4-3 表). また両産地で、最高気温、平均気温および最低気温の相互間に強い正の相関関係が認められた (岩見沢市: 最高気温－平均気温 $r=0.982$, 最低気温－平均気温 $r=0.986$, 最高気温－最低気温 $r=0.950$, 比布町: 最高気温－平均気温 $r=0.951$, 最低気温－平均気温 $r=0.974$, 最高気温－最低気温 $r=0.860$, 各 $n=8$, $p<0.01$). そこで、最高気温を気温の代表値として用い、各時期の最高気温の年次変動が、不稔歩合および千粒重の年次変動に及ぼす影響について、以下で考察した.

なお、第 3 章で示したように、不稔歩合および千粒重は産地と品種に交互作用がなかったため、最高気温の年次変動が、これらの形質の年次変動に及ぼす影響の程度の品種間差異について、産地と品種の交互作用を考慮せずに検討した. また、収量構成要素および全重が、玄米収量に及ぼす影響の程度の品種間差異について検討した.

1) 不稔歩合

－Ⅱ期の最高気温が上昇すると、酒米品種の「吟風」と「彗星」および食用米品種の「ゆめぴりか」と「ななつぼし」の不稔歩合は、低下する傾向を示したことから (第 4-1 図), －Ⅱ期の最高気温の年次変動は、4 品種の不稔歩合の年次変動に大きく影響を及ぼしたと考えられた. 4 品種はともに中生種で、出穂期の差が 2 日以内であったため (第 3-1-1 表), －Ⅱ期は、4 品種ともに水稻の冷害危険期である穂ばらみ期に重なった. 北海道では穂ばらみ期の低温によって不稔が多発し、4 年に一度の頻度で冷害が発生する (西山 1987, 和田 1992, 丹野 2011). 本研究の 9 年間の中で 2009 年は冷害年であり、不稔歩合は 4 品種ともに 2009 年で最も大きかった (第 4-1 図). これらのことから、4 品種ともに 2009 年での－Ⅱ期の最高気温の低下により不稔歩合が増大し、2009 年の不稔歩合が、他の年次の不稔歩合に比べて明らかに大きかったことが、不稔歩合の年次変動が形質間で最も大きかった要因の一つであると推察した.

不稔歩合の年次変動は、「吟風」が最も大きく、「彗星」が最も小さかった. 各品種の育成経過において、穂ばらみ期耐冷性の検定は、食用米品種と酒米品種の区別なく同一ほ場で実施している. 穂ばらみ期耐冷性は、4 品種の中では、「吟風」が最も弱く、「彗星」が最も強いと報告されている (丹野ら 2002, 吉村ら 2002, 尾崎 2008, 田中ら 2011). 2009 年と他の年次との不稔歩合の差は、4 品種の中で、「吟風」が最も大きく、「彗星」が最も小さく、耐冷性の品種間差異と一致した. これらのことから、

穂ばらみ期耐冷性の品種間差異が、2009 年と他の年次との不稔歩合の品種間差異に関係して、年次変動の品種間差異が生じた要因の一つであったと推察した.

冷害年の 2009 年を除き、－Ⅱ期の平均風速が増加すると、4 品種の不稔歩合は増加する傾向を示した (第 4-2 図). 泊ら (1980) は防風林により水田水温が上昇し、真木 (1979) と山崎ら (1982) は、防風網が水田水温の上昇及び不稔防止に効果があると報告した. また Shimono ら (2007) は、気温が 3°C 上昇すると水田水温は 1°C 上昇すると推定したが、風速が 30% 増加すると気温が 3°C 上昇しても水温上昇は 0.5°C の上昇に留まると報告し、風速の増加が水温の低下に関係することを示唆した. これらのことから、本研究においても、平均風速が増加すると水田水温は低下し、水田の水温の低下が不稔歩合の増加に影響を及ぼした可能性がある.

2) 千粒重

千粒重は、酒米において最も重要な形質の 1 つであり、千粒重の重い酒米は、搗精歩留が高く、白米の吸水特性に優れるとされる (前重・小林 2000). －Ⅱ期の最高気温が上昇すると、4 品種の千粒重は増加する傾向を示したことから (第 4-3 図), －Ⅱ期の最高気温の年次変動は、4 品種の千粒重の年次変動に大きく影響を及ぼしたと考えられた. また、＋Ⅱ期の最高気温が上昇すると、「ゆめぴりか」を除く 3 品種の千粒重は増加する傾向を示したことから (第 4-4 図), ＋Ⅱ期の最高気温の年次変動も、これらの品種の千粒重の年次変動に大きく影響を及ぼしたと考えられた. これらのことから、－Ⅱ期が高温の年次は 4 品種の千粒重が増加し、＋Ⅱ期が高温の年次は「ゆめぴりか」を除く 3 品種の千粒重が増加する可能性が高いと推察した.

千粒重は、籾殻の大きさと肥大する玄米の重さで決まり、籾殻の大きさは、2 次枝梗分化期～穎花発育期の環境条件に、玄米の重さは、穎花の減数分裂期と登熟盛期の環境条件に強く影響される (松島ら 1953, 星川 1980). 水稻の胚乳細胞の分裂増殖は、受精後 9～10 日目に終了し、それ以降は各細胞の肥大生長によって胚乳が大きくなる (星川 1975). 本研究の－Ⅱ期は、両品種の穎花発育期に重なり、＋Ⅱ期は両品種の胚乳細胞の肥大初期 10 日間に相当する. これらのことから、4 品種の穎花発育期および「ゆめぴりか」を除く 3 品種の胚乳細胞の肥大初期 10 日間での最高気温の年次変動は、千粒重の年次変動に大きく影響を及ぼしたと推察した.

千粒重は、4 品種ともに特に－Ⅱ期の最高気温と強い正の相関関係が認められた (第 4-3 表). 佐々木・後藤 (2010) は、「きらら 397」を用い、出穂期前後の平均気温と千粒重の関係を調査し、千粒重に及ぼす平均気温の影響は、出穂日前 19～10 日が最も大きく、両者間で有意な正の相関関係が認められたと報告した. また工藤ら (2007) は、山形県の酒米品種の「出羽燦々」を用い、千

粒重と出穂期前後の気象の関係を調査し、千粒重と穂ばらみ期に相当する7月中～下旬の最高気温との間に有意な正の相関関係が認められたと報告した。本研究のⅡ期は穂ばらみ期に重なり、両産地の最高気温と平均気温との間に強い正の相関関係が認められたことから（岩見沢市： $r=0.982$ ，比布町： $r=0.951$ ，各 $n=8$ ， $p<0.01$ ），本研究結果は、佐々木・後藤（2010）および工藤ら（2007）の研究結果と一致した。

千粒重の年次変動は4品種ともに形質間で最も小さかった。Ⅱ期およびⅢ期の最高気温に対する千粒重の回帰直線の傾きの大きさには、有意な品種間差異が認められなかった（第4-3図，第4-4図）。このことから、両時期の最高気温の年次変動が、千粒重の年次変動に及ぼす影響の程度に、有意な品種間差異はなかったと推察した。一方、y切片の大きさは、酒米2品種の方が食用米2品種間より、また「彗星」の方が「吟風」より、それぞれ有意に大きかった。これは、両時期の最高気温が年次変動しても千粒重の品種間差異は大きく変わらず、千粒重は、酒米2品種の方が食用米2品種より、「彗星」の方が「吟風」より、それぞれ安定して重いことを意味する。また、2009年の千粒重は4品種ともに、他の年次の千粒重に比べて大きく低下しなかった。このことが千粒重の年次変動が形質間で最も小さかった要因の一つと考えられた。

3) 玄米収量に及ぼす収量構成要素および全重の影響

玄米収量に及ぼす収量構成要素および全重（地上部全乾物重）の影響の程度を品種間で相対的に比較するために、玄米収量を目的変数とし、穂数、1穂粒数、千粒重、不稔歩合および全重を説明変数とした増減法（ $p<0.100$ ）による重回帰分析を行った。各形質の中から有意である説明変数として全重、不稔歩合および千粒重が選択され、これらの形質により4品種の玄米収量は約80～90%の寄与率で説明できることが明らかとなった（第4-9表）。

第4-9表 玄米収量に対する全重、不稔歩合および千粒重の重回帰分析結果。

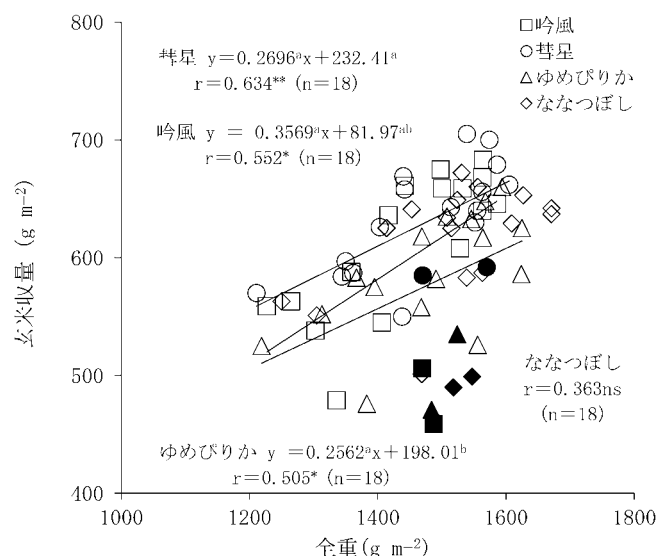
品種	全重	不稔歩合	千粒重	R^2
吟風	0.721 ***	-0.599 ***	0.246 †	0.913 ***
彗星	0.779 ***	-0.557 **	—	0.651 ***
ゆめぴりか	0.575 **	-0.670 ***	—	0.658 ***
ななつぼし	0.407 **	-0.812 ***	—	0.760 ***

数値は玄米収量を目的変数、全重、不稔歩合および千粒重を説明変数として増減法（ $p<0.100$ ）により重回帰分析を行った標準偏回帰係数を示し、横棒（—）は未検出を、 R^2 は決定係数を、それぞれ示す。***，**，†は、それぞれ0.1%、1%水準、10%水準で有意であることを示す（ $n=18$ ）。

玄米収量に対して、「吟風」では全重、不稔歩合および千粒重が、「彗星」および食用2品種では、全重と不稔歩

合が、それぞれ有意であった（第4-9表）。また標準偏回帰係数の絶対値は、酒米2品種では、全重が最も大きく、次に不稔歩合が大きく、続いて「吟風」では、千粒重が大きかった。一方、食用米2品種では、不稔歩合が最も大きく、次に全重が大きかった。これらのことから、玄米収量に及ぼす各形質の影響の程度は、酒米2品種では全重が最も大きく、次に不稔歩合が大きく、続いて「吟風」では千粒重が大きいと考えられた。一方、食用米2品種では、不稔歩合が最も大きく、次に全重が大きいと考えられた。

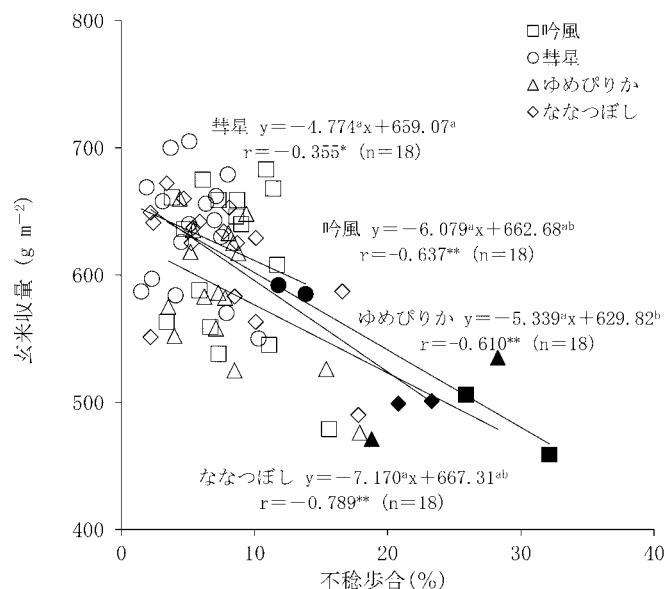
次に、玄米収量と全重、不稔歩合および千粒重との関係について、それぞれ検討した。全重は、酒米2品種および「ゆめぴりか」では、玄米収量との間に有意な正の相関関係が認められ、全重が増加すると玄米収量は増加する傾向を示した（第4-11図）。しかし、「ななつぼし」ではそのような傾向を示さなかった。全重に対する玄米収量の酒米2品種および「ゆめぴりか」の回帰直線の傾きに有意な品種間差異はなかった（ $p=0.566\sim0.923$ ）。このことから、全重の年次変動が玄米収量の年次変動に及ぼす影響の程度は、「ななつぼし」の方がその他の品種より小さく、その他の品種間には有意な差異がなかったと推察した。



第4-11図 全重と玄米収量の関係。

黒塗りは冷害年の2009年。傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ有意差（ $p<0.01$ ）があることを示し、*，**はそれぞれ5%，1%水準で有意であり，nsは有意でないことを示す。

不稔歩合は、4 品種ともに玄米収量との間に有意な負の相関関係が認められ、不稔歩合が増加すると玄米収量は低下する傾向を示した (第 4-12 図). 不稔歩合に対する玄米収量の回帰直線の傾きの大きさに、有意な品種間差異はなかった ($p=0.417\sim0.877$). このことから、不稔歩合の年次変動が、玄米収量の年次変動に及ぼす影響の程度に有意な品種間差異はなかったと推察した.



第4-12図 不稔歩合と玄米収量の関係.

黒塗りは冷害年の2009年. 傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ有意差 ($p<0.05$) があり, *, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す.

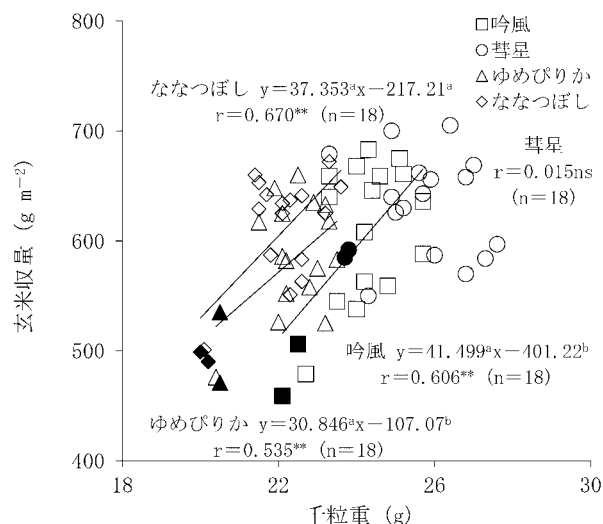
全重および不稔歩合を共変量とする共分散分析の結果、玄米収量の y 切片は、いずれも、「彗星」の方が「ゆめぴりか」より有意に大きかった ($p<0.05$, 第 4-11 図, 第 4-12 図). このことは、全重や不稔歩合が年次変動しても、玄米収量の品種間差異は大きく変わらず、玄米収量は、「彗星」の方が「ゆめぴりか」より安定して高いことを意味する.

冷害年の 2009 年と他の年次との玄米収量の差異は、「吟風」が最も大きく、「彗星」が最も小さい傾向があった (第 4-12 図). このことも関係して、玄米収量の年次変動は「吟風」が最も大きく、「彗星」が最も小さかったと推察した (第 4-1 表).

千粒重は、「吟風」および食用米 2 品種では、玄米収量との間に有意な正の相関関係が認められ、千粒重が増加すると、玄米収量は増加する傾向を示した (第 4-13 図). しかし、「彗星」ではそのような傾向を示さなかった. これらのことから、千粒重の年次変動が玄米収量の年次変動に及ぼす影響の程度は、「彗星」の方が「吟風」および食用米 2 品種より小さく、このことが、「彗星」の玄米収量の年次変動が、その他の品種の年次変動に比べて小さかった要因の一つであると考えられた.

重回帰分析の結果、穂数は、玄米収量に対して有意な

説明変数には選択されなかった (第 4-9 表). しかし、第 3 章で示したように、穂数は、酒米 2 品種の方が食用米 2 品種より明らかに少なかった (第 3-1-2 表). 酒米 2 品種の穂数の減少は、全重及び玄米収量の低下に影響を及ぼす可能性がある. これまで北海道では、食用米について良質良食味米を安定的に生産するための様々な栽培・肥培管理技術が開発された (安積 2011, 五十嵐 2011, 丹野 2012, 柳原 2011). その中に、初期生育を促進させるための健苗育成、適期移植および側条施肥等がある. 酒米 2 品種を安定生産するためには、これらの技術を励行し、初期生育を促進させ、穂数を確保し、全重を高めることが、食用米 2 品種以上に重要であると考えられた.



第4-13図 千粒重と玄米収量の関係.

黒塗りは冷害年の2009年. 傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ有意差 ($p<0.05$) があり, **は1%水準で有意であり, nsは有意でないことを示す.

2. 酒造適性の関連指標

酒造適性の関連指標の年次変動は、「吟風」の方が「彗星」より、心白発現率では小さく、タンパク含有率では大きく、20 分吸水率および蒸米吸水率では品種間差が比較的小さかった (第 4-4 表). また、これらの酒造適性の関連指標は、時期によって各気象条件の中でも、特に最高気温との関係が強かった (第 4-5 表, 第 4-6 表, 第 4-7 表, 第 4-8 表). そこで、最高気温の年次変動がこれらの酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす影響について、各時期の最高気温と各形質の相関関係および形質間の相関関係をもとに、以下で考察した. なお、第 3 章で示したように、各形質は産地と品種に交互作用がなかったため、産地と品種の交互作用を考慮せずに検討した.

1) 20 分吸水率

20 分吸水率は、白米の吸水速度を示す指標の一つであり、20 分吸水率の高い酒米は、白米の吸水速度が大きい

ので、酒造上の作業性が良いとされる（前重・小林 2000）。+Ⅱ期の最高気温が上昇すると、「吟風」と「彗星」の20分吸水率は低下する傾向を示したことから（第4-5図）、+Ⅱ期の最高気温の年次変動は、両品種の20分吸水率の年次変動に大きく影響を及ぼしたと考えられた。また+Ⅱ期は、岩見沢市では8月中旬の比較的気温が高い時期に、比布町では8月上旬の最も気温が高い時期に相当することから、8月上～中旬の期間が高温の年次では、両品種の20分吸水率が低下する可能性が高いと推察した。

+Ⅱ期の最高気温に対する20分吸水率の回帰直線の傾きの大きさには、有意な品種間差異がなかった（第4-5図）。このことから、+Ⅱ期の最高気温の年次変動が20分吸水率の年次変動に及ぼす影響の程度に、有意な品種間差異はなかったと推察した。一方、y切片の大きさは「吟風」の方が「彗星」より明らかに大きかった。このことは、+Ⅱ期の最高気温が年次変動しても20分吸水率の品種間差異は大きく変わらず、20分吸水率は「吟風」の方が「彗星」より安定して高いことを意味する。

米原ら（2005）は、「山田錦」を用いて登熟期間を高温（平均35℃）で生育させた場合、低温（平均20℃）で生育させた場合に比べて、20分吸水率が有意に上昇したと報告し、高温栽培では澱粉合成酵素機能の高温障害が、低温栽培では胚乳細胞の構造の変化が、それぞれ20分吸水率に影響を及ぼしたと考察した。吉沢ら（1979, 1981）と伊藤（1992）は、米粒の構造が米粒の吸水性や消化性に大きく関係すると報告した。第3章で示したように、本研究での両産地の最高気温は、いずれの時期でも30℃以下であったので（出穂期後1ヶ月間の最高気温の平均値、岩見沢市：26.8℃、比布町：27.4℃）、登熟期間中に高温障害が発生した可能性は低い。したがって、+Ⅱ期の最高気温の年次変動が、両品種の胚乳細胞の構造の変化に関係して、20分吸水率の年次変動に影響を及ぼした可能性が高いと推察した。また、+Ⅱ期は胚乳細胞の肥大初期10日間に相当することから、両品種の20分吸水率に最も影響を及ぼす最高気温の時期は、胚乳細胞の肥大初期10日間であると考えられた。

2) 蒸米吸水率

蒸米吸水率は、蒸米の消化性の直接的な指標である醗の溶解性やBrixと密接に関係し、蒸米吸水率の高い酒米は消化性が高い傾向があり、生成酒の酒質のみならず粕歩合などの原料利用効率にも影響する（古沢ら 1974, 古沢・石川 1974）。+Ⅲ期の最高気温が上昇すると、蒸米吸水率は、「彗星」では低下する傾向を示したが、「吟風」ではその傾向が明瞭でなかった（第4-6図）。このことから、+Ⅲ期の最高気温の年次変動は、「彗星」の蒸米吸水率の年次変動には大きく影響を及ぼしたが、「吟風」の蒸米吸水率の年次変動には及ぼす影響の程度が小さかったと考えられた。また、+Ⅲ期は胚乳細胞の肥大初期の11～20日目に相当することから、「彗星」の蒸米吸水率に

最も影響を及ぼす最高気温の時期は、胚乳細胞の肥大初期の11～20日目であると考えられた。

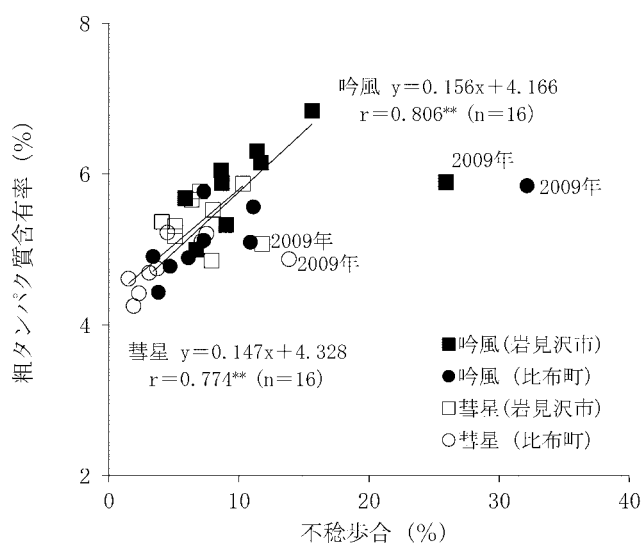
岡崎ら（1989）は、東北以南の「五百万石」および「山田錦」について、5～10月の各月の最高気温、最低気温および平均気温と消化性との関係を解析し、特に8月の最高気温と消化性との関係が密接で、出穂期以降の最高気温が高いほど、消化性が低下する傾向があると報告した。また奥田ら（2010）は、沖縄県と九州を除く日本各地で栽培した酒米51品種について、出穂後1ヶ月の平均気温（19.9℃～26.8℃）と消化性との関係を解析したところ、両性質間には強い負の相関関係があり、出穂後1ヶ月の平均気温が23℃以上になると消化性が劣ると報告した。本研究の+Ⅲ期は、岩見沢市では8月下旬に、比布町では8月中旬に相当し、2010年と2012年では両産地の最高気温が28℃を超えた。また、この2カ年の出穂後1ヶ月間の平均気温は、岩見沢市では23.3℃、比布町では22.9℃であり、奥田ら（2010）が酒米の消化性が劣る境界温度とした出穂後1ヶ月の平均気温の23℃とほぼ一致した。これらのことから、北海道においても8月中旬～下旬が高温の年次では、「彗星」の蒸米吸水率及び消化性が低下する可能性が高いと推察した。

3) 粗タンパク質含有率

粗タンパク質は、精白米の吸水性や蒸米の消化性に関係し、そのアミノ酸組成により、清酒の味、香り等の成分として不可欠であるが、粗タンパク質含有率の高い酒米は、製造酒のアミノ酸含量が増加して雑味や着色の原因になる（古沢・石川 1974, 前重・小林 2000）。粗タンパク質含有率の最大値と最小値の差は、「吟風」の方が「彗星」より大きかった（第4-4表）。また、+Ⅱ期の最高気温が上昇すると、粗タンパク質含有率は「吟風」では、低下する傾向を示したが、「彗星」では、その傾向が明瞭でなかった（第4-7図）。これらのことから、+Ⅱ期の最高気温の年次変動は、「吟風」の粗タンパク質含有率の年次変動には大きく影響を及ぼしたが、「彗星」の粗タンパク質含有率の年次変動には及ぼす影響の程度が小さかったと考えられた。また、+Ⅱ期が高温の年次は「吟風」の粗タンパク質含有率が低下する可能性が高いと推察した。

北海道では、かんがい水温は気温よりも一般に数度高く、冷害危険期に幼穂が水面に入る水深を保てば冷気温から幼穂が保護されるため、深水かんがい（18～20cm）は不稔発生の防止効果が高い（丹野 2011）。また、幼穂形成から冷害危険期直前までの前歴期間の水深10cmの深水も、不稔発生の防止に効果があり、不稔発生に対する前歴深水の単独効果は、冷害危険期の単独効果より大きく、両期の複合効果は相乗的に大きい（Satakeら 1987）。北海道の水稻栽培では、不稔の発生の防止策として、前歴期間～冷害危険期に段階的（5～20cm）に水深を上昇させる深水かんがい奨励されている。食用米では、冷害年において不稔の多発により減収するだけでなくタン

パク含有率が上昇して、玄米品質や食味の低下を招くことが知られている(丹野 2010, 2011)。そこで、第 4-14 図に、不稔歩合と粗タンパク質含有率との関係を示した。冷害年の 2009 年での両品種の不稔歩合は、他の年次に比べて高く、「吟風」では顕著に高かった。しかし、2009 年の両品種の粗タンパク質含有率は、他の年次に比べて必ずしも高くはなかった。2009 年を除くと、両品種の不稔歩合と粗タンパク質含有率との間に高い正の相関関係が認められ、「吟風」では不稔歩合が 20%以下で、「彗星」では不稔歩合が 10%以下で、それぞれ不稔歩合の上昇に伴って粗タンパク質含有率は増加する傾向を示した。



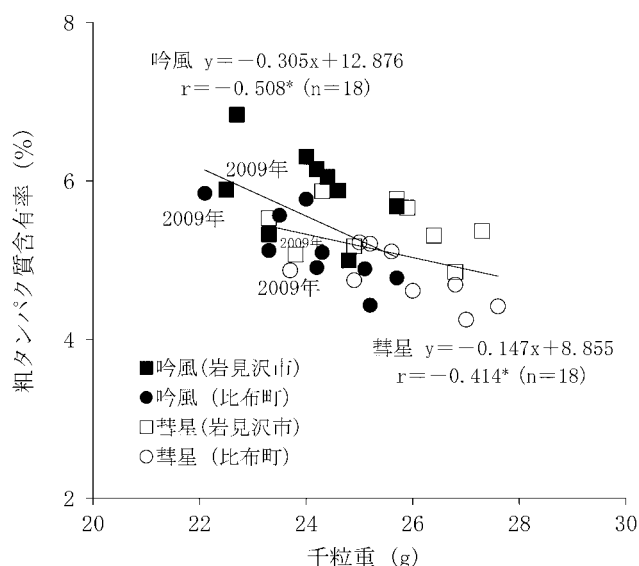
第4-14図 不稔歩合と粗タンパク質含有率の関係。

粗タンパク質含有率は70%精米の値。回帰式および相関係数は冷害年の2009年を除く。**は1%水準で有意であることを示す。

次に、一Ⅱ期の最高気温が上昇すると、両品種の千粒重は増加する傾向を示したので(第4-1図), 第4-15図に、千粒重と粗タンパク質含有率との関係を示した。両品種の千粒重は、粗タンパク質含有率との間に有意な負の相関関係が認められ、両品種の千粒重が増加すると粗タンパク質含有率は低下する傾向を示した。これらのことから、北海道の水稲栽培における深水かんがいは、冷害年以外の通常年においても、両品種の不稔歩合の低下および千粒重の増加が関係して、粗タンパク質含有率の上昇を防ぐ効果がある可能性がある。

一Ⅱ期の平均風速が増加すると、両品種の粗タンパク質含有率は上昇する傾向を示した(第4-8図)。このことから一Ⅱ期の平均風速の年次変動は、両品種の粗タンパク質含有率の年次変動に影響を及ぼしたと考えられた。産地別に一Ⅱ期の平均風速と粗タンパク質含有率との関係を検討すると、岩見沢市では有意な正の相関関係が認められたが、比布町では有意な相関関係が認められなかった(岩見沢市 $r=0.663$, $p<0.01$, 比布町 $r=0.378$,

$p=0.122$, 各 $n=18$)。また、一Ⅱ期の平均風速は岩見沢市(約 $2\sim 3\text{ m s}^{-1}$)の方が比布町(約 $1\sim 2\text{ m s}^{-1}$)より明らかに大きかった(第3-1図)。これらのことから、一Ⅱ期の平均風速の年次変動は、粗タンパク質含有率の年次変動に対して、岩見沢市では大きく影響を及ぼしたが、比布町では及ぼす影響の程度が小さかったと推察した。



第4-15図 千粒重と粗タンパク質含有率の関係。

粗タンパク質含有率は70%精米の値。2009年は冷害年。*は5%水準で有意であることを示す。

4) 心白発現率

心白は、精白米の吸水性や麹菌のハゼ込みおよび醗の消化性等に深く関係し、酒米の重要な形質の一つである(前重・小林 2000)。酒造会社は心白発現率が安定して高い酒米を望む。心白発現率の最大値と最小値の差は、「吟風」の方が「彗星」より明らかに小さかった(第4-12図)。冷害年の2009年の心白発現率は、他の年次の心白発現率に比べて、「吟風」では大きな差異がなかったが、「彗星」では明らかに低かった(第4-9図)。2009年を除いても、心白発現率のCVは「吟風」の方が「彗星」より小さかった(「吟風」: 11.2%, 「彗星」: 18.2%, 2産地の平均値)。これらのことから、心白発現率の年次変動は「吟風」の方が「彗星」より明らかに小さく、心白発現率の年次変動の品種間差異は冷害年の影響によりさらに拡大したと考えられた。

一Ⅱ期の最高気温が上昇すると、「彗星」の心白発現率は増加し、+Ⅰ期の最高気温が上昇すると、「吟風」の心白発現率は低下する傾向を示した(第4-9図, 第4-10図)。このことから、一Ⅱ期の最高気温の年次変動は、「彗星」の心白発現率の年次変動に、+Ⅰ期の最高気温の年次変動は、「吟風」の心白発現率の年次変動に、それぞれ大きく影響を及ぼしたと考えられた。また、一Ⅱ期が高温の年次は「彗星」の心白発現率が増加し、+Ⅰ期が高

温の年次は「吟風」の心白発現率が低下する可能性が高いと推察した。

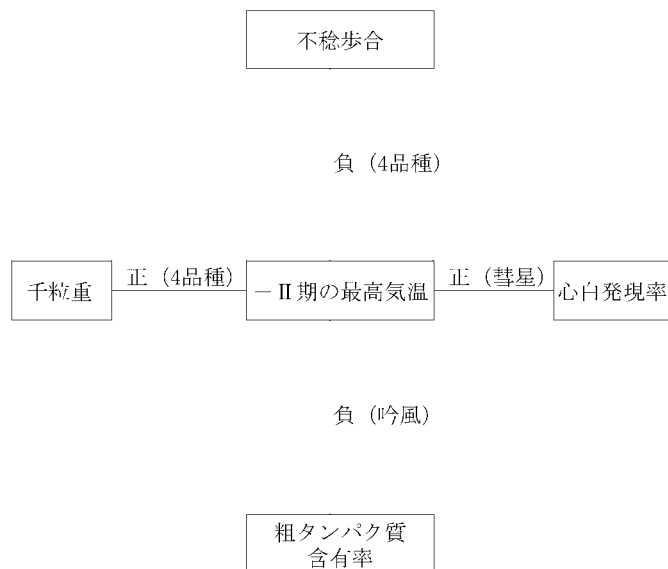
このように品種間で心白発現率に大きく影響を及ぼす最高気温の時期が異なったので、最高気温が両品種の心白発現率に影響を及ぼす要因について考察する。－Ⅱ期は冷害危険期と重なるので、両品種の－Ⅱ期の最高気温と不稔歩合の相関関係を調べた。両品種の不稔歩合は－Ⅱ期の最高気温との間に1%水準の有意な負の相関関係が認められた（「吟風」： $r = -0.669$ ，「彗星」： $r = -0.631$ ，各 $n = 18$ ）。次に、不稔歩合と心白発現率を調べた。不稔歩合と心白発現率との間に、「彗星」では5%水準で有意な負の相関関係が認められたが、「吟風」では有意な相関関係が認められなかった（「彗星」： $r = -0.714$ ，「吟風」： $r = -0.094$ ，各 $n = 10$ ）。すなわち、不稔歩合の年次変動が心白発現率の年次変動に及ぼす影響の程度は、「彗星」の方が「吟風」より大きいと考えられた。また「彗星」では、－Ⅱ期の最高気温の年次変動が不稔歩合の年次変動に大きく影響を及ぼし、このことが関係して心白発現率の年次変動に影響を及ぼした可能性がある。一方、「吟風」では、＋Ⅰ期は水稻の胚乳細胞の分裂増殖期に相当するので、＋Ⅰ期の最高気温が胚乳細胞の分裂増殖に影響し、このことが関係して心白発現率の年次変動に影響を及ぼした可能性がある。

5) まとめ

第4-16図に、－Ⅱ期の最高気温と各形質との相関関係を示した。この図から、－Ⅱ期の最高気温の高い年次は、「吟風」、「彗星」、「ゆめぴりか」および「ななつぼし」の不稔歩合は低下し、千粒重は増加し、「吟風」では粗タンパク質含有率が低下し、「彗星」では心白発現率が増加する可能性が高いと推察した。

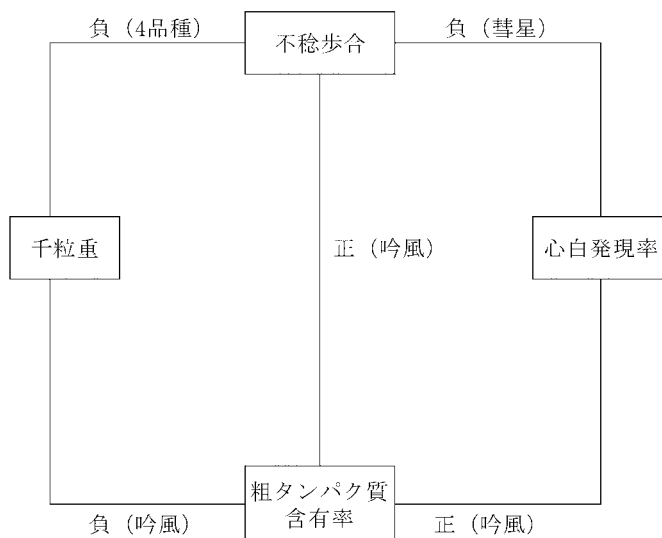
次に第4-17図に、各形質間の相関関係を示した。この図から、不稔歩合の低下は、4品種の千粒重の増加に、「吟風」では粗タンパク質含有率の低下に、「彗星」では心白発現率の増加に、それぞれ関係していると考えられた。また「吟風」では、千粒重の増加は粗タンパク質含有率の低下に、心白発現率の増加は粗タンパク質含有率の増加に、それぞれ関係していると考えられた。

以上のことから、北海道で不稔防止のために推奨されている－Ⅱ期を含む期間の深水かんがいは、4品種では千粒重の低下を、「吟風」では粗タンパク質含有率の上昇を、「彗星」では心白発現率の低下を、それぞれ防ぐ効果がある可能性がある。



第4-16図 －Ⅱ期の最高気温と各形質との相関関係。

4品種：「吟風」、「彗星」、「ゆめぴりか」および「ななつぼし」
負は有意な負の相関関係があり、正は有意な正の相関関係があることを示す（ $n = 18$ ，心白発現率のみ， $n = 10$ ）。
（ ）内は有意な相関関係が認められた品種を示す。



第4-17図 各形質間の相関関係。

4品種：「吟風」、「彗星」、「ゆめぴりか」および「ななつぼし」
負は有意な負の相関関係があり、正は有意な正の相関関係があることを示す（ $n = 18$ ，心白発現率のみ， $n = 10$ ）。
（ ）内は有意な相関関係が認められた品種を示す。

第5章 総合考察

本研究において、北海道の酒米品種は、最も酒造適性の評価が高いとされる兵庫県の「山田錦」に比べて、千粒重が軽く、20分吸水率および蒸米吸水率が低く、粗タンパク質含有率が高いため、これら酒造適性の関連指標の改善が必要であること、また、寒冷地で栽培されているので、低温年次には不稔歩合が増加して、収量が低下するとともに、粗タンパク質含有率が高くなることが明らかとなった。本章では、北海道の酒米品種に関するこれらの農業特性と酒造適性の関連指標の欠点を改善する方策を、栽培技術と育種の両面から総合的に考察する。

1. 農業特性の改善方法

1) 不稔歩合

北海道の酒米品種の「吟風」と「彗星」は、いずれも兵庫県の「山田錦」に比べて、耐倒伏性が強く、玄米品質が優れた。また、1穂粒数が少なく千粒重は軽かったが、 m^2 当たり穂数および粒数が多かったため多収であった。さらに、北海道の食用米品種の「ゆめぴりか」と「ななつぼし」に比べても、千粒重が重く多収であった。したがって、北海道の酒米2品種は兵庫県の「山田錦」や食用米2品種に比べて収量性に優れると結論した(第2章、第3章)。

しかし、北海道の酒米2品種では、農業特性の中で不稔歩合の年次変動が最も大きく、その主要因は冷害年の不稔歩合が高かったためであると考察した(第3章)。不稔歩合は、穂ばらみ期に相当する出穂期-19～-10日(-II期)の最高気温と有意な負の相関関係が認められ、低温年では不稔歩合が上昇した(第4章)。また、酒米2品種と食用米2品種の不稔歩合を比較したところ、「吟風」が最も高く、「彗星」が最も低く、品種特性としての穂ばらみ期耐冷性の品種間差異と一致した。したがって、北海道の酒米品種の収量を安定して高く維持するためには、防風網の設置や深水かんがいによる不稔発生の防止とともに、育種による耐冷性の強化が重要であると結論した。また「吟風」では、-II期の最高気温と粗タンパク質含有率との間に有意な負の相関関係が認められ、不稔の防止は粗タンパク質含有率の上昇を防ぐ効果もあると考えられた(第4章)。ただし、大冷害となった1993年(全道の玄米平均収量 203 g m^{-2} 、作況指数40)では、主産地である道央地域において90%の水稲生産者が深水かんがいを実施したが、不稔歩合は25～90%であり(山崎1994)、深水かんがいの不稔防止の効果には限界があることが示唆された。

一方、育種による耐冷性の強化は不稔防止に有効な方策である(和田1992)。「吟風」の穂ばらみ期耐冷性は“やや強”で、本研究の供試品種の中で最も弱く、開花期耐冷性は、「吟風」と「彗星」が“極弱”で、食用米2品種

に比べて明らかに劣る(丹野ら2002、吉村ら2002、尾崎2008、田中ら2011)。このため、酒米2品種の耐冷性の強化を育種目標にして、穂ばらみ期耐冷性が“強”、開花期耐冷性が“強”の食用米品種の「ほしのゆめ」を交配親に用いて、穂ばらみ期耐冷性が“強”、開花期耐冷性が“中～やや強”の「きたしずく」を育成した(注：北海道農業試験会議(成績会議)水稲新品種候補「空育酒177号」2014年)。食用米品種には、「大地の早」などの穂ばらみ期耐冷性および開花期耐冷性が“極強”の品種や系統がある(菊地1997)。これらの品種や系統を交配親に用いて、北海道の酒米品種の耐冷性をさらに強化することによって、冷害年における不稔発生を軽減できると推察した。

2) 千粒重

北海道の酒米品種の「吟風」、「彗星」および「きたしずく」は、兵庫県の「山田錦」に比べて、千粒重が軽かった(第2章)。また、穂数の減少は必ずしも千粒重の低下に繋がらなかった(第3章)。「吟風」と「彗星」は、食用米2品種と同様に、冷害年の2009年の千粒重が他の年次の千粒重に比べても大きく低下しなかった。このことが要因の一つとなって、千粒重の年次変動は形質間で最も小さく、年次間で千粒重の品種間差異はほとんど変わらなかった(第4章)。さらに、「吟風」と「彗星」の千粒重は、穂数と有意な相関関係が認められず、兵庫県の「山田錦」の千粒重に比べて軽く劣り、植え付け本数や栽植密度を変えるなどの栽培技術により増加させることは、今後の課題であると考察した。このため、北海道の酒米品種の千粒重を兵庫県の「山田錦」並にするためには、当面育種による改善が必要であると考えられた(第3章)。

育種による千粒重の増加のためには、まず、北海道の酒米品種の系譜にはない「山田錦」等の東北以南の大粒の酒米品種や系統を交配親に用いることが考えられる。しかし、池上ら(2003)は「山田錦」を母親に、食用米品種を父親に用いた場合、「山田錦」並の心白発現率を合わせ持つ個体の出現頻度は、非常に低くなることを指摘している。また、「山田錦」等の東北以南の酒米品種は感光性が強いので、これを交配親に用いた場合、後代系統は北海道に適合した出穂期の出現が非常に低くなると予想される。Ichitaniら(1997)は、北海道の12の食用米品種を用いて遺伝解析を行い、8つの品種はSe-I座に極弱の感光遺伝子Se-Ieを持つものに対して、4つの品種はSe-I座に感光遺伝子Se-Inを持つことを明らかにした。北海道の酒米品種が感光遺伝子Se-Inを持つと仮定すると、後代系統は北海道に適合した出穂期の出現が非常に低くなると予想される。また、藤野ら(2003)、藤野・関口

(2006) は、北海道の食用米品種相互の交配組合せにおける F_2 世代の集団の出穂期が連続的な変異を示し、北海道の食用米品種の出穂期に複数の感光性遺伝子が関与することを示唆した。したがって、 $F_2 \sim F_4$ 世代の雑種集団の規模は、なるべく大きくして、出穂期に関係する遺伝子が固定するまで世代を進め、その後に選抜を開始することが効果的であると考えられる。

次に、千粒重の育種による改良には突然変異体の利用が考えられる。例えば、長野県農事試験場では、1952 年に酒米品種「たかね錦」に ^{60}Co の γ 線を照射して「たかね錦」より千粒重の重い変異体の「美山錦」を育成した。北海道の食用米品種では、「彩」(1990 年、北海道立上川農業試験場育成) や「おぼろづき」(2005 年、北海道農業試験場育成) のように、良食味を目的とした低アミロース突然変異体を利用した育種は行われてきたが、大粒化を目的とした突然変異体の利用による育種は、ほとんど行われて来なかった。今後、北海道の酒米品種を用いて、より大粒の突然変異体を作出することができるのかを検証する必要がある。

千粒重は、玄米の長さ、幅、厚さおよび比重などによって決められる量的形質で、多数の遺伝子に支配されるとされる(前重・小林 2000)。Yoshida ら(2002) は、食用米品種の「レイハウ」と「山田錦」との F_1 の葎培養から得た DHLs (倍加半数体系統) を用いた解析から千粒重の増加に関係する 6 つの QTL を 5 つの染色体上に検出した。今後、これらの知見をもとに、千粒重の増加に関係する DNA マーカーが開発されれば、交配親の選定に利用できる可能性がある。なお、千粒重は 30 g 以上になると心白の容積が大き過ぎて、砕米率が増加し、必ずしも酒米として好適ではないので(西田 1992)、上限を 30 g に注意する必要がある。

2. 酒造適性の関連指標の改善方法

1) 20 分吸水率、蒸米吸水率および心白発現率

20 分吸水率および蒸米吸水率は、「彗星」では、+III 期の最高気温との間に有意な負の相関関係が認められた(第 4 章)。このため、「彗星」の 20 分吸水率および蒸米吸水率を増加させる方法として、出穂期と成熟期を遅らせて、+III 期の最高気温を下げるのが考えられる。出穂期と成熟期を遅らせるには、移植時期を遅らせること、苗質を成苗から中苗に変更することや育苗日数を短縮すること等が考えられる。しかし、北海道で出穂期や成熟期が遅れると、低温年では登熟不良及び減収や品質の低下を招く恐れがある(田口 2011)。また佐々木・後藤(2010) は、出穂前 24~30 日間の毎日の最高、最低、および平均気温が高いほどタンパク質含有率が低くなることを明らかにし、タンパク質含有率の低下のためには、苗の種類の選択あるいは移植日によって出穂期を適正化し、出穂期前後の気温を確保することが重要であると報告した。すなわち、北海道で出穂期や成熟期が遅れると、

減収や品質の低下だけでなく、粗タンパク質含有率の上昇を招く恐れがある。これらのことから、出穂期および成熟期を遅らせて+III 期の最高気温を下げる方法は、北海道の酒米生産現場への普及技術として不適であると考えられる。

次に、20 分吸水率および蒸米吸水率を高めるための育種による改善方法について考察する。第 2 章で示したように、20 分吸水率および心白発現率は、「吟風」の方が「彗星」より高く優れた。また、心白発現率が高くなると 20 分吸水率は上昇する傾向を示したことから、「吟風」の方が「彗星」より、20 分吸水率が高かった要因の一つとして心白発現率が高かったことが考えられた。上島ら(1981) は、心白発現率の遺伝変異に関して心白発現の広義の遺伝率は 0.622~0.824 であると報告し、池上ら(2003 年) は、心白発現の広義の遺伝率は 0.860~0.825 で高く、特に高い方向への初期世代の個体選抜は有効であると報告した。これらのことから、心白発現率の高い交配親を用い、初期世代から心白発現率の高い個体を積極的に選抜することにより、間接的に 20 分吸水率を高める可能性がある。

「彗星」は「吟風」に比べて、心白発現率と 20 分吸水率がともに有意に低く劣るので、「彗星」を交配親に用いて 20 分吸水率を改善するためには、片親に心白発現率の高い酒米品種を用いて心白発現率を向上させることが有効であると推察する。また「彗星」では、-II 期の最高気温と心白発現率との間に正の有意な相関関係が認められ、冷害年の 2009 年では、-II 期の最高気温が 22℃以下で心白発現率は 40%以下となった(第 4 章)。北海道では、不稔防止のために-II 期を含む期間の深水かんがい奨励されている。-II 期の深水かんがいは、「彗星」の不稔防止だけでなく、心白発現率の低下を防ぐ効果がある可能性がある。

20 分吸水率と蒸米吸水率は、清酒製造工程における米の糖化性及び消化性に影響する重要な形質である(第 1 章)。本研究において、北海道の酒米 2 品種は兵庫県の「山田錦」に比べて、岩見沢市と比布町のいずれの産地でも 20 分吸水率および蒸米吸水率が低く劣った(第 2 章)。一方、熊谷ら(1976, 1980) は、新潟県以南の 8 カ所において、「山田錦」と「五百万石」の糖化性を調査した結果、産地間の差異は小さく、「山田錦」は「五百万石」に比べて、糖化性が高く消化性が安定していると報告した。これらのことから、酒米品種間には 20 分吸水率および蒸米吸水率の遺伝的な差異があると考えられる。

第 2 章と第 3 章で考察したように、育種により 20 分吸水率および蒸米吸水率を高めるためには、北海道の酒米品種の系譜にはない品種を交配親に用いることが重要である。兵庫県では、「山田錦」よりも 20 分吸水率の高い「兵庫北錦」(兵系酒 38 号) を育成した(西田ら 1987)。本研究でも「兵庫北錦」の 20 分吸水率は、「山田錦」の 20 分吸水率よりやや高い傾向があった(第 2 章)。北海道の

酒米品種は「山田錦」や「兵庫北錦」が系譜にないので(第1章)、これらの品種を交配親に用いて、20分吸水率を改善できる可能性がある。

20分吸水率および蒸米吸水率は、食用米とは異なる酒米に特有な選抜形質である。これまで中央農業試験場と上川農業試験場において、酒米品種の20分吸水率および蒸米吸水率を直接測定した事例はなく、これらの形質は酒米育種の選抜に利用されていない。一方、小林(2004)は、新潟県においてKett社製パーレスト(試験用小型精米機)に大麦搗精用キットを装着し、5g程度の少量の玄米サンプルを70%の精米歩合まで割れる方法を開発し、このサンプルを用いて、個体選抜の段階から20分吸水率を測定できると報告した。ただし、本方法の精米時間は従来の1/7に短縮したものの、1点当たり約20分を要する。また、20分吸水率の測定は、醸造用原料米全国統一分析に準じており相応の手間がかかる。本方法を北海道の酒米育種に利用できるかを検証する必要がある。20分吸水率の直接的な選抜方法を確立するまでは当面、個体選抜の段階で心白発現率の高い個体を選抜し、生産力検定予備試験の段階から醸造用原料米全国統一分析の20分吸水率および蒸米吸水率の結果を選抜に利用することが必要である。

古沢ら(1981)は、アミロース含有率が高い「山田錦」の精製澱粉より、アミロース含有率の低い食用米の精製澱粉の方が、消化性が高い傾向があるとして、米粒の消化性には、澱粉の組成の差よりも米粒構造が大きく関係していると考察した。また、伊藤(1992)は、20分吸水率および蒸米吸水率には米粒の微細構造が関係し、細胞内間隙に水が保持され20分吸水率および蒸米吸水率の高い米は消化性が高いと推察した。さらに松江(2004)は、「山田錦」と福岡県の酒米品種の「夢一献」を用いて分析し、各品種の20分吸水率および120分吸水率は、アミログラム最高粘度との間に、蒸米消化性(Brix)は、アミロース含有率との間に、それぞれ有意な負の相関関係が認められたと報告し、アミログラム最高粘度が吸水性の、アミロース含有率が蒸米消化性の、それぞれ選抜指標になる可能性があると報告した。

一方、北海道においても関口ら(1986)は、北海道産のアミロース含有率の異なる米の醸造適性を調べて、アミロース含有率の低い米は高い米に比べて消化性が高いことを認めた。また稲津(1988)は、食用米において登熟期間の積算温度とアミロース含有率との間に有意な負の相関関係が認められ、積算気温が高くなると米のアミロース含有率は低くなり、熱糊化性が高まって食味が向上すると報告した。本研究において、20分吸水率および蒸米吸水率は、「吟風」と「彗星」では、+Ⅱ期の最高気温との間に、「彗星」では、+Ⅲ期の最高気温との間に、それぞれ有意な負の相関関係が認められた(第4章)。食用米品種と同様に酒米品種においても、登熟期間の最高気温の年次変動が、米粒中のアミロースやアミロペクチ

ンの組成や構造及びデンプンの熱糊化性の年次変動に影響を及ぼし、これらの形質の変化が20分吸水率および蒸米吸水率の年次変動に影響を及ぼしている可能性がある。今後、北海道の酒米品種の20分吸水率および蒸米吸水率と関係の強い理化学特性を見つけることができれば、この特性を選抜指標として、間接的に20分吸水率および蒸米吸水率の高いものを選抜できる可能性がある。

酒米の生育期間中の気象データから収穫後の酒造適性を予測できれば、酒造会社で原料米の酒造適性に合わせた利用計画を酒造前に立てることができ、清酒の品質向上に大きく役立つ(奥田2010)。第4章において、-Ⅱ期および+Ⅱ期が高温の年次には、「吟風」および「彗星」の20分吸水率は低下し、+Ⅲ期が高温の年次には「彗星」の蒸米吸水率は低下する可能性が高いと推察した。これらの最高気温と酒造適性の関連指標との関係に関する情報は、北海道産の酒米品種を使用する北海道内外の酒造会社に対して、酒造前に提供されることによって、酒造上の参考となると考えられた。

2) 粗タンパク質含有率

米粒中のタンパク質は、清酒の味に大きく影響し、粗タンパク質含有量の多い米は清酒に雑味が生じ酒質を落とすため、粗タンパク質含有率の低い米が酒米として優れるとされる(前重・小林2000)。第2章に示したように、兵庫県の「山田錦」は、稈長が長いので耐倒伏性が弱く、このため窒素施肥量が少なかった。一方、北海道の酒米品種は、稈長が短いので耐倒伏性が強く、窒素施肥量が多かった。一般的に窒素施肥量が多いと米粒中のタンパク質含有率が高くなる(五十嵐ら2005、後藤2007)。北海道の酒米品種は兵庫県の「山田錦」に比べて、粗タンパク質含有率が高かった(第2章)。この理由の一つとして窒素施肥量の多かったことが影響したと推察した。北海道の酒米品種の粗タンパク質含有率を下げる方法として、まず減肥が考えられる。しかし安易な減肥は、穂数不足・粒数不足により減収するだけでなく、窒素の玄米生産効率を低下させ、かえって粗タンパク質含有率の増加に繋がる恐れがある(後藤2007)。減肥するにあたって、酒米産地の基準収量と土壌型及び土壌診断結果に基づく適切な減肥量を把握することが重要である。酒米2品種は、食用米2品種に比べて、茎数・穂数が明らかに少なかった。酒米2品種を安定生産するためには、食用米2品種以上に穂数を確保することが重要であり、そのためには、健苗の育成、適期移植および側条施肥等を励行し、初期生育を促進させ、茎数を確保することが必要である(第4章)。

北海道の酒米品種の粗タンパク質含有率は、岩見沢市の方が比布町より高かった(第3章)。このため低タンパク質な酒米生産のためには、食用米の生産と同様に産地の選定が重要であると考察した。また、岩見沢市の方が比布町より粗タンパク質含有率が高かった主要因は、土

壤の産地間差異であると推察した。北海道の水稲品種は感温性が高いので、東北以南の水稲品種と異なり、栄養生長と生殖生長が重複して進行する(岩田 2011)。北海道の水稲品種は、幼穂形成期以降も栄養成長が継続し、最高分けつ期が幼穂形成期後となり、土壤中の窒素量が多い場合、止葉期以降も窒素を多く吸収し、タンパク質含有率が高まりやすい。今後は、低タンパク質な酒米生産に向けて、窒素の玄米生産効率を高めるために、生育期間全体を通じた窒素吸収をコントロールする総合的な栽培・肥培管理技術の開発が求められる。

平均風速は、岩見沢市の方が比布町より、生育期間を通じて有意に大きかった(第3章)。丹野(2010)は、「きらら 397」を用い、分けつ期の平均風速と粗タンパク質含有率との間に地域間で有意な正の相関関係が認められ、風速が大きく初期生育が劣ると、生育後半での窒素吸収が高く維持され玄米への窒素転流が多くなり、粗タンパク質含有率を高めると報告した。これらのことから、岩見沢市の方が比布町より粗タンパク質含有率が高かった要因の一つに、生育期間を通じて岩見沢市の方が比布町より風速が大きかったことが考えられた。しかし、いずれの産地・品種でも北海道の酒米品種は兵庫県の「山田錦」に比べて、粗タンパク質含有率が高く、タンパク含有率の低下のためには育種による改善が必要であると結論した(第3章)。北海道の食用米品種では、白米中のタンパク含有率の遺伝的な差異の存在を明らかにし(稲津ら 1982)、タンパク含有率の低い品種を育成して食味を

向上させた(木下 2013)。例えば、米国カルフォルニア州の食用米品種の「国宝ローズ」を交配親に用いて、低タンパク質系統の「空系 90242A」および「空系 90242B」を育成し、さらにこれらの系統を交配親に用いて、従前の「きらら 397」よりタンパク含有率の低い「ななつぼし」(吉村ら 2002)や「ふっくりんこ」(田中ら 2008)の育成に成功した。一方、北海道の酒米品種では、交配親として「国宝ローズ」に由来する系統や品種は利用されていない。今後、これらの食用米の系統や品種を交配親に用いて、北海道の酒米品種のタンパク含有率を低下させる可能性がある。

食用米の育種では、近赤外線分析機器を使用してタンパク質含有率を測定して、この値を良食味の選抜に用いている(稲津ら 1982)。近赤外線分析機器は非破壊でタンパク質含有率を測定することができ、また 1 サンプル量(玄米、白米または米粉)は 5~10 g、測定時間が数十秒で、短時間で多数のサンプルを分析することができる。そのため、多数の材料を測定する必要がある個体選抜の段階から、タンパク質含有率を選抜指標に利用している。酒米においても食用米と同様に、この選抜方法を低タンパク質含有率の品種育成に活用できる。

以上、本研究で明らかにした北海道で育成された酒米品種における農業特性や酒造適性の関連指標に関する知見は、北海道での高品質な酒米の安定生産を可能とする栽培技術に寄与するとともに、今後の酒米育種の基礎資料に利用できる。

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、御校閲の労を賜りました北海道大学大学院農学研究院教授近藤則夫博士、同教授貴島祐治博士、同助教中島大賢博士に深く感謝を申し上げます。また、終始、懇切丁寧に献身なる御指導と御校閲の労を賜りました北海道大学名誉教授岩間和人博士に深甚なる感謝を申し上げます。

本論文を執筆中、終始、心暖まる激励と御指導をいただきました元拓殖大学北海道短期大学教授佐竹徹夫博士、元北海道立中央農業試験場生産システム部長稲津脩博士ならびに元同作物開発部長天野洋一博士に心から感謝を申し上げます。水稻栽培研究の観点から適切なご助言をいただきました北海道立研究機構農業研究本部道南農業試験場研究部長丹野久博士、同上川農業試験場長田中英彦博士ならびに同産業技術研究本部食品加工研究センター研究主幹五十嵐俊成博士に心から感謝を申し上げます。また、遠方より心暖まる激励を賜りました恩師である東京農工大学名誉教授石原邦博士ならびに千葉大学名誉教授高崎康夫博士に心から感謝を申し上げます。

本研究の統計解析について、元関西福祉大学教授和田武夫博士より懇切丁寧な御指導をいただきました。本研究の解析データとして、水稻奨励品種決定基本調査成績データベースの利用について、農業・食品産業技術総合研究機構作物研究所稲研究領域の関係各位に、水稻奨励品種決定試験基本調査のデータの利用について、北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場生産研究部水田農業グループ、同上川農業試験場研究部水稻グルー

プの関係各位ならびに元兵庫県立農林水産技術総合センター農産園芸部酒米試験地主席研究員池上勝氏に御快諾いただきました。酒造用原料米全国統一分析結果の利用について、酒類総合研究所酒米研究会事務局の関係各位に御快諾いただきました。また、北海道酒造組合専務理事西田孝雄氏およびホクレン農業協同組合連合会米穀事業本部原材料課長室谷光紀氏から、北海道の酒造および原料米に関する貴重な情報提供をいただきました。ここに記して厚く御礼を申し上げます。

本研究で供試した北海道の酒米品種の「吟風」、「彗星」および「きたしずく」は全て、元北海道立中央農業試験場稲作部育種科（現北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場生産研究部水田農業グループ）で育成されたものです。ここで本研究の契機を与えていただきました元同育種科長佐々木忠雄氏、水稻育種全般について御薫陶を賜りました元北海道立総合研究機構農業研究本部上川農業試験場研究部研究主幹沼尾吉則氏に心から感謝を申し上げます。また、本研究を遂行するにあたり、御協力をいただきました元北海道立中央農業試験場稲作部育種科研究員、農業技能員、総務係員および多くの臨時職員の皆様に心から感謝を申し上げます。

この他、北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場技術普及室の職員および非常勤職員の皆様には、本論文の執筆に対する御理解と様々な御支援をいただきました。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- 阿部一郎・赤井隆・米村賢一・水鶏口政一 1940. 昭和 14 年酒造年度試験仕込試験報告. 北海道立工業試験場報告 82: 1-52.
- 阿部一郎・赤井隆・米村賢一 1941. 昭和 15 年酒造年度試験仕込試験報告 85: 1-56.
- 赤井隆・高橋正男・米村賢一 1973. 北海道産米の性状と成分について. 北海道立工業試験場報告 207: 1-15.
- 安積大治 2011. 米の品質食味 衛星タンパクマップの活用. 北海道の米づくり. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 116-118.
- 荒木均・今野一男・三浦清之・永野邦明・浜村邦夫・大内邦夫・西村実 2002. 酒米用の水稻新品種「初雫」. 北海道農研報 174: 83-97.
- 江幡守衛・長戸一雄 1960. 心白米に関する研究 第 3 報 胚乳澱粉細胞組織の発達と心白との関係. 日作紀 29: 93-96.
- 藤野賢治・野々上慈徳・山内歌子・矢野昌裕 2003. 北海道のイネ品種の出穂日に関与する感光性遺伝子の同定. 育種・作物学会北海道談話会会報 44: 17-18.
- 藤野賢治・関口博史 2006. イネ育種における HD1 遺伝子近傍の選抜. 育種・作物学会北海道談話会会報 47: 11-12.
- 後藤英次 2007. 北海道における高品質米生産に関する土壌化学性と合理的施法の研究. 北海道立農業試験場報告 116: 14-48.
- 花本秀生 1976. 清酒製造過程における酒造米の適性評価法. 育種学最近の進歩 17: 55-60.
- 畠山俊彦 1994. 秋田県における酒米育種の新展開. 醸協 89: 6-12.
- 星川清親 1975. X I 登熟 1. 米粒の発達. 解剖図説 イネの生長. 農文協, 東京. 263-278.
- 星川清親 1980. (9) 穎花 i 米粒の発達. 新編 食用作物学. 養賢堂, 東京. 70-78.
- 兵庫県酒米研究グループ編 2010. 山田錦物語 人と風土が育てた日本一の酒米. 神戸新聞総合出版センター, 神戸. 2-32.
- 家村芳次・松永恒司・山下智子・池上勝・原唱道 1996. 小型精米機による各種酒米品種の精米特性評価. 醸協 91: 592-600.
- Ichitani, K., Y. Okumoto and T. Tanisaka 1997. Photoperiod sensitivity gene of Se-1 locus found in photoperiod insensitive rice cultivars of the northern limit region of rice cultivation. Breed. Sci. 47: 145-152.
- 五十嵐俊成・安積大治・竹田一美・島田悟 2005. 北海道産米のタンパク質含有率に及ぼす栽培条件の影響. 北農 72: 16-25.
- 五十嵐俊成 2011. 外観品質を左右する要因と向上対策. 北海道の米づくり. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 89-95.
- 池上勝・世古晴美 1995. 酒米育種における最近の取り組みと成果. 育種学最近の進歩 37: 49-52.
- 池上勝・世古晴美 2000. 兵庫県北部における極早生品種の玄米品質と気象との関係. 兵庫農技総セ研報 (農業) 48: 12-17.
- 池上勝・吉田晋弥・中村千春・上島脩志 2003. 選抜反応から推定した酒米品種「山田錦」の心白発現の遺伝. 育種学研究 5: 9-15.
- 池上勝・西田清数 2008. 放射線突然変異を利用した「兵系酒 18 号」の育成経過と育種的利用. 兵庫農技総セ研報 (農業) 56: 39-53.
- 池上勝・藤本啓・小河拓也・三好昭宏・矢野義昭・土田利・平川嘉一郎 2015. 兵庫県における「山田錦」の玄米品質と気象との関係. 日作紀 84: 295-302.
- 生原長胤 1926. 北海道産米の精白について (第 1 報). 北海道立工業試験場報告 7: 1-57.
- 生原長胤 1928a. 北海道産米の精白について (第 2 報). 北海道立工業試験場報告 16: 1-19.
- 生原長胤 1928b. 北海道産米清酒醸造法について (第 1 報). 北海道立工業試験場報告 18: 1-58.
- 生原長胤 1931. 醸造用米の研究 (第 1 報). 主として北海道米の理化学性について. 北海道立工業試験場報告 33: 1-57.
- 生原長胤・多田与造 1933. 醸造用米の研究 (第 2 報). 主として北海道米の理化学性について. 北海道立工業試験場報告 46: 1-61.
- 稲津脩・佐々木忠雄・新井利直 1982. 長内俊一 監修 お米の味 北農会. 札幌. 57-59.
- 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: 43-58.
- 伊藤清 1992. 酒米の微細構造と消化性. 醸協 87: 497-502.
- 岩田俊昭 2011. II 北海道稲作の生い立ちと水稻生育の特徴. 北海道の米づくり. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 7-15.
- 梶原靖久・田中一生・田中英彦・大坪耕介・岩間和人・寺内方克 2004. 北海道水稻主要栽培品種間における窒素反応性の差異一特に, 多窒素条件下での子実収量. 育種・作物学会北海道談話会会報 45: 17-18.
- 梶原靖久・田中一生・田中英彦・大坪耕介・岩間和人・寺内方克・実山豊 2005a. 北海道水稻主要品種における収量性と品質の相互作用～窒素施肥量に対する反応性～. 日作紀 74 (別 2): 26-27.

- 梶原靖久・平山裕治・田中一生・田中英彦・清水博之・岩間和人 2005b. 北海道水稲主要栽培品種・育成系統における 2005 年度の多収要因—乾物生産と収量構成要素—。育種・作物学会北海道談話会会報 46: 71-72.
- 上島脩志 1981. 酒米に関する育種学的研究: II. F_2 集団における心白発現率, 玄米粒重および稈長の分離と, それら諸形質間の相互関係. 神戸大学農学部研究報告 14 (2): 265-272.
- 菊地治巳 1997. 1. 水稲耐冷性育種の成果と展望. 北海道の育種指定試験における耐冷性育種の成果と展望. 北海道立農業試験場資料 27: 5-17.
- 木下雅文・佐藤毅 2004. 登熟気温の差異が北海道水稲品種のアミロース含有率に及ぼす影響. 育種・作物学会北海道談話会会報 45: 19-20.
- 木下雅文・沼尾吉則・佐藤毅 2007. 北海道産米と府県産米との食味の違いに関する理化学的解析. 育種・作物学会北海道談話会会報 48: 27-28.
- 木下雅文 2013. 北海道における新旧水稲品種の食味官能評価と理化学特性. 北農 80: 10-18.
- 木曾邦明・野本秀正・佐川浩昭・今村利久 1989. 北海道産米「ゆきひかり」を使用した清酒醸造試験. 醸協 84: 630-632.
- 小林和幸 2004. 加工用原料米育種における効率的な特性評価法の開発と実用育種への適用. 新潟農総研報 7: 52-82.
- 小林和幸・金田智・松井崇晃・石崎和彦・鍋倉義仁・渡邊健一 2006. 水稲酒米新品種「越端麗 (こしたんれい)」の開発と新潟県の酒米育種. 育種学研究 8: 55-61.
- 近藤頼巳 1944. 水稲に於ける栽植密度の増加に就いて. 農及園 19: 667-674.
- 小関卓也・奥田将生・米原由希・八田一隆 2004. イネ登熟の高温が醸造適性に及ぼす影響. 醸協 99: 591-596.
- 工藤晋平・松田義弘・石垣浩佳・安食雄介・村岡義之・小関敏彦 2007. 「出羽燦々」の酒米分析結果と気象条件等との相関関係について. 山形県工業技術センター報告 39: 53-58.
- 熊谷知栄子・黒柳嘉弘・秋山裕一・野白喜久雄 1976. 清酒原料白米の吸水に関する研究 (第 2 報) 恒湿条件下での白米水分と吸水率の変化. 醸協 71: 788-791.
- 熊谷知栄子・萩原康成・福光松太郎・秋山裕一 1980. 清酒原料白米の吸水に関する研究 (第 4 報) 吸水率と産地および品種の関係. 醸協 75: 55-60.
- 前川季義・入江経明・米崎治男 1976. 酒米適性についての研究 (第 7 報). 醸協 71: 395-397.
- 前重道雅・小林信也 2000. 最新日本の酒米と酒造り. 養賢堂, 東京. 1-319.
- 真木太一 1979. 防風網による水田の昇温効果. 農業気象 34: 165-176.
- 眞崎聡・畠山俊彦・加藤武光・松本眞一・川本朋彦 2006. 水稲新品種「秋田酒こまち」の育成. 秋田県農試研報 46: 1-20.
- 松江勇次 2004. 福岡オリジナルソフト清酒用酒造用米の開発. 県育成酒米品種を用いた福岡オリジナル清酒の開発. 財団法人福岡県産業・科学技術振興財団 産学官共同研究開発事業 研究成果報告書 1-6.
- 松永恒司 1997. 心白が麴に与える影響. 第 21 回酒米懇談会講演要旨集 33-40.
- 松島省三・山口俊二・真中多喜夫・岡部俊・小松展之 1953. 水稲収量予察の作物学的研究 (予報) X. 千粒重の予察 (1) X I 稔実歩合の予察. 日作紀 23: 41-46.
- 松崎昭夫 1997. 収量構成要素の予測 穂数の予測. 農学大事典 養賢堂, 東京. 1460.
- 長沼孝多・上野直也・木村英生・小嶋匡人・石井利幸 2012. 山梨県産酒造米の登熟期気温と蒸米酵素消化性との関連. 山梨県総合理工学研究機構研究報告書 7: 11-13.
- 中村啓二・小牧正子・黒田晃・永昌秀樹・高瀬裕章・大西良祐・小澤隆司・島田多喜子・大谷基泰 2005. 山田錦の醸造特性を目標とした酒米品種育成. 石川農総研報 26: 17-22.
- 西田清数・山根国男・佐村薫・岩井正志・五百蔵義弘・須藤健一・曳野玄三夫 1987. 酒米新品種「兵系酒 38 号」の育成. 兵庫農技総セ研報 35: 1-8.
- 西田清和 1992. 第 4 章 加工米品種の育種 5. 酒米. 櫛淵欽也監修 日本の稲育種. 農業技術協会, 東京. 208-222.
- 西山岩男 1987. 第 1 章 イネの冷害 イネの冷害生理学. 北海道大学図書刊行会. 札幌. 1-11.
- 野本秀正・高橋康次郎 1992. 新道産米と統一銘柄酒の商品化. 醸協 87: 168-175.
- 農林水産省大臣官房室統計部編 2012. 全国農業地域別・都道府県別累年統計 (平成 24 年産) 水稲. 平成 24 年産作物統計 (普通作物・飼料作物・工芸作物). 農林統計協会, 東京. 140-143.
- 岡田穂積 1927. 酒造用麴に関する研究 (第 1 報). 酒造用麴の製造工程にともなう糖化酵素の増殖について. 北海道立工業試験場報告 8: 1-23.
- 岡崎直人・君塚敦・木崎康造・小林信也 1989. 酒造原料米の醸造適性と気象条件の関係. 醸協 84: 800-806.
- 奥田将生 2010. 猛暑の年は酒粕が多くなる? 気象データによる清酒醸造用原料米の性質予測. 化学と生物 48: 517-519.
- 奥田将生・橋爪克己・上田みどり・沼田美代子・後藤奈美・三上重明 2010. イネ登熟気温と醸造用原料米のデンプン特性の年次・産地間変動. 醸協 105: 97-105.
- 太田和也・星野徹也・西川康之・在原克之・小山豊 2005. 高品質な酒造原料米生産のための「総の舞」の生育特性の解明. 千葉農総研研報 4: 77-86.
- 尾崎洋人 2008. 平成 20 年に普及に移される新品種「上育 453 号」. 北農 75: 134-135.

- 佐伯宏・白石常夫・西川久雄・赤井隆 1973. 北海道産米による清酒醸造試験 (第 5 報) 製成酒の分析成分, きき酒結果, 製造時の所見ならびに製造諸歩合について. 醸協 68: 47-51.
- 佐村薫 1976. 酒米品種の育成と問題点. 育種学最近の進歩 17: 61-66.
- 佐々木多喜雄・佐々木一男・柳川忠男・沼尾吉則・相川宗嚴 1990. 水稻新品種「きらら 397」の育成について. 北海道立農業試験場集報 60: 1-18.
- 佐々木亮・後藤英次 2009. 酒造好適米「吟風」「彗星」向けの品質目標, 生育指標および栽培技術. 平成 20 年 新しい研究成果—北海道地域— 農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター: 120-125.
- 佐々木亮・後藤英次 2010. 北海道における出穂期前後の気温が水稻の収量や産米品質に及ぼす影響. 日作紀 79 (別 2): 20-21. 研究成果情報 北海道農業 Vol. 2008: 198-199.
- Satake, T., S. Y. Lee, S. Koike and K. Kariya 1987. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XX VII Effect of water temperature and nitrogen application before the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Jpn. J. Crop Sci. 56: 404-410.
- 関口久雄・稲津脩・宮森康雄・柳原哲司 1986. アミロース含有率の異なる水稻の酒造適性に関する研究. 土壤肥料に関する試験成績書. 20: 90-98.
- 世古晴美 2000. 兵庫県の「山田錦」. 最新日本の酒米と酒造り. 養賢堂, 東京. 14-22.
- Shimono, H., T. Hasegawa, T. Kuwagata and K. Iwama 2007. Modeling the effects of water temperature on rice growth and yield under a cool climate. II. Model application. Agron. J. 99: 1338-1344.
- 新橋登・前田博・國廣泰史・丹野久・田縁勝洋・木内均・平山裕治・菅原圭一・菊地治己・佐々木一男・吉田昌幸 2003. 水稻新品種「ほしのゆめ」の育成. 北海道立農試集報 84: 1-12.
- 鈴木重一郎・田中清寿・芝田喜三代 1934. 酒造米に関する一二の研究 (附 糖化に及ぼす酸量の影響に就いて). 醸造研究所報告 119 (8).
- 高橋正男・赤井隆・西川久雄 1972. 北海道産米による清酒醸造試験 (第 4 報) 玄米および白米の無機成分について. 醸協 67: 237-241.
- 高橋正男 1993. 北海道の酒造原料米について. 全国各地の酒造原料米事情 酒米の品種. 国税庁・醸造研究所酒米研調査研究チーム編. 224-226.
- 武田和義・斎藤健一 1980. イネの粒大を支配する主働遺伝子. 育種学雑誌 30: 280-282.
- 滝田正 1985. イネの粒大の遺伝および粒大と諸形質との関係. 農研センター研報 3: 55-71.
- 田口章一 2011. VI 北海道の気象条件の特徴. 北海道の米づくり (2011 年版). 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 62-75.
- 田中豊・垂水共之 1986. 11. 共分散分析 (I) — 1 因子実験 パソコン統計解析ハンドブック III 実験計画法編. 共立出版. 東京. 141-442.
- 田中一生・前川利彦・菊池治己 1999. 1999 年高温年における北海道水稻品種の食味特性について. 育種・作物学会北海道談話会会報 40: 35-36.
- 田中一生・尾崎洋人・越智弘明・品田裕二・沼尾吉則・宗形信也・萩原誠司・前田博・佐々木忠雄・本間昭・吉村徹・太田早苗・鴻坂扶美子 2008. 水稻新品種「ふっくりんこ」の育成. 北海道立農業試験場集報 92: 1-13.
- 田中一生・平山裕治・菅原彰・吉村徹・前田博・本間昭・相川宗嚴・田縁勝洋・丹野久・菅原圭一・宗形信也・柳原哲司 2011. 水稻新品種「彗星」の育成. 北海道立農業試験場集報 95: 1-12.
- 田中一生・平山裕治・丹野久 2015. 北海道と兵庫県の酒造好適米における農業特性と酒造適性の比較. 日作紀 84: 182-191.
- 丹野久・吉村徹・本間昭・前田博・田縁勝洋・相川宗嚴・田中一生・佐々木忠雄・太田早苗・沼尾吉則・佐々木一男・和田定・鴻坂扶美子 2002. 酒造好適米新品種「吟風」. 北海道立農業試験場集報 82: 1-10.
- 丹野久 2010. 寒地のうるち米における精米蛋白質含有率とアミロース含有率の年次間と地域間の差異およびその発生要因. 日作紀 79: 16-25.
- 丹野久 2011. IX 冷害の発生と対策. 北海道の米づくり (2011 年版). 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 209-218.
- 丹野久 2012. 地球温暖化が道内主要農作物に及ぼす影響とその対応方向 (2030 年代の予測). 2. 水稻における影響予測. 北農 79: 72-81.
- 東条山田錦フェスタ実行委員会 2006. 東条の山田錦: 日本一の酒米ができるまで. 共同刊行: 東条山田錦フェスタ実行委員会, 兵庫県加東市 1-214.
- 泊功・石黒忠之・藤原忠 1980. 防風施設による冷害気象改善に関する研究. 北海道農試研報 127: 31-76.
- 富永一哉 1998. 北海道産米の酒造適性についての小仕込試験. 北海道立食品加工研究センター報告 3: 73-74.
- 山崎信弘・岩崎徹夫・藤村稔彦 1982. 防風網と稲の生育. 北農 49: 1-14.
- 山崎信弘 1994. III. 地域別の被害実態と克服事例. 1 道央地域. 平成 5 年北海道における農作異常気象災害に関する緊急調査報告書 稲作編. 北海道立農業試験場資料 22: 37-46.
- 柳原哲司 2002. 北海道米の食味向上と用途別品質の高度化に関する研究. 北海道立農業試験場報告 101: 5-12.
- 柳原哲司 2011. 食味向上対策. 北海道の米づくり. 社団

- 法人北海道米麦改良協会, 札幌. 102-111.
- 柳沢朗 2010. 平成 21 年 主要農作物作況. 北農 77: 68-72.
- 柳内敏靖 1996. 酒米特性に及ぼす酒造好適米の心白の影響: 原料米の酒造適性に関する研究 (第 2 報). 生物工学会誌 74: 97-103.
- 米原由希・小関卓也・奥田将生・荒巻功・橋爪克己 2005. イネ登熟の低温が醸造適性に及ぼす影響. 醸協 100: 650-657.
- 米崎治男 1976. 酒米の醸造適性について. 育種学最近の進歩 17: 61-66.
- Yoshida, S., M. Ikegami, J. Kuze, K. Sawada, Z. Hashimoto, T. Ishii, C. Nakamura and O. Kamijima 2002. QTL analysis of plant and grain characters of sake-brewing rice using a doubled haploid population. Breeding Sci. 52: 309-317.
- 吉村徹・丹野久・菅原圭一・宗形信也・田縁勝洋・相川宗嚴・菊地治己・佐藤毅・前田博・本間昭・田中一生・佐々木忠雄・太田早苗・鴻坂扶美子 2002. 水稻新品種「ななつぼし」の育成. 北海道立農業試験場集報 83: 1-10.
- 吉沢淑・石川雄章・浜田由紀夫 1973. 酒造米に関する研究 (第 3 報) 精白米の諸性質間の相関. 醸協 68: 767-771.
- 吉沢淑・石川雄章・今村一臣・武田莊一・藤江勇 1974. 酒造米に関する研究 (第 4 報) 米の吸水性と消化性, 老化性について. 醸協 69: 315-318.
- 吉沢淑・石川雄章 1974. 酒造米の性質とその処理 (その 1). 醸協 69: 645-650.
- 吉沢淑・百瀬洋夫・石川雄章 1979. 米粒の構造と消化性に関する研究 (第 8 報) 米粒及び米粉の消化性. 醸協 74: 190-193.
- 吉沢淑・百瀬洋夫・蓮尾徹夫 1981. 米粒の構造と消化性に関する研究 (第 12 報) 米澱粉のアミロース含量と消化性の品種による差異. 醸協 76: 557-560.
- 和田定 1992. 2.2 障害型冷害とその要因 6) 耐冷性の品種間差. 水稻の冷害. 養賢堂, 東京. 102-113.
- 渡邊祐志 2011. V 北海道の水田土壌の特徴. 北海道の米づくり (2011 年版). 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 52-61.

摘 要

2012 年現在、北海道産の酒造好適米（酒米）は、北海道の酒造会社での清酒原料の約 50%に使用され、東北以南の酒造会社でも使用されている。しかし、兵庫県産の「山田錦」並に高い酒造適性の評価は得られていない。また、北海道の酒米品種の栽培面積は約 300 ha で、北海道での水稻の栽培面積の 0.3%にも満たない。今後、北海道内外の酒造会社での北海道産の酒米の評価を高めて、需要及び栽培面積を拡大するためには、高品質で酒造適性の優れた酒米を安定生産する必要がある。

本研究では、北海道で育成した酒米品種における農業特性と酒造適性の関連指標の改善を目的として、これらの形質について、兵庫県の酒米品種と比較することにより、優点と欠点を明らかにした。また、産地間・品種間差異を検討し、さらに、年次変動に及ぼす気象条件の影響について解析した。最後に、これらの形質の改善に対する、これまで北海道の食用米品種で行われてきた栽培技術と育種方法の適応性について検討した。

1. 北海道と兵庫県の酒米品種における農業特性と酒造適性の関連指標の比較

北海道の酒米品種の「吟風」、「彗星」および「きたしずく」は、兵庫県の酒米品種の「山田錦」、「五百万石」および「兵庫北錦」に比べて、1 穂粒数が少なく、千粒重が軽かった。しかし、 m^2 当たり穂数および総粒数が多いため多収であった。また、稈長が短いため倒伏程度が小さかった。さらに、腹白率が低いため玄米品質が優れ、砕米率が低く、大吟醸酒等の特定名称酒の製造に關係する高度精白適性が高いと推察した。

一方、北海道の酒米品種は、兵庫県の酒米品種に比べて、千粒重が軽く、20 分吸水率と蒸米吸水率が低く、窒素施肥量が多いため粗タンパク質含有率が高く劣った。以上のことから、北海道の酒米品種の改善目標は、千粒重の増加、20 分吸水率と蒸米吸水率の向上、および粗タンパク質含有率の低下であることを示した。

2. 北海道で育成した酒米品種の農業特性と酒造適性の関連指標の産地間・品種間差異

玄米収量は、岩見沢市と比布町ともに、「吟風」および「彗星」の方が食用米品種の「ゆめぴりか」および「ななつぼし」より多く、「吟風」の方が「彗星」より少なかった。これらの要因について収量構成要素に分けて検討した。酒米 2 品種は食用米 2 品種に比べて、 m^2 当たり穂数が少なく、1 穂粒数が多く、 m^2 当たり総粒数は少なかった。また、不稔歩合は有意な品種間差異がなかったため、 m^2 当たりの稔実総粒数は、酒米 2 品種の方が食用 2

品種より少なかった。しかし千粒重は、酒米 2 品種の方が重かった。これらのことから、酒米 2 品種の方が食用米 2 品種より玄米収量の多かった主要因は、千粒重が重かったことであると考えられた。

次に、「吟風」と「彗星」の玄米収量の差異について検討した。 m^2 当たり穂数は有意な品種間差異がなかった。1 穂粒数は、「吟風」の方が「彗星」より多かった。しかし、 m^2 当たり総粒数は有意な品種間差異がなかった。また、「吟風」は「彗星」に比べて不稔歩合が高く、千粒重が軽かった。これらのことから、「吟風」の方が「彗星」より玄米収量の少なかった主要因は、不稔歩合が高く、千粒重が軽かったことであると考えられた。

粗タンパク質含有率は、岩見沢市の方が比布町より、「吟風」の方が「彗星」より、それぞれ高かった。また、産地間差異の方が品種間差異より大きかった。その主要因は、岩見沢市と比布町の土壌が、グライ土と褐色低地土で異なるため、土壌の産地間差異であると考えられた。また平均風速は、生育期間を通じて、岩見沢市の方が比布町より大きかった。このことも粗タンパク質含有率が高かったことに関係したと推察した。以上のことから、低タンパク質な酒米生産のためには、食用米生産と同様に産地と品種の選定が重要であると考えられた。

20 分吸水率と心白発現率は、「吟風」の方が「彗星」より高く優れた。また、心白発現率が高くなると 20 分吸水率は上昇する傾向を示したことから、「吟風」の方が「彗星」より 20 分吸水率の高かった要因の一つは、心白発現率が高かったことであると推察した。蒸米吸水率は有意な産地間・品種間差異が認められなかった。

各形質について兵庫県の「山田錦」と比較したところ、いずれの産地でも「吟風」と「彗星」は、耐倒伏性が強く、玄米収量が多く、玄米品質が優れた。しかし、いずれの産地でも、千粒重が軽く、粗タンパク質含有率が高く、20 分吸水率および蒸米吸水率が低かった。これらの形質は、「山田錦」等を交配親に用いて、千粒重と粗タンパク質含有率では、食用米品種と同様に、20 分吸水率および蒸米吸水率では、醸造用原料米全国統一分析の結果を選抜に利用して、育種により改善する必要があると結論した。

3. 北海道で育成した酒米品種の農業特性と酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす気象条件の影響

「吟風」と「彗星」の農業特性と酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす気象条件の影響の品種間差異について検討した。農業特性では、「ゆめぴりか」および「ななつぼし」との比較も行った。気象条件は毎日の最高気温、最低気温、平均風速および日照時間に基づく推定日射量

で、調査時期は出穂期前後 80 日間を 10 日間隔で区分した 8 時期とした。

不稔歩合の年次変動は、4 品種ともに農業特性の中で最も大きく、品種間では「吟風」が最も大きく、「彗星」が最も小さかった。本研究の調査期間中、2009 年は冷害年であり、不稔歩合は、4 品種ともに 2009 年と他の年次との差異が大きかった。また、不稔歩合は、4 品種ともに出穂期 -19 ~ -10 日 (-II 期) の最高気温との間に強い負の相関関係が認められた。-II 期は、4 品種ともに冷害危険期の穂ばらみ期に重なることから、2009 年の -II 期の最高気温は不稔歩合に大きく影響を及ぼし、このことが不稔歩合の年次変動が最も大きかった要因の一つであると推察した。また、2009 年と他の年次との不稔歩合の差異は、「吟風」が最も大きく、「彗星」が最も小さく、穂ばらみ期耐冷性の品種間差異と一致した。これらのことから、耐冷性の品種間差異は、2009 年と他の年次との不稔歩合の差異に影響を及ぼし、このことが、不稔歩合の年次変動に品種間差異が生じた主要因であると推察した。

千粒重の年次変動は、4 品種ともに農業特性の中で最も小さかった。千粒重は、4 品種ともに -II 期の最高気温との間に、酒米 2 品種では、出穂後 +11 ~ +20 日 (+II 期) の最高気温との間に、それぞれ強い正の相関関係が認められた。また、2009 年の千粒重は、4 品種ともに他の年次の千粒重に比べて大きく低下しなかった。このことが、千粒重の年次変動が形質間で最も小さかった要因の一つであると考えられた。

酒造適性の関連指標の年次変動は、心白発現率が最も

大きく、次に粗タンパク質含有率が大きく、20 分吸水率と蒸米吸水率は比較的小さかった。「吟風」の粗タンパク質含有率は、-II 期の最高気温との間に強い負の相関関係が、「彗星」の心白発現率は、-II 期の最高気温との間に強い正の相関関係が、それぞれ認められた。酒米 2 品種の 20 分吸水率は、+II 期の最高気温との間に強い負の相関関係が認められた。「彗星」の蒸米吸水率は、出穂期 +21 ~ +30 日 (+III 期) の最高気温との間に強い負の相関関係が認められた。

これらの結果から、-II 期が高温の年次は、酒米 2 品種の千粒重が増加し、「吟風」の粗タンパク質含有率が低下し、「彗星」の心白発現率が増加する可能性が高いと推察した。また、+II 期が高温の年次は、酒米 2 品種の千粒重が増加し、20 分吸水率が低下し、+III 期が高温の年次は、「彗星」の蒸米吸水率が低下する可能性が高いと推察した。各時期の最高気温と酒造適性の関連指標との関係に関する情報は、両品種を使用する北海道内外の酒造会社に対して、酒造前に提供されることによって、酒造上の参考となると考えられた。さらに、北海道で不稔発生の防止のために奨励されている -II 期を含む期間の深水かんがいは、酒米 2 品種では千粒重の低下を、「吟風」では粗タンパク質含有率の上昇を、「彗星」では心白発現率の低下を、それぞれ防ぐ効果がある可能性がある。

以上、本研究で明らかにした北海道で育成した酒米品種における農業特性と酒造適性の関連指標に関する知見は、北海道での高品質で酒造適性に優れた酒米の安定生産を可能とする栽培技術に寄与するとともに、今後の酒米育種の基礎資料に利用できる。

Studies on the agricultural characteristics and suitability for sake brewing of rice varieties bred in Hokkaido, Japan

Kazuo Tanaka

Summary

As of 2012, the rice varieties for sake brewing in Hokkaido are used for approximately 50% of the rice used for sake brewing in the sake breweries in Hokkaido, and these varieties are used even in the sake breweries south of Tohoku prefecture. However, the suitability for sake brewing of rice in Hokkaido has not been evaluated as much as that of ‘Yamadanishiki’, which is known to be highly suitable for sake brewing, and was cultivated in Hyogo prefecture. The cultivation area of rice suitable for sake brewing in Hokkaido is approximately 300 ha, which is less than 0.3% of that of the paddy rice in Hokkaido. It is necessary to raise the evaluation level of the suitability for sake brewing of the rice varieties in Hokkaido and to increase the demand and cultivation area of rice varieties for sake brewing in Hokkaido.

In this study, I revealed the positive and negative characteristics of the rice varieties for sake brewing bred in Hokkaido in comparison with those cultivated in Hyogo prefecture, to improve the agricultural characteristics and parameters of sake brewing aptitude of rice varieties for sake brewing. In addition, I examined the regional and varietal differences in agricultural characteristics and parameters of sake brewing aptitude of rice varieties for sake brewing in Hokkaido. I then analyzed the year-by-year variation of the agricultural characteristics and parameters of sake brewing aptitude of the rice varieties for sake brewing, and also the related climatic conditions.

Finally, I discussed whether the cultivation and breeding methods used to improve the agricultural characteristics of table rice in Hokkaido can be used to improve the agricultural characteristics and parameters of sake brewing aptitude of rice varieties for sake brewing in Hokkaido.

1. Comparison of the agricultural characteristics and parameters of sake brewing aptitude of rice varieties for sake brewing cultivated in Hokkaido with those of rice varieties cultivated in Hyogo prefecture

The rice varieties for sake brewing, ‘Suisei’, ‘Ginpuu’ and ‘Kitashizuku’, cultivated in Hokkaido had smaller number of grains per head and lighter 1000 grain weight than those cultivated in Hyogo prefecture, ‘Yamadanishiki’, ‘Gohyakumangoku’ and ‘Hyogokitanishiki’, but had higher brown rice yield due to larger panicle number m^{-2} and total spikelet number m^{-2} . In addition, the varieties in Hokkaido showed lower lodging rate due to shorter culm length and superior brown rice quality due to lower white-belly rate and the lower cracked grain rate which elevates the polishing rate necessary to produce high quality sake such as ‘Daiginjo’.

On the other hand, the disadvantage of the Hokkaido varieties compared with Hyogo varieties was lighter 1000 grain weight, lower 20-minutes water absorption rate, lower steamed rice water absorption rate, and the higher crude protein content of grains. The higher crude protein content of rice for sake brewing in Hokkaido compared with that in Hyogo prefecture was considered to have been caused by the higher application rate of nitrogen fertilizer. Therefore, in order to improve the suitability for sake brewing of rice in Hokkaido, it is necessary to increase the 1000 grain weight, 20-minutes water absorption rate and steamed rice water absorption rate, and to decrease the crude protein content of grain.

2. Regional and varietal differences in agricultural characteristics and parameters of sake brewing aptitude of rice varieties for sake brewing bred in Hokkaido

The brown rice yield was higher in Hokkaido varieties for sake brewing ‘Ginpuu’ and ‘Suisei’ than in table rice varieties ‘Yumepirika’ and ‘Nanatsuboshsi’ cultivated in two regions of Hokkaido, Iwamizawa and Pippu, due to heavier 1000 grain weight, and it was lower in ‘Ginpuu’ than in ‘Suisei’ due to higher sterility rate and lighter 1000 grain weight.

The crude protein content of table rice cultivated in Iwamizawa was higher than that cultivated in Pippu, and the protein content of 'Ginpuu' was higher than that of 'Suisei'. However, the regional difference (between Iwamizawa and Pippu) was larger than the varietal difference (between 'Ginpuu' and 'Suisei'). Therefore, the selection of cultivation region and varieties are important to reduce the protein content of rice for sake brewing, as in table rice. The 20-minutes water absorption rate was higher in 'Ginpuu' than in 'Suisei' due to higher occurrence rate of white core rice. The steamed water absorption rate of rice did not significantly vary with the cultivation region or variety. The lodging resistance, brown rice yield and brown rice quality of the two Hokkaido rice varieties for sake brewing were superior to those of either of 'Yamanishiki' from Hyogo prefecture. However, the 1000 grain weight, crude protein content, 20-minutes water absorption rate and steamed water absorption rate of the two rice varieties for sake brewing in Hokkaido were inferior to those of 'Yamadanishiki'. Therefore, it is considered necessary to improve the 1000 grain weight and crude protein content by the same method as that for table rice varieties, and to improve the 20-minutes water absorption rate and steamed water absorption rate by using the data used for nationwide analysis of suitability for sake brewing of rice.

3. Influence of the climatic conditions on the agricultural characteristics and parameters of sake brewing aptitude of rice varieties for sake brewing bred in Hokkaido

I analyzed the year-by-year variation of the agricultural characteristics of two rice varieties for sake brewing 'Ginpuu' and 'Suisei' and two table rice varieties 'Yumepirika' and 'Nanatsuboshi' cultivated at Iwamizawa and Pippu in Hokkaido. I also analyzed the climatic conditions related to these characteristics, which are the daily highest temperature, lowest temperature, average temperature, and the solar radiation estimated from sunshine hours. The study period was a total of 80 days, consisting of eight successive 10-day periods before and after heading. The percentage sterility greatly varied with the year in all of the four varieties, and the variation was largest in 'Ginpuu' and smallest in 'Suisei'. In 2009, the year of this study, cold damage was severe, and the percentage sterility was significantly different from that in other years. There was a negative significant correlation between the daily highest temperature from 20 to 11 days before heading (–II period) and the percentage sterility. Because the –II period is the boot stage, the daily highest temperature at this stage was considered to influence the percentage sterility, and I consider this one of the reasons why the percentage sterility greatly varied with the year. The difference in the percentage sterility between 2009 and other years was largest in 'Ginpuu' and the smallest in 'Suisei'. Cold tolerance at the boot stage was also lowest in 'Ginpuu' and largest in 'Suisei'. Therefore, I consider that the varietal difference in cold tolerance brought about the difference in percentage sterility between 2009 and other years, and that this is the main reason for the varietal difference in the year-by-year difference of the percentage sterility.

The year-by-year variation of the agricultural characteristics was smallest in 1000 grain weight. There was a positive significant correlation between the daily highest temperature during the –II period and the 1000 grain weight in all four varieties, and between the daily highest temperature from 11 to 20 days after heading (+II period) and 1000 grain weight, in the two rice varieties for sake brewing. The 1000 grain weight in 2009 was not greatly different from that in the other years, and I considered that this was one of the reasons why the year-by-year variation of the agricultural characteristic was smallest in 1000 grain weight.

The year-by-year variation of the suitability for sake brewing was largest in white core rate followed by crude protein content. The variations in 20-minutes water absorption rate and steamed rice water absorption rate were relatively small. There was a negative significant correlation between the daily highest temperature in the – II period and the crude protein content in 'Ginpuu', and between the daily highest temperature in the + II period and 20-minutes water absorption rate in 'Ginpuu' and 'Suisei'. Furthermore, there was a significant negative correlation between the daily highest temperature from 21 to 30 days after heading (+III period) and the steamed rice water absorption rate in 'Suisei'. There was a significant positive correlation between the daily highest temperature in the – II period and white core rate in 'Suisei'.

From these results, in the year with high daily highest temperature during the –II, the 1000 grain weight was considered to increase in 'Ginpuu' and 'Suisei' and the crude protein content to decrease in 'Ginpuu'. In the year with high daily highest temperature during the +II period, the 1000 grain weight was considered to increase and

20-minutes water absorption rate to decrease in ‘Ginpoo’ and ‘Suisei’. In the year with high daily highest temperature during the +III period, steamed water absorption rate was considered to decrease in ‘Suisei’. Information on the relationship between the daily highest temperature and the parameters of sake brewing aptitude would be useful for sake breweries in districts other than Hokkaido, if they use the rice bred in Hokkaido. Furthermore, the deep water irrigation technology recommended for reducing the sterility of table rice was considered to increase the 1000 grain weight of ‘Ginpoo’ and ‘Suisei’, to reduce the crude protein content of ‘Ginpoo’ and to increase the white core rate in ‘Suisei’.

The findings on the agricultural characteristics and parameters of sake brewing aptitude of rice varieties for sake brewing bred in Hokkaido obtained in this study will contribute to the improvement of cultivation technology and stable production of high-quality rice for sake brewing in Hokkaido, and will be useful for breeding of the rice suitable for sake brewing in the future.