



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	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
Author(s)	田中, 一生
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第12709号
Issue Date	2017-03-23
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k12709
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/68582
Type	doctoral thesis
File Information	Kazuo_Tanaka.pdf



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

北海道大学 大学院農学院
生物資源科学専攻 博士後期課程

田中 一生

目 次

第1章 緒言	1
第1節 背景	1
第2節 既往の研究成果	9
第3節 本研究の目的	14
第2章 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比較	15
第1節 材料および方法	15
第2節 結果	16
第3節 考察	24
第3章 農業特性と酒造適性の産地間・品種間差異	30
第1節 材料および方法	31
第2節 結果	33
第3節 考察	41
第4章 農業特性と酒造適性におよぼす気象条件の影響	49
第1節 材料および方法	50
第2節 結果	51
第3節 考察	74
第5章 総合考察	85
摘 要	94
謝 辞	98
引用文献	100
Summary	109

第1章 緒言

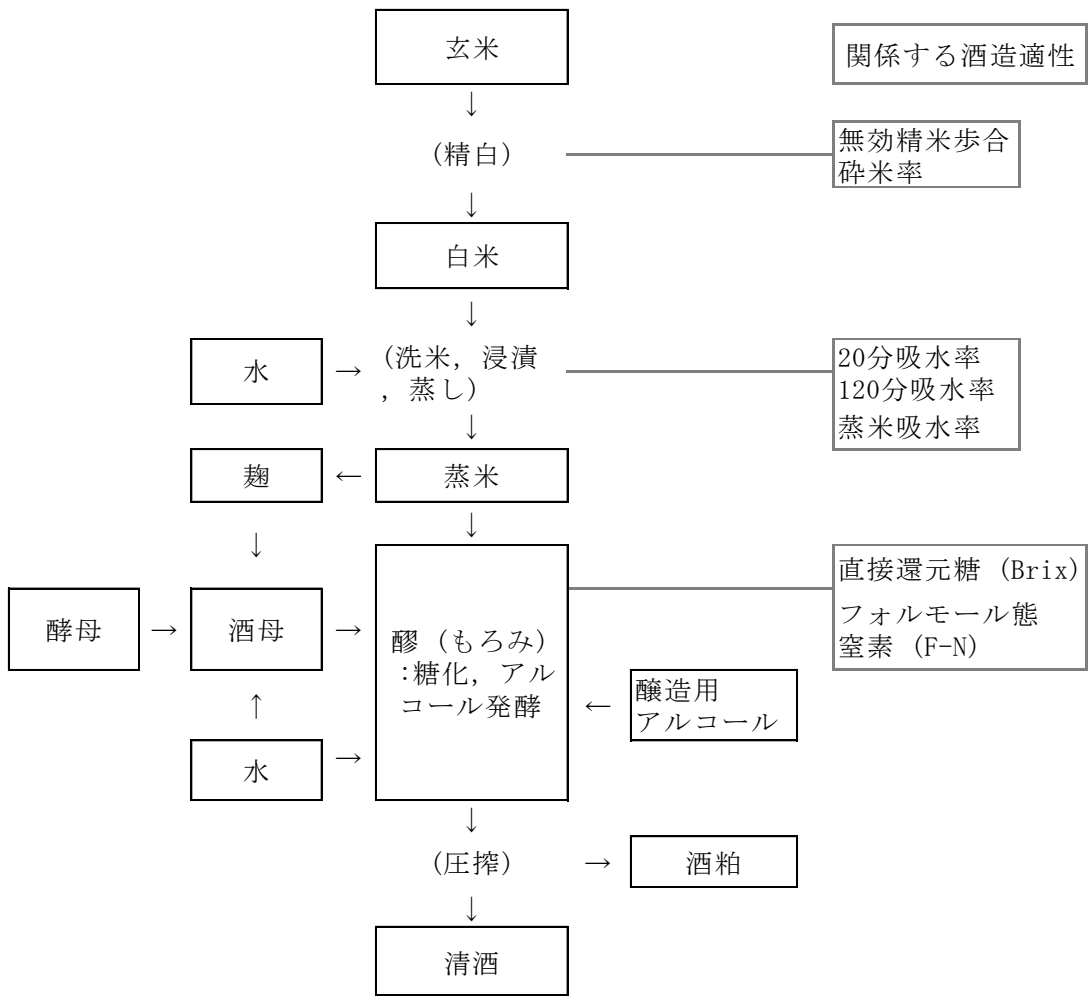
第1節 背景

清酒（日本酒）の原料は米である。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、米粒の中心部分に白色不透明に見える心白の発現が良好である（前重・小林 2000）。一方、食用米で心白が発現した米粒は心白粒に分類されて、乳白粒ととも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、一般の水稲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 年月 2 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、さらに特等（同 80～90%）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麴菌のハゼ込み（麴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, 米崎 1976, 松永 1997）。また、内部品質として、粗タンパク質含有率（以下、タンパク含有率）と脂肪含有率が低く、カリウムやリン酸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麴（蒸米に麴菌を混ぜ合わせ繁殖させたもの）や酒母（醗とも呼ばれ、麴、蒸米および水に酵母菌を加え培養し増殖したもの、清酒のもとになる）に多く使用され、その他の原料は掛米（かけまい）と呼ばれ、多くの場合には一般の食用米が使用される。酒造における酒米と掛米の使用割合はおよそ 3 対 7 で酒米の割合が小さいが、酒質におよぼす影響は酒米の方が大きい（前重・小林 2000）。

第 1-1 図に清酒の製造工程の概略と各工程に関係する酒造適性を示した。清酒のアルコールは麴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

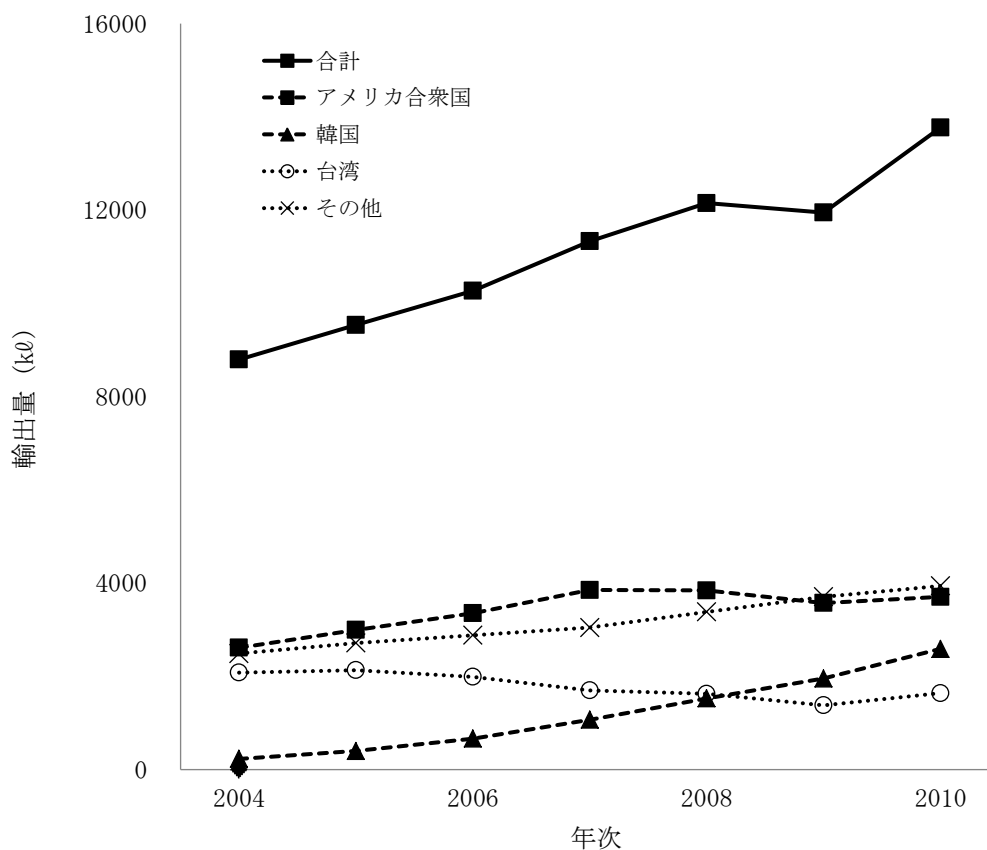
る (発酵). ビールやワインなどの他の酒類では, この糖化と発酵は別工程で行われるが, 清酒の場合は醪 (もろみ: 酒母に蒸米および水を加えて大型のタンクで発酵管理する) の中で, 糖化と発酵が同時に行われる (兵庫県酒米研究グループ 2010).



第1-1図 清酒の製造工程の概略と関係する酒造適性.

兵庫県酒米研究グループ2010, 図4 清酒の工程を改変.

酒米は、食用米に比べて一般にアミロース含有率が高いため食味が劣り、食用米への転用が難しい。酒米の生産量が酒造メーカー需要量を超えた場合は、酒米を加工用米や飼料米等に転用せざるを得ない。したがって、酒米は生産者と酒造メーカーとの契約栽培が一般的であり、食用米に比べて一般に高価格で取引されているので、農家にとって安定した収益を見込める品目である。例えば、2013年産の兵庫県産の玄米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「コシヒカリ」が16600円、同北海道産「ななつぼし」が14400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、酒米の兵庫県産「山田錦」（1936年、現兵庫県立農林水産技術総合センター酒米試験地で育成）は23600円（注：日本酒造組合中央会聞き取り）であった。食用米の需要が減っている状況下で、酒米はもち米とともに加工原料用途米としての需要量が多い（2014年度、日本酒用うるち米の使用量24万トンのうち酒米が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）。さらに第1-2図に示すように、清酒の輸出量はアメリカ合衆国向けを中心に増加しており、今後、米の需要量を拡大するための重要な品目の一つである。



第1-2図 清酒の国別輸出量の推移.
財務省「日本貿易統計」2011より作図.

第 1-1 表に示すように、2012 年での日本全国の酒米作付面積 14211 ha の中で、「山田錦」の作付面積は 4423 ha で、31.1%を占める。特に兵庫県で多く、全国での「山田錦」作付面積の 82%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）。兵庫県では「灘」を始めとして酒蔵メーカーが多く，清酒の生産量は 3772 t (2005 年) と日本一を誇り，「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，心白粒が約 80%みられる。また，玄米横断面でみた心白の形状が線状で，眼状の心白に比べて，砕米の発生が少なく高度精米に適している（江幡ら 1960，前重・小林 2000）。このため，高度精米が必要な吟醸酒等の特

定名称酒 (第 1-2 表) の原料に多く使われている。また、多くの酒米品種の交配親となっている (中村ら 2005, 小林ら 2006)。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、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、麴米の使用割合が 15%以上と定められている (第 1-2 表)。

第1-1表 酒造好適米品種別作付面積 (2012年)。

品 種 名	作付面積 (ha)	比率 (%)	主産地	育成地	育成年
山田 錦	4423	31.1	兵庫県, 福岡県	兵庫県立農事試験場	1936
五百万石	4265	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
上位10品種計	11258	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14211ha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。

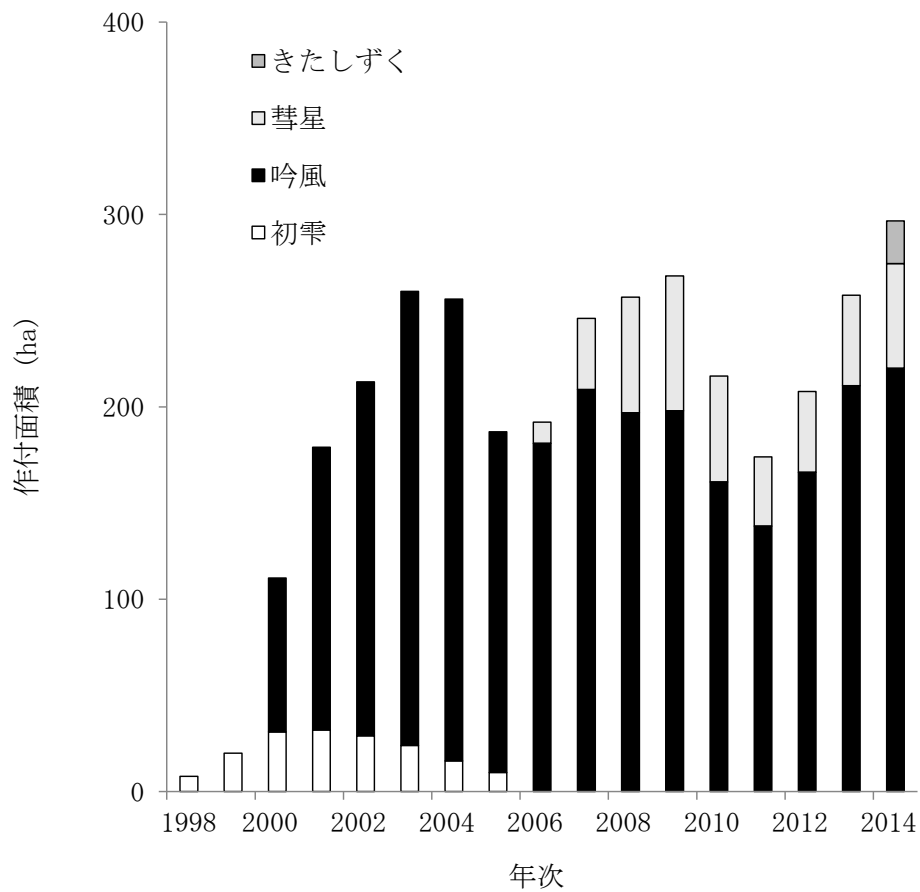
第1-2表 特定名称酒の分類.

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

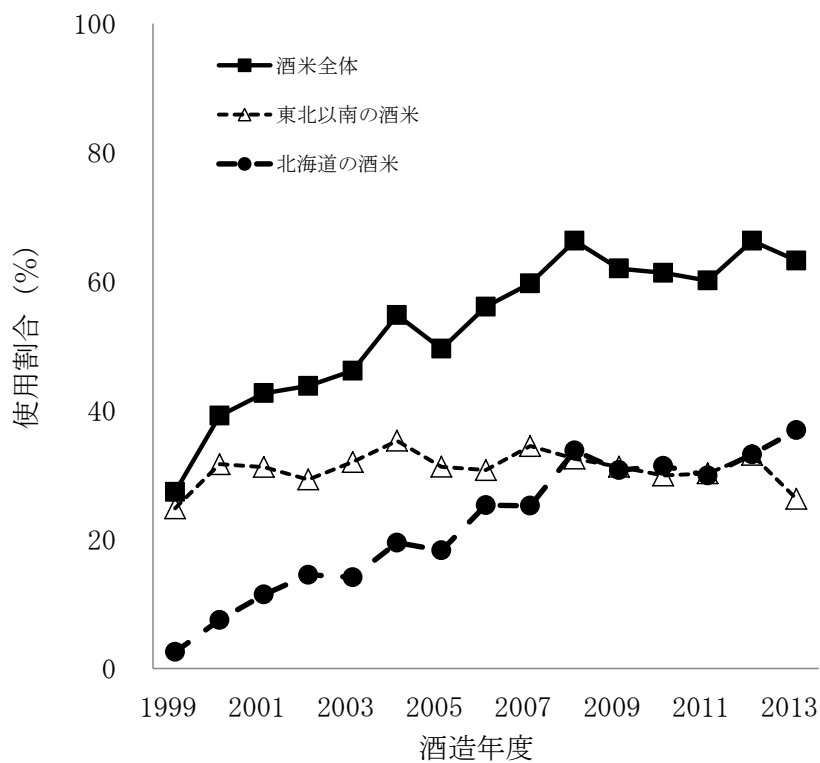
国税局2003年改正, 「清酒の製法品質表示基準」の概要より一部改変. 醸造アルコール: でんぷんや糖から醸造されたアルコール, 吟醸酒や本醸造酒に使用できる醸造アルコールの量は白米の重量の10%以下に制限. 吟醸酒: 精米歩合の高い白米を専用の優良酵母を用いて低温でゆっくり発酵させ, 特有な芳香 (吟香) を有するように醸造した酒.

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, 第 1-3 図に示したように, 2000 年以降に「吟風」(1999 年育成, 現・北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場, 以下, 中央農業試験場) の栽培面積が増えてからである. 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 (74.0%), 「彗星」が 55 ha (18.5%), 「きたしずく」が 22 ha (7.5%) である. 第 1-4 図に示したように, 北海道の酒造メーカーでの酒造原料に占める北海道の酒米の使用割合は 1999 年以降に増加し, 2008 年には東北以南の酒米使用割合と同等 (33.8%) となり, 2013 年には東北以南の酒米使用割合を上回った (37.0%). 2013 年以降, 北海道の酒造メーカーで北海道の酒米品種を 100%使用した清酒が全国の新酒鑑評会で毎年金賞を受賞している (酒類総合研究所, 日本酒造組合, 2003 年～2013 年).

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稻作付面積 112000 ha (農林水産省大臣官房統計部編作物統計 2012) の 0.3%未満であり, また, 全国の酒米品種の作付面積 14211 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, 酒米では 22%と低い (注: ホクレン農業協同組合連合会からの聞き取り, 2012 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 酒造原料米に占める酒米の使用割合の推移.

なお、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 年から毎年、日本全国から酒造用原料米を集めて、酒造適性に関する 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、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 15 項目の内、特に重要と考えられる以下の 10 項目を本研究での酒造適性の解析に利用した。これらの適性は清酒の製造過程で様々な影響をおよぼす (第 1-1 図)。また、本研究で用いた各酒造適性に関する分析値の説明は、第 1-3 表に示した。

第1-3表 酒造適性に関する用語。

用語	説 明
千粒重	一般に食用米に比べ重い傾向があり、24.5g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、精米歩留まりが高く、原料処理や製麴の操作がしやすい。「山田錦」では24.6～28.0g (水分13.8%) である。
無効精米歩合 砕米率	値が高いと精米歩留まりの低下をきたし、精米のタンパク質含有率が相対的に高くなるため、酒造適性が低い。
20分吸水率 120分吸水率 蒸米吸水率	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。これらは酵素による被消化性と高い相関関係を示し、高い方が低い方に対して良いとされる。
直接還元糖 (Brix)	直接還元糖である。米澱粉が麴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。この値が高いと消化性が良く、酒米として適することとなる。
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。この値が高いと消化性が良いが、高すぎると雑味等の酒質悪化の原因となるとされる。
粗タンパク質含 有率	タンパク質含有率であり、一般に低いものが良いとされ、値が低いと吸水速度が速くなる傾向にある。また、タンパク質は清酒の呈味成分、香気成分になるが、含有率の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	菌体量、酵素活性の間で正の相関関係が認められ、麴菌の増殖に関わる重要な成分とされている。ただし、多すぎると麴菌の増殖が過進するため製麴しにくいとされている。品種間差が大きく適量は明確ではないが、75%精米の「山田錦」では通常400～600ppm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、 $(5 \times \text{大心白粒数} + 4 \times \text{中心白粒数} + 2 \times \text{小心白粒数}) / (5 \times \text{調査粒数})$ から算出する。心白発現率および心白率が高い米は、麴菌の菌糸のハゼ込みが良好で、良い麴になるとされる。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やすい傾向がある。

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. 北海道の酒米品種育成以前における北海道産食用米での酒造適性の研究

北海道では、1998年に農林水産省北海道農業試験場（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、以下、北農研センター）で酒米専用品種「初雫」が育成された（荒木ら 2002）。それ以前では、食用米品種を用いて各種の酒造適性に関する研究が行われた。以下、「初雫」育成以前での研究内容を概説する。

1926年～1945年では、酒造原料に北海道産米を使用するために、食用米の酒造適性に関する研究が、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）を中心にして行われた（生原ら 1926, 1928, 1931, 1933, 1938, 岡田 1927, 阿部ら 1940, 1941）。北海道産の食用米を原料とした清酒では、貯蔵後の品質低下が大きく、その大きな原因としてタンパク含有率が高いことが指摘された（生原 1928）。1934年に全国の水稲 18 品種を用いて行われた麴の糖化試験では、北海道品種の「北海坊主 5 号」のアミノ酸と糖分は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（鈴木ら 1934）。

1950年代には北海道での食用米生産は安定し、道外への出荷が可能となった。しかし、北海道の酒造メーカーでの原料米は全て本州産であった。赤井ら（1961）は、北海道で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、北海道産の食用品種で酒造適性試験を行った。「巴まさり」（1951年、現北海道立総合研究機構農業研究本部道南農業試験場で育成）など一部の米品種は、東北以南産の酒米に比べて小粒であるが、食用米の中では粒厚が厚く大粒であった。しかし、玄米の糠層が厚く、溝が深く、タンパク含有率が高く、浸漬米の吸水速度が遅く、また蒸米の硬化速度が早く、総体的にみると酒米としての利用に適さなかった。

1969年に自主流通米制度が導入され、一部メーカーでは北海道産の食用米品種を用いた醸造試験を行ったが、鉄分の影響で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」を設立した．この会において，原料米の自主流通対策として，タンパク含有率の低下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)．北海道産の食用米品種は東北以南産の食用品種に比べて，カリウム含量が多いため製造時に醪 (もろみ) の温度が上昇して醗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 (赤井ら 1973)．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) の結果は大きな差がなかったと報告した．これらのことから，北海道産の食用米品種は品質向上によって酒造適性が改善したと指摘した (赤井ら 1973)．

1982 年に良食味の食用米品種「ゆきひかり」(1984 年，中央農業試験場) が育成され，その酒造適性が検討された (高橋 1993)．木曾ら (1989) は東北以南産の食用米品種で作られた麴と酒母を用いて，「ゆきひかり」の掛米としての酒造適性を調べた．「ゆきひかり」は作業性，発酵管理，製造酒の成分，品質では東北以南産の食用米品種と差がなかった．野本ら (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，東北以南産の食用米品種並にカリウム含量が低く，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 年～1993 年に北海道産の食用米品種と東北以南産の食用米品種を用いて少量の醸造試験 (小仕込み試験) を実施し，製造酒の粕中のタンパク質を分析した．北海道品種は東北以南品種に比べて，PB (プロテインボディー)-I のタンパク質に対して，清酒の官能検査の味に影響するとされる PB-II 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．また富永ら (1998) は，北海道の酒米育成系統，食用米品種および石川県産の酒米品種「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った．北海道の酒米育成系統は清酒の官能検査の評点とアミノ酸度から酒米と

して有望であると報告した。

以上のように、1970 年以降、北海道の食用米品種は、玄米品質やタンパク含有率等が育種によって改善されて酒造適性も向上した。また北海道の酒米育成系統は、酒米としての評価が良好であった。

2. 北海道での酒米育種

前節で述べた北海道産の食用米品種および酒米系統での酒造適性の評価は、あくまで掛米としての評価であり、麴米としての評価は行われなかった。北海道産米について麴米としての評価が本格的に行われたのは、酒米専用品種が育成されてからである。本節では酒米品種の育成について概説する。

東北以南において、明治期以前に民間育種家の手によって育成された「雄町」(1908 年、岡山県で優良品種に認定) 等の酒米品種を交配親に用いて、酒米育種が 100 年以上前から行われ (前重・小林 2000)、「山田錦」をはじめ、「五百万石」および「美山錦」(1978 年、長野県農業試験場育成) 等の酒造適性の優れる酒米品種を数多く育成してきた (第 1-1 表)。

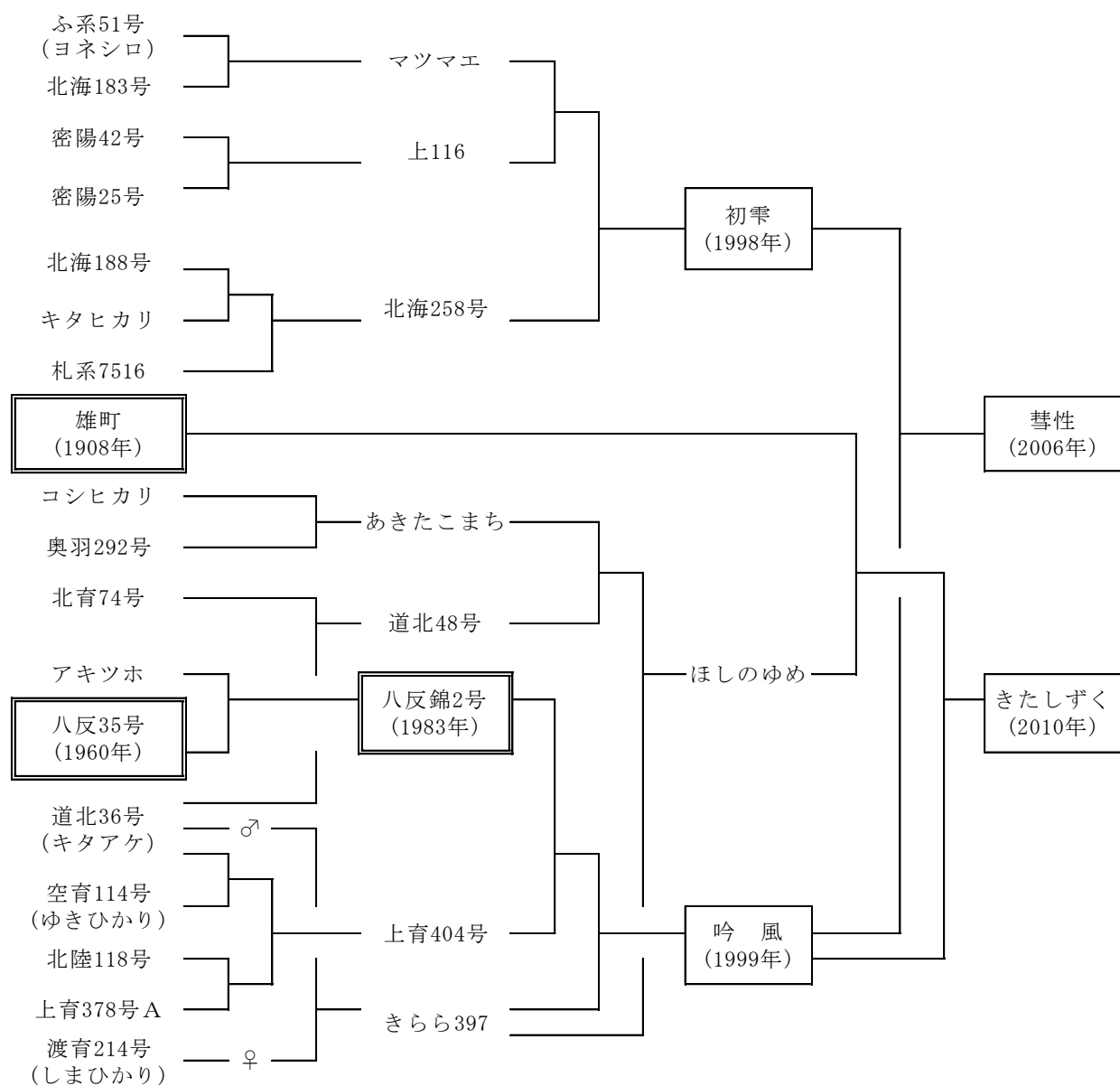
一方、北海道において育成段階から酒造適性の検討が最初に行われたのは、1976 年に北農研センターで育成された「北海 240 号」(札系 7450) からである。「北海 240 号」はタンパク含有率が 11.3%と高かったが、千粒重が 25.0g と大粒で、心白率が 24.0%であり北海道内の酒造メーカーから有望であると評価された。しかし、北海道の優良品種候補には至らなかった (高橋 1993)。

酒米用として北海道の優良品種に初めて認定されたのは「初雫」(1998 年育成) である。「初雫」は当初の育種目標が酒米ではなく、母親が大粒、多収品種の「マツマエ」と韓国稲間の交配により育成された多収系統「上 116」との F_1 で、父親が耐冷性の強い多収系統の「北海 258 号」であった (第 1-5 図)。このため、 F_6 世代までは酒造適性に関する試験は行われず、心白発現率が食用米並に低く、心白率 (心白の大きさ) も低かった。さらに食用

米品種の「きらら 397」に比べて玄米品質と吸水性が劣ったため、最大作付面積は 2001 年の 32 ha で、2006 年以降は作付けされていない (第 1-3 図).

1999 年に北海道で初めて心白発現率および心白率が高く、大粒である「吟風」(1999 年, 中央農業試験場育成) が育成された. 「吟風」は広島県の酒米品種「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「上育 404 号」との F_1 を母親に, 食用米品種「きらら 397」を父親にした交配により育成された酒米品種である. その後 2006 年に, 「初雫」と「吟風」の交配により, 「吟風」よりも耐冷性が強く, タンパク含有率が低い「彗星」(2006 年, 中央農業試験場育成) が, さらに 2010 年に, 岡山県の酒米品種「雄町」と北海道の耐冷性の強い食用米品種「ほしのゆめ」(2008 年, 上川農業試験場育成, 新橋 2003) との F_1 を母本に「吟風」を父本にした交配により, 「吟風」および「彗星」より耐冷性が強化された大粒で多収の「きたしずく」が育成された (2010 年, 中央農業試験場育成, 尾崎 2014).

以上のように, 北海道では東北以南に比べて酒米育種が大きく遅れた. しかし, 酒米品種「初雫」が北農研センターで育成されたのを契機に, 近年, 酒米品種「吟風」, 「彗星」および「きたしずく」が, それぞれ中央農業試験場で育成された.



第1-5図 北海道の酒造好適米の系譜.

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，二重囲いは東北以南の酒造好適米を示し，その他は食用米を示す．囲いの（ ）は「雄町」，「八反35号」はそれぞれ岡山県，広島県で水稻奨励品種に採用された年を，他の品種では育成年（命名年）を示す．

第3節 本研究の目的

今後、北海道内外の酒造メーカーでの北海道産の酒米の評価を高めて、需要量および栽培面積を拡大するには、北海道の酒米品種における酒造適性を兵庫県産の「山田錦」並の酒造適性に改善し、北海道での酒米団地形成を促進して酒造適性の高い酒米を安定生産しなければならない。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し、農業特性では、北海道内2地域において食用米品種と比較し、さらに、年次変動におよぼす気象条件の影響を検討した。以下に、その概略を示す。

第2章では、2008年～2012年に北海道空知地域の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を比較し、北海道の酒米の優点と欠点を明らかにした。

第3章では、2005年～2013年に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産地間および品種間差異を検討した。農業特性では食用米品種「ゆめぴりか」と「ななつぼし」との比較も行った。また第2章で指摘した、兵庫県の「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優点と欠点の産地間差異を検討した。

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、北海道の酒米での農業特性と酒造適性の年次変動と気象条件との関係を検討した。また農業特性では、食用米2品種との比較を行った。

最後の第5章では、第2章～第4章で明らかになった北海道の酒米の農業特性と酒造適性の改善に向けて、これまで北海道の食用米品種で行われてきた育種と栽培技術について、酒米品種の農業特性および酒造適性の改善への適応性を検討し、総合的に考察した。

第2章 北海道と兵庫県の酒米品種における農業特性と酒造適性の比較

今後、北海道の酒米の評価を高め需要を増やすためには、北海道の酒米の酒造適性を府県の酒米以上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地域での酒米の農業特性と酒造適性を比較した報告は少ない (佐々木 2008, 五十嵐 2014)。そこで本研究では、北海道と兵庫県の酒米における農業特性と酒造適性を比較し、北海道の酒米の優点と欠点を示し、今後の北海道の酒米に改善が必要な農業特性と酒造適性を明らかにすることを目的として実施した。

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「吟風」,「彗星」および「きたしずく」を, 兵庫県加東市で栽培した酒米品種「山田錦」,「五百万石」,「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で育成) を用いた。両産地の耕種概要は第 2-1 表に示した通りである。これらの品種の稈長, 穂長, 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) から, 北海道岩見沢市と兵庫県加東市の 2008 年~2012 年 5 カ年のデータを用いた。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。酒造適性は, 第 1 章で述べた分析値および調査結果を用いた (第 1-2 表)。なお以下で, 直接還元糖は Brix, フォルモール態窒素は F-N, 粗タンパク質含有率はタンパク含有率, カリウム含有量はカリウム含量と, それぞれ略す。

北海道と兵庫県の酒米の農業特性, 登熟気温および酒造適性に関して, 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い, 品種間の比較は Tukey 法 ($p \leq 0.05$) を用いて行った (田中・垂水 1986)。

第2-1表 耕種概要.

試験場所	品種	育苗様式	播種日	移植日	栽植密度 (株 m ⁻²)	窒素施肥量 (kg a ⁻¹)
北海道 岩見沢市	吟風, 彗星, きたしずく	中苗	4月11日	5月21日	25.1	0.80
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	0.47
	山田錦	稚苗	5月14日	6月7日	19.6	0.63

播種日, 移植日, 栽植密度および窒素施肥量(追肥量含む)は2008年~2012年の平均値. なお北海道のみ5カ年とも, 表中の窒素施肥量に加え, 稲わら堆肥を0.2 t a⁻¹施用した.

第2節 結果

1. 農業特性

出穂期と成熟期では「山田錦」がそれぞれ8月27日と10月10日であり,他の品種に比べ有意に遅く,「五百万石」が同様に7月24日と9月2日であり,「兵庫北錦」の成熟期の9月5日を除き,他の品種に比べ有意に早かった. 稈長では「山田錦」が他の5品種の平均値対比で137%であり最も長く,次いで「五百万石」と「兵庫北錦」が北海道の3品種の平均値対比でそれぞれ134%,124%であり,北海道の3品種に比べて有意に長かった. 穂長では「五百万石」が他の5品種の平均値対比で121%であり最も長く,次いで「山田錦」と「兵庫北錦」が北海道の3品種の平均値対比でそれぞれ122%,131%であり,北海道の3品種に比べて有意に長かった. m²当たり穂数では「五百万石」と「兵庫北錦」が他の4品種の平均値対比でそれぞれ54.1%,46.8%であり,他の4品種に比べて有意に少なく,「山田錦」が北海道の3品種の平均値対比で61.4%であり,北海道の3品種に比べて有意に少なかった(第2-2-(1)表).

第2-2-(1)表 北海道と兵庫県の酒造好適米品種における農業特性.

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 ± 2.08 b	22.4 ± 2.68 b	67.1 ± 1.33 c	16.5 ± 0.16 c	604 ± 32.8 a
北海道	曄星	32.4 ± 2.14 b	21.8 ± 2.58 b	70.1 ± 1.50 c	16.9 ± 0.19 c	606 ± 41.7 a
北海道	きたしずく	30.8 ± 1.93 b	21.2 ± 2.31 b	72.5 ± 1.44 c	17.0 ± 0.39 c	661 ± 32.9 a
兵庫県	山田錦	58.0 ± 0.63 a	40.0 ± 3.89 a	106.5 ± 1.71 a	20.5 ± 0.47 b	383 ± 30.2 b
兵庫県	五百万石	24.0 ± 1.26 c	1.8 ± 1.24 c	93.5 ± 1.66 b	22.9 ± 0.54 a	305 ± 12.1 c
兵庫県	兵庫北錦	30.2 ± 1.39 bc	4.8 ± 1.39 c	86.6 ± 1.73 b	22.0 ± 0.52 ab	264 ± 7.8 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

北海道の産地は岩見沢市，兵庫県は加東市である．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．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%水準で有意差があり，nsは有意差がないことを示す．

全重では、「山田錦」が他の5品種の平均値対比で123%であり、他の5品種に比べて有意に重かった。玄米収量では「山田錦」と「五百万石」が、北海道の3品種の平均値対比でそれぞれ78.7%, 82.0%であり、北海道の3品種に比べて有意に少なかった。玄米品質では「兵庫北錦」が他の5品種の平均値対比で155%であり、他の5品種に比べて劣り、次いで、「山田錦」と「五百万石」が北海道の3品種の平均値対比でそれぞれ129%, 154%であり、北海道の3品種に比べて有意に劣った。倒伏程度では「山田錦」と「五百万石」が他の4品種の平均値対比でそれぞれ832%, 621%であり、他の4品種に比べて有意に大きかった。出穂後31日間の平均気温では兵庫県の「五百万石」と「兵庫北錦」が兵庫県の「山田錦」および北海道の3品種の平均値 (22.6℃) に比べて、それぞれ5.4℃, 5.3℃有意に高く、次いで兵庫県の「山田錦」が北海道の3品種の平均値 (21.8℃) に比べて3.1℃有意に高かった (第2-2-(2) 表)。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、農業特性として稈長と穂長が短く穂数が多く、玄米収量が多く倒伏程度が小さい傾向が認められた。

第2-2-(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	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 (°C)
北海道	吟風	144 ± 6.44 b	59.2 ± 2.88 a	4.30 ± 0.20 b	0.00 ± 0.00 b	21.9 ± 0.65 c
北海道	彗星	145 ± 7.49 b	61.3 ± 2.03 a	4.00 ± 0.16 b	0.20 ± 0.20 b	21.8 ± 0.67 c
北海道	きたしずく	145 ± 7.36 b	61.0 ± 1.99 a	4.20 ± 0.25 b	0.20 ± 0.20 b	21.8 ± 0.65 c
兵庫県	山田錦	178 ± 5.63 a	47.6 ± 3.30 b	5.36 ± 0.87 ab	3.16 ± 0.43 a	24.9 ± 0.68 b
兵庫県	五百万石	143 ± 5.33 b	49.6 ± 4.10 b	6.40 ± 0.93 ab	2.36 ± 0.37 a	28.0 ± 0.35 a
兵庫県	兵庫北錦	149 ± 7.22 b	53.6 ± 0.85 ab	7.50 ± 0.92 a	1.10 ± 0.34 b	27.9 ± 0.41 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

北海道の産地は岩見沢市、兵庫県は加東市である。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。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。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%水準で有意差があり、nsは有意差がないことを示す。

2. 酒造適性

酒造適性を品種間で比べると、第 2-3-(1) 表と第 2-3-(2) 表に示すように、千粒重では「吟風」が 23.7 g と最も軽く劣り、「山田錦」と「兵庫北錦」がそれぞれ 27.3 g と 28.6 g で重かった。無効精米歩合では品種間に有意な差は認められなかったが、「吟風」が低い傾向にあった。碎米率では品種間に有意な差は認められなかったが、北海道の酒米品種は「山田錦」と「五百万石」に比べてやや低い傾向を示した。20 分吸水率では「彗星」が 26.5% と、「山田錦」と「兵庫北錦」のそれぞれ 29.9% と 30.4% に比べ有意に低く劣った。120 分吸水率では「五百万石」が 29.5% と「山田錦」と「兵庫北錦」のそれぞれ 31.0% と 30.7% に比べて有意に低く、北海道の品種はそれらの中位の値であった。蒸米吸水率では「山田錦」が 35.4% で「兵庫北錦」を除き、他の品種に比べて有意に高く優った。Brix では「吟風」と「山田錦」が 9.55% と 9.51% であり、「彗星」と「五百万石」の 8.68% と 8.62% に比べて有意に高く優った。F-N では「彗星」が 0.71 ml と「吟風」ならびに「五百万石」の 0.81 ml に比べて有意に低く優った。タンパク含有率では「山田錦」が 4.63% で「彗星」の 5.20% を除き、他の品種の 5.50~5.66% に比べて有意に低く優った。カリウム含量では「兵庫北錦」と「五百万石」がそれぞれ 559 ppm と 486 ppm であり、「山田錦」と北海道の品種に比べて 100 ppm 以上も有意に高かった。以上のように、北海道の酒米品種は兵庫県の「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、タンパク含有率が高く、酒造適性として劣る傾向が認められた。

第2-3-(1)表 北海道と兵庫県の酒造好適米品種における酒造適性①.

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
北海道	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
北海道	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
兵庫県	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
兵庫県	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	

産地、数値および分散分析は第2-2-(1)表の脚注を参照。千粒重は水分13.5%に換算した玄米を、その他の酒造適性は精米歩合70%の白米を用いた。±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%水準、5%水準で有意差があり、nsは有意差がないことを示す。

第2-3-(2)表 北海道と兵庫県の酒造好適米品種における酒造適性②.

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
北海道	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
北海道	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
兵庫県	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
兵庫県	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-(1)表の脚注を参照。各酒造適性は精米歩合70%の白米を用いた。±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%水準, 5%水準で有意差があり, nsは有意差がないことを示す。

心白発現率では第 2-4 表に示すように、「彗星」が 59.6%と北海道の他の品種と「兵庫北錦」の 83.9～96.4%に比べ有意に低く劣った。心白率では同じく「彗星」が 26.0%と他の品種に比べ有意に低く劣り、「兵庫北錦」が 95.4%と特に有意に高かった。腹白率では「彗星」が 7.01%と「山田錦」と「五百万石」の 37.40%と 39.10%に比べて有意に低く優った。北海道の酒米は、心白発現率では「山田錦」と明確な差が認められず、心白率では「きたしずく」を除き低く劣り、腹白率では「彗星」のみ「山田錦」と「五百万石」に比べて低く優った。以上のように、兵庫県の酒米品種、特に「山田錦」に比べて、「彗星」では心白発現率、心白率および腹白率が低い傾向が認められたが、「吟風」と「きたしずく」では大きな差異が認められなかった。

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
北海道	彗星	59.6 ± 8.64 c	26.0 ± 3.81 d	7.01 ± 2.48 b
北海道	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
兵庫県	五百万石	70.6 ± 5.84 bc	63.0 ± 4.42 b	37.40 ± 11.5 a
兵庫県	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2-1-(1)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， $(5 \times \text{大心白粒数} + 4 \times \text{中心白粒数} + 2 \times \text{小中心白粒数}) / (5 \times \text{調査粒数})$ 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%水準で有意差があり，nsは有意差がないことを示す。

第3節 考察

1. 農業特性

北海道と兵庫県の酒米品種の草型は大きく異なった。すなわち、北海道の酒米品種は短稈で穂長が短く、穂数が多く中間型あるいは偏穂数型であったのに対し、兵庫県の酒米品種は長稈で穂長が長く穂数が少ない穂重型であった。本研究で用いた兵庫県の酒米の系譜には、酒米の在来種もしくは酒米品種が多い（注：作物研究所イネ品種・特性データベース検索システム，<http://ineweb.narcc.affrc.go.jp/index.html>）。一方、北海道の酒米の系譜には「きらら397」(佐々木ら1990) や「ほしのゆめ」(新橋ら2003) など穂数型の食用品種があり（第1-5図）、北海道の酒米は、東北以南の酒米品種「八反錦2号」や「雄町」にこれらの食用米品種を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てきた（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、北海道の酒米の稈長が兵庫県の酒米に比べ有意に短かったため、倒伏程度は有意に小さかったと考えられた。特に「山田錦」は、他の品種に比べ稈長が有意に長く、全重が有意に重かったが、倒伏程度も最も大きく、玄米収量はむしろ低かった。「山田錦」は長稈で倒伏しやす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いわれ（世古2000）、本研究結果と一致した。さらに、北海道の酒米の腹白率は兵庫県の酒米に比べ有意に低く、このことが北海道の酒米の玄米品質が有意に高かった要因の一つと考えられた（第2-4表）。

2. 酒造適性

酒米は千粒重が大きいほど搗精歩留が高く、吸水特性が良い（前重・小林2000）。北海道の酒米の千粒重は「兵庫北錦」に比べて有意に軽く、特に主要品種の「吟風」が軽かった。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、6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 (第 3 表). 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, 一般に多数の遺伝子に支配されていると報告されている (前重・小林 2000). 一方, 食用米の大粒品種「房吉」, 「たいほう」で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), これらを交配親として利用することにより, 千粒重を増加させる可能性がある.

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砕米率が高くなる傾向がある (池上・世古 1995, 前重・小林 2000). 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に有意な差異がなく, 砕米率に有意な差異はないものの低かったことから (第 2-3-(1) 表, 第 2-4 表), 砕米率からみると, 北海道の酒米品種の精米特性はこれらの東北以南の酒米品種に優る傾向があると考えられた. 無効精米歩合は精米特性を評価する指標であり, 家村ら (1996) は砕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比較で, 砕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ず (北海道の酒米 3 品種: $r=0.201$, 兵庫県の酒米 3 品種: $r=0.459$, $n=15$), この原因については明らかでなかった.

柳内ら (1996) は, 20 分吸水率は心白粒が無心白粒に比べて高く, 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, 「兵庫北錦」は 20 分吸水率, 心白発現率および心白率ともに最も高く, 「彗星」は 20 分吸水率, 心白発現率および心白率ともに最も有意に低かったことから, 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、酒米は千粒重が大きいほど吸水特性が良い (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、千粒重の大きいことが関係していると考えられた。一方、「吟風」の千粒重は最も軽かったにも関わらず、20分吸水率は他の品種と有意な差は認められなかった。「吟風」の心白発現率が「彗星」に比べ有意に高く、他の品種に比べて有意な差が認められなかったことから、「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考えられた。

小関ら (2004) が登熟期に「山田錦」および食用米の「日本晴」を高温で生育させた場合、いずれも吸水性の上昇が見られたと報告した。本研究においても、北海道の酒米の20分吸水率および蒸米吸水率は、登熟気温が高い兵庫県に比べて有意に低く (第2-2-(2)表)、小関ら (2004) の結果と一致した。

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，1996年)、消化性の指標である。蒸米の酵素消化性は、醪 (もろみ) 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のBrixとF-Nについて、地域間に有意な差異は認められなかった。

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、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、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。また、奥田ら (2010) は、高温年にデンプンのアミロペクチンの長鎖の割合が高くなり、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兵庫県に比べ、気象条件の点では消化性に関して有利であると推察した。

品種間で Brix と F-N を比較すると、Brix は「彗星」と「五百万石」が、F-N は「彗星」がやや低い傾向を示した (第 2-3-(2) 表). 柳内 (1996) は、Brix について、無心白粒に比べて心白粒の方が有意に多く、心白粒が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 と F-N がやや低かった要因として、「彗星」の心白率が他の酒米品種に比べ有意に低かったことが考えられた (第 2-4 表).

タンパク含有率は精白米の吸水性や消化性の低下に関係して、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、変質およびにごり等清酒の品質上の不安定要因となるので、タンパク含有率が過多の品種は好ましくないとされる (吉沢ら 1974, 佐村 1976). 北海道の酒米のタンパク含有率は、最も低かった「山田錦」に比べて 1%程度高く劣った (第 2-3-(2) 表). これらのことから、北海道内外の酒造メーカーでの北海道の酒米品種の評価を高めるためには、タンパク含有率を「山田錦」並に低下させることが重要であると判断した.

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、北海道での酒米 3 品種の平均施肥量は、兵庫県での酒米 3 品種の平均施肥量に比べて窒素成分で 0.28 kg a^{-1} 多く、さらに稲わら堆肥を 0.2 t a^{-1} 施用している. このような施肥量の違いが、北海道の酒米のタンパク含有率を高めた要因であると考えられた. また、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、短稈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いことが考えられた (第 2-2-(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、多肥栽培による多収を目標にすると、 m^2 当たりの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を生じやすい. 北海道の酒米品種の施肥量と玄米収量は兵庫県の施肥量と玄米収量より多く、こ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推察した.

吉沢ら (1973) は 20 分吸水率とタンパク含有率との間に高い負の相関関係を、花本 (1976) はタンパク含有率が高いと吸水速度が遅くなる傾向を報告した。北海道の酒米品種の 20 分吸水率と蒸米吸水率は兵庫県の酒米品種に比べて有意に低かったことから、タンパク含有率を低下させることにより、北海道の酒米品種の 20 分吸水率と蒸米吸水率を高めることは可能であると推察した。

カリウム含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。北海道の酒米のカリウム含量は兵庫県の酒米に比べて有意に低かった。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量の上昇が見られ、米原ら (2005) は低温と高温で生育させた場合、カリウム含量は低温区で低かったと報告した。これらのことから、北海道の登熟気温が兵庫県に比べて低いことが、北海道の酒米でのカリウム含量の低さに影響していると考えられた。

一方、高橋ら (1972)、赤井ら (1973) および佐伯ら (1973) は 1970 年代の北海道の食用米の特徴として、東北以南の食用米と比較してカリウム含量が高く、醸造試験では、醪 (もろみの) 発酵が急進して製造管理が難しいと報告した。その後、木曾ら (1989) と野本・高橋 (1992) は食用米品種「ゆきひかり」(1984 年, 中央農業試験場育成) ならびに「きらら 397」(1988 年, 上川農業試験場育成) 等については、東北産の食用米品種「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) と同じレベルまでカリウム含量が少なくなり、北海道と東北以南の差が無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稻栽培において、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、低タンパク含有率の米生産技術 (柳原 2011) が励行された副次的な効果であると考えられた。

池上・世古 (1995) は、大粒で心白発現率が高い米は碎米率が高く、吟醸酒等の特定銘柄酒を製造する時に 50% 以下の精白歩合にする高度精白の適性が低い傾向があると報告

した。「彗星」を除く北海道の酒米品種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砕米率が有意に低く、池上・世古 (1995) の報告と異なった。砕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が (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。したがって、北海道の酒米品種の心白の形状を育種によって「山田錦」のような線状に改良することにより、さらに砕米率を低下させることが可能であると推察した。

北海道の酒米品種は兵庫県の酒米品種に比べて、腹白率が有意に低く優れた (第 2-4 表)。腹白粒は整粒に比べて精米時に砕けやすい傾向がある。このことから、北海道の酒米品種の砕米率が兵庫県の酒米品種に比べて低かった要因は、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地域間で明瞭な差異が認められなかったにも関わらず、北海道の酒米品種の砕米率と腹白率は兵庫県の酒米品種に比べて有意に低かった。このことから、北海道の酒米品種は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となることがある。これらのことから「彗星」の腹白率が低かった要因は、「彗星」の心白発現率が他の品種に比べて有意に低かったことであると考えられた。

以上のように、北海道と兵庫県の酒米品種の農業特性と酒造適性を比較した結果、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高く、砕米率が低かった。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、タンパク含有率が高かった。したがって、北海道内外の酒造メーカーでの北海道の酒米品種に対する評価を高めるためには、千粒重を増加させ、20 分吸水率と蒸米吸水率を高め、タンパク含有率を低下させることが必要である。

第3章 農業特性と酒造適性の産地間・品種間差異

第2章では、2008年～2012年に北海道岩見沢市で栽培した酒米品種「吟風」、「彗星」および「きたしずく」と兵庫県加東市で栽培した酒米品種「山田錦」、「五百万石」および「兵庫北錦」について、農業特性および酒造適性を比較した。北海道の酒米3品種は兵庫県の酒米3品種に比べて、優点として、玄米収量が多いこと、稈長が短く倒伏程度が小さいこと、ならびに玄米品質が良いことを指摘した。一方、兵庫県の「山田錦」に比べて、欠点として、千粒重が軽いこと、20分吸水率と蒸米吸水率が低いこと、ならびにタンパク含有率が高いことが明らかとなった。

今後、北海道の酒米品種の評価を高め、北海道内外の酒造メーカーの需要量および北海道の酒米の作付面積を拡大し生産量を増加させるためには、これら農業形質の優点を維持するとともに、これらの酒造適性の欠点を改善する必要がある。しかし、第2章で用いた北海道の酒米3品種の産地は、空知地域の岩見沢市1カ所のみであり、酒米品種の農業特性と酒造適性の産地間差異については未検討であった。池上ら(2000, 2015)は、兵庫県の酒米品種の農業特性と酒造適性には品種間差異があるとともに、産地や年次の気象条件の影響で農業特性と酒造適性が大きく変動すると報告しており、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(164ha)が最も多く、次いで上川地域(69ha)が多く、この2地域で作付面積全体の約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劣る(田口 2011)。また、空知地域の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速が小さく水稻の初期生育が優る。また上川地域の土壌は褐色低地土の割合が高い。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、これらの相違が酒米品種の農業特性と酒造適性に影響すると考えられる。

北海道の水稲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 1982, 1988, 田中ら 1999, 2008, 柳原哲司 2002, 梶原ら 2004, 2005a, 2005b, 木下ら 2004, 2007, 木下 2013, 五十嵐ら 2005, 後藤 2007, 丹野 2010). しかし、酒米品種での報告は乏しい (佐々木 2010, 五十嵐 2014). そこで、本章では 2005 年～2013 年に空知地域と上川地域で生産された「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、食用米品種との比較についても検討した。

第 1 節 材料および方法

供試品種には、2005 年～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「吟風」と「彗星」を用いた。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「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、窒素施肥量および栽植密度は第 2 章と同一である。移植日は 9 年間の平均値で、岩見沢市が 5 月 21 日 $\pm$ 0.32 日、比布町が 5 月 18 日 $\pm$ 0.34 日であった。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。なお、参考として、前報 (田中ら 2015) で報告した 2008 年～2012 年で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、 m^2 当たり穂数 (以下、穂数)、1 穂粒数、 m^2 当たり総粒数 (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、供試品種と同一試験の 2005 年～2013 年の北海道水稲奨励品種決定基本調査結果 (1 試験区 4 m^2 反復) を用いた。また千粒重は、酒造適性としても重要な特性であるが、重複を避けるため本研究では農業特性に含めた。なお、2009 年は冷害年であり、岩見沢市の中央農業試験場と比布町の上川農業試験場の作況調査の結果では、食用米品種「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 1 年収量比 (精玄米収量), それぞれ 96 (519 g m⁻²) と 74 (433 g m⁻²) であった (柳沢 2010).

酒造適性として, 2005 年～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 (%) およびタンパク含有率 (%) を用いた. その他に F-N (ml) とカリウム含量 (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 年～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 %) のデータを用いた. なお食用米品種「ゆめぴりか」と「ななつぼし」は, 酒造適性の分析と心白発現率の調査を行わなかった.

気象条件のデータには, 国立研究開発法人農業環境技術研究所が公開しているモデル結合型作物気象データベース (<http://meteocrop.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, 日射量) の平均値を算出した. 8 区分は出穂期-39 日～-30 日 (-Ⅳ期), -29 日～-20 日 (-Ⅲ期), -19 日～-10 日 (-Ⅱ期), -9 日～0 日 (-Ⅰ期), +1 日～+10 日 (+Ⅰ期), +11 日～+20 日 (+Ⅱ期), +21 日～+30 日 (+Ⅲ期) および+31 日～+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 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.

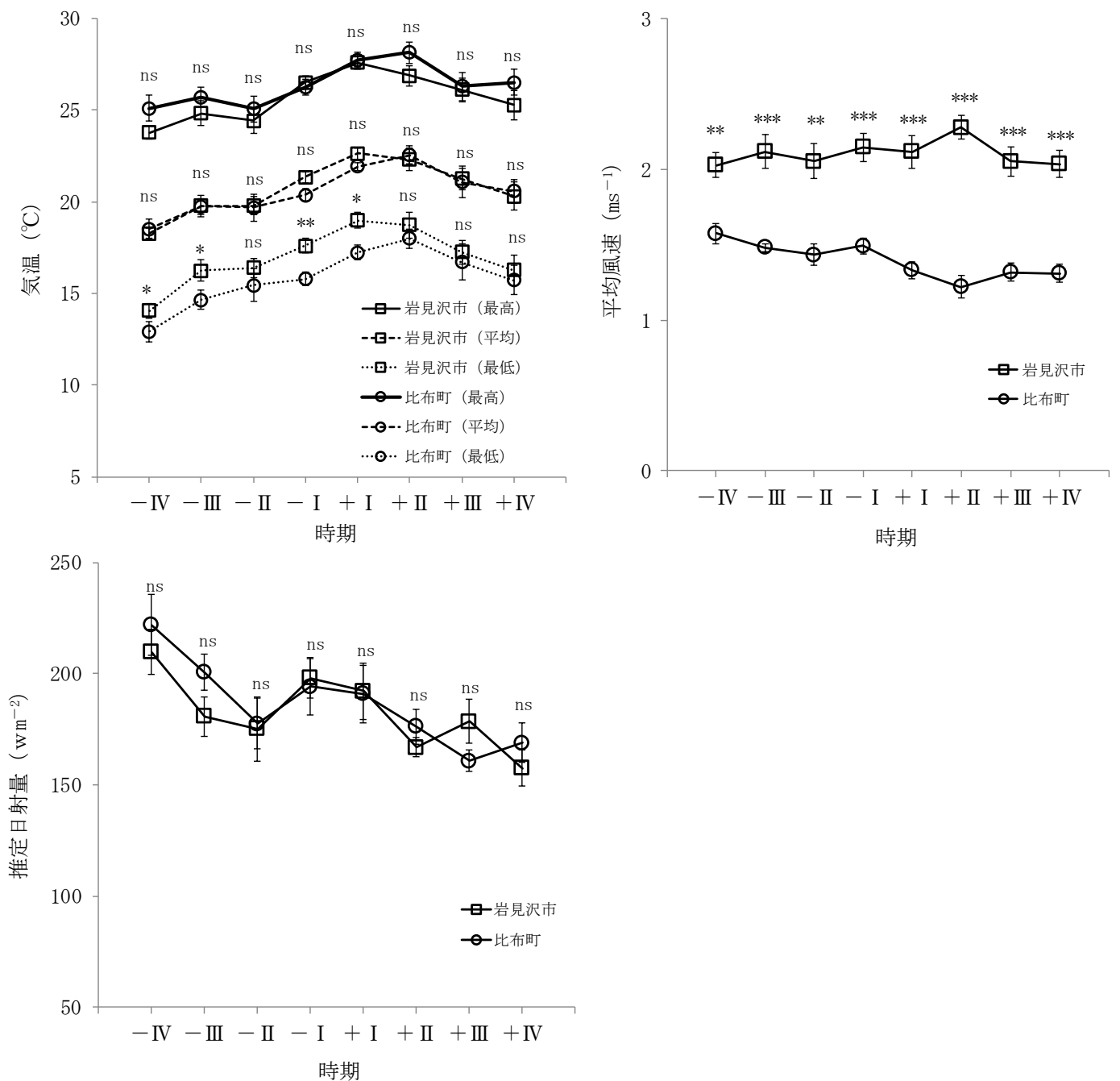
各気温, 平均風速および日射量の岩見沢市と比布町の産地間差異を, 年次を反復とする対応のある t 検定法により検定した. 農業特性と酒造適性の分散分析は, 年次を反復, 産地を主区, 品種を副区とする分割区法で行った. また, 農業特性では品種を酒米比較, 食用米比較および酒米と食用米比較の 3 つに直交分解した (田中・垂水 1986). なお, 計算に

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 4 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、最低気温、平均気温、平均風速および日射量を示した。各気温は、出穂後 20 日間に最も高くなる推移を示し、岩見沢市は＋Ⅰ期が、比布町は＋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。平均風速は、いずれの時期でも比布町より岩見沢市の方が有意に大きかった。一方、日射量は、両産地ともに出穂期前より出穂期後の方が少ない傾向を示し、産地間では有意な差異を示さなかった。



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年～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日～－30日，－Ⅲ：－29日～－20日，－Ⅱ：－19日～－10日，－Ⅰ：－9日～0日，＋Ⅰ：＋1日～＋10日，＋Ⅱ：＋11日～＋20日，＋Ⅲ：＋21日～＋30日，＋Ⅳ：＋31日～＋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分散分析の結果を示した。各形質では総収量を除き、産地と品種との間には有意な交互作用は認められなかった。そこで総収量を除き、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移植日は、2005 年～2013 年の 9 年間の平均値で、それぞれ 5 月 21 日と 5 月 18 日であり、比布町より岩見沢市の方が 3 日遅かった。岩見沢市と比布町の 4 品種を含めた出穂期は、2005 年～2013 年の 9 年間の平均値で、それぞれ 8 月 2 日と 7 月 25 日であり、比布町より岩見沢市の方が 8 日遅かった。出穂期と稈長は、産地間・品種間にいずれも有意な差異を示した。また、食用米平均より酒米平均の方が 1.4 日遅かった。稈長は、比布町より岩見沢市の方が 4.0 cm (比布町対比 106) 長く、また食用米平均より酒米平均の方が両品種の平均値で 3.3 cm (食用米平均対比 95)、酒米品種「彗星」より「吟風」の方が 1.6 cm (「彗星」対比 98)、それぞれ短かった。

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が、品種間には有意な差異を示した。すなわち、食用米平均より酒米平均の方が、成熟期は 2.4 日遅く、登熟日数は 1.1 日多かった。穂長と倒伏程度は、産地間と品種間にいずれも有意な差異を示さなかった。

穂数、1 穂収量、総収量および不稔歩合は、産地間・品種間にいずれも有意な差異を示した。穂数は、比布町より岩見沢市の方が 57 本 (比布町対比 109) 多かった。また食用米平均より酒米平均の方が両品種の平均値で 153 本 (食用米平均対比 80)、食用米品種「ゆめぴりか」より「ななつぼし」の方が 82 本 (「ゆめぴりか」対比 90)、それぞれ少なかった。1 穂収量は、比布町より岩見沢市の方が 4.8 (比布町対比 111) 多かった。また食用米平均より酒米平均の方が 4.9 (食用米平均対比 111)、「彗星」より「吟風」の方が 4.6 (「彗星」対比 110)、「ゆめぴりか」より「ななつぼし」の方が 4.1 (「ゆめぴりか」対比 110)、それぞれ多かった。総収量は、比布町より岩見沢市の方が 6.1×10^3 (比布町対比 121) 多かった。ま

た食用米平均より酒米平均の方が 3.9×10^3 (食用米平均対比 88) 少なかった。酒米 2 品種間・食用米 2 品種間には有意な差異は認められなかった。なお、産地と品種に交互作用が認められ、2012 年の「ななつぼし」を除く 3 品種では、比布町より岩見沢市の方が、3 品種平均で 1.3×10^3 (比布町対比 96) 少なかった。不稔歩合は、比布町より岩見沢市の方が 3.1 ポイント (比布町対比 42.2%) 高かった (百分率の差の単位は、“%”ではなく“ポイント”)とした。以下同様)。また、酒米品種では「彗星」より「吟風」の方が 4.4 ポイント (「彗星」対比 71.3%) 高かった。

千粒重および玄米収量は、産地間では有意な差異を示さなかったが、品種間では有意な差異を示した。千粒重は、食用米平均より酒米平均の方が 2.8 g (食用米平均対比 127), 「吟風」より「彗星」の方が 1.6 g (「吟風」対比 107), 食用米品種では「ななつぼし」より「ゆめぴりか」の方が 0.3 g (「ななつぼし」対比 101), それぞれ重かった。玄米収量は、食用米平均より酒米平均の方が 24.0 g m^{-2} (食用米平均対比 104), 「吟風」より「彗星」の方が 32.0 g m^{-2} (「吟風」対比 105), それぞれ多かった。

第3-1-1-(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.

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
主区	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
副区	平均	29.4 ± 1.41	17.7 ± 1.97	50.4 ± 1.33	64.8 ± 1.03	16.6 ± 0.13	0.08 ± 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
	品種	3	11.5 ***	35.9 ***	9.7 ns	78.8 ***	0.152 ns
	酒米比較	1	2.3 *	0.3 ns	4.0 ns	24.5 *	0.3211 ns
副区	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 ***	0.420 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
							0.193

試験期間は2005年～2013年である。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、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・品種の数値は2005年～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」の平均値を示す。土は標準誤差を示す。土は標準誤差を示す (産地n=36, 品種n=18)。参考品種として、第2章の2008年～2012年での兵庫県加東市の「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%水準で有意性が有り、nsは有意性がないことを示す。

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.

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	677 ± 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 ± 17.6	44.8 ± 1.29	33.7 ± 1.33	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
主区					
年次	8	17022 ns	51.7 ns	30.4 ns	218.3 ***
産地	1	57630 *	422.2 *	651.9 *	169.6 *
誤差	8	10514	50.0	59.8	30.8
副区					
品種	3	161209 ***	257.2 ***	107.7 ***	65.3 ***
酒米比較	1	880 ns	190.8 ***	44.6 ns	174.0 ***
食用米比較	1	60927 ***	154.7 ***	1.3 ns	3.5 ns
酒米と食用米比較	1	421821 ***	426.0 ***	277.1 ***	18.5 ns
産地×品種	3	5080 ns	19.8 ns	37.8 **	24.5 ns
誤差	48	1367	10.1	6.2	6.6

試験期間は2005年～2013年である. 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年～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」の平均値を示す. ±は標準誤差を示す (産地n=36, 品種n=18). 参考品種として, 第2章の2008年～2012年での兵庫県加東市の「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%水準で有意性が有り, nsは有意性がないことを示す.

3. 酒造適性

第 3-2 表に酒造適性について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、カリウム含量および心白発現率は、産地間には有意な差異を示さなかったが、品種間には有意な差異を示した。「彗星」より「吟風」の方が、20 分吸水率は 2.0 ポイント（「彗星」対比 108）高く、カリウム含量は 37 ppm 乾物¹（同 89）少なく、心白発現率は 25.2 ポイント（同 142）高かった。

F-N とタンパク含有率は、産地間および品種間にいずれも有意な差異を示した。F-N は、比布町より岩見沢市の方が、また「彗星」より「吟風」の方が、それぞれ 0.08 ml（比布町対比 112「彗星」対比 112）高かった。タンパク含有率は、比布町より岩見沢市の方が 0.67 ポイント（比布町対比 113）、また「彗星」より「吟風」の方が 0.43 ポイント（「彗星」対比 108）、それぞれ高かった。一方、蒸米吸水率は、産地間および品種間にいずれも有意な差異を示さなかった。

第3-2表 「吟風」と「彗星」における酒造適性の産地間・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 ± 0.25	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	心白発現率
		(%)	(ppm 乾物 ⁻¹)	(%)
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	331 ± 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

千粒重は水分13.8%に調整した玄米を、その他は精米歩合70%の水分13.5%に調整した白米を、それぞれ用いた。産地・品種の数値は2005年～2013年（心白発現率のみ2008年～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」の平均値を示す。±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）。参考品種として、第2章の2008年～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。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（「山田錦」を除く）。***, **, * はそれぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意性があり、nsは有意性がないことを示す。

第3節 考察

1. 農業特性

「山田錦」(1936 年) や「雄町」(1908 年) 等の、古くに育成された東北以南の酒米品種は優れた酒造適性を有している (前重・小林 2000). しかし、これらの品種は「コシヒカリ」(1955 年) や「あきたこまち」(1984 年) 等の食用米品種に比べて、出穂期および成熟期が遅く、長稈で耐倒伏性が弱く、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 2 品種における農業特性の産地間・品種間差異を、北海道の食用米 2 品種との比較を通じて検討した.

いずれの産地でも酒米平均は食用米平均に比べて、稈長が有意に短く、倒伏程度が小さい傾向を示し、既報 (丹野ら 2002, 田中ら 2011, 尾崎 2008, 吉村ら 2002) で報告されている酒米 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) と一致した (第 3-1-(1) 表). また、兵庫県の「山田錦」に比べて、稈長が短く、倒伏程度が小さかった. これらのことから、北海道の酒米平均の耐倒伏性は、食用米平均の耐倒伏性に比べて強く、また兵庫県の「山田錦」の耐倒伏性に比べても強いと考えられた.

玄米収量は、食用米平均より酒米平均の方が、「吟風」より「彗星」の方が、それぞれ多かった (第 3-1-(1) 表). この要因について収量構成要素に分けて検討する. 食用米平均より酒米平均の方が、穂数は少なかったが、1 穂粒数は多く、総粒数は多かった. また、不稔歩合は有意な差異を示さなかったが、 m^2 当たりの稔実総粒数は、食用平均 (30.5×10^3) より酒米平均 (27.3×10^3) の方が少なかった. しかし千粒重は、酒米平均の方が重かった. 食用米平均より酒米平均の方が、千粒重が重かったことが玄米収量の多かった主要因であると考えられた.

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した. 穂数は両品種間で有意な差異を示さなかった. また 1 穂粒数は、「吟風」より「彗星」の方が少なかった. しかし、総粒数は両品種間で有意な差異を示さなかった. また、「彗星」の方が不稔

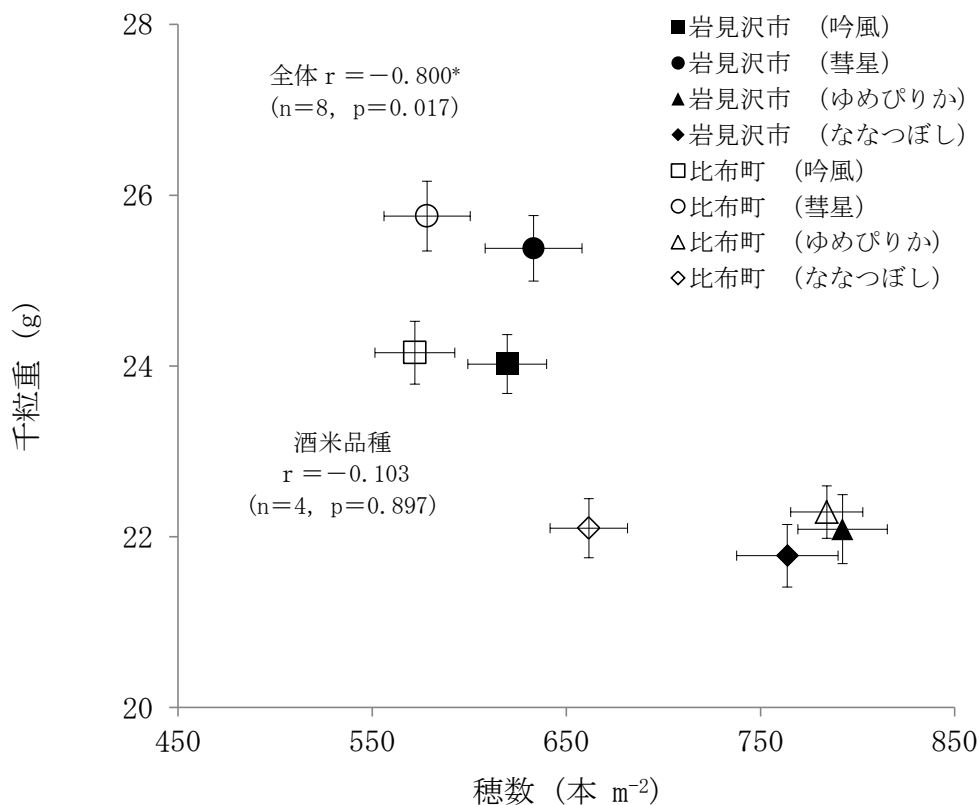
歩合は低く、千粒重は重かった。「吟風」より「彗星」の方が、不稔歩合が低く、千粒重が重かったことが、玄米収量の多かった主要因であると考えられた。

北海道の酒米 2 品種の玄米収量は、いずれの産地でも兵庫県の「山田錦」の玄米収量に比べて多かった (第 3-1-(2) 表)。また穂数は、兵庫県の「山田錦」の穂数に比べて多かった。しかし千粒重は、兵庫県の「山田錦」の千粒重に比べて軽かった。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さらに考察する。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 (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)。穂数と千粒重との間には両産地と 4 品種を含めると、 $r = -0.800$ ($n=8$, $p=0.017$) の有意な負の相関関係が認められた (第 3-2 図)。この相関関係は、穂数が少なく千粒重が重い酒米 2 品種と、穂数が多く千粒重の軽い食用米 2 品種との差異に主として起因した。しかし、酒米 2 品種内においては、穂数と千粒重との間には有意な相関関係は認められなかった ($r = -0.103$, $n=4$, $p=0.897$)。このことから、北海道の 2 産地での酒米 2 品種では、穂数を減少させることによって、玄米収量を低下させずに、千粒重を兵庫県の「山田錦」並の千粒重に増加させることは困難であると考えられた。

酒米 2 品種の千粒重は、いずれの年次や産地でも兵庫県の「山田錦」の千粒重を超えることはなかった。しかし、2011 年北海道の酒米系統「空育酒 177 号」(後の「きたしずく」)の千粒重は岩見沢市では 28.1g であり、旭川市では 28.5g であった (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)。また兵庫県では、極大粒の

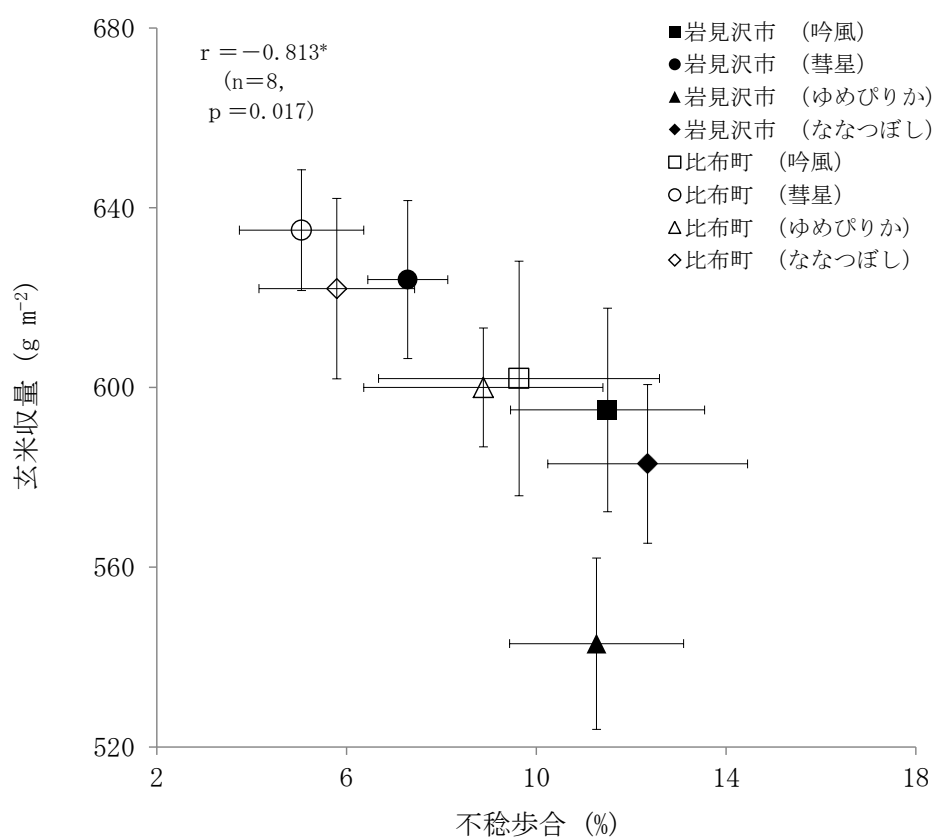
放射線突然変異系統「I.M.106」を交配親に用いて、「山田錦」より重い千粒重 (28.8g) の酒米品種「兵系酒 18 号」(1972 年) が育成された (池上・西田 2008). さらに秋田県では、「兵系酒 18 号」由来の酒米品種「華吹雪」(1985 年) を系譜に持つ、「山田錦」並の千粒重 (26.7g) の酒米品種「秋田酒こまち」(2001 年) が育成された (眞崎ら 2006). 北海道の酒米 2 品種の系譜には、これらの大粒品種が含まれていないので (田中ら 2015), れらを交配親として利用することにより、北海道の酒米品種の千粒重をさらに増加させる可能性がある.



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%水準で有意性があることを示す. 第3図も同様.

北海道では、水稻の不稔歩合と玄米収量は密接に関係し、冷害等によって不稔が増加すると大きく減収する (丹野 2011). 本研究において不稔歩合と玄米収量との間には、両産地と 4 品種を含めると $r = -0.813$ ($n=8$, $p=0.017$), 酒米 2 品種内においても $r = -0.988$ ($n=4$, $p=0.012$) の、それぞれ高い負の相関関係が認められ (第 3-3 図), 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 不稔歩合と玄米収量の関係.

2. 酒造適性

食用米生産では、不稔歩合が高くなると減収するだけでなく、タンパク含有率が上昇し食味が低下する (丹野 2011). また酒米生産では、同様にタンパク含有率が上昇し、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 (2000 前重・小林). したがって、北海道において低タンパク含有率の酒米を安定生産するためには、食用米生産と同様に、冷害

対策技術である防風網等の設置や前歴期間～冷害危険期の深水かんがいを励行し (真木 1979, 山崎 1994, 山崎ら 1982, Satake ら 1987), 不稔の発生を防止することが重要であると考えられた。

タンパク含有率は、岩見沢市より比布町の方が、「吟風」より「彗星」の方が、それぞれ低かった (第 3-2 表)。また品種間差異より産地間差異の方が大きかった。白米中のタンパク含有率におぼす影響は、品種や栽培法より産地の土壌の影響が大きいことが知られている (五十嵐ら 2005)。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土で異なる (渡邊 2011)。このため、岩見沢市より比布町の方が、タンパク含有率が低かった主要因は、土壌の産地間差異であると考えられた。また、平均風速は岩見沢市より比布町の方が期間を通じて小さかった (第 3-1 図)。丹野 (2010) は北海道の食用米品種「きらら 397」を用い、分けつ期の平均風速とタンパク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。岩見沢市より比布町の方が、分けつ期の平均風速が小さかったことも、タンパク含有率が低かったことに関係したと推察した。比布町は岩見沢市に比べて、低タンパク含有率の酒米産地として適すると考えられた。また、2012 年の比布町の「吟風」と「彗星」のタンパク含有率 (精米歩合 70%) は、それぞれ 5.12%, 4.75% で、年次や産地によって、兵庫県の「山田錦」の 4.84% との差異が小さかった。これらのことから、低タンパク質含有率の酒米生産をするためには、食用米生産と同様に、産地を選定することが重要であると考えられた。

北海道の食用米では、客土や側条施肥、幼穂形成期後 7 日目のケイ酸追肥、穫後の稲わらの搬出、あるいは成苗を用いた密植などの土壌改良や栽培技術によりタンパク含有率を低下させ、良食味生産を行ってきた (柳原 2002, 柳原 2010, 後藤 2007)。これらの土壌改良や栽培技術はタンパク含有率の低い酒米生産にも応用できると考えられる。

一方、食用米品種では白米中のタンパク含有率には品種間差異が認められ (稲津ら 1982), 北海道では、アミロース含有率ならびにタンパク含有率の低い食用米品種を育成して食味

を向上させた (木下 2013). 例えば北海道では, 米国カルフォルニア州の食用米品種「国宝ローズ」から育成した低タンパク含有率の「空系 90242A」および「空系 90242B」を交配親にして, 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)と「ふっくりんこ」(田中ら 2008)を育成した. 酒米 2 品種は, 「国宝ローズ」に由来する系統や品種を系譜に含まないで, これらの低タンパク含有率の系統や品種を交配親として利用することにより, タンパク含有率をさらに低下させる可能性がある.

20 分吸水率は白米の吸水速度の指標であり, 20 分吸水率の高い品種は, 白米の吸水速度が大きく作業性に優れ酒米に適する (前重・小林 2000). 20 分吸水率は, 有意な産地間差異を示さなかったが, 「彗星」より「吟風」の方が高かった (第 3-2 表). しかし, 北海道の酒米平均の 20 分吸水率は, いずれも兵庫県の「山田錦」の 20 分吸水率 に比べて低かった. 北海道の 2 産地では, 北海道の酒米 2 品種の 20 分吸水率を兵庫県の「山田錦」並に高めることは困難であると考えられた.

一方, 兵庫県では, 20 分吸水率の高い酒米品種「兵庫北錦」(兵系酒 38 号) が育成された (西田ら 1987). また, 第 2 章 (田中ら 2015) で示した兵庫県の「兵庫北錦」の 20 分吸水率 (30.4%) は, 「山田錦」の 20 分吸水率 (29.9%) よりやや高かった. 北海道の酒米品種の系譜には, 「山田錦」と「兵庫北錦」が含まれていないので (田中ら 2015), これらを交配親として利用することにより, 20 分吸水率をさらに高める可能性がある.

次に, 20 分吸水率に品種間差異が生じた要因について検討する. 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). また柳内ら (1996) は, 20 分吸水率は無心白粒より心白粒の方が高く, 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. 本研究においても, 心白発現率は「彗星」より「吟風」の方が高く, 20 分吸水率は高かった (第 3-1 表, 第 3-2 表).

一方, 吉沢ら (1973, 1974) と花本 (1976) は白米の吸水性にタンパク含有率が関与し,

タンパク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。本研究でのタンパク含有率は「彗星」より「吟風」の方が高く、吉沢らと花本の結果と相反した。これらのことから、「吟風」の 20 分吸水率におよぼす心白発現率の影響は、タンパク含有率の影響より大きく、「彗星」より「吟風」の 20 分吸水率が高かった主要因は、「彗星」より「吟風」の心白発現率が高かったことであると推察した。

上島ら (1981) は「山田錦」と食用米品種「朝日」および「千本旭」を交配して得られた F₂ 集団を用いた遺伝解析を行い、「山田錦」の心白発現率の広義の遺伝率 (0.622~0.824) は高いと報告した。また、池上ら (2003) は「山田錦」と食用米「レイホウ」との正逆組み合わせ交雑による F₂ 集団を用い、心白発現率の分散と選抜反応から「山田錦」の心白発現の遺伝率 (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。したがって、「吟風」の心白発現率 (84.6%) は、「彗星」の心白発現率 (59.4%) に比べて、既にかなり高く、心白発現率およびそれから派生する 20 分吸水率の育種による改善効果は低いと推察された。一方、「彗星」は「山田錦」等の心白発現率の高い品種を交配親に利用することにより心白発現率を高め、間接的に 20 分吸水率をさらに高める可能性がある。

蒸米吸水率は、もろみにおける蒸米の溶解性に関係し、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)。蒸米吸水率は消化性の指標の一つであり、蒸米吸水率の高い米は消化性が良く (前重・小林 2000)、粕歩合が低く原料利用効率が高い傾向がある。蒸米吸水率は産地間と品種間ともに有意な差異を示さなかった (第 3-2 表)。また酒米 2 品種の蒸米吸水率は、いずれも兵庫県の「山田錦」の蒸米吸水率に比べて 2.1 ポイント (「山田錦」対比 94) 低く劣った。本章の 2 産地では、北海道の酒米 2 品種の蒸米吸水率を兵庫県の「山田錦」並に高めることは困難であると考えられた。一方、前報 (田中ら 2015) で示した兵庫県での「兵庫北錦」の蒸米吸水率 (34.3%) は、「山田錦」の蒸米吸水率と有意な差異を示さなかった。北海道の酒米品種の系譜には、「山田錦」と「兵庫

北錦」が含まれていないので (田中ら 2015), これらを交配親として利用することにより, 蒸米吸水率を高める可能性がある. 以上のように, 本研究の 2 産地での酒米 2 品種は, 兵庫県の「山田錦」に比べて, 千粒重が軽く, タンパク含有率が高く, 20 分吸水率と蒸米吸水率が低かった. したがって, 今後, 育種や栽培法によって, これらの形質を兵庫県の「山田錦」並に改善する必要がある.

第4章 農業特性と酒造適性におよぼす気象条件の影響

第3章では、北海道の岩見沢市と比布町において、酒米品種「吟風」と「彗星」を用い、農業特性と酒造適性の産地間・品種間差異を検討した。また、農業特性では食用米品種「ゆめぴりか」と「ななつぼし」との比較についても検討した。北海道の酒米2品種の玄米収量は、いずれの産地でも兵庫県の「山田錦」より多いことを指摘して、今後、北海道の酒米2品種を安定生産するためには、千粒重の増加および不稔防止が重要であると考察した。また、北海道の2産地の酒米2品種では、兵庫県の「山田錦」に比べて、20分吸水率と蒸米吸水率が低く、タンパク含有率が高いことを明らかにし、今後、北海道内外の酒造メーカーの北海道の酒米品種に対する評価を高めるためには、育種等によりこれらの酒造適性の改善が望まれるとした。

一方、北海道は水稻栽培の北限地域であるため、食用米では冷害による収量と品質の年次変動が大きいことが知られており（丹野 2011）、Satake ら（1987）の障害型不稔に対する深水かんがいの効果に関する研究をはじめ、冷害生理に関する研究が多数報告されている（西山 1985）。また北海道において、農業特性におよぼす気象条件の影響に関する研究報告や資料は食用米品種では多い（安積 2011、五十嵐ら 2005、五十嵐 2011、五十嵐 2014、丹野 2010、丹野 2012、柳原 2011）。しかし、酒米での研究は少なく（佐々木 2008）、酒米品種の農業特性と酒造適性の年次変動や、これと気象条件との関係については不明な点が多い。北海道の酒米品種の産地は、食用米の産地と同様に空知地域および上川地域が中心で、産地によって気象条件が異なる。このため北海道の酒米2品種は、気象条件の影響によって農業特性と酒造適性が大きく年次変動する可能性がある。そこで本章では、第3章と同じ年次および品種のデータを用いて、酒米2品種での農業特性と酒造適性の年次変動と気象条件との関係を明らかにし、農業特性では食用米2品種との比較についても検討した。

第1節 材料および方法

第3章と同じく、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2005年～2013年に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」を用いた。データ解析には、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（酒米研究会1996）による分析結果およびモデル結合型作物気象データベース（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）を利用した。

農業特性として、第3章で検討した12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を選択し、新たに玄米収量に關係する地上部全乾物重（以下、全重）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%精白した白米の20分吸水率（%）、蒸米吸水率（%）およびタンパク含有率（%）を用いた。また心白発現率については、2008年～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。気象条件の解析には第3章のデータを用いた。

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年～2013年の9年間での最大値、最小値、平均値、変動係数（以下、CV）および平均平方を算出した。また、各形質における平均平方の最小値に対する比率をF検定法（ $p < 0.05$ ）により検定した。さらに、各形質におよぼす各気象条件の影響程度の目安として、各形質と各気象条件との単相関係数を算出するとともに、共分散分析法により回帰直線の平行性の検定を行い、回帰直線の傾き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

第4-1-(1)表, 第4-1-(2)表に品種および産地別に, 農業特性の各形質の最大値, 最小値, 最大値と最小値との差, 平均値, CV および平均平方を示した. 各形質の CV を指標として年次変動の大きさを形質間で比較すると, 4品種と2産地を含む平均値 ($n=8$) で, 不稔歩合が最も大きく, 次に穂数, 玄米収量および1穂粒数が大きく, 全重が続き, 千粒重が最も小さかった. また各品種での2産地の平均値 ($n=2$) でも, 不稔歩合が最も大きく, 千粒重が最も小さく, 品種と産地を含む平均値と同様の傾向であった.

年次変動の大きさを食用米と酒米で比較すると, 各形質の CV は, 品種と産地を含む平均値 ($n=4$) で, 食用米平均より酒米平均の方が, 穂数では2.1ポイント (食用米平均対比124, 以下同様.), 玄米収量が0.6ポイント (107), 全重が0.2ポイント (103) および千粒重が0.1ポイント (102), それぞれ大きかった. 一方, 1穂粒数が1.0ポイント (90), および不稔歩合が3.6ポイント (95) それぞれ小さかった.

酒米2品種間で比較すると, 各形質の CV は, 2産地の平均値 ($n=2$) で, 「彗星」より「吟風」の方が, 玄米収量では4.8ポイント (「彗星」対比165, 以下同様.), 1穂粒数では2.9ポイント (142), および不稔歩合では16.5ポイント (129), 全重では0.3ポイント (104), それぞれ大きかった. 一方, 千粒重では0.7ポイント (86) および穂数では1.4ポイント (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, 品種と産地を含む平均値 ($n=4$) で, 食用米2品種より酒米2品種の方が, 千粒重では0.6g (食用米2品種対比119, 以下同様.), 玄米収量では 16 g m^{-2} (110), 1穂粒数では0.5 (104), それぞれ大きかった. 一方, 全重では 39 g m^{-2} (89), 穂数では19本 (91) および不稔歩合では1.0ポイント (95), それぞれ小さかった. また2産地の平均値 ($n=2$) で, 「彗星」より「吟風」の方が, 不稔歩合では14.4ポイント (「彗星」対比143, 以下同様.), 1穂粒数では5.8 (153), 玄米収

量では 72 g m^{-2} (153), および全重では 14 g m^{-2} (104), それぞれ大きく, 千粒重では 0.6 g (85), 穂数では 16 本 (92), それぞれ小さく, CV の傾向と一致した.

なお, 不稔歩合の平均平方は, 岩見沢市の「彗星」が, 両産地の「吟風」および比布町の「ななつぼし」を除く食用米 2 品種に比べて, 有意に小さく, CV の傾向と一致した. 一方, 穂数, 「ななつぼし」を除く 1 穂粒数, 千粒重, 全重および玄米収量の平均平方は, それぞれ有意な品種間差異を示さず, CV の傾向と異なった.

第4-1-(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、変動係数 (CV) および平均平方。

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 (%)	平均平方	最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値 (%)	CV (%)	平均平方	最大値 (a)	最小値 (b)	a-b	平均値 (%)	CV (%)	平均平方
酒造好適米	吟風	岩見沢市	690	522	168	620	9.8	3703 ns	60.5	41.5	19.0	53.6	9.7	27.3 ns	25.7	22.5	3.2	24.0	4.3	1.1 ns
		比布町	651	462	189	572	10.8	3800 ns	56.1	41.8	14.3	50.3	10.6	28.2 ns	25.7	22.1	3.6	24.2	4.6	1.2 ns
		平均	671	492	179	596	10.3	3752 -	58.3	41.7	16.7	52.0	10.2	27.8 -	25.7	22.3	3.4	24.1	4.4	1.2 -
	彗星	岩見沢市	730	510	220	633	11.8	5625 ns	54.4	42.6	11.8	49.3	7.4	13.2 ns	27.3	23.3	4.0	25.4	5.5	1.9 ns
		比布町	666	497	169	578	11.5	4443 ns	49.9	40.0	9.9	45.4	7.1	10.3 ns	27.6	23.7	3.9	25.8	4.7	1.5 ns
		平均	698	504	195	606	11.7	5034 -	52.2	41.3	10.9	47.4	7.3	11.8 -	27.5	23.5	4.0	25.6	5.1	1.7 -
	酒米平均	684	498	187	601	11.0	4393 -	55.2	41.5	13.8	49.6	8.7	19.8 -	26.6	22.9	3.7	24.8	4.8	1.4 -	
	ゆめぴりか	岩見沢市	914	724	190	806	9.1	5356 ns	53.6	36.0	17.6	44.8	11.2	25.2 ns	23.5	20.4	3.1	22.1	4.9	1.2 ns
		比布町	900	732	168	784	7.1	<u>3114</u>	46.3	35.8	10.5	40.6	9.1	13.5 ns	23.3	20.5	2.8	22.3	4.1	<u>0.8</u>
		平均	907	728	179	795	8.1	4235 -	50.0	35.9	14.1	42.7	10.2	19.4 -	23.4	20.5	3.0	22.2	4.5	1.0 -
食用米	ななつぼし	岩見沢市	867	602	265	764	10.2	6125 ns	60.2	44.2	16.0	50.8	11.9	36.6 *	23.2	20.0	3.2	21.8	5.0	1.2 ns
		比布町	751	550	201	662	9.0	3570 ns	46.1	36.9	9.2	42.9	6.5	<u>7.8</u>	23.6	20.2	3.4	22.1	4.7	1.1 ns
		平均	809	576	233	713	9.6	4848 -	53.2	40.6	12.6	46.9	9.2	22.2 -	23.4	20.1	3.3	22.0	4.9	1.2 -
	食用米平均	858	652	206	754	8.9	4541 -	51.5	38.2	13.3	44.8	9.7	20.8 -	23.4	20.3	3.1	22.1	4.7	1.1 -	
全体平均	771	575	196	677	9.9	4467 -	53.4	39.9	13.5	47.2	9.2	20.3 -	25.0	21.6	3.4	23.5	4.7	1.3 -		

数値は2005～2013年の値を示し、CVは変動係数 (%) を示す (n=9)。千粒重は水分13.8%に調整した値を用いた。平均は各品種2産地の平均値 (n=2) を、酒米平均は酒米2品種2産地の平均値 (n=4) を、食用米平均は食用米2品種2産地の平均値 (n=4) を、全体平均は4品種2産地の平均値 (n=8) を、それぞれ示す。*、**は下線の平均平方に対する各平均平方の比率をF検定した結果、それぞれ5%、1%水準で有意差があることを示し、nsは有意差がないことを示す。

第4-1-(2) 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、変動係数 (CV) および平均平方.

区 分	品 種	産 地	不稔歩合（％）					地上部全乾物重（gm ⁻² ）					玄米収量（gm ⁻² ）											
			最大値 (a)	最小値 (b)	a－b	平均値	CV (%)	平均平方	最大値 (a)	最小値 (b)	a－b	平均値	CV (%)	平均平方	最大値 (a)	最小値 (b)	a－b	平均値	CV (%)	平均平方				
酒 造 好 適 米	吟風	岩見沢市	25.9	5.9	20.0	11.5	53.4	37.7	*	1586	1227	359	1459	8.5	15407	ns	668	479	189	595	11.4	4618	ns	
		比布町	32.1	3.4	28.7	9.6	92.1	78.8	**	1564	1265	299	1435	7.0	10033	ns	683	459	224	602	13.0	6136	ns	
		平均	29.0	4.7	24.4	10.6	72.8	58.3	－	1575	1246	329	1447	7.8	12720	－	676	469	207	599	12.2	5377	－	
	彗星	岩見沢市	11.8	4.1	7.7	7.3	34.7	<u>6.4</u>	1586	1211	375	1480	8.6	16139	ns	705	550	155	624	8.4	2780	ns		
		比布町	13.8	1.5	12.3	5.1	77.8	15.4	ns	1605	1350	255	1466	6.3	<u>8486</u>	700	585	115	635	6.3	1624	ns		
		平均	12.8	2.8	10.0	6.2	56.3	10.9	－	1596	1281	315	1473	7.5	12313	－	703	568	135	630	7.4	2202	－	
	酒米平均	20.9	3.7	17.2	8.4	64.5	34.6	－	1585	1263	322	1460	7.6	12516	－	689	518	171	614	9.8	3790	－		
	食 用 米	ゆめぴりか	岩見沢市	18.8	4.4	14.4	10.5	51.1	28.8	*	1625	1219	406	1465	8.6	16051	ns	660	471	189	556	11.5	4059	ns
			比布町	28.3	3.5	24.7	8.9	85.1	57.2	**	1624	1313	311	1501	6.4	9224	ns	648	535	113	600	6.6	<u>1573</u>	
			平均	23.6	4.0	19.6	9.7	68.1	43.0	－	1625	1266	359	1483	7.5	12638	－	654	503	151	578	9.1	2816	－
ななつぼし		岩見沢市	23.3	5.3	18.0	12.3	51.1	39.9	*	1609	1250	359	1490	7.1	11238	ns	634	499	135	583	9.1	2805	ns	
		比布町	17.8	2.2	15.6	5.8	85.0	24.3	ns	1671	1305	366	1540	7.5	13220	ns	672	490	182	622	9.7	3636	ns	
食用米	平均	20.6	3.8	16.8	9.1	68.1	32.1	－	1640	1278	363	1515	7.3	12229	－	653	495	159	603	9.4	3221	－		
	食用米平均	22.0	3.9	18.2	9.4	68.1	37.5	－	1632	1272	361	1499	7.4	12433	－	654	499	155	590	9.2	3018	－		
	全体平均	21.5	3.8	17.7	8.9	66.3	36.1	－	1609	1268	341	1480	7.5	12475	－	671	509	163	602	9.5	3404	－		

数値は2005～2013年の値を示し、CVは変動係数 (%) を示す (n=9). 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. 平均は各品種2産地の平均値 (n=2) を, 酒米平均は酒米2品種2産地の平均値 (n=4) を, 食用米平均は食用米2品種2産地の平均値 (n=4) を, 全体平均は4品種2産地の平均値 (n=8) を, それぞれ示す. *, **は下線の平均平方に対する各平均平方の比率をF検定した結果, それぞれ5%, 1%水準で有意差があることを示し, nsは有意差がないことを示す.

2. 不稔歩合と気象条件との関係

第 4-2 表に不稔歩合と時期別の気象条件との単相関係数を示した。不稔歩合は、4 品種ともに－Ⅱ期および＋Ⅳ期の最高気温との間に、それぞれ有意な負の相関関係を示し、－Ⅱ期および＋Ⅲ期の平均風速との間に、それぞれ有意な正の相関関係を示した。一方、日射量は、＋Ⅱ期の「彗星」を除き、4 品種ともにいずれの時期にも有意な相関関係を示さなかった。

また不稔歩合は、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を示した。さらに酒米 2 品種では、＋Ⅱ期の最高気温と有意な負の相関関係を示したが、食用米 2 品種では示さなかった。一方、食用米 2 品種では、－Ⅳ期の最低気温と有意な負の相関関係を示したが、酒米 2 品種では示さなかった。

なお不稔歩合は、「彗星」では、＋Ⅱ期の日射量との間に有意な負の相関関係を示したが、「吟風」では示さなかった。一方、「吟風」では＋Ⅳ期の最低気温との間に有意な負の相関関係を示したが、「彗星」では示さなかった。不稔歩合とその他の気象条件との関係には、品種間で一定の傾向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。

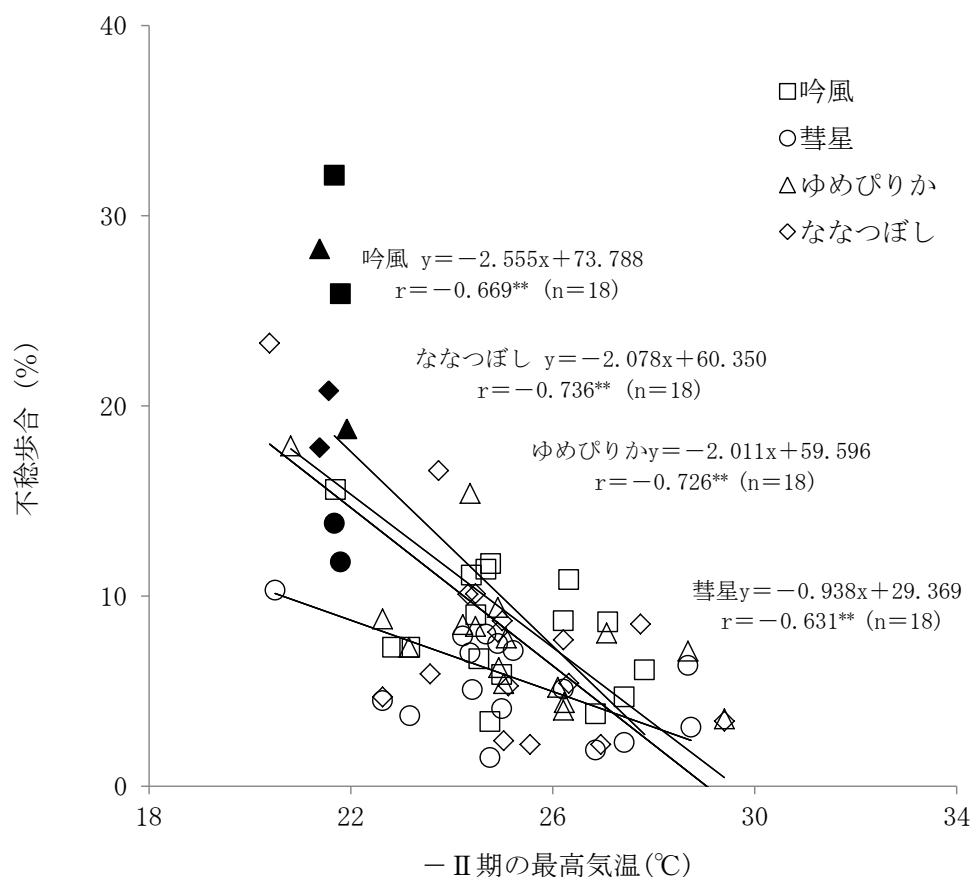
時期	最高気温				最低気温			
	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし	吟風	彗星	ゆめぴりか	ななつぼし
－Ⅳ	0.161	0.089	0.276	0.022	0.283	0.322	0.510 *	0.687 **
－Ⅲ	－0.387	－0.224	－0.244	－0.268	－0.156	－0.053	0.001	－0.008
－Ⅱ	－0.669 **	－0.631 **	－0.726 **	－0.736 **	－0.468	－0.491 *	－0.498 *	－0.349
－Ⅰ	－0.361	－0.321	－0.282	－0.282	0.109	0.236	0.047	0.215
＋Ⅰ	－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

年次は2005年～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日～－30日，－Ⅲ：－29日～－20日，－Ⅱ：－19日～－10日，－Ⅰ：－9日～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%水準で有意性があることを示す（n=18）。ただし、平均風速のみ冷害年の2009年を除く（n=16）。第4-3表も同様。

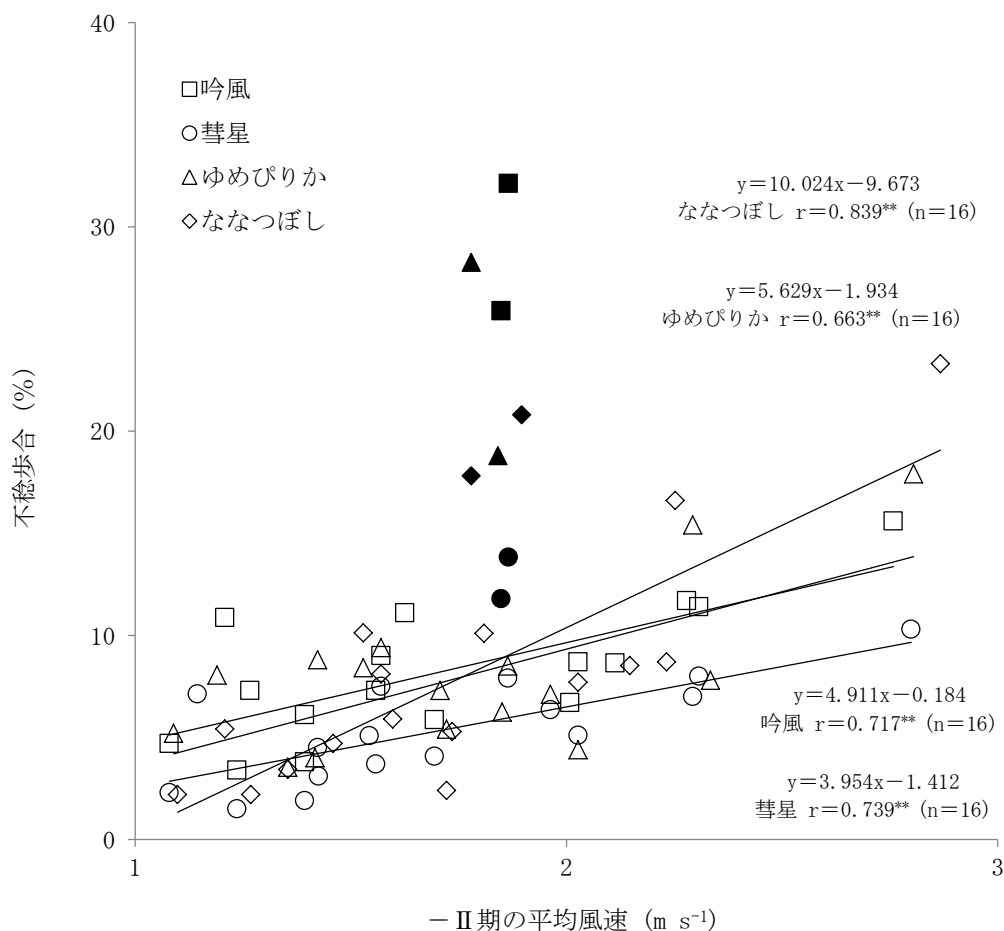
このように不稔歩合は、4品種はともに、特に－Ⅱ期の最高気温および－Ⅱ期の平均風速との間に、それぞれ高い負および正の相関関係を示した。－Ⅱ期のこれらの気象条件が不稔歩合の年次変動におよぼす影響の程度を品種間で比較するために、第4-1図に－Ⅱ期の最高気温と不稔歩合との関係を示した。回帰直線の傾きの絶対値は、「彗星」が「吟風」および食用米2品種に比べて有意に小さかった。その他の品種間では、回帰直線の傾きの大きさに有意な差異が認められなかった。次に第4-2図に、－Ⅱ期の平均風速と不稔歩合との関係を示した。冷害年の2009年を除くと、回帰直線の傾きは、酒米2品種は「ななつぼし」に比べて有意に小さかった。しかし、酒米2品種と「ゆめぴりか」の回帰直線の傾

きは、それぞれ有意な差異を示さなかった。また、－Ⅱ期での平均風速と最高気温と間に、冷害年の2009年を除くと、産地と品種を込みで $r = -0.444$ ($n=64$)、品種を込みで、各品種込みで岩見沢では $r = -0.529$ ($n=32$)、比布町では $r = -0.428$ ($n=32$) の、それぞれ1%水準 (比布町のみ5%水準) の有意な相関関係が認められた。



第4-1図 出穂期－19日～－10日（－Ⅱ期）の最高気温と不稔歩合の関係。

黒塗りは冷害年の2009年を示し、** は1%水準で有意性があることを示す。以下の図も同様。



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。

3. 千粒重と気象条件との関係

第4-3表に千粒重と時期別の気象条件との単相関係数を示した。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、それぞれ有意な正の相関関係を示した。一方、千粒重は、4品種はともに日射量との間には、いずれの時期でも有意な相関関係が認められなかった。

千粒重は、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を示したが、「ゆめぴりか」では示さなかった。一方、食用米2品種では、－Ⅳ期の最低気温および平均風速との間に、それぞれ有意な負の相関関係を示したが、酒米2

品種では示さなかった.

千粒重は,「彗星」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を示したが,「吟風」では示さなかった.千粒重とその他の気象条件との関係には,品種間で一定の傾向が認められなかった.

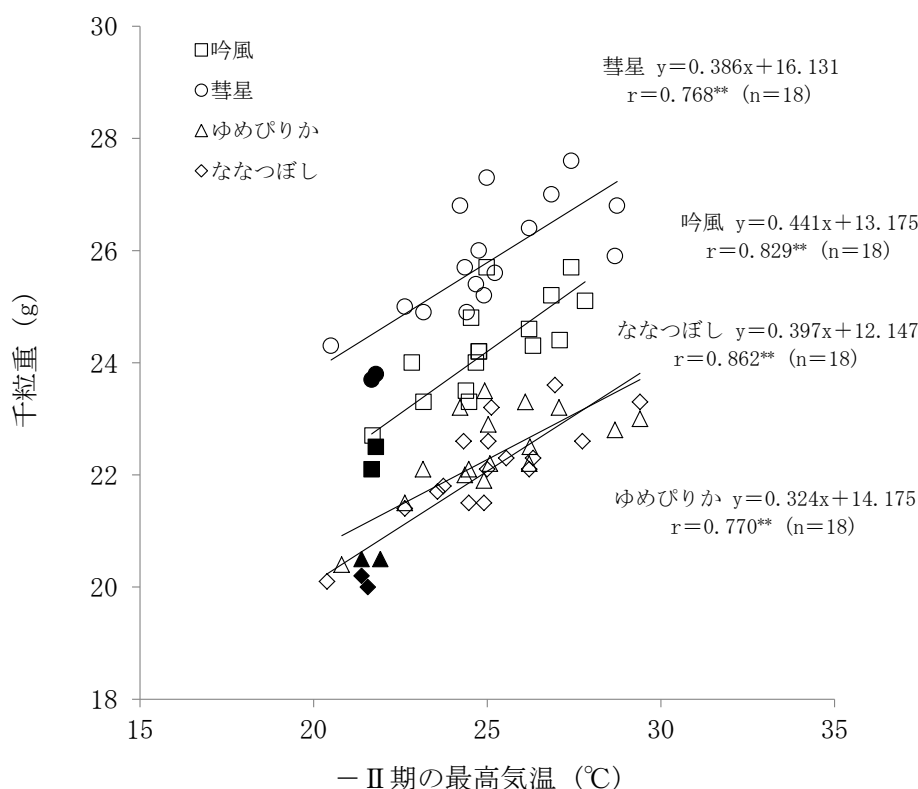
第4-3表 千粒重と時期別の気象条件との単相関係数.

時期	最高気温				最低気温			
	吟風	彗星	ゆめびりか	ななつぼし	吟風	彗星	ゆめびりか	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	0.254	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 *

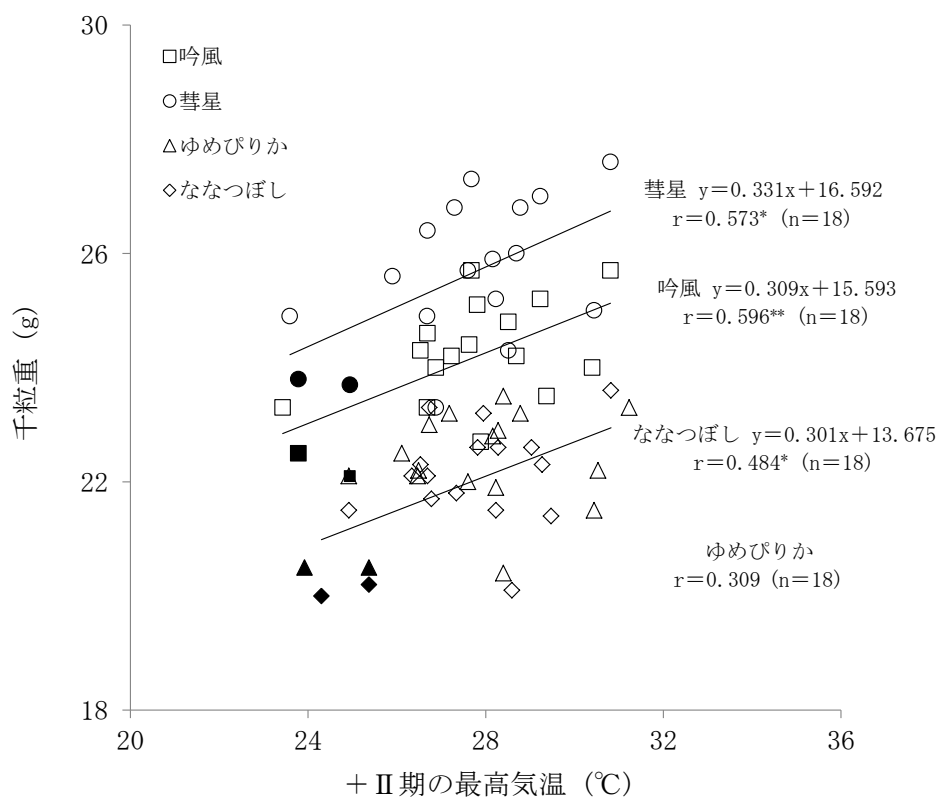
時期	平均風速				推定日射量			
	吟風	彗星	ゆめびりか	ななつぼし	吟風	彗星	ゆめびりか	ななつぼし
－Ⅳ	-0.107	-0.073	0.136	-0.129	-0.155	-0.230	-0.078	-0.057
－Ⅲ	0.069	-0.008	-0.045	-0.128	0.090	-0.002	0.132	0.060
－Ⅱ	-0.409	-0.401	-0.532 *	-0.553 *	0.213	0.259	0.131	0.222
－Ⅰ	-0.431	-0.312	-0.165	-0.226	0.092	0.153	0.111	0.176
＋Ⅰ	-0.153	-0.138	-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

このように、千粒重は、いずれの品種でも－Ⅱ期の最高気温との間に高い正の相関関係を示した。また＋Ⅱ期の最高気温との間に、「ゆめぴりか」を除く3品種で、高い正の相関関係を示した。そこで、第4-3図に－Ⅱ期の最高気温と千粒重との関係を示した。－Ⅱ期の最高気温が上昇すると、いずれの品種でも千粒重は増加する傾向を示した。また、4品種の回帰直線の傾きには有意な品種間差異が認められず、4品種の回帰直線はほぼ平行していた。しかし、4品種のy切片は、酒米2品種は食用2品種に比べて明らかに大きく、また「彗星」は「吟風」に比べて大きかった。

次に第4-4図に、＋Ⅱ期の最高気温と千粒重との関係を示した。＋Ⅱ期の最高気温が上昇すると、「ゆめぴりか」を除く3品種では千粒重が増加する傾向を示した。また3品種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ず、3品種の回帰直線はほぼ平行していた。しかし、3品種のy切片は、酒米2品種は「ななつぼし」に比べて明らかに大きく、また「彗星」は「吟風」に比べて大きかった。

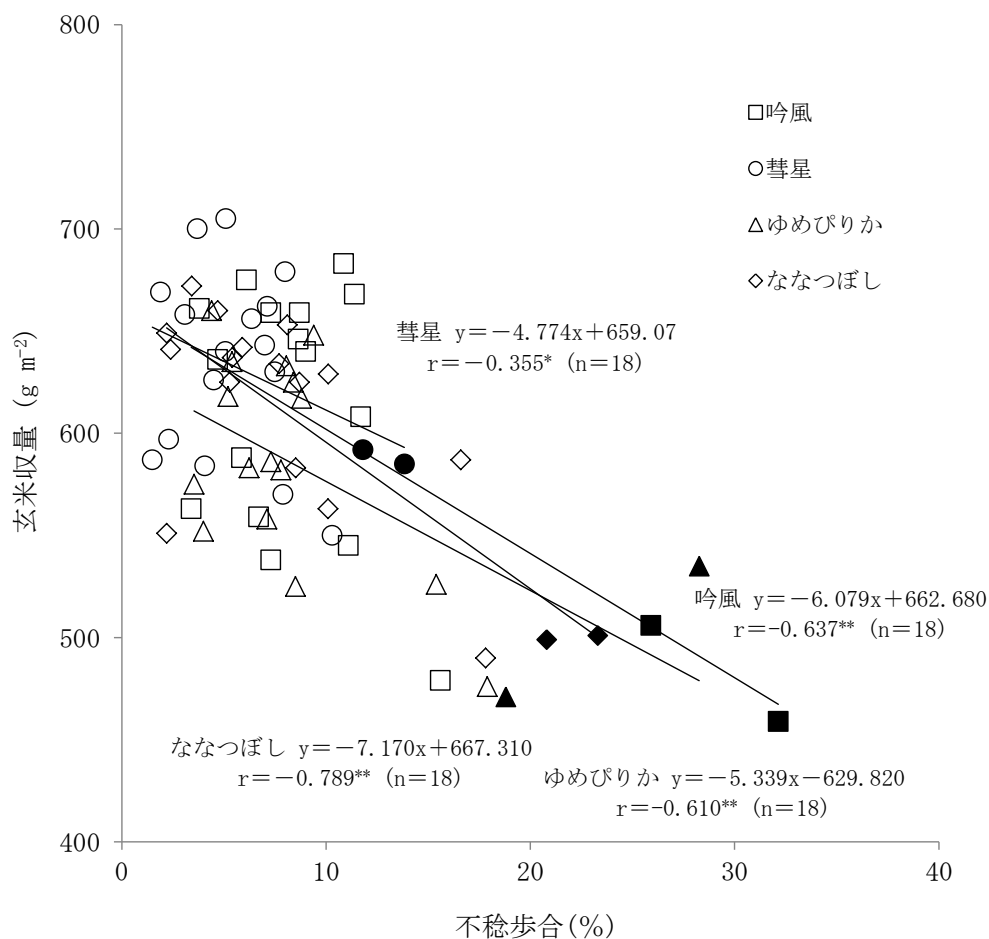


第4-3図 出穂期－19日～－10日（－Ⅱ期）の最高気温と千粒重の関係



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。* は5%水準で有意性があることを示す。
以下の図も同様。

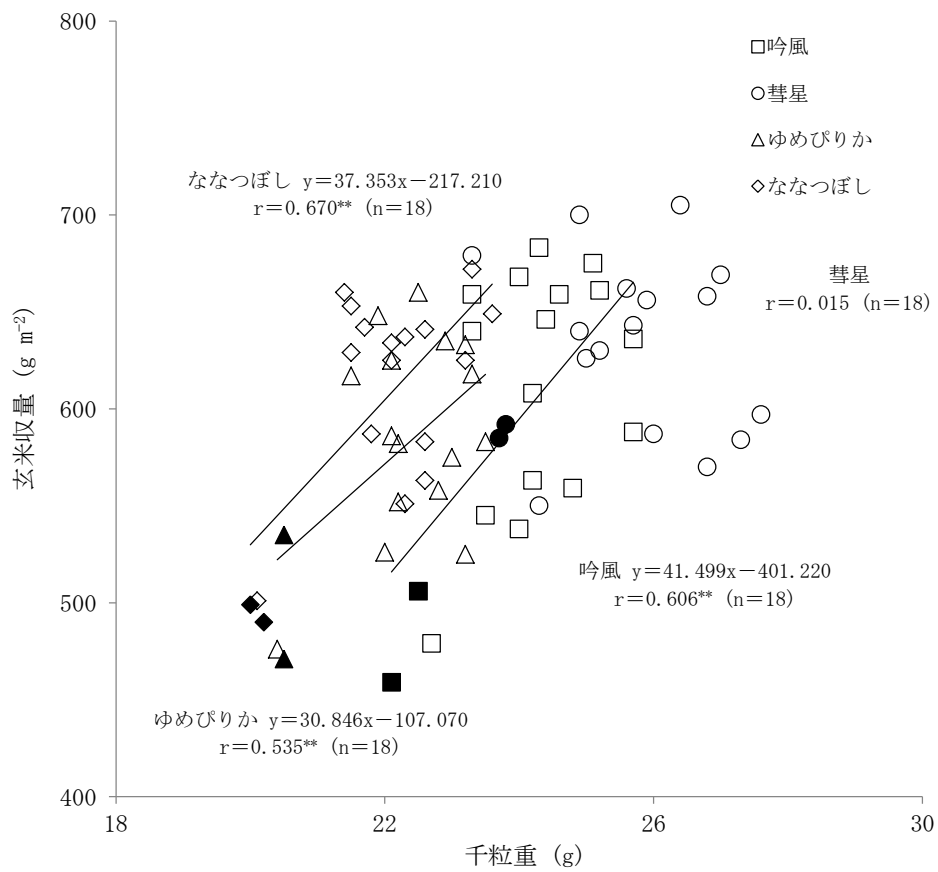
第 4-5 図に不稔歩合と玄米収量との関係を示した。いずれの品種でも不稔歩合と玄米収量との間に有意な負の相関関係が認められ、不稔歩合が上昇すると玄米収量は低下する傾向を示した。また、玄米収量での 2009 年と他の年次との差異は、「吟風」が最も大きく、「彗星」が最も小さかった。



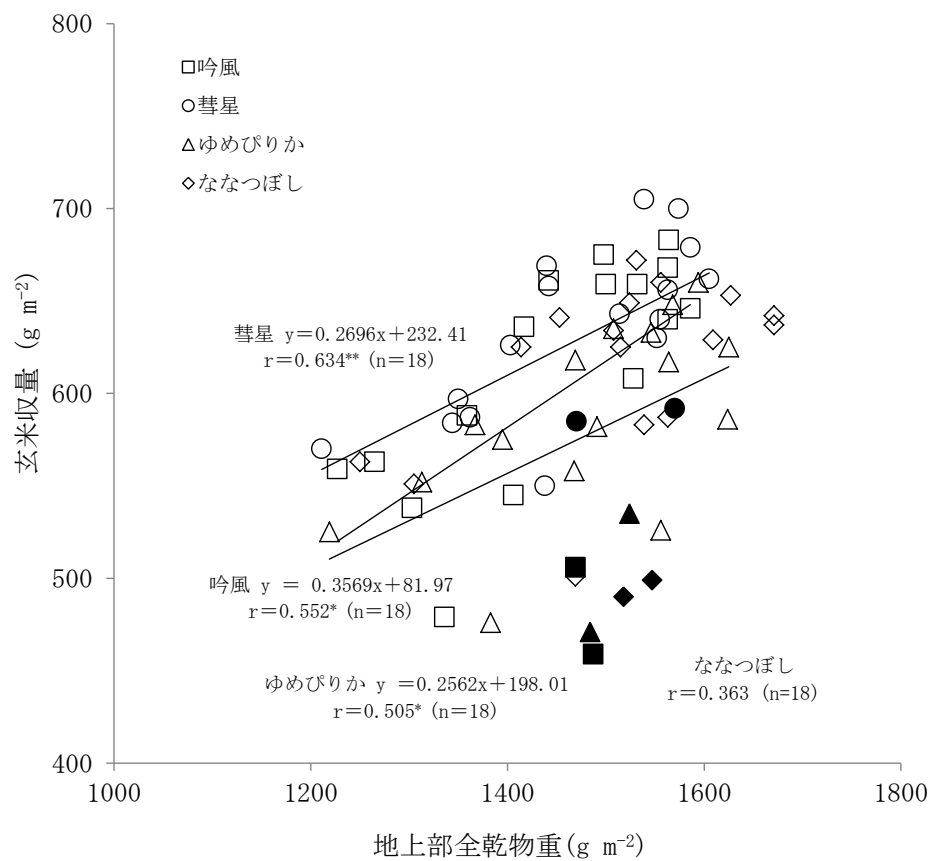
第4-5図 不稔歩合と玄米収量の関係.

第 4-6 図に千粒重と玄米収量の関係を示した。「吟風」および食用米 2 品種では、千粒重と玄米収量との間に、それぞれ有意な正の相関関係が認められ、千粒重が増加すると、玄米収量が増加する傾向を示したが、「彗星」では、有意な相関関係は認められなかった。また千粒重に対する玄米収量の回帰直線の傾きは、「彗星」が他の 3 品種に比べて有意に小さかった。

第 4-7 図に全重と玄米収量の関係を示した。酒米 2 品種および「ゆめぴりか」では全重と玄米収量の間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が増加する傾向を示したが、「ななつぼし」では、有意な相関関係は認められなかった。



第4-6図 千粒重と玄米収量の関係.



第4-7図 地上部全乾物重と玄米収量の関係

全体 $r = 0.461^{**}$ (n=72).

酒米 2 品種は食用米 2 品種に比べて、全重と玄米収量との間により密接な正の相関関係を示し、玄米収量におよぼす全重の影響が大きい傾向が認められた (第 4-7 図)。

そこで、玄米収量におよぼす各形質の影響の程度を相対的に比較するために、第 4-4 表に、玄米収量を目的変数にし、各形質を増減法 ($p < 0.100$) により説明変数にした重回帰分析の結果を示した。説明変数は形質間の中から、全重、不稔歩合および千粒重が選択された。4 品種はともに、決定係数 (R^2) が 0.760~0.913 の高い有意性を示し、玄米収量は、これららの形質により約 80%~90%の寄与率で説明できることが明らかとなった。「吟風」では、千粒重、不稔歩合および全重に、「彗星」および食用 2 品種では、不稔歩合と全重に、それぞれ玄米収量に関して有意性が認められた。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かった。さらに「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。

第4-4表 玄米収量に対する地上部全乾物重、不稔歩合および千粒重の重回帰分析結果。

品種	地上部 全乾物重	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、地上部全乾物重、不稔歩合および千粒重を説明変数として増減法 ($p < 0.100$) で重回帰分析を行った標準偏回帰係数を、横棒 (-) は未検出を、 R^2 は決定係数を、それぞれ示す。†, **, ***は偏回帰係数と回帰式の有意性の検定を行い、それぞれ10%, 1%水準, 0.1%水準で有意性があることを示す (n=18)。

4. 酒造適性の年次変動

第 4-5 表に「吟風」および「彗星」の各酒造適性の最大値、最小値、最大値と最小値との差、平均値、CV および平均平方を示した。各形質の CV を指標として年次変動の大き

さを形質間で比較すると、産地と品種を込みにした平均値 (n=4) で、心白発現率が最も大きく、次にタンパク含有率が大きく、20分吸水率および蒸米吸水率が最も小さかった。

また、各品種での2産地の平均値 (n=2) でも、産地と品種を込みにした平均値と同様の傾向であった。

次に、年次変動の大きさを品種間で比較すると、各形質の CV は2産地の平均値で、心白発現率では「吟風」より「彗星」の方が大きく、またタンパク含有率では「彗星」より「吟風」の方が大きかった。一方、20分吸水率と蒸米吸水率では品種間差異が小さかった。また、冷害年であった2009年を除いても、心白発現率では「吟風」(11.2%) より「彗星」(18.2%) の方が大きかった。

一方、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、「吟風」より「彗星」の方が、2産地の平均値で心白発現率では34.3ポイント(「吟風」対比253, 以下同様。)大きく、タンパク含有率では0.6ポイント(63)小さく、CVの傾向と一致した。蒸米吸水率では1.0ポイント(129)大きく、20分吸水率では0.2ポイント(95)小さく、CVの傾向と異なった。なお、心白発現率の平均平方は、比布町では、「吟風」より「彗星」の方が有意に大きく、CVの傾向と一致した。しかし岩見沢市では、有意な品種間差異が認められなかった。また、20分吸水率、蒸米吸水率およびタンパク含有率の平均平方は、いずれの産地でも有意な品種間差異を示さず、20分吸水率と蒸米吸水率の平均平方はCVの傾向と一致したが、タンパク含有率の平均平方はCVの傾向と異なった。

第4-5表 「吟風」と「彗星」における酒造適性の最大値，最小値，平均値，変動係数（CV）および平均平方。

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 (%)	平均平方		最大値 (a)	最小値 (b)	a－b	平均値	CV (%)	平均平方
吟風	岩見沢市	30.0	26.4	3.6	27.9	4.2	1.36	ns	35.0	32.2	2.8	33.27	3.2	<u>1.10</u>
	比布町	29.5	25.7	3.9	27.8	3.9	1.15	ns	35.2	31.3	3.9	33.28	4.0	1.77 ns
	平均	29.8	26.0	3.8	27.9	4.1	1.26	—	35.1	31.8	3.4	33.28	3.6	1.44 —
彗星	岩見沢市	28.2	24.2	4.0	25.9	4.5	1.39	ns	35.8	31.7	4.1	33.30	4.2	1.95 ns
	比布町	27.5	24.4	3.1	25.7	3.7	<u>0.88</u>		35.5	30.9	4.7	33.27	5.0	2.71 ns
	平均	27.9	24.3	3.6	25.8	4.1	1.14	—	35.7	31.3	4.4	33.29	4.6	2.33 —
全体平均		28.8	25.2	3.7	26.8	4.1	1.20	—	35.4	31.5	3.9	33.28	4.1	1.88 —

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 (%)	平均平方		最大値 (a)	最小値 (b)	a－b	平均値	CV (%)	平均平方
吟風	岩見沢市	6.8	5.0	1.8	5.90	9.1	0.29	ns	95.5	69.5	26.1	84.8	11.2	89.6 ns
	比布町	5.8	4.4	1.4	5.16	9.3	0.23	ns	93.6	74.8	18.8	84.4	9.9	<u>69.6</u>
	平均	6.3	4.7	1.6	5.53	9.2	0.26	—	94.6	72.1	22.4	84.6	10.5	79.6 —
彗星	岩見沢市	5.9	4.9	1.0	5.40	6.3	<u>0.11</u>		80.1	29.7	50.4	59.6	32.4	373.4 ns
	比布町	5.2	4.3	1.0	4.79	7.2	0.12	ns	87.0	24.0	63.0	59.3	38.6	523.8 *
	平均	5.6	4.6	1.0	5.10	6.8	0.12	—	83.6	26.9	56.7	59.5	35.5	448.6 —
全体平均		5.9	4.7	1.3	5.31	8.0	0.19	—	89.1	49.5	39.6	72.0	23.0	264.1 —

酒造適性は精米歩合70％の水分13.5％に調整した白米を，心白発現率は水分13.8％に調整した玄米を用い調査した．数値は2005年～2013年（心白発現率のみ2008年～2012年）の値を示す（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．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）を示す．* は下線の平均平方に対する各平均平方の比率をF検定した結果，5％水準で有意差があることを示し，nsは有意差がないことを示す．

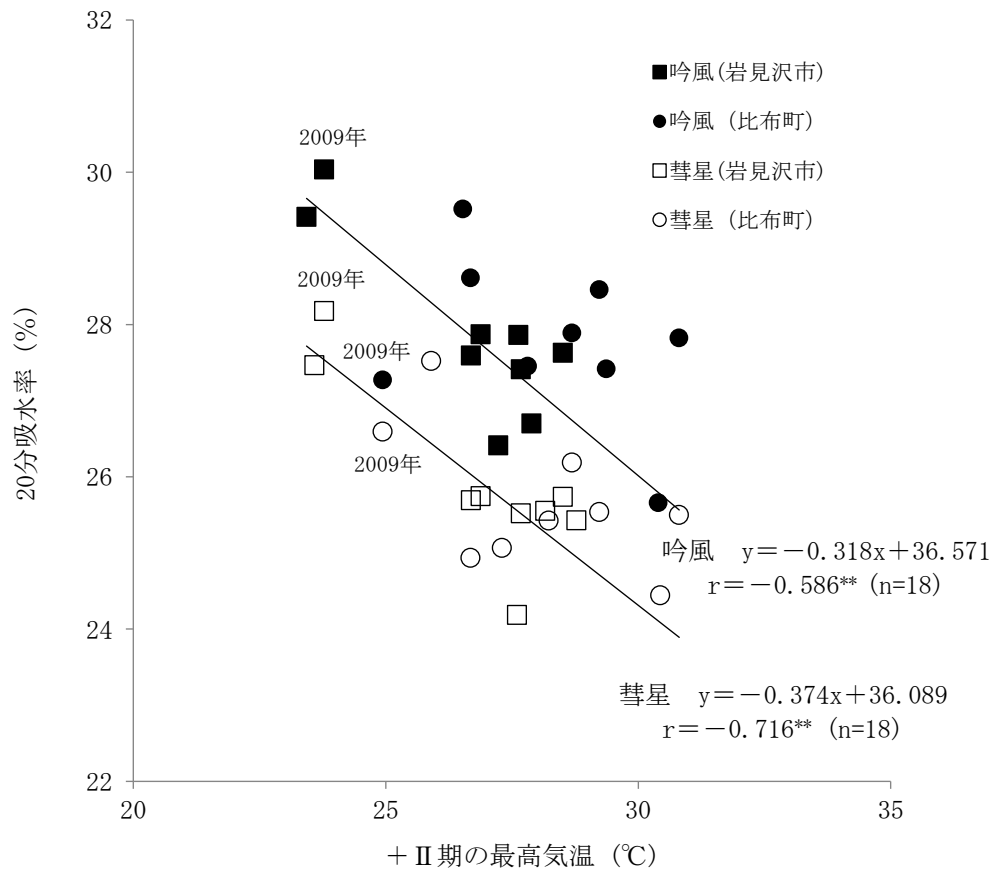
第4-6表に20分吸水率と時期別の気象条件との相関係数を示した。20分吸水率は、「吟風」では、+Ⅱ期の最高気温および最低気温、+Ⅰ期の最低気温および+Ⅲ期の日射量と、それぞれ有意な負の相関関係を示した。一方、「彗星」では、+Ⅱ期の最高気温および最低気温、+Ⅲ期の最高気温および-Ⅱ期の日射量と、それぞれ有意な負の相関関係を示した。

第4-8図に両品種ともに相関係数の大きかった+Ⅱ期の最高気温と20分吸水率との相関関係を示した。両品種ともに、+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。また回帰直線の傾きは、有意な品種間差異を示さなかった（「吟風」：-0.318，「彗星」：-0.374， $p=0.697$ ）。

第4-6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

各気象条件は、2005年～2013年の9カ年のモデル結合型作物気象データベース（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）による。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日～-30日，-Ⅲ：-29日～-20日，-Ⅱ：-19日～-10日，-Ⅰ：-9日～0日，+Ⅰ：+1日～+10日，+Ⅱ：+11日～+20日，+Ⅲ：+21日～+30日，+Ⅳ：+31日～+40日。各品種の産地は岩見沢市と比布町の2カ所で，**，*はそれぞれ1%，5%水準で有意性があることを示す（ $n=18$ ）。第4-7表～第4-9表も同様。ただし第4-8表のみ， $n=10$ 。



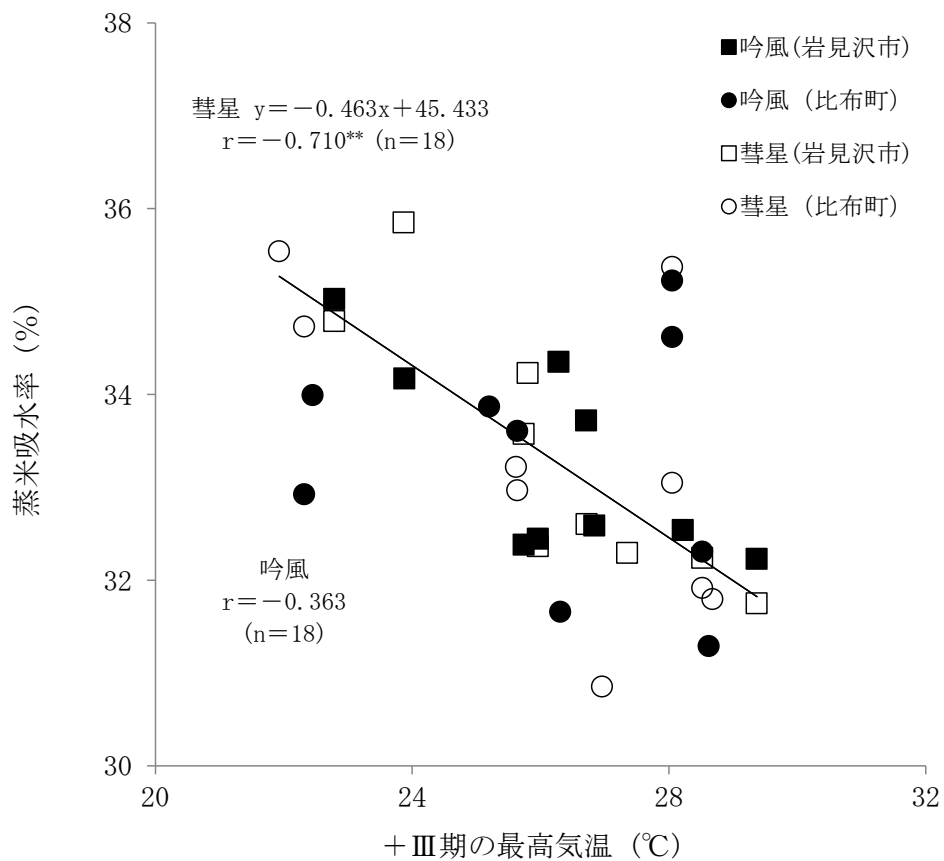
第4-8図 出穂期+11日～+20日(+Ⅱ期)の最高気温と20分吸水率の関係.

図中の2009年は冷害年, 岩見沢市 $r = -0.679^{**}$ (n=18),
比布町 $r = -0.273$ (n=8).

第4-7表に蒸米吸水率と時期別の気象条件との相関係数を示した. 蒸米吸水率は, 「吟風」では, いずれの時期でも気象条件と有意な相関関係を示さなかった. 一方, 「彗星」では, +Ⅰ期および+Ⅲ期の最高気温, +Ⅲ期の最低気温および-Ⅲ期の日射量と, それぞれ有意な負の相関関係を示した. 特に+Ⅲ期の最高気温と密接な相関関係を示し, +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(第4-9図).

第4-7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



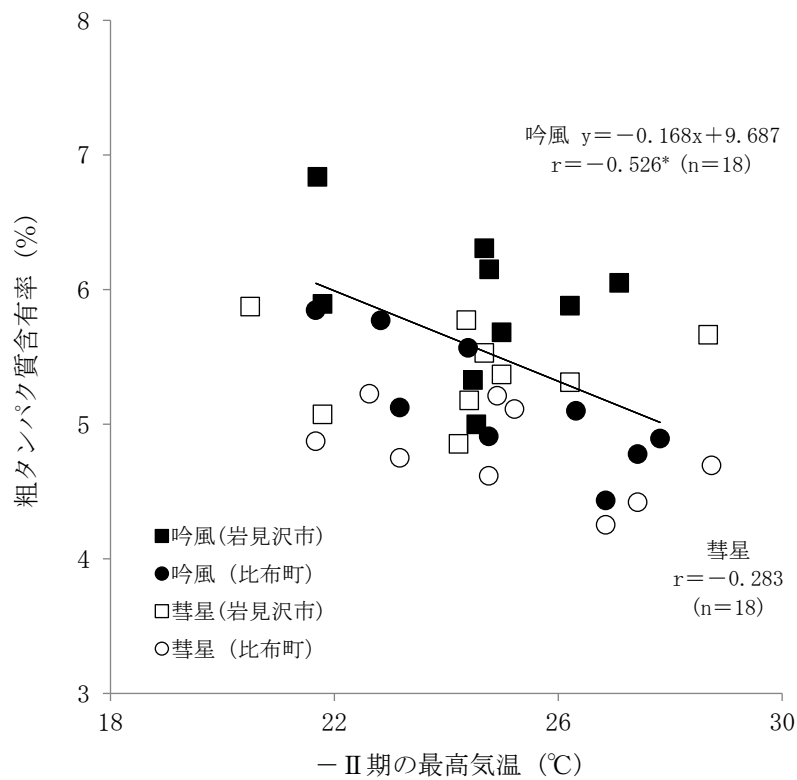
第4-9図 出穂期+21日～+30日（+Ⅲ期）の最高気温と蒸米吸水率の関係.

岩見沢市 $r = -0.808^{**}$ ($n=18$), 比布町 $r = -0.391$ ($n=18$).

第4-8表にタンパク含有率と時期別の気象条件との相関係数を示した。タンパク含有率は、「吟風」では、－Ⅱ期および＋Ⅳ期の最高気温との間に負の、＋Ⅰ期の最低気温との間に正の、それぞれ有意な相関関係を示した。「吟風」では、冷害危険期に相当する－Ⅱ期の最高気温とタンパク含有率との間に密接な相関関係が認められたので、第4-10図に相関関係を示した。「吟風」では－Ⅱ期の最高気温が上昇すると、タンパク含有率は低下する傾向が認められた。一方「彗星」では、その傾向が明瞭ではなかった。一方、＋Ⅰ期の「吟風」を除き、両品種ともに各時期の平均風速との間に、それぞれ有意な正の相関関係を示した。－Ⅱ期の平均風速と最も高い相関係数を示した。両品種ともに平均風速が増加すると、タンパク含有率は上昇する傾向を示した(第4-11図)。なお、両品種はともに、いずれの時期でも日射量とは有意な相関関係を示さなかった。

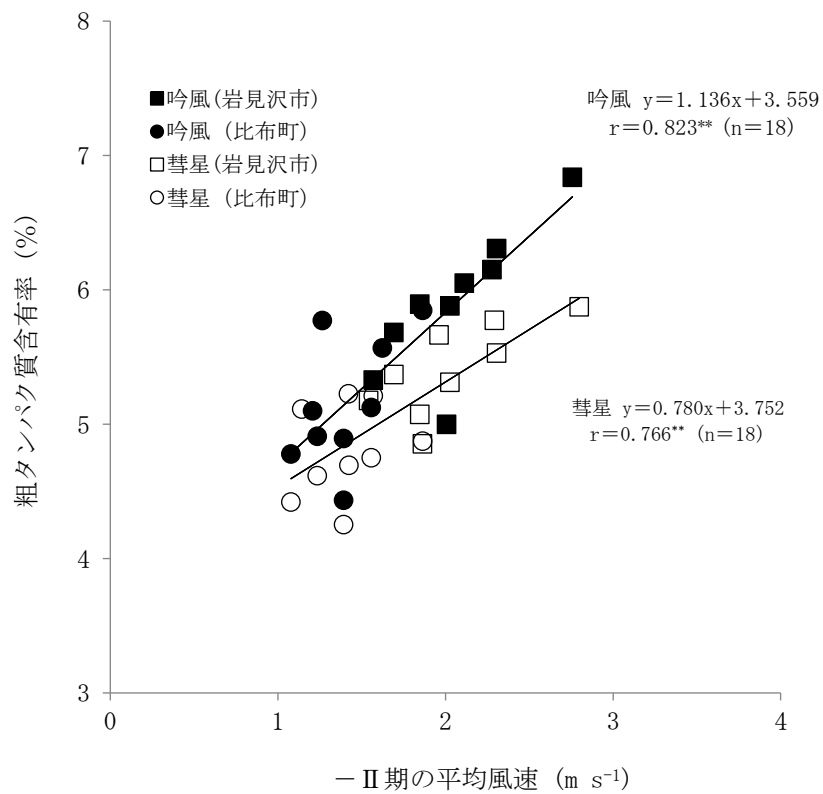
第4-8表 粗タンパク質含有率と時期別の気象条件との単相関係数。

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



第4-10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.

岩見沢市 $r = -0.119$ (n=18), 比布町 $r = -0.619^{**}$ (n=18).



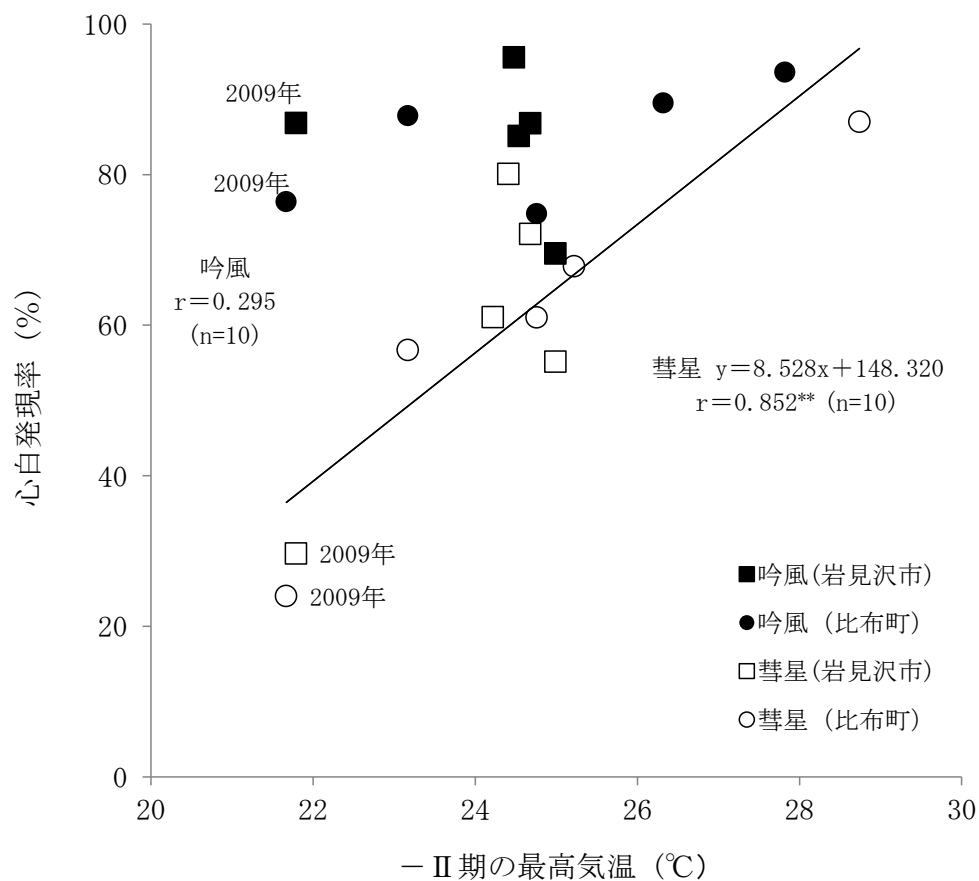
第4-11図 出穂期-19日～-10日（-II期）の平均風速と粗タンパク質含有率の関係.

岩見沢市 $r = 0.663^{**}$ (n=18), 比布町 $r = 0.378$ (n=18).

第 4-9 表に心白発現率と時期別の気象条件との相関係数を示した。心白発現率は、「吟風」では、+ I 期の最高気温および+ I 期の日射量との間に、それぞれ有意な負の相関関係を示した。また、- IV期および+ IV期の日射量との間に、それぞれ有意な正の相関関係を示した。一方、「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を示した。「彗星」の心白発現率は、特に- II 期の最高気温との間に高い相関関係を示した。- II 期の最高気温が上昇すると、心白発現率は上昇する傾向を示した (第 4-12 図)。

第4-9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



第4-12図 出穂期－19日～－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,
岩見沢市 $r=0.331$ ($n=10$), 比布町 $r=0.629$ ($n=10$).

第3節 考察

1. 農業特性

不稔歩合の年次変動は、形質の中では、いずれの産地および品種でも最も大きく (第 4-1-(2) 表), 一Ⅱ期の最高気温は不稔歩合に大きく影響をおよぼした (第 4-1 図). 第 3 章で示したように, 4 品種はともに中生種であり, 出穂期の差異は 2 日以内であった. したがって, 一Ⅱ期は 4 品種の水稻の冷害危険期の穂ばらみき期であった. 北海道では穂ばらみ期に低温によって不稔が多発し, 4 年に一度の頻度で冷害が起こる (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, 第 4-2 図). したがって, 2009 年は, 4 品種ともに一Ⅱ期の最高気温が不稔歩合に大きく影響をおよぼし, このことが不稔歩合の年次変動が大きかった要因の一つであると推察した. なお, 最高気温, 平均気温および最低気温の相互間には 1% 水準で有意な正の相関関係が, 両産地で認められたことから (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 $n=8$), 各形質と相関関係が強かった最高気温を気温の代表値として解析に使用した.

また不稔歩合の年次変動は, 4 品種の中で「吟風」が最も大きく, 「彗星」が最も小さかった. 各品種の育成課程において, 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, 「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. したがって, 品種間の穂ばらみ期耐冷性の差異が, 2009 年と他の年次との不稔歩合の品種間差異に関係し, 年次変動の品種間差異が生じた主要因であると推察した.

次に冷害年の 2009 年を除くと, 4 品種はともに一Ⅱ期の平均風速が増加すると, 不稔歩

合が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の水温が上昇し, また, 真木 (1979) と山崎ら (1982) は防風網が水田水温の昇温および不稔防止に効果があると報告した. さらに Shimono ら (2007) は気温が 3℃上昇すると水温は 1℃上昇すると推定した. しかし, 風速が 30%増加すると気温が 3℃上昇しても水温上昇は 0.5℃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. したがって, 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, 水田水温の低下が不稔歩合の増加に影響をおよぼした可能性がある.

一方, 4 品種とともに, 形質間で千粒重の年次変動が最も小さかった. 千粒重は, -Ⅱ期および+Ⅱ期の最高気温と有意な相関関係を示した. また, -Ⅱ期および+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が認められず (第 4-3 図, 第 4-4 図), これらの気象条件が千粒重におよぼす影響の程度には, 品種間差異が認められないと推察した. しかし, y 切片の大きさは, 酒米 2 品種と食用米 2 品種間で, また酒米 2 品種間で明瞭な差異が認められた. これは, -Ⅱ期および+Ⅱ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, 千粒重の品種間差異は年次間で安定していることを意味する. 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は低下しなかった. このことが千粒重の年次変動での品種間差異が小さかった要因の一つと考えられた.

千粒重は, 4 品種ともに 8 時期の中で -Ⅱ期の最高気温と最も高い正の相関関係を示した (第 4-3 表). 佐々木ら (2010) は食用米の「きらら 397」を用い, 出穂期前後の気温と千粒重の関係を調査し, 千粒重におぼす平均気温の影響は出穂日前 19~10 日が最も大きく, 両者間に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「出羽燦々」を用い, 出穂期前後の気象と千粒重の関係を調べて, 穂ばらみ期にあたる 7 月中旬と下旬の最高気温と有意な正の相関関係が確認され, 7 月中~下旬の最高気温により千粒重を高精度で推定できるとした. -Ⅱ期は穂ばらみ期と重なり, また両産

地の最高気温と平均気温との間に 1%水準の有意な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 $n=8$), 本研究の結果は, 佐々木ら (2010) および工藤ら (2007) の研究結果と一致したといえる.

千粒重と他の時期の気象条件との関係を品種間で比較すると, 酒米 2 品種は+Ⅱ期の最高気温とも高い正相関関係を示した. 一方, 食用米品種の「ゆめぴりか」は+Ⅳ期の最高気温と,「ななつぼし」は+Ⅲ期の最高気温と, それぞれ高い正の相関関係を示した. これらのことから, -Ⅱ期および+Ⅱ期の高温の年次は, 酒米 2 品種の千粒重が増加する可能性があると推察した.

「彗星」は「吟風」および食用米 2 品種に比べて, 不稔歩合と玄米収量との相関係数が小さく, 玄米収量におよぼす不稔歩合の影響が小さい傾向が認められた (第 4-5 図). また, 玄米収量の 2009 年と他の年次との差異が, 不稔歩合の年次変動が小さかったことが関係して小さかった. 次に, 「吟風」および食用米 2 品種では, 千粒重と玄米収量との間に有意な正の相関関係が認められたが (第 4-6 図), 「彗星」では認められなかった. また「彗星」は, 千粒重に対する玄米収量の回帰直線の傾きが他の 3 品種に比べて有意に小さかった. これらのことから, 「彗星」の玄米収量におよぼす不稔歩合および千粒重の影響の程度は他の 3 品種に比べて小さいと考えられた. このことが, 「彗星」の玄米収量の年次変動が, 他の 3 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.

玄米収量に対する重回帰分析の結果から, 玄米収量の年次変動におよぼす影響の程度は, 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, さらに「吟風」では千粒重が大きいと推察した (第 4-4 表). 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推察した. 酒米 2 品種は食用米 2 品種に比べて, 玄米収量に対する全重の寄与率が高かった理由として, 全重と玄米収量との間により密接な正の相関関係を示し, 玄米収量におよぼす全重の影響が大きい傾向が認められたためと考えられた (第 4-7 図).

これまで北海道では, 食用米品種について良質良食味米を安定的に生産するために様々

な栽培技術が開発されてきた (安積 2011, 五十嵐 2011, 五十嵐 2014, 丹野 2012, 柳原 2011).

この中で、前歴期間～冷害危険期 (穂ばらみ期) における深水管理の徹底により不稔発生を防止するとともに、健苗育成、適期移植および側条施肥等により初期生育を促進することが重要であった。したがって、酒米 2 品種の玄米収量を安定生産するためには、全重の確保の点から、食用米 2 品種以上に健苗育成、適期移植および側条施肥等により初期生育を促進することが重要であると推察した。

2. 酒造適性

酒造適性の年次変動は、「吟風」より「彗星」の方が、心白発現率では大きく、タンパク含有率では小さかった。また 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)。そこで、各形質の年次変動にこのような品種間差異が生じた要因について、気象条件との関係から考察した。なお、第 2 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ので、品種間差異について産地との交互作用を考慮せずに考察した。

心白発現率の最大値と最小値の差は、「吟風」より「彗星」の方が 50%以上大きかった。また冷害年の 2009 年の心白発現率は、他の年次の心白発現率に比べて、「彗星」では明らかに低かったのに対して、「吟風」では大きな差異がなかった (第 4-12 図)。さらに 2009 年を除いても、心白発現率の CV は「吟風」より「彗星」の方が大きかった。これらのことから、心白発現率の年次変動は「吟風」より「彗星」の方が大きく、冷害年の影響により年次変動の品種間差異がさらに拡大したと考えられた。さらに、「彗星」ではⅡ期の最高気温が上昇すると心白発現率が上昇する傾向を示したのに対して、「吟風」では一定の傾向を示さなかった (第 4-12 図)。

心白発現率は、酒造行程において重要な精白米の吸水性や、麴のハゼ込みおよび消化性等に深く関係しており、酒米の重要形質のひとつである (前重・小林 2000)。そのため、酒

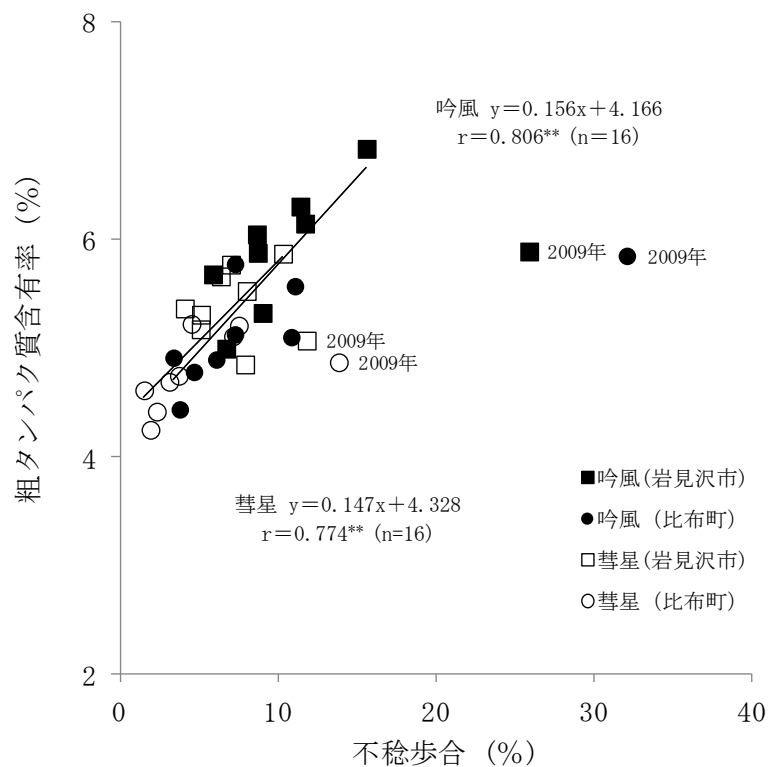
造メーカーは、心白発現率が高く、かつ年次変動の少ない酒米品種を望む。「彗星」は最高気温、特に－Ⅱ期が低下すると、心白発現率が顕著に低下する傾向を示したので(第4-12図)、－Ⅱ期が低温の年次では、心白発現率が低下する可能性が高く酒造上、望ましくないといえる。

一方、タンパク含有率の最大値と最小値の差は、「彗星」より「吟風」の方が大きかった(第4-4表)。また「吟風」は、－Ⅱ期の最高気温とタンパク含有率との間に有意な負の相関関係を示し、－Ⅱ期の最高気温が低下すると、タンパク含有率は増加する傾向を示した。しかし、「彗星」では一定の関係を示さなかった(第4-10図)。すなわち、「吟風」は、－Ⅱ期での最高気温の年次変動がタンパク含有率の年次変動に影響をおよぼしたが、「彗星」では影響をおよぼさなかったといえる。第4-1図および第4-3図に示したように、－Ⅱ期の最高気温が低下すると、両品種ともに不稔歩合は上昇する傾向を、また千粒重は低下する傾向を示した。－Ⅱ期は水稻の冷害危険期である穂ばらみ期に相当しており、北海道の水稻栽培では、冷害対策として深水かんがい(Satakeら1987)を行い、水温の低下を防ぎ、不稔の発生を防止している。したがって、－Ⅱ期の深水かんがいは不稔歩合および千粒重に影響をおよぼすのみならず、「吟風」ではタンパク含有率の上昇を、「彗星」では心白発現率の低下を防止するための重要な栽培技術であると推察できる。

そこで、第4-13図に不稔歩合とタンパク含有率との関係を示した。冷害年の2009年では、不稔歩合は、両品種ともに他の年次に比べて高く、特に「吟風」では顕著に高かった。しかし、両品種ともに2009年のタンパク含有率は、他の年次のタンパク含有率に比べて、必ずしも高くはなかった。このため2009年を除いても、両品種ともに不稔歩合はタンパク含有率と有意な正の相関関係を示し、「吟風」では不稔歩合が20%以下でも、また「彗星」では、不稔歩合が10%以下でも、不稔歩合の上昇に伴ってタンパク含有率が上昇する傾向を示した。

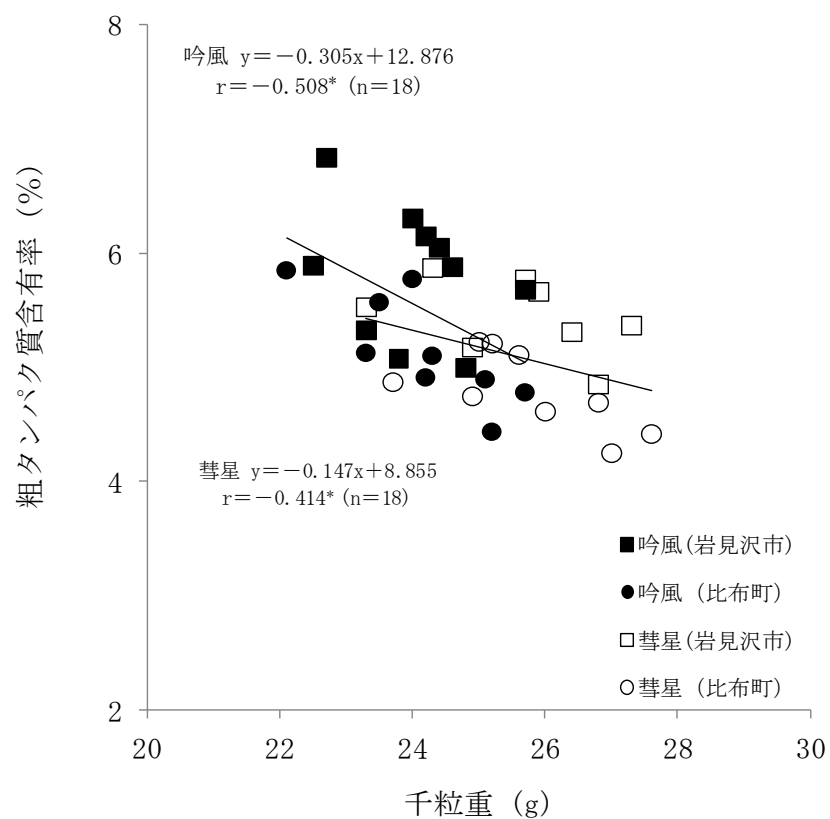
次に、第4-14図に千粒重とタンパク含有率との関係を示した。両形質の間には、両品種

ともに有意な負の相関関係が認められ、千粒重が増加するとタンパク含有率は低下する傾向を示した。これらのことから、－Ⅱ期の深水かんがいは、冷害となる低温年以外の通常年でも、特に「吟風」において、不稔歩合の低下および千粒重の増加によってタンパク含有率の上昇を防ぐ効果が高いと考えられた。



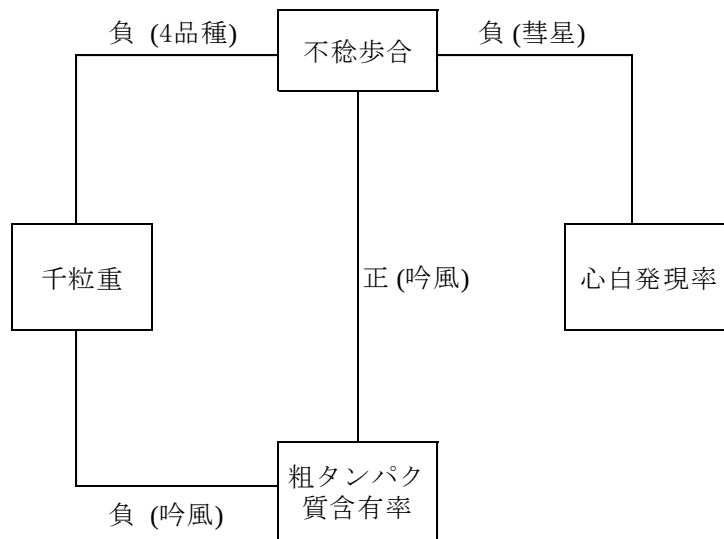
第4-13図 不稔歩合と粗タンパク質含有率の関係

粗タンパク質含有率は70%精米の値。冷害年の2009年を除く。岩見沢市 $r=0.780^{**}$ (n=16), 比布町 $r=0.772^{**}$ (n=16),



第4-14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. 岩見沢市
 $r = -0.480^*$ (n=18), 比布町 $r = -0.777^{**}$ (n=18).

第 4-15 図に各形質間の相関関係を示した. 不稔歩合の低下は, いずれの品種も千粒重を増加させ, 「吟風」ではタンパク含有率を低下させ, 「彗星」では心白発現率を増加させる効果が期待できる. また, 千粒重の増加は「吟風」ではタンパク含有率を低下させる効果が期待できる. すなわち, 深水かんがい等の不稔防止の技術は, 「吟風」では千粒重を増加させることによって, タンパク含有率を低下させる技術といえる.



第4-15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：有意な負の相関関係が，正：有意な正の相関関係が，
 それぞれ認められることを，() 内は有意な相関関係が認めら
 れる品種を示す(n=18，心白発現率のみ n=10).

風速の影響を考えると，両品種ともに，－Ⅱ期の平均風速が増加するとタンパク含有率は上昇する傾向を示した (第 4-11 図). すなわち－Ⅱ期の平均風速の年次変動は，タンパク含有率の年次変動に影響をおよぼしたといえる. しかし，産地別により詳細に検討すると、岩見沢市では有意な正の相関関係を示したが，比布町では示さなかった. この原因を考えると，－Ⅱ期の平均風速は，岩見沢市 (約 $2\sim 3\text{ m s}^{-1}$) より，比布町 (約 $1\sim 2\text{ m s}^{-1}$) の方が明らかに小さかった. －Ⅱ期の平均風速の大きい岩見沢市では，－Ⅱ期の平均風速はタンパク質に大きく影響をおよぼし，－Ⅱ期の平均風速の小さい比布町ではおよぼさなかったと推察した.

両品種ともに＋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ので，登熟気温が 20 分吸水率に影響したと考えられる (第 4-8 図). 米原ら (2005) は登熟期に「山田錦」を低温 (平均 20°C) で生育させた場合，高温 (平均 35°C) で生育させた場合に比べて，20 分吸水率は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等が 20 分吸水率に影響していると考えた. また

吉沢ら (1979, 1981) および伊藤 (1992) は、米粒の消化性には米粒構造が大きく関係すると報告した。第3章で示したように、本研究の各時期の最高気温は、いずれの産地でも 30℃ 以下 (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℃) であったので、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による米粒ないし胚乳細胞の構造の変化が、本研究での 20 分吸水率の年次変動に影響をおよぼした可能性がある。なお第3章で示したとおり、+Ⅱ期は、比布町では 8 月上旬の最も気温が高い時期であり、岩見沢市でも 8 月中旬の比較的気温が高い時期に相当する。そのため、8 月上旬～8 月中旬の期間が高温の年次には、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。

「吟風」および「彗星」の蒸米吸水率は、ほぼ同じであった (第 4-4 表)。しかし、最大値と最小値の差は、「吟風」より「彗星」の方が 1 ポイント (29.4%) 大きかった。また蒸米吸水率は、+Ⅲ期の最高気温と有意な負の相関関係を「彗星」では示したが、「吟風」では示さなかった (第 4-9 図)。すなわち「彗星」では、+Ⅲ期の最高気温の年次変動が、蒸米吸水率の年次変動に大きく影響をおよぼしたが、「吟風」では影響が小さかったといえる。

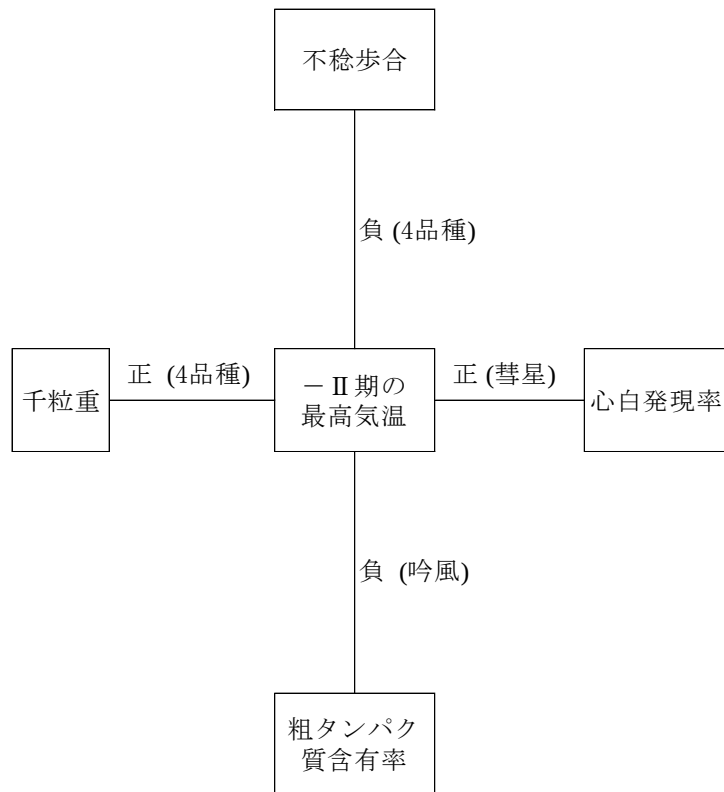
醪 (もろみ) の溶解性や Brix 値 (全糖量) 等の酒米の消化性に関する形質は、蒸米吸水率と密接に関係し、蒸米吸水率が高い酒米は蒸米の消化性が良い (吉沢ら 1974a, 1974b)。岡崎ら (1989) は、東北以南の酒米品種「五百万石」および「山田錦」について、5 月～10 月の各月の最高気温、最低気温および平均気温と酒米の消化性との関係を解析し、特に 8 月の最高気温と酒米の消化性との関係が密接で、出穂期以降の最高気温が高いほど酒米の消化性が低下する傾向があると報告した。また奥田ら (2010a) は、沖縄県と九州を除く日本各地で栽培した酒米 51 品種について、出穂後 1 ヶ月の平均気温 (19.9℃～26.8℃) と蒸米の消化性との関係を解析したところ、両形質間には高い負の相関関係があり、平均気温が 23℃以上になると消化性が劣ると報告した。本研究において、+Ⅲ期は、比布町において 8 月中旬、岩見沢市において 8 月下旬の時期に相当し、調査年次の中で 2010 年と 2012

年では両産地ともに最高気温が 28℃を超えた．この年次での出穂後 1 ヶ月間の平均気温は、2 カ年の平均値で岩見沢市では 23.3℃、比布町では 22.9℃であり、奥田ら (2010a) が酒米の蒸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．したがって、北海道においても＋Ⅲ期が高温の年次では、両品種の蒸米吸水率が低下する可能性が高いと推察した．

両品種の 20 分吸水率は＋Ⅱ期の最高気温と、また「彗星」の蒸米吸水率は、＋Ⅲ期の最高気温と、それぞれ高い相関関係を示した．この結果は、最高気温の影響する時期が蒸米吸水率と 20 分吸水率とで異なることを示唆している．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は大きくなると考えられる (星川 1975)．すなわち、＋Ⅱ期は胚乳細胞の肥大初期の 10 日間、また＋Ⅲ期はそれに続く 10 日間に相当するといえる．したがって、最高気温が両品種の 20 分吸水率および「彗星」の蒸米吸水率に最も影響する時期は、20 分吸水率では胚乳細胞の肥大初期の 10 日間、蒸米吸水率では、それに続く 10 日間であると推察した．

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、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て、清酒の品質向上に大きく役立つ (奥田 2010)．本研究の結果から推察すると、「吟風」と「彗星」の両品種において、＋Ⅱ期の最高気温が高い年次では 20 分吸水率が低下し、さらに「彗星」では＋Ⅲ期の最高気温が高い年次では蒸米吸水率が低下する可能性が高い．これらの最高気温と酒造適性に関する情報を、「吟風」と「彗星」を使用する北海道内外の酒造メーカーに対して提供することは、酒造上の参考情報として重要である．

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．－Ⅱ期の最高気温の最高気温が高くなると、いずれの品種も不稔歩合が低下し、千粒重が増加する可能性が高い．また、－Ⅱ期の最高気温の最高気温が高くなると、「彗星」では心白発現率が増加し、「吟風」ではタンパク含有率が低下する可能性が高い．



第4-16図 出穂期－11日～20日（－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：有意な負の相関関係が，正：有意な正の相関関係が，
 それぞれ認められることを，（ ）内は有意な相関関係が認められる品種を示す（n=18，心白発現率のみ n=10）。

第5章 総合考察

本研究において、北海道で育成した酒米品種は、日本で最も酒造適性の評価が高い兵庫県の酒米「山田錦」に比べて、千粒重が軽くタンパク含有率が高いため、酒造適性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、タンパク含有率が高くなることが明らかとなった。本章では、北海道の酒米に関する農業特性と酒造適性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

北海道の酒米2品種の「吟風」および「彗星」は、いずれも兵庫県の酒米品種の「山田錦」に比べて、耐倒伏性が強く、外観品質が優れた。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2品種の「ゆめぴりか」および「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った(第3章)。不稔歩合の年次変動は、Ⅰ期(穂ばらみ期)の最高気温と有意な負の相関関係を示し、低温年では不稔歩合が低下した。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防止が重要であると結論した。また「吟風」では、Ⅰ期の最高気温とタンパク含有率との間に有意な負の相関関係が認められ、不稔防止はタンパク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(全道作況指数40, 玄米平均収量 $203\text{kg } 10a^{-1}$)となった1993年では、主産地である道央地域において深水かんがいを

90%実施したが、不稔歩合は 25～90%であり、深水かんがいの不稔防止の効果に限界があることを示した (山崎 1994).

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”で供試品種の中で最も弱く、「吟風」と「彗星」の開花期耐冷性は“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、両酒米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 (尾崎 2014). 食用米には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). したがって、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.

北海道の酒米 3 品種は兵庫県の「山田錦」に比べて、千粒重が軽かった. 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 2 章). さらに酒米 2 品種の千粒重の年次変動は、食用米 2 品種と同様に 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が小さく、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. さらに北海道の酒米品種の千粒重は、穂数と有意な相関関係を示さず、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困難であると推察した. このため、北海道の酒米の千粒重を兵庫県の「山田錦」並にするためには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、「山田錦」を母親に、食用米を父親に用いた場合、「山田錦」並の心白発現率を合わせもつ個体の

出現頻度は非常に低くなることを池上ら (2003) が指摘している。また、「山田錦」等の東北以南の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遺伝解析を行った結果、8 つの品種は Se-1 座に極弱の感光遺伝子 Se-1e を持つものに対して、4 つの品種は Se-1 座に感光遺伝子 Se-1n を持つことを明らかにした。仮に北海道の酒米品種が感光遺伝子 Se-1n を持っているとしたら、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 F₂ 世代の集団の出穂期が連続的な変異を示し、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、F₂~F₄ 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を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必要であると考えられる。

千粒重の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、酒米品種「たかね錦」に ⁶⁰Co の γ 線を照射して千粒重の重い変異体を作出し、「美山錦」(1952 年) を育成した。北海道では「彩」(1990 年育成) や「おぼろづき」(2005 年育成) 等の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を利用した育種は、まだ行われていない。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、一般に多数の遺伝子に支配されると考えられている (前重・小林 2000)。Yoshida (2002) らは、食用米品種「レイハウ」と「山田錦」との F₁ の蒴培養から得た DHLs (倍加半数体系統) を用いた解析から千粒重の増加に関する 6 つの QTL を 5 つの染色体上に検出した。今後この知見をもとに、千粒重の増加に関する DNA マーカーを開発すれば、交配親の選定に利用できる可能性がある。なお、千粒重が 30 g 以上になると心白の容積が大き過ぎて、必ずしも酒米として好適ではないので (西田 1992)、千粒重は 30 g を上限にする必要がある。

2. 酒造適性の改善方法

(1) 20 分吸水率および蒸米吸水率

20 分吸水率および蒸米吸水率と＋Ⅲ期の最高気温との間には有意な負の相関関係が認められた (第 4 章). このため, 20 分吸水率および蒸米吸水率を増加させる方法として, 出穂期と成熟期をやや遅らせて, ＋Ⅲ期の最高気温を下げるのが考えられる. そのための栽培技術として, 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, または育苗日数を短縮する方法がある. 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および玄米収量と品質の低下を招く恐れがある (北海道農政部 2011). また佐々木 (2010) は, 出穂前 24 日～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含有率が低くなることを明らかにし, タンパク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推察した. このため, 北海道で出穂期や成熟期が遅れると, タンパク含有率の上昇を招く恐れがある. したがって, 出穂期および成熟期をやや遅らせて＋Ⅲ期の最高気温を下げる方法は, 酒米の生産現場の普及技術としては不適であると考えられる.

一方, 育種的な改善方法について考えると, 第 2 章で示したように, 20 分吸水率および心白発現率は, 「彗星」より「吟風」の方が高く優れた. 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, 「彗星」に比べて「吟風」の方が, 20 分吸水率が高かった要因の一つとして心白発現率の差異が考えられた. 心白発現率の遺伝変異に関して, 上島ら (1981) は心白発現の広義の遺伝率は 0.622～0.824 と報告し, また池上ら (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. したがって, 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 分吸水率を高めることが可能かもしれない. 「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。なお「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期の最高気温は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期の深水かんがい技術が奨励されている。－Ⅱ期の深水かんがい技術は「彗星」の不稔防止だけでなく、心白発現率の低下を防ぐ可能性がある。

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および消化性に影響する重要な形質である(第1-1図)。本研究において、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、20分吸水率および蒸米吸水率が低く劣っており(第2章)、両形質の年次変動は、心白発現率やタンパク含有率の年次変動に比べて小さかった(第4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。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必要である。兵庫県では近年、「山田錦」よりも20分吸水率の高い酒米品種「兵庫北錦」(兵系酒38号)を育成し(西田ら1987)、本研究における第2章の結果でも「兵庫北錦」の20分吸水率(30.4%)は、「山田錦」の20分吸水率(29.9%)よりやや高い傾向があった。北海道の酒米品種は「山田錦」と「兵庫北錦」を系譜にもっていないので(第1-5図)、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と考えられる。

20分吸水率および蒸米吸水率は、食用米品種の育種とは異なる酒米に特有な選抜形質である。これまで北海道の中央農業試験場と上川農業試験場では、20分吸水率および蒸米吸水率を直接測定しておらず、酒米育種の選抜に利用していない。しかし、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、5 g 程度の少量の玄米サンプルを 70% の精米歩合まで削れる方法を開発し、このサンプルを用いて、個体選抜の過程から 20 分吸水率を測定できると報告した。しかし本方法では、精米時間が従来の 1/7 に短縮したものの、1 点当たり約 20 分を要すること、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に手間がかかる。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。このため、20 分吸水率の直接的な選抜方法が確立するまでは、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酒類総合研究所に依頼をしている醸造用原料米全国統一分析の結果を酒米育種の選抜に用いることが考えられる。

吉沢ら (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。

一方、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、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。また松江 (2004) は「山田錦」と福岡県の酒米品種「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、蒸米消化性 (Brix) はアミロース含有率と、それぞれ有意な負の相関関係を示したと報告し、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、それぞれ選抜指標となる可能性があると報告した。

食用米では、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 (稲津 1988)。本研究において、両品種で + II 期の最高気温と、「彗星」で + III 期の最高気温と、それぞれ 20 分吸水率および蒸米吸水率との間に有意な負の相関関係が

認められた (第 4 章). 北海道の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, また, でんぷんの熱糊化性に影響をおよぼし, これらの形質の変化が 20 分吸水率および蒸米吸水率に影響している可能性がある. 今後, 20 分吸水率および蒸米吸水率と関係の強い理化学形質を見つけることができれば, この形質を選抜指標として, 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.

なお, 第 4 章において, -Ⅱ期および+Ⅱ期が高温の年次には, 酒米 2 品種の千粒重が増加し 20 分吸水率が低下し, +Ⅲ期が高温の年次には「彗星」の蒸米吸水率が低下する可能性があると推察した. これらの最高気温と酒造適性に関する情報は, 北海道の酒米を使用する北海道内外の酒造メーカーに対して提供することによって, 酒造上の参考となると考えられた.

(2) タンパク含有率

米粒中のタンパク質は清酒の味に大きく影響し, タンパク質の多い米は清酒に雑味が生じ酒質を落とすため, タンパク含有率の低い米が酒米として優れる (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」に比べてタンパク含有率が高かったが, この理由のひとつとして窒素施肥量の多かったことが影響したと推察できる. しかし, タンパク含有率を下げるために減肥した場合, 玄米収量が低下する恐れがある.

一方, 北海道の酒米品種では, 岩見沢市より比布町の方がタンパク含有率は低かった (第 3 章). このため低タンパク質な酒米生産のためには, 食用米生産と同様に産地の選定が重

要である。比布町が岩見沢市に比べてタンパク含有率が低かった主要因は、土壌の産地間差異であると推察した。すなわち、北海道の水稲品種は感温性が高いので、栄養生長と生殖生長が重複して進行し、土壌中の窒素量が多いと幼穂形成期以降も栄養成長が継続し、最高分けつ期は幼穂形成期後となり、幼穂形成期前に最高分けつ期になる東北以南の水稲品種とは大きく異なる (岩田 2011)。また、比布町は岩見沢市に比べて、平均風速は生育期間を通じて有意に小さかった (第 3 章)。丹野 (2010) は、北海道の食用米品種「きらら 397」を用い、分けつ期の平均風速とタンパク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、タンパク含有率を高めると報告した。これらのことから、比布町が岩見沢市に比べてタンパク含有率が低かった要因の一つに、生育期間を通じて風速が小さかったことが考えられる。

しかし、いずれの産地でも北海道の酒米品種は兵庫県の「山田錦」に比べて、タンパク含有率が高く、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に遺伝的な差異の存在することが明らかにされ (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ることができた (木下 2013)。例えば、米国カルフォルニア州の食用米品種「国宝ローズ」を交配親に用いて、低タンパク質な「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) と「ふっくりんこ」(田中ら 2008) を育成した。一方、北海道の酒米品種では、「国宝ローズ」に由来する系統や品種は交配親として利用されなかった。今後の酒米の育種では、食用米の育種で利用された低タンパク含有率の系統や品種を交配親に用いて、低タンパク含有率の品種を育成する必要がある。

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含有率を測

定でき、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低タンパク含有率の品種育成にこの選抜方法を活用できる。

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。

摘 要

2012 年現在、北海道産の酒造好適米 (酒米) は、北海道の酒造メーカーでの原材料の約 50% に使用され、東北以南の酒造メーカーでも使用されている。しかし、兵庫県産の「山田錦」並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、北海道内外の酒造メーカーでの北海道産酒米の評価を高めて、需要量および栽培面積を拡大するためには、酒造適性の高い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べて北海道の酒米品種の優点と欠点を明らかにした。また、北海道での産地間および品種間差異を検討し、さらに年次変動と、これに関係する気象条件を解析した。最後に、これまでの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、これらの形質の改善に対する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比較

北海道の酒米品種「吟風」、「彗星」および「きたしずく」は、兵庫県の酒米品種「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く、腹白率が低いため玄米品質が優れた。さらに腹白率が低いため碎米率が低く、大吟醸酒等の特定名称酒の製造に関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 3 品種は兵庫県の酒米 3 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 (タンパク含有率) が高く劣った。以上から、北海道で育成した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、およびタンパク含有率の低下であることが明らかとなった。

2. 農業特性と酒造適性の産地間・品種間差異

玄米収量は、岩見沢市と比布町ともに、食用米品種「ゆめぴりか」と「ななつぼし」より酒米品種「吟風」と「彗星」の方が、また「吟風」より「彗星」の方が、それぞれ多かった。これらの要因について収量構成要素に分けて検討した。食用米2品種より酒米2品種の方が、穂数は少なかったが、1穂粒数は多く、総粒数は多かった。また、不稔歩合は有意な差異を示さなかったが、 m^2 当たりの稈実総粒数は、食用2品種 (30.5×10^3) より酒米2品種 (27.3×10^3) の方が少なかった。しかし千粒重は、酒米2品種の方が重かった。食用米2品種より酒米2品種の方が、千粒重が重かったことが玄米収量の多かった主要因であると考えられた。「吟風」と「彗星」の玄米収量の差異を同様に検討した。穂数は両品種間で有意な差異を示さなかった。また1穂粒数は、「吟風」より「彗星」の方が少なかった。しかし、総粒数は両品種間で有意な差異を示さなかった。また、「彗星」の方が不稔歩合は低く、千粒重は重かった。「吟風」より「彗星」の方が、不稔歩合が低く、千粒重が重かったことが、玄米収量の多かった主要因であると考えられた。

タンパク含有率は、岩見沢市より比布町の方が、「吟風」より「彗星」の方が、それぞれ低く優れた。また、品種間差異より産地間差異の方が大きかった。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。さらに平均風速は、岩見沢市より比布町の方が生育期間を通じて小さかったこともタンパク含有率が低かったことに関係したと推察した。したがって、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、「彗星」より「吟風」の方が高く優れた。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、「彗星」より「吟風」の方が、心白発現率が高かったことが20分吸水率の高かった要因のひとつであると推察した。蒸米吸水率は有意な産地間および品種間差異を示さなかった。

これらの形質について兵庫県の「山田錦」と比較したところ、いずれの産地でも北海道の酒米2品種は、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、千粒重が軽く、タンパク含有率が高く、20分吸水率および蒸米吸水率が低かった。したがって、これらの形質は、北海道の酒米品種より優れる「山田錦」等を交配親に用いて、千粒重とタンパク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。

3. 農業特性と酒造適性におよぼす気象条件の影響

酒米2品種と食用米2品種の農業特性の年次変動と、酒米2品種の酒造適性の年次変動と、それぞれに関係する気象条件を検討した。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時期である。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、出穂後-19日~-10日（-Ⅱ期）の最高気温と不稔歩合との間に4品種ともに有意な負の相関関係が認められた。-Ⅱ期は冷害危険期の穂ばらみ期に相当することから、4品種ともに2009年の-Ⅱ期の最高気温は不稔歩合に大きく影響をおよぼし、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ひと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。したがって、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およぼし、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。

各形質の年次変動を比べると、千粒重の年次変動が4品種ともに最も小さかった。-Ⅱ期の最高気温と千粒重との間に4品種ともに、出穂後+11日~+20日（+Ⅱ期）の最高気

温と千粒重との間に酒米 2 品種で、それぞれ有意な正の相関関係が認められた。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最も小さかった要因のひとつと考えられた。

酒造適性の年次変動は、心白発現率が最も大きく、次にタンパク含有率が大きく、20 分吸水率と蒸米吸水率が比較的小さかった。－Ⅱ期の最高気温と、「吟風」ではタンパク含有率との間に負の、「彗星」では心白発現率との間に正の、それぞれ有意な相関関係が認められた。また、＋Ⅱ期の最高気温と 20 分吸水率との間に両品種で、出穂期＋21 日～＋30 日（＋Ⅲ期）の最高気温と蒸米吸水率との間に「彗星」で、それぞれ有意な負の相関関係が認められた。これらのことから、不稔防止のために奨励されている－Ⅱ期の深水かんがい技術は、「吟風」ではタンパク含有率の上昇を、「彗星」では心白発現率の低下を、それぞれ防ぐ効果があると考えられた。

なお、－Ⅱ期および＋Ⅱ期が高温の年次には、酒米 2 品種の千粒重が増加し 20 分吸水率が低下し、＋Ⅲ期が高温の年次には「彗星」の蒸米吸水率が低下する可能性があると考えられた。これらの最高気温と酒造適性に関する情報は、北海道の酒米を使用する北海道内外の酒造メーカーに対して提供することによって、酒造上の参考となると考えられた。

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や酒造適性に関する知見は、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、ご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ご指導とご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ご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。水稻育種研究および水稻栽培研究の観点から適切なご助言とご校閲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とご助言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。

本研究で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ご指導をいただきました。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ご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ご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、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。ここに記して厚くお礼を申し上げます。

本研究で供試した北海道の酒米品種「吟風」,「彗星」および「きたしずく」はいずれも、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ご薫陶を与えていただき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、ご協力をいただい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ご理解と様々なご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 年酒造年度試醸仕込試験報告. 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 年酒造年度試醸仕込試験報告 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 衛生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.
- 長谷川吉朗 1945. 北海道立工業試験場時報. 19,10.
- 星川清親 1975. 解剖図説 イネの生長. 農文協, 東京. 263-278.
- 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.
- 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 1977. 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.

五十嵐俊成 2014. V 良食味米を目指した土壌管理, 施肥技術. 6 酒造好適米「吟風」「彗星」の栽培特性と品質改善対策. 平成 27 年産に向けて米づくり. 一般社団法人 北海道米麦改良協会, 札幌. 87-111.

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 1928. 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 1928. 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-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. 北海道水稻主要栽培品種・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. 水稻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稻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稻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.

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.

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.

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. 水稻酒米新品種「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.

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.

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. 水稻新品種「秋田酒こまち」の育成. 秋田県農試研報 46: 1-20.
- 松江勇次ら 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.
- 松崎昭夫 1997. 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・永畠秀樹・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・曳野亥三夫 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. 櫛渕欽也監修 日本の稲育種. 第 4 章 加工米品種の育種 5. 酒米. 農業技術協会, 東京. 208-222.
- 西山岩男 1987. イネの冷害生理学. 北海道大学図書刊行会. 札幌. 1-313.
- 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) 水稻. 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・橋爪克己・上田みどり・沼田美代子・後藤奈美・三上重明 2010a. 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.

奥田将生 2010b. 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.

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.

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. XXVII 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.

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・相川宗厳 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 2008. 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.

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.

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. 土壌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.

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 (1)ー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.

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

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.

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.

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・武田荘一・藤江勇 1974a. 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 1974b. 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.
- 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.
- 柳原哲治 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.
- 柳沢朗 2010. 平成 21 年 主要農作物作況. 北農 77: 68-72.
- 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.
- 渡邊裕治 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.
- 和田定 1997. 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.

Studies on the Agricultural Characteristics and Suitability for Sake Brewing of Rice Varieties Bred in Hokkaido, Japan

Kazuo Tanaka

Summary

As of 2012, approximately 50% of the rice varieties used for sake brewing in Hokkaido were bred 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 bred 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 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 bred in Hyogo prefecture, to improve the agricultural characteristic and the suitability for sake brewing of rice bred in Hokkaido. In addition, I examined the regional and varietal differences in agricultural characteristics and suitability for sake brewing of rice varieties in Hokkaido. I then analyzed the year-by-year variation of the agricultural characteristics and suitability for sake brewing of the rice varieties, 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 suitability for sake brewing of rice in Hokkaido.

1. Comparison of the agricultural characteristics and suitability for sake brewing of rice varieties bred in Hokkaido with those of rice varieties bred in Hyogo prefecture

The rice varieties for sake brewing, 'Suisei', 'Ginpuu' and 'Kitashizuku', bred in Hokkaido had smaller number of grains per head and lighter 1000 grain weight than those bred in Hyogo prefecture, 'Yamadanishiki', 'Gohyakumangoku' and 'Hyogokitanishiki', but had higher brown rice yield due to larger panicle number m² and total spikelet number m². 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 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 suitability for sake brewing of rice in Hokkaido

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

The crude protein content of table rice cultivated in Pippu was lower than that cultivated in Iwamizawa, and the protein content of ‘Suisei’ was lower than that of ‘Ginpuu’. However, the regional difference (between Pippu and Iwamizawa) was larger than the varietal difference (between ‘Suisei’ and ‘Ginpuu’). Therefore, the selection of cultivation region is 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 ‘Yamanishiki’ from Hyogo prefecture were superior to those of either of the two Hokkaido rice varieties for sake brewing. 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 ‘Yamanishiki’. 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 suitability for sake brewing of rice varieties 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 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 (–H period) and the percentage sterility. Because the –H 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 largest in ‘Ginpuu’ and lowest 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 –H period and the 1000 grain weight in all four varieties, and between the daily highest temperature from 11 to 20 days after heading (+H 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 –H period and the crude protein content in ‘Ginpuu’, and between the daily highest temperature in the +H 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’.

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

bred in Hokkaido.

The findings on the agricultural characteristics and suitability for sake brewing of rice varieties 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.