北海道で育成した酒造好適米品種における酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす最高気温の影響

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者名	田中,一生 尾崎,洋人 平山,裕治 菅原,彰
発行元	日本作物學會
巻/号	88巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 9-17
発行年月	2019年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

日作紀（Jpn. J. Crop Sci.）88（1）：9—17（2019）

北海道で育成した酒造好適米品種における酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす最高気温の影響

田中一生[1,2]・尾崎洋人[2]・平山裕治[2]・菅原彰[2]

（[1]北海道立総合研究機構上川農業試験場，[2]北海道立総合研究機構中央農業試験場）

要旨：北海道の酒造好適米品種「吟風」と「彗星」における酒造適性の関連指標の年次変動について最高気温との関係を検討した．データ解析について，酒造適性の関連指標は2005～2013年の水稲奨励品種決定基本調査のサンプルを用いた醸造用原料米全国統一分析法による分析結果を用いた．気象データは出穂期前後80日間の毎日の最高気温を用いた．調査した形質の中では心白発現率の年次変動が最も大きく，次に粗タンパク質含有率の年次変動が大きく，これらの形質に比べて千粒重，20分吸水率および蒸米吸水率の年次変動は小さかった．出穂期－19～－10日（－Ⅱ期）の最高気温が上昇すると，両品種の千粒重と「彗星」の心白発現率は増加し，「吟風」の粗タンパク質含有率は低下する傾向を示した．このことから，－Ⅱ期の最高気温の年次変動は，両品種の千粒重，「吟風」の粗タンパク質含有率および「彗星」の心白発現率の年次変動に大きく影響したと考えられた．出穂期＋1～＋10日（＋Ⅰ期）の最高気温が上昇すると，「吟風」の心白発現率は低下し，出穂期＋11～＋20日（＋Ⅱ期）の最高気温が上昇すると，両品種の千粒重は増加し，20分吸水率は低下し，出穂期＋21～＋30日（＋Ⅲ期）の最高気温が上昇すると，「彗星」の蒸米吸水率は低下する傾向を示した．以上から，＋Ⅰ期の最高気温の年次変動は「吟風」の心白発現率の年次変動に，＋Ⅱ期の最高気温の年次変動は両品種の千粒重と20分吸水率の年次変動に，＋Ⅲ期の最高気温の年次変動は「彗星」の蒸米吸水率の年次変動に，それぞれ大きく影響したと考えられた．

キーワード：最高気温，酒造好適米，心白発現率，千粒重，粗タンパク質含有率，20分吸水率，蒸米吸水率．

前報（田中ら2018）では，北海道で育成され岩見沢市と比布町で栽培した酒造好適米（以下，酒米）品種（「吟風」と「彗星」）における農業特性と酒造適性の関連指標の産地間・品種間差異を検討し，農業特性では酒米2品種と食用米品種（「ゆめぴりか」と「ななつぼし」）との比較も行った．玄米収量は，酒米2品種の平均の方が食用米2品種の平均より，「彗星」の方が「吟風」より，それぞれ多く，その主要因は，前者では千粒重が重かったこと，後者では不稔歩合が低く，千粒重が重かったことであった．このことから，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の防止が重要であると考察した．また，北海道の酒米2品種の平均は，日本の酒造会社からの評価の高い兵庫県の「山田錦」に比べて千粒重が軽く，20分吸水率と蒸米吸水率が低く，粗タンパク質含有率が高いことを明らかにし，今後，北海道の酒米品種に対する酒造会社の評価を高めるためには，これらの酒造適性の関連指標を栽培法や育種によって兵庫県の「山田錦」並に改善する必要があるとした（田中ら2015，2018）．

北海道は日本の水稲栽培の北限地域であるため，冷害年では低温の影響により不稔が多発生し，千粒重が低下して大きく減収することが知られている（和田1997，丹野2011）．また，食用米では農業特性や玄米品質・食味に及ぼす気温の影響についての研究報告が多い（安積2011，五十嵐ら2005，五十嵐2011，丹野2010，柳原2011）．一方，酒米品種では農業特性，玄米品質および酒造適性の関連指標に及ぼす気温の影響に関する研究報告は乏しく（佐々木・後藤2009），北海道の酒米品種における酒造適性の関連指標に及ぼす気温の影響については不明な点が多い．

北海道の酒米の主産地は，食用米と同様に空知地域と上川地域であり，産地によって土壌や気象が大きく異なる（田中ら2018）．このため北海道の酒米品種における酒造適性の関連指標は，産地や年次の気象の影響により大きく変動する可能性がある．そこで本研究では，最高気温を気温の代表値とし，前報（田中ら2018）と同じ産地・年次に栽培した酒米2品種のデータを用いて，酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす最高気温の影響について検討した．なお，気温の中から最高気温を選択した理由は，最高気温は平均気温や最低気温よりも酒造適性の関連指標との関係が強かったからである（「吟風」の出穂期－19～－10日の気温と千粒重との相関係数：最高気温 $r = 0.829$．平均気温 $r = 0.792$，最低気温 $r = 0.618$，各 $n = 18$）．

材料と方法

1．供試品種，耕種概要および酒造適性の関連指標

供試した酒米品種は，2005～2013年に空知地域の岩見沢市にある中央農業試験場と上川地域の比布町にある上川農業試験場の水稲奨励品種決定基本調査で栽培した「吟風」と「彗星」である．両産地とも苗の種類は中苗（3～5本／株）で，窒素施肥量は全層 $8.0\ g\ m^{-2}$ であり，その他に稲わら堆肥を $1.0\ kg\ m^{-2}$ 施用した．栽植密度は岩見沢市

2018年9月21日受理．連絡責任者：田中一生　〒078-0397 北海道上川郡比布町南1線5号
TEL 0166-85-2200，FAX 0166-85-4111，tanaka-kazuo@hro.or.jp

第1表 「吟風」と「彗星」における酒造適性の関連指標の最大値，最小値，平均値および変動係数（CV）．

品種	産地	千粒重（g）					20分吸水率（%）				
		最大値 (a)	最小値 (b)	a−b	平均値	CV (%)	最大値 (a)	最小値 (b)	a−b	平均値	CV (%)
吟風	岩見沢市	25.7	22.5	3.2	24.0	4.3	30.0	26.4	3.6	27.9	4.2
	比布町	25.7	22.1	3.6	24.2	4.6	29.5	25.7	3.8	27.8	3.9
	平均	25.7	22.3	3.4	24.1	4.5	29.8	26.1	3.7	27.9	4.1
彗星	岩見沢市	27.3	23.3	4.0	25.4	5.5	28.2	24.2	4.0	25.9	4.5
	比布町	27.6	23.7	3.9	25.8	4.7	27.5	24.4	3.1	25.7	3.7
	平均	27.5	23.5	4.0	25.6	5.1	27.9	24.3	3.6	25.8	4.1
	全体平均	26.6	22.9	3.7	24.9	4.8	28.8	25.2	3.6	26.8	4.1

品種	産地	蒸米吸水率（%）					粗タンパク質含有率（%）				
		最大値 (a)	最小値 (b)	a−b	平均値	CV (%)	最大値 (a)	最小値 (b)	a−b	平均値	CV (%)
吟風	岩見沢市	35.0	32.2	2.8	33.3	3.2	6.84	5.00	1.84	5.90	9.1
	比布町	35.2	31.3	3.9	33.3	4.0	5.85	4.43	1.42	5.16	9.3
	平均	35.1	31.8	3.4	33.3	3.6	6.35	4.72	1.63	5.53	9.2
彗星	岩見沢市	35.8	31.7	4.1	33.3	4.2	5.87	4.85	1.02	5.40	6.3
	比布町	35.5	30.9	4.6	33.3	5.0	5.23	4.25	0.98	4.79	7.2
	平均	35.7	31.3	4.4	33.3	4.6	5.55	4.55	1.00	5.10	6.8
	全体平均	35.4	31.5	3.9	33.3	4.1	5.95	4.63	1.32	5.31	8.0

品種	産地	心白発現率（%）				
		最大値 (a)	最小値 (b)	a−b	平均値	CV (%)
吟風	岩見沢市	95.5	69.5	26.0	84.8	11.2
	比布町	93.6	74.8	18.8	84.4	9.9
	平均	94.6	72.2	22.4	84.6	10.6
彗星	岩見沢市	80.1	29.7	50.4	59.6	32.4
	比布町	87.0	24.0	63.0	59.3	38.6
	平均	83.6	26.9	56.7	59.5	35.5
	全体平均	89.1	49.5	39.6	72.0	23.0

千粒重と心白発現率は水分13.8%に調整した玄米を，その他の酒造適性の関連指標は水分13.5%に調整した精米歩合70%の白米を，それぞれ用いた．数値は2005〜2013年（心白発現率のみ2008年〜2012年）の平均値を示す（n = 9，心白発現率のみ，n = 5）．産地の平均は2産地の平均値（n = 2）を，全体平均は2品種・2産地の平均値（n = 4）をそれぞれ示す．

が25.3株 m^{-2}，比布町が25.0株 m^{-2} である．移植日は供試した9年間の平均値で，岩見沢市が5月20日（5月19日〜5月22日），比布町が5月18日（5月17日〜5月20日）であった．土壌型は岩見沢市がグライ土で，比布町が褐色低地土である．

データ解析について，玄米の千粒重（g），不稔歩合（%）および心白発現率（心白発現粒数 / 全粒数から算出，%，2005〜2007年は欠測）の同調査結果を用いた．その他，酒造適性の関連指標として，供試品種のサンプルを用いた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，精米歩合70%（水分13.5%）の白米の20分吸水率（%），蒸米吸水率（%）および粗タンパク質含有率（%）の分析結果を用いた．

気温では最高気温として，農業環境技術研究所（現，農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター）のモデル結合型作物気象データベースを利用し，出穂期前後80日間を10日間隔に8区分し，区分ごとに毎日の最高気温の平均値を算出して用いた（田中ら2018）．

2. 統計解析

酒造適性の関連指標の年次変動の大きさを検討するために，品種および産地別に2005〜2013年（心白発現率のみ2008〜2012年）における各形質の最大値，最小値，平均値および変動係数（以下CV，%）を算出した．各形質に及ぼす最高気温の影響の程度を比較するために，各形質と時期別の最高気温との単相関係数を算出した．また，両品種の回帰直線について平行性の検定を行い，傾きの大きさの品種間差異を判定し，共分散分析法によりy切片の大きさの品種間差異を判定した（田中・垂水1986）．なお，計算にはエクセル統計2015（社会情報サービス株式会社）を用いた．

第2表　酒造適性の関連指標と時期別の最高気温との単相関係数.

時期	千粒重		20分吸水率		蒸米吸水率		粗タンパク含有率		心白発現率	
	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星	吟風	彗星
－Ⅳ	−0.133	−0.203	−0.013	0.013	0.168	0.282	−0.237	−0.300	0.615	−0.035
－Ⅲ	0.256	0.159	−0.053	−0.190	−0.336	−0.327	−0.301	−0.134	0.153	0.609
－Ⅱ	0.829**	0.768**	0.103	−0.232	0.030	−0.166	−0.526*	−0.283	0.295	0.852**
－Ⅰ	0.212	0.239	−0.273	−0.464	0.021	−0.168	0.032	0.007	−0.229	0.211
＋Ⅰ	0.344	0.329	−0.075	0.040	0.353	0.492*	−0.161	−0.187	−0.820**	−0.409
＋Ⅱ	0.596**	0.573*	−0.586*	−0.716**	−0.090	−0.330	−0.282	−0.169	−0.367	0.300
＋Ⅲ	0.453	0.496*	−0.122	−0.529*	−0.363	−0.710**	−0.251	−0.192	0.258	0.593
＋Ⅳ	0.352	0.339	0.039	−0.298	−0.414	−0.437	−0.473*	−0.246	0.131	0.704*

供試年次は2005～2013年（心白発現率のみ，2008～2012年）で，各品種の産地は岩見沢市と比布町である．時期は出穂期（吟風：7月30日，彗星：7月29日）を基点（0日）にして出穂期前後80日間を10日間隔で8区分した．－Ⅳ：−39～−30日，－Ⅲ：−29～−20日，－Ⅱ：−19～−10日，－Ⅰ：−9～0日，＋Ⅰ：＋1～＋10日，＋Ⅱ：＋11～＋20日，＋Ⅲ：＋21～＋30日，＋Ⅳ：＋31～＋40日．*，**はそれぞれ5%，1%水準で有意性があることを示す（n=18，心白発現率のみ，n=10）．

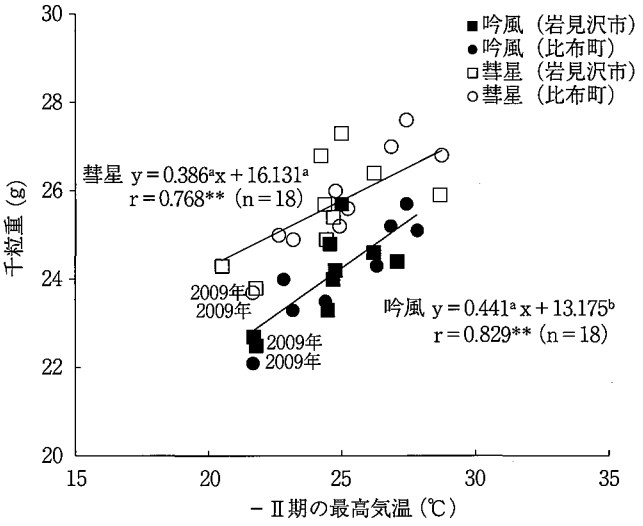
結　　果

1．酒造適性の関連指標の年次変動

CVを指標にして，形質間で年次変動の大きさを比較すると，CVの2産地・2品種の平均値（n＝4）は，心白発現率が23.0%で最も大きく，次に粗タンパク質含有率が8.0%で大きく，これらの形質に比べて千粒重（4.8%），20分吸水率（4.1%）および蒸米吸水率（4.1%）は小さかった（第1表）．各品種でのCVの2産地の平均値（n＝2）でも，2産地･2品種の平均値と同様の傾向を示した．また，品種間で年次変動の大きさを比較すると，CVの2産地の平均値は，「彗星」の方が「吟風」より，心白発現率で24.9ポイント大きく（百分率の差の単位は，“%”ではなく“ポイント”に統一した.），粗タンパク質含有率で2.4ポイント小さかった．千粒重，20分吸水率および蒸米吸水率の平均でのCVの品種間差異は1.0ポイント以下で比較的小さかった．次に，最大値と最小値との差（a−b）を指標にして，品種間で年次変動の大きさを比較すると，CVの2産地の平均値と同様の傾向を示した．

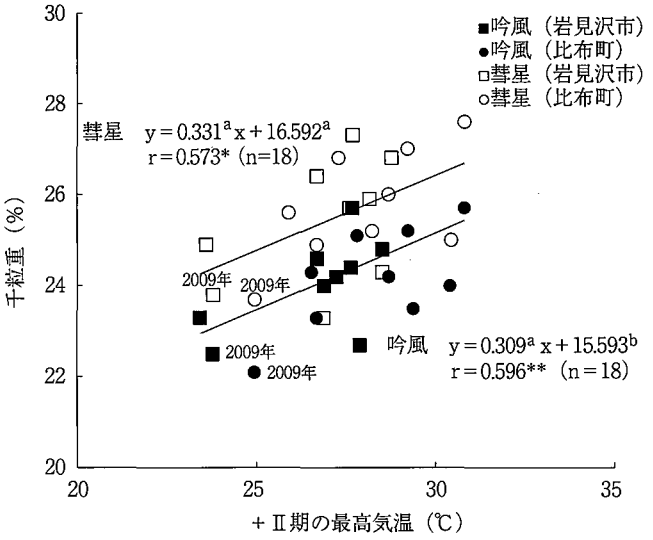
2．酒造適性の関連指標と最高気温との関係

出穂期は両産地の9年間の平均値で「吟風」が7月30日（7月19日～8月10日），「彗星」が7月29日（7月18日～8月8日）であった（各n＝18）．千粒重は，両品種の出穂期−19～−10日（－Ⅱ期）および＋11～＋20日（＋Ⅱ期）の最高気温との間に，「彗星」では＋21～＋30日（＋Ⅲ期）の最高気温との間に，それぞれ有意な正の相関関係が認められた（第2表）．20分吸水率は，両品種の＋Ⅱ期の最高気温との間に，「彗星」では＋Ⅲ期の最高気温との間に，それぞれ有意な負の相関関係が認められた．蒸米吸水率は，「吟風」ではいずれの時期の最高気温とも有意な相関関係が認められなかったが，「彗星」では出穂期＋1～＋10日（＋Ⅰ期）の最高気温との間に有意な正の，＋Ⅲ期の最高気温との間に有意な負の，それぞれ相関関係が認められた．粗タンパク質含有率は，「吟風」では－Ⅱ期および＋31～＋40日（＋Ⅳ期）の最高気温との間に，それぞれ有意な負の相関関係が認められたが，「彗星」ではいずれの時期の最高気温とも有意な相関関係が認められなかった．心白発現率は，「吟風」では＋Ⅰ期の最高気温との間に有意な負の，「彗星」では－Ⅱ期および＋Ⅳ期の最高気温との間に有意な正の，それぞれ相関関係が認められた．

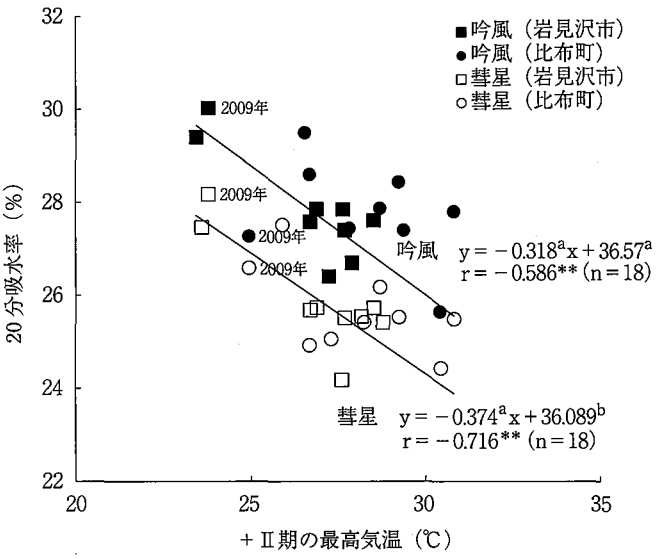


第1図　出穂期−20～−11日（－Ⅱ期）の最高気温と千粒重の関係．2009年は冷害年．傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ1%水準で有意差があることを，**は1%水準で有意性があることを示す．

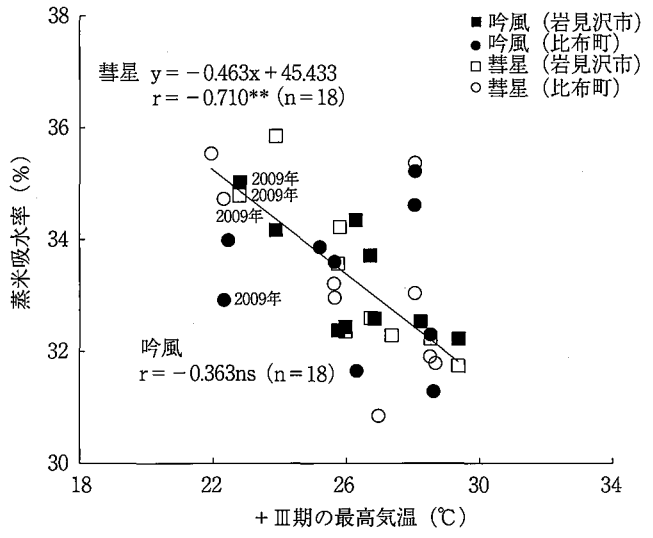
－Ⅱ期および＋Ⅱ期の最高気温が上昇すると，両品種の千粒重は増加する傾向を示した（第1図，第2図）．両時期の最高気温に対する千粒重の両回帰直線の傾きの大きさに有意差はなく（第1図，第2図，それぞれp＝0.627，p＝0.890），両時期の最高気温を共変量とする共分散分析の結果，y切片は「彗星」の方が「吟風」より有意に大きかった（第1図，第2図，それぞれp＜0.01）．＋Ⅱ期の最高気温が上昇すると，両品種の20分吸水率は低下する傾向



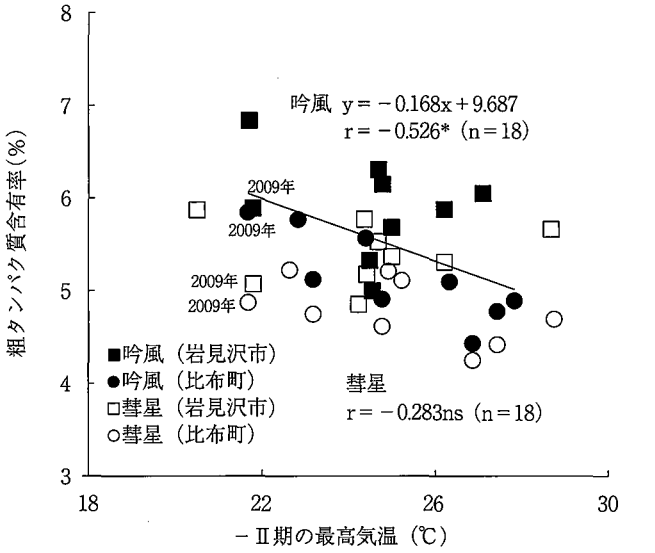
第2図　出穂期＋11～＋20日（＋Ⅱ期）の最高気温と千粒重の関係．
2009年は冷害年．傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ1%水準で有意差があることを，*，**はそれぞれ5%，1%水準で有意性があることを示す．



第3図　出穂期＋11～20日（＋Ⅱ期）の最高気温と20分吸水率の関係．
2009年は冷害年．傾き・y切片の異なるアルファベットはそれぞれ1%水準で有意差があることを，**は1%水準で有意性があることを示す．



第4図　出穂期＋21～＋30日（＋Ⅲ期）の最高気温と蒸米吸水率の関係．
2009年は冷害年．**は1%水準で有意性があることを，nsは有意性がないことを示す．

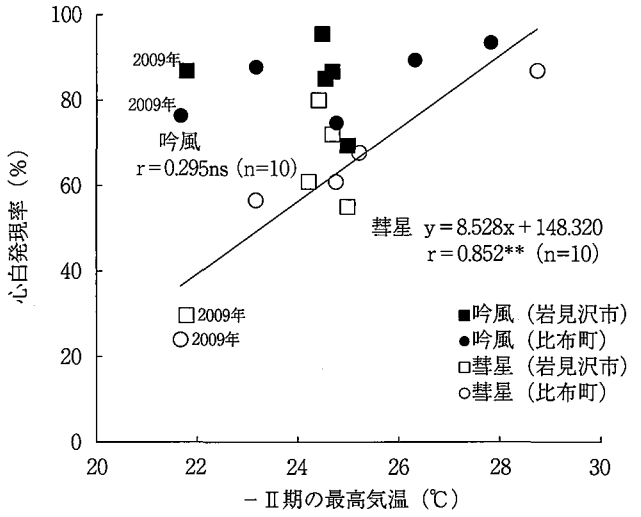


第5図　出穂期－11～－20日（－Ⅱ期）の最高気温と粗タンパク質含有率の関係．
粗タンパク質含有率は70%精米の値．2009年は冷害年．*は5%水準で有意性があることを，nsは有意性がないことを示す．

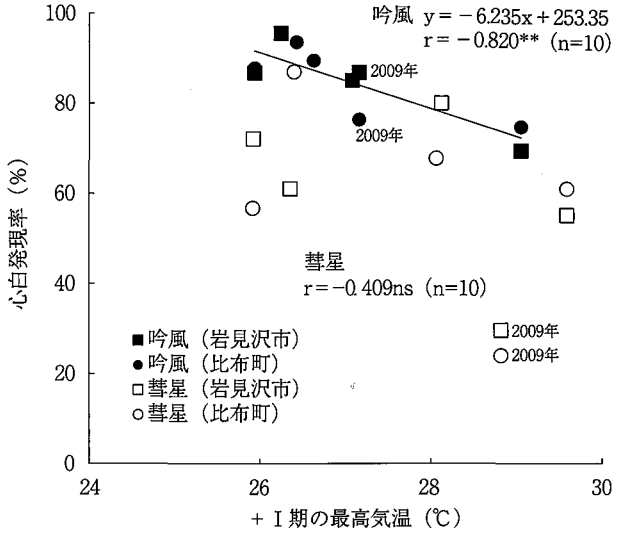
を示した（第3図）．＋Ⅱ期の最高気温に対する20分吸水率の両回帰直線の傾きの大きさに有意差はなく（$p=0.697$），＋Ⅱ期の最高気温を共変量とする共分散分析の結果，y切片は「吟風」の方が「彗星」より有意に大きかった（$p<0.01$）．＋Ⅲ期の最高気温が上昇すると，「彗星」の蒸米吸水率は低下する傾向を示したが，「吟風」ではその傾向が明瞭でなかった（第4図）．－Ⅱ期の最高気温が上昇すると，「吟風」の粗タンパク質含有率は低下する傾向を示したが，「彗星」ではその傾向が明瞭でなかった（第5図）．－Ⅱ期の最高気温が上昇すると，「彗星」の心白発現率は増加する傾向を示したが，「吟風」ではその傾向が明瞭でなかった（第6図）．一方，＋Ⅰ期の最高気温が上昇すると，「吟風」の心白発現率は低下する傾向を示したが，「彗星」ではその傾向が明瞭でなかった（第7図）．

考　　察

両品種における酒造適性の関連指標の年次変動に及ぼす最高気温の影響について，各時期の最高気温と各形質の相



第6図　出穂期－19～－10日（－Ⅱ期）の最高気温と心白発現率の関係（2008～2012年）.
2009年は冷害年. **は1%水準で有意性があることを，nsは有意性がないことを示す.



第7図　出穂期＋1～＋11日（＋Ⅰ期）の最高気温と心白発現率の関係（2008～2012年）.
2009年は冷害年. **は1%水準で有意性があることを，nsは有意性がないことを示す.

関関係および形質間の相関関係をもとに，以下で考察した．なお，各形質は産地と品種に交互作用がなかったので（田中ら2018），各形質の年次変動に及ぼす最高気温の影響の品種間差異について，産地と品種の交互作用を考慮せずに検討した．

1．千粒重

千粒重は酒米において最も重要な形質の1つであり，千粒重の重い酒米は搗精歩留が高く，白米の吸水特性に優れる（前重・小林2000）．－Ⅱ期および＋Ⅱ期の最高気温が上昇すると，両品種の千粒重は増加する傾向を示した（第1図，第2図）．このことから，－Ⅱ期および＋Ⅱ期の最高気温の年次変動は，両品種の千粒重の年次変動に大きく影響したと考えられた．また，－Ⅱ期および＋Ⅱ期が高温の年次は両品種の千粒重が増加する可能性が高いと推察した．千粒重は籾殻の大きさと肥大する玄米の重さで決まり，籾殻の大きさは2次枝梗分化期～穎花発育期の環境条件に，玄米の重さは穎花の減数分裂期と登熟盛期の環境条件に強く影響される（松島ら1953，星川1980）．水稲の胚乳細胞の分裂増殖は受精後9～10日目に終了し，それ以降は各細胞の肥大生長によって胚乳が大きくなる（星川1975）．本研究の－Ⅱ期は両品種の穎花発育期に重なり，＋Ⅱ期は両品種の胚乳細胞の肥大初期10日間に相当する．これらのことから，両品種の穎花発育期および胚乳細胞の肥大期初期10日間の最高気温の年次変動は，千粒重の年次変動に大きく影響したと推察した．

佐々木・後藤（2010）は北海道の食用米品種「きらら397」を用い，出穂期前後の平均気温と千粒重の関係を調査して，千粒重に及ぼす平均気温の影響は，出穂日前19～10日が最も大きく，両者間で有意な正の相関関係が認められたと報告した．また工藤ら（2007）は，山形県の酒米品種「出羽燦々」を用い，千粒重と出穂期前後の気象の関係を調査して，千粒重は穂ばらみ期に相当する7月中～下旬の最高気温との間に有意な正の相関関係が認められたと報告した．本研究の－Ⅱ期は穂ばらみ期に重なり，両産地の最高気温は平均気温との間に1%水準の有意な正の相関関係が認められたことから（岩見沢市：r＝0.982，比布町：r＝0.951，各n＝8），本結果は，佐々木・後藤（2010）および工藤ら（2007）の研究結果と一致したといえる．

両時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なかったことから（第1図，第2図），両時期の最高気温の年次変動が，千粒重の年次変動に及ぼす影響の程度に有意な品種間差異はなかったと推察した．一方，y切片の大きさには明瞭な品種間差異があったことは，両時期の最高気温が年次変動しても千粒重の品種間差異は大きく変わらず，千粒重の品種間差異は年次間・産地間で安定していることを意味する．

2．20分吸水率

20分吸水率は白米の吸水速度を示す指標の一つであり，20分吸水率の高い酒米は白米の吸水速度が大きいので酒造上の作業性が良い（前重・小林2000）．＋Ⅱ期の最高気温が上昇すると，両品種の20分吸水率は低下する傾向を示したことから（第3図），＋Ⅱ期の最高気温の年次変動は，両品種の20分吸水率の年次変動に大きく影響したと考えられた．また，＋Ⅱ期は岩見沢市では8月中旬の比較的気温が高い時期に，比布町では8月上旬の最も気温が高い時期に相当することから，8月上～中旬の期間が高温の年次では，両品種の20分吸水率が低下する可能性が高いと推察した．

＋Ⅱ期の最高気温に対する20吸水率の回帰直線の傾きの大きさには，有意な品種間差異がなかったことから（第3図），＋Ⅱ期の最高気温の年次変動が20吸水率の年次変動に及ぼす影響の程度に，有意な品種間差異はなかったと推察した．一方，y切片の大きさには明瞭な品種間差異があった．このことは，＋Ⅱ期の最高気温が年次変動しても20吸水率の品種間差異は大きく変わらず，20吸水率の品種間差異は年次間・産地間で安定していることを意味する．

米原ら（2005）は，「山田錦」を用いて登熟期間を高温（平均35℃）で生育させた場合に比べて低温（平均20℃）で生育させた場合に，20分吸水率が有意に上昇したと報告し，高温栽培では澱粉合成酵素機能の高温障害が，低温栽培では胚乳細胞の構造の変化が，それぞれ20分吸水率に影響を及ぼしたと考察した．吉沢ら（1979, 1981）と伊藤（1992）は米粒の構造が米粒の吸水性や消化性に大きく関係すると報告した．前報（田中ら2018）で示したように，本研究での両産地の最高気温は，いずれの時期でも30℃以下であったので（出穂期後1ヶ月間の最高気温の平均値，岩見沢市：26.8℃，比布町：27.4℃），登熟期間中に高温障害が発生した可能性は低い．したがって，＋Ⅱ期の最高気温の年次変動が両品種の胚乳細胞の構造の変化に関係して，20分吸水率の年次変動に影響を及ぼした可能性が高いと推察した．また，＋Ⅱ期は胚乳細胞の肥大初期10日間に相当することから（星川1975），両品種の20分吸水率に最も影響を及ぼす最高気温の時期は，胚乳細胞の肥大初期10日間であると考えられた．

3. 蒸米吸水率

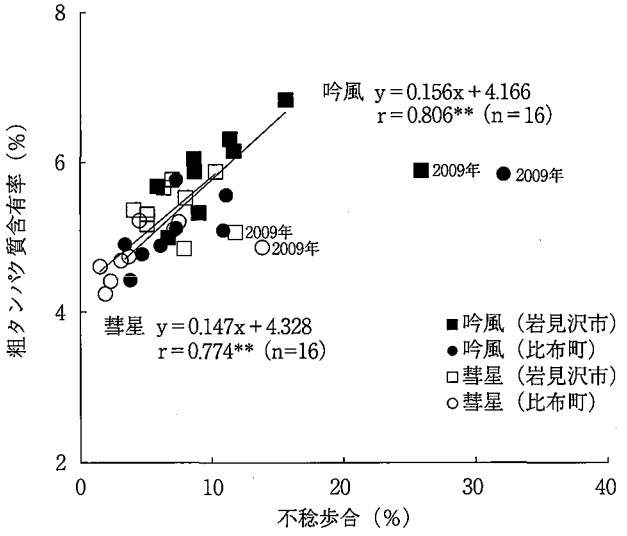
蒸米吸水率は蒸米の消化性の直接的な指標である醪（もろみ）の溶解性やBrix（全糖量）と密接に関係し，蒸米吸水率の高い酒米は消化性が高い傾向があり，生成酒の酒質のみならず粕歩合などの原料利用効率にも影響する（吉沢ら1974a，吉沢・石川1974）．＋Ⅲ期の最高気温が上昇すると，蒸米吸水率は「彗星」では低下する傾向を示したが，「吟風」ではその傾向が明瞭でなかった（第4図）．このことから，＋Ⅲ期の最高気温の年次変動が蒸米吸水率の年次変動に及ぼす影響の程度は，「彗星」では大きく「吟風」では小さかったと考えられた．また，＋Ⅲ期は胚乳細胞の肥大初期11～20日目に相当することから（星川1975），「彗星」の蒸米吸水率に最も影響を及ぼす最高気温の時期は，胚乳細胞の肥大初期11～20日目であると考えられた．

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，5～10月の各月の最高気温，最低気温および平均気温と消化性との関係を解析し，特に8月の最高気温と消化性との関係が密接で，出穂期以降の最高気温が高いほど，消化性が低下する傾向があると報告した．また奥田ら（2010）は，沖縄県と九州を除く日本各地で栽培した酒米51品種について，出穂後1ヶ月の平均気温（19.9℃～26.8℃）と消化性との関係を解析したところ，両形質間には高い負の相関関係があり，出穂後1ヶ月の平均気温が23℃以上になると消化性が劣ると報告した．本研究の＋Ⅲ期は，岩見沢市では8月下旬，比布町では8月中旬に相当し，2010年と2012年で両産地の最高気温は28℃を超えた．また，この2カ年の出穂後1ヶ月間の平均気温は，岩見沢市で23.3℃，比布町で22.9℃であり，奥田ら（2010）が酒米の消化性が劣る境界温度とした出穂後1ヶ月の平均気温の23℃と一致した．これらのことから，北海道においても8月中旬～下旬が高温の年次では，「彗星」の蒸米吸水率及び消化性が低下する可能性が高いと推察した．

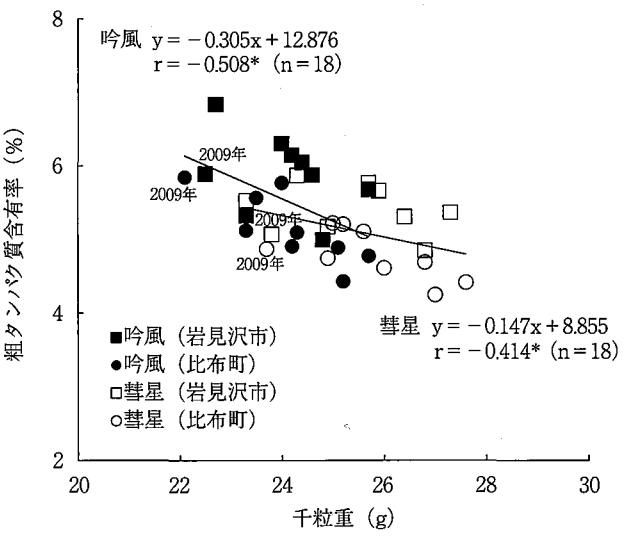
4. 粗タンパク質含有率

粗タンパク質は精白米の吸水性や蒸米の消化性の低下に関係し，そのアミノ酸組成により，清酒の味，香り等の成分として不可欠であるが，粗タンパク質含有率の高い酒米は，製造酒のアミノ酸含量が増加して雑味や着色の原因になる（吉沢ら1974b，前重・小林2000）．粗タンパク質含有率の最大値と最小値の差は「彗星」の方が「吟風」より小さかった（第1表）．また，－Ⅱ期の最高気温が上昇すると，粗タンパク質含有率は「吟風」では低下する傾向を示したが，「彗星」ではその傾向が明瞭でなかった（第5図）．これらのことから，－Ⅱ期の最高気温の年次変動が粗タンパク質含有率の年次変動に及ぼす影響の程度は，「吟風」では大きく「彗星」では小さかったと考えられた．また，－Ⅱ期が高温の年次は「吟風」の粗タンパク質含有率が低下する可能性が高いと推察した．

北海道では，かんがい水温は気温よりも一般に数度高く，冷害危険期の幼穂が水面に入る深さを保てば冷気温から幼穂が保護されるため，水深18～20 cmの深水かんがいが奨励されてきた（丹野2011）．また，幼穂形成から冷害危険期直前までの前歴期間での水深10 cmの深水も，不稔発生防止に効果があり，不稔発生に対する前歴深水の単独効果は冷害危険期の単独効果より大きく，両期の複合効果は相乗的に大きい（Satakeら1987）．そこで，北海道の水稲栽培では，不稔の発生の防止策として，前歴期間～冷害危険期（5～20 cm）に段階的に水深を上昇させる深水かんがいが行われている．食用米では，冷害年において不稔の多発により減収するだけでなくタンパク含有率が上昇して，玄米品質や食味の低下を招くことが知られている（丹野2010，2011）．－Ⅱ期は水稲の冷害危険期である穂ばらみ期に重なる．そこで，第8図に不稔歩合と粗タンパク質含有率との関係を示した．冷害年の2009年での両品種の不稔歩合は，他の年次に比べて高く，「吟風」では顕著に高かった．しかし，2009年の両品種の粗タンパク質含有率は，他の年次に比べて必ずしも高くはなかった．2009年を除くと，両品種の不稔歩合と粗タンパク質含有率との間に高い正の相関関係が認められ，「吟風」では不稔歩合が20%以下で，「彗星」では不稔歩合が10%以下で，不稔歩合の上昇に伴っ



第8図　不稔歩合と粗タンパク質含有率の関係.
粗タンパク質含有率は70%精米の値．回帰式および相関係数は冷害年の2009年を除く．**は1%水準で有意性があることを示す.



第9図　千粒重と粗タンパク質含有率の関係.
粗タンパク質含有率は70%精米の値．2009年は冷害年．*は5%水準で有意性があることを示す.

て粗タンパク質含有率が増加する傾向を示した.

次に，－Ⅱ期の最高気温が上昇すると，両品種の千粒重は増加する傾向を示したので（第1図），第9図に千粒重と粗タンパク質含有率との関係を示した．両品種の千粒重は粗タンパク質含有率との間に有意な負の相関関係が認められ，両品種の千粒重が増加すると粗タンパク質含有率は低下する傾向を示した．これらのことから，北海道の水稲栽培における深水かんがいは，冷害年以外の通常年においても，両品種の不稔歩合の低下および千粒重の増加が関係して，粗タンパク質含有率の増加を防ぐ効果がある可能性がある.

5. 心白発現率

心白は精白米の吸水性や麹菌のハゼ込みおよび醪（もろみ）の消化性等に深く関係し，酒米の重要な形質の一つである（前重・小林2000）．酒造会社は心白発現率が安定して高い酒米を望む．心白発現率の最大値と最小値の差は，「彗星」の方が「吟風」より明らかに大きかった（第1表）．冷害年の2009年の「彗星」の心白発現率は，他の年次の心白発現率に比べて，明らかに低かったが，「吟風」では大きな差異がなかった（第6図，第7図）．また，心白発現率のCVは，2009年を除いても「彗星」の方が「吟風」より大きかった（彗星:18.2%，吟風:11.2%，2産地の平均値）．これらのことから，心白発現率の年次変動は「彗星」の方が「吟風」より明らかに大きく，年次変動の品種間差異は冷害年の影響によりさらに拡大したと考えられた.

－Ⅱ期の最高気温が上昇すると，「彗星」の心白発現率は増加し，＋Ⅰ期の最高気温が上昇すると，「吟風」の心白発現率は低下する傾向を示した（第6図，第7図）．このことから，－Ⅱ期の最高気温の年次変動は，「彗星」の心白発現率の年次変動に，＋Ⅰ期の最高気温の年次変動は，「吟風」の心白発現率の年次変動に，それぞれ大きく影響したと考えられた．また，－Ⅱ期が高温の年次は「彗星」の心白発現率が増加し，＋Ⅰ期が高温の年次は「吟風」の心白発現率が低下する可能性が高いと推察した.

このように品種間で心白発現率に大きく影響を及ぼす最高気温の時期が異なったので，最高気温が両品種の心白発現率に影響を及ぼす要因について検討した．－Ⅱ期は冷害危険期と重なるので，両品種の－Ⅱ期の最高気温と不稔歩合の相関関係を調べた．両品種の不稔歩合は－Ⅱ期の最高気温との間に1%水準の有意な負の相関関係が認められた（「吟風」：$r=-0.669$，「彗星」：$r=-0.631$，各$n=18$）．次に，不稔歩合と心白発現率を調べた．不稔歩合と心白発現率との間に，「彗星」では5%水準で有意な負の相関関係が認められたが，「吟風」では有意な相関関係が認められなかった（「彗星」：$r=-0.714$，「吟風」：$r=-0.094$，各$n=10$）．すなわち，「彗星」では－Ⅱ期の最高気温の年次変動は不稔歩合の年次変動に大きく影響し，このことが関係して心白発現率の年次変動に影響した可能性がある．一方，「吟風」では不稔歩合の年次変動の心白発現率の年次変動に及ぼす影響の程度は小さいと考えられた．＋Ⅰ期は水稲の胚乳細胞の分裂増殖期に相当するので（星川1975），「吟風」では＋Ⅰ期の最高気温が胚乳細胞の分裂増殖に影響し，このことが関係して心白発現率の年次変動に影響した可能性がある.

6. まとめ

酒米の生育期間中の気象データから収穫後の酒造適性を

予測できれば，原料米の酒造適性に合わせた利用計画を酒造前に立てることができ，清酒の品質向上に大きく役立つ（奥田2010）．本研究結果で得られた両品種の酒造適性の関連指標に及ぼす最高気温の影響に関する情報は，両品種を使用する酒造会社に対して酒造前に提供することにより，酒造上の参考になると考えられた．

－Ⅱ期の最高気温は，両品種の千粒重との間に正の，「吟風」の粗タンパク質含有率との間に負の，「彗星」の心白発現率との間に正の，それぞれ強い相関関係を示した（第2表，第1図，第5図，第6図）．このことから，北海道で不稔防止のために推奨されている－Ⅱ期を含む期間の深水かんがい技術は，両品種の千粒重の低下を，「吟風」の粗タンパク質含有率の増加を，「彗星」の心白発現率の低下を，それぞれ防ぐ効果がある可能性がある．

謝辞：本論文を作成するにあたり，水稲奨励品種決定基本調査成績結果の利用について，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および同上川農業試験場研究部水稲グループの関係各位に，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，それぞれご快諾をいただきました．ここに記して深く感謝の意を表します．

引用文献

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.

星川清親 1975. 解剖図説 イネの生長. 農文協, 東京. 263-278.

星川清親 1980. 新編 食用作物学. 養賢堂, 東京. 70-78.

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.

伊藤清 1992. 酒米の微細構造と消化性. 醸協 87: 497-502.

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.

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.

松島省三・山口俊二・真中多喜夫・岡部俊・小松展之 1953. 水稲収量予察の作物学的研究（予報）X. 千粒重の予察（1）XI稔実歩合の予察. 日作紀 23: 41-46.

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 2010. イネ登熟気温と醸造用原料米のデンプン特性の年次・産地間変動. 醸協 105: 97-105.

奥田将生2010. 猛暑の年は酒粕が多くなる？ 気象データによる清酒醸造用原料米の性質予測. 化学と生物 48: 517-519.

佐々木亮・後藤英次 2009. 酒造好適米「吟風」「彗星」向けの品質目標, 生育指標および栽培技術. 平成20年 新しい研究成果－北海道地域－農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター: 120-125.

佐々木亮・後藤英次 2010. 北海道における出穂期前後の気温が水稲の収量や産米品質に及ぼす影響. 日作紀 79（別2）: 20-21.

Satake, T., Lee S.Y., Koike, S. and Kariya, K. 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.

田中豊・垂水共之 1986. 11. 共分散分析（1）－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・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.

田中一生・尾崎洋人・平山裕治・菅原彰 2018. 北海道で育成した酒造好適米品種における農業特性と酒造適性の産地間・品種間差異. 日作紀: 87: 147-156.

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.

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・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・浜田由紀夫 1974b. 酒造米に関する研究（第6報）精白米の酒造に関する性質の構造について. 醸協 69: 581-583.

吉沢淑・石川 雄章 1974. 酒造米の性質とその処理（その1）. 醸協 69: 645-650.

吉沢淑・百瀬洋夫・石川雄章 1979. 米粒の構造と消化性に関する研究（第8報）米粒及び米粉の消化性. 醸協 74: 190-193.

吉沢淑・百瀬洋夫・蓮尾徹夫 1981. 米粒の構造と消化性に関する研究（第12報）米澱粉のアミロース含量と消化性の品種による差異. 醸協 76: 557-560.

柳原哲司 2011. 食味向上対策. 北海道の米づくり. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. 102-111.

和田定 1997. 2.2 障害型冷害とその要因. 水稲の冷害. 養賢堂, 東京. 40-113.

The Effect of Daily Highest Temperature on the Annual Variation of Parameters of Sake Brewing Aptitude of Rice Varieties for Sake Brewery in Hokkaido, Japan : Kazuo TANAKA[1,2)], Hiroto OZAKI[2)], Yuji HIRAYAMA[2)] and Akira SUGAWARA[2)] ([1)]*Hokkaido Kamikawa Agri. Exp. Stn. Pippu 078-0397, Japan;* [2)]*Hokkaido Central Agri. Exp. Stn.*)

Abstract : We used two rice varieties for sake brewery, 'Ginpuu' and 'Suisei' to evaluate the effect of daily highest temperature on the annual variation of parameters of sake brewing aptitude in 2005–2013, in Hokkaido, Japan. The annual variation of white core rate (WCR) was the highest, and followed by that on crude protein content (CPC), 1000 grain weight (1000 GW), 20-minutes water absorption rate (20AR) and steamed rice water absorption rate (SAR). As daily highest temperature (DHT) from 19 to 10 days before heading (−II) rose, 1000GW in both varieties and WCR in 'Suisei 'increased and CPC in 'Ginpuu' decreased. As DHT from 1 to 10days after heading (+I) rose, WCR in 'Ginpuu' decreased. As DHT from 11 to 20 days after heading (+II) rose, 1000GW increased and 20AR decreased in both varieties. As DHT from 21 to 30 days after heading (+III) rose, SAR in 'Suisei' decreased. Thus, we considered that the variations of DHT during −II influenced those of 1000GW in both varieties, CPC in 'Ginpuu' and WCR in 'Suisei ', that the variations of DHT during +I influenced those of WCR in 'Ginpuu', that the variations of DHT during +II influenced those of 1000GW and 20 AR in both varieties, and that the variations of DHT during +III influenced those of SAR in 'Suisei'.

Key words : Crude protein content, Highest temperature, Rice variety for sake brewery, Steamed-water absorption rate, 1000 grain weight, 20-minute water absorption rate, White core rate.