酒造原料米の醸造適性と気象条件の関係

岡崎 直人・君塚 敦・木崎 康造・小林 信也

(国税庁醸造試験所)

平成元年 6 月 26 日受理

Relationship between Properties of Rice for Sake Making and Meteorological Conditions in Cultivation Period.

Naoto OKAZAKI, Atsusi KIMIZUKA, Yasuzo KISAKI and Shin-ya KOBAYASHI

(National Research Institute of Brewing, 2-6-30 Takinogawa, Kita-ku, Tokyo 114 Japan)

Relationship between properties of rice (harvested in 1976-1987) and meteorological conditions during cultivation was studied by statistical analysis. The digestibility and other properties of rice were affected by meteorological conditions in cultivation period of rice as follows. The digestibility of rice was decreased with increasing temperature in cultivation period of rice. And the properties of rice for sake making could be explained by meteorological conditions in cultivation period by using multiple regression analysis. These results suggested the possibility of predicting the properties of rice for sake making from meteorological data.

Key words: 原料米・酒造適性・気象条件・多変量解析・昭和 51~62 年度

緒 言

前報¹⁾で昭和 51~59 年産酒造原料米の分析結果を統計的に解析することによって、分析値の変動要因として原料米の品種が最も大きいことを見出し、分析値によって酒造原料米を 6 つのクラスターに分けられることを報告した。また、品種間に明らかな差が認められることから、原料米の醸造適性の把握や予測の目的には品種毎に評価する必要があることを報告した。さらに、五百万石等数種の酒造原料米について行った主成分分析の因子得点を第 1, 2 主成分を軸とするグラフ上にプロットすると年度間に偏りがあることが認められ、この偏りの原因が気象条件による可能性を示唆した。

本報では、醸造適性予測の基礎となる分析値の分布型を調べ、その利用法について述べるとともに、気象条件と醸造適性に関して、2, 3 の興味ある関係が認められたので報告する。

解 析 方 法

1. 使用データ

酒造原料米の分析値として酒米研究会から公表されて

いる「昭和 51~62 年度産酒原料米の性状」²⁻⁵⁾を使用した。解析対象は「山田錦」45 点、「日本晴」259 点及び「五百万石」61 点で、分析項目は Table 1 に示す 9 項目である。

また、気象データは気象庁の発表した AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) のデータを使用した。すなわち、日本全国に点在する AMeDAS 観測地点と原料米の産地を地図上で比較し、産地に最も近い観測地点におけるそれぞれの品種の栽培期間中の最高・最低気温及び日照時間をデータとした (Table 1)。

2. 解析手法

各分析値が正規分布とみなせるかについては Q-Q プロット⁶⁾の手法により確認した。また、各データ間の解析には、相関分析、主成分分析及重回帰分析を使用した。

結 果 及 び 考 察

1. 品種別醸造適性値の分布

日本晴及び五百万石について各分析値の Q-Q プロットを Fig. 1, 2 に示した。Q-Q プロットは (1) 式を満

Fig. 1 Q-Q prot of analytical values for properties of rice "Gohyakumangohu". Z_i calculated by equation(1) are plotted on the abscissa and analytical data are plotted on the ordinate respectively.

足するように Z_i を求め、その Z_i を横軸に、縦軸に分析値の小さいものから順番に上方にプロットしたもので、 n は試料数である。分析値が正規分布から無作為に抽出されたとみなされる場合は対角線上に並ぶ。なお、 Z_i は文献⁹⁾のプログラムを用いコンピューターにより算出した。

$$\int_{-\infty}^{Z_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{i - \frac{1}{2}}{n} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Fig. 1, 2 に示されるように、千粒重（水分調整後）、玄米水分、吸水性（20 分）、吸水性（120 分）、消化性

Fig. 2 Q-Q plot of analytical values for properties of rice "Nipponbare".

Fig.2 is described same as Fig.1

(直糖)、消化性（フォルモール窒素）及び粗蛋白質について正規分布とみなすことができた。カリについては日本晴と五百万石ともに高い値を示す3点を除外すれば正規分布とみなすことができた。従って、今後醸造適性値を正規分布とみなして統計的に扱うことが可能である。

齊藤⁷⁾は酒米研究会のデータを使用して分析値の分

布型を調べ、標準偏差及び100q分位法による5段階分類法を提案している。本報では、Fig.1, 2 のとおりほとんどの分析項目について正規分布とみなせたので標準偏差を利用した分類が可能であるが、生産地域や品種等によって正規分布とみなせない場合には100q分位法等を利用して基準値を算出することが望ましいと考えられ

Table 1 Analytical and meteorological** item.

Analytical item No.	Analytical and meteorological item	Abbreviation
1	Weight of 1,000 brown rice grains (g) at water content 13.8%	Weight 1000
2	Water content of brown rice(g-water/100 g brown rice)	Water content
3	Absorbed water of polished rice after 20 min. steeping	Abs. water (20)
4	Absorbed water of polished rice after 120 min. steeping	Abs. water (120)
5	Absorbed water of polished rice after steaming	Abs. water (ST)
6	Digestibility (reducing sugar)*	Digest. (RS)
7	Digestibility (formol-nitrogen)*	Digest. (FN)
8	Content of crude protein (%/polished rice)	Crude protein
9	Content of Potassium (ppm/polished rice)	Potassium
10	Maximum temperature (°C) at May	Max. temp. at May
11	Minimum temperature (°C) at May	Min. temp. at May
12	Maximum temperature (°C) at June	Max. temp. at June
13	Minimum temperature (°C) at June	Min. temp. at June
14	Maximum temperature (°C) at July	Max. temp. at July
15	Minimum temperature (°C) at July	Min. temp. at July
16	Maximum temperature (°C) at August	Max. temp. at Aug.
17	Minimum temperature (°C) at August	Min. temp. at Aug.
18	Maximum temperature (°C) at September	Max. temp. at Sept.
19	Minimum temperature (°C) at September	Min. temp. at Sept.
20	Maximum temperature (°C) at October	Max. temp. at Oct.
21	Minimum temperature (°C) at October	Min. temp. at Oct.
22	Duration of sunshine (hr) at May	Sunshine May
23	Duration of sunshine (hr) at June	Sunshine June
24	Duration of sunshine (hr) at July	Sunshine July
25	Duration of sunshine (hr) at August	Sunshine Aug.
26	Duration of sunshine (hr) at September	Sunshine Sept.
27	Duration of sunshine (hr) at October	Sunshine Oct.
28	Duration of sunshine (hr) at May-October	Sunshine total
29	Average shining hours of ten days after heading	Sunshine head.
30	Average shining hours of ten days before maturing	Sunshine matur.

Item No.1~2 were analyzed with respect to brown rice and 3~9 to polished rice.

* Steamed polished rice was incubated in enzyme, "Clarín-S" solution containing 60 U/ml of α -amylase at 30°C. The content of direct reducing sugar (RS) and formol-nitrogen (FN) in digesting solution was determined.

** Meteorological conditions were used the data of AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System)

る。

2. 気象条件と醸造適性

昭和 53~62 年度産原料米の内、五百万石、山田錦及び日本晴について、それぞれの原料米の分析値及びそれらの栽培期間における気温及び日照時間に関して、それら相互の関係を多変量解析の手法を用いて解析した。

1) 主成分分析による要因の解析

解析項目は Table 1 に示す 27 項目（五百万石は 30 項目）であった。

五百万石の場合の解析結果を Table 2 に示した。

第 1 主成分は各項目と因子負荷量の絶対値の大きさから気象、中でも最高気温に関する要因と考えられる。興味深いことに、第 1 主成分と消化性（直糖）が負の相関関係を示し、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認められた。

第 2 主成分は粗蛋白質及び消化性（フォルモール窒素）と相関が高く、粗蛋白質に関する要因と考えられ

た。第 2 主成分と気象条件の関係をみると、粗蛋白質は成熟期の気温が高く、日照時間が短いと多くなる傾向が認められた。

第 3 主成分及び第 4 主成分は分析項目を主体に考察すると、千粒重、吸水性と相関の高い要因と考えられる。第 3 主成分についてみると、千粒重が大きく、吸水性が高くなる気象条件は、出穂期の気温が高く、日照時間が短い場合である。第 4 主成分は千粒重よりむしろ吸水性、蒸米水分に関する要因と考えられ、気象条件と大きな相関は認められなかった。

一般に気象条件がよいと千粒重は大きくなるが単位面積当たりの粒数も多くなる。粒数が多くなり過ぎると米粒への澱粉の蓄積が不十分になり、粒数と千粒重の間に負の相関関係が認められることが報告されており⁸⁾、千粒重を気象条件のみで説明することは困難であろう。

同様の解析を山田錦及び日本晴について行い、その結果を Table 3, 4 に示した。両者とも五百万石の場合と

Table 2 Result of principal component analysis (PCA) for "Gohyakumangoku".

Factor number	1	2	3	4	5
Eigen value	7.56	4.31	3.49	2.50	2.36
Contribution (%)	25.2	14.4	11.6	8.3	7.9
Cumulative contribution	25.2	39.6	51.2	59.9	67.4
Factor loading					
1 Weight 1000	0.190	0.014	0.263	0.674	0.070
2 Water content	0.278	-0.095	-0.023	0.335	-0.017
3 Abs. water (20)	0.497	-0.336	0.341	-0.445	0.036
4 Abs. water (120)	0.081	-0.459	0.321	-0.511	0.232
5 Abs. water (ST)	0.070	-0.367	0.337	-0.613	0.019
6 Digest. (RS)	-0.515	0.126	0.077	-0.157	-0.218
7 Digest. (FN)	-0.255	0.352	-0.186	0.237	0.177
8 Crude protein	-0.273	0.651	-0.090	-0.092	0.037
9 Potassium	0.413	-0.027	-0.255	0.099	-0.375
10 Max. temp. at May	0.296	0.591	0.118	-0.466	0.343
11 Min. temp. at Aug.	0.562	0.666	-0.042	-0.152	-0.060
12 Max. temp. at June	0.402	0.167	0.695	-0.021	0.245
13 Min. temp. at June	0.619	-0.101	0.463	0.288	-0.032
14 Max. temp. at July	0.672	-0.212	0.446	0.136	0.367
15 Min. temp. at July	0.693	-0.117	0.460	0.311	0.037
16 Max. temp. at Aug.	0.869	-0.049	-0.004	-0.240	-0.130
17 Min. temp. at Aug.	0.760	0.388	-0.104	-0.017	-0.357
18 Max. temp. at Sept.	0.649	0.305	0.301	-0.210	-0.317
19 Min. temp. at Sept.	0.551	0.584	-0.152	-0.111	-0.447
20 Max. temp. at Oct.	0.497	0.591	0.290	-0.019	0.350
21 Min. temp. at Oct.	0.307	0.501	0.311	0.377	-0.278
22 Sunshine May	0.159	0.292	-0.589	-0.236	0.165
23 Sunshine June	0.211	0.528	-0.340	0.118	0.304
24 Sunshine July	0.497	-0.418	-0.303	0.284	0.444
25 Sunshine Aug.	0.706	-0.447	-0.461	-0.041	-0.161
26 Sunshine Sept.	0.242	-0.317	-0.042	0.323	-0.013
27 Sunshine Oct.	0.273	0.211	-0.293	-0.085	0.749
28 Sunshine total	0.652	-0.107	-0.601	0.087	0.372
29 Sunshine head.	0.703	-0.508	-0.255	-0.076	-0.189
30 Sunshine matur.	0.684	-0.208	-0.513	-0.147	-0.187

Table 3 Result of principal component analysis (PCA) for "Yamadanishiki".

Factor number	1	2	3	4
Eigen value	7.63	3.46	3.38	1.97
Contribution (%)	28.3	12.8	12.5	7.3
Cumulative contribution	28.3	41.1	53.6	60.9
Factor loading				
1 Weight 1000	0.205	-0.492	-0.472	0.296
2 Water content	-0.072	-0.136	0.195	0.277
3 Abs. water (20)	-0.099	0.315	-0.119	-0.222
4 Abs. water (120)	-0.158	0.077	-0.455	0.030
5 Abs. water (ST)	0.435	-0.036	-0.296	0.376
6 Digest. (RS)	-0.050	0.671	0.114	0.334
7 Digest. (FN)	-0.189	0.733	0.212	0.029
8 Crude protein	0.039	0.156	0.544	-0.114
9 Potassium	-0.577	-0.563	0.096	0.050
10 Max. temp. at June	0.162	-0.061	0.239	0.757
11 Min. temp. at June	0.322	-0.251	0.159	0.203
12 Max. temp. at July	0.559	-0.582	0.090	0.130
13 Min. temp. at July	0.307	-0.593	0.411	-0.164
14 Max. temp. at Aug.	0.730	-0.325	0.220	0.146
15 Min. temp. at Aug.	0.554	0.109	0.603	-0.276
16 Max. temp. at Sept.	0.695	-0.306	0.435	0.209
17 Min. temp. at Sept.	0.679	-0.018	0.432	-0.374
18 Max. temp. at Oct.	0.155	0.194	0.628	0.438
19 Min. temp. at Oct.	-0.049	0.027	0.793	-0.215
20 Sunshine June	0.464	0.514	-0.067	-0.065
21 Sunshine July	0.840	-0.063	-0.262	-0.161
22 Sunshine Aug.	0.859	-0.077	-0.260	-0.170
23 Sunshine Sept.	0.605	-0.111	-0.369	-0.059
24 Sunshine Oct.	0.731	0.467	-0.080	0.270
25 Sunshine total	0.917	0.112	-0.268	-0.110
26 Sunshine head.	0.842	0.144	-0.139	-0.296
27 Sunshine matur.	0.730	0.470	-0.084	0.272

ほぼ同様の要因が抽出され、同様な意味付けをすることができ、前報¹⁾で報告した年度間の偏りの原因が気象条件による可能性を示唆するものと考えられた。

2) 醸造適性と気象条件の重回帰分析

1) の結果気象条件が醸造適性に影響を及ぼしている可能性が認められたので、Table 1 に示した気象条件を説明変数とし、千粒重、消化性(直糖)、消化性(フォルモール窒素)及び粗蛋白質をそれぞれ目的変数とする変数増減法による重回帰分析を行い、結果を Table 5, 6, 7 に示した。

五百万石の場合、消化性(直糖)、消化性(フォルモール窒素)及び粗蛋白質について、山田錦は消化性(直糖)と消化性(フォルモール窒素)について気象条件によってよく説明することができた。日本晴についても消化性(直糖)と消化性(フォルモール窒素)について有意な説明変数が選定されたが寄与率は低かった。このことは五百万石及び山田錦が比較的限られた地域で栽培された試料であるのに対し、日本晴は関東から九州という広い地域で栽培された試料であるためと考えられた。また、各目的変数の内、千粒重に関しては1)で述べた理由により解析結果は示していないが説明の度合いが低く、粗蛋白質は施肥管理等によっても影響されるため気象条件による説明の度合いが低くなったと考えられた。

3) AMeDAS の有効利用

ところで、これまで解析に用いた気象条件が、醸造適性を説明することにおいて、また、今後原料米の醸造適性を予測するうえで最も良い要素かどうかを考えてみたい。稲の収量に及ぼす気象条件として、登熟期における昼間の気温、日照時間、夜間の気温等が報告⁸⁾されている。

Table 4 Result of principal component analysis (PCA) for "Nipponbare".

Factor number	1	2	3	4	5
Eigen value	6.38	3.71	2.56	1.98	1.69
Contribution (%)	23.6	13.7	9.5	7.3	6.3
Cumulative contribution	23.6	37.4	46.9	54.2	60.5
Factor loading					
1 Weight 1000	0.394	0.179	0.061	-0.330	0.018
2 Water content	-0.147	-0.033	-0.132	-0.390	-0.198
3 Abs. water (20)	0.043	0.126	-0.408	-0.047	0.541
4 Abs. water (120)	-0.042	0.162	-0.246	0.102	0.622
5 Abs. water (ST)	-0.015	0.111	0.057	0.029	0.718
6 Digest. (RS)	-0.202	-0.019	0.275	0.057	0.125
7 Digest. (FN)	-0.115	-0.165	0.598	0.375	0.230
8 Crude protein	0.003	0.126	0.365	0.338	0.170
9 Potassium	-0.018	-0.089	0.180	-0.486	-0.172
10 Max. temp. at June	0.432	-0.513	0.254	-0.066	0.035
11 Min. temp. at June	0.572	-0.430	0.331	-0.270	0.027
12 Max. temp. at July	0.724	-0.072	-0.157	-0.341	0.212
13 Min. temp. at July	0.784	-0.197	0.023	-0.335	0.050
14 Max. temp. at Aug.	0.738	-0.098	-0.435	0.033	0.039
15 Min. temp. at Aug.	0.695	-0.330	-0.250	0.162	-0.142
16 Max. temp. at Sept.	0.748	-0.322	-0.011	0.043	0.182
17 Min. temp. at Sept.	0.679	-0.406	-0.139	0.283	-0.037
18 Max. temp. at Oct.	0.584	-0.453	0.224	0.244	0.113
19 Min. temp. at Oct.	0.523	-0.588	0.118	0.135	-0.180
20 Sunshine June	0.190	0.208	0.037	0.492	-0.369
21 Sunshine July	0.603	0.607	-0.053	-0.073	0.042
22 Sunshine Aug.	0.592	0.568	-0.379	0.030	-0.116
23 Sunshine Sept.	0.393	0.525	0.565	-0.276	0.023
24 Sunshine Oct.	0.323	0.404	0.391	0.463	0.016
25 Sunshine total	0.655	0.696	0.037	0.173	-0.135
26 Sunshine head.	0.586	0.614	0.004	0.170	-0.065
27 Sunshine matur.	0.225	0.325	0.747	-0.348	0.065

Table 5 Results of multiple regression analysis for digestibility (RS).

(1) "Gohyakumangoku" $n=61$		
Predictor variable	Standard regress. coefficient	t-Value
Max. temp. at July	-0.496	-4.47
Sunshine May	0.244	2.25
Sunshine Aug.	-0.712	-2.80
Sunshine head.	0.919	3.98
Sunshine matur.	-0.508	-2.78
(R=0.710 R2=0.504)		
(2) "Yamadanishiki" $n=45$		
Min. temp. at June	0.499	4.34
Min. temp. at July	-0.341	-3.08
Max. temp. at Aug.	-0.516	-4.45
Max. temp. at Oct.	0.395	3.99
Sunshine June	0.408	3.43
Sunshine July	0.375	2.55
Sunshine Sept.	-0.486	-3.83
(R=0.825 R2=0.680)		
(3) "Nipponbare" $n=259$		
Min. temp. at June	0.201	3.04
Max. temp. at Sept.	-0.317	-4.64
Sunshine Aug.	-0.253	-3.09
Sunshine Oct.	-0.120	-1.83
Sunshine head	0.267	3.02
(R=0.363 R2=0.132)		

R: Multiple correlation coeff. R2: Determination coeff.

る。稲の収量と醸造特性が直接関係するかどうかは不明であるが、澱粉の光合成の面から考えれば関係がありそうである。今回解析を行った3品種いずれも、消化性は、出穂期以降の最高温度が高いほど低下するという興味深い解析結果が得られ、また、粗蛋白質は出穂期以降の最

Table 6 Results of multiple regression analysis for digestibility (FN).

(1) "Gohyakumangoku" $n=61$		
Predictor variable	Standard regress. coefficient	t-Value
Min. temp. at May	-0.499	-3.44
Min. temp. at June	0.824	5.25
Min. temp. at July	-0.799	-4.61
Min. temp. at Sept.	0.490	3.19
Sunshine May	-0.101	-0.62
Sunshine total	0.580	3.12
Sunshine head.	-0.741	-4.98
(R=0.716 R2=0.512)		
(2) "Yamadanishiki" $n=45$		
Max. temp. at July	-0.476	-3.61
Max. temp. at Oct.	0.260	1.97
Sunshine June	0.263	2.04
(R=0.567 R2=0.322)		
(3) "Nipponbare" $n=259$		
Sunshine Aug.	-0.363	-6.17
Sunshine Oct.	0.247	3.99
Sunshine matur.	0.111	1.85
(R=0.419 R2=0.176)		

低温度が高いと高くなる傾向が認められ、気象条件が醸造特性になんらかの影響を及ぼしていると考えられる。

AMeDAS の利用は容易かつ精度も高いので、産地に近い測定点があれば利用価値が高い。

以上、醸造適性の内、実地醸造に影響の大きい消化性が気象条件と関係している可能性が示されたことは、今後、酒造米の醸造適性を予測する上で大きな意味を持つと考えられる。

Table 7 Results of multiple regression analysis for crude protein.

(1) "Gohyakumangoku" $n=61$		
Predictor variable	Standard regress. coefficient	t-Value
Min. temp. at May	-0.481	-2.89
Min. temp. at July	-0.640	-5.56
Min. temp. at Sept.	0.665	4.80
Max. temp. at Oct.	0.524	3.65
Sunshine Aug.	-0.761	-3.64
Sunshine head.	0.513	2.47
(R=0.753 R ² =0.568)		
(2) "Yamadanishiki" $n=45$		
Max. temp. at June	0.251	1.78
Min. temp. at Oct.	0.397	2.83
(R=0.436 R ² =0.190)		
(3) "Nipponbare" $n=259$		
Max. temp. at Aug.	0.136	1.73
Sunshine Aug.	-0.275	-3.40
Sunshine Oct.	0.238	3.77
(R=0.271 R ² =0.073)		

要 約

1 醸造適性に関するほとんどの分析値を正規分布とみなして統計的に扱うことが可能である。

2 日本晴、五百万石及び山田錦について AMeDAS の気象データと醸造適性の関係を解析した結果、千粒重及び消化性に関して気象条件との間に一定の関係があり、気象条件が酒造原料米の醸造適性に影響を及ぼしていることが認められた。特に出穂期以降の最高気温が高

いほど消化性が低下するという興味深い傾向が認められた。

3 2の結果に基づいて消化性と気象条件に関する重回帰分析を行った結果、消化性(直糖)及び消化性(フオルモール窒素)の変動の約 50% が気象データによって説明され、原料米のおおまかな醸造適性予測には役に立ちそうであるが、栽培地域が広い範囲にわたる日本晴については寄与率が低かった。

文 献

- 1) 岡崎直人・伊藤 清・小林信也：醸協，83 (11)，764 (1988)
- 2) 酒米研究会：昭和 51 年産～53 年産酒造原料米の性状(昭和 54 年)
- 3) 酒米研究会：昭和 54 年産～56 年産酒造原料米の性状(昭和 57 年)
- 4) 酒米研究会：昭和 57 年産～59 年産酒造原料米の性状(昭和 60 年)
- 5) 酒米研究会：昭和 60 年産～62 年産酒造原料米の性状(昭和 63 年)
- 6) 脇本和昌・垂水共之・田中 豊：パソコン統計解析ハンドブック I 基礎統計編，204 頁，共立出版(株)(1987)
- 7) 齊藤博之・桜井 廣・中山繁喜・大森勝雄：岩手県醸食試報，22，54 (1988)
- 8) 劉 新安・羽生 寿郎・中山敬一・今 久・呉毅明：千葉大園学報，41，7 (1988)