

ファジィニューラルネットワーク推論 モデルを用いた吟醸もろみの発酵試験

西田淑男*・花井泰三・片山明美・本多裕之・深谷伊和男*・小林 猛
(名古屋大学大学院工学研究科生物機能工学専攻, *愛知県食品工業技術センター)

平成9年2月24日受理

Experimental *Ginjo*-Sake Brewing by Using Fuzzy Neural Network.

Yoshio NISHIDA², Taizo HANAI¹, Akemi KATAYAMA¹, Hiroyuki HONDA¹,
Iwao FUKAYA² and Takeshi KOBAYASHI¹

(Department of Biotechnology, Graduate School of Engineering, Nagoya University,
Chikusa-ku, Nagoya 464-01¹ and Food Research Institute, Aichi Prefectural Government,
2-2-1 Shinpukuji-cho, Nishi-ku, Nagoya 451², Japan)

To examine applicability of a fuzzy neural network (FNN) to decision of *moromi* temperature in *ginjo*-sake brewing process, two kinds of *ginjo*-sake were made and compared. Temperature of the one *moromi* was calculated automatically by the FNN, while that of the other was manually managed by the *toji*, a sake-brew master. Baumé, alcohol concentration and temperature from 25 kinds of *ginjo moromi* made in 17 sake breweries in Aichi prefecture from 1989 to 1991 were used to construct the FNN model for decision of *ginjo moromi* temperature.

Each sake brewing employed 100 kg total Wakamizu rice polished to 50% and *sokujomoto* made by using a *ginjo*-sake yeast, *S. cerevisiae* FIA-2 strain. Temperatures during the first 11 days changed similarly for the both *moromi*. However, temperatures from 12 to 29 days in the case of the FNN control were 0.5-1.5°C lower than those of the manual control. Although there were some differences in the concentrations of flavor components (*e. g.*, 4.20 ppm iso-amylacetate in the sake by the FNN control, 3.82 ppm by the manual control), the seven panelists judged that *ginjo* flavor of the two kinds of sake was similar. The concentrations of chemical components, physical properties and sensory evaluation had almost the same values in these sake, suggesting that *ginjo*-sake can be made under the FNN control with almost the same quality as that made under the manual control of the *toji*.

Key words: 吟醸酒, もろみ工程, ファジィニューラルネットワーク

緒 言

近年酒造業界では、酒造熟練者である杜氏の高齢化と後継者不足が問題となっており、杜氏が引退してしまう場合には酒造会社の継続が非常に困難になる。このため、杜氏の知識と技術をコンピュータに記憶させ、工程の自動化や省力化が行われている¹⁻³⁾。このように熟練者の知識を抽出しコンピュータに記憶させる際、

ファジィ推論という方法が広く使われている。我々も普通酒と比べ、杜氏の知識と技術に大きく依存する吟醸酒もろみ工程に関して、ファジィ推論を用いた品温制御に関する研究を行ってきた⁴⁻⁶⁾。しかし、ファジィ推論はメンバーシップ関数およびプロダクションルールのチューニングを試行錯誤法によって行うため、多くの時間と苦勞が伴う。このため、酒造工場ごとや銘柄ごとに異なる制御方法に対し、それぞれファジィ推

論を構築するのは大変困難であると考えられる。

一方, 知識情報処理の分野でニューラルネットワーク (NN) と呼ばれる手法が登場したが, この手法は過去のデータさえ存在すれば学習によって正しい入出力関係をモデル化できる。ただし, NN はブラックボックス的な構造で入出力関係がわかりづらく, 与えたデータの範囲外に対しては正しい出力を推定するのは難しい。このため, ファジィ推論と NN の長所をあわせたファジィニューラルネットワーク (FNN) が考案された⁷⁾。この手法は過去のデータを与えることによりファジィ推論を学習によって自動的に抽出する。このためメンバーシップ関数およびプロダクションルールのチューニングは必要なく, 入出力関係もファジィルールのためわかりやすい。

前報において我々は杜氏によるもろみの品温管理法の自動抽出を目指し, 我々が収集した比較的品质の良い25点の吟醸酒の時系列データを使用して熟練者の知識と技術を FNN を用いてファジィルール化し, 積算温度の概念を用いたシミュレーションにより吟醸酒もろみの品温制御への有効性を確認した⁸⁾。本研究では, この FNN 推論の有効性を確認するための総米100 kg の中規模仕込の発酵試験を行ったので報告する。

実験方法

1. 原料米および仕込配合

原料米は精米歩合50%の愛知県産酒造好適米「若水」を用いた。

総米100 kg の中期模仕込の発酵試験を行った。添, 仲, 留の三段仕込とし, もろみ期間に10 l の追い水を

行い, 発酵終了後36%アルコールを30 l 添加した。これらの仕込配合を Table 1 に示す。酵母としては, 愛知県食品工業技術センターで開発された吟醸酵母 FIA-2 を用いた。酒母は発酵日数11日の速醸酒母を使用した。麴は吟醸用種麴を使用し, 製麴時間約50時間, 最高温度43°Cの条件で製造し, 発酵試験に使用した。

2. 実験装置

仕込は専用の冷却ジャケット付ステンレスタンク(445 l 容)を用いて行った。もろみ品温は1日2回熱伝対温度計(まこと電気製)で測定し, 設定温度から+0.2~-0.2°Cの範囲で制御されていることを確認した。

FNN の計算にはパーソナルコンピュータ (NEC 製, PC-9821 Nf/340 W) を用い, プログラムは MS-C++ 言語 (マイクロソフト製) を用いて作成した。

3. 分析項目および方法

もろみの分析項目として, アルコール濃度, ポーメ以外に, 化学成分 (酸度, アミノ酸度, 全糖濃度, グルコース濃度およびピルビン酸濃度), 物理化学値 (紫外外部吸光度, 粕歩合), および香氣成分 (イソアミルアルコール, 酢酸イソアミル, カブロン酸エチル) の濃度を測定した。その際, アルコール濃度, ポーメ, 酸度, アミノ酸度は国税庁所定分析法⁹⁾に従い, 全糖濃度はフェノール硫酸法により, グルコース濃度はグルコスタット法により, ピルビン酸濃度は F-キット法により, 香氣成分は吉沢の方法により測定した¹⁰⁾。紫外外部吸光度は260 nm の吸光度 (OD₂₆₀) を測定した。

4. 官能審査

官能評価項目は吟醸香, 味, 香味の調和および総合評価について行った。官能審査は7人のパネルによっ

Table 1 Materials for *ginjo*-sake brewing.

	Moto (Seed)	Soe (First feed)	Naka (Second feed)	Tome (Third feed)	Total
Rice (kg)	3.5	13.5	30	53	100
for steaming rice	2.5	9.5	22	44	78
for koji	1.0	4.0	8	9	22
Water (ℓ)	4	15	37	84	140

In the *ginjo* sake brewing, 5 ℓ and 5 ℓ water were supplemented to the fermentation tank at 4th and 11th day respectively.

At the end of *ginjo* sake brewing, 30 ℓ alcohol (36% v/v concentration) was added to the fermentation tank.

て行い、吟醸香に関しては1(高い)から3(低い)の3段階で、それ以外の官能評価項目は1(良い)から5(悪い)の5段階の得点の平均値をそのサンプルの官能評価値とした。ただし吟醸香に関しては、上記の方法で求めた得点の平均値を最大値が5点になるように変更し、官能評価値として取り扱うこととした。

5. マニュアル制御による仕込試験

FNN推論による試験の対照として熟練者のマニュアル制御による仕込試験を行った。熟練者は基本的にはポーメ、アルコール濃度をもとにして次の日の品温を決定する。熟練者によるもろみ制御方策は前報⁹⁾に示したもろみ管理に関する知識に従っている。ただし、前報においてもろみ期間は 31 ± 2 日としていたが、今回の仕込では例年に比べポーメが早く切れる(ポーメが下がりやすい)ため、もろみ期間を通常より2日短い 29 ± 2 日とした。もろみ発酵終了日はポーメが0以下(日本酒度では0以上)になった日とした。

6. FNNによる推論を用いた仕込試験

前報で構築したFNN推論モデル⁹⁾に従ってもろみ制御試験を行った。FNNの構造およびモデル構築方法は前報⁹⁾で詳しく述べているが、この方法では、もろみの全期間を以下に示す4つの制御領域に分ける。制御領域1はもろみ初日から9日目まで、制御領域2はポーメ3.5以下またはアルコール濃度10.5%以上が成立する日まで、制御領域3はポーメが2.0以下にある日まで、制御領域4はもろみ最終日まで、とした。これらの4つの制御領域に対し、それぞれFNN推論モデルを構築した。FNNとは、ファジィ推論を実現可能な構造を持つニューラルネットワークであり、簡単に表現すると学習可能なファジィ推論モデルである。このため、熟練者が決定したもろみの品温制御のデータをFNN推論モデルに学習させることによって、自動的にファジィ推論モデルが構築される。

本研究では平成元年~3年度に愛知県内17酒造会社で仕込まれた25仕込の吟醸もろみのポーメ、アルコール濃度の経日データをもとにモデル構築した。このため17酒造会社における複数の熟練者の平均的なもろみ制御をモデル化していることとなる。モデルの構築においては入力変数として、現在のもろみ日数、ポーメ、アルコール濃度、品温、ポーメの切れ(Δポーメ)、最大ポーメ、初期ポーメ、最高ポーメと初期ポーメの差、リファレンスのポーメと現在のポーメの値の

差、リファレンスのアルコール濃度と現在のアルコール濃度の差、リファレンスのBMD(BMD:ポーメともろみ日数を掛けた値)とBMDの値の差を用い、出力変数としては、翌日の品温を用いた、リファレンスのポーメおよびアルコール濃度とは収集した過去の25仕込の各もろみ日数における平均値である。リファレンスのBMDは前報⁹⁾の方法で求めた。モデル構築の際には、FNNは冗長な入力変数が存在すると正しいモデルが構築できないため、古橋⁷⁾の提案した変数増加法を用いた。この結果、FNN推論モデルは制御領域1では品温、リファレンスのアルコール濃度とアルコール濃度の差が、制御領域2では品温、ポーメが、制御領域3では品温、ポーメ、Δポーメ、最高ポーメと初期ポーメの差が、制御領域4では品温、リファレンスのBMDとBMDの差、Δポーメ、リファレンスのポーメとポーメの差、もろみ日数、がそれぞれ入力変数として選択された。これらの入力変数は、熟練者の各もろみ期間における注目変数とほぼ同じものであった。対照仕込と同様、発酵終了日はポーメが0以下になった日とした。また、積算温度に基づいたもろみシミュレーションを行ったところ、構築されたFNN推論モデルは、前報⁹⁾で構築したファジィ推論モデルとほぼ同じ制御結果を得ることが出来た。

実験結果および考察

1. もろみ制御結果

FNN推論による制御試験および対照仕込としてマニュアル制御を行った。Fig.1に品温、ポーメ、アルコール濃度の経日変化を示す。

FNN推論による制御試験においてアルコール濃度は、もろみ日数12日目まではほぼ対照仕込と同じ挙動を示し、それ以降は対照仕込より少し低い値となったが、もろみ終了日には対照仕込と同じ値となった。ポーメはもろみ日数4日目から10日目まで対照仕込よりやや低い値となったが、10日目からはほぼ同じ値となった。品温は対照仕込に比べて2日ほど早く下げはじめ、対照仕込のポーメ、アルコール濃度がほぼ同じであるにもかかわらず12日目以降対照仕込より低いものとなった。これは、本モデルを構築する際に17酒造会社の複数の熟練者のもろみ制御データを使用したために、対照仕込の制御を行った熟練者と異なった判断を行ったためであると考えられた。また、モデル構

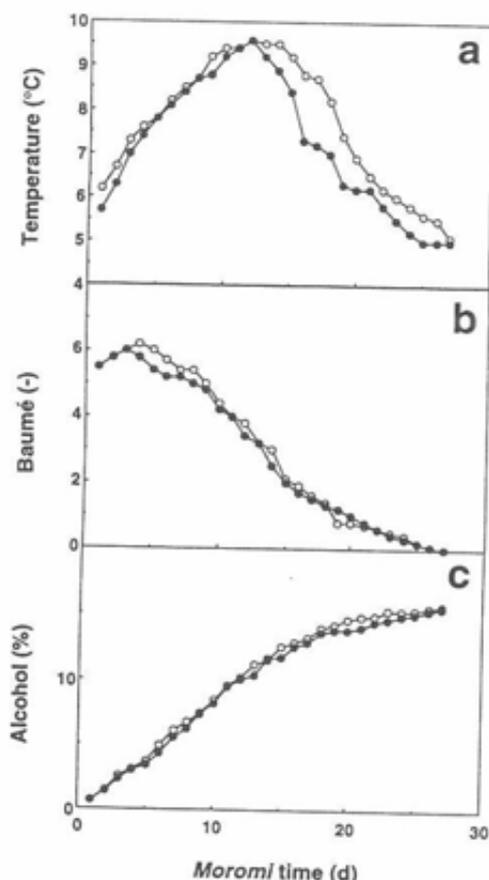


Fig. 1 Time course of temperature(a), Baumé(b) and alcohol concentration(c) of moromi mash controlled manually and by FNN control.
 Symbols: ●, FNN control; ○, manual control.

築時に使用したもろみ制御データにおいて複数の熟練者は、もろみ後半のボーメ、アルコール濃度が同じ値でも、もろみ前半のボーメおよびアルコール濃度を考慮に入れて異なった温度制御を行っていた。FNN 推論モデルはこのもろみ制御方策に従って制御を行ったと考えられる。このようにわずかに対照仕込を行った熟練者の制御とずれはあったが、この制御結果を対照仕込を行った熟練者に見せたところ自分の判断とは若干異なるがそれでも妥当な品温制御であるとの意見であった。

Fig. 2 は FNN 推論仕込および対照仕込における BMD 曲線である。斜線の領域は BMD 曲線が直線的に推移するように制御を行う制御領域 4 である。実線はそれぞれのもろみの制御目標の BMD 直線であり、

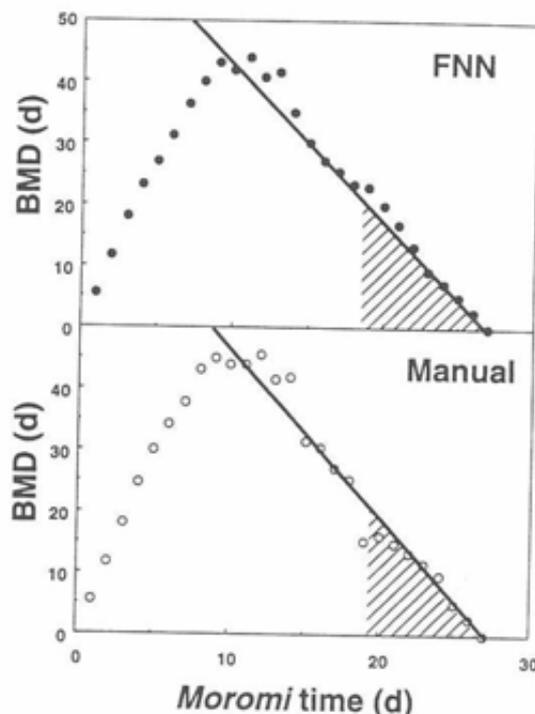


Fig. 2 BMD curves of moromi mash controlled manually and by FNN control. Solid lines and hatched areas show the reference of each run and control region 4, respectively. BMD: Baumé, specific gravity of the moromi, was multiplied by number of moromi mashing day.

BMD 値の減少が始まった日から制御領域 4 までの BMD 値の変化を外挿することによって求めた。FNN 推論仕込および対照仕込は制御領域 4 において BMD 曲線がほぼ直線になるように制御されており、この制御領域において熟練者の知識に基づいて制御が行われていることが確認された。

2. 製成酒による比較検討

FNN 推論仕込、対照仕込の上槽時における化学成分濃度、物理化学値および香気成分濃度を Table 2 に示す。なお、(E/A)×100 は酢酸イソアミル (E) とイソアミルアルコール (A) の濃度比を示す。

FNN 推論仕込および対照仕込ともボーメ、アルコール濃度はほぼ同じ値であったが、ピルビン酸濃度、粕歩合以外の酸度、アミノ酸度、全糖濃度、グルコース濃度、OD₂₆₀ は対照仕込の方が少し高い値となった。また、各香気成分については、イソアミルアルコールおよびカブロン酸エチル濃度とも FNN 推論仕込の方

Table 2 Analysis of *ginjo*-sake brewed by the FNN control and the manual control.

Measuring subject	FNN	Manual
Baumé (-)	-0.7	-0.8
Alcohol (%)	17.2	17.4
Acidity (ml)	1.20	1.25
Amino acidity (ml)	0.70	0.80
Total sugar (mg/ml)	45.8	49.1
Glucose (mg/ml)	11.5	12.8
Pyruvic acid (mg/ml)	170.8	148.8
OD ₂₆₀ (-)	0.144	0.156
Sake cake ratio (%)	48.1	47.0
iso-Amyl alcohol(A) (ppm)	134	134
iso-Amyl acetate(E) (ppm)	4.20	3.82
(E/A) × 100	3.11	2.85
Ethyl caproate (ppm)	1.59	1.18

がわずかに高い値となった。このような小差はあったが、おおむね制御方策による違いは認められなかった。

最後に、官能評価結果を Table 3 に示す。FNN 推論仕込および対照仕込による結果は、吟醸香においてはあまり差のないものであったが、味、香味の調和、総合評価においては FNN 推論仕込の方が良好であるとの評価を得た。

本論文に示すように、FNN 推論によるもろみ制御は熟練者とほぼ同じ制御であり、この結果できた製成酒の品質もほぼ同じものであった。本手法は、データの蓄積さえあればどのような酒造工場にも適応可能であると考えられる。このような考え方にに基づき、総米 1500 kg スケールの酒造工場にてこの手法を適用中である。さらに、この手法は吟醸酒もろみ工程以外の他の食品の発酵プロセスにも使用できると考えられる。現在ビールの発酵プロセスにも応用中である。

要 約

吟醸もろみ工程の品温管理の自動化を目標に、FNN 推論仕込によるもろみ発酵試験を行った。その結果、製成酒の化学成分濃度、物理化学値、香気成分濃度す

Table 3 Comparison of sensory evaluation of *ginjo*-sake.

	Flavor	Taste	Harmony	Total evaluation
FNN	3.43	2.71	2.57	2.71
Manual	3.57	3.29	3.29	3.57

べてにおいて、対照仕込、FNN 推論仕込の間で大きな違いはみられなかった。また、官能評価においては FNN 推論仕込は対照仕込とほぼ同等の品質であるとの評価を得ることができ、提案した FNN 推論の有用性が明らかになった。

参 考 文 献

- 1) 大石 薫, 富永光則, 川戸章嗣, 今安 聡: 醸工, 70, 9-16 (1992)
- 2) 土屋義信, 小泉淳一, 未成和夫, 手島義泰, 永井史朗: 醸工, 65, 123-129 (1990)
- 3) K.OISHI, M.TOMINAGA, A.KAWATO, Y.ABE, S.IMAYASU, A.NANBA: *J. Ferment. Technol.*, 72, 115-121 (1991)
- 4) 西田淑男, 深谷伊和男, 高橋伸幸, 花井泰三, 本多裕之, 小林 猛: 生物工学, 72, 267-274 (1994)
- 5) 花井泰三, 本多裕之, 高橋伸幸, 西田淑男, 深谷伊和男, 小林 猛: 生物工学, 72, 275-281 (1994)
- 6) 花井泰三, 西田淑男, 大楠栄治, 本多裕之, 深谷伊和男, 小林 猛: 生物工学, 73, 283-289 (1995)
- 7) 古橋 武: 日本ファジィ学会誌, 5, 204-217 (1993)
- 8) T.HANAI, A.KATAYAMA, H.HONDA and T.KOBAYASHI: *J. Chem. Eng. Japan*, 30, 94-100 (1997)
- 9) 日本醸造協会: 第 4 回改正国税庁所定分析法注解, p. 229-231 (1990)
- 10) 吉沢 淑: 醸協, 68, 59-61 (1973)