

## 日本酒酒造工程におけるセンサデータからの最良な時間間隔の推定 Estimation of Ideal Time Intervals from Sensor data in Brewing Process

鈴木 雅望<sup>†</sup>  
Masami Suzuki

瀬口 元樹<sup>§</sup>  
Motoki Seguchi

島川 博光<sup>†</sup>  
Hiromitsu Shimakawa

原田 史子<sup>‡</sup>  
Humiko Harada

### 1. はじめに

日本酒酒造において、機械を用いた酒造をおこなっている酒造メーカーが増えている。しかし、杜氏の直観に頼らざるを得ない場面がまだ多くある。そのため、酒造メーカーは杜氏に大きな負担がかかることに悩んでいる。杜氏の直感に継承しづらいため、杜氏の教育は難しい。酒造における、現工程から次の工程に移るまでの時間間隔の推定は杜氏頼みである。

本研究では、日本酒酒造のデータを取得し、酒造における作業間の時間間隔を生存時間分析に習い数式モデル化する手法を提案する。また、作成した数式モデルを酒造に携わる現場関係者に理解できるように視覚化する。本手法を用いることで、杜氏のノウハウを電子化でき、教育への効率化、杜氏への負担削減を期待できる。

### 2. 日本酒酒造の現状

#### 2.1 既存の酒造技術

かつての日本酒酒造では、米のみを用いた手作業での酒造方法が受け継がれていた。しかし、昨今の日本酒酒造には、精密濾過などさまざまな技術が用いられ、日本酒酒造の革新がなされている。日本酒酒造の革新のひとつに、機械を用いた酒造方法がある。ある日本酒酒造では、蔵の中に多くの時計やセンサを取り付けている。センサなどの機械を用いた酒造は、酒造工程を可視化するため、品質や生産量を安定させる杜氏の技量を電子的に継承することが期待できる。そのため、日本酒酒造の機械化に取り組んでいる酒造メーカーが徐々に増えている [1]。

#### 2.2 杜氏にかかる負担と現状

常に同じ味の日本酒を作ることができる杜氏の技術は、希少価値がある。杜氏たちは、地域ごとの独自の造り方を発展させており、日本酒造りを支えてきた [2]。杜氏の日本酒酒造の技術は、経験と直感から構成されている。

しかし、経験や直感が継承しづらいという問題から、経営者である蔵元は人材育成に困っている [3]。また、杜氏の高齢化による後継者難にも苛まれている。

#### 2.3 酒造工程における問題

日本酒酒造において、杜氏の直感による決断と実行が日本酒の味を大きく左右する。杜氏は醪を味わっただけで、出来上がり具合や現工程から次の工程に移るまでの時間間隔を推定できる。現工程から次の工程に移るまでの時間間隔の推定が必要とされる工程のひとつに、並行複発酵という発酵形式がある。並行複発酵は、日本酒の酒造工程のひとつで、米のでんぶを糖に変える糖化作用と

糖をアルコールに変えるアルコール発酵が同時に進行する発酵形式である。並行複発酵では、糖が多すぎると、糖をアルコールに変える酵母が死滅し、アルコール度が高すぎると、酵母が働かない。丁度よい均衡状態を保つ必要がある [4]。このような均衡を保つために、杜氏は醪を何度も確認し、その都度醪の攪拌などの作業を実施する。

日本酒酒造では、並行複発酵だけでなく、各々の工程において何度も実施すべき作業が多数ある。また、生きた日本酒の菌を扱うため、作業に昼夜の別がない。杜氏への負担が大きい。そこで、各作業の効果の発現を確認する回数を減らすため、現工程での操作の効果が現れるまでの期間長を予測する。

各工程での効果確認作業の時間間隔が判るので、杜氏にかかる負担が減り、日本酒酒造の効率化を期待できる。

### 3. 生存時間分析における時間間隔の数式化モデル

#### 3.1 操作と効果の関係のモデル化

本研究では、日本酒の酒造工程における各工程での効果確認間隔を数式モデル化する手法を提案する。日本酒の酒造工程における効果確認間隔を数式モデル化するために、生存時間分析を用いる。また、作成した数式モデルの効果を可視化する。本手法の全体図を図1に示す。

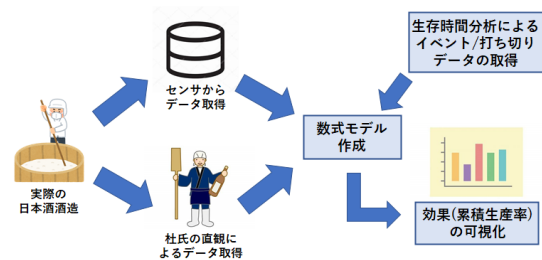


図1 手法概要図

まず、杜氏の直感より現工程から次の工程に移るまでの時間間隔を教師データとして取得する。また、センサを用いて醪もしくは、生酒から日本酒の質を示す糖度などのデータを取得する。次に、これらのデータを生存時間分析のモデルを用いて、現工程から次の工程に移るまでの時間間隔を表す数式モデルを作成する。そして現工程から次の工程に移るまでに日本酒に含まれる菌の累積生存率を数式モデルの効果として可視化する。本手法を用いることで、日本酒酒造における現工程での操作の効果出現までの時間間隔を予測できる。効果出現期間を予測できると、杜氏の直感に頼らざるを得ない場面を減らすことができるため、杜氏の負担を軽減できる。

<sup>†</sup> 立命館大学情報理工学部

<sup>§</sup> 立命館大学大学院情報理工学研究科

<sup>‡</sup> (株)コネクトドット

### 3.2 日本酒のデータ取得

各工程間の時間間隔の数式モデルを作成するために、説明変数および目的変数となるデータを実際の日本酒酒造のある工程から取得する。データの取得方法は、センサを用いる方法と杜氏の直感から得る方法がある。前者では、日本酒の基となる醪や生酒にセンサを取り付け、データを取得する。本研究では、pH、温度、糖度を測定できるセンサを用いる。センサから取得された日本酒の糖度などのデータは生存時間分析の説明変数として用いる。後者では、ある工程が始まってから、次の工程に移ると決断するまでの時間間隔を杜氏より聞き取る。時間間隔のほかに杜氏が次の工程に移るための決め手としたものをインタビューから得る。杜氏の直感によるデータは、生存時間分析の教師データおよび説明変数として用いる。

### 3.3 生存時間分析

日本酒の味を左右するのは、菌である。例えば、日本酒に含まれる菌が多すぎると味が酸っぱくなる傾向がある。そのため、日本酒酒造において、菌の生存率を把握し、菌をうまく扱うことは重要である。本研究では、杜氏の直感から適切な菌の生存割合と、現工程での効果確認の作業間隔を教師データとする。杜氏の直感から取得した作業間隔をセンサから得た糖度などの説明変数で表す。そのさい、生存時間分析を活用する [5]。生存時間分析で事象発生の有無、事象間の関係を理解できる。時間は操作から事象が発生するまでの時間、もしくは事象が発生しないと判断する打ち切りまでの時間を指す。本研究では、事象を酒造における菌の死、打ち切りを菌の生とする。事象と打ち切りから、菌の生存割合を考慮し、生存時間分析で現工程での効果発現を検査する間隔を予測する。

また、本研究では生存時間分析において、多様な説明変数を用いることができる Cox 比例ハザードモデルを使用する。Cox 比例ハザードモデルの数式は以下の式になる。

$$h(t) = h_0(t) \exp(\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots)$$

$h_0(t)$  は、時間  $t$  における事象発生の危険度を示すハザード関数、 $\exp(\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots)$  は、ハザード関数に影響を与える要因である。Cox 比例ハザードモデルの関数は、時間に依存する部分と依存しない部分に分けているため、要因である説明変数がハザード関数に影響を与える度合いがわかる。本研究では、センサから得たデータを Cox 比例ハザードモデルの説明変数、日本酒に含まれる菌の生存時間を目的変数とする。Cox 比例ハザードモデルにより、複数の説明変数が生存時間にどれほど影響を与えているか把握できる。Cox 比例ハザードモデルを用いることで、時間に依存せず、菌の生存時間に影響を与える説明変数を把握できる。

### 3.4 数式化モデルの可視化

生存時間分析で得た数式モデルから、菌の生存率を把握する。菌の生存率から累積生存率を求めることで、数式モデルの効果を可視化する。可視化するさい、 Kaplan-Meier 曲線を用いる。Kaplan-Meier 曲線は、生存時間率の時間変化を可視化する。また、 Kaplan-Meier

曲線で、現工程から次の工程に移るまでの菌の生存率の時間変化を確認できる。

数式モデルを理解するには生存時間分析に関する知識が必要である。そのため、酒造関係者が数式の表す意味を理解するのは難しい。しかし、数式モデルの効果を可視化することで、酒造関係者も数式モデルが表す意味を理解しやすくなる。

## 4. 酒造工程における火入れ

実際の酒造工程のひとつである火入れを例に本研究の手法を説明する。

火入れは、日本酒酒造工程における最終段階の仕上げにあたる。火入れは、搾りたての生酒に含まれる菌を低温加熱で殺菌する工程である。このさい、加熱時間が短ければ、菌が発酵しすぎて酸味が強くなる火落ちが起きる。一方、加熱時間が長ければ、風味とアルコールが飛んでしまう。そのため、火入れは杜氏が付き切りになる。また、火入れでは生酒を加熱するため、火傷する危険性が高く、杜氏にかかる負担が大きい。そこで、本手法を用いて、火入れの工程から次の工程に移るまでの時間間隔を予測する。センサから説明変数となるデータを、杜氏の直感から目的変数となるデータを取得する。Cox 比例ハザードモデルで、菌の生存時間を把握する。また、説明変数として用いる糖度などのデータが各工程間の時間間隔にどのような影響を与えているか確認する。この説明変数から、各工程間の時間間隔を予測するための数式モデルを作成する。作成された数式モデルから得た、菌の生存時間による累積生存割合を Kaplan-Meier 曲線で可視化する。

本手法を用いることで、杜氏にかかる労働負担や火傷の危険性を軽減できる。

## 5. おわりに

本論文では、日本酒の酒造工程における各工程での操作の効果の検査間隔を生存時間分析より数式モデル化する手法を提案した。本手法を用いることで、杜氏のノウハウを電子的に表現できるため、杜氏の教育の効率化や作業ミスの減少、杜氏への負担の削減を期待できる。

## 参考文献

- [1] 栗島浩二, "中小企業における海外市場展開—旭酒造「瀬祭」を事例として—", *Journal of the Faculty of Management and Information System, Professional University of Hiroshima*, No. 10, pp 47-56, 2017
- [2] 日本政策投資銀行地域企画部, "清酒業界の現状と成長戦略", *日本政策投資銀行*, Volume 113, 2013
- [3] 山本陽子, "ゼロから分かる! 図解日本酒入門", *世界文化社*, Volume 194, 2018
- [4] 喜多麻優子, "蔵元の娘と楽しむ日本酒入門", *standards*, Volume 200, 2018
- [5] MarkusBalkenhol and BerndWstmann, Christian-Rein, PaulFergera, "Survival time of cast post and cores: A 10-year retrospective study", *Journal of Dentistry*, Volume 35, Issue 1, Pages 50-58, 2007