

一階述語論理とニューラルネットワークに基づく料理知識検索システムとそのコンピュータ実装技術

長谷川 信

磯本 征雄

概要

料理知識は、データ項目間の複雑多様な関係と数式表現困難な味覚情報を含むため、情報検索システムの実装には困難があった。筆者らは、関係データベースによるデータ管理を前提に、データ項目間の関係を一階述語論理で記述し、味覚情報と調味料の関連付けをニューラルネットワークでモデル化することで、料理知識の数理モデル化を可能にした。一階述語論理による表記で、情報検索時における未知情報の示唆機能が可能になった。また、ニューラルネットワーク・モデルを導入することで、情報検索システムに味覚情報の学習機能を付加することが可能になり、味覚から料理名を推論する機能が実現できた。本論文では、こうした料理知識への一階述語論理とニューラルネットワークの応用による知識の記述方法と、そのコンピュータ実装について議論する。

キーワード：

調理法、ルールベースシステム、知識ベース、一階述語論理、ニューラルネットワーク

1. はじめに

料理知識は、我々にとって日常的で馴染みがある^{[1][2]}。しかし、これをコンピュータに実装するには、栄養価、食材、調理法、味覚、食習慣などの関係を論理的に整理する必要がある。筆者らは、データ項目間の論理関係を料理知識の数理モデルとして一階述語論理で表記することで、コンピュータによる演算処理を可能にした。さらに、味覚など数式による定式化困難な感性情報をニューラルネットワークで記述することで、料理知識の数理モデル化を達成した。こうした料理知識の論理的記述により、全体構成が簡潔かつ明確になり、料理知識検索システムとしてコンピュータ実装する際に有効であった。本論文では、これら一階述語論理とニューラルネットワーク・モデルによる料理知識の数理モデル化とそのコンピュータ実装手法を議論する。

料理知識に関して、食材や調理法や栄養評価や風味を検索条件として、様々な料理情報検索システムが開発されている。最も一般的な料理情報検索システムは、食材や調理法、栄養価を検索条件としてレシピを探し出すものである^{[4][5][6]}。もう一つの料理情報検索システムは、食材とその分量などを栄養評価表から選択して、料理可能なレシピを探すもの

である^{[7][8]}。これらは、データベース化された料理知識を文献検索と同様の方法で検索している。本論文で提案する料理知識検索では、一階述語論理で記述されたデータ項目間の関係を利用して、既知の情報を入力すれば、これに密接に関連する情報を検索者に示唆情報として提示し、効率のよい検索を実現した。因みに、食材（例えば“牛肉”と“玉ねぎ”）と料理法（例えば“焼き物”）を与えれば、これによって可能な料理名（例えば“焼肉”や“すき焼き”など）が限定されるなどの特徴を生かすことが出来る。また、料理に特有の味覚情報は、ニューラルネットワークの技法を活用することで、数式や数表では取り扱い困難な情報を料理知識にふさわしい数理モデル化が実現した。

本文第2章では、料理に関する専門知識の特徴を議論する。第3章では、一階述語論理とニューラルネットワークによる料理知識の数理モデルを議論する。第4章では、前章の数理モデルに基づく料理知識の検索システムをコンピュータに実装する技法を論じる。第5章では、本論文で述べた料理知識の数理モデルの有用性を分析し、論文のまとめとする。

2. 料理の専門知識

一般に食事は、朝食、昼食、夕食、間食などを意味し、これらは複数の料理を組み合わせたものである。このことを前提に、本章では、食事の一部を構成する料理に焦点を絞って議論する。



図1 料理知識の処理モジュールから見た構造

“食材と調理法と嗜好”は、料理知識の独立した要因であるが、現実の料理では相互に強く関連を持っている。また、他の要因については、これら3要因から推論される。因みに、栄養価は、食材と密接に関わっている。食材を決めれば栄養価が決まり、逆に栄養価を限定すれば使える食材も限定される。図1は、これら料理知識と様々な要因の知識構造を示す。この関係を一階述語論理で記述することで、第3章で、これら料理知識について、関係型モデルによる料理データベースの項目間の関係として明示的に示す。本章では、図1の項目の特徴を述べる。

2.1 食材に関する情報

食材は、料理を特徴付ける主要な要因であり、栄養価と共に五訂日本食品標準成分表^[9]としてWebサイトで公開されている^[10]。また食材を決めることで、栄養価や風味の大枠が決まり、さらに可能な調理法も限定され、嗜好にも大きく影響している。こうした、食材の調理法や嗜好への影響を、調理法・食材知識、料理・食材知識、栄養・調理法知識、栄養・料理知識、栄養・料理知識として個々にデータベースとして格納する。図1の各関係の下に示された英字は、一階述語論理で表記する際の述語である。

2.2 調理法に関する情報

主な調理法には、生、ゆで、和え、煮物、汁物、焼物、炒め物、揚げ物、漬物の9手法がある^[11]。調理法を決めると、これに合う食材や味付け方法、風味なども概ね決まる。この中には、調味料による嗜好に合わせた風味の調整も含まれている。こうした関連を扱う知識を、調理法・料理知識、調理法・食材知識、調理・食材知識とした。

2.3 嗜好に関する情報

料理に関する嗜好は、調理方法と密接に関連し、使われた食材、調味料、香辛料と強い関連を持つ。当然、食感や味覚にも大きな影響を与える。また結果として、栄養価にも少なからず影響を与える。こうした、嗜好と調理法や食材との関係に関する知識を、嗜好・料理知識、嗜好・調理法知識、嗜好・食材知識、嗜好・栄養知識として取り扱う^{[4][5][6]}。

2.4 料理に関する一般的知識

料理知識には、“食材と調理法を決めると料理名やその風味、そして栄養価が決まる”といった様に、一部の条件付けで全体が決まるといった特徴がある。その背景には、風土に根ざした産物や伝統的な食文化がある。また、栄養摂取の視点からは、料理ごとに使われる食材の分量が概ね決まっている。料理知識には、こうした様々な通念が深く関わっている。本論文の議論は、こうした料理知識の特殊性を、述語論理とニューラルネットワーク・モデルで定式化しコンピュータ実装を示すことである。

3. 料理知識の数理モデル

料理知識は、前節に見たように、データ項目間に緊密な関連があり、関係型データベースによるデータ構造の記述に適している。また、項目間の関係は、以下に示すように一階述語論理の記述にも適している。

栄養摂取の対象である食事 L_a は、朝食、昼食、夕食、間食などがあり、幾つかの器に盛られた複数の料理 D_{ai} の集合として表せる。

$$L_a = \{D_{ai} | i = 1, 2, \dots, I\} \quad (1)$$

L_a : 第 a 番目の食事 (Meal)

D_{ai} : 食事 L_a 中の第 i 番目の料理 (Dish)

料理 D_{ai} は、趣き T_{ai} や調理法 C_{ai} 、食材 F_{aik} によって決まり、次式で記述される。

$$D_{ai} = \{T_{ai}, C_{ai}, N_{aij}, \{F_{aik}, M_{aik} | k = 1, 2, \dots, K\}\} \quad (2)$$

T_{ai} : 料理 D_{ai} の趣 (Taste) または味わいや印象

C_{ai} : 料理 D_{ai} の調理方法 (Cooking)

F_{aik} : 料理 D_{ai} の第 k 番目の食材 (Food)

栄養素ごとの分量 N_{aij} は、料理 D_{ai} に使われた食材 F_{aik} の分量 M_{aik} から栄養素 E_j 毎に栄養価 N_{aij} が計算される。

$$N_{aij} = \sum_{k=1}^K M_{aik} V_{aikj} \quad (3)$$

N_{aij} : 料理 D_{ai} 中の第 j 番目の栄養素の分量 (Nutrition)

M_{aik} : 料理 D_{ai} 中の第 k 番目の食材 F_{aik} の分量 (Mass of Food)

V_{aikj} : 食材 F_{aik} 100g当たりの栄養素 E_j の栄養価 (Nutritive value)

E_j : j 番目の栄養素 (Element of Nutrition)

この様に料理は、食材とその分量 $\{F_{ik}, M_{ik} | k=1, 2, \dots, K\}$ に関係している。以下、これらの変数間の関係を、一階述語論理とニューラルネットワークで定式化する。

3.1 一階述語論理によるデータ間の関係記述

一階述語論理による記述は、原理的には関係型データベースのデータ項目間の関係を示す。個々のファイルには、特に密接な関係にあるデータ項目がまとめて記録されるが、一階述語論理で記述することで一層厳密な取り扱いが可能になる。因みに、情報検索の際に

は、要求項目とデータベースのデータとのパターンマッチングで必要事項が決まる。例えば、食材の入力で、これで作れる料理やその栄養価が出力される。あるいは、料理名を入力すれば、調理方法や使われる食材名、栄養価などが総て決まる。本システムのデータベースは、こうして情報検索機能の実現を目標として構成される。

上記の考察を Prolog の記法を用いて一階述語論理の形式で書けば、次式の様になる。ただし、煩雑さを避けるため、以下では a は省略する。

$$\begin{aligned} \text{dish}(D_i, T_i, C_i, N_{ij}, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}): - \\ \text{taste}(T_i, D_i, C_i, N_{ij}, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}), \\ \text{cooking}(C_i, D_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}), \\ \text{foods}(N_{ij}, C_i, D_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}). \end{aligned} \quad (4)$$

この式で、dish、taste、cooking、foods は述語である。式 (4) 左辺の述語 dish は、データベースのテーブル項目を照合しながら、各変数の結びつきに意味を与える。これによって、調理可能な料理が決まる。述語 taste は、“食べる人”の視点で、“おいしい料理”に関する感性情報の内訳を示す。述語 cooking は、調理方法を記述する。そして述語 foods は、食材名とその量を決め、栄養を評価する。

述語 taste $\{T_i, D_i, C_i, N_{ij}, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k=1, 2, \dots, K\}\}$ は、次のルールで記述され、感性情報と料理の組み合わせをデータベースから抽出する。

$$\begin{aligned} \text{taste}(T_i, D_i, C_i, N_{ij}, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}): - \\ \text{taste} - \text{dish}(T_i, D_i), \\ \text{taste} - \text{cooking}(T_i, C_i), \\ \text{yaste} - \text{foods}(T_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}), \\ \text{taste} - \text{nutrition}(T_i, N_{ij}). \end{aligned} \quad (5)$$

述語 taste-dish は、料理と感性情報の関係を記述する。述語 taste-cooking は、調理方法と感性情報の関係を記述する。これにより、調理方法が感性情報に与える影響が示される。述語 taste-foods は、料理に使われる食材と感性情報の関係を記述する。述語 taste-nutrition は、栄養価と感性情報の関係を記述する。

述語 cooking $\{C_i, D_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k=1, 2, \dots, K\}\}$ は、調理法と食材が意味のある結びつきとなる組み合わせをデータベースから抽出する。これは、次式のルール形式で記述される。

$$\begin{aligned} \text{cooking}(C_i, D_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}): - \\ \text{cooking} - \text{dish}(C_i, D_i), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{cooking-foods}(C_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}), \\ & \text{dish-foods}(D_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}). \end{aligned} \quad (6)$$

述語 *cooking-dish* は、調理方法とそれで作られる料理の関係を記述する。述語 *cooking-foods* は、調理方法と使われる食材の関係を記述する。述語 *dish-food* は、述語 *cooking-dish* と述語 *cooking-foods* を結び付け、調理方法の内訳を明示する。

述語 $\text{foods}\{N_{ij}, C_i, D_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}\}$: は、調理方法と栄養価と食材の関係をデータベースから抽出する機能を持つ。この述語は、次の様に記述される。

$$\begin{aligned} & \text{foods}(N_{ij}, C_i, D_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}): - \\ & \quad \text{nutrition-foods}(N_{ij}, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}), \\ & \quad \text{nutrition-cooking}(N_{ij}, C_i), \\ & \quad \text{nutrition-dish}(N_{ij}, D_i), \\ & \quad \text{cooking-foods}(C_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}), \\ & \quad \text{dish-foods}(D_i, \{F_{ik}, M_{ik} \mid k = 1, 2, \dots, K\}). \end{aligned} \quad (7)$$

述語 *nutrition-foods* は、栄養価と食材の関係を記述する。述語 *nutrition-cooking* は、栄養価と調理方法の関係を記述する。この中には、食材を調理することで、栄養価が変化することも考慮されている。

以上の述語によって、調理方法と食材と栄養価、そして感性情報に関する知識が関係データベースで確定する。

3.2 ニューラルネットワークによる味覚情報記述

料理の味覚情報をコンピュータで取り扱う試み^{[15][16]}はあるが、いずれもルールや数式による表現は不十分である。本論文では、様々な食材や調味料と味覚情報の関係を、ニューラルネットワーク・モデルで取り扱い、コンピュータ処理を可能にした。これにより、料理の味覚に対する一般的な傾向を定量的に捉えることが可能になった。

ニューラルネットワークには、組合せ最適化問題に適用する相互結合型と、パターン識別や非線形システムのモデル化などに応用する階層型の2種類がある。料理の味覚情報判別は、非線形のパターン分類と捉えられるので、ここでは階層型ニューラルネットワークを用いた^[17]。パターン認識の事例では、概ね3層で十分であることが示されている^[18]。そこで本論文でも、階層型ニューラルネットワークの層数および層内のニューロン数を3層と設定した。

ニューラルネットワーク・モデルにおいて、入力は調味料であり、出力は味覚情報である。この関係は、次の方法で取り扱われる。ニューラルネットワークを構成する個々のニュー

ロンは、他の複数のニューロンからの信号を統合・変換し、変換された信号を別の複数のニューロンに伝える機能を持つ。そして、ニューロンへの総入力 net_j は、次の様に他のニューロンからの出力値の加重和となる^[17]。

$$net_j = \sum_{i=1}^n w_{ji} \cdot o_i \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

ニューロンでは総入力に対してシグモイド関数による変換が行われて出力値 o_j となる。

$$o_j = f(net_j) = \frac{1}{1 + \exp(-net_j)} \quad (9)$$

本論文で構成したニューラルネットワークを図1に示す。図1の入力層のユニットを記号 $i(i=0, 1, 2, \dots, n)$ 、中間層のユニットを $j(j=0, 1, 2, \dots, m)$ 、出力層のユニットを記号 $k(k=0, 1, 2, \dots, c)$ で表した場合の入出関係は、

$$\text{入力層: } o_i = x_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$\text{中間層: } o_j = f(net_j), \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

$$net_j = \sum_{i=0}^n w_{ji} \cdot o_i \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

$$\text{出力層: } o_k = f(net_k), \quad k = 1, 2, \dots, c \quad (13)$$

$$net_k = \sum_{j=0}^m w_{kj} \cdot o_j \quad k = 1, 2, \dots, c \quad (14)$$

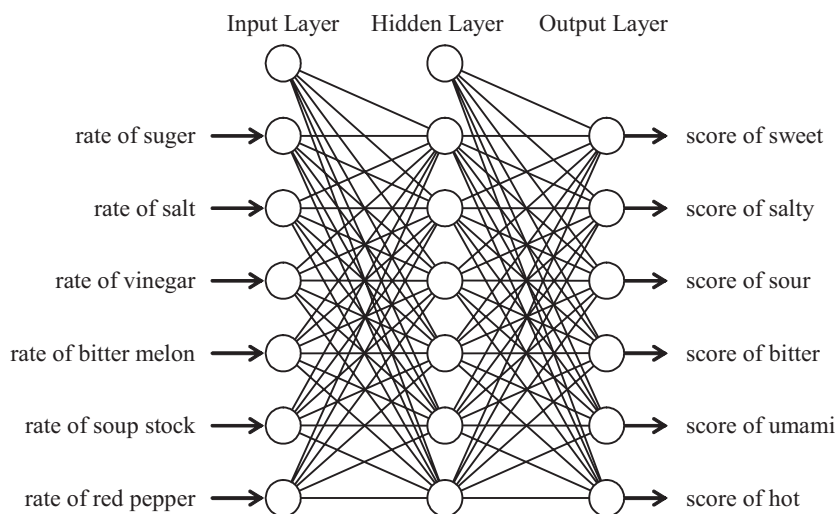


図1 ニューラルネットワーク・モデルの概念図

表1 学習に用いたレシピの一部

		料理					
		D ^{sw} 07	D ^{sl} 01	D ^{sr} 08	D ^{dt} 02	D ^{um} 08	D ^{ht} 09
重量 (g)	総量	400	1,250	208	198	1,054	80
	砂糖	200	0	1	0	0	0
	塩	0	250	6	7	0	0
	酢	0	0	23	0	0	0
	苦瓜	0	0	0	100	0	0
	だし	0	0	0	0	54	0
	唐辛子	0	0	0	0	0	25
味覚 表現	甘味	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	塩味	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	酸味	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
	苦味	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
	うま味	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
	辛味	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

※D^{sw}07：マシュマロ、D^{sl}01：梅干し、
D^{sr}08：マヨネーズ、D^{dt}02：ゴーヤなます、
D^{um}08：基本の和風ダシ、D^{ht}09：ごまラー油

で表される^[17]。ここでニューロン間の結合強度 w_{ji} ($j=0, 1, \dots, 6; i=0, 1, \dots, 6$)、 w_{kj} ($k=1, \dots, 6; j=0, 1, \dots, 6$) は、ニューラルネットワークの学習完了時に、料理レシピごとに調味料に対する味覚表現の関連付けとして保存される。

人が嗜好する味覚の表現には、甘味、塩味、酸味、苦味、うま味、辛味があり、これをニューラルネットの出力層とした。一方、味覚の代表的な食材・調味料である砂糖、塩、酢、にがうり、だし、とうがらしを入力層データに用い、入力層と出力層の明快に完結した関係で味覚と食材・調味料を対応させた。これにより、中間層のユニット数を6に設定し、誤差逆伝播法を用いて食材・調味料が典型的に利用される教師データ（表1参照）を学習させた。学習の収束条件は、教師データと出力値の平均二乗誤差0.001以下とした。なお、教師データには各食材・調味料の単体（100%）も加えている。

学習後のニューラルネットを用いて表2のようなレシピについて判別実験を行い、出力層の出力値が0.9以上であればそのユニットに対応する味が判別されており、出力値が0.9以下であれば判別は不確実であった（表2参照）。これにより、未知の料理に対しても総量に占める調味料の割合から、味覚表現を予測することが可能になり、ユーザの好みに適した料理が検索された。

表2 評価に用いたレシピの一部

		料理					
		D ^{sw} 57	D ^{s1} 51	D ^{sr} 61	D ^{dt} 56	D ^{um} 54	D ^{ht} 54
重量 (g)	総量	391	155	334	189	835	368
	砂糖	90	0	1	17	15	0
	塩	1	5	1	3	08	20
	酢	0	0	45	140	0	0
	苦瓜	0	0	0	9	0	0
	だし	0	0	0	0	4	10
	唐辛子	0	0	0	0	0	2
味覚 表現	甘味	1.000	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	-0.006
	塩味	0.001	0.935	-0.021	-0.002	-0.004	0.127
	酸味	-0.001	0.001	1.000	0.001	0.002	0.001
	苦味	0.001	0.001	-0.002	1.000	-0.001	-0.001
	うま味	0.001	0.000	-0.001	0.002	0.997	-0.001
	辛味	0.001	0.006	0.031	0.001	0.000	0.970

※D^{sw}07: マッシュマロ、D^{s1}01: 梅干し、
 D^{sr}08: マヨネーズ、D^{dt}02: ゴーヤなます、
 D^{um}08: 基本の和風ダシ、D^{ht}09: ごまラー油

4. コンピュータ実装技術

本システムは、Web コンテンツとして管理され、インターネットを介して利用者に提供される。

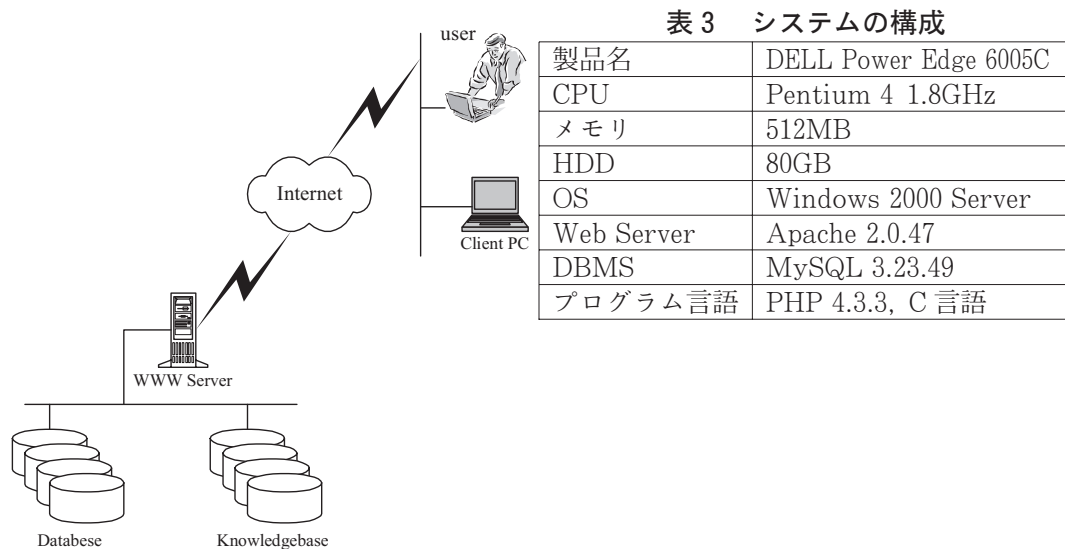


図2 本システムのモジュール構成概念図

4.1 ハードウェアおよびソフトウェア

図2は、本システムのハードウェア構成概念図である。表4に、本システムの構成を示す。本システムのユーザインタフェースと主要な動作は、HTML埋め込み型のスクリプト言語であるPHPで記述した。計算量の多いニューラルネットワークはC言語で記述し、ユーザインタフェースはPHPで記述した。データベース管理には、MySQLを採用し、データ操作言語にPHPを用いた。Web ServerにApacheを用いて、これらをデータベースや知識ベースへの検索システムとしてWindows 2000 Serverに構築した。知識処理モジュールは、第3章に示したルールに従って、情報検索モジュールを介してデータベースからデータを呼び出して検索結果を生成する。

本システムでは、ニューラルネットワークはFANN^{[20][21]}を利用した。

4.2 情報検索とマンマシンインタフェース

図3は、本システムにおける検索条件入力および検索結果出力のためのインターフェイス画面を示す。画面左端の番号は、次の内容に対応している：

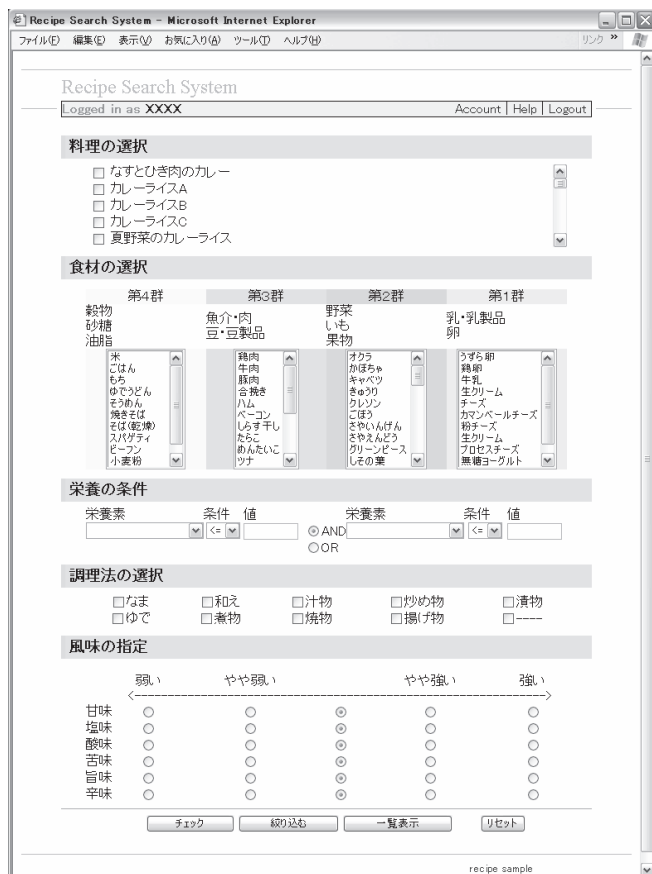


表5 調理方法一覧

調理記号	調理方法
C ₁	生
C ₂	ゆで
C ₃	和え
C ₄	煮物
C ₅	汁物
C ₆	焼物
C ₇	炒め物
C ₈	揚げ物
C ₉	漬物

図3 本システムの会話画面構成

① 料理の選択による条件付け

料理の設定ではデータベースの料理が一覧表示され、利用者による料理の直接選択ができる。料理名の選択は、食材や栄養価、風味の設定などに対して検索時の大きな制約になる。しかし、調理レシピの提供や、栄養価の確認などに必要な情報提供になる。

② 食材の選択

食材の設定は、主要な食材が4つの食品群に分けて一覧表示され、一覧から選択することで実行される。同時に、手持ちの食材で作られる料理とその調理法や栄養価を知る手掛かりの情報を提供する。バラエティに富む食材の組み合わせから適切な組み合わせを導出することで、不足する食材の情報を最少の単位で利用者に提供する。

③ 栄養価に対する上限・下限の設定

食事において、栄養価は重要な情報である。栄養価を検索条件として、利用者の要求を満たす食材や調理方法に関する情報を提供する。画面上では、各々の栄養素がスクロールバーで示され、その分量を数値で入力する。

④ 調理法の選択

調理法の選択では、調理方法を指定した料理の絞込みを行う。提示される9種類の調理法は、出来上がる料理を特徴付ける重要な条件であり、選択可能な食材や風味にも緊密な関連がある。

⑤ 風味の指定

風味は、食事を味わう際の重要な因子である。甘味、塩味、酸味、苦味、旨味。辛味の5種類の味覚について、望んでいる味付けの各々の強さに相当するオプションを指定する。この後、ニューラルネットワーク・モデルで調味料の調整度が推論される。

これらの検索条件は、第3章のルールに従って相互に関係付けられている。それ故に、クライアントが入力した一部の検索条件に対して、これに関連する情報がルールにしたがってシステム側で自動的に絞り込んでいる。クライアントは、絞り込まれたデータの中から適切と思うデータを選択することで、無駄のない確かな検索が可能になる。以上が、検索条件の取り扱いである。

5. まとめ

本論文で筆者らは、料理に関する知識をデータ構造と感性情報の観点から議論した。一階述語論理による記述で、関係型データベースに格納されたデータの複雑な関係を数理的に表現し、コンピュータへの実装を容易にした。また、ニューラルネットワーク・モデルによって、数式や数表では困難な味覚情報を、情報検索可能なデータとして表現すること

が可能になった。この2点は、これまでの料理知識を扱った情報検索システムには見られない新しい手法であり、実用化に向けて一步前進することができた。本論文で述べたシステムは、WWW Server に実装し、Web コンテンツによる一般公開を試みる。

なお、本論文で議論した味覚情報については、調味料の重量と味覚を対応させたが、さらに厳密には調味料の効き方が質的に異なることを配慮しなかった。この点は、食材知識や味覚の生理的知識を取り入れる必要があり、今後の課題とした。ただし、これは甘辛いとか甘酸っぱいなどの複合的な味覚を扱う際に必要であるが、当座の目的には実用上大きく影響しないので、本システムの当面の課題からはずし次の課題とした。

参 考 文 献

- [1] 健康・栄養情報研究会（編）、『国民栄養の現状 平成10年国民栄養調査結果』、第一出版、東京、2001.
- [2] 厚生省保健医療局健康増進栄養課（編）、『健康づくりのための食生活指針（対象特性別）』、第一出版、東京、2000.
- [3] 玉村豊男、『料理の四面体』、鎌倉書房、東京、1980.
- [4] 財団法人ベターホーム協会、「レシピサーチ」、
<http://www.betterhome.jp/recipe/index.html>
- [5] クックパッド株式会社、「COOKPAD.COM」、
<http://cookpad.com/>
- [6] 味の素株式会社、「レシピ大百科／料理レシピ」、
http://www.ajinomoto.co.jp/recipe/index_cnav.asp
- [7] 株式会社日本食品薬化、「食育大事典」、
<http://www.shokuiku.co.jp/index.html>
- [8] 独立行政法人国立健康・栄養研究、「栄養情報基盤データベースシステム」、
http://nihn-jst.nih.go.jp:8888/nns/owa/nns_main.hm01
- [9] 科学技術庁資源調査会（編）、『五訂日本食品標準成分表』、大蔵省印刷局、東京、2001.
- [10] 科学技術振興事業団、「食品成分データベース」、
<http://food.tokyo.jst.go.jp/index.html>
- [11] USDA、NUTRIENT DATA LABORATORY,
“USDA National Nutrient Database for Standard Reference”,
<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/index.html>

- [12] 今枝奈保美、徳留裕子、後藤千穂、藤原奈佳子、永谷照男、牧信三、徳留信寛、「秤量法食事調査における調味料摂取量の標準化の検討」、栄養学雑誌 Vol.59、No.5、2001、Supplement pp.347
- [13] 古川康一、尾崎知伸、植野研、『帰納論理プログラミング』、共立出版、東京、2001.
- [14] 武藤佳恭、斉藤孝之 他、『応用事例ハンドブック ニューラルコンピューティング』、共立出版、東京、2001.
- [15] K.J.Hammond., "CHEF : A Model of Case-Based Planning", *In Proceedings of AAAI-86*, AAAI Press/MIT Press, 1986.
- [16] T.R.Hinrichs and J.Kolodner., "The role of adaptation in case-based design", *In Proceedings of AAAI-91*, AAAI Press/MIT Press, 1991.
- [17] 田中英夫、石渕久生、『ソフトデータ解析』、朝倉書店、東京、1995.
- [18] Stuart Russell、Peter Norvig、古川康一（監訳）、『エージェントアプローチ人工知能』、共立出版、東京、1997.
- [19] 日本ファジィ学会（編）、『ファジィとソフトコンピューティングハンドブック』、共立出版、東京、2000.
- [20] 長谷川信、今枝奈保美、磯本征雄、「料理における栄養評価と調理指導法のルール化とそのコンピュータ実装技術」、信学技報 Vol.101、No.706、2002、pp.165-171
- [21] Steffen Nissen., "Implementation of a First Artificial Neural Network Library", graduate project、DIKU、2003.
- [22] Open Source Technology Group., " SourceForge.net", <http://sourceforge.net/>

