

献立作成支援のためのマルコフ推移確率の推定を取り入れた 献立システムの提案

平田なつひ、中村正治

金城学院大学生活環境学部

The menu making support system for the dietary cure to
a menu pattern of the everyday life

Natsuhi Hirata, Syouji Nakamura
Kinjo Gakuin University

This paper presents the menu making support system that is based on the management of the continuous eating habits. Determining the menu in daily meal is a troublesome problem. Then, we estimate the probability transition matrix of the daily changing menu from time-series daily changing menu data. The menu making support system searches the menu recipe database using this estimated probability transition matrix. In this results, the system displays the menu recipe which necessary nutrients are filled with transition probability matrix.

キーワード：献立作成支援システム、推移確率行列、確率モデル、最適問題

1. 緒言

日本の食生活は物質的に豊かになってきている。一方では、肥満やダイエットが社会問題¹⁻³⁾となり、さらには糖尿病等の生活習慣病の有病者率が増加してきている。これらのことから、栄養管理の必要性や自己選択に基づいた生活習慣の改善が必要となっている²⁻³⁾。

われわれの生活の中で、特に食生活については何を（食材）どのようにして（調理）食べるかという部分は、最も意思決定の必要性があり、毎日継続的に行っていかなければならない。継続的な食生活の管理を行うことが健康の側面にも関連する。特に調理における意思決定の一連のプロセスには、食べる人や状態を考慮した献立作成、調理素材の調達、調理準備操作、主要な調理操作、エネルギー資源・管理、盛り付け（食卓構成）、供食、後かたづけ、評価と課題整理⁴⁾がある。

本稿は、食生活の重要な特徴である健康増進のための継続的な食生活の管理に基づく「献立」づくりによる栄養管理の側面から注目した献立提案システムについて述べる。毎日の献立は日々変わることから、献立を決定することは毎日の食生活において悩ましい問題である⁵⁾。例えば、前日は和食であったので、今日は中華料理にするなど日々変化する、この献立選択の

振る舞いを推移確率行列（前日に和食の献立が今日は中華料理、前日に西洋料理の献立が今日は和食の献立に変化した確率の行列 Transition probability matrix）と呼ぶ表現を取り入れた「献立」作成システムを提案する。この推移確率行列では献立種類を n 種類に分類すると、 $n \times n$ 推移確率行列の要素が必要となる。

ここで、和食の献立を記号 1、洋食の献立を記号 2、中華の献立を記号 3 とすると、今日、和食だったとする、明日、和食の献立と推移する確率を a_{11} とする、和食の献立から洋食の献立に推移する確率を a_{12} とする、同様に和食から中華の献立に推移する確率を a_{13} とする。したがって、 $a_{11} + a_{12} + a_{13} = 1$

となる。洋食の献立から和食、洋食、中華の献立に推移する確率はそれぞれ a_{21} 、 a_{22} 、 a_{23} と表すことができる。さらに、中華の献立から和食、洋食、中華の献立に推移する確率はそれぞれ a_{31} 、 a_{32} 、 a_{33} と表すことができる。献立選択の推移確率行列は

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{和食} & \text{洋食} & \text{中華} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{和食} \\ \text{洋食} \\ \text{中華} \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

となる。このように、明日の献立の選択は、今日の献立の種類のみ依存し、過去の献立が何であったかには影響を受けないとする性質を仮定する（マルコフ性）。今日の献立の選択が和食の場合 $B(0) = (1,0,0)$ であるから、明日の献立の種類確率は $B(1) = B(0)A$ となる。明後日の献立の種類確率は $B(2) = B(1)A$ となる。したがって、時点 t における分布は

$$B(t) = B(t-1)A = B(0)A^{(t)} \quad (2)$$

で与えられる。

t を大きくすると $B(t)$ が一定となる推移確率行列 A を求めて、今日の献立から明日の和食、洋食、中華の献立選択の指針を与えることにより、「献立を決定することは毎日の食生活において悩ましい問題である⁵⁾」の負担を軽くするシステムを提案する。

2. 方法

(1) 推移確率行列

推移確率行列は、マルコフ性を想定して、今日の献立が何であるかは昨日の献立によって決定され、過去の献立とは無関係であるという性質を利用している。

推移確率行列は、次のように定義される。 n は料理の種類数、 a_{ij} は i 献立料理が次の日に j 献立料理に平均して推移した割合を示す。すべての i, j について

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$0 \leq a_{ij} \leq 1, \quad a_{i1} + a_{i2} + \cdots + a_{in} = 1 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

が成立する。

献立の種類別の割合の時系列データを B とする。

$$B = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_{t1} & w_{t2} & \cdots & w_{tn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

w_{ij} は、 t 期における j 献立種類の割合を示す。すなわち、

$$\sum_{j=1}^n w_{tj} = 1. \quad (5)$$

推移確率行列 A を利用すると、

$$\begin{aligned} a_{11}w_{t1} + a_{12}w_{t2} + \cdots + a_{1n}w_{tn} &= w_{t+1,1} \\ a_{21}w_{t1} + a_{22}w_{t2} + \cdots + a_{2n}w_{tn} &= w_{t+1,2} \\ &\cdots \\ a_{n1}w_{t1} + a_{n2}w_{t2} + \cdots + a_{nn}w_{tn} &= w_{t+1,n} \end{aligned} \quad (6)$$

本稿では、インターネットのホームページ上で公開されている、 K 市教育委員会学校給食献立表 [<http://www.city.kawaguchi.lg.jp/kbn/72100158/72100158.html>]⁶⁾ を基に献立の種類別割合を計算した。

現在ホームページ上で継続した食事として情報を入手できる方法は学校給食である。学校給食の献立を採用した理由は、学校給食法⁷⁾ と学校給食実施基準⁸⁾ に則した内容の食事であること、さらに長期間掲載している市を採用し、習慣化した食事の目安になるための参考とした。

$$B = \begin{bmatrix} \text{和食} & \text{洋食} & \text{中華} \\ 0.2857 & 0.5000 & 0.2143 \\ 0.4545 & 0.3636 & 0.1818 \\ 0.4000 & 0.4000 & 0.2000 \\ 0.3889 & 0.3889 & 0.2222 \\ 0.4500 & 0.3500 & 0.2000 \\ 0.5000 & 0.3000 & 0.2000 \\ 0.4000 & 0.4000 & 0.2000 \\ 0.4615 & 0.3077 & 0.2308 \\ 0.4737 & 0.3684 & 0.1579 \\ 0.4286 & 0.3571 & 0.2143 \\ 0.2727 & 0.4545 & 0.2727 \\ 0.4211 & 0.3684 & 0.2105 \\ 0.5455 & 0.3182 & 0.1364 \\ 0.5455 & 0.1818 & 0.2727 \\ 0.2778 & 0.5556 & 0.1667 \\ 0.4750 & 0.3500 & 0.1750 \\ 0.3158 & 0.5000 & 0.1842 \\ 0.3214 & 0.4643 & 0.2143 \\ 0.3214 & 0.5000 & 0.1786 \\ 0.3250 & 0.5000 & 0.1750 \\ 0.3077 & 0.6154 & 0.0769 \end{bmatrix} \quad (7)$$

データの期間は、2005年4月～2005年7月、2005年9月～2005年12月、2010年4月～2010年7月、2010年9月～2011年3月、の4学期19ヶ月とした。1ヵ月単位に毎回の献立表の献立名から和食、洋食、中華の3種類に分類し、該当する献立種類を1点とした。分類は、献立表から2品以上が和食、洋食、中華の料理が含まれていることとした。献立が複数の献立から構成されている場合、例えば、和食と洋食で構成されている献立はそれぞれに0.5を加算した。1ヵ月の和食、洋食、中華の割合を各献立種類の得点／1ヶ月の総得点で計算した。K市教育委員会学校給食献立表の時系列献立の種類割合の行列 B を示す。

このデータ B から、推移確率行列 A を推定する手法として、ここでは H.Theil and Guidlo Ray⁹⁾ による手法を使用し、伊藤の作成した EXCEL プログラム¹⁰⁾ により推移確率行列を推定する。

3. 結果

(1) 推移確率行列の推定

推移確率行列 A を、期別データの B_t を使用して推定する。 B_t を時点 t における、献立 n 種類の割合のデータとし、それを要素とするベクトルを B_t で表わすと

$$B_{(t+1)} = A'B_t \quad (8)$$

となる。しかし、実際においては外部要因などによって等しくならない。したがって、

$$\sum_{t=1}^T (B_{t+1} - A'B_t)' (B_{t+1} - A'B_t) \quad (9)$$

$$\text{S.T } 0 \leq a_{ij} \leq 1 \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1$$

を最小とする A を最小二乗法で推定する問題に置換できる¹¹⁾。

$$\sum_{t=1}^T (B_{t+1} - A'B_t)' (B_{t+1} - A'B_t) = \sum_{t=1}^T (B'_{t+1}B_{t+1} - 2B_tAB_{t+1} + B'_tAA'B_t) \quad (10)$$

A に関して上記の結果と行と列をかけたものは 0 になる (行の行列の実数の転置はラグランジュ乗数から成り立つ) ので、

$$\frac{\partial}{\partial A} \left(\sum_{t=1}^T (B'_{t+1}B_{t+1} - 2B_tAB_{t+1} + B'_tAA'B_t) \right) = 0 \quad (11)$$

とおくと、

$$A = \left(\sum_{t=1}^T B'_tB_{t+1} \right) \left(\sum_{t=1}^T B'_tB_t \right)^{-1} \quad (12)$$

を得る。

(7) のデータから、

$$\sum_{t=1}^T B'_tB_{t+1} = \begin{bmatrix} 3.248740 & 2.880831 & 1.522183 \\ 2.937497 & 2.525491 & 1.334648 \\ 1.501231 & 1.355600 & 0.693778 \end{bmatrix}$$

$$\sum_{t=1}^T B'_tB_t = \begin{bmatrix} 3.390904 & 2.771939 & 1.488911 \\ 2.771939 & 2.692822 & 1.332876 \\ 1.488911 & 1.332876 & 0.728821 \end{bmatrix}$$

$$\left(\sum_{t=1}^T B'_tB_t \right)^{-1} = \begin{bmatrix} 2.942961 & -0.564990 & -4.978927 \\ -0.564990 & 4.026286 & -6.209095 \\ -4.978927 & -6.209095 & 22.898807 \end{bmatrix}$$

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0.426741 & 0.301863 & 0.271396 \\ 0.670413 & 0.123661 & 0.205925 \\ -0.038042 & 1.017159 & 0.020883 \end{bmatrix} \quad (13)$$

(13) の A_0 が不等式の制約 (9) を満たしているか検証しなければならない。 A' の行は合計 1 となる条件 (9) の一次不等式の制約を満たし、二次の目的関数 (9) が最小となっている値をとらなければならない。ところが A_0 の要素の中には、 $a_{ij} > 1$ や $a_{ij} < 0$ の要素が含まれる場合、 $a_{ij} > 1$ の要素を $a_{ij} = 1$ 、 $a_{ij} < 0$ の要素を $a_{ij} = 0$ とし、 $\sum_{j=1}^n a_{ij} = 1$ となるように、 A を再計算する。その際、 A_0 を求めた時の誤差の二乗和が変化しないように a_{ij} を求める。この要素の中にまだ、 $a_{ij} > 1$ や $a_{ij} < 0$ の要素があれば、この A を A_0 として、 $0 \leq a_{ij} \leq 1$ になるまで、この手順を繰り返す。本モデルにおいては、1 回の操作によって、推移確率行列 A が求められた。

$$A = \begin{bmatrix} 0.418469 & 0.305999 & 0.275532 \\ 0.660098 & 0.128819 & 0.211083 \\ 0.000000 & 0.998138 & 0.001862 \end{bmatrix} \quad (14)$$

推移確率行列の推定は新しいデータの発生によって計算することができ、毎回再計算する。毎日の献立の選択によって変化したこれまでの使用したデータによって示される。

(2) K市教育委員会学校給食献立表の推移確率行列

Aの推移確率行列を、推移図に表すと図1になる。

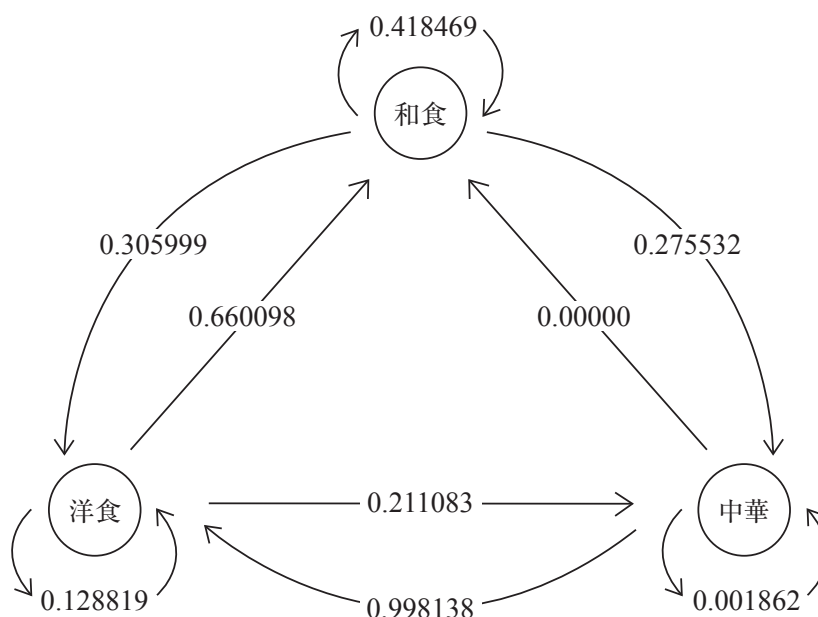


図1: K市教育委員会学校給食献立表の献立種類推移図

t 期から $t+1$ 期への献立の推移する中で、中華献立→洋食献立が0.998の確率で選択される。すなわち、中華献立の次の日は0.998の確率で洋食献立が選択される。また、中華献立の次の日は和食献立への選択確率は0.000から、選択されることが少ないことを示している。和食献立の次の日は、和食献立への推移確率は0.418、洋食献立への推移確率0.306、中華献立への推移確率は0.276であることから、和食献立の次の日は、洋食献立や中華献立の次の日の献立選択のバランスに比較して、おおむね各種の献立への推移が平均している。この推移確率行列を基にした献立選択と実際の学校給食の献立選択推移を比較することによって、その状況の相違を推測することは困難である。学校給食は、各県市町の食に関する指導の全体計画に基づいて作成されており¹²⁾、それぞれの市町村の実情等もふまえることが大切である。和食、洋食、中華の分類に関しても見直す必要がある。そのため今後は、学校給食献立表の作成方法、食材や、季節による食材の調達方法など調査しなければならないと考える。

4. 考察

(1) 推移確率行列の個人の献立への利用

この推移確率行列の推定方法には、H.Theil and Guido Rey⁹⁾、をシステムに組み込む。これにより、今日の料理の種類から明日の料理献立の種類を確率が大きい順に示すことができる。この確率を基に、料理献立データベースを検索する。さらに、検索された料理献立種類のレシピから栄養管理に必要なエネルギーおよび栄養素の推定平均必要量もしくは推奨量が含まれているかを検証する。また、各個人のこれまで1週間、1ヶ月に摂取した食事のエネルギーおよび栄養素分布による栄養管理上の栄養バランスの表示を行う。

これらのための試験的な料理献立データベース作成のデータとして、近年、献立作成の決め手として調理レシピがWeb上で簡単に入手できるようになっている。Web上の「クックパッド」(<http://cook-pad.com/>)やゲーム機(Nintendo、しゃべる! DSお料理ナビ)から当該システムに合致するデータベース作成したいと考えている。

本稿では、「献立」作りを利用者の毎日の献立パターンに沿って検索するシステムである。推移確率行列による献立を選択し、利用者の要求を満たした「献立」を毎日の食生活の献立パターンを自然な形で検索する。また、本システムから出力した献立一覧を栄養素の側面から検証することは有意義である。

(2) 提案するシステムの概要

求められた推移確率行列によって、次の日の献立選択の確率の高い順に提案された献立を基に、栄養バランスを考慮しながらレシピを検索し献立を作成する。提案するシステムの概要は、

- ① 推移確率行列の推定
- ② 献立種類の確率の高い順とその率によって表示する献立の表示割合を決定
- ③ レシピ検索
- ④ 検索されたレシピから、前日までの食事記録と照合する
- ⑤ 前日までの食事記録から食事のエネルギーおよび栄養素分布を算出し、推薦したいそれぞれの献立を表示
- ⑥ 選択された献立を食事記録に登録

ここでどのような評価の計算式を導入するか検討する。既存の献立推薦システムの研究をみると、荻米・藤井らが開発した充足率 i を用いる。それは食品群の充足率の(15)の計算式である¹³⁾。

初期検索によって得られたレシピとそれ以外のレシピを組み合わせ場合に生じる計算方法のことで、食品群に基づいた献立の候補に順位をつけるものである。また栄養バランスの規定量に対する超過分と不足分を同等に評価するために、 $|i \text{食品群の規定量} - i \text{栄養素過不足分}|$ と絶対値となっている。

すなわち、過不足分 $i = \text{規定量} - \text{摂取量}$ から、荻米・藤井ら¹³⁾が開発した充足率 i は

$$\text{充足率}i = \frac{|\text{規定量}i - \text{過不足分}i|}{\text{規定量}i} = \frac{|\text{摂取量}i|}{\text{規定量}i} \quad (15)$$

となる。摂取量 $i \geq 0$ であるので、本稿では、過不足分 $i = \text{規定量}i - \text{摂取量}$ とし、 $0 \leq$ 充足率 $i < \infty$ となり充足率 $i = 1$ 近傍が理想的な栄養バランスといえる。 $0 \leq$ 充足率 $i < 1$ は栄養素不足であり、 $1 \leq$ 充足率 $i < \infty$ は栄養素超過であると考ええる。

第六次改定日本人の栄養所要量までは充足率というキーワードを用いて評価基準を設けていた¹⁴⁾ が、平成17年度からは日本人の食事摂取基準2005年版¹⁵⁾ という習慣的な摂取量の把握が目的の評価基準が設けられ、不足による健康障害が生ずるリスク確率が推奨量では2.5%としている。また、推奨量と許容上限量との間の摂取量では、過剰摂取による健康障害が生ずるリスクは0(ゼロ)に近いことが示されている。

今後提案するシステムとして現在活用されている日本人の食事摂取基準2015年版¹⁶⁾、また食事バランスガイド¹⁷⁾ を用いた研究¹⁸⁾⁻¹⁹⁾ を加えながら検討していきたい。

また日本人の食事摂取基準2010年版では、実際の栄養素の特定の活用において、①エネルギー、②たんぱく質、③脂質、④ビタミンA、ビタミンB₁、ビタミンB₂、ビタミンC、カルシウム、鉄、⑤飽和脂肪酸、食物繊維、ナトリウム(食塩)、カリウム、⑥その他の栄養素をエネルギーに加えて十分な種類の栄養素を摂取することが指摘されている²⁰⁾ が、日本人の食事摂取基準2015年版では対象者や対象集団の健康状態や食事摂取状況などによって、活用においてどの栄養素を優先的に考慮するかが異なるため、これらの特性や状況を総合的に把握し、判断することになる¹⁶⁾ と記載されており、その点も十分考慮して検討しなければならない。

システム概要⑥の食事記録のシステムは、マルチメディア食事記録¹⁸⁾⁻¹⁹⁾ など目的に応じて数多くのシステムが提案されている。

6. まとめ

本稿では、 k 市学校給食献立表を基に献立を3種類の和食、洋食と中華に分類し、1ヶ月単位のこれらの割合の時系列データから献立の推移確率行列を推定した。この推移確率行列を基にデータベースから献立レシピを選択するシステムを提案した。前日の献立から推移確率行列の確率の高い順に表示し、選択した献立レシピが必要なエネルギーおよび栄養素を習慣的に健康的な食生活が継続できるかによって取捨選択されるシステムを想定している。

今後は、推定された推移確率行列が実際の献立選択に適合しているかの検証を行い、日常生活の献立パターンを取り入れた献立作成支援モデルの妥当性を検証する。

謝辞 研究にご協力いただきました川口市教育委員会学校教育部の皆様に感謝申し上げます。

なお本研究の一部は2015年度金城学院大学消費生活科学研究所よる研究助成である。

参考文献

- 1) 厚生労働省：21世紀における国民健康づくり運動（健康日本21）（第一次）（2000）
- 2) 厚生労働省：21世紀における国民健康づくり運動（健康日本21）（第二次）（2013）
- 3) 後藤知己，山本寛子，芳川もえみ，吉元愛乃：食育が大学生の食習慣に与える効果について，熊本大学教育学部紀要，63，pp287-291（2014）
- 4) 佐藤文子，洪川祥子：調理学習による意思決定能力の育成，日本家政学会誌，58，10，pp633-643（2007）
- 5) 高木弘：巻頭言，第45回日本人間ドック学会 会長挨拶，日本病院会雑誌 病院学，8（2004）
- 6) 川口市教育委員会：学校給食献立表 [<http://www.city.kawaguchi.lg.jp/kbn/72100158/72100158.html>]
- 7) 文部科学省：学校給食法（平成27年6月一部改正）（2015）
- 8) 文部科学省：学校給食実施基準（平成25年1月一部改正）（2013）
- 9) H. Theil and Guido Rey.A：Quadratic Programming Approach to the Estimation of Transition Probabilities, 12, 9, pp714-721（1966）
- 10) 伊藤真理：紙巻たばこ販売実績転移マトリックス推定，金城学院大学生生活環境学部 生活環境情報学科 中村ゼミ学生論集，7，pp1-6（2009）
- 11) 高橋哲朗，井手一郎：レシピ・献立検索，情報処理，52，11，pp1376-1381（2011）
- 12) 文部科学省：食に関する指導の手引き（第1次改訂版）（2010）
- 13) 苅米志帆乃，藤井敦：栄養素等摂取バランスの分析に基づく食生活支援システム，日本データベース学会論文誌，8，4，pp1-6（2010）
- 14) 厚生労働省：第六次改定日本人の栄養所要量（1999）
- 15) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準2005年版（2004）
- 16) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準2015年版（2014）
- 17) 厚生労働省，農林水産省：食事バランスガイド（2005）
- 18) 野坂咲耶，光岡佑菜，高井なつみ，今井具子，加藤友紀，大塚礼，安藤富士子，下方浩史：料理ベース写真つきiPhone・iPad対応食事診断アプリケーションの有用性，日本未病システム学会雑誌，21，1，pp7-20（2015）
- 19) 相澤清晴，小川誠：“マルチメディア食事記録と画像処理による食事内容分析”，情報処理，52，11，pp1382-1387，（2011）
- 20) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準2010年版（2009）
- 21) 平田なつひ，中村正治：食事療法のための日常生活の献立パターンを取り入れた献立作成支援システムの提案，教育システム情報学会全国大会，27，9，pp233-238（2013）