

Department of Social Systems and Management

Discussion Paper Series

No. 1242

食卓メニューの販売促進効果を考慮した  
商品陳列決定モデル

by

高野 祐一, 小川 直哉, 角田 淳史, 木村 康宏, 矢島 洋平

July 2009

UNIVERSITY OF TSUKUBA  
Tsukuba, Ibaraki 305-8573  
JAPAN

# 食卓メニューの販売促進効果を考慮した商品陳列決定モデル

高野 祐一\* 小川 直哉† 角田 淳史\* 木村 康宏\* 矢島 洋平‡

\* 筑波大学 システム情報工学研究科 〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

† (株) ジェイアール東日本企画 交通媒体本部 〒 150-8508 渋谷区恵比寿南 1-5-5

‡ 筑波大学 第三学群 社会工学類 〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

平成 21 年 7 月 17 日

**概要** 販売機会ロスを失くす商品陳列と顧客を引きつける販売促進計画の決定は、小売店が利益を伸ばすために非常に重要な問題である。通常、この問題は POS データを基に小売店の利潤最大化問題として定式化される。しかし、POS データからでは商品がどのような食卓メニューに使われたかが分からないなど、商品政策、販売政策にいくつかの問題点が指摘されている。一方で、本研究で対象とするデータには、194 世帯のモニターの 1 年間の朝、昼、夜の食卓メニューと使用材料が記録されている。よって、対象データを利用すれば、モニターが商品をどのような食卓メニューに使用したかを知ることができ、食卓メニューの提案に基づく商品陳列と販売促進計画を決定できる。本研究では、食卓メニューの販売促進効果を考慮し、顧客の売場満足度最大化問題として、小売店の商品陳列と販売促進食卓メニューを決定する最適化モデルを提案する。そして、双線形項の線形化、非線形関数の区分線形近似を利用して、問題を 0-1 混合整数線形計画問題に帰着し、最適化ソルバーを利用して求解する。計算の結果、商品陳列と販売促進食卓メニューには、季節性や平日と休日の違いが現れ、そこからいくつかの有益な知見が得ることができた。

キーワード：商品陳列、販売促進、0-1 混合整数計画、食卓データ、マーケティング、最適化

## 1 はじめに

本研究では、小売店の商品陳列と、食卓メニューの提案に基づく販売促進計画を決定する最適化モデルを提案する。

販売機会ロスを失くす商品陳列と顧客を引きつける販売促進計画の決定は、小売店が利益を伸ばすために非常に重要な問題である [7]。通常、小売業の商品陳列、販売促進計画の基本となるのは POS データである。POS データとは、商品の精算を行う際に、精算対象となった製品の売行き情報がコンピュータに蓄積されていくものであり、小売業者やサービス業者において品揃えの変更や価格設定などのさまざまな意思決定に利用されている [10]。しかし、この POS データ中心の商品政策、販売政策には「売れ筋中心の商品政策に陥る」、「販売機会ロスが見えない」、「過去の売上実績だけを頼りにするために、成功したかどうかの検証が行われず場当たり的な政策となりやすい」、「POS データからは顧客満足度を評価できない」といった問題点が指摘されている [9]。そして、POS データからは商品が売れたことは分かるが、その商品がどのような目的で使用されたかまでは分からない。

一方で、本研究で対象とするデータには、194 世帯のモニターの 1 年間の朝、昼、夜の食卓メニューと使用材料が記録されている。よって、対象データを利用すれば、どの材料が

どの食卓メニューに使用されたかまで知ることができ、食卓メニューの提案に基づく販売促進計画を作成することに利用できる。また、対象データを利用して商品陳列と食卓メニューの販売促進計画を最適化することによって、「商品陳列に対する顧客満足度が上がり、来客数アップにつながる」、「食卓メニューに困った主婦におすすめ食卓メニューを提案することで、客単価の向上を見込める」といった利点が考えられる。

本研究では、「食卓メニューの販売促進を行うことで、その食卓メニューに使用される材料(商品)の需要が増える」といった食卓メニューの販売促進効果を考える。そして、食卓メニューの販売促進効果を考慮した商品陳列決定モデルを最適化問題として定式化し、顧客の売場満足度を最大化するように陳列する材料と販売促進する食卓メニューを決定する。問題は 0-1 混合整数非線形計画問題となり、解くことは非常に難しい。そこで本研究では、双線形項の線形化、非線形関数の区分線形近似によって、0-1 混合整数線形計画問題に帰着し、最適化ソルバーを利用して求解する。

売場スペース配分を決定する最適化モデルの研究は、代表的なものとして文献 [3, 2, 1, 7] などがあり、最近では文献 [6, 5] などがある(詳しくは、文献 [8] の第 7 章や、文献 [6, 5] の参考文献を参照)。本研究で提案するモデルは、文

献 [6] のモデル化を参考にしているが、文献 [6] のモデルでは販売促進効果は考慮されていない。また、既存研究では POS データを基に小売店の利潤最大化問題として問題は定式化される。しかし、本研究では対象データを基にモニターの効用最大化問題として問題を定式化し、モニターの食卓を反映した商品陳列の実現を目指している点に新規性がある。

本論文の構成は次の通りである：第 2 節で、分析対象とする材料、食卓メニューについて説明する。また、クラスター分析によって日付ごとの食卓登場メニューの類似性を調べ、分析対象とする期間を決定する。第 3 節では、本研究で提案する最適化モデルの定式化を説明し、分析データを用いた計算結果を示す。第 4 節では結論と今後の課題について述べる。

## 2 分析対象データ

本節では、分析対象とする材料、食卓メニュー、期間について説明する。

### 2.1 対象データ概要

本研究では、「平成 20 年度データ解析コンペティション」において提供されたデータを利用する。対象データには、2006 年 1 月 1 日から 2006 年 12 月 31 日までの 1 年間の、194 世帯のモニターに関する、朝、昼、夜の食卓メニューと使用材料が記録されている。なお、食卓メニューは 976 種類、材料は 1,931 種類であり、本研究では夕食のデータのみを利用する。

### 2.2 材料、食卓メニューの選定

まず、材料については、賞味期限が長い加工食品などは購買してから食卓に登場するまでの間に長い時間が経っている可能性があり、本研究では分析対象外とした。提案モデルでは 3 種類の売場を想定し、さらに材料の使用回数も考慮して、以下を分析対象材料 (316 種) とする (ただし、[] は材料 ID の上 2 桁を表す)：

農産売場 (114 種) : [02] 生野菜類 (93 種), [42] 大豆製品類 (17 種), [43] 蒟蒻類 (4 種).

畜産売場 (57 種) : [13] 卵類 (5 種), [14] 生肉類 (38 種), [15] 加工肉類 (14 種).

水産売場 (145 種) : [16] 生魚類 (82 種), [17] 加工魚類 (34 種), [18] 練物類 (16 種), [19] 魚卵類 (13 種).

次に、食卓メニューについては、モデルの性質上、登場回数が多く、使用材料数が多い食卓メニューを考慮すれば十

表 1: 分析対象食卓メニュー (食卓登場回数上位の 32 種)

「回数」は夕食 1,000 食卓あたりの登場回数を示す。

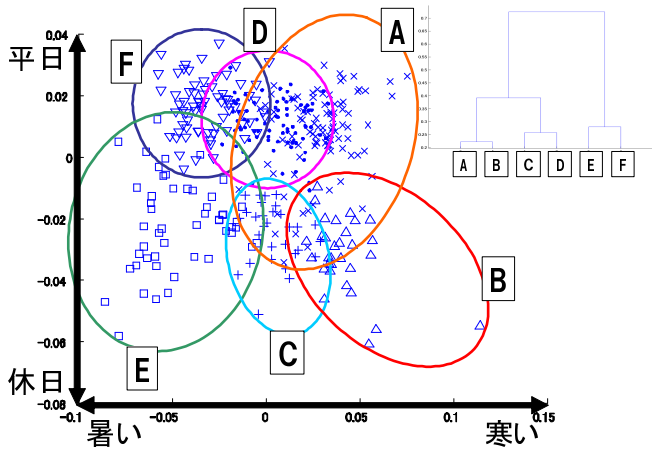
メニュー	回数	メニュー	回数
味噌汁	310	炊き込みご飯	18
ミックス野菜サラダ	140	おでん	17
納豆	107	ソース焼きそば	15
魚介の刺身・たたき	80	肉じゃが	15
冷奴	70	野菜の炊き合わせ	14
野菜炒め	53	チャーハン	14
ポテトサラダ	25	大根サラダ	14
和風鍋	23	マーボー豆腐	14
ポークカレーライス	23	コンソメ味の野菜スープ	13
ハンバーグ	22	マカロニサラダ	13
天ぷら	22	大根の煮物・含め煮	12
野菜の酢の物	21	豚汁	12
煮魚	20	きんぴらごぼう	12
豚肉のしょうが焼き	19	魚のバター焼き	12
焼き肉	18	トマトのサラダ	11
トンカツ	18	ひじきの煮物	10

分だと考え、次の選定基準を用いて分析対象食卓メニュー (164 種) を決定した：(i) 1,000 食卓あたりの登場回数 2 回以上、(ii) 平均材料使用数 1.5 以上、(iii) 「その他」「離乳食」メニューは除く。食卓登場回数上位の 32 種を表 1 に示す。

### 2.3 日付のクラスター分析

ここでは、日付ごとの食卓登場メニューの類似性から分析対象期間を決定することを目的として、日付のクラスター分析を行う。まず、日付と日付の非類似度を食卓メニュー登場回数のコサイン類似度を利用して定義する。なお、日付の非類似度は全食卓メニュー (976 種) のデータを用いて計算する。例えば、日付 1 における各食卓メニューの登場回数を並べたベクトルを  $x_1$  とし、日付 2 においては  $x_2$  とする。このとき、日付 1 と日付 2 の非類似度は  $1 - \frac{x_1^T x_2}{\|x_1\| \|x_2\|}$  を用いて定義される。登場する食卓メニューが完全に異なれば (例えば  $x_1 = (7, 0, 3, 0)^T$ ,  $x_2 = (0, 3, 0, 5)^T$  の場合、) 日付 1 と日付 2 の非類似度は 1 になる。また、食卓メニューの登場回数が (ベクトルの向きの意味で) 完全に一致すれば (例えば  $x_1 = (5, 0, 5, 0)^T$ ,  $x_2 = (4, 0, 4, 0)^T$  の場合、) 日付 1 と日付 2 の非類似度は 0 になる。

まず、多次元尺度構成法によって食卓登場メニューの類似度を反映して、2 次元平面上に日付を布置する。その結果、1/1, 1/2, 3/3, 12/24, 12/31 の 5 日は他の日と食卓メニューが大きく異なる外れ値であることを確認した。次に、外れ値となった 5 日を削除したデータを利用して分析を行う。クラスター分析によるデンドログラムと多次元尺度構成法による散布図を図 1 に示す。クラスター分析の結果から、散布図の軸の解釈を行うことができ、図 1 にあるように縦軸は「平日  $\leftrightarrow$  休日」を表し、横軸は「暑い  $\leftrightarrow$  寒い」、すなわち気温を表すと解釈できる。



A : 10月; 11, 12, 1月平日; 2月前半平日。  
 B : 11, 12, 1, 2月休日。 C : 3, 4, 5月休日。  
 D : 2月後半平日; 3, 4, 5月平日; 6月前半平日。  
 E : 6, 7, 8, 9月休日。 F : 6月後半平日; 7, 8, 9月平日

図 1: クラスタ分析によるデンドログラム (ワード法) と, 多次元尺度構成法による散布図 (360日)

以上の分析によって, 「1/1, 1/2, 3/3, 12/24, 12/31 の5日は他の日とは明らかに食卓メニューが異なる」, 「平日と休日とで食卓メニューが異なる」, 「気温によって食卓メニューが異なる」といった結果が確認できた。これらを考慮し, 本研究では外れ値の日付を含まない2月, 5月, 8月, 11月を上旬平日, 下旬平日, 休日に分割した12期間を分析対象期間とする。

### 3 提案モデルと計算結果

本節では, 本研究で提案する, 食卓メニューの販売促進 (販促) 効果を考慮した商品陳列決定モデルの定式化を示し, 分析データを用いた計算結果を示す。

#### 3.1 食卓メニュー販促モデル

まず  $\mathcal{J} := \{1, \dots, J\}$ ,  $\mathcal{T} := \{1, \dots, T\}$  をそれぞれ, 食卓メニュー, 期間の添え字集合とする。本研究では, 2.2 節から  $J := 164$  であり, 2.3 節から  $T := 12$  である。本研究では以下の食卓メニュー販促モデルを用いる:

$$a_{jt} = A_{jt} + \lambda_{jt} A_{jt} y_{jt} + \sum_{j' \in \mathcal{J} \setminus \{j\}} E_{jt}^{j'} y_{j't}. \quad (2)$$

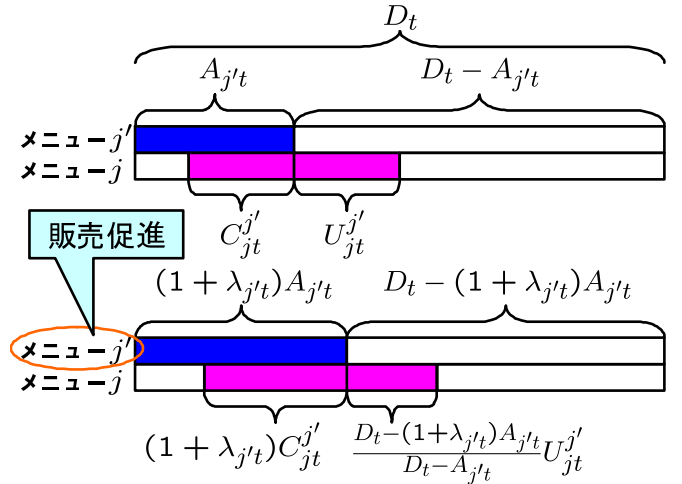


図 2: 食卓メニュー  $j'$  の販売促進による食卓登場回数の変化

- $a_{jt}$ : 期間  $t \in \mathcal{T}$  における食卓メニュー  $j \in \mathcal{J}$  の食卓登場回数 (販促効果を加味, 決定変数)
- $y_{jt}$ : 期間  $t \in \mathcal{T}$  における食卓メニュー  $j \in \mathcal{J}$  の販促 (0-1 決定変数)
- $\lambda_{jt}$ : 期間  $t \in \mathcal{T}$  における食卓メニュー  $j \in \mathcal{J}$  の販促効果を表すパラメータ (定数)
- $A_{jt}$ : 期間  $t \in \mathcal{T}$  における食卓メニュー  $j \in \mathcal{J}$  の食卓登場回数 (データから計算, 定数)
- $E_{jt}^{j'}$ : 期間  $t \in \mathcal{T}$  における食卓メニュー  $j' \in \mathcal{J}$  の食卓メニュー  $j \in \mathcal{J}$  に対する交差販促効果 (定数)

販促効果を加味した食卓メニュー登場回数  $a_{jt}$  は, 分析データから得られる食卓メニュー登場回数  $A_{jt}$  に, 販促効果が足し合わされて決定される。  $y_{jt}$  は, 期間  $t$  に食卓メニュー  $j$  を販促しない場合は 0, 販促する場合は 1 の値をとる決定変数である。式 (2) の右辺第 2 項は食卓メニュー  $j$  の販促による効果を示し, 販促によって  $\lambda_{jt} A_{jt}$  だけ食卓メニュー登場回数  $a_{jt}$  が増加する。式 (2) の右辺第 3 項は食卓メニュー  $j$  以外の食卓メニューが販促されることによって食卓メニュー  $j$  が受ける影響の総和を示す。交差販促効果  $E_{jt}^{j'}$  は以下で定義する:

$$E_{jt}^{j'} := \lambda_{j't} \left( C_{jt}^{j'} - \frac{A_{j't}}{D_t - A_{j't}} U_{jt}^{j'} \right). \quad (3)$$

- $C_{jt}^{j'}$ : 期間  $t \in \mathcal{T}$  において, 食卓メニュー  $j \in \mathcal{J}$  と食卓メニュー  $j' \in \mathcal{J}$  が共に食卓に登場する回数 (定数)
- $U_{jt}^{j'} := A_{jt} - C_{jt}^{j'}$ ; すなわち, 期間  $t \in \mathcal{T}$  において, 食卓メニュー  $j \in \mathcal{J}$  が食卓に登場し, かつ食卓メニュー  $j' \in \mathcal{J}$  が食卓に登場しない回数 (定数)
- $D_t$ : 期間  $t \in \mathcal{T}$  における総食卓回数 (定数)

図 2 で交差販促効果  $E_{jt}^{j'}$  の定義を説明する。上述のように, 食卓メニュー  $j'$  を販促することで, 食卓メニュー  $j'$  の

$$\begin{array}{l}
\text{maximize} \\
\mathbf{a, y, z} \\
\text{subject to}
\end{array}
\left| \begin{array}{l}
\frac{1}{T} \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{m \in \mathcal{M}} W_m \mathcal{U} \left[ \frac{1}{D_t} \sum_{i \in \mathcal{I}} \left( \sum_{j \in \mathcal{J}} a_{jt} P_{jm} Q_{ijt} + R_{imt} \right) z_{it} \right] \\
a_{jt} = A_{jt} + \lambda_{jt} A_{jt} y_{jt} + \sum_{j' \in \mathcal{J} \setminus \{j\}} E_{jt}^{j'} y_{j't} \quad (\forall j \in \mathcal{J}, \forall t \in \mathcal{T}) \\
\sum_{j \in \mathcal{J}} y_{jt} = N_t \quad (\forall t \in \mathcal{T}), \quad y_{jt} \in \{0, 1\} \quad (\forall j \in \mathcal{J}, \forall t \in \mathcal{T}) \\
\sum_{i \in \mathcal{I}_k} z_{it} = F_{kt} \quad (\forall k \in \mathcal{K}, \forall t \in \mathcal{T}), \quad z_{it} \in \{0, 1\} \quad (\forall i \in \mathcal{I}, \forall t \in \mathcal{T})
\end{array} \right. \quad (1)$$

登場回数は  $\lambda_{j't} A_{j't}$  だけ増加する。そのとき、食卓メニュー  $j'$  と同じ食卓に登場する食卓メニュー  $j$  の回数  $C_{jt}^{j'}$  は、同様に  $\lambda_{j't} C_{jt}^{j'}$  だけ増加することとする。これは、「食卓メニュー  $j'$  が登場する食卓に食卓メニュー  $j$  が登場する確率は、食卓メニュー  $j'$  を販促した後も維持される」といった仮定に基づく。また、食卓メニュー  $j'$  が登場しない食卓に登場する食卓メニュー  $j$  の回数  $U_{jt}^{j'}$  は、食卓メニュー  $j'$  が登場しない食卓数が減少するのと同じ割合で減少することとする。すなわち、

$$\frac{D_t - (1 + \lambda_{j't}) A_{j't} U_{jt}^{j'}}{D_t - A_{j't}} = U_{jt}^{j'} - \frac{\lambda_{j't} A_{j't}}{D_t - A_{j't}} U_{jt}^{j'}, \quad (4)$$

より、 $\frac{\lambda_{j't} A_{j't}}{D_t - A_{j't}} U_{jt}^{j'}$  だけ減少する。この減少効果は、「販促される食卓メニューと同じ食卓に登場しない食卓メニューについては、無関係な代替案からの独立性（例えば文献 [8] など）が成り立ち、食卓登場回数の比は一定である」といった仮定に基づく。これらの効果を合わせて交差販促効果  $E_{jt}^{j'}$  は定義されている。

### 3.2 定式化

食卓メニューの販売促進効果を考慮した商品陳列決定モデル（定式化 (1)）について説明する。まず、 $\mathcal{I} := \{1, \dots, I\}$ ,  $\mathcal{M} := \{1, \dots, M\}$ ,  $\mathcal{K} := \{1, \dots, K\}$  をそれぞれ、材料、モニター、売場の添え字集合とする。分析データでは  $M := 194$  であり、2.2 節から  $I := 316$ ,  $K := 3$  である。また、 $\mathcal{I}_k$  を売場  $k$  が扱う材料の添え字集合とし、 $\mathcal{I} = \cup_{k \in \mathcal{K}} \mathcal{I}_k$  とする。2.2 節から  $\mathcal{I}_1, \mathcal{I}_2, \mathcal{I}_3$  はそれぞれ、農産売場が扱う材料（114 種）、畜産売場が扱う材料（57 種）、水産売場が扱う材料（145 種）に対応する。その他の記法を以下で示す：

$z_{it}$  : 期間  $t \in \mathcal{T}$  における材料  $i \in \mathcal{I}$  の陳列（0-1 決定変数）

$W_m$  : モニター  $m \in \mathcal{M}$  の重要度（定数）

$P_{jm}$  : 食卓メニュー  $j \in \mathcal{J}$  の食卓登場回数のうち、モニター  $m \in \mathcal{M}$  の食卓が占める割合（定数）

$Q_{ijt}$  : 期間  $t \in \mathcal{T}$  において、材料  $i \in \mathcal{I}$  が食卓メニュー  $j \in \mathcal{J}$  に使用される確率（定数）

$R_{imt}$  : 期間  $t \in \mathcal{T}$  において、モニター  $m \in \mathcal{M}$  が材料  $i \in \mathcal{I}$  を分析対象 164 種以外の食卓メニューに使用した回数（定数）

$N_t$  : 期間  $t \in \mathcal{T}$  における販促食卓メニュー数（定数）

$F_{kt}$  : 期間  $t \in \mathcal{T}$  における売場  $k \in \mathcal{K}$  の陳列材料数（定数）

$z_{it}$  は、期間  $t$  に材料  $i$  を売場に陳列しない場合は 0、陳列する場合は 1 の値をとる決定変数である。定式化 (1) の制約式第 1 行は式 (2) の食卓メニュー販促モデル、制約式第 2 行は販促される食卓メニュー数の制約、制約式第 3 行は各売場に陳列する材料数の制約となっている。また、定式化 (1) の目的関数では、 $\sum_{j \in \mathcal{J}} a_{jt} P_{jm} Q_{ijt}$  によって、食卓メニュー登場回数  $a_{jt}$  から、モニター  $m$  が材料  $i$  を使用する回数を計算している。 $\mathcal{U}$  はモニターの売場満足度を表す効用関数とし、売場に陳列されている材料がモニター  $m$  の食卓で使用される回数を入力とした、単調増加な凹関数である。よって、売場に陳列されている材料がモニターの食卓に多く登場するほど、目的関数値は増加する。

定式化 (1) は問題を期間  $t \in \mathcal{T}$  ごとに分割可能であり、本研究では計算の効率化のために、期間ごとに問題を分割して計算している。また、定式化 (1) は目的関数に決定変数の双線形項  $a_{jt} z_{it}$  が存在し、効用関数  $\mathcal{U}$  も非線形関数である。よって、定式化 (1) は非線形な 0-1 混合整数計画問題であり、解くことは非常に難しい。そこで文献 [6] を参考に、「双線形項の線形化」と「非線形関数の区分線形近似」を利用して、線形な 0-1 混合整数計画問題に帰着する。

**双線形項の線形化** まず、双線形項  $a_{jt} z_{it}$  を決定変数  $g_{ijt}$  で置き換える。 $a_{jt}$  の下限、上限を表す定数をそれぞれ、例えば  $A^L := 0$ ,  $A^U := \max\{D_t \mid t \in \mathcal{T}\}$  のように設定し、制

表 2: 最適な材料陳列の結果 (各月の陳列回数と合計陳列回数)

農産, 畜産, 水産それぞれ合計陳列回数 1 回, 1 回, 2 回以下の材料については省略した。

農産					畜産					水産							
材料名	合計	2月	5月	8月	11月	材料名	合計	2月	5月	8月	11月	材料名	合計	2月	5月	8月	11月
キャベツ	12	3	3	3	3	鶏卵	12	3	3	3	3	鮭・サーモン	12	3	3	3	3
長ねぎ	12	3	3	3	3	その他の牛薄切り肉	12	3	3	3	3	まぐろ赤身	12	3	3	3	3
レタス	12	3	3	3	3	しゃぶしゃぶ用	12	3	3	3	3	イカ	12	3	3	3	3
じゃがいも	12	3	3	3	3	豚薄切り肉	12	3	3	3	3	かに棒・かに	12	3	3	3	3
しょうが	12	3	3	3	3	その他の豚薄切り肉	12	3	3	3	3	フレークかまぼこ	12	3	3	3	3
大根	12	3	3	3	3	豚切り身	12	3	3	3	3	生ちくわ・チーズちくわ	11	3	2	3	3
たまねぎ	12	3	3	3	3	鶏もも肉	12	3	3	3	3	まぐろのとり	9	3	2	2	2
にんじん	12	3	3	3	3	鶏むね肉	12	3	3	3	3	ホタテ貝	9	3	1	3	2
きゅうり	12	3	3	3	3	豚挽き肉	12	3	3	3	3	しらす干	9	2	2	2	3
トマト	12	3	3	3	3	ロースハム	12	3	3	3	3	焼ちくわ	9	3	1	2	3
絹ごし豆腐	12	3	3	3	3	ウインナーソーセージ	12	3	3	3	3	エビ	8	1	2	2	3
もやし	11	3	2	3	3	合い挽き肉	11	2	3	3	3	かまぼこ・	8	1	2	3	2
にんにく	10	2	2	3	3	ベーコン	11	3	3	2	3	チーズかまぼこ	7	1	3	2	1
油揚げ	10	3	2	2	3	焼き肉用牛肉	10	2	2	3	3	あさり	6	1	2	1	2
納豆	10	3	3	2	2	鶏挽き肉	9	2	3	1	3	かつお	6	1	2	3	0
ピーマン	9	1	3	3	2	高級鶏卵	8	1	1	3	3	たら	6	3	0	0	3
ほうれん草	7	2	2	0	3	牛ステーキ用	7	2	1	1	3	タコ	6	1	3	1	1
白菜	6	3	0	0	3	豚ブロック	7	2	0	2	3	さつま揚げ	6	3	0	1	2
ブロッコリー	5	2	0	0	3	すき焼き用牛薄切り肉	6	2	0	1	3	さば	5	1	2	1	1
木綿豆腐	5	2	1	0	2	豚角切り肉	6	1	2	1	2	カキ	5	2	0	0	3
しそ、大葉	4	0	2	2	0	ささみ	6	0	2	2	2	ちりめんじゃこ	5	0	2	2	1
きぬさやえんどう	4	0	3	1	0	その他の豚肉類	5	2	3	0	0	その他の練り製品の	5	2	0	1	2
なす	4	0	1	3	0	牛挽き肉	5	2	3	0	0	揚げ物	4	0	0	1	3
みょうが	4	1	0	3	0	その他ソーセージ	4	1	3	0	0	さんま	4	0	0	1	3
万能ネギ	3	1	1	1	0	魚肉ソーセージ	3	1	0	2	0	冷凍のその他の	4	1	3	0	0
京菜	2	1	0	0	1	ハム・ハンバーグ	2	0	1	1	0	魚介類	4	0	0	1	3
こまつ菜	2	0	1	1	0	豚の内臓類	2	1	0	1	0	はんぺん	4	2	0	0	2
ミニ・プチトマト	2	0	0	0	2	味つけ豚肉	2	1	1	0	0	魚すり身加工品	4	2	0	1	1
						その他の肉	2	1	1	0	0	鯛	3	1	1	0	1
						生ハム	2	1	0	1	0	魚のあら、かま	3	0	3	0	0
						その他ハム	2	1	0	1	0	その他魚介の酢じめ	3	1	2	0	0
						ポークソーセージ	2	0	2	0	0	明太子	3	0	0	1	2

約式

$$A^L z_{it} \leq g_{ijt} \leq A^U z_{it} \quad (\forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{J}, \forall t \in \mathcal{T}),$$

$$a_{jt} + A^U z_{it} - A^U \leq g_{ijt} \leq A^L z_{it} + a_{jt} - A^L$$

$$(\forall i \in \mathcal{I}, \forall j \in \mathcal{J}, \forall t \in \mathcal{T}),$$

を追加することで, 問題としては等価なままで双線形項を消去できる.

非線形関数の区分線形近似  $\mathcal{H} := \{1, \dots, H\}$  は非線形関数の区分点の添え字集合とし, 区分点  $h \in \mathcal{H}$  に対して, 定数  $X_h$  と区分点間の内分比を表す決定変数  $u_{hmt}$  を導入する. 効用関数  $U(x)$  を  $\sum_{h \in \mathcal{H}} u_{hmt} U(X_h)$  で置き換え, 制約式

$$x = \sum_{h \in \mathcal{H}} u_{hmt} X_h \quad (\forall m \in \mathcal{M}, \forall t \in \mathcal{T}),$$

$$\sum_{h \in \mathcal{H}} u_{hmt} = 1 \quad (\forall m \in \mathcal{M}, \forall t \in \mathcal{T}),$$

$$u_{hmt} \geq 0 \quad (\forall h \in \mathcal{H}, \forall m \in \mathcal{M}, \forall t \in \mathcal{T}),$$

を追加し, 目的関数を最大化することで, 非線形な効用関数を区分線形近似することができる (図 3). 本研究では, 効用関数として指数型効用関数を利用し, 4 つに区分して ( $H := 5$  として) 線形近似を行っている.

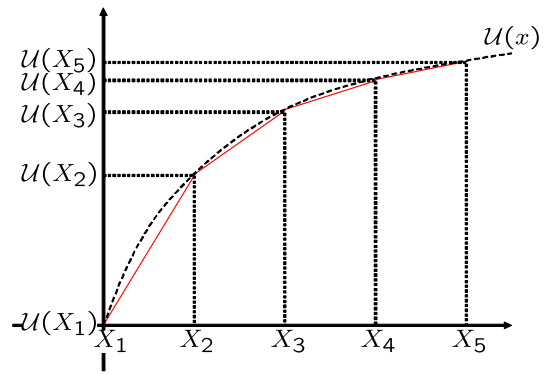


図 3: 非線形関数の区分線形近似

### 3.3 計算結果

パラメータ設定 モニター  $m \in \mathcal{M}$  の重要度  $W_m$  は家族数を用いて定義する. ただし, 摂取カロリーの目安を参考に, 1歳未満: 0人, 1歳から小学校入学まで: 0.4人, 小学生: 0.8人, 60歳以上: 0.6人として計算した. また, 陳列材料は各売場で常に 20 種類, すなわち  $F_{kt} := 20 \quad (\forall k \in \mathcal{K}, \forall t \in \mathcal{T})$  とした. 販促により食卓メニューの登場回数は 3 割増加す

表 3: 最適な販売促進食卓メニューの結果

期間ごとに、上から 5, 10, 15 個目までの食卓メニューは、それぞれ販促食卓メニュー数を 5 種類, 10 種類, 15 種類とした場合に選択される食卓メニューを示す。

2月			5月		
上旬平日	下旬平日	休日	上旬平日	下旬平日	休日
味噌汁 和風鍋 野菜炒め ミックス野菜サラダ 納豆	味噌汁 豚汁 野菜炒め ミックス野菜サラダ 納豆	味噌汁 和風鍋 魚介の刺身・たたき ミックス野菜サラダ 納豆	味噌汁 コンソメ味の野菜スープ 冷奴 ミックス野菜サラダ 納豆	味噌汁 魚介の刺身・たたき 冷奴 ミックス野菜サラダ 納豆	味噌汁 冷奴 野菜炒め ミックス野菜サラダ 納豆
豚汁 ハンバーグ 魚介の刺身・たたき 湯豆腐 ポテトサラダ	チキンのクリームシチュー 和風鍋 豚肉のしょうが焼き ハンバーグ 魚介の刺身・たたき	豚汁 焼き肉 マーボー豆腐 野菜炒め ポテトサラダ	豚汁 豚肉のしょうが焼き ポークソテー チキンソテー 野菜の酢の物	豚汁 ポークカレーライス コンソメ味の野菜スープ 野菜炒め 肉じゃが ポテトサラダ	ハンバーグ 魚介の刺身・たたき 野菜の酢の物 肉じゃが ポテトサラダ
コンソメ味の野菜スープ おでん マーボー豆腐 冷奴 野菜の炊き合わせ	ポークカレーライス ソース焼きそば コンソメ味の野菜スープ 肉じゃが ポテトサラダ	ポークカレーライス おでん キムチ鍋・チゲ すき焼き ビーフステーキ	かき玉汁 鶏肉の照り焼き 揚げ・がんもどきの煮物 きんぴらごぼう 大根サラダ	チャーハン 冷やし中華 ハンバーグ 具入りオムレツ 野菜の酢の物	ポークカレーライス チャーハン コンソメ味の野菜スープ 魚のバター焼き 具入りオムレツ
8月			11月		
上旬平日	下旬平日	休日	上旬平日	下旬平日	休日
味噌汁 魚介の刺身・たたき 冷奴 ミックス野菜サラダ 納豆	ポークカレーライス 味噌汁 冷奴 ミックス野菜サラダ 納豆	味噌汁 魚介の刺身・たたき 冷奴 ミックス野菜サラダ 納豆	豚汁 チキンのクリームシチュー 和風鍋 肉じゃが ミックス野菜サラダ	味噌汁 豚汁 和風鍋 野菜炒め ミックス野菜サラダ	味噌汁 和風鍋 魚介の刺身・たたき ミックス野菜サラダ 納豆
ポークカレーライス 豚肉のしょうが焼き 野菜炒め 肉じゃが ポテトサラダ	チキンカレーライス 豚肉のしょうが焼き ハンバーグ 野菜炒め ポテトサラダ	手巻き寿司 ポークカレーライス チキンカレーライス 焼き肉 野菜炒め	ポークカレーライス オムライス ソース焼きそば コンソメ味の野菜スープ トマト味のスープ	豚汁 豚肉のしょうが焼き マーボー豆腐 魚介の刺身・たたき 肉じゃが ポテトサラダ	豚汁 キムチ鍋・チゲ 焼き肉 冷奴 野菜炒め
チャーハン ソース焼きそば コンソメ味の野菜スープ ハンバーグ マカロニサラダ	オムライス トマト味のスープ 野菜の酢の物 肉じゃが トマトのサラダ	挽肉のカレーライス チャーハン 豚肉と野菜の中華風炒め ハンバーグ ポテトサラダ	チャーハン おでん キムチ鍋・チゲ ホイコーロー ロールキャベツ	コンソメ味の野菜スープ チキンのクリームシチュー おでん ハンバーグ 大根サラダ	ポークカレーライス 煮込みうどん ソース焼きそば 豚肉のしょうが焼き ポテトサラダ

る、すなわち  $\lambda_{jt} := 0.3 (\forall j \in \mathcal{J}, \forall t \in \mathcal{T})$  とする。

最適な材料陳列 (表 2) 表 2 に、最適化問題を解いて得られた材料陳列についての結果を示す。なお、販促される食卓メニューは 15 種類、すなわち  $N_t := 15 (\forall t \in \mathcal{T})$  としている。分析期間すべてで陳列材料として選択されれば合計陳列回数は 12 になる。農産売場では、キャベツ、大根、トマトなど 11 種類の材料が全期間で選択される。一方で、「白菜、ブロッコリー、木綿豆腐は秋から冬にかけて陳列する」、「なす、みょうがは夏に陳列する」といった、季節による最適陳列の変化も確認できた。畜産売場では、鶏卵、豚挽き肉、ロースハムなど 10 種類の材料が全期間で選択される。一方で、「すき焼き用牛薄切り肉は秋から冬にかけて陳列する」、「生ハムは夏に陳列する」といった季節による最適陳列の変化も確認できた。また、水産売場では、かつお (夏)、さんま (秋)、たら (冬)、あさり (春)、カキ (冬)、ホタテ貝 (夏)、塩鮭 (秋) は、( ) で示した旬の季節の月には、すべての期間で選択されている。これは、「魚の旬に合わせて陳列材料が選択されている」という意味で、モデルの妥当性を示すものと言える。また、鯛は選択された 3 回すべてが休日期間であり、休日に鯛の陳列を欠かすべきではないとい

う知見も得られた。3 つの売場を比較すると、水産売場は期間ごとの最適材料陳列の変化が最も大きく、最も季節感が表れる売場であると言える。

最適な販売促進食卓メニュー (表 3) 表 3 に、最適化問題を解いて得られた販促食卓メニューについての結果<sup>1</sup>を示す。まず全期間通しての傾向として、販促食卓メニューを 5 種類とした場合には食卓登場回数上位の味噌汁、ミックス野菜サラダ、納豆などが販促食卓メニューとして選択される。2月には、和風鍋、豚汁、湯豆腐、おでん、キムチ鍋・チゲといった食卓メニューに季節感が感じられる。また、焼き肉、すき焼き、ビーフステーキといった肉料理は 2 月の休日の特徴的な販促食卓メニューと言える。5月には、上旬平日には豚汁が販促され、その一方で下旬平日には冷やし中華が販促されていて、季節の変わり目が感じられる。また、魚のバター焼きは 5 月の休日の特徴的な販促食卓メニューと言える。8月には、上旬平日にはポークカレーライスが販促され、下旬平日にはチキンカレーライスも販促に加わり、休日には挽肉のカレーライスも販促に加わるというように、カレーライス類

<sup>1</sup> 今回の結果では、販促食卓メニューを 5 種類とした場合に選択される食卓メニューが、販促食卓メニューを 10 種類とした場合には選択されないといったことは起こらなかった。



が非常に特徴的である。また、マカロニサラダ、トマトのサラダといったサラダ類も8月の特徴的な販促食卓メニューと言える。11月は、和風鍋、おでん、キムチ鍋・チゲ、煮込みうどんといった鍋ものに季節感が感じられる。また、全期間を通じての考察として、シチューが販促されるのは平日のみであり、一方でカレーライスが販促されるのは休日が多い。文献 [9] では「食卓メニューの出現サイクルを他の食卓メニューの周期と組み合わせることで、定番売場として安定し、かつ中身に変化を持たせた売場が可能になる。カレーとシチューは同じ売場におかれている。週をサイクルに競合代替関係があるなら、平日はシチューを強化した売場を作り、週末・休日はカレーを強化した売場を作ると効果が大きい。」と述べられており、本研究の結果は文献 [9] の主張を数理モデルの立場から後押しするものと言える。

食卓メニューの販促による材料陳列の変化 食卓メニューの販促による材料陳列の変化を調べるために、販促食卓メニューを15種類としたモデルと、食卓メニューの販促を考慮しないモデル、すなわち  $N_t := 0 (\forall t \in T)$  としたモデルの結果を比較した。そして、「おでんの販促に伴い、使用確率23%の魚すり身加工品が陳列に加わる(2月上旬平日)」、「ポークカレーライスの販促に伴い、使用確率22%の豚角切り肉(カレー・シチュー用)が陳列に加わる(5月休日)」、「野菜炒めの販促に伴い、使用確率38%のもやしが陳列に加わる(2月上旬平日)」、「魚のバター焼きの販促に伴い、使用確率10%のきんめ鯛が陳列に加わる(5月休日)」、「冷奴の販促に伴い、使用確率28%のみょうがが陳列に加わる(8月休日)」といった結果が確認でき、食卓メニューの販促を考慮することで材料陳列に変化があることが確認できた。

## 4 おわりに

本研究では、食卓メニューの販売促進効果を考慮した商品陳列決定モデルを提案し、定式化した。そして、線形化と区分線形近似によって0-1混合整数線形計画問題に帰着し、最適化ソルバーを利用して求解した。計算の結果、商品陳列と販促食卓メニューには、季節性や平日と休日の違いが現れ、いくつかの有益な知見が得られた。通常、売場スペース配分モデルはPOSデータを基に小売店の利潤最大化問題として定式化される。しかし本研究では、対象データを基にモニターの効用最大化問題として定式化し、モニターの食卓を反映した商品陳列を実現している点に新規性がある。定式化(1)の拡張として、前期の需要の当期の需要への残存効果(のれん効果とも呼ぶ。詳しくは文献 [4]、文献 [8] の第7章を参照)を組み込むといったことが考えられるが、期間をまたぐ変数や制約式を加えると、問題を期間ごとに分割して解くことができず、計算に要する時間は著しく増大する。

今後の課題としては、モニターごとの効用関数をアンケートから推定するなどしてモデルと現実の差異を埋めることや、より妥当な理論的裏付けを持った食卓メニュー販促モデルを提案し、実証研究によってその有効性を検証することが考えられる。

謝辞 研究内容に関して有意義なアドバイスをいただいた山本芳嗣先生(筑波大学)に深く感謝を申し上げます。また、データをご提供いただき、研究発表の際には多くの貴重なコメントをいただいたデータ解析コンペティション関係者の皆様方に心からの謝意を表します。最後になりましたが、問題を解くために Xpress-MP を使わせていただいた Fair Isaac 社に御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Borin, N., P. Farris and J. Freeland: "A Model for Determining Retail Product Category Assortment and Shelf Space Allocation," *Decision Science*, Vo.25, No.3, pp.359-384 (1994).
- [2] Bultez, A. and P. Naert: "SH.A.R.P.: Shelf Allocation for Retailers' Profit," *Marketing Science*, Vo.7, No.3, pp.211-231 (1988).
- [3] Corstjens, M. and P. Doyle: "A Model for Optimizing Retail Space Allocations," *Management Science*, Vo.27, No.7, pp.822-833 (1981).
- [4] Corstjens, M. and P. Doyle: "A Dynamic Model for Strategically Allocating Retail Space," *Journal of the Operational Research Society*, Vo.34, No.10, pp.943-951 (1983).
- [5] Gajjar, H.K. and G.K. Adil: "A Piecewise Linearization for Retail Shelf Space Allocation Problem and a Local Search Heuristic," to appear in *Annals of Operations Research*.
- [6] Irion, J., F. Al-Khayyal and J.-C. Lu: "A Piecewise Linearization Framework for Retail Shelf Space Management Models," Technical Report, Georgia Institute of Technology (2004).
- [7] Yang, M.-H. and W.-C. Chen: "A Study on Shelf Space Allocation and Management," *International Journal of Production Economics*, Vo.60-61, No.1, pp.309-317 (1999).
- [8] 岡太彬訓, 木島正明, 守口剛 編集: 「マーケティングの数理モデル」, 朝倉書店 (2001).



[9] 齋藤隆: 「365日の食卓マーケティング」, NTT データライフスケープマーケティング (2003).

[10] 古川一郎・森口剛・阿部誠: 「マーケティング・サイエンス入門」, 有斐閣 (2003).