

# 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

## 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」を同時に決定する最適化モデルを提案する。

販売機会ロスを見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（例えば文献[10]など）。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[5]。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する。ただし、ここでの販売促進はその対象となる食卓メニューの満足度が高くなるように決定するのではなく、商品陳列満足度を向上させるように決定する。すなわち、販売促進が顧客の食卓メニューの変更を促し商品陳列満足度の向上に寄与することを考慮し、顧客の商品陳列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同時に決定する。なお、ここでの商品陳列満足度は陳列材料がモニターの食卓で使用される回数を用いて定義され、対象モニターの食卓の傾向にそった商品陳列を行えば高い評価を得られる指標である。解くべき最適化問題は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 Xpress-MP 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、

たかの ゆういち  
筑波大学 システム情報工学研究科 (独)日本学術振興会 特別研究員 DC)  
〒305-8573 つくば市天王台 1-1-1  
おがわ なおや  
(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  
つのだ あつし, きむら やすひろ  
筑波大学 システム情報工学研究科  
やじま ようへい  
筑波大学 第三学群社会工学類  
〒305-8573 つくば市天王台 1-1-1  
受付 09.7.22 採択 09.11.17

代表的なものとして文献[1][2][3][10]などがあり、最近では文献[6][7]などがある（詳しくは文献[8]の7章や文献[6][7]の参考文献を参照）。本研究で提案するモデルは、文献[7]のモデル化を参考にしているが、文献[7]のモデルでは販売促進効果は考慮されていない。また、既存研究では問題は典型的に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。一方で、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。まず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。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。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入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)。

表1 分析対象食卓メニュー (食卓登場回数上位の32種)

メニュー	TI値	メニュー	TI値
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

ここで「TI値」は夕食1,000食卓あたりの登場回数を示す。

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。

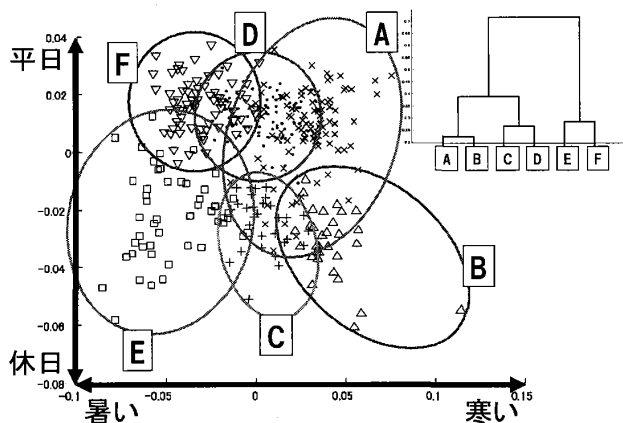
### 2.3 日付のクラスター分析

ここでは、クラスター分析を利用して日付ごとの食卓登場メニューの類似性を調べ、分析対象期間を決定する。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 $1 - \frac{x_1 x_2^T}{\|x_1\| \|x_2\|}$ を用いて定義される。登場

する食卓メニューがまったく重ならなければ(例えば $x_1=(7, 0, 3, 0)$ 、 $x_2=(0, 3, 0, 5)$ 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 $x_1=(5, 0, 5, 0)$ 、 $x_2=(4, 0, 4, 0)$ 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日付の非類似度を反映して2次元平面上に日付を布置した。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特異日であることが確認できた。次に、特異日の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



A: 10月; 11, 12, 1月平日; 2月前平日。  
 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(ウォード法)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(360日)

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「休日↔平日」を表し、横軸は「暑い↔寒い」、すなわち気温を表すと解釈できる。

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特異日である」、「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。なお、特異日に関しては、(i)特異日だけで1期間とすると食卓のデータ数が非常に少なくなってしまうこと、(ii)特異日の食卓メニューはかなり特殊であり、それらの多くは2.2節で設定した分析対象食卓メニューには含まれていないこと、(iii)特異日を期間から削除したとしても、特異日の前後の日は特異日の影響が残っている可能性があることなどを考慮し、本研究では特異日を含まない期間を考えている。

### 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  $J := \{1, \dots, J\}$  を食卓メニューの添え字集合とする。本研究では2.2節から  $J := 164$  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：

$$a_j = A_j + \theta \frac{A_j}{D} (D - A_j) y_j + \sum_{j' \in J(i)} E_j^{j'} y_{j'} \\ = A_j + \lambda_j A_j y_j + \sum_{j' \in J(i)} E_j^{j'} y_{j'}. \quad (1)$$

$a_j$  : 対象期間における食卓メニュー  $j \in J$  の食卓登場回数(販促効果を加味, 決定変数)

$y_j$  : 対象期間における食卓メニュー  $j \in J$  の販促の有無(0-1決定変数)

$\theta$  : 販促刺激度を表すパラメータ(定数)

$\lambda_j := \theta \frac{D - A_j}{D}$ ; すなわち、食卓メニュー  $j \in J$  の販促による登場回数増加率を表すパラメータ(定数)

$A_j$  : 対象期間における食卓メニュー  $j \in J$  の食卓登場回数(データから計算, 定数)

$D$  : 対象期間における総食卓回数(定数)

$E_j^{j'}$  : 対象期間における食卓メニュー  $j' \in J$  の食卓メニュー  $j \in J$  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  $a_j$  は、分析データから得られる食卓メニュー登場回数  $A_j$  に、販促の効果が足し合わされて決定される。 $y_j$  は、対象期間に食卓メニュー  $j$  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(1)の第1行について、右辺第2項は食卓メニュー  $j$  の販促による効果を表し、食卓メニュー  $j$  の登場しない食卓が販促によって刺激を受けて食卓メニュー  $j$  の食卓登場回数が増加する。対象期間に食卓に登場する割合が高い食卓メニューほど販促によって与える刺激も大きいと考え、本研究では食卓メニュー  $j$  が登場しない食卓回数  $D - A_j$  に対して、 $\theta \frac{A_j}{D}$  の割合だけ食卓メニュー  $j$  の食卓登場回数が増加することとする。また、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  $E_j^{j'}$  は以下で定義する：

$$E_j^{j'} := \lambda_{j'} \left( C_j^{j'} - \frac{A_{j'}}{D - A_{j'}} U_j^{j'} \right). \quad (2)$$

$C_j^{j'}$  : 対象期間において、食卓メニュー  $j \in J$  と食卓メニュー  $j' \in J$  が共に食卓に登場する回数(定数)

$U_j^{j'} := A_j - C_j^{j'}$ ; すなわち、対象期間において、食卓メニュー  $j \in J$  が食卓に登場し、かつ食卓メニュー  $j' \in J$  が食卓に登場しない回数(定数)

図2で交差販促効果  $E_j^{j'}$  の定義を説明する。式(1)の第2行の右辺第2項により、食卓メニュー  $j'$  を販促

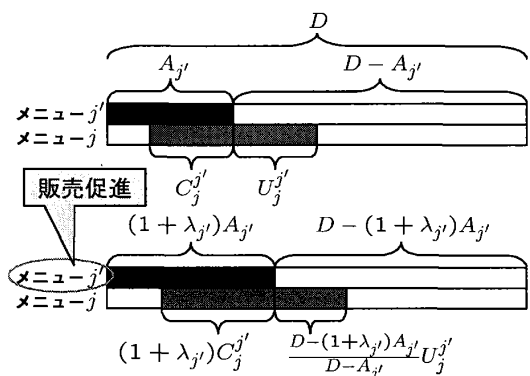


図2 食卓メニュー  $j'$  の販売促進による食卓登場回数の変化

することで、食卓メニュー  $j'$  の登場回数は  $\lambda_j A_j$  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  $C_j^j$  は、同様に  $\lambda_j C_j^j$  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  $U_j^j$  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、

$$\frac{D - (1 + \lambda_j)A_j}{D - A_j} U_j^j = U_j^j - \frac{\lambda_j A_j}{D - A_j} U_j^j, \quad (3)$$

より、 $\frac{\lambda_j A_j}{D - A_j} U_j^j$  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  $E_j^j$  は定義されている。

### 3.2 定式化

まず、 $I := \{1, \dots, I\}$ ,  $M := \{1, \dots, M\}$ ,  $\mathcal{K} := \{1, \dots, K\}$  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、 $L_k$  を売場  $k$  が扱う材料の添え字集合とし、 $I = \bigcup_{k \in \mathcal{K}} L_k$  とする。2.2 節から  $L_1, L_2, L_3$  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：

$z_i$  : 対象期間における材料  $i \in I$  の陳列の有無（0-1 決定変数）

$W_m$  : モニター  $m \in M$  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  $m \in M$  の食卓が占める割合（定数）

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

$R_{im}$  : 対象期間において、モニター  $m \in M$  が材料  $i \in I$  を分析食卓メニュー 164 種以外に使用した回数（定数）

$N$  : 対象期間における販促食卓メニュー数（定数）

$F_k$  : 対象期間における売場  $k \in \mathcal{K}$  の陳列材料数（定数）

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は以下のように定式化できる：

$$\begin{cases} \text{maximize} & \sum_{m \in M} W_m \mathcal{U} \left[ \frac{1}{D} \sum_{i \in I} \left( \sum_{j \in \mathcal{J}} a_j P_{jm} Q_{ij} + R_{im} \right) z_i \right] \\ \text{subject to} & a_j = A_j + \lambda_j A_j y_j + \sum_{j' \in \mathcal{J} \setminus \{j\}} E_j^{j'} y_{j'} \quad (\forall j \in \mathcal{J}) \\ & \sum_{j \in \mathcal{J}} y_j = N, y_j \in \{0, 1\} \quad (\forall j \in \mathcal{J}) \\ & \sum_{i \in L_k} z_i = F_k \quad (\forall k \in \mathcal{K}), z_i \in \{0, 1\} \quad (\forall i \in I). \end{cases} \quad (4)$$

$z_i$  は、対象期間に材料  $i$  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(4)の制約式第 1 行は式(1)の食卓メニュー販促モデル、制約式第 2 行は販促す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(4)の目的関数では、 $\sum_{j \in \mathcal{J}} a_j P_{jm} Q_{ij}$  によって、食卓メニュー登場回数  $a_j$  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。 $\mathcal{U}$  はモニターの商品陳列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（1 食卓あたりの）回数を入力として決定される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(4)は目的関数に決定変数の双線形項  $a_j z_i$  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(4)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[7]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、線形の 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  $a_j z_i$  を決定変数  $g_{ij}$  で置き換える。そして、 $a_j$  の下限、上限を表す定数をそれぞれ、例えば  $A^L=0, A^U=D$  のように設定し、制約式

$$A^L z_i \leq g_{ij} \leq A^U z_i \quad (\forall i \in I, \forall j \in \mathcal{J}),$$

$$a_j + A^U z_i - A^U \leq g_{ij} \leq A^L z_i + a_j - A^L \quad (\forall i \in I, \forall j \in \mathcal{J}),$$

を追加する。上記の制約式の  $z_i$  に 0 または 1 を代入

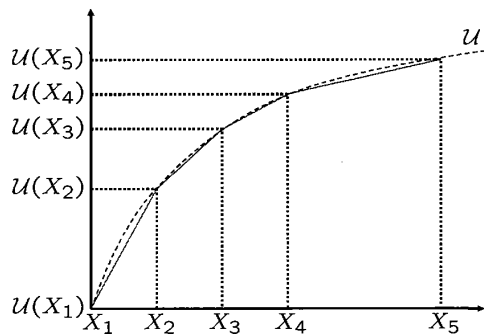


図3 非線形関数の区分線形近似

すれば、 $g_{ij}$  が  $a_{jz_i}$  と等しくなることは容易に確認でき、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**  $H := \{1, \dots, H\}$  は非線形関数の区分点の添え字集合とし、区分点  $h \in H$  に対して、定数  $X_h$  と区分点間の内分比を表す決定変数  $u_{hm}$  を導入する。効用関数  $U(x_m)$  を  $\sum_{h \in H} u_{hm} U(X_h)$  で置き換え、制約式

$$x_m = \sum_{h \in H} u_{hm} X_h (\forall m \in \mathcal{M}), \sum_{h \in H} u_{hm} = 1 (\forall m \in \mathcal{M}),$$

$$u_{hm} \geq 0 (\forall h \in H, \forall m \in \mathcal{M}),$$

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。また、区分点に関しては  $X_1=0$  とし、 $X_5$  を十分大きく設定し、残りの3点は効用関数の変化率の大きい前半部分で細かく設定した。

### 3.3 計算結果

ここでは、2.3節で決定した分析期間それぞれについて最適化問題を解き、その計算結果を示す。

**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、販促刺激度は0.3、すなわち  $\theta := 0.3$  とした。例えば、対象期間の食卓登場割合が5%の食卓メニュー  $j$  については、 $\lambda_j = \theta \frac{D - A_j}{D} = 0.3 \times 0.95 = 0.285$  となり、販促により食卓メニューの登場回数は28.5%増加する。

**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  $N=15$  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。

まず、陳列材料を各売場で20種類、すなわち  $F_k = 20 (\forall k \in \mathcal{K})$  とした場合の結果について考察する。農産売場では、キャベツ、大根、トマトなど10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12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、ホタテ貝(夏)、かつお(夏)、たら(冬)、あさり(春)、さんま(秋)、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いえる。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る。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いえる。

陳列材料を各売場で40種類とすると、陳列材料を20種類とした場合と比べて多くの材料は合計陳列回数が大きく増加している。一方で、例えば水産売場のかつお、たら、カキ、サンマなどはあまり陳列回数が増加せず、陳列すべき期間とそうでない期間とが明確に分かれる材料であるといえる。

**最適な販売促進食卓メニュー(表3)** 表3に、陳列材料を各売場で20種類として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表1で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ている。2月は、和風鍋、豚汁、湯豆腐、おでん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いえる。5月は、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

<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。



表3 最適な販売促進食卓メニューの結果（陳列材料は各売場で20種類）

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

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。

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  $N: = 0$  としたモデルの結果を比較した。ただし、陳列材料は各売場で20種類としている。そして、「ソース焼きそばの販促に伴い、使用確率16%のピーマンが陳列に加わる（2月下旬平日）」、「ポークソテーの販促に伴い、使用確率33%のにんにくが陳列に加わる（5月上旬平日）」、「冷奴の販促に伴い、使用確率18%のしそ、大葉が陳列に加わる（8月下旬平日）」、「手巻き寿司の販促に伴い、使用確率44%のみょうがが陳列に加わる（8月休日）」、「魚介の刺身・たたきの販促に伴い、使用確率12%のまぐろのところが陳列に加わる（11月下旬平日）」、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。

計算時間（表4）表4に、1期間の最適化問題を解くのに要した平均計算時間を示す。なお、最適化問題の求解には最適化ソルバー Xpress-MP release 2008 を利用し、計算環境はCPUがIntel Core 2 Duo (2.40 GHz)、メモリが3GB、OSはWindows XPである。陳列材料を各売場で20種類、販促食卓メニューを15

表4 最適化問題の計算時間

各売場の陳列材料数	販促食卓メニュー数	平均計算時間(秒)
20	0	11.4
20	5	772.6
20	10	878.9
20	15	1132.6
40	15	283.8

種類とした場合は、最適化問題の求解に平均して20分程度の時間を要した。また、陳列材料を40種類に増やす、または販促食卓メニュー数を減らすと計算時間は減少する傾向があった。

#### 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。

小売店からすれば利益を伸ばすために、陳列商品を数多く使用する食卓メニューを販促すべきであり、販促食卓メニューは陳列商品を考慮して決める必要がある。一方で、販促によって商品の売れ行きが変化するために販促食卓メニューが陳列商品の変更を促す可能性もあり、本論文の計算結果でもそのような例が確認されている。よって、このような相互効果を考えると、陳列商品と販促食卓メニューを同時に決定する提案モデルには明らかなメリットがある。

定式化(4)の拡張として、問題を多期間モデルとして定式化し、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]や文献[8]の7章を参照）を組み込む、また、陳列を変更することによる商品調達、商品撤廃のコストなどを考慮するといったことが考えられる。しかし、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、材料の共通性や食卓メニューの季節性などを考慮して交差販促効果  $E_{ij}$  を設定すること、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、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などが考えられる。

**謝辞** 2名の匿名の査読者からのコメントにより論文が著しく改善されました。心より感謝申し上げます。また、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., Farris, P. W. and Freeland, J. R.: "A Model for Determining Retail Product Category Assortment and Shelf Space Allocation," *Decision Sciences*, Vol. 25, No. 3, pp. 359-384 (1994).
- [2] Bultez, A. and Naert, P.: "S.H.A.R.P. : Shelf Allocation for Retailers' Profit," *Marketing Science*, Vol. 7, No. 3, pp. 211-231 (1988).
- [3] Corstjens, M. and Doyle, P.: "A Model for Optimizing Retail Space Allocations," *Management Science*, Vol. 27, No. 7, pp. 822-833 (1981).
- [4] Corstjens, M. and Doyle, P.: "A Dynamic Model for Strategically Allocating Retail Space," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 34, No. 10, pp. 943-951 (1983).
- [5] 古川一郎・守口剛・阿部誠:「マーケティング・サイエンス入門」, 有斐閣 (2003).
- [6] Gajjar, H. K. and Adil, G. K.: "A Piecewise Linearization for Retail Shelf Space Allocation Problem and a Local Search Heuristic," to appear in *Annals of Operations Research*.
- [7] Irion, J., Al-Khayyal, F. and Lu, J.-C.: "A Piecewise Linearization Framework for Retail Shelf Space Management Models," Technical Report, Georgia Institute of Technology (2004).
- [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] Yang, M.-H. and Chen, W.-C.: "A Study on Shelf Space Allocation and Management," *International Journal of Production Economics*, Vol. 60-61, No. 1, pp. 309-317 (1999).