

陳列商品の最適抽出問題

2006MI018 萩原崇弘 2006MI021 長谷川遼太

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

近年のホームセンターは5万点近くの商品を取り扱っている。しかし、多くの商品を取り扱うということで、問題が起きている。それは、多くの商品の中から、どのように商品を選択し配置するかを決定することが最近では困難になってきていることである。現在、商品の種類が多すぎるために、客にほとんど購入されない商品が陳列され、無駄な陳列スペースが発生し、ホームセンターの面積当りの売上が低くなってしまうことが起きている。そのため、商品の配置と商品の削減を最適化手法を用いて自動的に行う必要がある。単純に売上の低い商品から削減してしまうと、ホームセンター特有の商品やついで買いを引き起こす商品がなくなってしまう可能性がある。現在、研究対象のホームセンターでは、そのような問題に対して経験則で、削減する商品と店内配置を決めている。

そこで、本研究では効率的な商品管理のためにオペレーションズ・リサーチの手法を取り入れ、そこに商品間の関連性も考慮することを目的とする。このような研究は今までもされていた。参考文献 [1] では商品の関連性を利用して、ホームセンターの商品配置の最適化を行っている。このとき、複数の商品の同時に購入された回数に関連性としている。本研究では [1] を参考にして、商品間の関連性としてより優れた指標が存在しないか考えていく。

各商品には、部門、パターン、商品という属性が与えられている。この属性は、部門、パターン、商品の順で大きな括りである。部門は日用品部門やカー用品部門などがあり、似たような場面で多く使用される商品が集まっている。基本的に、同じパターンの商品同士なら固まって陳列される。同様に同じ部門のパターン同士であるなら、それらのパターンは固まって設置される。図1が属性の一例である。また、1つの部門が持つパターン数、1つのパターンが持つ商品数は一定でない。

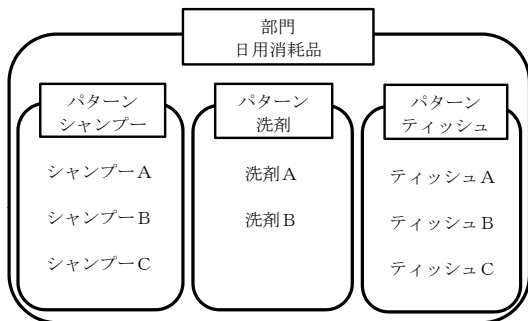


図1 属性の例

本研究では、ある1つの部門内のパターンを削減することで商品の削減を行うことにする。これは、部門を越えて商品単位で削減してしまうと、商品の入れ替えや配

置に多大な労力と時間がかかってしまうからである。また、パターンは、1つのパターンで1つの棚を構成していることが多い。よって、パターン単位で削減するという事は、1つの棚を取り除くだけで済むことになる。具体的には、各部門ごとに削減する量を設定し、部門ごとに最適化を行い、パターンの削減を行う。しかし、削減するパターンの中には、パターン全体の価値は低くても1つの商品としての価値が高い商品が含まれる可能性がある。また、ホームセンターにとって重要な商品を削減する恐れもある。そこで、最適化の中で、削減する商品の中から価値の高い商品を別のパターンに属させることで、より売上の減少を抑えることを可能にする。そして、商品の価値の算出には、売上と他の商品に対する影響力を考慮する。

商品配置の最適化では、スロットとエンドというものを利用する。スロットとは棚の集合であり、同スロット内の棚同士ならば、それらの棚は密集して配置してあることを示す。エンドとはスロットの端にある棚のことであり、ほとんどのスロットに存在している。図2はエンドとスロットの例である。図2のように、エンドは客がよく通

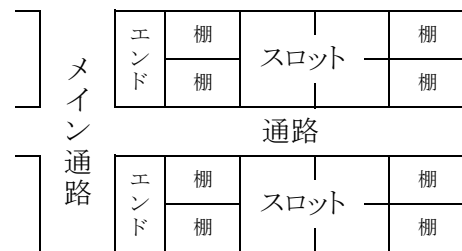


図2 エンドとスロットの例

るメイン通路に面しているために、目に付きやすい。そのためエンドに配置された商品が売れやすくなる。さらに、エンドの商品は、客を惹きつけ、そのスロットの中へと呼び込む効果がある。よって、エンドに置く商品を同スロットの商品との関連性が高いものとする事で、多くのついで買いを発生させることができる。そのエンドに置く商品を最適化によって決定することで、ホームセンターの売上の最大化を図る。また、商品の配置でもパターン単位で考えることにする。商品単位で配置してしまったのでは、客が商品を探すことが困難になってしまうためである。関連性の算出においても、商品間でなくパターン間の関連性を考慮することにする。

2 データ

データとして、あるホームセンターの2008年3月から2009年2月までの1年間のレシートデータを使用した。表1にレシートデータの例を挙げる。レシート番号は、1回の購入に対するレシートの通し番号である。

表 1 レシートデータの例

レシート番号	部門	パターン名	商品名	規格	数量	販売価
100	1	ティッシュペーパー	ティッシュA	200W	1	250
100	2	洗髪剤	シャンプーA	400ml	2	380
101	2	洗髪剤	シャンプーB	300ml	1	340
102	2	洗髪剤	シャンプーB	250ml	1	280

よって、複数の商品が同一のレシート番号を持っているのであれば、それらは同時に購入されたということを示している。数量は、商品が一度に購入された数である。全ての商品には規格が定められており、商品名が同一でも、規格が異なる場合は、別々の商品として扱われる。しかし、規格まで考慮すると商品管理に多大な労力を必要とするので、本研究では規格は無視することにした。価格は商品 1 個の単価を表している。

3 商品間の関連性

3.1 関連性の算出

レシートデータの分析には、アソシエーション分析という手法を利用する [2]。アソシエーション分析とは、POS システムに多く利用される分析であり、売上データから商品間の関連性を見出す手法である。表 2 がアソシエーション分析の例である。

表 2 アソシエーション分析の例

前提	結論	信頼度 (%)	サポート (%)	ルール数	前提数	結論数	キー数
A	B	50	5	50	100	200	1000
B	A	25	5	50	200	100	1000

表 2 では、ある商品またはパターンが前提となり、それに対する別の商品またはパターンを結論とする。そのとき、前提と結論の関係が数値化される。アソシエーション分析は、あらゆる前提と結論の組み合わせに関して関連性を調べることができる。表にある信頼度は、前提が買われたときに結論が買われる割合である。サポートは客が前提と結論を同時に購入する割合を表している。つまり、サポートが高いほど前提と結論の組み合わせが発生しやすく、関連性の数値が正確であることが分かる。前提数と結論数は、前提と結論それぞれの販売数を示している。ルール数はそのルールが発生した回数を示している。キー数は、全レシートの枚数を示している。本研究では分析の精度を高めるため、商品の分析ではサポートが 0.01 % 以上、パターンの分析ではサポートが 0.1 % 以上のルールのみ使用する。

3.2 期待購入数

本研究では商品間またはパターン間の関連性の算出において、アソシエーション分析の信頼度を利用する。まず商品 A があったとする。その商品 A を前提として、他の商品を結論とした場合の全ての信頼度の和を求める。この値は、商品 A が 1 個購入されたとき、同時に購入される他の商品の個数を示している。そして、この信頼度の和と A の販売数の積をとることで、A によって発生する他の商品の購入される数が分かる。この値を A の付加価値として最適化に利用していく。これ以降は、この指標を関連度と呼ぶ。

4 商品数の削減の最適化

4.1 パターンの削減

この最適化は、パターンを削減するという前提の中で、最大の利益を得ることを目的としている。そのために削減するパターンを 1 つ選び、削減しないパターンの中からも 1 つのパターンを選択する。それらのパターン同士で商品を交換することで、売上や関連が高い商品を削減することが無くなる。そして、商品数の削減において最低限の損失に抑えることができる。この式は、商品の販売数と、その商品を前提として他の商品を結論にした場合の全ての関連度の合計値との和を、前提となった商品の価値としている。また、この最適化において 2 つのパターンを組み合わせることで、全く関係のないパターン同士が組み合わせる可能性がある。そのようなことが起こってしまうと、商品管理が複雑になってしまう。そこで、組み合わせるパターン同士にはある程度関連性がなければならないという制約を設ける。今回の最適化では組み合わせるパターン間には信頼度が 10 % 以上必要とする。

4.2 定式化

定式化に用いる記号は以下のとおりである。

I : 商品を表す添字集合 ($i \in I$)

J : パターンを表す添字集合 ($j, k \in J$)

L : 組み合わせるパターンの信頼度の下限

P_{ij} : 各商品の販売数と関連度の合計の和

D_{ij} : 縮小化前の商品の棚割配置 (1: 有, 0: 無)

C_{jk} : 信頼度 (j, k)

N_j : パターン j が持つ商品数

決定変数は以下のとおりである。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1: \text{残すパターン } j \text{ の商品 } i \text{ を削減する} \\ \text{対象とする} \\ 0: \text{残すパターン } j \text{ の商品 } i \text{ を残す} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1: \text{削減するパターン } j \text{ の商品 } i \text{ を残す} \\ \text{対象とする} \\ 0: \text{削減するパターン } j \text{ の商品 } i \text{ を残さ} \\ \text{ない} \end{cases}$$

$$v_j = \begin{cases} 1: \text{残すパターン } j \text{ が交換して削減する} \\ \text{商品を持つ} \\ 0: \text{パターン } j \text{ を交換する対象としない} \end{cases}$$

$$w_j = \begin{cases} 1: \text{パターン } j \text{ を削減する対象とする} \\ 0: \text{パターン } j \text{ を削減する対象としない} \end{cases}$$

$$u_{jk} = \begin{cases} 1: \text{パターン } j \text{ と } k \text{ で商品を組み合わせる} \\ 0: \text{パターン } j \text{ と } k \text{ では商品を組み合わせない} \end{cases}$$

目的関数

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} P_{ij}(1 - x_{ij}) - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} P_{ij}w_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} P_{ij}y_{ij} \quad (1)$$

制約条件

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1000v_j \quad (j \in J) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} v_j \leq 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} \leq 1000w_j \quad (j \in J) \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} w_j = 1 \quad (5)$$

$$v_j + w_j \leq 1 \quad (j \in J) \quad (6)$$

$$x_{ij} \leq D_{ij} \quad (i \in I, j \in J) \quad (7)$$

$$\frac{1}{2} \sum_{j \in J} N_j(v_j + w_j) \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} + \sum_{j \in J} N_j w_j - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} y_{ij} \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in J} C_{jk} u_{jk} \geq L \quad (9)$$

$$v_j = \sum_{k \in J} u_{jk} \quad (j \in J) \quad (10)$$

$$w_k = \sum_{j \in J} u_{jk} \quad (k \in J) \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J) \quad (12)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J) \quad (13)$$

$$v_j \in \{0, 1\} \quad (j \in J) \quad (14)$$

$$w_j \in \{0, 1\} \quad (j \in J) \quad (15)$$

$$u_{jk} \in \{0, 1\} \quad (j, k \in J) \quad (16)$$

目的関数の説明

削減しない商品の販売数と関連度の和を最大化する

制約条件の説明

(2),(3):残すパターンから削減される商品を持つパターンを1つまで選ぶ

(4),(5):削減するパターンを1つだけ選ぶ

(6):同一パターン内での交換を制限する

(7):商品が存在しない x_{ij} は選ばない

(8):商品の交換によってできるパターンを持つ商品数は、元の二つのパターンの持つ商品数の平均である

(9):交換するパターン間の信頼度は L 以上

(10),(11):交換するパターン間の信頼度を比較に使う

4.3 実行結果と考察

本研究では検証のために、健康・美容用品部門の商品の削減を最適化した。この部門は26のパターンを持っており、2532の商品を持っている。実行結果(表3)として、季節化粧品と化粧品を組み合わせるという解を得た。

この2つのパターン間の信頼度は10.267%であった。削減前は総販売数と全商品の関連度の和は211340であり、削減後には210535となった。この削減による目的関数の値の減少は805のみである。このような結果となった原因は、この2つのパターン間の関係が強く、販売数が極端に少なく他の商品との関連がない商品が他のパターンより多く存在するからだと考えられる。

表3 健康・美容用品部門の商品数削減の最適化結果

組み合わせるパターン		
カネボウ商品	子供用安全用品	ベルト
カミソリ	子供用オムツ	ボディソープ
* 季節化粧品	資生堂商品	旅行グッズ
救急用品	シャンプー&リンス	老人車
携帯用トイレ	男性用美容用品	介護用品
化粧小物	歯ブラシ	傘
* 化粧品	バンスト	生理用品
毛染め剤	ヘアトリートメント	大人おむつ
入浴剤	*は組み合わせるパターン	

組み合わせるパターン	削減する商品数	販売数	価値の総計
削減前		170976	211340
削減後	56	170171	210535
化粧品	57	805	805

5 商品配置の最適化

5.1 最適化方法

商品配置の最適化では、1つの部門内でパターン単位での最適化を行う。そして、エンドに置かれたパターンは、購入されやすいということと、ついで買いを引き起こしやすいということを利用する。まず、1つの部門からいくつかのエンドを選択する。そして、それらのエンドに置くパターン自身の販売数と、エンドを前提として、エンドと同じスロットに属しているパターンを結論としたことによる付加価値である信頼度×結論数の和の最大化を目指す。また、1つのスロットに属することができるパターンの数はおおよそ決まっている。つまり、最適化によって1つの部門がいくつかのグループに分かれ、その各グループ内から1つのエンドが決定されることになる。

5.2 定式化

定式化に用いる記号は以下のとおりである。

I, J : パターンを表す添字集合 ($i \in I, j \in J$)

C_{ij} : 信頼度 ($i \rightarrow j$)

S_i : パターン i の販売数

E : エンドを作る数

U : 1つのスロットに属する棚数の上限

L : 1つのスロットに属する棚数の下限

決定変数は以下のとおりである。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1: \text{エンドとなったパターン } i \text{ とパターン } j \text{ が} \\ \quad \text{同じスロットに属する} \\ 0: \text{その他} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1: \text{パターン } i \text{ がエンドとなる} \\ 0: \text{パターン } i \text{ がエンドとならない} \end{cases}$$

目的関数

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} S_i x_{ij} + \sum_{i \in I} S_i y_i \quad (17)$$

制約条件

$$\sum_{i \in I} y_i = E \quad (18)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad i \in I, j \in J \quad (19)$$

$$x_{ii} = y_i \quad i \in I \quad (20)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad j \in J \quad (21)$$

$$L \leq \sum_{j \in J} x_{ij} \leq U \quad i \in I \quad (22)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i \in I, j \in J \quad (23)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad i \in I \quad (24)$$

目的関数の説明

最適なエンドの選択と、エンドと同じスロットに属するパターンの選択

制約条件の説明

- (18):決められた数のエンドを選択する
- (19):エンドに選択したパターンごとにスロットを作る
- (20):エンドに選択したパターンは他のスロットに属しない
- (21):全てのパターンをスロットに属させる
- (22):スロットに属するパターンの数を制限する

5.3 実行結果と考察

本研究では検証のために、データ中の日用品部門について商品配置の最適化を行った。この部門は15のパターンを持っている。そして、その中から3つのエンドを決し、それらに5つずつパターンが付属するようにした。

表4 日用品部門についての商品配置の最適化の結果

エンド	エンドと同じスロットに属するパターン	関連度	関連度の総計に占める割合	販売数	信頼度
トイレットペーパー	トイレットペーパー	0	0.0%	35320	0.000
	ポケットティッシュ	759.1	2.1%	7453	0.102
	ギフト用洗剤	0	0.0%	326	0.000
	ティッシュペーパー	7264.9	20.5%	30660	0.237
	墓参り道具	180.9	0.5%	1653	0.109
洗濯洗剤	洗濯洗剤	0	0.0%	107411	0.000
	キッチンタオル	3133.0	8.8%	10698	0.293
	殺虫剤	2336.0	6.6%	12993	0.180
	窓用洗剤	12471.0	35.1%	56887	0.219
	食器洗剤	7232.9	20.4%	27316	0.265
芳香剤	芳香剤	0	0.0%	32570	0.000
	ワックス	230.0	0.6%	2127	0.108
	除湿剤	676.9	1.9%	6110	0.111
	線香	487.1	1.4%	3990	0.122
	防虫剤	714.0	2.0%	6405	0.111

表5 商品配置の最適化の数値結果

E	3
U	5
L	5
総計	210786.8
関連度の総計	35485.8
販売数の総計	175301

表4, 5が最適結果である。表5は最適化を行う際の定数の値と最適結果の値である。関連度の総計は各エンド

とそれに付属するパターンとの関連度の総計である。販売数の総計は全てのエンドに置くパターンの販売数の総計である。総計は関連度の総計と販売数の総計の和が、最大化された値である。表4はエンドのパターンがトイレットペーパー、洗濯洗剤、芳香剤になったことを示している。また、例えばトイレットペーパーのスロットには、ポケットティッシュとギフト用洗剤とティッシュペーパーと墓参り道具が属するという結果になっている。関連度という列には、エンドと付属するパターンとの信頼度×前提数の値になっている。関連度の総計に占める割合は各関連度が全ての関連度の総計に占める割合を示している。つまり、これが高いほど対象の2つのパターンの組み合わせが重要であるということを示している。この結果で、スロット1でトイレットペーパーをエンドとしたのは、トイレットペーパー自身が多く売れ、関連度も高いためだと言える。そのため、このスロットでは他のパターンとの同時購入が多く望めると言える。スロット3の芳香剤に関しては、関連度は高くないものの、芳香剤自身の販売数も高い。しかし、この組み合わせの中で、あまり好ましくない組み合わせも存在する。例えば、墓参り道具と線香が別々に分かれている点である。この2つは似たようなパターンなので、近い場所に置くことが一般的であり、現実的である。こうなった理由は、エンドとならないパターン同士の関連性を考慮してないことと、関連性が高くても必ずしも用途が似ている商品であるとは限らないからだと考える。そこで、この2つの割合を見てみると、およそ0~1%になっている。0%近くのパターン同士を入れ替えても関連度はあまり下がらないので、それらを裁量により入れ替えることで、より現実的なスロットを作成できると考える。

6 おわりに

本研究では、ホームセンターの商品管理にオペレーションズ・リサーチの手法を取り入れ、そこに商品間の関連性も考慮することを課題とした。本研究で利用した指標は、信頼度×前提数であった。しかし、私たちはこの指標よりも優れた指標があるのではないかと考えている。具体的には、複数の商品が購入されたレシートデータを分析することで、どの商品が客にとって目的、または目的のついでとして購入されたのかが分かる指標である。その指標を利用することで、1つ1つの商品の「目的」と「ついで」に関する傾向が分かり、より効果的な商品配置などが可能になる。アソシエーション分析などからこのような指標を作ることで、本研究はより効率的な結果を出すことができるだろう。

7 参考文献

- [1] 秦由佳里, 宮地裕子: 買い上げ点数増加のための最適店舗レイアウト, 南山大学数理情報学部数理科学科卒業論文, 2008.
- [2] 加藤直樹, 羽室行信, 矢田勝俊: データマイニングとその応用, 朝倉書店, 東京, 2008.