

ホームセンターにおける芝生の発注・配送問題について

M2011MM039 小木曾匠

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

1.1 背景と研究目的

本研究ではホームセンターにで扱われる芝生の発注と配送の問題について考える。一般的に、顧客への商品の販売に至るまでには、在庫確認・発注・納品・品出しという一連の流れがある。その流れの中で基点となるのが発注である [3]。発注によって納品数量が多ければそれだけ品出しに時間がかかり、陳列し切れなければバックヤードに下げる動作が発生して労働費や在庫管理費がかかる。陳列量が多ければ新商品の入れ替えに時間を割くことになり、時には廃棄を出すことになる。一方、陳列量が少なければ廃棄数や在庫数を削減できるものの、顧客が商品を必要としている時に店頭にないという場合が見込まれ、その他の商品の売り上げや集客率の低下が引き起こされることが考えられる。したがって発注は単に商品の売り上げだけでなく、人件費や管理費などの費用の面からも企業経営に大きな影響を与える [3]。そのため、多くの企業では利益を確保するために精度の高い商品発注が必要とされる。現在までに発注に関する数多くの研究が行われており、その多くは在庫管理によるシミュレーションモデルを用いたものである [3]。実際に高効率な流通システムが開発されており、それを導入している企業も多く流通スピードの高速化が進んでいる [2]。しかしながら未だに商品発注は熟練者の勘に頼っているところも多い。小売店では様々な商品を扱っており、商品ごとに発注方式や販売方式、売れ方が異なる。発注を自動化できる商品もあれば、特売商品や季節品といった販売期間や売れ方が不規則である商品については自動化することは容易ではない。

研究対象のホームセンターでも同様に、芝生の発注においては経験者の勘に頼って手作業で行われている。現在では店舗での在庫数の確認をせずに発注をかけている。発注は店舗からの報告が来た時点で実行されており、その時すでに店頭では商品が欠品していることもある。そのため、顧客に商品を販売する機会を逃している可能性がある。また、ある店舗では過去の販売数が多かったことから、その年に多くの商品を発注したものの実際にはあまり売れず、多くの廃棄を出したことがあった。これらのことが原因で近年の販売数は低下しており、適切な発注ができていないというのが現状である。配送ルート決定も手作業で行われており、担当者が地図を広げて配送ルートを選定している。トラックに芝生を満載にして配送するように、地図を見ながら店舗別の発注数の調整を行っている。配送時には直接店舗へ配送されずに一旦物流センターへ保管され、他の資材と組み合わせられて店舗へ配送されることもあった。配送ルート決定に時間を要し、更に適切な配送ルートを決できていない可能性が考えられる。以上のことから、手作業で多くの時間を

費やしながらも需要に見合った発注ができておらず、余分な輸送費や人件費をかけていることが考えられる。

そこで、本研究では効率的な芝生の発注と配送を行うための分析を行う。販売期間中の販売傾向を把握することで、販売機会のロスや廃棄の削減を目指す。また、店舗ごとの需要を満たし、なおかつトラックの積載効率を上げるような発注手法を考案して利益の確保を目指す。更に現状の発注作業や店舗での在庫確認、報告作業を軽減させるために自動配車システムの構築に取り組む。

1.2 研究対象

研究対象とするのはホームセンターから提供された過去数年分の芝生の販売実績や配車実績、店舗の所在地に関するデータである。ホームセンターでは現在数種類の芝生を取り扱っており、それらは全てパレットに載せられる。芝生は全て矩形の薄いマット状のもので、9枚を紐で結ばれて一束単位で販売される。一枚のパレットには50束を重ねて載せられる。芝生一束に種類の異なる芝生は混在することはなく、同じパレットにも混在することはないがトラックへの混載は可能である。使用するトラックは4トン車の一種類であり、芝生を載せたパレットを10個載せることができる。

現在は鳥取県にある卸業者から全ての芝生を購入している。芝生を載せたトラックは鳥取県から東海・北信越地方、滋賀県、神奈川県にある約130店舗へ配送される。トラックは複数の店舗へ配送することが可能である。販売店舗へは1日で回らなくてはならず、トラック一台当たりの配送店舗数に限りがある。発注から納品までのリードタイムは2週間であり、店舗に届いた芝生はバックヤードに保管されることはなく全て店頭に並べられる。荷下ろしはパレット単位で行われ、店舗ごとに陳列できるパレットの数が限られている。商品を店頭においておくことのできる期間も数週間と決まっている。

本研究では上に挙げた発注および配送に関する条件を踏まえて、効率的な発注・配送計画を立案できるような手法を考案する。

2 問題解決の手順

ホームセンターから提供されたデータに対し、芝生の発注から配送までの分析を行う。本研究では、発注から配送までを2段階に分割した。初めに全店を対象に各店舗で需要を満たすような適切な発注数とトラックの台数を週単位で決定する。その後、適切な配送ルートを決定する。前段階で得られた店別の発注数とトラックの台数を基に、各トラックの効率的な配送ルートを決定する。また、販売期間中の発注における販売予測を取り入れ、実際の販売期間中の発注作業に則して分析を行うことで現状との比較評価を行う。分析には最適化ソフトウェア What's Best! ¹を用いた。

3 販売数の予測

商品の売れ行きは例年同じとは限らず、様々な要因から変化することが考えられる。特に、芝生の売れ行きは価格や天候、競合店の存在によって毎年大きく変化する。過去の販売実績のみを参考にしてはその時の傾向に合った発注を行うことができず、販売機会のロスや廃棄を多く発生させることが考えられる。

そこで販売期間中の発注数を決める際には、過去の販売実績だけでなくその年の傾向をつかむための直近の販売数を反映させた販売予測が必要となる。過去の実績だけでなく直近の販売数を予測値に反映させることが、欠品や廃棄数の削減につながると考える。本研究では、次のような予測手法を考案した。

3.1 販売数の比率に基づく推定

販売数の比率に基づく推定とは、過去の販売実績の販売増加率と直近の販売数から予測を行うものである。過去数年分の販売実績から店舗ごとに週単位で平均販売数を算出する。その平均値を基に対前週増加率を算出する。そして、その値と直近の販売実績を掛け合わせることで店舗ごとの販売数の予測値を求める。したがって、後の週の予測値においては予測値から算出されることになる。

過去の販売実績から得られる販売増加率は2点移動平均を用いて算出する。また、直近の販売数においても2点移動平均を用いることにする。

3.1.1 販売数の比率と予測値の導出

過去の販売実績から得られる販売増加率と予測値を算出する手順を以下の表を用いて示す。表1は、2010年春と2011年春の週別の販売実績を基に販売増加率を算出し、2012年の販売数を基にその年の3週目の販売予測についてを示したものである。

初めに、2010年と2011年の販売実績から週単位で平均値を求める。さらにその平均値を基に2週分の移動平均を求めて対前週増加率を算出する。ここでは、1週目と2週目の平均販売数の平均値を2週目の数値とし、2週目と3週目の平均販売数の平均値を3週目の数値とする。それらの値から求まる販売増加率が2週目から3週目の増加率となる。一方、2012年の販売数においては、1週目と2週目の販売数が分かっているものとして、それらの平均値を2週目の数値とする。その値と販売増加率を掛け合わせた予測値10が3週目の予測販売数となる。

表1 : 予測値の算出方法

	1週目	2週目	3週目
2010年春	8	6	8
2011年春	6	4	12
平均	7	5	10
移動平均	6		
			7.5
対前週増加率			125%

	1週目	2週目	3週目
2012年春	11	5	10
移動平均	8		↑予測値

4 芝生の発注

芝生は一週間に2~4ヶ月と販売期間が短く、店頭に陳列できる期間も限られているため、長い間店舗に置いておくと鮮度が落ちてしまい廃棄される。そのため、販売期間中には何度か発注が行われる。実際には週単位で必ずどこかの店舗へ発注が行われている。

発注においては販売期間前に行う発注である初期投入と販売期間中に行う発注の追加発注がある。本稿では初期投入時の発注数を初期投入数、追加発注時の発注数を追加発注数と呼ぶことにする。発注における決定項目は2点ある。一つは週単位で店舗ごとの需要を満たすような発注数である。もう一つはその週に使用するトラックの台数である。本研究では初期投入と追加発注においてそれぞれの発注時の条件を考慮した。

4.1 初期投入について

現状では過去の販売実績をもとに店舗ごとに初期投入数を決定している。今回は初期投入は販売期間の第1週から第4週までとし、その間の過去実績の週別平均販売数を補うことができるような初期投入数を決定する。初期投入を行い、それ以降は販売傾向を見ながら追加発注を行えるように、どの店舗も1週目か2週目のどちらかに納入を行うという条件を含めて定式化した。

4.1.1 記号の定義

添字

S : 店舗の集合

T : 芝生を納入する週の集合

N : 自然数全体の集合

定数

e_{st} : 第 t 週での店舗 s の平均販売数

α_s : 店舗 s に置くことができるパレット数の上限

M : 十分大きな数

決定変数

x_{st} : 第 t 週に店舗 s へ納入するパレットの数

y_t : 第 t 週に使うトラックの数

$$z_{st} = \begin{cases} 1 & \text{第 } t \text{ 週に店舗 } s \text{ へ芝生を納入する} \\ 0 & \text{第 } t \text{ 週に店舗 } s \text{ へ芝生を納入しない} \end{cases}$$

4.1.2 定式化

目的関数

$$\min. \sum_{t \in T} y_t$$

制約条件

$$\sum_{s \in S} x_{st} = 10y_t \quad (t \in T) \quad (1)$$

$$x_{st} \leq Mz_{st} \quad (s \in S, t \in T) \quad (2)$$

$$x_{st} \geq z_{st} \quad (s \in S, t \in T) \quad (3)$$

$$z_{s1} + z_{s2} = 1 \quad (s \in S) \quad (4)$$

$$\left(\sum_{t'=1}^{t-1} 50x_{st'} - \sum_{t'=1}^{t-1} e_{st'} \right) + 50x_{st} - e_{st} \geq 0 \quad (5)$$

$$(s \in S, t \in T)$$

$$\left\lceil \left\{ \left(\sum_{t'=1}^{t-1} 50x_{st'} - \sum_{t'=1}^{t-1} e_{st'} \right) + 50x_{st} \right\} / 50 \right\rceil \leq \alpha_s \quad (6)$$

$$x_{st}, y_t \in N \quad (s \in S, t \in T) \quad (7)$$

$$z_{st} \in \{0, 1\} \quad (s \in S, t \in T) \quad (8)$$

目的関数	納入期間全体で使用するトラックの台数の最小化
制約条件 (1)	トラックの積載可能容量分のパレットを納入する制約
制約条件 (2)	芝生を納入しない店舗はパレットを一枚も納入しない制約
制約条件 (3)	芝生を納入する店舗はパレットを一枚以上納入する制約
制約条件 (4)	どの店舗も1週目か2週目に納入する制約
制約条件 (5)	店舗では常に欠品を起こさない制約
制約条件 (6)	納入時に店頭に置くことができるパレットの数の上限を超えない制約
制約条件 (7)	変数の自然数制約
制約条件 (8)	変数の0-1整数制約

4.2 追加発注について

追加発注は納入直前の在庫数や今後の需要を把握して適切な発注数を決定する必要がある。発注から店舗への納入までのリードタイムは2週間であるため、第 w 週に発注される芝生は第 $w+2$ 週に店舗に納入されることになる。今回はその規則は守られると仮定して、第 w 週に追加発注を行うとした場合に、納入される週である第 $w+2$ 週以降の3週分の販売数を補えるような第 $w+2$ 週の納入数を求める流れを次に示す。

4.2.1 追加発注数の導出

初めに、以下のように記号を定義する。

r_{st} : 第 t 週での店舗 s の予測販売数 (束)

i_{st} : 第 t 週末に店舗 s にある在庫数 (束)

d_{st} : 第 t 週での店舗 s の納入数 (束)

現在は第 w 週であるとして第 $w-1$ 週までの直近の販売実績が既知とする。そのデータと過去の販売実績を基に第 w 週から第 $w+4$ 週までの予測販売数 $r_{sw}, r_{s,w+1}, r_{s,w+2}, r_{s,w+3}, r_{s,w+4}$ を求める。次に、第 $w-1$ 週末の在庫数 $i_{s,w-1}$ が既知として、第 w 週と第 $w+1$ 週の納入数 $d_{sw}, d_{s,w+1}$ と予測販売数 $r_{sw}, r_{s,w+1}$ から第 $w+1$ 週末の予測在庫数 $i_{s,w+1}$ を以下の式で求める。

$$\begin{aligned} \text{第}w+1\text{週末の予測在庫数 } i_{s,w+1} \\ = i_{s,w-1} + (d_{sw} + d_{s,w+1}) - (r_{sw} + r_{s,w+1}) \end{aligned} \quad (9)$$

この在庫数を考慮して、納入される第 $w+2$ 週から3週分(第 $w+2$ 週から第 $w+4$ 週)の販売数を補えるような以下の式を満たす納入パレット数 $x_{s,w+2}$ を求める。

$$\begin{aligned} i_{s,w+1} + 50x_{s,w+2} \\ - (r_{s,w+2} + r_{s,w+3} + r_{s,w+4}) \geq 0 \end{aligned} \quad (10)$$

ただし、予測販売数 $r_{sw}, r_{s,w+1}$ が多く見積もられると第 $w+1$ 週末の予測在庫数 $i_{s,w+1}$ は負の値を取ることがある。それによって納入パレット数が多めに算出されてしまうため、負値の場合は0とする。

第 w 週に発注を行い、第 $w+2$ 週に店舗へ納入されるパレット数 $x_{s,w+2}$ を決定するとして以下のように定式化した。

4.2.2 記号の定義

添字

S : 店舗の集合

T : 芝生を販売する週の集合

N : 自然数全体の集合

定数

r_{st} : 第 t 週での店舗 s の予測販売数 (束)

i_{st} : 第 t 週末に店舗 s にある予測在庫数 (束)

α_s : 店舗 s に置くことができるパレット数の上限

決定変数

x_{st} : 第 t 週に店舗 s へ納入するパレットの数

y_t : 第 t 週に使うトラックの数

4.2.3 定式化

目的関数

$$\min. \quad y_{w+2}$$

制約条件

$$\sum_{s \in S} x_{s,w+2} = 10y_{w+2} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} i_{s,w+1} + 50x_{s,w+2} \\ - (r_{s,w+2} + r_{s,w+3} + r_{s,w+4}) \geq 0 \quad (s \in S) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} 50x_{s,w+2} \\ \leq r_{s,w+2} + r_{s,w+3} + r_{s,w+4} + 50 \quad (s \in S) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\lceil (i_{s,w+1} + 50x_{s,w+2}) / 50 \rceil \leq \alpha_s \quad (s \in S) \quad (14)$$

$$x_{s,w+2}, y_{w+2} \in N \quad (s \in S) \quad (15)$$

目的関数

トラックの台数の最小化

制約条件 (11) トラックの積載可能容量分のパレットを納入する制約

制約条件 (12) 納入から3週分は欠品を起こさない制約

制約条件 (13) 一度に過剰な納入を行わない制約

制約条件 (14) 入荷時に店頭に置くことができるパレットの数の上限を超えない制約

制約条件 (15) 変数の自然数制約

5 芝生の配送

発注における分析によって得られた結果から、週ごとに配送ルートの分析を行う。ここでは店舗別の発注パレット数と使用するトラックの台数から、各トラックがどの店舗に行き、芝生を載せたパレットをどれだけ降ろせばよいかを求める。

ホームセンターでは鳥取県の一つの卸業者から芝生を購入している。一ヶ所の配送拠点から複数の販売店舗を辿って芝生の配送が行われる。配送の条件としては、トラックの積載効率を上げるために芝生を満載にして配送する必要がある。店舗間のパレットの受け渡しは考慮せず、トラックは店舗ごとの決められた納入数だけその店舗に直接運ぶ。また、荷降ろしの手間を省くためにどの店舗も一度に複数のトラックを受け入れない。店舗への荷降ろしはパレット単位で行われる。これらの条件は初期投入と追加発注共に同じである。以上の条件を全て満たすような効率的な配送ルートを求めるために、本研究では発見的解法であるセービング法を用いた [1][4]。

5.1 セービング法の問題点

セービング法では、トラックの積載可能量を超えないような配送ルートが求まる。そのため必ずしもどのトラックにも満載にできるとは限らない。トラックに満載にならない配送ルートが出てきてしまい、発注数の分析で得られた最小限のトラックの台数に収まらないことがある。特に、配送数が少ない店舗から順番に連結し、最後の方に配送数が多い店舗が残っていると積載可能量を超えてしまいその店舗どうしは連結されなくなる。満載にするためにはできる限り配送数が多い店舗から経路の接続を行いながら移動距離を短くする必要がある。本研究ではトラックに満載にするという条件を優先する。

そこで、多くのトラックができるだけ満載にして配送を行い、なおかつ近隣店舗を回るような効率的な配送ルートを求めるための手法を考案した。その手法は、配送拠点である鳥取県から各店舗への移動距離を配送パレット数に応じた距離にするというものである。そのようにすることで配送数の多い店舗は鳥取県から離れるためセービング値が大きくなり、初めのうちに他の店舗と接続されやすくなる。そして配送数の多い店舗から順番に接続され、少ない店舗は最後の方に経路に接続されるため、どのトラックも満載になる可能性が高くなるのである。

6 まとめ

6.1 評価結果

表 2 : 発注における評価結果

納入期間	4月第2週まで	4月第3週まで	4月第4週まで	5月第1週まで
納入数(束)	19,500	22,500	26,000	30,000
トラックの台数	39	45	52	60
トラック一台当たりの積載率	100%	100%	100%	100%
予測販売数(束)	17,762	18,488	19,760	20,661
売れ残り数(束)	1,738	4,012	6,240	9,339
欠品週数	303	222	179	114

表 3 : 配送ルートの出力結果

(鳥取からの距離を配送数×60kmにしたとき)

ルート	配送順序						合計
	C	E	F	D			
ルート1							142.7km
配送パレット数	2	4	3	1			10
ルート2	I	A	J				64.4km
配送パレット数	4	4	2				10
ルート3	L	H	B	G	K	M	168.0km
配送パレット数	1	1	3	2	2	1	10

6.2 考察

発注数の分析においては、2012年春期に販売が行われた119店舗を対象とし、その年の発注・販売実績をもとに結果の評価を行った。納入期間の終わりを1週ずつずらすことで、納入数や売れ残り数などを比較した。初期投入数は2010,2011年の2月第4週から3月第3週までの店舗ごとの週別平均販売数を使って求めた。また、追加発注数については2012年3月の第4週から5月の第3週までの店別の販売実績を使って販売予測を行うことで発注数を求めた。販売予測に用いるデータで過去の販売実績から得られる販売比率は2010,2011年春の販売実績から算出した。配送ルートの分析において、店舗間の距離はNAVITIME²を用いて算出した。

発注における評価結果である予測販売数は販売実績のみから算出しており、実際の店舗で起こった機会ロスの分までは計上していない。したがって表中の値は最も低い水準となっている。実際に店舗で機会ロスが起っていた場合に納入されている場合も十分に考えられる。それに伴って表中の予測販売数や売れ残り、欠品週数の値は改善されることが見込まれる。配送については鳥取からの距離を配送数に応じた距離にすることで、ほとんどの場合でどのトラックも満載にして配送するような結果が得られた。

7 おわりに

本研究ではホームセンターにおける効率的な芝生の発注および配送について分析を行い、仕入れ価格改善につながるトラックの積載効率向上を目標に進めた。店舗別の需要を満たす適切な発注数を決定でき、効率的な配送ルートを短時間で導くことができた。

今後は追加発注時の需要のトレンドのさらなる把握が必要である。販売傾向をつかんで、現状以上に売れ残りや欠品を減らせるような予測方法を考案する必要がある。また、構築した自動配車システムを企業の現場で適用することで比較評価を行い、システムの有用性を確認したい。

参考文献

- [1] Claudia Archetti, Maria Grazia Speranza : The Split Delivery Vehicle Routing Problem: A Survey, *Operations Research/Computer Science Interfaces Series*, Volume 43, Part I, pp.241-244, 2008
- [2] 藤田精一 : ロジスティクス活動における在庫コストの本質, 早稲田大学 WBS 研究センター 早稲田国際経営研究, No.40, pp.13-21, 2009
- [3] 川勝英史, 三田弘明, 濱田年男 : 小売業における特別展示商品に対する最適発注量 - 単位時間当たり総利益の最大化 -, 日本応用数理学会論文誌, Vol.10, No.2, pp.89-90, 2000
- [4] 久保幹雄 : ロジスティクスの数理, 共立出版, 東京, pp.166-169, 2007

¹What's Best!は、LINDO Systems Inc. の登録商標です。

²NAVITIME は株式会社ナビタイムジャパンの登録商標です。