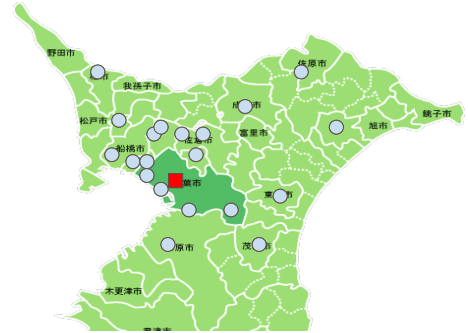


倉庫移転先決定問題～小物販売業 F 社の事例研究～

浅野 一平 (沼田 一道 助教授)

1. はじめに

近年不況の影響で多くの企業の経営状況が悪化しており、各企業はコスト削減や更なる収益の向上を目指している。このような状況において、千葉県で店舗展開している F 社も、コスト削減のために人件費、倉庫・在庫管理費、商品配送費を見直し、収益向上のために新店舗の出店、商品数の多様化を考えている。今回その一環として、店舗数の増大に伴い、現在の倉庫を移転させることになった。また、新倉庫の立地としては、既存の店舗地もしくは出店予定店舗地に付随した立地に設置したく、それら店舗地 20 箇所のうち 10 箇所から、倉庫候補地が挙がっている。



本研究では、F 社の倉庫移転先決定問題を数理計画として捉え、倉庫の立地として出来る限り安いコストで、配送拠点として効率的な新倉庫立地点を求める方法を提案する。

図 1: 既存倉庫地と店舗地(新・既存)

2. 問題の概要と解決手順

本研究で対象としている F 社は小物を主商品とした生活雑貨小売業者である。現在は倉庫 1 箇所、店舗 10 箇所で開催している。F 社にとって倉庫の目的は在庫を保管することであり、倉庫地は配送拠点として出来る限り便利で、コストの安い立地であることが重要である。しかし、既存の倉庫は家賃もそれほど安くはなく、新店舗(10 箇所)の出店を考えても、この先配送拠点としては不便であると考え、倉庫を移転することになった。また、今回の新倉庫地は倉庫兼本社地にすることや、1 店舗地と倉庫地を一緒にすることで商品配送地を 1 つ減らすことができる利点から、新倉庫地は店舗地(新・既)に付随した立地にすることにした。

問題は、現在挙げられている 10 候補地の中から、何を基準に、F 社にとって最適な新倉庫地を選択すべきかである。よって、立地コストの大部分ともいえる倉庫家賃と、配送拠点の決め手となる配送コスト(配送距離)に着目する。ここでの配送距離とは、各候補地が新倉庫として決まった場合の、トラックが最も総配送距離を短くするような経路を選んだ時の走行距離とする。そうすることで、新倉庫地が決まった場合の最適配送ルート及び配送コストが求められる。また、F 社において各店舗の商品要求量は、店舗毎の経営状態に影響を受けやすく、日によってある程度変動するものであることも考慮する必要がある。以上の F 社の事例をふまえて、本研究で扱う倉庫立地決定問題を解く。問題解決の手順は以下の通りである。

表 1: 倉庫候補地の家賃 / 坪(月)

1) 10 候補地のうち、明らかに家賃が高い倉庫地を候補から外す。

これは家賃があまりにも高い候補地は、配送の便利性や配送コストを考慮に入れるまでもなく、候補地としては不適当だからである。そのため今回、この手順では 10 候補地から 5 候補地に絞りこんだ(表 1 参照)。

都賀(既)	4500円
船橋	6500円
津田沼	6500円
稻毛	6000円
西千葉	6000円
志津	4000円

八千代	5500円
四街道	4100円
佐倉	3600円
鎌取	3500円
土気	3400円

2) トラックの積載容量(1.5 t)を考慮に入れ、倉庫候補地 5 箇所そ

れぞれに対して、トラックの総走行距離を最小にするように、配送経路を求める。つまり配送経路問題となる。ここでの前提条件は、次の通りである。

- 各トラックは始めに倉庫から出発し、全ての店舗を1度ずつ回り、最後には再び倉庫に戻る。
- トラックは予め積載容量内で収まる店舗分の商品を積み込み、配送し終わったら一度倉庫に戻り、それからまた次の店舗に配送する。この作業を全店舗周りきるまで続ける。
- 倉庫～店舗・店舗～店舗間の距離は、有料道路を除く実際の道路距離をウェブ上で予め調べたものを用いる(渋滞は考慮しない)。
- 各店舗の商品要求量は変動するため、何通りかの要求量に対して、この問題を解く。
- 配送トラックは自社所有の2台とし、各トラックの平均時速は40kmとする。

この手順で、5候補地の全トラックの総配送距離を求め、また家賃も考慮して新倉庫地を検討する。

3. 定式化

n を店舗数、点 0 を倉庫地、点 1～点 n を店舗地とし、配送ルート数を m 、店舗地 i での商品要求量を q_i 、店舗地 i, j 間の距離を d_{ij} ($d_{ij} = d_{ji}$) とする。決定変数を次のように設定する。

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & : \text{トラック } k \text{ が店舗 } i \text{ の直後に店舗 } j \text{ に訪れる} \\ 0 & : \text{それ以外} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & : \text{トラック } k \text{ が店舗 } i \text{ を訪れる} \\ 0 & : \text{それ以外} \end{cases}$$

全トラックの総配送距離を最小にする問題の定式化は以下のようになる。

minimize	$\sum_k \sum_{i,j} d_{ij} x_{ijk} \quad (1)$
subject to	$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = y_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (2)$
	$\sum_{j=0}^n x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 0, 1, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$
	$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} 1 & i = 1, 2, \dots, n \\ m & i = 0 \end{cases} \quad (4)$
	$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq S - 1 \quad \forall S \subseteq \{1, 2, \dots, n\} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (5)$
	$\sum_{i=1}^n y_{ik} q_i \leq 1500 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (6)$
	$x_{ijk}, y_{ik} \in \{0, 1\} \quad i, j = 0, 1, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (7)$

(1)は全トラックの総走行距離を最小化する目的関数である。制約条件(2)、(3)はある店舗にトラックが訪れるならば、そのトラックは他の点からやってきて、他の点に向かうことを表す。(4)は全ての店舗に、必ず1台のトラックが訪れることを表している。(5)は部分巡回路を禁止している。(6)は各トラックの一回の配送可能量は1.5tとすることを示す。

4. 本研究で提案する解法

本研究で取り上げる問題は、倉庫数 1(倉庫候補地 5 箇所)、配送店舗数 19 の配送経路問題であり、解(店舗順列)を全て求めて厳密解を探し出すのは、計算時間が大きくなり困難である。しかし本研究では、計算時間は出来る限り少なく、かつ解の精度は高くする必要がある。よって本研究の基本的解法として、局所探索法を採用し、倉庫候補地 5 箇所それぞれについて適用する。

局所探索法はある初期解 x を生成し、解空間の中で x の近傍により良い解 x' を見つけたならば、 $x = x'$ として x を更新し、新しい x の近傍により良い解がなくなるまで繰り返し探索する方法である。この手法は解の空間を一時的に狭めて、その中で探索を行うので、計算時間を減らすことができる。また、初期解の生成法や近傍の取り方によって、計算量や解の精度が変わることが特徴としてある。具体的な本研究での解法手順は次のようになる。

まず、全店舗地に番号を付け(倉庫地を 0 とする)、その店舗番号をランダムに並べて順列 σ を生成する。次にこの順番通りに、店舗商品要求量 q_n がトラックの積載容量 1.5 t 以内に収まりきるように、1 番目の配送ルート k_1 にその店舗順列を割り当てる。この際の配送順序もこの σ の順番で決まるものとする。この作業を、配送ルート k_1 に $\sigma_1\sigma_2\cdots\sigma_i$ 、配送ルート k_2 に $\sigma_{i+1}\sigma_{i+2}\cdots$ といったように、全店舗地が何れかの配送ルートに割り当てられるまで行う。そうして求められた配送経路における全トラックの総走行距離を $f(\sigma)$ 、その時の解を $x(\sigma)$ と定義する。ランダムな初期順列 σ から初期解 $x(\sigma)$ 、その時の総走行距離 $f(\sigma)$ を求めるアルゴリズムは以下のようになる。

Step0: $k = 1, i = 1$

Step1: $Q_k = Q_k + q_i$

Step2: $i < n$ ならば Step3 へ、そうでなければ Step4 へ進む。

Step3: $i = i + 1$ として $Q_k < 1500$ ならば Step1 へ、そうでなければ $k = k + 1, Q_k = 0$ として Step1 へ進む。

Step4: k は配送ルート数、この時の解が初期解 $x(\sigma)$ となり、全トラックの総走行距離 $f(\sigma)$ を計算する。

次にこの初期解 $x(\sigma)$ 、 $f(\sigma)$ をもとに近傍探索より局所最適解を求める。ここではまず、 $x(\sigma)$ の近傍 $N(\sigma)$ は順列 σ の 2 要素の順番を入れ替えた順列の集合と定義する。 $\sigma' \in N(\sigma)$ について $f(\sigma')$ と $f(\sigma)$ を比べて、 $f(\sigma')$ の方がより良い(小さい)場合、 $\sigma \leftarrow \sigma'$ として、新たな $x(\sigma)$ 、 $f(\sigma)$ へと更新する。この操作を、 $x(\sigma)$ の近傍により良い解がなくなるまで繰り返し、その結果出できた解 $x(\sigma)$ が局所最適解となる。局所探索法のアルゴリズムは以下のようになる。

Step0: ランダムな店舗地順列 σ を生成し、 $x(\sigma)$ 、 $f(\sigma)$ を計算する。

Step1: σ の近傍(2 要素を入れ替えた順列) σ' について解 $x(\sigma')$ 、及びその時の全トラックの総走行距離 $f(\sigma')$ を計算する。

Step2: $f(\sigma) > f(\sigma')$ ならば、 $\sigma = \sigma'$ として Step1 へ、そうでなければ Step3 へ進む。

Step3: 解を求め比較していない近傍 σ' が存在するなら Step1 へ、そうでなければ Step4 へ進む。

Step4: 局所最適解は $x(\sigma)$ となり、その時の全トラックの最小総走行距離は $f(\sigma)$ となる。

この局所探索を、複数のランダムな初期解から出発して、何度も繰り返すことで、多数の局所最適解を求めることができる。その中から、最も良い解 $x(\sigma)$ を準最適解とし、それと同時に $f(\sigma)$ を計算

し、その値を配送コストとする。

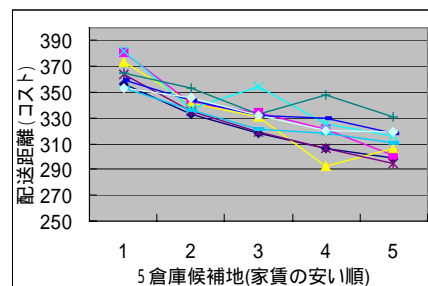
以上の2つの大きなステップを進める多スタート局所探索法(multi-start Local Search)をもとに、全トラックの総配送距離の最小化問題を解くことにする。そして、その値を最適配送コストと捉え、また倉庫候補地毎の家賃にも注目し新倉庫の立地点を検討する。

5. 数値実験

F社の事例に基づいて、5倉庫候補地毎に一日の全トラックの総配送距離を最小にする問題を解く。配送拠点数1(5候補地)、配送店舗数19として、各店舗経営状態を考慮した10通りの店舗要求量に対して実験する。解法のプログラムはBorland社のDelphi6で作成した。

6. 実験結果と考察

10通りの店舗要求量のうち9通りについては店舗番号12(四街道)、1通りについては店舗番号10(志津)の立地が、最小の総配送距離であった(グラフ1参照)。よって新倉庫地を四街道にした場合、配送の面では最も効率が良く、配送コストが安くなる。その際のトラックの総走行距離は294~330kmの範囲であり、最も配送距離の長かった立地である土気(店舗番号17)とは約50kmの差があった。しかし、家賃の面では、四街道は最も高い立地といえる。つまり、F社の配送日数(月当り)によって、四街道が最適な新倉庫地であるかが決まる。例えば、各トラックが1km走るのに50円要するとすれば、土気に比べて1日当り約2500円の配送コスト差が生じる。一方、家賃の面で比べてみると、四街道は土気より56,000円(80坪、1ヶ月)高い。よって、配送回数が23回(月)を超えるようであれば、四街道は最適な倉庫地といえる。



グラフ1:店舗要求量毎の配送費

また、本実験では、全配送を営業時間(9時間)内に終わらせること、各店舗での商品降ろし時間(10分程度)といった時間制約を考慮に入れなかった。しかし、実験の結果、配送ルート数は全て4以下であり、それらの時間制約を付け加えルート毎の配送時間を考えても、営業時間内に全ての配送を、2台のトラックで終わらせることが出来ると分かった。

本研究におけるmulti-start戦略の有効性については、ループ数1回と100回を比べると、全ての候補地において10~90kmの範囲で改善されていたので、効果的であったといえる。

7. おわりに

本研究では、倉庫に関するコストの大部分が家賃と配送費にあるため、その2つの視点からのみ、また新倉庫は1つという前提のもとで新倉庫地を検討した。結果、配送が便利な立地ほど家賃が高くなる傾向にあり、新倉庫地を直に決定できる結果は得られなかったが、定量的な判断材料を提案出来たといえる。また、今後F社がさらに店舗数を増大していくとすれば、倉庫を複数設置する場合や、トラック積載容量が均一でない場合なども考慮しなければならないが、これらは今後の課題である。

参考文献

- [1] 柳浦 睦憲, 茨木 俊秀:「組合せ最適化~メタ戦略を中心として~」朝倉書店(2001年)
- [2] 小山 修一:「トラックの総走行距離を最小にする配送経路問題の解法の提案」, 東京理科大学工学部経営工学科 2001年度卒業論文
- [3] 生活地図サイト マップファンウェブ: <http://www.mapfan.com/>