

京都大学工学部 学生員 ○山田 雄大
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 谷口 栄一
 京都大学大学院工学研究科 正会員 Ali Gul Qureshi

1. 研究の背景と目的

近年の消費者のニーズの多様化に伴い、貨物の輸送需要が高度化してきている。そのため、物流業者には多頻度・小口輸送など高度なサービスが要求されている。一方で、貨物集配送は、交通渋滞、大気汚染などの社会問題の一因となっている。さらに、近年の経済発展による消費者のライフスタイルの変化により、需要の正確な予測が困難となり、売れ残った製品の廃棄の増加、品切れによる売り手・買い手のトラブルの増加が社会的に大きな問題となっている。これらの課題や問題に対処するために、自動販売機やコンビニエンスストアのように、デポと小売店が同じ会社であるか、または強い関連を持つ場合、配送コストの最小化だけでなく、小売店側における商品の不足・売れ残り時に発生するコストを含めて考慮するべきである。すなわち、需要変動の下における配車配送計画の立案が必要となっている。

そこで本研究では、商品の廃棄コスト、販売機会損失、各顧客における需要変動を考慮した在庫配車配送計画モデルの構築を目指し、需要変動のばらつき、販売機会損失単価の変化が商品の廃棄量・不足量、輸送車両台数、総コストに及ぼす影響について比較および検証を行う。

2. 定式化

本研究における、機会損失と商品の廃棄コストを考慮した配車配送計画問題の定式化は以下のようになる。

Minimize

$$z = \mu \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} + F \sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{0jk} + Q \quad (1)$$

$$Q = \alpha \sum_{i \in N} L_i + \beta \sum_{i \in N} M_i \quad (2)$$

$$L_i = \left| \min(0, \sum_{k \in K} a_{ik} - d_i) \right| \quad \forall i \in N, \quad (3)$$

$$M_i = \max(0, \sum_{k \in K} a_{ik} - d_i) \quad \forall i \in N, \quad (4)$$

subject to

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N, \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I'} x_{ihk} - \sum_{j \in V'} x_{hjk} = 0 \quad \forall h \in N, \forall k \in K, \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i0k} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I'} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V (S \neq \phi, S \neq V), \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} a_{ik} \sum_{j \in V'} x_{ijk} \leq q \quad \forall k \in K, \quad (10)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K, \quad (11)$$

ただし、

z : 総コスト K : 車両集合
 k : 車両番号 i, j, h : 顧客番号
 0 : デポ N : 顧客の集合
 A : リンクの集合 V : デポと顧客の集合
 q : 車両積載容量 S : V の部分集合
 α : 販売機会損失単価 β : 廃棄コスト単価
 L_i : 顧客 i の不足量 M_i : 顧客 i の廃棄量
 Q : 販売機会損失と廃棄コストの和
 d_i : 顧客 i における需要量
 a_{ik} : 車両 k の顧客 i への配送量
 c_{ij} : 顧客 $i-j$ 間の距離
 μ : 走行距離当たり発生する運行コスト
 x_{ijk} : 車両 k が顧客 $i-j$ を配送するときには 1
 それ以外のときは 0 をとる整数変数
 F : 巡回車両 1 台あたりに発生する車両コスト
 $x_{ijk}, d_i, a_{ik}, q, L_i, M_i$ は整数値をとるものとする。

式(1)は目的関数、式(2)は需要変動についてシミュレートしたときの販売機会損失と廃棄コストの和を表している。また、式(3)・(4)は顧客の在庫に関する式、式(5)~(9)は顧客におけるトラックフローの制約条件、式(10)はトラック積載量制約条件、式(11)は x_{ijk}

が2値変数であることを表している。

なお、本目的関数における決定変数は、 x_{ijk} であり、 a_{ik} は顧客の需要変動をシミュレートするために設定した顧客への供給量を表す変数である。

3. 解法

本研究では、近似解法として遺伝的アルゴリズム (GA) を適用した。本研究での GA における個体は、配送順序を表す染色体と顧客への配送量を表す染色体で表現され、後者の染色体は前者の染色体が表す配送順序と同一順序で各顧客の配送量を表すものとする。なお GA における初期化・選択・交叉・突然変異の各操作は Qureshi *et al.*¹⁾ のものを援用した。

具体的な解の計算手順としては、まず総コストが最小となる訪問順序・顧客の配送量を GA により求め、その操作を設定した回数繰り返す。なお、試行ごとに各顧客の需要量は変動するものとする。

次に各試行で求めた訪問順序において、各試行時の各顧客の需要量から最小となる目的関数値をそれぞれの場合について求め、その平均値を求める。本研究における訪問順序の解はその値が最小のものとする。また配送量の解は、その訪問順序において前述の平均値との差が最小の目的関数値をとるときの配送量とする。

4. ケーススタディ

本研究では、Solomon のベンチマーク問題(R101)の顧客の位置情報、需要量を採用し、顧客の需要が変動する場合に総コストが最小となる解を求める。車両積載量は40、車両運行速度は一定とし、走行時間あたり運行コスト、車両コスト単価は Qureshi *et al.*¹⁾ の設定した値を使用する。

本研究では、表1のようにケースを設定するが、売れ残り品を全て廃棄する際に発生する廃棄コストの単価は常に一定(420円)とする。また、顧客の需要変動は正規分布に従うものとし、その平均は前述のベンチマーク問題の需要量を、変動係数は各ケースで設定した値をそれぞれ用いる。

各ケースにおける総コスト・車両台数・廃棄量・不足量の計算結果を表2に、ケース1-A-aの各顧客の配送量を図3にそれぞれ示す。なお、ケース1-A-a以外における各顧客への配送量および全ケースの訪問順序は紙面の都合上割愛する。

表1 計算ケース

ケース	変動係数	ケース	機会損失単価 (単位:円)	ケース	顧客数
1	0.05	A	980	a	7
2	0.125	B	2100	b	25
3	0.25	C	4200		

表2 計算結果

	総コスト (単位:円)			車両台数			廃棄量			不足量		
ケース	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
A-a	36269	33666	40052	3	2	2	6	5	12	0	8	12
A-b	118645	134933	161734	9	9	9	10	32	35	12	19	45
B-a	37529	42569	52731	3	3	3	9	6	35	0	3	2
B-b	126130	156248	204894	9	9	9	15	30	35	8	19	41
C-a	38789	43829	71969	3	3	3	2	14	21	1	1	7
C-b	137482	178714	239412	10	10	12	16	44	117	4	11	13

表3 各顧客の配送量 (ケース1-A-a)

顧客	1	2	3	4	5	6	7
配送量	11	8	14	21	28	4	6
需要の平均	10	7	13	19	26	3	5

5. 結論

本研究では、各顧客の需要が正規分布に従った変動を示す状況の下で、機会損失と商品の廃棄コストを考慮した配車配送計画モデルを提案した。需要変動のばらつき、機会損失単価の変化が及ぼす影響について検証を行った結果、車両台数が一定のとき変動係数が大きくなると廃棄量または不足量が増加し、その結果、総コストが増加する傾向にあることが確認された。また、機会損失単価が車両コスト単価よりもはるかに小さい条件の下では、車両コストの削減が優先され、不足量が廃棄量に比べて多く発生する可能性があることが示された。

今後の課題として、時々刻々と変化する顧客の在庫状況を考慮した、多期間における在庫配車配送計画モデルを構築する必要がある。そのためには、1期間以上の長さの販売期限を設定する等、各期間で相互に関連性を持たせる必要がある。また、顧客の需要分布の変動型を、対数正規分布のような偏りのある分布等、現実の事例に即した形で採用する必要がある。

参考文献

- 1) Qureshi, A. G., Taniguchi, E., and Yamada, T.: Column Generation-based Heuristics for Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.8, 2009.