

トラック配送ルート自動算出システムの開発

2016SS028 小林友哉 2016SS091 山崎遙

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

現代社会において、ものごとの最適化の重要性は増しており、その過程でオペレーションズ・リサーチ（OR）は欠かせないものとなっている。ORとは、数学的・統計的モデル、アルゴリズムなどを利用することによって、複雑なシステムにおいて「制約条件を満たした最適解」となるよう決定する科学的手法である。例えば、目的地近くの駅までの行き方をそれぞれの条件に合わせて検索する「電車乗り換え案内のソフトウェア」は、今では身近なシステムであり、それをわれわれは当たり前のように利用しているが、どのルートで行くと最も早いかなどを調べる「最短経路問題」を効率良く解くことに、ORの手法が適応されている。このように、ORは今ではわれわれの生活に必要な不可欠なシステムに使われており、役立っている [2]。

しかし、ORの手法が世の中に十分普及しているとは言えず、自動化できることでも人が手作業で行っている現状もある。われわれはORを研究することで、効率化や最適化という観点からものごとを捉えられるようになったからこそ、その現状を強く痛感している。自身の休暇を削ってまでも従業員のシフト決めに多くの時間を割くアルバイト先の店長など、世の中にはまだまだ業務に追われ苦しむ人が大勢いる。

昨年から、われわれの研究室に研究を委託しているある企業も同様の悩みを抱えている。この企業のある工場には、多くの仕入先工場が存在し、そのそれぞれに部品を発注している。そして、その企業の生産管理室では、部品を調達するトラックの配送ルートを手作業で作成している。手作業での配送ルート作成には、膨大な時間が必要なうえ、完成した配送ルートが本当に効率の良いものかを判断することが困難である。そのため、生産管理室は、発注による各種の部品入荷量の管理と調達物量の効率化を目指したいと考えていても、実際取り組むのに至っていない状況であった。

われわれは、ORを用いることで業務を改善するため、ORの手法を用いたトラック配送ルート自動算出システムの完成、及び実用化に向けて当該の企業からの委託を受けて研究することにした。

トラック配送ルート自動算出システムには、ORの手法の1つであるセービング法を用いている。これには、以下のように主に3つの理由がある。1つ目は、現場の方々でもアルゴリズムが直観的にわかりやすいためである。われわれが導き出した配送ルートを現場の方々には提示する際に、その基準がわかりやすい方が安心して利用してもらえると考えた。2つ目は、プログラムが簡単なことである。今後、メンテナンスや改修等が行われることを想定した時、プログラムがわかりやすい方がいいと判断した。3つ目は、計算結果算出までの時間が速いことであ

る。最適解は求められないが、発見的解法を用いることにより、現実的な時間で、ある程度良い解を出すことができる。以上の3つの理由から、セービング法を利用することにし、セービング法を用いたトラック配送ルート自動算出システムの作成と実用化をわれわれの最終目標とした。

セービング法の利用法については「トラック1台で回れるだけの荷量と拠点をあらかじめ担当者が決めてから入力し、その最短ルートはどのようなものであるか」を求めるためにセービング法を用いた。これによって、企業の担当者が使いやすく、より実用的なシステムの作成に成功した。

また、企業の担当者でも操作しやすく、メンテナンス等も行いやすいExcelのVBAを使って自動化システムの構築をした。これに関しても、実用化に向けてインタフェースの改善に尽力した。どのようなインタフェースにすると現在の配送ルート作成に近い形でシステムを利用していただけるのかについて、当該の企業と話し合いを重ねることで徐々に完成に近づけていった。実際に採用されている納入ダイヤグラム表示も行えるようにしたことによって、仕事効率がさらに上がることも期待されている。

2 研究対象の企業における配達経路問題

2.1 トラックの配送ルートについて

研究対象の工場は、自動車関連部品の製造を行っており、その製造に必要な部品は、各仕入れ先工場をトラックで巡回することで調達している。その企業の生産管理室では、トラック1台に対して数か所の仕入れ先工場をあらゆる面で効率良く巡回できるような配送ルートの作成を目指している。また、製品を作成する時に必要な部品の分量以上に調達すると、部品の在庫の置き場所が不足する恐れがあり、それを防ぐために、本問では、一部の仕入れ先工場での調達を時間別に分け、製品を作るのに必要な分の部品だけを調達することがある。

つまり、担当者は、主に以下の項目に注意しながら配送ルートを作成しなければならない。

- 走行距離をより短くする
- トラックの積載量の上限を超さない
- 在庫の置き場所が不足しないように、工場を複数回に分けて回る

2.2 現状の問題点と解決方法について

現在の配送ルートは、生産管理室の担当者が手作業で作成している。必要なトラック台数の決定、トラック1台に対する仕入れ先工場の割り当てと順路、そして納入ダイヤグラムの作成まで、すべて属人化している。この

ため、配送ルート作成に膨大な時間がかかってしまっているうえに、完成した配送ルートが本当に効率の良いものかを判断することが困難である。そのため、生産管理室は、発注による各種の部品入荷量の管理と調達物量の効率化を目指したいと考えていても、実際取り組むのに至っていない状況である。

そこでわれわれは、この問題を解決するために、ORの手法の1つであるセービング法を用いたトラック配送ルート自動算出システムの開発を目指し、このシステムを実際の現場に導入することを最終目標とした。配送ルート作成を自動化することで、効率的な部品の調達ができるとともに短時間で割当てを行うことが期待される。また、データ化されることで、配送ルート作成の担当者が変わった際の引継ぎも行きやすくなることが予想される。

また、システムの仕様について、1日に立ち寄りしたい仕入れ先工場を一度にすべて入力するのではなく、あらかじめ担当者が算出したトラック1台分で回りきれぬ仕入れ先工場分だけ入力するようになっている。セービング法は、入力された仕入れ先工場をトラック1台で効率よく回る配送ルート算出の際に用いられている。

3 セービング法によるトラック配送ルート作成の仕組み

3.1 セービング法について

セービング法は配達経路問題に対する発見的解法の1つである。この方法は2つの立ち寄り先に対するピストン輸送をルート輸送に変えることによって生じる走行距離の減少部分であるセービング値を算出し、これが最大となるルートの結合を行うことによって解を構築していく手法である。一度ルートの結合をしたものは、その後、切断されることはないで、最適解を与えるとは限らず、近似解になってしまうが、単純な手法である。そのため、アルゴリズムが直観的にわかりやすく、計算結果算出までの時間も短い。以上の利点から、セービング法を用いてトラック配送ルート自動算出システムを作成することにする。

3.2 記号の定義

アルゴリズムとシステムの説明に必要な記号の定義を行う ([1],[3])。

N :各立ち寄り先全体の集合 $n \in N$ (ただし $n = 1$ は拠点を表す)

T_i :トリップ ($i \in N, i \neq 1$) (拠点を含む閉路で、それに含まれる立ち寄り先からの調達量の和がトラックの積載上限をこえないもの)

w_{ik} :各立ち寄り先地点 i で k 回目に調達する荷物の重量 ($i \in N, i \neq 1, k \in \mathbb{N}$)

v_{ik} :各立ち寄り先地点 i で k 回目に調達する荷物の体積 ($i \in N, i \neq 1, k \in \mathbb{N}$)

b :トラックの最大積載重量 (t)

l :トラックの荷台寸法 (m^3)

wp :トラックの最大積載重量に対する重量パラメーター

vp :トラックの荷台寸法に対する体積パラメーター

d_{ij} :立ち寄り先 i から立ち寄り先 j までの距離 (km) ($i \in N, j \in N, i \neq j$)

q_i :立ち寄り先 i までの荷物の重量の和 ($i \in N, i \neq 1$)

f_i :立ち寄り先 i までの荷物の体積の和 ($i \in N, i \neq 1$)

r_i :トリップ T_i の最後の立ち寄り先 ($i \in N, i \neq 1$)

t_i :立ち寄り先 i への立ち寄り先回数 ($i \in N, i \neq 1$)

3.3 数式

アルゴリズムとシステムの説明に必要な数式を記述する ([1],[3])。

$$s_{ij} = d_{i1} + d_{1j} - d_{ij}$$

$$(i \in N, j \in N, i \neq j, i \neq 1, j \neq 1) \quad (1)$$

$$pb = b \cdot wp \quad (2)$$

$$pl = l \cdot vp \quad (3)$$

数式の説明

式 (1): 立ち寄り先 i と立ち寄り先 j のセービング値

式 (2): pb は実際に運用する際のトラックの最大積載重量である

式 (3): pl は実際に運用する際のトラックの荷台寸法である

3.4 配送の条件

アルゴリズムとシステムの説明に必要な制約条件を記述する ([1],[3])。

$$w_{ik} \leq pb \quad (i \in N, i \neq 1, k \in \mathbb{N}) \quad (4)$$

$$v_{ik} \leq pl \quad (i \in N, i \neq 1, k \in \mathbb{N}) \quad (5)$$

$$q_i + q_j \leq pb \quad (i \in N, j \in N, i \neq j, i \neq 1, j \neq 1) \quad (6)$$

$$f_i + f_j \leq pl \quad (i \in N, j \in N, i \neq j, i \neq 1, j \neq 1) \quad (7)$$

条件式の説明

式 (4): 各立ち寄り先 i にて調達する荷物の重量がトラックの最大積載重量の重量パラメーター分以下である

式 (5): 各立ち寄り先 i にて調達する荷物の体積がトラックの荷台寸法の体積パラメーター分以下である

式 (6): 立ち寄り先 j までの荷物の総重量がトラック1台の積載重量以下である

式 (7): 立ち寄り先 j までの荷物の総体積がトラック1台の荷台寸法以下である

3.5 配達経路問題

配達経路問題は以下のものである。

拠点から各立ち寄り先 $i (i = 2, 3, \dots, n)$ へ重量 w_{ik} , 体積 v_{ik} の荷物を調達しに向かうことを考える。トラックの積載容量 (2) 式, (3) 式が与えられていて, (4) 式, (5) 式の条件を満たすとする。また, 拠点を含む閉路で, 調達量の和が (2) 式, (3) 式を超えないように, 拠点以外の全ての立ち寄り先を 1 回ずつ含むようないくつかのトリップの組を考え, その中で距離が最小になるように求める。

3.6 セービング法を用いて作成したシステムのアルゴリズム

トラック配送ルート自動算出システムに用いられているセービング法によるアルゴリズムを以下に記述する ([1],[3])。

手順 1 立ち寄り先回数を変数 $k \in \mathbb{N}$ で表すとき, $k = 1$ とする。特に, t_i の最大値を k_{\max} とする。

手順 2 拠点から各立ち寄り先 i へのピストン輸送について考える。トリップの最初の立ち寄り先の集合を N_T とし, 最初の立ち寄り先が $i \in N_T$ であるトリップを T_i で表すことにする。
 N_T, r_i, q_i, f_i の初期解は以下の通りである。

$$N_T := \{2, 3, \dots, n\}$$

$$r_i := i \quad (i \in N_T)$$

$$q_i := w_i k \quad (i \in N_T, 1 \leq k \leq k_{\max})$$

$$f_i := v_i k \quad (i \in N_T, 1 \leq k \leq k_{\max})$$

手順 3 (1) 式より, セービング値 s_{ij} を求める。

手順 4 セービング値の中で最大となる値の組み合わせを見つける。最大となる組み合わせ, 立ち寄り先 i と立ち寄り先 $j \in N_T$ が (6) 式と (7) 式を満たす場合, 立ち寄り先 j を r_i に連結することとなるので, T_i と T_j は 1 つのトリップとなる。点 i と点 j が結合を行った際, 以下のように記号を定義する。

$$N_T := N_T - \{j\}$$

$$q_i := q_i + q_j$$

$$f_i := f_i + f_j$$

$$r_i := r_j$$

手順 5 $i \in N_T, j \in N_T$ のすべてのセービング値を確認するまで手順 4 を繰り返す。

手順 6 $k \neq k_{\max}$ である場合, k に $k + 1$ を代入し, 手順 2 へ戻る。

手順 7 $k = k_{\max}$ である場合, 本アルゴリズムを終了する。

4 システムについて

4.1 システムの機能と工夫点

ここでは, Excel の VBA で作成したセービング法によるトラック配送ルート自動算出システムの機能と工夫点について解説する。

機能 1 トラックの使用台数

今年度のシステムには, 図 1 のように, トラックの車格と使用台数を入力できる機能を付け加えた。ここに入力するのは, 「使用できるトラックの最大台数」ではなく, 「エリアを回る際に使用するトラック台数」である。基本的には, 入力した台数分すべて使用して 1 つのエリアを回ることになる。

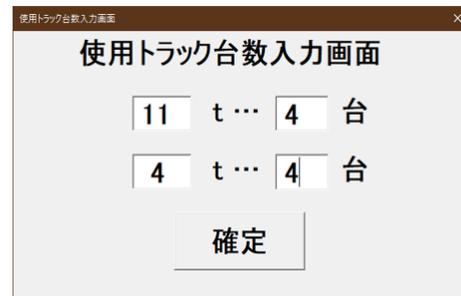


図 1 使用トラック台数入力画面

機能 2 立ち寄り先の情報入力

「選択シート」には, 立ち寄り先の情報を入力する。まず, 仕入れ先工場リストから, 立ち寄りしたい工場を選択する。このとき, 1 日で立ち寄りたすべての仕入れ先工場を選択してしまうと, 効率性を重視するあまり, 現実的でない配送ルートが作成される恐れがある。これを防ぐためにシステムの仕様について, 立ち寄りたい仕入れ先工場を何回かに分けて入力するようにした。このため担当者は, あらかじめどの仕入れ先工場を選択すればトラック 1 台で回りきれるかを計算する必要がある。また, 立ち寄る回数も仕入れ先工場毎に異なるため, 図 2 のように立ち寄る毎に調達する荷量情報も事前に入力しなければならない。その分の担当者の負担はあるが, これによって効率的かつ現実的な配送ルートの作成に成功した。

立ち寄り先	品名	仕入れ先	重量	体積	重量	体積	重量	体積	重量	体積
1	140	10	20	20	1	1	1			
2	140	10	20	20	2	1	1	1	1	
3	140	10	20	20	3	1	1	1	1	1
4	140	10	20	20	4	1	1	1	1	1
5	140	10	20	20	5	1	1	1	1	1

図 2 立ち寄り先情報の入力後の画面

機能3 計算結果の表示画面

「選択シート」の「3. 計算」のボタンを押すと、2種類の「計算結果シート」が作成される。1つは横軸の項目がトラック毎で、もう1つは工場毎になっている。これは、トラックの運転手と生産管理室の担当者にとって、それぞれ見やすい納入ダイアグラムが異なることから作り分けられている。なお、計算結果画面については、後ほど図3、図4にて示す。

4.2 システムの実行結果

実際に現在完成されているシステムを試用した際のデータと計算結果を示す。

計算に使用したデータは以下の通りである。

- 拠点名：拠点
- 車格：11t トラック
- 重量パラメータ：60
- 体積パラメータ：80

表1 試用した際の立ち寄り先データ (1)

立ち寄り先	積載重量 (t/日)	体積 (m ³ /日)	作業時間 (分/回)	立ち寄り回数
工場 A	10	20	15	2
工場 B	10	20	20	1
工場 C	10	20	15	2
工場 D	10	20	20	3
工場 E	10	20	15	1

表2 試用した際の立ち寄り先データ (2)

巡回回数	1回目		2回目		3回目		
	立ち寄り先	積載重量 (t)	体積 (m ³)	積載重量 (t)	体積 (m ³)	積載重量 (t)	
工場 A	2	1	0	0	0	0	0.5
工場 B	1	1	0	0	0	0	0
工場 C	1	1	1	1	0	0	0
工場 D	1	1	1	1	4	4	4
工場 E	1	1	0	0	0	0	0

以上のデータをもとに計算した結果については、以下の表3のようになった。

表3 配送ルート算出結果

ルート名	出発点	1番目	2番目	3番目	4番目	5番目	6番目
ルート1	拠点	工場B	工場D	工場A	工場C	工場E	拠点
ルート2	拠点	工場C	工場D	拠点			
ルート3	拠点	工場A	工場D	拠点			

システムでの結果表示画面は、以下の図3、図4の通りである。

図3はトラック毎に算出された計算結果シートである。1つの配送ルートに対してトラック1台が割り当てられる。

ルート1	拠点	工場B	工場D	工場A	工場C	工場E	拠点
所要時間(分)	50	5	20	1	20		
積載重量(t)	6						
体積(m ³)	5						

図3 トラック毎の計算結果シート (一部)

図4は工場毎に算出された納入ダイアグラムである。トラックは色毎に区別されている。

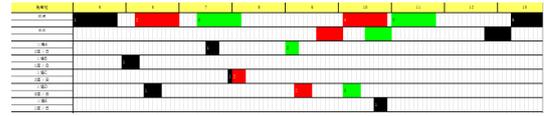


図4 工場毎の納入ダイアグラム

また、この実行結果の算出までに要した時間は約25秒である。

5 おわりに

今回、研究を委託されている工場のトラック配送ルートの自動算出システムの開発、およびシステムの実用化に向け取り組んだ。セービング法を用いることで効率の良い配送ルートを算出し、Excel上のVBAでシステムを試作した。

特に、セービング法をどう用いるか工夫した。当初は、回りたい仕入れ先工場をすべて入力し、配送ルート作成のすべてをシステムに委ねる仕様だったが、研究対象の企業に試用してもらおうと、現実性に欠けた配送ルートが作成されたり、トラック毎で荷量のばらつきが発生したりするなど、実用的でないことがわかった。このことを受け、われわれは「担当者がトラック1台あたりで回る仕入れ先工場や荷量情報を入力してから、システムが配送ルートを作成する」仕様に変更した。すべてシステムに委ねるのではなく、人による操作とシステムによる自動化を混合させたことで、トラック毎の荷量のばらつきを抑え、且つ現実的な配送ルートの作成に成功した。

また、ある巡回ルートに対して、手作業で配送ルートを作成すると約120分かかっていたところ、システムを利用して作成することで、作成時間は約30分にまで短縮した。試用の結果、システムが実際に担当者の負担を軽減できることがわかった。さらに、荷役時間の考慮など、今後の課題も新たにわかった。

今後も、システムを担当者に試用してもらい、手作業によるスケジュールと大きく異なる点はないか、システムで作成した納入ダイアグラムに不都合はないか確認していく。そして、そこから得られた知見をもとに、配送ルート作成者が意図した結果が得られるような定式化とシステムの改良を行っていく予定である。最終的には、トラック配送ルートの自動算出システムを実際の現場で使用していただけるように、今後も研究を進めていくつもりである。

参考文献

- [1] 古林隆：『ネットワーク計画法』 培風館，1984
- [2] 森雅夫，松井知己：『経営システム工学ライブラリー 8 オペレーションズ・リサーチ』 朝倉書店，2004
- [3] 田村浩平，中寫倫太郎，能登弘庸：『トラック配送ルートの自動決定システムの試作』，南山大学理工学部システム数理学科，2018年度卒業論文，2019