

トラック配送ルートの自動決定システムの試作

2015SS045 中島倫太郎 2015SS052 能登弘庸

2015SS074 田村浩平

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

我々の研究では、ある企業から委託されたトラック配送ルート問題をオペレーション・リサーチ (OR) の手法を用いて解決する。我々の研究室では、様々な委託研究を受けており、その中の1つとして、当該の企業からの委託研究がある。今回の問題背景として、この企業の生産管理の部品調達業務の中の問題があげられている。その企業には、様々な仕入先企業があり、発注を行っている。生産管理室では、発注による部品入荷量の管理と調達物量の効率化を目指している。生産管理室では、複数の仕入先を同一のトラックで巡回し、さらにそのルートを最適化をし、物流の効率化をはかりたいと考えている。この企業の目標として、物流費の低減と多回納品による荷量の少量化を目指しているからである。しかし、その生産管理室では、配送ルートを手作業で作成しており、膨大な手間と時間がかかるため、物流の効率化を阻んでいる。

また我々が、トラック配送ルートの自動決定システムを選んだもう1つの理由は、ルート最適化を1年でビジネスにした名古屋大学出身のベンチャー企業の存在にある。(参考文献 [1]) このベンチャー企業は、日本郵便の「ゆうパック」の配達ルートの最適化をする実証実験を行った結果、新人配達員の方で1回あたり50分、ベテラン配達員の方で1回あたり6分の時間の効率化を実現した。また、ゆうパック配達ルートの運用では、配達先住所を見ながら配達ルートを書き込んだ地図に記入していた。この作業もシステム化された事により大幅に時間を削減することに成功した。この記事を読んだ時に、我々の置かれている状況とこのベンチャー企業の状況が重なって見えた。我々が委託研究をしている企業も、配達ルートを手作業で組み、紙の地図にルートを書き込んでいる。つまり、私達が行う研究は、実際に名古屋大学出身のベンチャー企業のように、世の中の役に立ち、広く使われるシステムの開発である。これが様々な委託研究からトラック配送ルートの自動決定システムを選んだ理由の1つである。我々の研究ではその配送問題にORの手法を用いて行うため、最適なルートを自動的に行うことができると考えた。

今回、我々が主に利用したORの手法であるセービング法は、ごく簡単な方法なので、短時間でプログラムを作成することができた。これにより、ルートの決定者になるべく早くシステムの試作したものを利用してもらい、様々な状況の計算を試行することができる。我々の研究では、物流費の低減化に注力し、ExcelのVBAを使って自動化システムの構築をした。企業の方は、Excelの操作に慣れて

いると考えられるので、ExcelのVBAを使用した。また、配送ルートを決定したとしてもそれを地図上に表示する手段がない点も大きな問題点として浮かび上がった。企業の考え方としては地図上に配送ルートと立ち寄り先の地点の見える化を行いたいと考えている。本研究では、地図に多彩な描画が出来るため無料地図ソフトMANDARAを使用した。しかし、白地図のため道路が見えにくい。そのため、地図ソフトArcGISを使用した。ArcGISでは、配送ルートのマップ表示を鮮やかに表示できるようになった。

2 目的と期待される効果

我々の研究の目的は、ORの手法の1つであるセービング法を用いた配送ルートの割当てを自動的に行うことである。また、もう1つの目的は、ArcGISを用いて配送ルートを表示させることである。このシステムを実装することで期待される効果は、手作業で配送ルートの割当てを行った場合と比べ短時間で割当てを行うことである。また、ORの手法を用いているため、輸送コストの削減につなげることができる。ArcGISの期待される効果は、実際にトラックが通行する配送ルートを地図上に表示できるようになることである。

3 セービング法のプログラムを用いた配送ルートの自動化決定システム

3.1 セービング法について

配達経路問題に対するアプローチの1つであり、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。1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のも、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。

3.2 定義

- アルゴリズムとシステムの説明に必要な定義を行う。
- ・ N は集合で、 $N = 1$ を拠点を表す。 $N = 2 \dots, n$ を立ち寄り先とする
 - ・ w_i :各立ち寄り先 i の荷物の重量 ($i \in N$)
 - ・ v_i :各立ち寄り先 i の荷物の体積 ($i \in N$)
 - ・ w_{pi} :各立ち寄り先 i の荷物に対する重量パラメーター ($i \in N$)
 - ・ v_{pi} :各立ち寄り先 i の荷物に対する体積パラメーター ($i \in N$)

- ・ b :トラックの積載重量 (kg)
- ・ l :トラックの荷台寸法 (m)
- ・ d_{ij} :点 i から点 j までの距離 (km) ($i \in N, j \in N$)
- ・ f_i :立ち寄り先地点 i までに配送する荷物の体積の和 ($i \in N$)
- ・ y_i :各立ち寄り先 i の配送する荷物の体積の量 ($i \in N$)
- ・ q_i :立ち寄り先地点 i までに配送する荷物の重量の和 ($i \in N$)
- ・ a_i :各立ち寄り先 i の配送する荷物の重量 ($i \in N$)
- ・ r_i :各立ち寄り先 i を通るルート最後の配送地点 ($i \in N$)
- ・ t_i :立ち寄り先 i の最低立ち寄り先回数
- ・ k_i :立ち寄り先 i の立ち寄り先の工場名を表す

$$q_i + q_j \leq b (i \in N, j \in N, i \neq j) \quad (12)$$

$$f_i + f_j \leq l (i \in N, j \in N, i \neq j) \quad (13)$$

$$k_i \neq k_j (i \in N) \quad (14)$$

条件式の説明

式 (5) 各立ち寄り先 i の荷物の重量がトラック 1 台の積載重量以下である

式 (6) 各立ち寄り先 i の荷物の総重量がトラック 1 台の積載重量より大きい

式 (7) 立ち寄り先 i の最低立ち寄り回数が荷物の重量に重量パラメーター分を上乗せした分をトラックの積載重量で割った数を超えない

式 (8) 立ち寄り先 i の最低立ち寄り先回数が荷物の体積に体積パラメーター分を上乗せした分をトラックの荷台寸法で割った数を超えない

式 (9) 立ち寄り先 i の最低立ち寄り先回数が 2 以上である

式 (10) 各立ち寄り先 i の荷物の重量に重量パラメーター分を上乗せした分がトラックの積載重量を超えない

式 (11) 各立ち寄り先 i の荷物の体積に体積パラメーター分を上乗せした分がトラックの荷台寸法を超えない

式 (12) 立ち寄り先 i 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 (13) 立ち寄り先 i までの荷物の総重量がトラック 1 台の荷台寸法以下である

式 (14) 点 i と点 j の立ち寄り先が同名ではない。

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

$$s_{ij} = d_{i1} + d_{1j} - d_{ij} (i \in N, j \in N, i \neq j) \quad (1)$$

$$z = \sum_{i=2}^n (d_{1i} + d_{i1}) \quad (2)$$

$$wph_i = \frac{w_i}{wp_i} (i \in N) \quad (3)$$

$$vph_i = \frac{v_i}{vp_i} (i \in N) \quad (4)$$

数式の説明

式 (1) 点 i と点 j のセービング値

式 (2) 配送にかかる総距離

式 (3) 各立ち寄り先 i の荷物の重量に重量パラメーター分を上乗せする

式 (4) 各立ち寄り先 i の荷物の体積に体積パラメーター分を上乗せする

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

$$a_i \leq b (i \in N) \quad (5)$$

$$\sum_{i=2}^n a_i > b \quad (6)$$

$$t_i \leq \frac{wph_i}{b} (i \in N) \quad (7)$$

$$t_i \leq \frac{vph_i}{l} (i \in N) \quad (8)$$

$$2 \leq t_i (i \in N) \quad (9)$$

$$wph_i \leq b (i \in N) \quad (10)$$

$$vph_i \leq l (i \in N) \quad (11)$$

3.5 配達経路問題

点 1 から点 $i (i = 2, 3, \dots, n)$ へ a_i 単位の物品を配達することを考える。式 (5) と式 (6) を条件とする。また、点 i から点 j へ行くときの費用 (または距離) を c_{ij} とし、各店への配達は 1 回に限るものとする。配達量の和 b を超えないように点 1 以外の全ての点を 1 回ずつ含むようなくつかの組み合わせを考え、費用 (距離) が最小になるように求めるのが配達経路問題である。

3.6 セービング法を用いて作成した配送ルートのシステムのアルゴリズム

参考資料 [2] を参考にしてアルゴリズムを考案した。手順 ①各立ち寄り先 i が式 (7) または式 (8) を満たす場合 $t_i = 1$ とする。

手順 ② $h = 0$ と設定する。

手順 ③各立ち寄り先 i が式 (9) を満たす場合次の式を実行する。

$$wph_i = \frac{wph_i}{t_i} (i \in N) \quad (15)$$

$$vph_i = \frac{vph_i}{t_i} (i \in N) \quad (16)$$

実行した後 $t_i = 1$ を満たすまで次の式を繰り返す

$$h = h + 1 \quad (17)$$

$$wph_{n+h} = wph_i (i \in N) \quad (18)$$

$$vph_{n+h} = vph_i (i \in N) \quad (19)$$

$$k_{n+h} = k_i (i \in N) \quad (20)$$

$$t_i = t_i - 1 (i \in N) \quad (21)$$

すべて $t_i = 1 (i \in N)$ を満たした場合、 $N = n + h$ とする。手順④初期値を $r_i = i (i \in N)$, $a_i = q_i = wph_i (i \in N)$, $y_i = f_i = vph_i (i \in N)$ と設定する。

手順⑤各立ち寄り先の荷物が式(10)と式(11)を満たすまで、トラックは拠点からその立ち寄り先へ行った後拠点へ戻ってくるルートを構築し続ける。

手順⑥各2点の立ち寄り先のセービング値を式(1)を使い、計算する。セービング値の計算回数は $(n + 1)^2$ である。

手順⑦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、点 i と点 j が式(12)と式(13)と式(14)を満たし、点 i の配送ルートに k_j 、点 j の配送ルートに k_j の立ち寄り先名が含まれない場合、点 j を r_i に連結することとなるので、立ち寄り先 i と j は1つの配送ルートとなる。点 i と点 j が結合を行った際次の式を順に実行する。

$$q_i = a_i + q_j (i \in N, j \in N, i \neq j) \quad (22)$$

$$q_j = 0 (j \in N) \quad (23)$$

$$f_i = y_i + f_j (i \in N, j \in N, i \neq j) \quad (24)$$

$$f_j = 0 (j \in N) \quad (25)$$

$$r_i = j (i \in N, j \in N, i \neq j) \quad (26)$$

このとき、点 j を r_i に連結することとなるので、立ち寄り先 i と j は1つの配送ルートとなる。トラックの積載重量または荷台寸法を超える場合はルートの組み合わせを行わず、次にセービング値の大きい値をみつける。

手順⑧セービング値のすべての値を確認するまで手順⑦を繰り返す。すべて終了したら、ルートの構築を終了する。

3.7 企業からの要望

1. トラックの積載重量と荷台寸法が変わる場合がある。
2. トラックには上限台数がある。
3. 各立ち寄り先の荷物によって、トラックの荷台に使うスペースが違う。
4. 1回で1か所の立ち寄り先から荷物を大量輸送しても、荷物を置いておくスペースがない。

解決案

1. トラックの積載重量と荷台寸法を変数とし、毎回値を変更できるようにした。

2. 実行結果を表示する際トラックの上限台数を超えた場合、超えた台数分を表示するようにした。
3. 各立ち寄り先の荷物に、重量と体積のパラメータを変数としておいて、毎回値を変更できるようにした。計算式はそれぞれ、式(3)と式(4)となる。
4. 各立ち寄り先に最低立ち寄り回数を指定できるようにした。

3.8 セービング法のプログラムを用いたシステムで配送ルートを求める手順

ここでは、ExcelのVBAで作成したセービング法のプログラムの配送ルートの実行結果が得られるまでの手順を説明していく。また、セービング法を用いた配送ルートのプログラムの作成に際しては[2]を参考にした。

①立ち寄り先に重量、体積、重量パラメータ、体積パラメータ、最低立ち寄り回数を入力

| No | 社名 | 重量 | 体積 |
|----|-----|----|------|
| 1 | 工場1 | | 1111 |
| 2 | 工場2 | | 2222 |
| 3 | 工場3 | | 4444 |
| 4 | 工場4 | | 9000 |
| 5 | 工場5 | | 0 |

図1 重量、体積入力画面

| 重量パラメータ | 体積パラメータ | 拠点までの距離 | 最低立ち寄り回数 |
|---------|---------|-------------|----------|
| 80 | 60 | 16031.34971 | 1 |
| 80 | 60 | 1362.135734 | 1 |
| 80 | 60 | 18538.36409 | 1 |
| 80 | 60 | 1484.447398 | 1 |

図2 重量パラメータ、体積パラメータ、最低立ち寄り回数入力画面

②トラックの車格、荷台採寸、上限台数を入力

| 積載重量上限(kg) | トラック荷台採寸(m³) | トラック上限台数 |
|------------|--------------|----------|
| 11000 | 306 | 4 |
| 拠点 | 拠点の経度 | 拠点の緯度 |
| 拠点 | 135 | 35 |

図3 車格、荷台採寸、上限台数入力画面

③配送ルート作成のボタンを押す



図4 配送ルート作成ボタン

④配送ルートの結果を表示

| | | |
|---------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 |
| 走行距離(m) | 2968.894795 | 38515.26466 |
| 重量(kg) | 11000 | 9971.25 |
| 使用トラック | 11tトラック | 11tトラック |
| 配達ルート | 工場4 | 工場2 |
| | | 工場4 |
| | | 工場1 |
| | | 工場3 |

図5 配達ルート結果画面

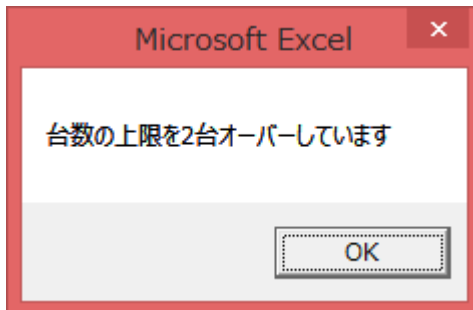


図6 トラック上限台数を越えた場合

| | | | | | |
|---------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 走行距離(m) | 27950.6021 | 114466.6506 | 104450.585 | 38023.02817 | 37076.72818 |
| トラックに集せ | 11000 | 10215.20833 | 8715.20833 | 1145.833333 | 312.5 |
| 使用トラック | 11tトラック | 11tトラック | 11tトラック | 11tトラック | 11tトラック |
| 配達ルート | 工場5 | 工場1 | 工場4 | 工場3 | 工場2 |
| | | 工場4 | 工場3 | | |
| | | 工場3 | | | |
| | | 工場2 | | | |

図7 トラック上限台数を越えた場合

トラックの上限台数を越える便数になった場合、図6のようなウィンドウがポップアップされます。また超えている便数の配達ルートは図7のように赤色の文字で表示されます。

3.9 実行結果

立ち寄り先が15ヶ所の場合、約2秒で結果を表示することが出来、立ち寄り先が100ヶ所の場合、約20秒で結果を表示することが可能である

このシステムを用いることで、トラックの台数を減らせる可能性がある。その場合、輸送費のコストを大幅に削減することが可能である。

また、距離だけで見た場合、単純ルートの走行距離は式(2)となるが、立ち寄り先点*i*と点*j*の配達ルートが結合された場合、 s_{ij} 分の距離が減少する。そのため、走行距離の削減が出来る。

4 MANDARA を用いた配達ルートの表示

4.1 無料地図ソフト MANDARA について

無料地図ソフト MANDARA とは、塗りつぶしやハッチ、記号の大きさや等値線、段彩図など各種データを多彩な表現方法で地図上に示し、空間的な情報をわかりやすく伝えることができるものである。1つの特徴として、それらのデータが Excel 上にあるならば、MANDARA に取り込み簡単に地図化できることが挙げられる。詳しい操作方

法や実行結果は付録に記述する。

5 地図ソフト ArcGIS について

ArcGIS とは、個人から大規模組織までの幅広いユーザーの利用形態に対応できるように、様々な地理情報を持っているシステムソフトウェアである。単体の機能の利用から任意の組み合わせによるシステムの構築を、システム規模やコストなどから柔軟に対応できる。これにより、地理空間情報や関連情報を統合して状況把握・分析、意思決定、問題解決、情報伝達が可能になる。

6 地図ソフト ArcGIS における Map 表示

新しいマップを開く

①「ベースマップ」から「道路地図」を選択。

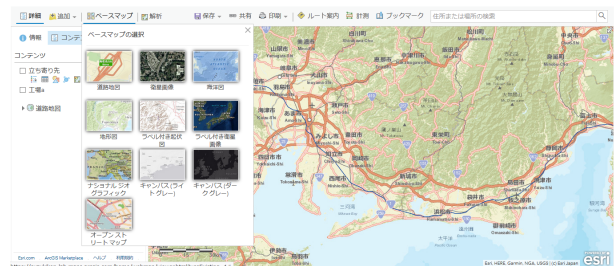


図8 「ベースマップ」から「道路地図」を選択

②「追加」から「ファイルからレイヤーを追加」を選択。

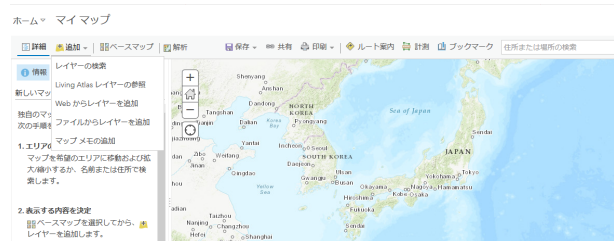


図9 「ファイルからレイヤーを追加」を選択

③拠点となる地点の経度、緯度情報を持ったテキストファイルを選択。

④「レイヤーのインポート」を選択。

⑤「場所フィールド」1行目は「経度」、2行目は「緯度」を選択し、「レイヤーの追加」をクリック。

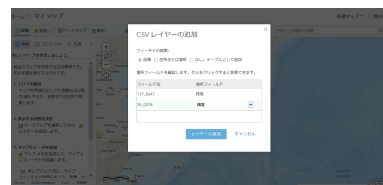


図10 レイヤーの追加画面

⑥「描画スタイルの選択」から「場所(単一シンボル)」のオプションを選択。目的の地点を表すシンボルの色や大き

さを任意に設定できる。「OK」ボタンをクリックすることで、表示の設定が完了する。

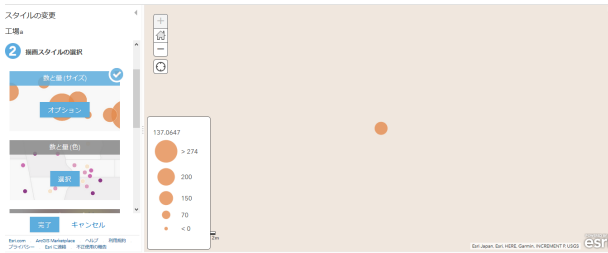


図 11 描画スタイルの選択

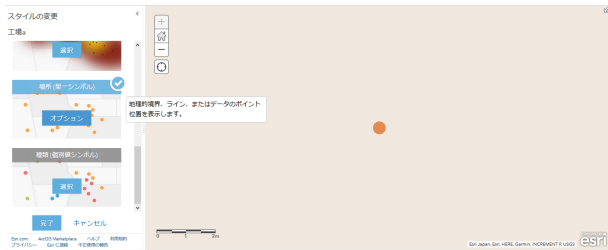


図 12 場所 (単一シンボル) のオプション

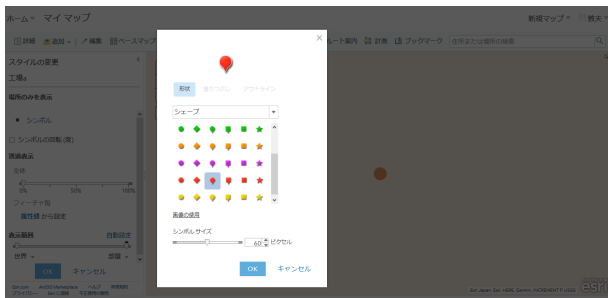


図 13 シンボルの色，形状選択画面

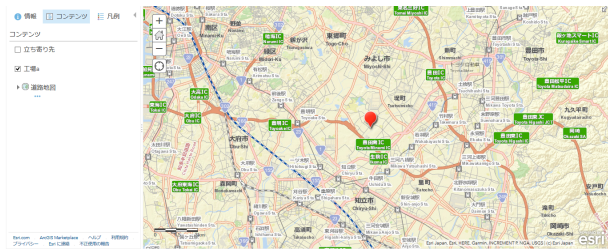


図 14 拠点のマップ表示の例

⑦「コンテンツ」の拠点となる地点のレイヤーから「その他のオプション」を選択し、「すべてのフィーチャーへのルート」をクリックする。



図 15 「すべてのフィーチャーへのルート」をクリック

⑧立ち寄り先のシンボルをクリックして「ルート案内の取得」を選択する。これを全ての立ち寄り先に対して行う。



図 16 「ルート案内の取得」を選択

⑨「トラック輸送距離」を選択する。「オプション」を開き、「ルートの最適化」と「スタートに戻る」にチェックを入れる。



図 17 「トラック輸送距離」を選択、「ルートの最適化」と「スタートに戻る」にチェックを入れる

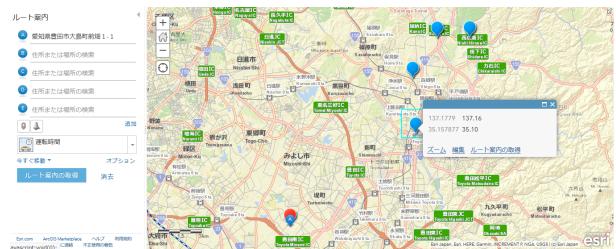


図 18 「ルート案内の取得」をクリック

⑩最後に「ルート案内の取得」をクリックする。以上の手順により、配送ルートマップ表示が完了する。

7 地図ソフト ArcGIS における Map 表示の実行結果

ArcGIS を用いた配送ルートの Map 表示の例



図 19 配送ルートの Map 表示の例

8 地図ソフト ArcGIS における道路距離の算出

セービング法で用いる 2 点間の道路距離を、ArcGIS によって算出した。

| Route Name | Trucking Distance (Kilometers) | Route Layer Item | Origin ID | Destination ID | Origins Layer: 137.159068 | Origins Layer: 35.13268 |
|------------|--------------------------------|---|-----------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 - 4 | 0.31 | https://suzukken-lab.maps.arcgis.com/home/item.html?id=f93f40811d2a4949495c8a79a2d4d1c1c1 | 1 | 4 | 137.16 | 35.13 |
| 1 - 17 | 1.82 | https://suzukken-lab.maps.arcgis.com/home/item.html?id=f944c4f28685f42c6ca08818543f4131f1 | 1 | 17 | 137.16 | 35.13 |
| 1 - 10 | 3.92 | https://suzukken-lab.maps.arcgis.com/home/item.html?id=2e812222284f32b73be33051e1290c | 1 | 10 | 137.16 | 35.13 |
| 1 - 18 | 4.61 | https://suzukken-lab.maps.arcgis.com/home/item.html?id=27f6208be77c414c99514bd1c58a9b32 | 1 | 18 | 137.16 | 35.13 |

図 20 2 点間の道路距離の一覧

上図の「Trucking Distance(Kilometers)」の行が 2 点間の道路距離を表している。

9 地図ソフト ArcGIS の利点

インターネットに接続してマップを作成するので、マップの情報は常に最新のものになっている。あらゆる地理情報を保持しており、あらゆる表現方法が存在するので、例えば 2 地点間を直線ではなく実在する道路で結ぶことができる。

9.1 実行結果

セービング法によって得られた配送ルートを少しの操作によって、簡便に地図上に表示できるようになった。ArcGIS によって、無料地図ソフト MANDARA を用いて配送ルートをマップ表示した場合よりも見やすい地図を作成することが出来た。

10 今後の課題

現在、セービング法のプログラムのプロトタイプは完成したが、まだ企業の方から見て使いづらい点や条件が

加わる可能性が大いにある。また、現在は最短距離で算出しているが、最小の走行時間を算出できるようにすることや、走行時間が決まっている場合、その時間内に配送ルートを回れるかの実験を行うことが出来るようにしたい。ArcGIS と Excel の VBA のプログラムの連携させることや、ArcGIS の自動化も今後の課題として挙げられる。

11 おわりに

我々の研究では、セービング法のプログラムを用いた配送ルートの自動化決定システムを作成し、ArcGIS を利用して配送ルートを地図上に表示した。セービング法のプログラムを用いた配送ルートの自動化決定システムでは、トラックの積載重量や荷台寸法、各立ち寄り先の荷物の重量と体積のパラメーターと最低立ち寄り回数を任意に設定出来るように、VBA を使い Excel 上で設定出来るようにした。また、トラックの上限台数を Excel 上で決め、トラックの上限台数を越えた場合、別ウィンドウでポップアップさせ超えた台数分を表示するプログラムも組むことができた。Excel 上のインターフェイスでは、前回のセービング法のプログラムで出力した結果をクリアできるクリアボタンや Excel 上からプログラムを起動出来るようにするボタンも作成する事が出来た。

また、企業側が配送ルートを地図上に表示したいという要望が強かった。ArcGIS では、実在する道路を地図上に表示することができるので、配送ルートを見やすく表示することが出来た。

参考文献

- [1] 星原康一『IT search 数億円調達! ルート最適化を 1 年でビジネスにした名大発ベンチャーの原点』
<https://news.mynavi.jp/itsearch/article/bizapp/3767>
- [2] 古林隆『プレイマイコン・シリーズ 6 ネットワーク計画法』培風館, 1984