

# 交通事故減少に向けた道路網の数理的分析

## —ラウンドアバウトと右折禁止に着目して—

2019SS074 鈴木翔貴

指導教員：三浦英俊

### 1 はじめに

愛知県の交通事故死亡者数は、平成15年以降16年連続ワースト1位という記録が続き、令和元年以降はワースト2位であった[1]。道路形状別の事故発生場所の割合を見ると、交差点が全体の54.1%を占めている[2]。この結果から、交差点の安全性の確認や見直しが必要であると考えられる。

そこで、本研究は交通事故減少に向けた手法として、ラウンドアバウトと右折・Uターン禁止通行の2つに着目する。ただし紙面の都合上、本稿では右折禁止通行についてのみ記述する。また本研究では、最短経路を通る通行を自由通行、右折(Uターン)を禁止する通行を右折禁止通行と定義する。

### 2 研究の背景

交通事故を減少させる対策の一つとして本研究は、右折禁止通行に着目する。その効果として、アメリカの大手運送会社のUPS社の配送トラックは、いつも最短経路を走っているのではなく、やむを得ない場合を除き、「交差点で対向車線を突っ切って左折することを極力避ける」という方針を採用している。これにより、交通事故を減らせる可能性があり、トラック使用台数を年間1,100万台も削減し、遠回りの経路を採るにもかかわらず、全社の総走行距離を2,850万マイル(約4,600万km)も短縮することができたと報告されている[3]。一般に、右折禁止通行は、郊外や地方部よりも交通量の多い都市中心部で有効な通行方法と考えられる。

### 3 研究の目的

本研究は、名古屋市中心部の複数地点を巡回するトラックの移動を想定し、交差点で右折禁止通行と何も規制がかけられていない状況の自由通行との最短巡回距離がどの程度長くなるのかを調べることを目的とする。

### 4 定式化

総移動距離が最小となる経路を求めるために、以下のよな集合や変数を定義する。

- 集合の定義
  - $E$ : 枝集合
  - $V$ : 頂点集合
  - $s$ : 経路の始点 ( $s \in V$ )
  - $t$ : 経路の終点 ( $t \in V$ )
  - $S$ : 頂点  $V$  の部分集合

$E_{i,j}^{prev}$ :  $i$  を終点とするリンクのうちリンク  $(i,j) \in E$  へ左折または直進となるリンクの集合

$E_{i,j}^{next}$ :  $i$  を始点とするリンクのうちリンク  $(i,j) \in E$  から左折または直進となるリンクの集合

- 変数とパラメータの定義

$w_{i,j}$ : 枝  $i,j$  の持つ重み ( $i,j \in V$ )

$z_{i,j} \in \{1,0\}$ : 始点を  $i$ , 終点を  $j$  とする有向リンクが最短路に含まれるなら1, その他0となる決定変数

$M$ : 非常に大きな定数

- 自由通行の定式化

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \sum_{(i,j) \in E} w_{i,j} z_{i,j} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in V} z_{i,j} - \sum_{j \in V} z_{j,i} = \begin{cases} 1 & (i = s) \\ 0 & (\forall i \in V \setminus \{s, t\}) \\ -1 & (i = t) \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

- 右折禁止通行の定式化

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \sum_{(i,j) \in E} w_{i,j} z_{i,j} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in V} z_{i,j} - \sum_{j \in V} z_{j,i} = \begin{cases} 1 & (i = s) \\ 0 & (\forall i \in V \setminus \{s, t\}) \\ -1 & (i = t) \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{If } z_{i,j} = 1 \text{ then } \sum_{(j,j') \in E_{i,j}^{next}} z_{j,j'} \geq 1 \quad ((i,j) \in E, j \neq t)$$

$$\iff \sum_{(j,j') \in E_{i,j}^{next}} z_{j,j'} \geq 1 - M(1 - z_{i,j})$$

$$\text{If } z_{i,j} = 1 \text{ then } \sum_{(i',i) \in E_{i,j}^{prev}} z_{i',i} \geq 1 \quad ((i,j) \in E, i \neq s)$$

$$\iff \sum_{(i',i) \in E_{i,j}^{prev}} z_{i',i} \geq 1 - M(1 - z_{i,j})$$

### 5 シミュレーション

本研究は名古屋市のネットワークにおいて、自由通行時と右折禁止通行時それぞれ地点数を増加させた場合の巡回セールスマン問題を解く。そしてその時の平均巡回距離を以下の4パターンに分けてシミュレーションを行う。しかし紙面の都合上、実際の名古屋市の道路網についてのみ記述する。

- 実際の名古屋市の道路網 ノード数: 35, リンク数: 114, 面積: 6.63(km<sup>2</sup>) (図1に示す。)

- 3 × 3 の格子状ネットワーク ノード数：9，リンク数：24，リンク長：1.5
- 6 × 6 の格子状ネットワーク ノード数：36，リンク数：120 リンク長：0.5
- 12 × 12 の格子状ネットワーク ノード数：144，リンク数：528 リンク長：0.25

また以下の手順でシミュレーションを行う。

1. 各ネットワークのリンクにランダムに 100 地点 (3 × 3 の格子状ネットワークの場合は 24 地点) ノードを追加し，それらの距離行列を生成する。
2. 1 の追加されたノードから無作為に 5, 10, 15, …, 50 地点選び，距離行列をもとに巡回セールスマン問題の移動距離を求める。
3. 2 の処理を 10000 通り繰り返し，巡回セールスマン問題の平均移動距離を求める。

## 6 ネットワーク

ネットワークは以下の通りである。

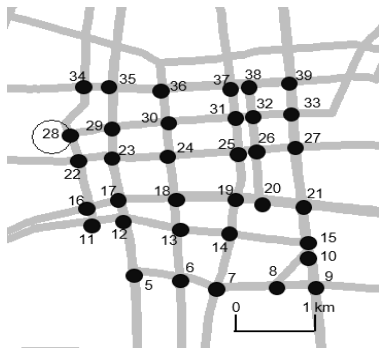


図 1 実際の名古屋市の道路網

## 7 結果と考察

図 1 のネットワークにおいて，地点数を変化させたときの自由通行・右折禁止通行の平均移動距離，それらの距離の差，巡回路で右折せざるを得なかった回数，巡回路で直進・左折のみだった回数，BHH 定理における巡回セールスマン定数を求めた。また格子状ネットワークにおいては平均移動距離とリンク長との割合も算出した。右折せざるを得なかった回数とは，10000 回のシミュレーションにおいて，右折しなければ巡回路として成り立たなかった回数のことであり，直進・左折した回数は，10000 - 右折せざるを得なかった回数である。ただし，BHH 定理についての考察は紙面の都合上省略する。

以下図 2 に実際の名古屋市の道路網の地点数と平均距離を示す。

図 2 より，地点数が増加するごとに自由通行時の移動距離と右折禁止通行時の移動距離の差の増加量が減少していることは確認できる。さらに，右折禁止通行時の巡回距離は，自由通行時の巡回距離に対して約 1.44 倍であった。した

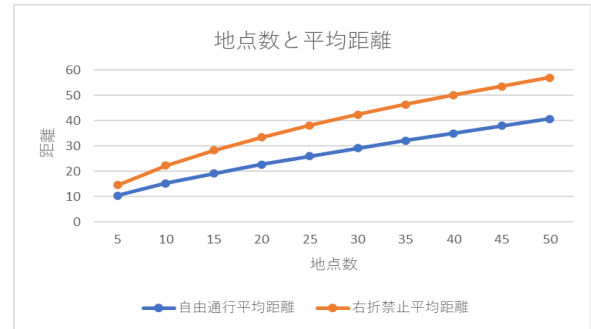


図 2 実際の名古屋市の道路網の地点数と平均距離

がって，交通事故をなくすために右折禁止規制をかけることで，移動距離が約 1.44 倍かかるということを得た。

## 8 おわりに

本稿では記述できなかったが，本研究では以下の三点が得られた知見である。第一に右折・U ターン禁止規制をかけることにより，自由通行時に比べ，約 1.4 倍のコストがかかる。第二に直線距離の巡回セールスマン問題は，地点数が増加するごとに巡回セールスマン定数が 0.72 に向けて収束する。第三に本研究のネットワーク程度の規模では，巡回セールスマン定数は 0.72 の 1.3 倍よりも大きくなり，道路距離は直線距離の 1.3 倍よりも大きな値を得た。今後の取り組みとして，格子数・ネットワークを拡大させた際に，自由通行時と右折禁止通行時でどのような関係があるのかを調べていきたい。

## 参考文献

- [1] 名古屋国道事務所：『交通事故発生状況と事故ゼロプランの取り組み』。 <https://www.cbr.mlit.go.jp/meikoku/activity/safety/content01.html>, (2022 年 5 月 25 日閲覧)
- [2] 三井住友海上：『自動車事故の発生状況』。 <https://www.ms-ins.com/special/rm\car/accident-data/> (2022 年 5 月 25 日閲覧)
- [3] GE ジャパン：『世界最大の配送会社 UPS が効率化に成功した意外な秘策とは？』。 2017, <https://www.gereports.jp/ups-dont-turn-left/> (2022 年 5 月 25 日閲覧)
- [4] 土屋翔斗，本間裕大：『スケジュール決定者の裁量権を維持した複数巡回セールスマン問題も見積もり』，生産研究 (東京大学生産技術研究所) 70 巻 4 号, 2018 年 [https://www.jstage.jst.go.jp/article/seisankenkyu/70/4/70\241/\\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/seisankenkyu/70/4/70\241/\_pdf)
- [5] 腰塚武志，小林純一：『道路距離と直線距離』，昭和 58 年度第 18 回日本都市計画学会学術研究発表会論文集
- [6] 袖山仁志，栗田治：『移動距離・所要時間・燃費消費量に着目した右折禁止規制の効果』，公益財団法人日本都市計画学会都市計画論文集 Vol.56 No.3, 2021 年 10 月