

名古屋市におけるパトロールの最適巡回路

2004MM001 青木 ひと美 2005MM076 高木 大輔
指導教員 鈴木敦夫

1 はじめに

愛知県におけるひったくりは、平成 17 年までは年間 3000 件を超すほど多く発生していた。平成 18 年度以降は半減したものの、未だに全国ワースト 5 という状況である。ひったくり等の身近で起こりうる犯罪を予防し、地域住民の安心を取り戻すための一つの方法として、愛知県警察はパトロールを行っている。しかし、そのパトロールは長年の勘と経験に基づくものであることから、最適なものとは言えず、地域住民を満足させるものではない。また、パトロールのために配置できる人数には限度があり、すべての地域を終始見回すことも困難である。

そこで、本研究ではまずひったくりに着目し、身近で起こりうる犯罪を防止するためのパトロールの最適巡回路を考える。そして少ない人員でのパトロールでも地域住民を安心させ、さらに愛知県警察の手伝いできればと思う。本研究での最適巡回路は、ひったくりが起こる可能性のある道路をより多く通り、ひったくりを未然に防ぐものとする。

2 データの概要

2.1 基盤データ

愛知県警察より、愛知県名古屋市の中からひったくりの多い 6 区（千種区、東区、北区、西区、中村区、中区）における 2004 年から 2007 年のひったくりデータの提供を受けた。データの内容は以下の通りであった。

- 犯罪発生地
- 既遂または未遂
- 発生日時
- 発生場所の区分
- 被害者の性別
- 被害者の年齢
- 被害者の職業
- 被害総額
- 現金被害額
- 被害者の形態
- 被疑者の形態

本研究を進めるにあたり、同地域の道路データを作成した。道路データは、国土地理院が販売している数値地図 2500（空間データ基盤）を使用する。道路線と道路接点の接続関係より道路ネットワークの構成を行い、交差点から交差点までを一つの道路データとして扱うことにした。道路は有向グラフではなく、無向グラフとして扱う。そして、平面直角座標系の第 7 系より道路の位置を座標上で表し、道路データの属性を以下のように絞った。

- 道路 ID

- x_i : 交差点 i (一方の交差点) の x 座標
- y_i : 交差点 i の y 座標
- x_j : 交差点 j (他方の交差点) の x 座標
- y_j : 交差点 j の y 座標

さらに、後の章でひったくりが起こる可能性の高い道路を特定した後、巡回セールスマン問題として巡回順を導くため、道路データから中心の位置座標をとってノード状に変換する作業を行う。

ノード状に変換した後の道路データの属性を下記のようにする。

- 道路 ID
- X : 中心点の x 座標
- Y : 中心点の y 座標

ノード状への変換作業は以下の式で表される。

$$X = \frac{x_i + x_j}{2}, Y = \frac{y_i + y_j}{2}$$

2.2 犯罪発生地の特定

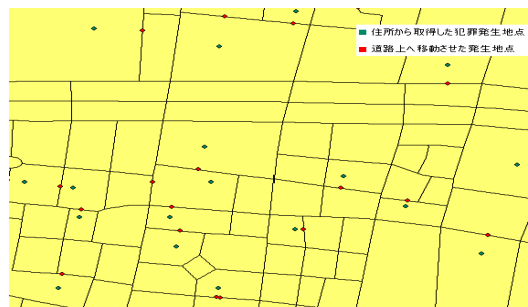


図 1 ポイントの移動

ひったくりデータのうち、犯罪発生地の欄には、住所とその住所からの方角が記載されているものもある。ひったくりの発生区分のほぼ全てが道路上であったことから、与えられた住所からより正確な発生場所を追求する必要がある。そこで、まずアドレスマッチングをして発生場所の住所の緯度・経度を取得した。その後、方角の指定のないものに対しては、取得した緯度・経度から最も近い道路上の点を発生場所とし、方角（8 方位）の指定があるものに関しては、指定された方角にあつて最も地点から近いものを採択する。そして、ひったくりの発生地を道路上に移動させた後、そのデータから各道路（交差点から交差点まで）がもつ危険度を導き、各道路データに付加する。危険度はカーネル密度関数を利用し、ひったくりの頻度と周期を考慮して求めている。¹

¹ 具源龍先生の協力を得ました。

2.3 犯罪発生地に関連するデータについて

ひったくり等の犯罪を考えるにあたって、関連されると予測される周辺施設のデータと犯罪発生時の天気データを取得した。周辺施設のデータとして、以下の住所情報をタウンページや各施設のホームページより取得し、アドレスマッチングによりそれぞれの位置情報を取得した。

- コンビニエンスストア
- 銀行 (ATM も含む)
- 駅
- 郵便局
- 警察署

天気データに関しては、気象庁のホームページより4年間分の3時間ごとのデータを、perl と sed を用いて取得し、犯罪発生時刻に最も近い天気を当時の天気として扱う。データの属性は以下の4つに絞る。

- 天気
- 降水量
- 気温
- 風速

3 データの分析と考察

3.1 基本的な統計量の計算

パトロール巡回路作成の手助けとなることを期待し、上記のひったくりデータや関連データをもとに基礎分析を行った。

被害者の性別においては女性が約95%、犯罪発生地に関して約97%が道路上であることがわかった。

発生時間と年齢の2つの属性の関連をひまわりプロットで分析した(図2)。横軸が時間、縦軸が被害者の年齢で表されているのだが、10時から17時の昼間の時間帯は被害の多くが高齢者であり、一方、17時以降の深夜の時間帯になると若者が集中して被害にあげていることがわかる。また、犯行の約70%がオートバイ、被害者の約

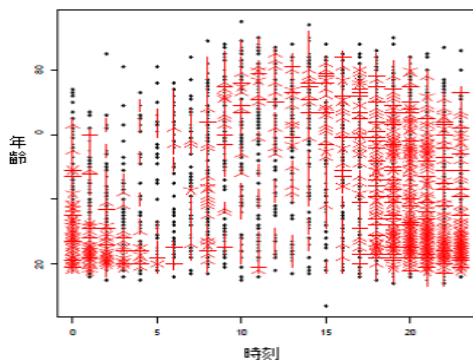


図2 基礎分析結果

87%が徒歩であることがわかった。

ひったくりは現場で取り押さえることが困難である。そのため、ひったくり犯罪を未然に防ぐパトロール巡回路を考える必要性が改めて感じられる。

次に天気との関連について分析を行った。

雨が降ると犯罪件数が減少することがわかった。路面が濡れているとスリップする危険性が高くなり、逃走することが困難になる。さらに、雨が降っていると歩行者は傘を差すため、スピードの出ているオートバイでの犯行が難しくなるのではないかと考えられる。

3.2 GISを用いた分析

関連データとひったくりとの関連性や、基礎分析で得たことを参考に、GISを用いて空間分析を行った。

10時から17時の昼間の時間帯は高齢者の被害が比較的多いことがわかっているのだが、対象地域のほぼ全体に分布していることがわかった。23時から0時の夜間の時間帯は、基礎分析から若者が多く被害にあげていることがわかっている。その時間帯の犯罪発生状況は、中区、市営地下鉄東山線沿い、名古屋駅付近に多く犯罪が発生していることがわかった。中区は商業施設が多くあり、特に夜間は若者が多く集う地域であるということが関連しているように感じられる。名古屋駅、東山線沿いに関しては、帰宅時間には特に人の移動量が多くなるため犯罪も多く発生しているのだと考えられる。また、徒歩10分

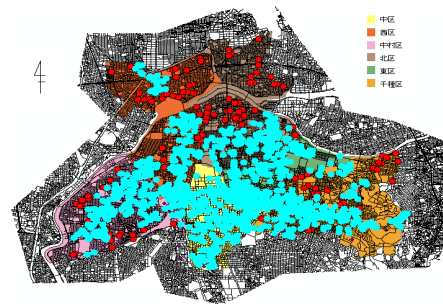


図3 18時から21時の駅周辺の犯罪発生分布

で移動可能な距離は約800mと言われているのだが、帰宅時間のピークとなる18時から21時において、駅からの距離が800m以内で発生したひったくりの割合は全体の約90%であった(図3参照)。このことから、駅とひったくり犯罪は大いに関連があり、夜間は駅周辺が危険であることがわかる。

4 アルゴリズムについて

本研究では節2.2により導いた各道路の危険度に注目し、危険度の高い道路を選定し、二段階に分けて解法を進めていく。第一段階として、選定された道路を必ず巡回する道路として巡回セールスマン問題を解く。その後、実空間上でパトロールの最適巡回路を求めていく。本研究ではこの方法を二段階構成解法と呼ぶことにする。

4.1 二段階構成解法

本研究による二段階構成解法とは、巡回セールスマン問題と最短経路問題を組み合わせた解法である(図4参照)。第一段階ではこの問題を巡回セールスマン問題として解き、危険度の高い道路の上位数個を巡回する順序を導く。ここでは、警察署も含め、選定された各道路間は直線距

離で算出する．第二段階では，第一段階で求められた道路の巡回順序に対し，最短路問題として実道路上で経路を求めていく．

本研究では，第一段階の巡回セールスマン問題に関しては，巡回セールスマン問題パッケージ (TSP) の利用，セービング法，セービング法 の3種の手法を用いた．第二段階の最短路問題に関しては，線形計画法，ダイクストラ法，ダイクストラ法拡張版の3種類の手法を用いる．

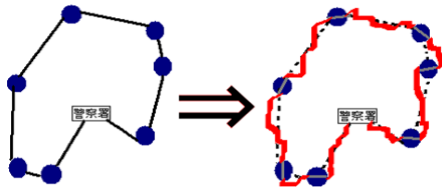


図 4 二段階構成解法

4.2 解法の流れ

以後の説明に用いるにあたり，記号をここで定義する．
記号の定義

- I : 道路ノードの添え字集合
 - I' : 選定された道路ノードの添え字集合
 - p : 危険度を变化させる割合
 - C : パトロールカーの台数
 - X_i : 道路ノード i の x 座標 ($i \in I$)
 - Y_i : 道路ノード i の y 座標 ($i \in I$)
 - d_{ij} : 道路ノード i, j 間の直線距離 ($i, j \in I$)
 - L_1 : 選定する道路ノード間の最低距離
 - L_2 : 総移動距離の上限
 - a : 移動距離を变化させる割合
- ひたたくり犯罪の危険度を含む道路データを入力データとし，以下の流れで解法を進めていく．

Step1. 危険度の調整

必要があれば，パトロールカーの巡回路を求める前に調整を行う．2 台目以降のパトロールカーに対しては，パトロールカーが同じ経路ばかりを通ることを回避するため，一度通った道路の危険度を割合 p で減少させる．また，分析結果を用いて危険度を調整する場合は，割合 p' で増減させる．

Step2. ノードの選定

それぞれの道路が持つ危険度を高い順に並びかえ，そのうち上位数個を必ず通過する道路ノードとして選定する．ただし，選定する地点が偏りすぎないように，相互に一定以上距離が離れたノードを選択するため，以下の制約をつける．

$$d_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \geq L_1 \quad (i, j \in I)$$

Step3. 巡回セールスマン問題 < 第一段階 >

選択された道路ノードと警察署を通る巡回路のうち移

動距離が最小となる順序を求める．各道路ノード間は直線距離 $d_{ij}(i, j \in I')$ により算出する．

Step4. 選定するノード数の調整

求められた巡回路に対し，移動距離が長すぎる場合には選定する道路ノード数を減少させ，短すぎる場合には選定する道路ノード数を増加させて，Step2 へ戻る．総移動距離が設定した限界距離 L_2 を超えない範囲内で，できるだけ多くの道路ノードを選択する．

Step5. 実空間上でのルート決定 < 第二段階 >

求められた巡回順序の道路ノード間経路を実道路上で求める．このステップでは最短路を導くダイクストラ法を元に，割合 a を増加させた値以内で道路ノード間の危険度の最大化を目指す．

Step6. 確認

Step5. により求められた総移動距離に対し，もう一度 Step4 と同じ確認作業を行う．直線距離から実道路上への変換により，移動距離は確実に増加しているため，総移動距離が移動距離の限界値を超える場合は選定する道路ノード数を減少させ，再度 Step2 へ戻る．ただし，今後は Step4. は省略する．

以上のステップをパトロールカーの台数 C 回分繰り返して，パトロールの最適巡回路を構築していく．

4.3 巡回セールスマン問題

巡回セールスマン問題とは，ハミルトン経路問題の応用問題であり，指定されたすべての訪問地を一度ずつ経由して最短の時間でもとの位置に戻ってくる経路を探す問題である．

本研究では，必ず通過する道路ノードを定めた後，それらの道路ノードを巡回し警察署に戻ってくる巡回路を求める．各道路ノード間の直線距離を算出し，選ばれた全ての地点と警察署を回る巡回路のうち，移動距離が最小化される巡回順序を求める．道路ノードを通過する順序決定については，巡回セールスマン問題パッケージ，セービング法，セービング法 を用いる．セービング法と容量制約付きセービング法 の実行例を図 5 に示す．

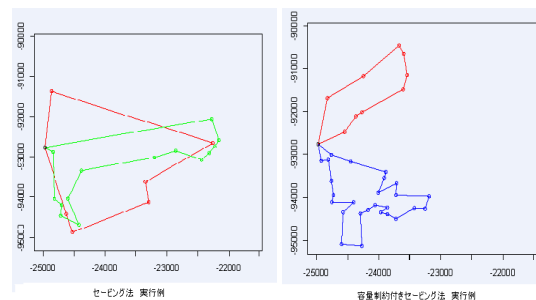


図 5 第一段階 実行例

4.4 危険度の最大化

本節では，移動距離限界値を超えることなく，出発地から目的地までの危険度の最大化を行うため，ダイクストラ法を拡張させたアルゴリズムを説明する．

< 変更点 1 > ダイクストラ法では各交差点ノードに距

離を表すスカラー値のラベルを保持させる．それを拡張版では，各交差点ノードに(距離，危険度)を表すベクトル値のラベルを保持させる．

<変更点2>:ダイクストラ法では各ノードにラベルを1つ保持させるが，拡張版では各ノードにラベルを複数保持させる．ただし，距離の制約値以下のものだけを保持させ，制約値を超える場合にはその値は消去する．(距離，危険度)のラベルを各交差点ノードに保持させ，総移動距離の制約内で回ることができる巡回路を求めていく．総移動距離の制約内で確定できる交差点ノードを更新し，終点の危険度が最大となる値から逆順を辿って巡回路を作成していく．ダイクストラ法とは異なり，一つの交差点ノードには複数の経路情報が存在する．そのため，終点Gが保持している最大の危険度Rが，どの経路を辿ってきたのかを終点から順に導いていく過程で次のように確認していく．まず，最大となった危険度Rから，直前の交差点ノードjと終点G間の危険度を引いた値 $R - R_{Gj} \times l_{Gj}$ と同じ危険度情報を保持しているノードjを見つけ，終点として更新する．これを $R = 0$ となるまで繰り返すことで巡回路を得る．

5 実行結果

今回は東区の実行結果を表示していく．実行結果に関しては，第一段階は巡回セールスマン問題パッケージ，セービング法，セービング法を用い，第二段階は第一段階のそれぞれに対してダイクストラ法で実道路上の経路を導いた．今回は1台のパトロールカーの総移動距離の上限を10000m(10km)，パトロールカーの台数を2台に統一し，結果を比較する．10kmは，実道路上で1時間でパトロールカーが走行できる距離の平均値である．ここでは，1台目のそれぞれの方法の結果を表1に載せた．

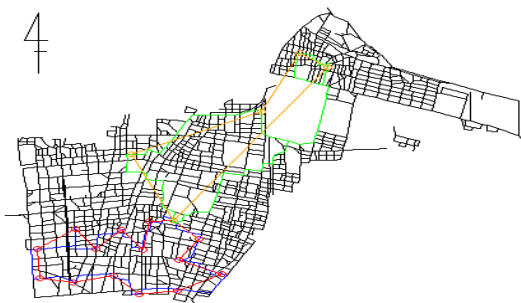


図6 東区 セービング法 +ダイクストラ法

表1 東区実行結果

東区	移動距離	危険度の和
TSP パッケージ	7623.506	2111.294
セービング法	9908.478	3194.743
セービング法	7076.504	2364.282
セービング法 + 拡張版	8169.962	3281.821

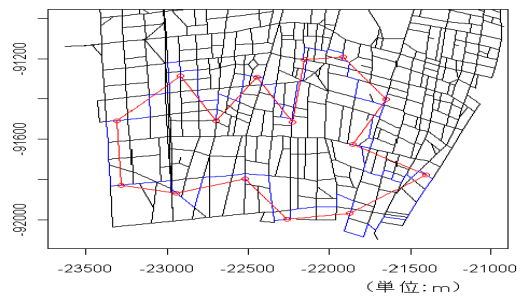


図7 危険度最大化を目的

6 おわりに

本研究では，ひたつくりの起こる可能性のある道路をより多く通るパトロール巡回路の作成に試みた．第一段階のそれぞれの方法を比較すると，精度はセービング法またはセービング法が良いようだ．ただし，複数台のパトロールカーで，同じような経路か，違う方面の経路を巡回するかによって，セービング法と容量制約付きセービング法を使い分ける必要がある．

一方，第二段階に関しては，第一段階で求めた道路ノード間における実空間上経路において，巡回可能とする範囲を限定することで，ダイクストラ法で最短経路を求めることは比較的容易となった．しかし，危険度が高い点が警察署から遠い場所に位置している場合や，川などの地形によって満足できる巡回路が得られないこともある．そのような場合には，パトロールカーだけではなく，徒歩，自転車，バイク，ヘリコプターによるパトロールによって互いにフォローしあう必要があり，相互の巡回経路の組み合わせも考えていく必要がある．

また，今回はすべての道路に対し，どちらからも走行できるように無向グラフとして考えたのだが，実際には一方通行などの制限のある道路も存在するため，今後は有向グラフとして考える必要もあると思う．

参考文献

- [1] 愛知県警察ホームページ
<http://www.pref.aichi.jp/police/>
- [2] 国土地理院ホームページ
<http://www.gsi.go.jp/>
- [3] CSV アドレスマッチングサービス
<http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/modules/csv-admatch0/>
- [4] 気象庁ホームページ
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- [5] 久保幹雄：ロジスティクス工学，朝倉書店(2001)
- [6] 間瀬茂：R プログラミングマニュアル，数理工学社(2007)
- [7] 宮本裕一郎：制約付き最短路問題に対する実験的解析
www.me.sophia.ac.jp/~y-miyamo/results/sigal.pps