

# 信号制御情報を用いた歩行者の動的経路探索システム

蒔苗 耕司\*<sup>1</sup> 松田 柊人\*<sup>2</sup>

宮城大学事業構想学部デザイン情報学科\*<sup>1</sup>

前・宮城大学事業構想学部デザイン情報学科\*<sup>2</sup>

市街地での歩行者の移動において、交通信号は移動時間を制約する大きな要因となっている。格子状の街路では、移動距離が同一である複数の経路が存在するが、信号制御により最短時間経路は動的に変化する。本研究では、格子状の街路モデルの中で最短距離となる複数の経路について、任意に設定した移動開始時刻からの歩行者の移動を信号制御情報に基づいてシミュレートし、移動時間が最短となる経路を導出する動的経路探索システムを開発した。それをもとに、実際の街路を対象とした適用実験を行い、移動時間の短縮効果を明らかにした。さらに信号制御情報の共有化の必要性と課題について述べた。

## Dynamic Pedestrian Route Finding System Using Traffic Signal Control Information

Koji Makanae\*<sup>1</sup> Shuto Matsuda\*<sup>2</sup>

School of Project Design, Miyagi University\*<sup>1</sup>

Bachelor of Miyagi University\*<sup>2</sup>

In the transportation of pedestrians in city areas, traffic signals are a major factor in restricting the travel time. In the case of a grid-like streets, although more than one route may be the same distance exists, the shortest time path changes dynamically by the signal control. In this study, we developed the dynamic pedestrian route selecting system that can derive the shortest time path by simulating the movement of pedestrians based on the traffic signal control information. The experiments were conducted to the actual streets, and it was cleared that the travel time can be shortened by using the developed system. Furthermore, the need and challenges of sharing of signal control information were described.

**Keyword:** traffic signal, control information, pedestrian navigation, dynamic route selection, shortest time path

### 1. はじめに

都市部の市街地の交通では、自動車、自転車、歩行者等の多様な交通が混在しているが、それぞれの通行経路を空間的に分離することにより、交通の安全と円滑を確保している。道路の交差点においても、歩道橋や地下道等を設けて空間的に交通を分離している場合もあるが、多くの場合は平面交差であり、

様々な交通が同一空間において交差する必要が生じる。平面交差における交通制御には、交通信号による時分割制御、ラウンドアバウト等による動線制御があるが、日本では、基本的には交通信号を用いた交通制御方式が採用されている[1]。交通信号による制御は、交通手段や方向別に通行可能な時間を分割

して割り当てるものであるが、信号待ちによる遅れ時間が発生する。自動車交通が中心となった日本の道路では、交通制御も自動車交通が主たる対象であり、歩行者の信号待ちによる遅れ時間やそれに対する経済損失については、立体交差事業等の費用便益分析[2]等、建設事業に関わる場合を除けば、ほとんど議論が行われていない。

これらの問題に対して、本研究では、交通信号により制御された都市部の交通において、歩行者の移動における遅れ時間を最小にすることを目的とし、信号制御を用いた動的経路探索システムを構築し、その有用性を検証する。さらに、今後の信号制御情報の共有化の必要性と課題について述べる。

## 2. 交通信号制御の現状

交通信号は、道路の交差点における交通を、灯火による指示により、時間的に交通の方向や手段を分離する装置である。信号制御方式は、予め設定した制御パターンにより制御する定周期制御方式、車両感知器等による車両検知に基づく端末感応制御方式に分類される。最近では、交通状況等に応じて、路線系統あるいは面的に複数信号を制御する中央感応制御方式の導入も進んでおり[3]、平成 26 年度には全国の信号機の設置基数約 20 万 6 千基のうち、35.6%が交通管制センターに接続されている[4]。また、右折感応制御、バス感応制御、ジレンマ感応制御、交通弱者用制御等、ITS と関連した信号制御の高度化の取り組みも進められている[5][6]。これらの取り組みは、自動車や人の動き、交通の状況に応じて信号を制御しようとするものであり、複数の信号機が存在する面的な環境の下で、動的に自動車や人に対して移動経路を制御または指示することは考えられていない。また交通制御に関する情報は、交通管理者の管理に委ねられ、制御情報の共有化は行われていない。

## 3. 最短時間経路導出プロセス

### 3-1 歩行者の経路選択の問題

都市部における歩行者の移動では、平面交差において道路を横断する機会が多い。特に都市中心部の中心業務地区では、多くの平面交差で信号機が設置されており、歩行者は信号の灯火の色によっては、その都度、信号待ちを余儀なくされる。

ここで、図-1 のような格子状道路網において、地点 A から地点 B へと最短距離となる移動経路について考える。自動車の経路と歩行者の経路とを比較

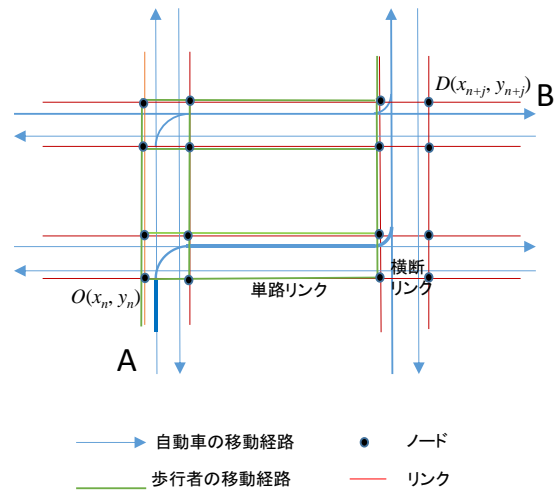


図-1 自動車・歩行者の移動経路の比較

した場合、自動車を取り得る経路は 2 経路であるが、歩行者の場合には 20 経路となり、歩行者の方が経路選択の自由度が大きく、より多くの候補からの最適経路の選択が要求される。そこで本研究では、簡易なモデルとして格子状の道路網を設定し、その中で最短経路を導出するためのアルゴリズムを構築する。

### 3-2 格子状道路網における最短距離経路数

格子状道路網をモデル化するために、まずノードとリンクを設定する。交差点のリンクを横断リンク、交差点以外のリンクを単路リンクと呼び、各リンクの接続点をノードとする。今、起点ノードをある交差点内の 1 ノード  $O(x_n, y_n)$  に、終点ノードをある交差点の 1 ノード  $D(x_{n+j}, y_{n+k})$  に置くとき (図-1)、 $O$  と  $D$  との間の最短距離となる経路の総数  $N$  は式(1)により求めることができる。

$$N = \frac{(|j| + |k|)!}{|j|!|k|!} \quad (1)$$

ただし、 $j$  : 起終点間の南北方向のリンク数

$k$  : 起終点間の東西方向のリンク数

最短距離経路は、南北リンク、東西リンクの数に応じた順列により求めることができる。またリンクは実距離に応じた必要移動時間を有しており、今回は歩行者の移動速度を  $1.5 \text{ m/s}$  として値を設定する。

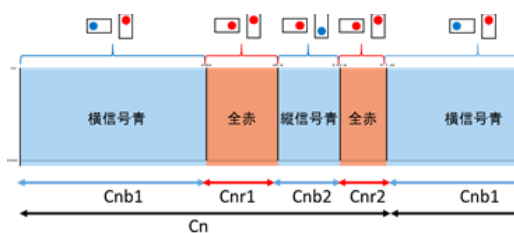


図-2 信号スプリットの設定

### 3-3 信号制御情報の設定

各交差点の歩行者用信号の1サイクル( $C_n$ )の信号現示およびスプリットを、地図上の東西方向の青( $C_{nb1}$ )、全赤( $C_{nr1}$ )、南北方向の青( $C_{nb2}$ )、全赤( $C_{nr2}$ )の順に設定する(図-2)。青信号の点滅時間については、その時点で交差点への侵入ができないものとみなし、それぞれの方向の全赤時間を含むものとする。

### 3-4 移動・遅れ時間算出アルゴリズム

対象となる信号の条件設定が完了した後、それぞれの経路について、歩行者の移動を1秒毎にシミュレートし、移動時間および遅れ時間を算出する。算出のためのアルゴリズムのフローを図-3に示す。

起終点は交差点のノードに設定されており、歩行者がその時点で位置するリンクが横断リンクである場合には、信号スプリットを参照し、その横断リンクの信号が青であれば横断可能と判断して、歩行者の移動時間に1秒加算する。一方、横断リンクの信号が赤のときには横断不可と判断し、遅れ時間に1秒加算する。歩行者が単路リンク上に位置しており、移動可能な場合には、移動時間に1秒加算する。移動の結果、リンクの終点の達していなければ、さらに同じプロセスを繰り返し、リンクの終点に達した場合には、経路上の次のリンクに切り替えて処理を継続する。また交差点によって信号現示・スプリットが異なることから、異なる交差点と接続するノードに到達した場合には、参照する信号制御情報を変更する。起点から終点に移動するために必要な総移動時間は、移動時間と遅れ時間の総和である。

この処理を全ての導出経路で行い、総移動時間が最小となる経路、すなわち遅れ時間が最小となる経路を導出する。

## 4. 動的経路選択システムの構築と実験

### 4-1 動的経路選択システムの構築

3.で構築したアルゴリズムを実装した動的経路探索システムを開発した。システムの実装には、

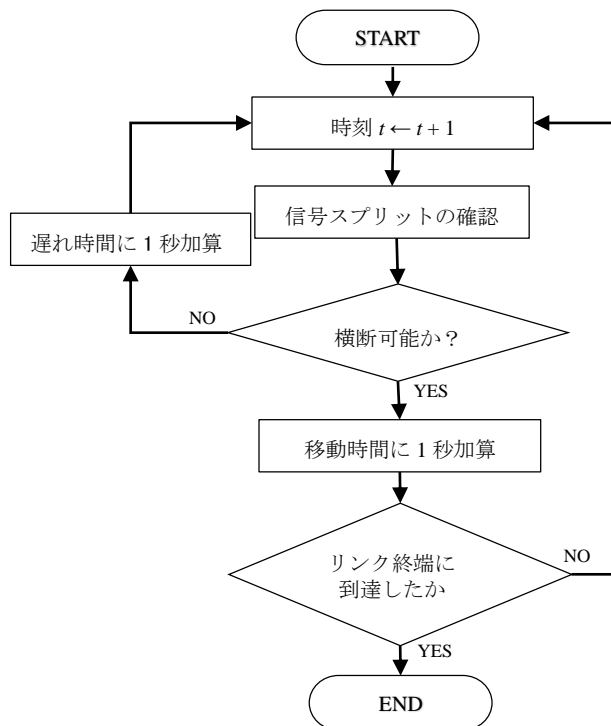


図-3 移動時間・遅れ時間算出アルゴリズム

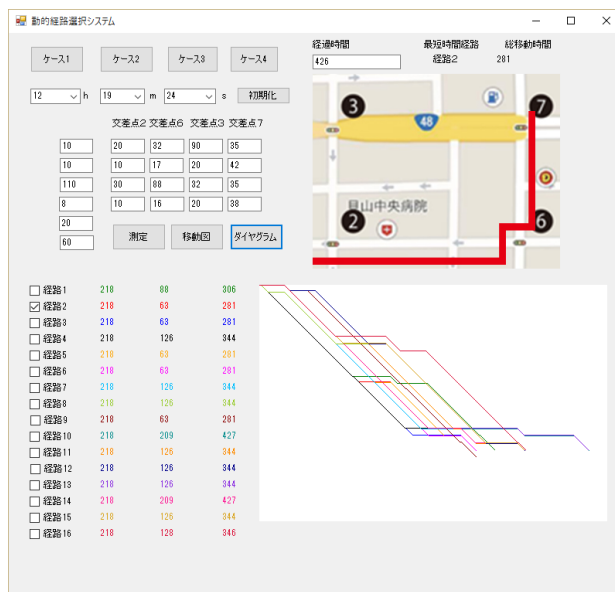
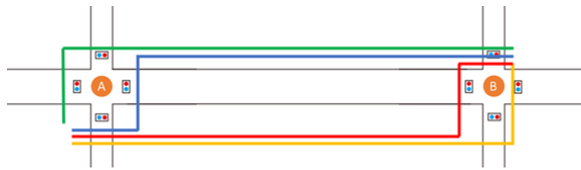


図-4 動的経路選択システムの実行画面

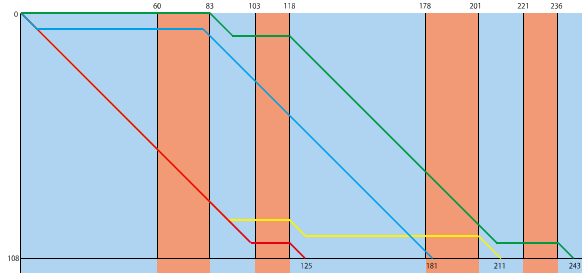
Microsoft Visual Basic.NET を用いた。

初期設定画面(図-4)で、目的地を設定し、各リンクの移動距離、各交差点における信号現示に対するスプリット、移動開始時刻を入力する。入力後に「移動図」または「ダイヤグラム」のボタンを押すことにより、各経路の移動時間、遅れ時間、総移動時間、移動図、または縦軸に移動距離、横軸に総移

[2 交差点モデル経路図]



[ケース 1：出発時刻オフセット 0 秒]



[ケース 2：出発時刻オフセット 59 秒]

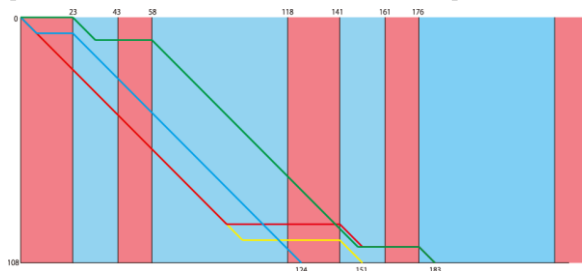


図-5 動的経路選択システムの実行画面

動時間をとったダイヤグラムを随時、表示する。そして全ての計算処理を終えた後、導かれた最短時間経路を地図上に表示する。

#### 4-2 システムの適用実験(1)ー2 交差点モデル

1つ目の実験は、宮城大学周辺の信号制御された2つの交差点を有する区間で行なった。信号サイクルにおける各現示のスプリットは、現地での実測値を用いた。事前に導かれた4つの最短距離の経路に対して、出発時刻の異なる複数のケースで実験を行い、選択した経路により、遅れ時間がどの程度生じるかを確認した(図-5)。

ケース1は、信号サイクルに対する出発時刻のオフセット時間が0秒のケースであり、交差点において目の青信号を選んだ経路3で、総移動時間125秒で最短となり、最長時間経路である経路1の243秒に比べて118秒の差で短い時間で到着している。

ケース2は、出発のオフセット時間が59秒の場合である。目の青信号を選んで進む経路3に比べ、



(Google Maps を利用)

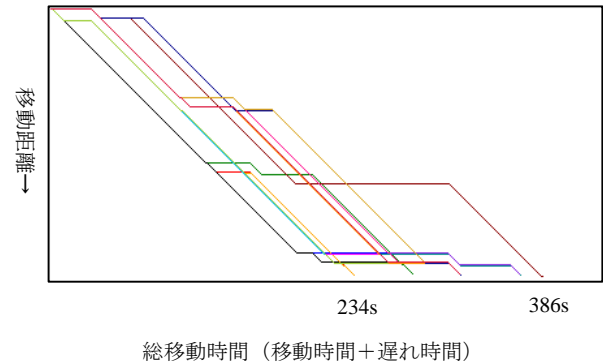


図-6 市街地における経路探索の例

一度、交差点を渡った後に、目の青信号を選ばずに交差点で待機した経路2の方が、約59秒早く到着する結果となっている。

このように、単純な2交差点のケースにおいても、出発時刻によっては、目の青信号を選んで進むよりも、一時待機した方が良い場合があり、本システムを適用した場合の移動時間短縮効果が示された。

#### 4-3 システムの適用実験(2)ー格子状道路網

4-2の2交差点での簡易実験を踏まえて、次に仙台市中心部の市街地をモデル化して、適用実験を行なった。信号スプリットは現地での実測値を用いた。図-6は地点1から地点6への移動において、各経路のダイヤグラムを示したものである。実験対象とした4交差点モデルにおいても、適用実験(1)と同様に、目の青信号のみを選択したとしても、必ずしも最短時間経路とはならない場合があることがわかる。図のケースでは、最短で234秒、最長で386秒と1.5倍以上の差が生じている。本実験により、格子状道路網をモデル化した場合のシステム稼働とシステム適用による時間短縮効果を確認できた。

#### 5. 信号制御情報共有化の必要性と課題

ITSの進展に伴い、静的なデジタル道路地図を基盤として、事故や渋滞、交通規制等のリアルタイム

情報、そしてそれらに基づく予測情報などの動的な情報が、VICS やインターネットを介してリアルタイムで提供されるようになった。しかし、都市部の市街地での移動で、移動時間に恒常的に影響を与える交通信号の制御情報については、現時点では提供がなされておらず、またその共有化についてもほとんど検討がなされていない。その主な要因として以下が考えられる。

- 1) 国内の信号機設置基数が膨大であるとともに、制御方法が様々であり、系統的に管理するに至っていないこと
- 2) 信号制御情報の提供に対するニーズが乏しいこと

1)については、年々、交通管制センターに接続される信号機基数の比率が増加しており、今後もさらにその比率は増加するものと予想され、交通管制センターを中心とした信号制御情報の一元的な管理ができる環境になってきている。また膨大な数の信号機については、信号機設置指針の改正（2013年12月より試行）[7]により、今後は減少の方向に進むものと予想される。

2)については、信号制御情報の提供により、どのようなサービスが実現できるかを考えていく必要がある。そこで、信号制御情報の共有化により実現できると考えられるサービスを以下に示す。

#### 1)動的経路探索サービス

本研究では、信号制御情報の提供を前提として、それを歩行者の経路探索に適用することにより、移動時間の短縮効果を示した。同様のシステムを、自動車や自転車等の移動に対しても適用することにより、交差点における交通容量を最大限に活用し、移動における遅れ時間を減少させることができると考えられる。またそれによる環境影響負荷の低減も期待できる。

#### 2)信号現示情報のリアルタイムでの提供

現時刻において、交差点に配置された信号現示がどのような状態であるか、また信号の灯火が変わるまでの残り時間等の情報は、自動運転や運転支援においても有用な情報になる。現在、開発されている自動運転車では、信号制御情報は人間の眼を模擬したカメラからの画像処理により取得されており、時間帯による明るさの違い、雨や霧、吹雪等の気象による視程の低下、前方を走行する大型車による視界の遮蔽等の要因により、信号の灯火情報取得の確実性や正確性の問題が生じる。信号制御情報が情報ネットワークを通じてリアルタイムで提供されること

により、視覚情報あるいは画像情報の欠損を補完し、システムの信頼性を向上させることができる。また車内信号システム[8]等の情報提供においても、有効な情報提供手段となり得る。

これらのサービスを実現するために、今後、解決していくべき課題を以下に挙げる。

#### 1)不定周期の信号サイクル予測

今日の信号制御においては、常時一定の信号サイクルを保つ一段定周期制御は用いられず、曜日や時間帯により周期を変える多段式定周期信号機や、車両センサー等による車両検知による端末感応制御、さらに交通管制センター等での系統のかつ面的な制御による中央感応制御等、より緻密かつ高度な制御方式が取り入れられるようになってきている。また路線バスや緊急自動車等の優先制御等も行われ、信号現示およびスプリットが一定ではない場合も多い。今回の経路探索では、移動時間内においては、信号サイクルが定周期であることを前提としているが、現実への適用を考えた場合には、不定周期の信号制御がどのように変化するかを予測が必要であり、より正確な情報を提供するためのシステム構築が必要である。

#### 2)信号制御情報の標準化

信号機を定義するための情報として、信号機的位置、対象路線、制御方法、加えて定周期の場合には信号現示、スプリット等の情報が必要となる。これらの情報をどのように標準化された情報としてどのように記述するか、信号制御情報の標準化を進めていくとともに、サービスに応じた制御情報の提供方法についても検討していく必要がある。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、信号制御情報をもとに、市街地内で歩行者の最短時間経路を導く動的経路探索システムの構築を行うとともに、それに基づいた実験により、システム適用による移動時間の短縮効果を明らかにした。また信号制御情報の提供の必要性として、信号制御情報が提供された場合に実現可能なサービスを挙げるとともに、その実現のための課題を述べた。

今後の研究上の課題として、開発した動的経路探索システムの拡張が挙げられる。今回は、経路を格子状の道路網と交差点数を限定するとともに、最短距離となる経路の中から最短時間経路を導出する方法を用いた。今後はより複雑な形状をもつ広域な道路網をモデル化し、必ずしも最短距離とならない「急がば回れ」となる経路を含めて経路を探索できるア

ルゴリズムの開発とそれを搭載したシステムの開発が必要である。また、実際に導入されている様々な信号制御方式に対応した経路探索手法の開発も必要不可欠である。さらに本研究で提案した信号制御情報を適用したサービスについても、実証的に研究を進めていくとともに、不定周期の信号サイクルの予測や信号制御情報の標準化、提供方法に関する課題にも取り組んでいく必要がある。

#### 参考文献

- [1]中村英樹, 大口敬, 馬淵太樹, 吉岡慶祐: 日本におけるラウンドアバウトの計画・設計ガイドの検討, 交通工学, Vol.44. No.3, pp.24-33, 2009.
- [2]国土省道路局都市・地域整備局: 費用便益分析マ

ニュアル<連続立体交差事業編>, 2008.

- [3](一財)交通工学研究会: 改正 交通信号の手引き, 丸善, 2006.
- [4]内閣府: 平成 27 年度交通安全白書, 2015.
- [5]桐生典男: 交通信号の高度化の歴史, 交通工学, Vol.35, No.6, pp. 15-20, 2000.
- [6]齋藤 威: 交通信号制御の現状と高度化への視点 - 交通事故抑止対策を例として -, 交通工学, Vol.35, No.6, pp. 26-34, 2000.
- [7]吉崎昭彦: 「信号機設置の指針」の改正, 試行について, 交通工学, Vol. 50, No.2, pp. 46-51, 2015.
- [8]尹遠東, 中野公彦, 鄭仁成, 山邊茂之: 車内信号に対するドライバの受容性の評価, 第 12 回 ITS シンポジウム, 1-2B-06, 2014.