

## 格子状道路網における右折コストを考慮した最小コスト経路

01606150 南山大学 三浦 英俊 Hidetoshi Miura

## 1 はじめに

自動車交通において右折は多くの運転手にとってあまり好まれていない。右折を回避する経路は、事故リスク回避や旅行時間短縮の効果が期待できる。これまで右折回数にこだわらず最短経路を走行する「自由通行」と右折を回避する「右折禁止通行」について、格子状道路網モデルを用いて移動距離、距離分布、移動時間、燃料消費量などの比較が議論されており、右折禁止通行の性質および利点が明らかとなってきた [1, 2]。

本研究では右折に要する時間や(右折による)事故リスクを距離に換算した右折コストを考慮して、右折の数を減らしつつ移動コストが最小となる「最小コスト通行」について論じる。この目的のため格子状道路網において最小コストとなる経路の平均移動コストと右折コストとの関係について解析する。

運送会社 UPS が、トラックの経路決定にあたりなるべく右折を避けることなどによりコストを大きく削減に成功した事例が知られているが、「右折をなるべく避ける」ことを最小コスト通行としてモデル化して議論することにより、コストに応じた右折の回避が経路距離減少や事故減少などのコスト削減にどの程度有用なのかを明らかにしたい [3]。さらに、運送会社やタクシーあるいは一般自動車に対して、右折をなるべく避けることによる効用を記述するモデルを示したい。

## 2 移動コスト

図 1 のように  $(m+1) \times (n+1)$  本の道路が等間隔  $a$  で並べられた格子状道路網を考える。この道路網は 4 本の道路リンクに囲まれた「街区」を  $mn$  個含む。リンクに接する太線で示した街区の辺を「街区辺」と呼ぶ。都市の外周道路のリンクには 1 本の街区辺、都市内部のリンクには両側の街区の 2 本の街区辺が対応する。交通の起点と終点は街区辺にてランダムに一樣発生すると仮定する。街区辺総数は  $4mn$  であるから、都市全体の起終点ペア(トリップ)総量は  $16m^2n^2a^2$  となる。また、リンクの交通容量は無限に大きく、交通渋滞は発生しないと仮定する。

起点から終点への移動は、まず起点のある街区辺から最寄り(距離 0)のリンクに出て左折または右折を行って移動を開始する。リンクを一定速度で走行し、終点に接するリンクに到達したら左折または右折を行って終点に

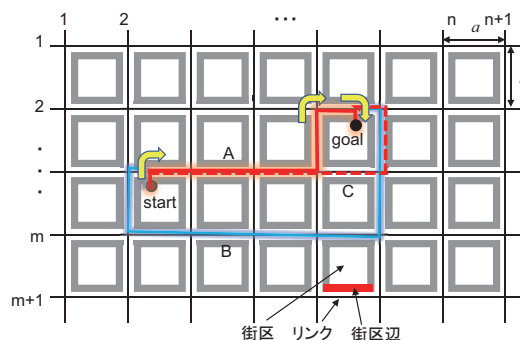


図 1 格子状道路網モデル

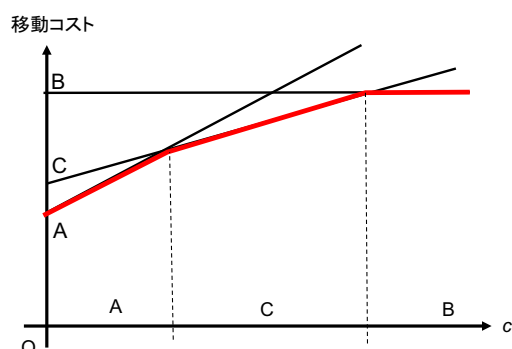


図 2 右折コストと移動コスト

到着する。左折と右折は出発時と到着時および交差点でのみ可能とする。Uターンは禁止する。本研究ではすべての右折に右折 1 回あたり距離に換算したコスト  $c$  を与えて、移動距離と右折コストの和を移動コストとする。この移動コストが最小となる経路を通行する交通を最小コスト通行と定義する。右折コストがゼロのとき、コストはリンクを移動する距離だけとなるので、自由に右折が可能で最短距離となる自由通行の経路が得られる。また、右折コストを非常に大きな値とした場合は、右折を禁止することになるので、全ての移動が右折を回避して最短経路となる経路を通行する右折禁止通行となる。

図 1 の start から goal への経路 A, B, C を用いて、右折回数と移動コストとの関係の例を示す。最短経路(自由通行)である経路 A は出発時、途中、到着時の合計 3 回の右折を含む。経路 B は右折がない右折禁止通行の経路である。破線で示す経路 C は、前半は A と同じ、後半は B と同じ経路であり出発時のみ 1 回右折する。横軸に右折コスト  $c$  の値をとって経路 A, B, C の移動コストを比較するグラフを図 2 に示す。1 回あたり右折コスト  $c$  の値が大きくなるにつれて最小コスト通行の経路は A, C, B の順に変化する。

### 3 平均移動コスト

図1の  $m \times n$  の街区を持つ格子状道路網内を最小コスト通行で移動するとき、2地点間の平均コスト経路を  $\nu_{mn}(c)$  とすると、 $s_1, \dots, s_9$  を係数として

$$\begin{aligned} \nu_{mn}(c) = & \frac{1}{48m^2n^2} \{s_1m^2n^2(m+n) + s_2m^2n^2 \\ & + s_3mn(m+n) + s_4mn + s_5(m+n)\} a \\ & + \frac{1}{16m^2n^2} \{s_6m^2n^2 + s_7mn(m+n) \\ & + s_8mn + s_9(m+n)\} c \end{aligned}$$

と表される。この式は2つの項から構成されており、第1項は平均移動距離、第2項は平均右折コストである。式中の係数  $s_1, \dots, s_9$  の値を  $c$  の13の場合分けとともに示す。

$(s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9) =$

{	$(16, 0, 10, -8, 2, 28, -2, -4, 2)$	$(0 \leq c < \frac{1}{6}a)$
	$(16, 0, 11, -6, 2, 28, -4, -8, 2)$	$(\frac{1}{6}a \leq c < \frac{1}{3}a)$
	$(16, 0, 13, -10, 2, 28, -6, -4, 2)$	$(\frac{1}{3}a \leq c < \frac{1}{2}a)$
	$(16, 12, 7, -10, 2, 20, -2, -4, 2)$	$(\frac{1}{2}a \leq c < \frac{2}{3}a)$
	$(16, 18, 13, -4, 2, 17, -5, -7, 2)$	$(\frac{2}{3}a \leq c < a)$
	$(16, 24, 7, 2, 2, 15, -3, -9, 2)$	$(a \leq c < \frac{5}{3}a)$
	$(16, 24, 7, 22, 2, 15, -3, -13, 2)$	$(\frac{5}{3}a \leq c < 2a)$
	$(16, 24, 31, -26, 2, 15, -7, -5, 2)$	$(2a \leq c < 3a)$
	$(16, 78, 31, -80, 2, 9, -7, 1, 2)$	$(3a \leq c < \frac{19}{6}a)$
	$(16, 78, 50, -194, 40, 9, -9, 13, -2)$	$(\frac{19}{6}a \leq c < \frac{7}{2}a)$
	$(16, 120, 8, -152, 40, 5, -5, 9, -2)$	$(\frac{7}{2}a \leq c < 4a)$
	$(16, 180, -52, -92, 40, 0, 0, 4, -2)$	$(4a \leq c < \frac{20}{3}a)$
	$(16, 180, -52, -12, 0, 0, 0, 0, 0)$	$(\frac{20}{3}a \leq c)$

$\nu_{mn}(c)$  は自分自身を含むすべての街区辺同士の移動コストの合計から導出されるが、紙面の都合上記述を省略する。 $c$  の値が小さいときは第1項の係数  $s_1$  から  $s_5$  の値は小さく、 $s_6$  から  $s_9$  の値は大きい。 $\nu_{mn}(0)$  の第1項は自由通行(最短経路)のときの平均移動距離と一致する。また  $\frac{20}{3}a \leq c$  のとき  $\nu_{mn}(c)$  は右折禁止通行の平均移動距離となる。

### 4 平均移動コストの比較

最小コスト通行、自由通行、右折禁止通行の平均移動コストを比較する。平均移動コストは右折1回あたりコストの大きさ  $c$  に対応して経路が変化し、前節で示した通り複雑な式となる。自由通行は  $c$  の値に関わらず常に最短経路を通るので、平均移動コストはあらゆる  $c$  の値について  $\nu_{mn}(0)$  によって表され、 $c$  に比例して増加する。右折禁止通行の場合は、 $c$  の大きさに関わらず常に同じ経路であり、平均移動コストは右折を含まないので一定の値となる。

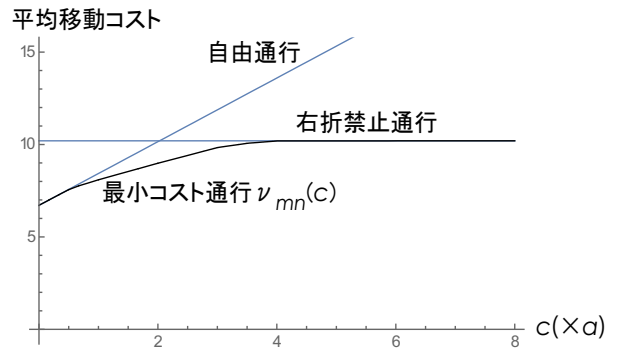


図3 平均移動コストの比較 ( $m = n = 10$ )

図3に横軸に  $c$  の値を取り、 $m = n = 10$  のときの平均移動コストを表す。右折1回あたりコスト  $c$  は交差点間リンク長  $a$  を基準として示す。グラフを見ると、 $m = n = 10$  のとき最小コスト通行の平均コストは  $c$  がおよそ  $0.8a$  から  $4a$  の範囲で他よりも移動コストが低く、特に  $c$  が  $2a$  付近では2割程度小さい。交通量などによって  $c$  が  $2a$  から  $3a$  程度の道路網においては、右折にペナルティを課して経路探索を行うことによって移動コストを2割程度削減する効果が期待できることを示している。

### 5 おわりに

右折にコストを付して経路探索を行い最小コスト通行を実行したときの効果の大きさについて、格子状道路網を用いて解析的に明らかにした。今後は、実際の道路網データを用いた解析を行うとともに、配送トラックのように都市内の複数の地点を巡回する経路について最小コスト経路を適用したときの効果について解析を進めたい。

### 参考文献

- [1] 小又 暉広, 小林 隆史, 高原 勇, 大澤 義明: 移動距離に着目した右折禁止交通の効率性. 都市計画論文集, 2018, 53(3): 1435-1441.
- [2] 袖山 仁志, 栗田 治: 移動距離・所要時間・燃料消費量に着目した右折禁止規制の効果, 都市計画論文集, 2021, 56(3): 516-523.
- [3] HOLLAND, Chuck, et al.: UPS optimizes delivery routes. Interfaces, 2017, 47(1): 8-23.