

渋滞現象および信号確率モデルを用いた最短経路の算出*

On computing the shortest route from the models of traffic jam and signal intervals*

堀 勝也**・星 仰***・下荒地勝治****

By Katsuya HORI**・Takashi HOSHI***・Katsuji SHIMOKOUJI****

1. はじめに

起終点間を移動するのに必要な時間を算出する手順としては、その間に存在する分岐点ごとに区間を区切り、その区間ごとの移動に必要な時間を算出した後、起終点間を結んだ1本のルート各区間の所要時間を加算することにより、その所要時間が算出される。

著者らはすでに起終点間の物理的距離に加え、信号確率モデルを用いた経路選定について提案しているが^{1) 2)}、これに加えて事故多発地点での遅れ^{3) 4)}、

時間帯による自然渋滞の遅れを考慮した最短経路選定の方法について述べ、その計算結果を実際の走行により検証する。

2. 研究方法

(1) 分析地区のルート設定

本研究で考えている起終点間を結ぶ道路は、図-1のような道路網となっており、茨城大学工学部前を起点とし、常陸太田駅を終点とする14ルートを設定し、これらを分岐点ごとに分析して、区間経路をd11、d12、...のように定義した。

(2) 研究の基本構想

信号遅れ時間のみ考慮したもの(セクションA)、事故により遅れを想定したもの(セクションB)、自然渋滞を想定したもの(セクションC)の3構想を設定し(表-1)、各ルート別所要時間を比較した。

(3) 演算方法と設定条件

演算方法は交通流理論における渋滞現象モデルを用いて遅れ時間を推定し、さらに信号確率モデルによる遅れ時間を付加して求めた⁵⁾。

設定条件は渋滞による遅れを推定し、各区間ごとに平均停止確率より停止回数を推定し、それによる所要時間を求めた。信号については、青信号 $t_1=60$ 秒、赤信号 $t_2=50$ 秒と同期しているものとした。

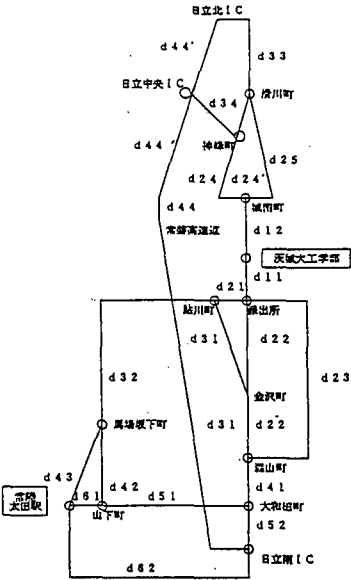


図-1 道路ネットワーク図

キース : 手段選択、経路選択、交通情報、交通渋滞対策

** 正員、工修、茨城大学大学院工学研究科
(茨城県日立市中成沢町4-12-1、
TEL:0294-38-5154、FAX:0294-37-1429)

*** 正員、工博、茨城大学工学部情報工学科
(茨城県日立市中成沢町4-12-1、
TEL:0294-38-5133、FAX:0294-37-1429)

**** 工修、日本ユニシステム(株)
(東京都千代田区三崎町2-4-1、
TEL:03-3221-0811、FAX:03-3222-9190)

表-1 各セクションの設定条件

セクション	ケース	設 定 条 件
A	A-1	単純走行速度による検討
	A-2	走行速度、信号遅れ時間
	A-2'	A-2を単純走行速度で表示
	A-3	制限速度走行での比較
B	A-4	一般的走行 制限速度+信号遅れ時間
	B-1	国道6号 多賀駅入口交差点
	B-2	国道6号 日立市役所前交差点
	B-3	国道245号 河原子十字路
C	B-4	国道6号 大和田町交差点
	C-1	9:00 起点スタート
	C-2	12:00 起点スタート
	C-3	18:00 起点スタート
	C-4	20:00 起点スタート

事故多発地点では、茨城県警交通企画課の現場調査資料に基づいて、ここでは事故処理時間を5分程度、起動速度を0.8秒/台として演算した。

自然渋滞については、国道6号上の3ヶ所のボトルネック地点を想定して、交通通過可能容量を時間当たり1,150台と推算し、時間需要容量を国道6号における24時間交通需要容量を流体力学の理論に適用して、渋滞距離および解消時間を求めた⁶⁾。

3. 演算結果

(1) 各区間別信号停止確率

この表-2により、同信号数区間d23、d24、d31においても、停止確率は7.908、4.481、6.853とバラツキがあり、d23、d24を比較すると、1.8倍も異なることが分かる。

d22区間のように信号数13に対して、5.198の確率を示すものとd24区間のように信号17に対して、確率4.481と低く、d22の86%であることから、数の多少だけでは推定できないことも分かった。大きな傾向としては信号数が多いほど停止確率は多くなるが、正確には信号停止確率の有効性が実証された。

(2) 3構想における各ルート時間と順位

表-2 各区間の走行速度における信号停止確率

区間名	区間距離 m	制限速度 km/h	時間 sec	信号数 個	信号停止確率
d11	585	40	53	2	1.182
d12	1685	40	152	4	2.390
d21	510	40	46	2	0.875
d22	6250	30	750	13	5.198
d23	8130	40	732	17	7.908
d24	3895	50	280	17	4.481
d24'	2325	50	167	11	2.795
d25	3630	40	327	16	5.324
d31	6020	50	433	17	6.853
d32	24160	30	2900	7	4.388
d33	4940	40	445	11	3.743
d34	5300	40	477	3	1.588
d41	3330	50	240	5	1.603
d42	1895	40	171	3	1.516
d43	2105	40	189	6	2.550
d44	19000	100	684	0	----
d44''	13300	100	479	0	----
d51	3985	40	359	7	2.615
d52	635	50	46	1	0.455
d61	510	30	61	1	0.455
d62	4755	30	571	5	3.155

表-3より、以下のように考察した。

a) セクションA

ケースA-1:単純走行で全区域を平均40km/hで走行時の推定時間とそれに伴う順位を表している。ここでは、ルート3が1位で最短距離のルートであり、ルート9が最長距離のルートである。

表-3 各ルートにおける所要時間と順位 上段: 所要時間(秒)/下段: 順位

ケース	ルート1	ルート2	ルート3	ルート4	ルート5	ルート6	ルート7	ルート8	ルート9	ルート10	ルート11	ルート12	ルート13	ルート14
A-1	1,346 2	1,403 4	1,321 1	1,378 3	1,490 5	1,547 6	2,345 7	2,509 10	3,111 14	3,070 12	3,089 13	3,046 11	2,488 9	2,447 8
A-2	2,070 3	2,196 5	1,927 1	2,053 2	2,189 4	2,315 7	2,846 10	2,826 9	3,026 14	2,992 13	2,982 12	2,948 11	2,316 8	2,250 6
A-2'	1,793 2	1,869 4	1,759 1	1,835 3	1,985 5	2,061 6	3,284 13	3,319 14	2,732 12	2,678 10	2,700 11	2,646 9	2,211 8	2,157 7
A-3	1,191 1	1,360 2	1,462 4	1,631 6	1,444 3	1,613 5	3,170 13	3,249 14	2,019 9	2,110 11	2,066 10	2,157 12	1,732 7	1,823 8
A-4	1,847 1	2,138 4	1,991 2	2,282 5	2,109 3	2,400 7	3,638 14	3,627 13	2,900 9	3,055 11	2,979 10	3,134 12	2,313 6	2,468 8
B-1	2,240 3	2,531 8	1,991 1	2,282 4	2,109 2	2,400 6	3,638 14	3,627 13	2,900 9	3,055 11	2,979 10	3,134 12	2,313 5	2,468 7
B-2	1,847 1	2,138 4	1,991 2	2,282 5	2,109 3	2,400 6	3,638 14	3,627 13	3,422 11	3,577 12	2,979 9	3,134 10	2,709 7	2,864 8
B-3	1,847 1	2,138 3	1,991 2	2,282 4	2,506 7	2,797 8	3,638 14	3,627 13	2,900 9	3,055 11	2,979 10	3,134 12	2,313 5	2,468 6
B-4	2,575 3	2,866 6	2,719 4	3,010 9	2,837 5	3,1028 11	3,638 14	3,627 13	2,900 7	3,055 10	2,979 8	3,134 12	2,313 1	2,468 2
C-1	2,399 3	2,690 7	2,254 1	2,545 4	2,372 2	2,663 6	3,638 14	3,627 13	3,276 11	3,431 12	2,979 9	3,134 10	2,606 5	2,761 8
C-2	2,289 2	2,580 6	2,195 1	2,486 4	2,313 3	2,604 7	3,638 14	3,627 13	3,233 11	3,388 12	2,979 9	3,134 10	2,562 5	2,717 8
C-3	3,403 9	3,694 12	2,758 1	3,049 4	2,876 2	3,167 7	3,638 11	3,627 10	3,838 13	3,993 14	2,979 3	3,134 5	3,137 6	3,292 8
C-4	3,074 7	3,365 8	2,591 1	2,882 3	2,709 2	3,000 6	3,638 12	3,627 11	3,663 13	3,818 14	2,979 5	3,134 9	2,975 4	3,130 8

ケース A-2: 平均速度 40km/h で信号停止確率の遅れ時間を考慮した経過時間とその順位を表している。信号遅れを考慮すると順位の変化が見られる。

ケース A-2': 信号遅れ時間を平均速度での変化で表せないかを確かめるために、平均速度 30km/h で単純走行させたもので、信号停止確率による遅れは速度では補えないことが分かった。これより、信号確率による推定の意義が認められた。

ケース A-3: 各制限速度で走行させると単純走行での順位と変化が認められた。

ケース A-4: 各制限速度で走行し、かつ信号確率による遅れ時間を考慮したもので、現実の走行との比較についてはこの状態が最適だと考察する。ルート 1 が最短時間でルート 7 が最長時間となった。

b) セクション B

事故を想定した走行を行った。事故発生地点により、かなり経過時間に対する影響は大きいことが分かった。将来的には、事故情報の規模内容を誰がどのように判断するか、そしてどのようにして伝えるかという問題が残る。

c) セクション C

自然渋滞を各ボトルネック地点を想定して求めた。時間帯による遅れが主要道路に影響しているが、海岸道が速く、ルート 3 が自然渋滞の影響をいちばん受けないようである。事故渋滞と同様ボトルネック地点を通るルートの遅れが激しくなっていることが分かった。

4. 実走との比較

(1) 各区間の信号停止回数と所要時間の比較

停止確率においては表-4 より、10%以内に 9 区間が入っており、20%以内では 14 区間が入っている。とくに、差が激しいのは d61 の信号 1 ヶ所の停止確率が理論値より 146%の高いものとなっているが、駅前信号のために停止信号時間が長いことが影響している。その他 30%程度差がある区間として d12、d31、d62 が挙げられる。d12、d62 は裏通りで制限速度以上で実走行がされていることによるものであると推定できる。d31 においては、国道 6 号であり、この区間道路幅員が広く、走行しやすいことからで

表-4 各区間の走向速度における信号停止確率

区間	信号停止 確率	実走停止 確率	対比 %	推定時間 秒	実走時間 秒	対比 %
d11	1.18	1.17	99	112	78	70
d12	2.39	1.67	70	271	239	88
d21	0.88	0.86	98	90	172	191
d22	5.20	5.33	103	1010	1023	101
d23	7.91	5.67	78	1128	856	76
d24	4.48	4.33	97	514	567	110
d24'	2.80	2.67	95	378	356	94
d25	5.32	4.50	85	593	538	91
d31	6.85	4.83	71	776	819	106
d32	4.39	3.67	84	3119	1950	63
d33	3.74	3.00	80	632	649	103
d34	1.59	1.67	105	556	395	71
d41	1.60	1.60	100	320	314	98
d42	1.52	1.50	99	246	181	74
d43	2.55	3.00	118	317	264	83
d44	---	---	---	866	789	91
d44'	---	---	---	491	510	104
d51	2.62	2.38	91	489	510	104
d52	0.46	0.40	87	68	72	106
d61	0.46	0.67	146	83	106	128
d62	3.16	2.17	69	772	703	91
平均			93			97

あとと考えられる。

所要時間から見ると、平均的には 97%と推定値と等しいが、偏差値の平均を採ると 17%の差と読める。しかし、d21 区間の対比が 191%、偏差 91%が 4%以上アップさせているので、実質的には 13%程度で納まっていると考えられる。d21 区間は右折交差点のため、信号確率は実走行とも 98%で合っているが、待ち時間においては、信号渋滞時間外のものが数字には表れているためである。理論時間と実走時間の 10%以内の区間は 12 区間であり、特に、d21 191%、d32 63%とかなりの差が認められる。d32 区間については、山越えの道路で距離が長いので、制限速度以上の実走行が行われているためである。それらを考慮すると、推定時間と実走時間も 10%以内に入ることと考えられる。

(2) 各ルート別実走所要時間の比較

経路モデルにおける渋滞現象および信号停止確率を考慮し推定した所要時間および順位について、実験走行の平均時間を対比させ推定時間を 100%とした比率等を求めた(表-5)。

推定走行ではルート 1 が最短で 1,847 秒、2 位はルート 3 で 1,991 秒であり、最長時間はルート 7 の 3,638 秒で最短時間の倍程度かかっている。実走行

表-5 ルート別予測所要時間表

上段：ルートNo. / 中段：実走時間(秒) / 下段：推定時間(秒)

ルート	ルート1	ルート2	ルート3	ルート4	ルート5	ルート6	ルート7	ルート8	ルート9	ルート10	ルート11	ルート12	ルート13	ルート14
I	d12 78 112	d11 78 112	d11 78 112	d11 78 112	d11 78 112	d11 78 112	d11 78 112	d11 78 112	d12 239 271	d12 239 271	d12 239 271	d12 239 271	d12 239 271	d12 239 271
II	d21 172 90	d21 172 90	d22 1023 1010	d22 1023 1010	d23 856 1128	d23 856 1128	d21 172 90	d21 172 90	d24 567 514	d24 567 514	d25 538 593	d25 538 593	d24' 356 378	d24' 356 378
III	d31 819 776	d31 819 776					d32 1950 3119	d32 1950 3119	d33 649 632	d33 649 632	d33 649 632	d33 649 632	d34 395 556	d34 395 556
IV	d41 314 320	d41 314 320	d41 314 320	d41 314 320	d41 314 320	d41 134 320	d43 264 317	d42 181 246	d44 789 866	d44 789 866	d44 789 866	d44 789 866	d44" 510 491	d44" 510 491
V	d51 510 489	d52 72 68	d51 510 489	d52 72 68	d51 510 489	d52 72 68			d52 72 68 510 489		d52 72 68 510 489		d52 72 68 510 489	
VI	d61 106 60	d62 703 772	d61 106 60	d62 703 772	d61 106 60	d62 703 772		d61 106 60	d61 106 60	d62 703 772	d61 106 60	d62 703 772	d61 106 60	d62 703 772
信号数計	34	32	28	26	32	30	17	15	42	38	41	37	28	24
実走時間	1999	2158	2031	2190	1864	2023	2464	2487	2932	2947	2903	2918	2188	2203
推定時間	1847	2138	1991	2282	2109	2400	3638	3627	2900	3055	2979	3134	2313	2468
時間対比	108%	101%	102%	96%	88%	84%	68%	69%	101%	96%	97%	93%	95%	89%
実走順位	2	5	4	7	1	3	9	10	13	14	11	12	6	8
推定順位	1	4	2	5	3	7	14	13	9	11	10	12	6	8

では、ルート5が最短で1,864秒、2位がルート1の1,999秒であり、最長時間はルート10の2,947秒となっており実走行の方が差は少なくなっている。

推定時間と実走時間との差では、14ルート中7ルートが±5%以内に入っており、2ルートを除いて残り全て15%以内で納まっている。とくに、異なるものは、ルート7、ルート8で68%、69%と実走が速い値を出している。これはd32区間での制限速度以上の走行が通常されていることが原因である。この区間だけで1,169秒の差となっている。ルート5、ルート6の実走時間もd23区間で136秒もの違いがあり、その影響で88%、84%という差異が認められる。これらd32、d23区間のロスを考慮して比較検討すると、全て±10%程度に入っており、順位においてもそれほどの変動が認められず、モデル理論に基づく推定は実走によって10%程度の精度が見込める。

5. 結 論

渋滞現象および信号確率モデルを用いた最短経路問題において、渋滞現象を流体モデル理論による図解法が容易に現象を表すことができ、渋滞距離・渋滞解消時間を求められた。

また、信号停止確率による信号遅れ時間の推定も信号確率の意義が認められ、かつ実走との対比においても今後、修正しなければならない制限速度と実態速度の部分があるが、全体として13%程度の精度で推定できたと思える。

今後、各部分の推定精度が高められるごとに現実に対応できるシステムになると考えられる。

参考文献

- 1) 星 仰, 穂積伸一: GPSによる地図ナビゲーションの表示の諸問題, 情報処理学会第46回(平成5年前期)全国大会講演概要集, 8Q-06, 1993.
- 2) 星 仰, 堀 勝也, 下荒地勝治: 渋滞現象および信号確率モデルを用いた最短(時間)経路選定の提案, 土木計画学研究・講演集19(今回講演集), pp. -, 1996.
- 3) Lighthill, M. J., et al.: On Kinematic Waves II, A Theory of traffic flow on Long Crowded Roads, Proc. Roy. Soc. of London, Ser. A, vol. 229, pp. 317-345, 1955.
- 4) Richards P. I.: Shock Waves on the Highway, J. Opns. Res. Soc. of America, 4, pp. 42-51, 1959.
- 5) 堀 勝也, 星 仰: GPSによる信号時間を考慮したルート選定モデル, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集, 第4部, pp. 432-433, 1994.
- 6) 井上矩之: 波動理論による事故渋滞の解析, 交通工学, Vol. 9, NO. 6, pp. 22-32, 1974.