

交通ネットワークの経路誘導アルゴリズム

小林 正明* 清水 光** 米澤 洋*

ROUTE GUIDANCE ALGORITHMS OF A TRAFFIC NETWORK

Masa-aki KOBAYASHI, Hikaru SHIMIZU and Yoh YONEZAWA

ABSTRACT

Two route guidance algorithms of a traffic network are considered in this paper; one is "the link distance weighted algorithm", the other is "the link mean travel time weighted algorithm". The mean travel time from the driver's current position to his destination is evaluated by summing up the mean travel time of each link.

KeyWords : Traffic congestion control system, Traffic signal control system, Route guidance algorithm, Evaluation algorithm of mean travel time.

1. まえがき

近年、増加の一途をたどる交通渋滞の一対策として信号制御法や経路誘導法の研究開発が進められている。信号制御法として現在までにSCOOT⁽¹⁾やパタン選択法⁽²⁾、分散制御法⁽³⁾などが提案されている。今後、幹線道路や交通ネットワークの有効な信号制御法として、サイクル長やスプリット、オフセットの三つの信号制御パラメータを体系的に、かつ、信号交差点の流入交通量の時間的変動に対応して適応的に制御するアルゴリズムの開発が必要である⁽⁴⁾。一方、経路誘導法としてAutoguide⁽⁵⁾やTravel Guide⁽⁶⁾などが提案されている。

本論文では、経路誘導システムを信号制御システムと接続し、交通ネットワークのオンライン交通情報を用いて現在地から目的地までの最短平均旅行時間経路を探索し、ドライバーに知らせる経路誘導アルゴリズムを提案する。また、提案した二つの経路誘導アルゴリズムを用いてシミュレーションを行い、各アルゴリズムの最短平均旅行時間経路について比較する。

2. 交通渋滞制御システム

交通渋滞制御システムの一つの構成例としてFig.1を考える。まず、GPSシステムより求めた現在地、ならびに、目的地をドライバーが車載の入力装置より入力する。つぎに、信号制御システムよりオンラインで得られる交通情報と経路誘導アルゴリズムを用い、現在地から目的地までの

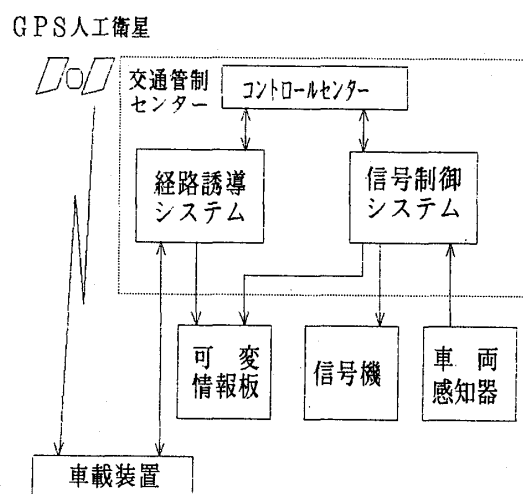


Fig.1 Traffic congestion management system architecture

最短平均旅行時間経路、および、幾つかの推奨経路を算出する。

それらの結果を車載のディスプレイ、または、スピーカーに出力しドライバーを誘導する。この交通渋滞制御システムにより、交通ネットワーク内の或る特定リンクでの交通渋滞の増加を防止できると思われる。

3. 信号制御システム

交通量が短期的には曜日と時刻によって変動すると仮定すると、幹線道路の各信号交差点でサンプリング周期 ΔT に対して次の交通量収支

$$x_e(i, m, l, k) = x_e(i, m, l, k-1) + x_i(i, m, l, k) - x_o(i, m, l, k) \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_e(i, m, l, k) < c_x(i, m, l, k) \\ x_e(i, m, l, k) \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

が成立する。ここで、添字 i, m, l, k はそれぞれ信号交差点の識別番号、車の進行方向、曜日、時刻を表しており、 $x_e(i, m, l, k)$, $x_i(i, m, l, k)$, $x_o(i, m, l, k)$ はそれぞれ超過流入交通量、流入交通量、捌け交通量を表している。捌け交通量 $x_o(i, m, l, k)$ は待ち行列の発進遅れ時間の影響で交通容量 $c_x(i, m, l, k)$ より小さい。

式(1)の交通量収支において流入交通量 $x_i(i, m, l, k)$ と捌け交通量 $x_o(i, m, l, k)$ の差は三つの信号制御パラメータ [サイクル長 $c_r(i, m, l, k)$ 、青信号スプリット $r_s(i, m, l, k)$ 、オフセット $t_{off}(i, m, l, k)$] によって制御されるので、制御入力 $u(i, m, l, k)$ を

$$\begin{aligned} u(i, m, l, k) &= f\{c_r(i, m, l, k), r_s(i, m, l, k), t_{off}(i, m, l, k)\} \\ &= x_i(i, m, l, k) - x_o(i, m, l, k) \end{aligned} \quad (3)$$

と定義する。各信号交差点の交通渋滞長のフィードバック適応システムは、式(1)に式(3)の関係を代入し、交通渋滞長 $y_1(i, m, l, k)$ と超過流入交通量 $x_e(i, m, l, k)$ の関係をを用いて

$$x_e(i, m, l, k) = x_e(i, m, l, k-1) + u(i, m, l, k) \quad (4)$$

$$y_1(i, m, l, k) = l_m(i, m, l, k)x_e(i, m, l, k) \quad (5)$$

と表される。ここで、 $l_m(i, m, l, k)$ は信号交差点での待ち行列の平均車頭間隔を表している。以上のように、各信号交差点の交通渋滞長のフィードバック適応システムは、超過流入交通量を状態変数とする離散形時変線形ダイナミックシステムで表される。このシステムで $x_e(i, m, l, k-1) = 0$ 、かつ $u(i, m, l, k) \leq 0$ の条件が満足されるとき、 $x_e(i, m, l, k) = 0$ に持っていくことができ、式(4)、式(5)で表される交通渋滞長のフィードバック適応システムは可制御となる。この適応システムで、制御対象プロセスは式(4)、式(5)で表され、基準入力 $l_r(i, m, l, k)$ は許容待ち行列長、出力は交通渋滞長 $y_l(i, m, l, k)$ 、制御入力 $u(i, m, l, k)$ は式(3)で表される三つの信号制御パラメータの関数であり、制御偏差 $e(i, m, l, k)$ は

$$e(i, m, l, k) = l_r(i, m, l, k) - y_l(i, m, l, k) \quad (6)$$

と定義される。幹線道路の交通渋滞長のフィードバック適応システムの制御目標は、評価関数

$$J(l, k) = \sum_i \sum_m |e(i, m, l, k)| \quad (7)$$

を最小にする制御入力 $u(i, m, l, k)$ 、つまり、三つの信号制御パラメータを求めることである。

4. 経路誘導アルゴリズム

交通ネットワークのオンライン交通情報を用いて現在地から目的地までの最短平均旅行時間経路を求める二つの経路誘導アルゴリズムを提案する。

4. 1 経路誘導アルゴリズム 1

各リンク距離を重みとして求めた推奨経路の平均旅行時間を5. で述べる平均旅行時間算定アルゴリズムを用いて求める⁹⁾。

Step1. GPSから測定した現在地、および、目的地をドライバーが車載の入力装置より入力する。

Step2. 現在地から目的地までの可能な経路を、リンク距離を重みにしたダイクストラのアルゴリズム⁹⁾を用いて経路距離の短い順に整列する。

Step3. 各経路の平均旅行時間算定に必要なオンライン交通情報を入力する。

Step4. Step.2で求めた各経路の平均旅行時間を5.で述べる平均旅行時間算定アルゴリズムを用いて求める。

Step5. 平均旅行時間の短い順に推奨経路を車載の出力装置に出力する。

4. 2 経路誘導アルゴリズム 2

各リンクの平均旅行時間を重みとして推奨経路の平均旅行時間を5. で述べる平均旅行時間算定アルゴリズムを用いて求める。最短平均旅行時間経路を理論的に探索できる。

Step1. GPSから測定した現在地、および、目的地をドライバーが車載の入力装置より入力する。

Step2. 各経路の平均旅行時間算定に必要なオンライン交通情報を入力する。

Step3. 各リンクの平均旅行時間を5.で述べる平均旅行時間算定アルゴリズムを用いて求める。

Step4. Step3.で求めた各リンクの平均旅行時間を重みとするダイクストラのアルゴリズムを用いて推奨経路を求める。

Step5. 平均旅行時間の短い順に推奨経路を車載の出力装置に出力する。

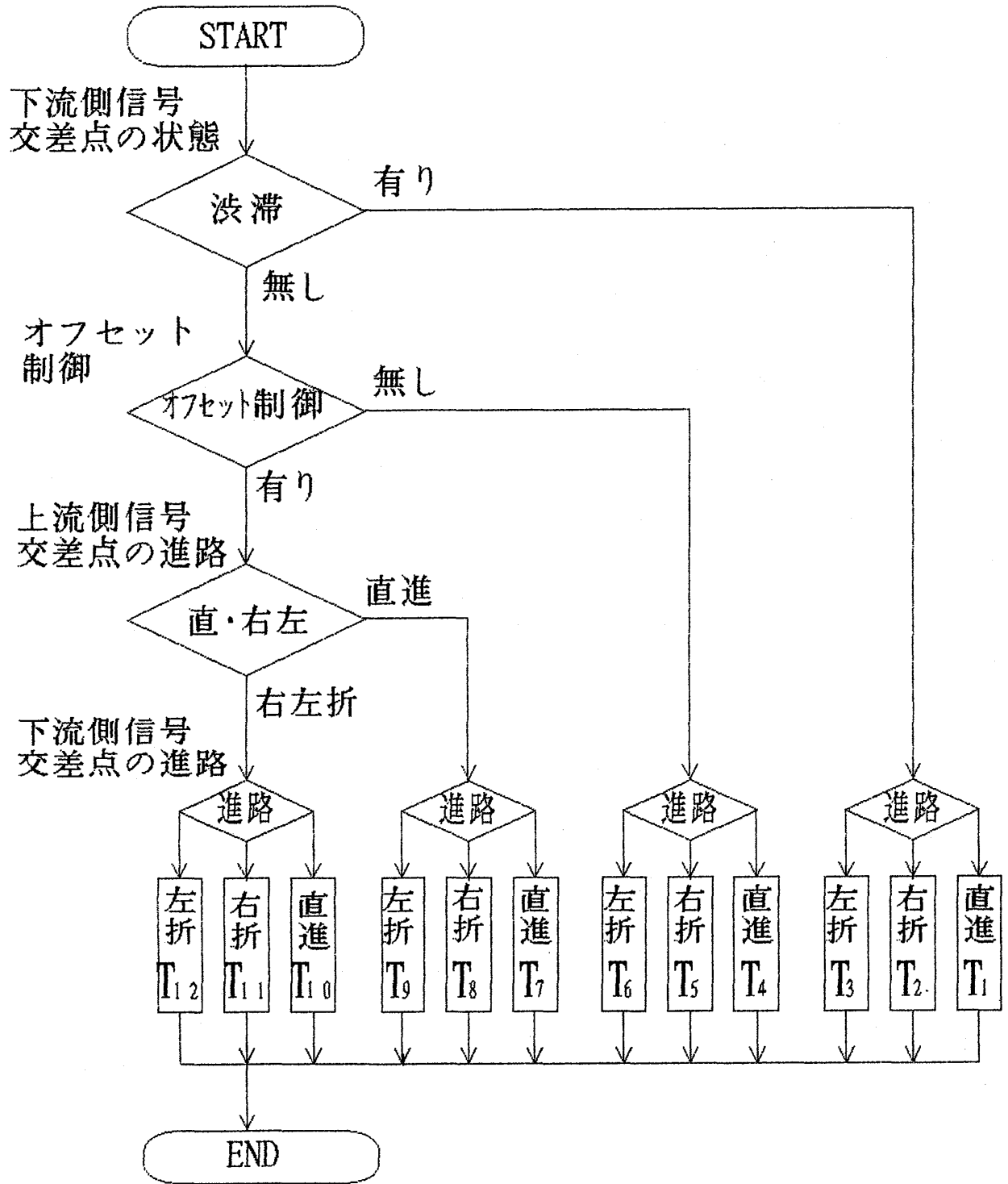


Fig.2 Flowchart of mean travel time evaluation for each link

5. 平均旅行時間算定アルゴリズム

現在地から目的地までの平均旅行時間は、各リンクの平均旅行時間の総和より求めることができる。ここで、各リンクの平均旅行時間の算定は、対象リンクの状態や上流側信号交差点と下流側信号交差点での進路（直進、右折、左折）によってFig. 2の様に分類して行う。対象リンクの状態とは、旅行リンクの下流側信号交差点での渋滞の有無と、上流側信号交差点と下流側信号交差点間のオフセット制御の有無を意味している。

5. 1 下流側信号交差点が渋滞の場合

下流側信号交差点が渋滞している場合、旅行車は下流側信号交差点で渋滞に遭遇する。下流側信号交差点を直進、右折、左折のいずれの方法で通過するかによって、各リンクの平均旅行時間 $T_1 \sim T_3$ を各々次式より算定する。なお、式の表現を簡略化するため、各信号交差点の位置や時刻を示す添字は以下省略する。

a) 下流側信号交差点を直進する場合

$$T_1 = P_g(t_t + \frac{1}{2} t_g + t_y + t_r + t_s + t_{cs}) + P_y(t_t + \frac{1}{2} t_y + t_r + t_s + t_{cs}) + P_r(t_t + \frac{1}{2} t_r + t_s + t_{cs}) \quad (8)$$

ここで、

$$t_t = \frac{d - y_1}{v} \quad (9)$$

$$t_{cs} = \frac{q}{\phi} \quad (10)$$

である。

b) 下流側信号交差点を右折する場合

$$T_2 = P_g(t_t + \frac{1}{2} t_g + t_y + t_r + t_{dr} + t_s + t_{cr}) + P_y(t_t + \frac{1}{2} t_y + t_r + t_{dr} + t_s + t_{cr}) + P_r(t_t + \frac{1}{2} t_r + t_{dr} + t_s + t_{cr}) \quad (11)$$

c) 下流側信号交差点を左折する場合

$$T_3 = P_g(t_t + \frac{1}{2} t_g + t_y + t_r + t_{dl} + t_s + t_{cl}) + P_y(t_t + \frac{1}{2} t_y + t_r + t_{dl} + t_s + t_{cl}) + P_r(t_t + \frac{1}{2} t_r + t_{dl} + t_s + t_{cl}) \quad (12)$$

ここで、

- t_t 走行時間
- t_g 青信号時間
- t_y 黄信号時間
- t_r 赤信号時間
- P_g 青信号の確率
- P_y 黄信号の確率
- P_r 赤信号の確率
- t_{dr} 直進青現示から右折青現示までの遅れ時間
- t_{dl} 直進青現示から左折青現示までの遅れ時間
- t_{cs} 直進待ち行列捌け時間
- t_{cr} 右折待ち行列捌け時間

- t_{c1} 左折待ち行列捌け時間
 t_s 青信号発進遅れ時間
 q 下流側の信号が赤から青に変わったときに発生している待ち行列台数
 ϕ 下流流入路の飽和流量
 d リンク距離
 v 走行速度
 y_1 渋滞長

を各々表している。

5. 2 下流側信号交差点が非渋滞の場合

下流側信号交差点が非渋滞の場合は、そのリンクがオフセット制御されているか否か、また、上流および下流側信号交差点での進路によって、各リンクの平均旅行時間 $T_4 \sim T_{12}$ を以下のように算定する。

5. 2. 1 オフセット制御されていない場合

a) 下流側信号交差点を直進する場合

$$T_4 = P_g \cdot t_i + P_y (t_i + \frac{1}{2} t_y + t_r + t_s) + P_r (t_i + \frac{1}{2} t_r + t_s) \quad (13)$$

b) 下流側信号交差点を右折する場合

$$T_5 = P_g \{ t_i + \alpha_r (\frac{1}{2} t_g + t_y + t_r + t_{dr} + t_s + t_{cr}) + \frac{1}{4} t_g (1 - \alpha_r) \} + P_y (t_i + \frac{1}{2} t_y + t_r + t_{dr} + t_s + t_{cr}) + P_r (t_i + \frac{1}{2} t_r + t_{dr} + t_s + t_{cr}) \quad (14)$$

ここで、 α_r は下流側信号交差点を青信号で進入して右折できない確率を表す。

c) 下流側信号交差点を左折する場合

$$T_6 = P_g \{ t_i + \alpha_l (\frac{1}{2} t_g + t_y + t_r + t_{dl} + t_s + t_{cl}) + \frac{1}{4} t_g (1 - \alpha_l) \} + P_y (t_i + \frac{1}{2} t_y + t_r + t_{dl} + t_s + t_{cl}) + P_r (t_i + \frac{1}{2} t_r + t_{dl} + t_s + t_{cl}) \quad (15)$$

ここで、 α_l は下流側信号交差点を青信号で進入して左折できない確率を表す。

5. 2. 2 オフセット制御されている場合

オフセット制御されているリンクの下流側信号交差点では、上流側信号交差点を旅行車が直進してきたのか、右左折してきたのかによって各々次式より算定する。

5. 2. 2. 1 上流側信号交差点を直進

a) 下流側信号交差点を直進する場合

$$T_7 = t_i \quad (16)$$

b) 下流側信号交差点を右折する場合

$$T_8 = t_i + t_g + t_{dr} + t_s + t_{cr} \quad (17)$$

c) 下流側信号交差点を左折する場合

$$T_9 = t_i + t_g + t_{dl} + t_s + t_{cl} \quad (18)$$

5. 2. 2. 2 上流側信号交差点を右左折

a) 下流側信号交差点を直進する場合

$$T_{1,0} = T_4 \tag{19}$$

b) 下流側信号交差点を右折する場合

$$T_{1,1} = T_6 \tag{20}$$

c) 下流側信号交差点を左折する場合

$$T_{1,2} = T_6 \tag{21}$$

6. シミュレーション結果と考察

本論文で提案した二つの経路誘導アルゴリズムの特徴や機能を検証するため、Fig.3で示される広島県福山市内の交通ネットワークにおいてシミュレーションを実行した。ここで、シミュレーションを容易にするためFig.3は現実の交通ネットワークを簡略化している。また、交通渋滞はFig.3に示されている三つのリンクで発生させ、オフセットは東西道路で制御されるが南北道路は制御されないと仮定した。

シミュレーションは、現在地と目的地がFig.4で示されるcase(a)、case(b)、case(c)の三つの場合について行った。経路1～経路5はダイクストラのアルゴリズムを用いて経路距離の短い順に整列したものである。case(a)について二つの経路誘導アルゴリズムを用いてシミュレーションを行うとFig.5, Fig.6の結果が得られた。アルゴリズム1のシミュレーション結果より、経路1、経路2、経路3は午前ラッシュ時の渋滞の影響を受けて平均旅行時間の変化していることがわかる。また、アルゴリズム2のシミュレーション結果を示すFig.6のNo.1～No.5は、各時刻における平均旅行時間の短い経路順にプロットしたものである。したがって、No.1の推奨経路は時々刻々とその経路が変化している。case(a)では、アルゴリズム1とアルゴリズム2の各時刻における最短平均旅行時間が一致した。

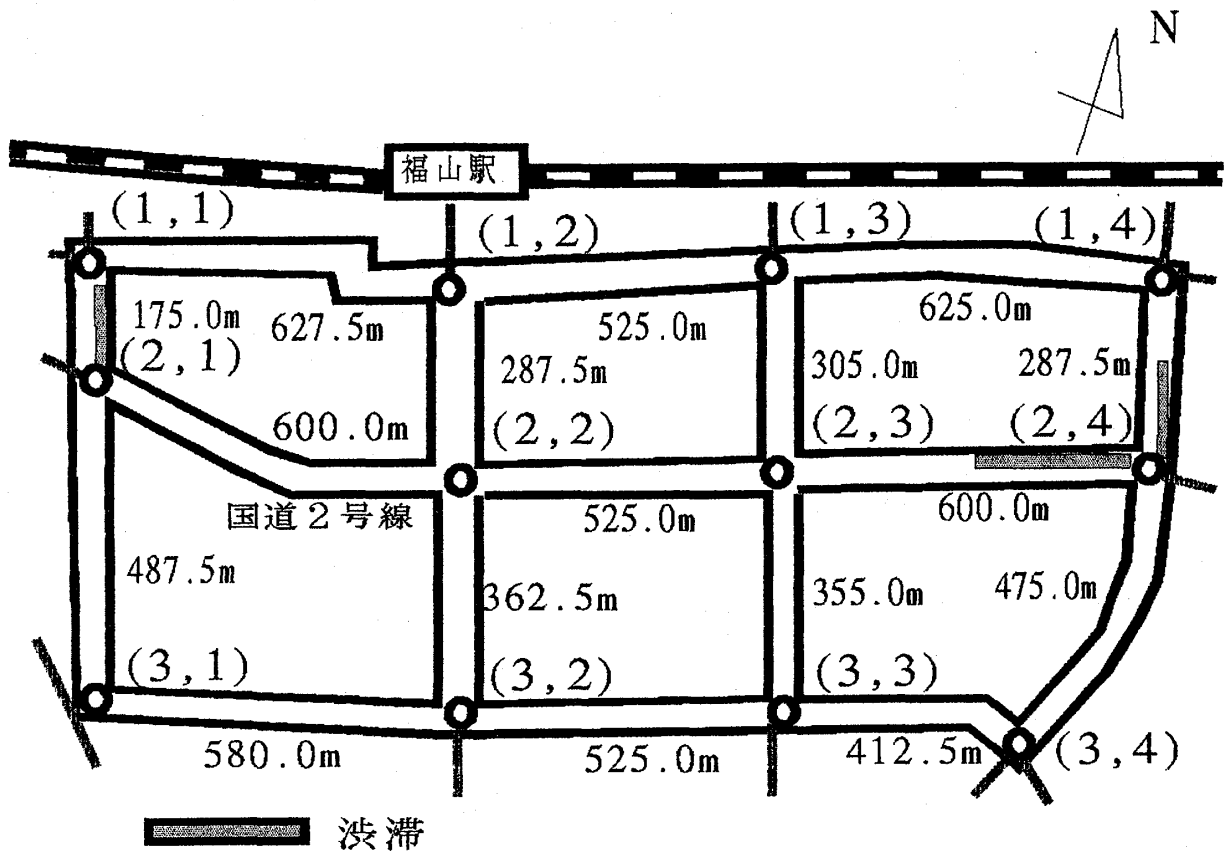
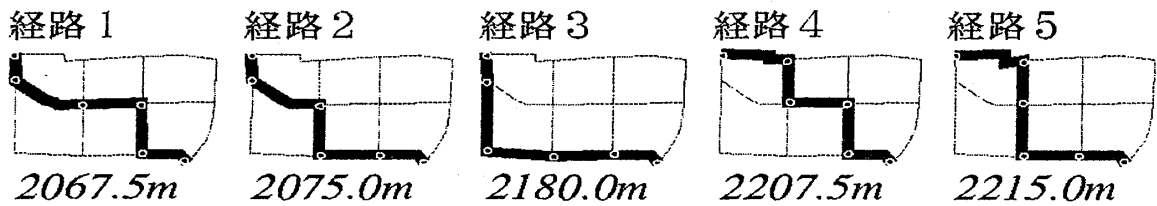
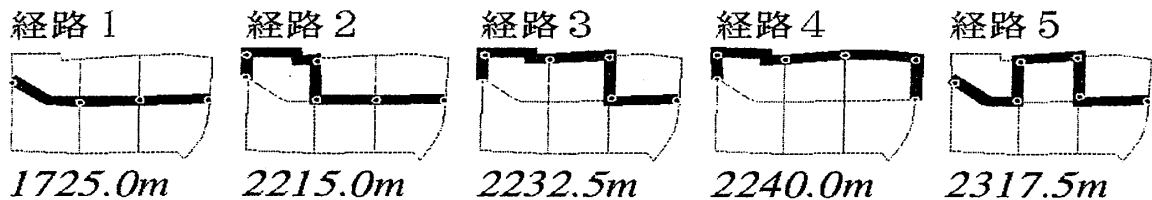


Fig.3 Traffic network of twelve signalized intersections in Fukuyama city

case(a) (1,1)から(3,4)



case(b) (2,1)から(2,4)



case(c) (2,1)から(3,4)

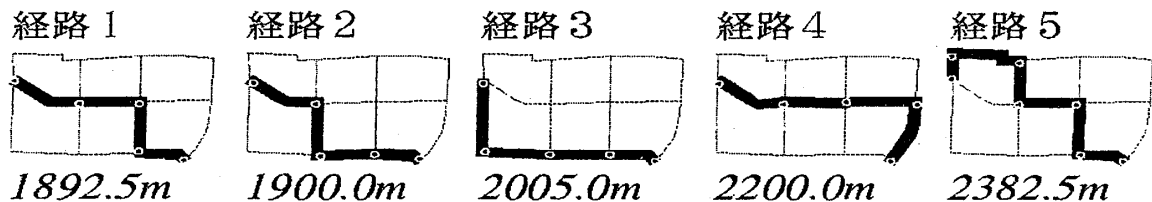


Fig.4 Short distance routes of Algorithm1

case(b)のシミュレーション結果を示すFig.7とFig.8を比較すると、アルゴリズム1とアルゴリズム2の最短平均旅行時間が渋滞時において少し異なっていることがわかる。つまり、アルゴリズム1で求めた最短平均旅行時間経路の経路1は、渋滞時において2番目に短い平均旅行時間経路となっていることがわかる。アルゴリズム2より求めた渋滞時の真の最短平均旅行時間経路は、経路距離が2480mの(2,1),(3,1),(3,2),(3,3),(3,4),(2,4)の経路である。

case(c)のシミュレーション結果を示すFig.9とFig.10の比較より、二つのアルゴリズムの最短平均旅行時間が各時刻において一致することを容易に確かめることができる。

7. むすび

本論文では、交通渋滞制御システムや信号制御システム、経路誘導システムについて考察し、経路誘導アルゴリズムと平均旅行時間算定アルゴリズムを提案した。シミュレーションの結果、提案した二つの経路誘導アルゴリズムは、信号制御パラメータや交通渋滞長、直進、右左折などの影響を受けて現在地から目的地までの平均旅行時間が変動し、有効に働くことを確かめることができた。また、二つの経路誘導アルゴリズムの最短平均旅行時間経路は一部を除いて一致した。

今後の課題は、交通ネットワークの信号制御アルゴリズムの開発や平均旅行時間の実測調査との比較、および、経路誘導アルゴリズム1の実用性などであると思われる。

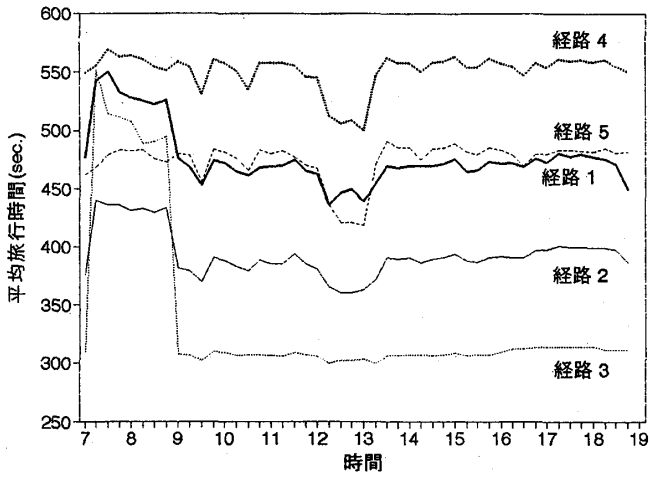


Fig.5 Recommendable routes of case(a) by the Algorithm1

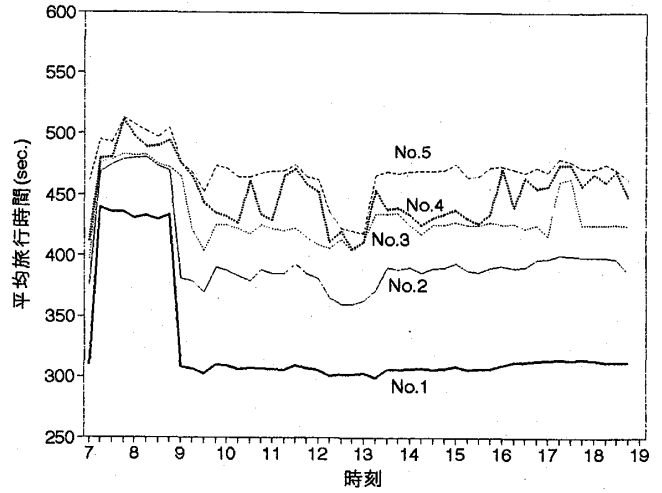


Fig.6 Recommendable routes of case(a) by the Algorithm2

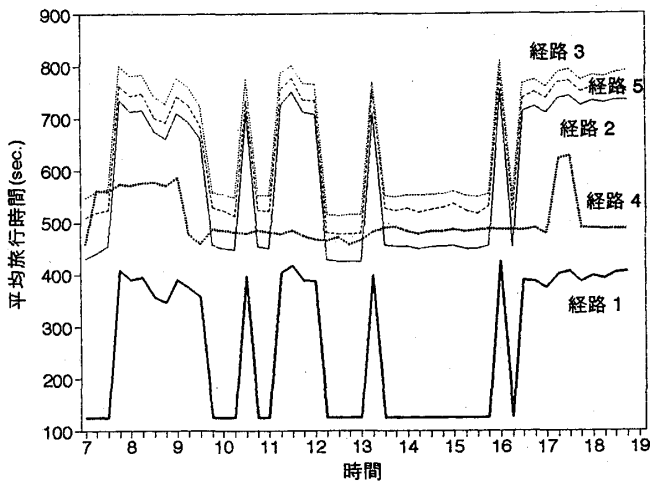


Fig.7 Recommendable routes of case(b) by the Algorithm1

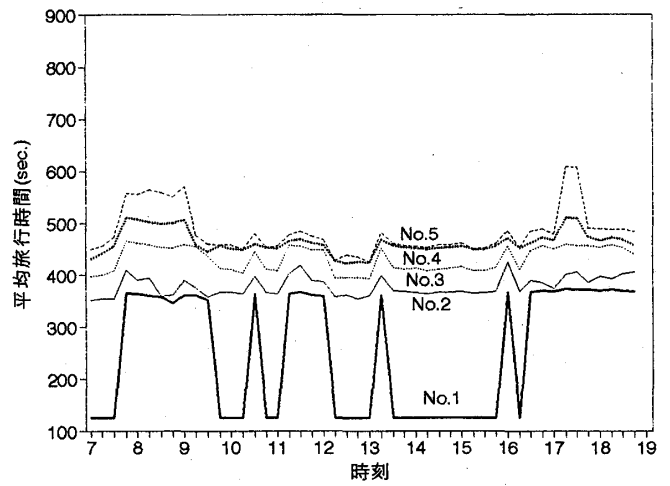


Fig.8 Recommendable routes of case(b) by the Algorithm2

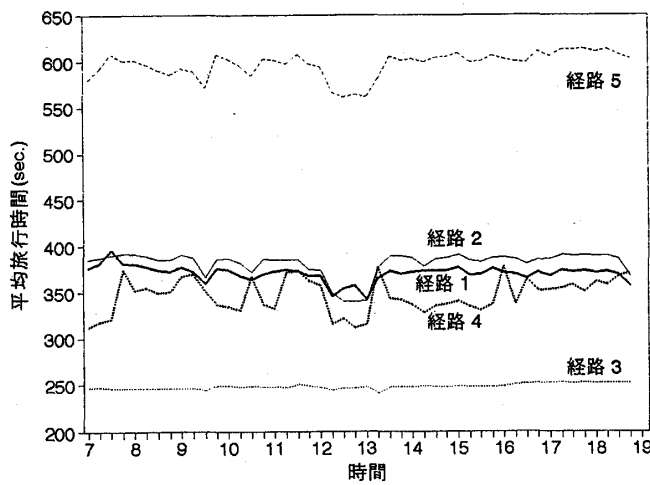


Fig.9 Recommendable routes of case(c) by the Algorithm1

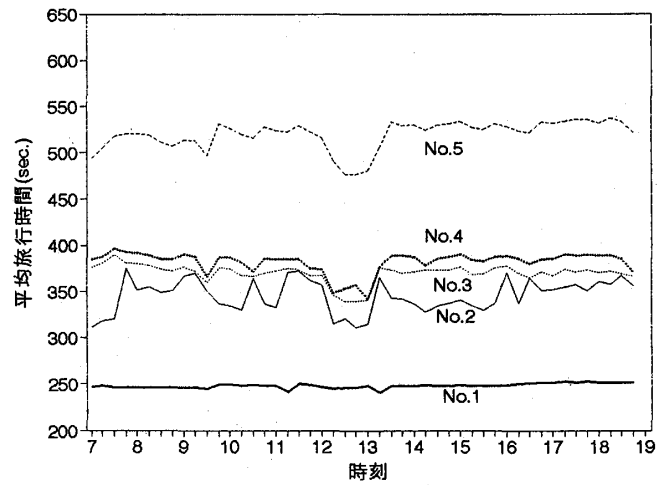


Fig.10 Recommendable routes of case(c) by the Algorithm2

【参考文献】

- (1) P.B.Hunt, D.I.Robertson, R.D.Bretherton and R.I.Winton : "SCOOT-A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals", TRRL Laboratory Report 1014(1981)
- (2) 柴田、山本 : "都市街路網における渋滞制御", システムと制御, Vol.29, No.2, 123/131(1985)
- (3) E.J.Davison and Ü.Özguner : "Decentralized Control of Traffic Networks", IEEE Trans., Vol. AC-28, 677/688(1983)
- (4) H.Shimizu, H.Naraki and E.Watanabe : "Comparison of Two Feedback Adaptation Algorithms for Traffic Congestion Length", Proc. of the 3rd International Workshop on Advanced Motion Control, Berkeley, 1019/1028(1994)
- (5) 鈴木 : "「オートガイド」 ; 英国の最適ルート案内システム", 交通工学, Vol.26, No.1, 87/91(1991)
- (6) G.Heti : "TravelGuide-Ontario Route Guidance System Concept", Transportation Technology and Energy Branch, Ontario Ministry of Transportation(1991)
- (7) H.Shimizu and M.Kobayashi : "A Route Guidance Algorithm of Traffic Network", Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings, Yokohama, 327/332(1994)
- (8) E.W.Dijkstra : "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs", Numerische Mathematik 1, 269/271 (1959)