

# 交通ネットワークの渋滞長制御

石川 洋<sup>†</sup> 清水 光<sup>†</sup>  
傍田 祐司<sup>††</sup> 小林 正明<sup>†</sup>

本論文では、交通需要のサイクル長単位の時間変動に対応して2方向交通ネットワークの渋滞長をオンラインで制御する信号制御システムと信号制御アルゴリズムについて提案する。最初に、信号交差点の車線単位で成立する交通量収支に基づいて、渋滞長の信号制御システムを離散形時変非線形ダイナミックシステムで表現し、フィードバック制御を用いて構成する。次に、渋滞長の総和に関する評価関数が最小化されるように3つの信号制御パラメータを段階的に、かつ統一的に探索するネットワーク制御アルゴリズムについて提案する。最後に、広島県福山市内交通ネットワークを対象に、提案した信号制御システムとネットワーク制御アルゴリズムのシミュレーションを実行した。現実の交通ネットワークで使用されているパターン選択法による信号制御の結果と、シミュレーションによる信号制御の結果を比較し考察した結果、提案した渋滞長の信号制御システムと信号制御アルゴリズムが有効に働くことを確かめた。

## Congestion Length Control for a Traffic Network

HIROSHI ISHIKAWA,<sup>†</sup> HIKARU SHIMIZU,<sup>†</sup> YUJI SOBATA<sup>††</sup>  
and MASA-AKI KOBAYASHI<sup>†</sup>

This paper studies a signal control method which controls congestion lengths systematically in a two-way traffic network. The signal control system of the congestion length is described by a nonlinear time-varying discrete dynamic system and synthesized by using the feedback control. A network control algorithm in which the three signal control parameters consisting of the cycle length, green split and offset are searched systematically so as to minimize the sum of congestion lengths in the traffic network is presented. From the comparison of congestion lengths between measurement values controlled by a pattern selection method and simulation values, it is confirmed that the signal control system and the network control algorithm work effectively to reduce the congestion lengths in the traffic network.

### 1. はじめに

近年、経済の発展や生活水準の向上、道路の整備、車の技術革新などにもとまって、自動車利用者は拡大し、わが国の自動車保有台数は直線的に増加してきた<sup>1)</sup>。その結果、交通量が増加し、朝夕のラッシュ時には主要幹線道路を中心に交通渋滞が日常的に発生する一因になっている。交通渋滞は旅行時間や燃料消費の増加、排気ガスによる大気汚染、騒音などの社会的マイナス要因を発生させている。交通渋滞を解消、または軽減する最も有効な対策の1つとして信号制御システムがあげられる。

信号制御システムの目的は、与えられた道路条件や

交通条件のもとで、ある評価関数値を最適化するように3つの信号制御パラメータ(サイクル長、青信号スプリット、オフセット)を統一的に制御することであると考えられる。現在、交通ネットワークの各リンクの交通量や待ち車列長の時々刻々の変動に応じて3つの信号制御パラメータをオンラインで制御する信号制御法として、SCOOT<sup>2),3)</sup>やSCAT<sup>4)</sup>、STREAM<sup>5),6)</sup>などが実用化されている。また、理想的に仮定された1方向交通ネットワークの各流入路の待ち車列をパランス化する青時間が分散コントローラを用いて求められている<sup>7)</sup>。これらのオンライン信号制御法では、3つの信号制御パラメータが各評価関数を最小化するように個別に制御されている。現実の交通ネットワークでは、朝夕のラッシュ時に交通量が急激に増加する場合があります。3つの信号制御パラメータを統一し、かつ協調的に制御することが望ましいと考えられる。

本論文では、交通需要のサイクル長単位の時間変動

<sup>†</sup> 福山大学  
Fukuyama University  
<sup>††</sup> 株式会社ビーシーシー  
BCC Co.

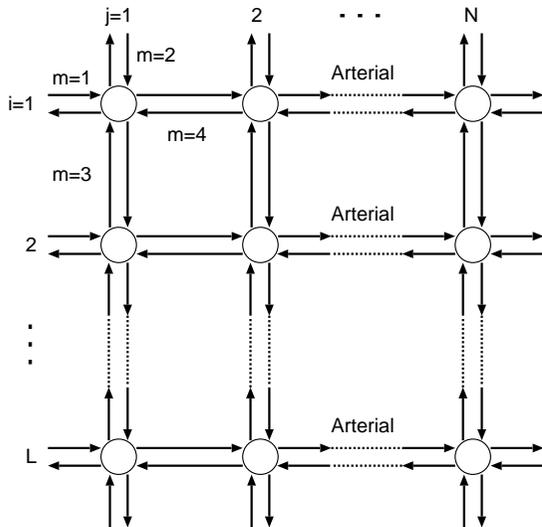
に対応して、交通ネットワークの渋滞長をオンラインで制御する信号制御システムと信号制御アルゴリズムについて提案する．最初に、各信号交差点における渋滞長の信号制御システムを交通量収支に基づいて離散形時変非線形ダイナミックシステムで表現し、フィードバック制御を用いて構成する．次に、渋滞長の総和に関する評価関数が最小化されるように、3つの信号制御パラメータを段階的、かつ統一的に探索するネットワーク制御アルゴリズムについて提案する．最後に、広島県福山市内交通ネットワークにおいて、提案した渋滞長の信号制御システムとネットワーク制御アルゴリズムのシミュレーション結果について考察する．

2. 渋滞長制御システム

本論文で対象とする2方向交通ネットワークの交通流を表すと図1のようになる．交通ネットワークの信号交差点の流入路の各車線において、ある時間単位  $\Delta T$ （ここではサイクル長）で交通量収支の成立することが、交通量の測定データに基づいて検証できる．交通量収支は次式で表される．

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

$$\begin{cases} x_o(i, j, m, k) = \xi(i, j, m, k) \times c_x(i, j, m, k) \\ x_e(i, j, m, k) \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$



○ : Signalized intersection  
 図1 2方向交通ネットワークの交通流  
 Fig.1 Two-way traffic flows in network.

ここで、 $i$  と  $j$  は信号交差点の位置、 $m$  は信号交差点への車の流入路 ( $m = 1$  は東行き、 $m = 2$  は南行き、 $m = 3$  は北行き、 $m = 4$  は西行き)、 $k = k \cdot \Delta T$  ( $k = 1, 2, \dots, k_f$ ) は時刻をそれぞれ表す (図1参照)．また、 $x_e(i, j, m, k)$ 、 $x_i(i, j, m, k)$ 、 $x_o(i, j, m, k)$  はそれぞれ超過流入交通量、流入交通量、捌け交通量を表す．式(2)の  $c_x(i, j, m, k)$  は各流入路の交通処理量、 $\xi(k)$  はある交通流のもとで  $x_o(i, j, m, k)$  を  $c_x(i, j, m, k)$  で除した比率で捌け率とよぶ．捌け交通量は、ある交通流のもとでサイクル長や青信号スプリット、オフセットの3つの信号制御パラメータで制御できるものと仮定し、次式で表す．

$$x_o(i, j, m, k) = f[c_y(i, j, m, k), r_g(i, j, m, k), t_{off}(i, j, m, k)] \quad (3)$$

ここで、 $c_y(i, j, m, k)$ 、 $r_g(i, j, m, k)$ 、 $t_{off}(i, j, m, k)$  はそれぞれサイクル長、青信号スプリット、オフセットを表す．なお、青信号スプリット  $r_g(i, j, m, k)$  は各信号交差点の現示に基づいて設定され、対向方向の交通に対して同じ値が配分される．捌け交通量をある交通流のもとで3つの信号制御パラメータで制御できると仮定して、制御入力  $u(i, j, m, k)$  で置き換えると、渋滞長の信号制御システムは以下の非線形ダイナミックシステムで記述される．

$$\begin{cases} x_e(i, j, m, k) = x_e(i, j, m, k - 1) + x_i(i, j, m, k) - u(i, j, m, k) \\ y_c(i, j, m, k) = l_m(i, j, m, k) \times x_e(i, j, m, k) \end{cases} \quad (4)$$

上式で、制御入力の上限は式(2)によって決定され、飽和特性を有する．渋滞長  $y_c(i, j, m, k)$  は、待ち車列の平均車頭間隔  $l_m(i, j, m, k)$  に状態変数  $x_e(i, j, m, k)$  を乗じて求められる．

渋滞長の信号制御システムで、基準入力に許容渋滞長  $l_r(i, j, m, k)$  を、制御入力に3つの信号制御パラメータを、出力に渋滞長をそれぞれ対応させる．そのとき、各信号交差点における渋滞長のフィードバック制御システムが構成される<sup>8)</sup>．

制御システムにおいて制御偏差  $e(i, j, m, k)$  を次式で定義する．

$$e(i, j, m, k) \triangleq l_r(i, j, m, k) - y_c(i, j, m, k) \quad (5)$$

各信号交差点の各流入路における飽和度は一般に一樣ではなく、飽和度が最大となる流入路を優先的に制御する考えより、以下の関数  $g(i, j, m, k)$  を定義する．

$$g(i, j, m, k) =$$

$$\begin{cases} 0 & e(i, j, m, k) \geq 0 \\ |e(i, j, m, k)| & e(i, j, m, k) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

2 方向交通ネットワークの渋滞長信号制御システムの目的は、次式の評価関数  $J_n(k)$  を最小にする制御入力を統一的に求めることである。

$$J_n(k) = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^4 g(i, j, m, k) \quad (7)$$

2 方向交通ネットワークの渋滞長信号制御システムでは、幹線道路の場合と異なってオフセットの閉路に関する制約条件<sup>9)</sup> が付き、信号制御アルゴリズムも階層的になる (図 3, 表 1 参照)。

### 3. 信号制御アルゴリズム

#### 3.1 オフセットの制約条件

ここでは、複数の信号交差点から成る 2 方向交通ネットワークにおいて、連続通過帯幅を最大にする平等オフセットを Fieser の方法<sup>10)</sup> を用いて探索する。Fieser の方法により平等オフセットを探索する場合、以下に述べる閉路に関する制約条件が存在する。図 2 に示すような交通ネットワークの 1 つの閉路 ABCD において、隣接する信号交差点間のオフセットおよび各信号の青時間、黄時間の合計が、基準となる信号交差点のサイクル長の整数倍にならなければならない。この制約条件を式で表すと以下のようなになる。

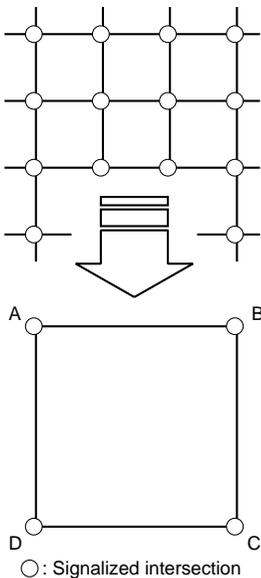


図 2 4 つの信号交差点で構成される閉路

Fig. 2 Closed links consisting of four signalized intersections.

$$\begin{aligned} & t_{off,B(AB)} + g_{t,B(AB)} \\ & + t_{off,C(BC)} + g_{t,C(BC)} \\ & + t_{off,D(CD)} + g_{t,D(CD)} \\ & + t_{off,A(DA)} + g_{t,A(DA)} = N \times c_y \quad (8) \end{aligned}$$

$t_{off,B(AB)}$  : A 信号交差点から B 信号交差点に向かうリンクにおいて、A 信号交差点を基準とした B 信号交差点のオフセット [s]

$g_{t,B(AB)}$  : A 信号交差点から B 信号交差点に向かうリンクにおいて、B 信号交差点の青時間と黄時間の和 [s]

$c_y$  : A, B, C, D 信号交差点に共通なサイクル長 [s]

$N$  : 整数

#### 3.2 ネットワーク制御アルゴリズム

ネットワーク制御アルゴリズムは、幹線道路の渋滞長制御でその有効性が確認されたバランス制御アルゴリズム<sup>8)</sup> を用い、式 (7) で表される 2 方向交通ネットワークの評価関数を最小化する 3 つの信号制御パラメータを段階的に、かつ統一的に探索する。

Step 1. 各幹線道路ごとに、式 (9) で表される幹線道路の評価関数  $J_a(k)$  を最小にするように、3 つの信号制御パラメータをバランス制御アルゴリズムを用いて探索する。

$$J_a(k) = \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^4 g(j, m, k) \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (9)$$

Step 2. オフセット制御の観点から、Step 1 で探索されたサイクル長の最大値を交通ネットワーク内におけるすべての信号交差点のサイクル長として共通に設定し、式 (9) の評価関数  $J_a(k)$  を最小にする残り 2 つの信号制御パラメータをバランス制御アルゴリズムを用いて再度探索する。

Step 3. 隣接して並行する 2 つの幹線道路間を接続するリンクのオフセット値  $t_{off}^*(i, j, m, k)$  を、その閉路に関する制約条件のもとで式 (7) の評価関数  $J_n(k)$  を最小にするように算定する。

i) 最初に、2 つの並行する幹線道路間を接続するリンク間において指標  $x'_i(i, j, m, k)/c_x(i, j, m, k)$  が最大となる信号交差点間のオフセットを Fieser の方法により算定する。ここで、 $x'_i(i, j, m, k)$  は次式で表される渋滞時の流入交通量を表す。

$$\begin{aligned} x'_i(i, j, m, k) &= x_e(i, j, m, k - 1) \\ &+ x_i(i, j, m, k) \quad (10) \end{aligned}$$

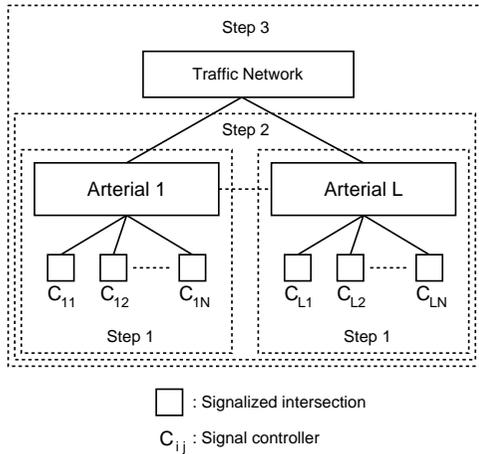


図3 ネットワーク制御アルゴリズムの階層構造  
Fig. 3 Hierarchical structure of network control algorithm.

表1 ネットワーク制御アルゴリズムの評価関数  
Table 1 Performance criteria of network control algorithm.

Step	Performance criteria
Step 1	Minimize $J_a(k)$ $c_y, r_g, t_{off}$
Step 2	Minimize $J_a(k)$ $r_g, t_{off}$
Step 3	Minimize $J_n(k)$ $t_{off}^*$

ii) 次に、オフセットの閉路に関する制約条件のもとで残りの信号交差点間のオフセットを算定する。以上の制御アルゴリズムを初期時刻  $k = 1$  から最終時刻  $k = k_f$  まで逐次繰り返す。

ネットワーク制御アルゴリズムの各 Step は、図3と表1に表されるように階層構造になっている。すなわち、最初に Step 1 ですべての信号交差点に共通に設定されるサイクル長  $c_y(i, j, m, k)$  が探索される。次に、Step 2 で幹線道路上の信号交差点の青信号スプリット  $r_g(i, j, m, k)$  とオフセット  $t_{off}(i, j, m, k)$  が、評価関数  $J_a(k)$  を最小にするように探索される。最後に、Step 3 で幹線道路間を接続するリンクのオフセット  $t_{off}^*(i, j, m, k)$  が、その閉路に関する制約条件のもとで評価関数  $J_n(k)$  を最小にするように求められる。

4. シミュレーション結果と考察

図4に示される広島県福山市内2方向交通ネットワークの渋滞長制御のシミュレーションは、式(4)の渋滞長信号制御システムに基づき、3章の信号制御アルゴリズムを用いて行った。このとき、福山市内2方

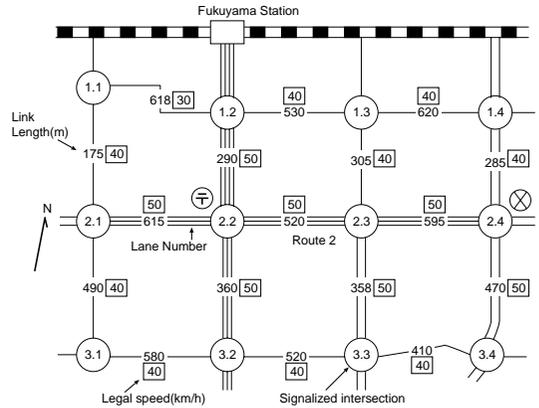


図4 広島県福山市内の2方向交通ネットワーク  
Fig. 4 Two-way traffic network in Fukuyama city.

向交通ネットワークの道路条件や交通条件、信号制御条件の調査データをシミュレーションの入力データとして使用した。流入交通量や捌け交通量は、信号交差点全体が見える場所にビデオカメラを設置してサイクル長単位で測定した。このシミュレーションでは、入力データが同一であれば同一のシミュレーション結果が得られる。また、単一信号交差点において渋滞長が実用的な精度で再現できることを文献(11)で示している。

4.1 シミュレーション

主要幹線道路である国道2号線が市内の中心部を東西方向に通っており、(2.1)から(2.4)信号交差点までは片側3車線、法定速度は50km/hとなっている。また、南北方向の幹線道路として、JR福山駅から南に延びる道路と、(1.4)、(2.4)、(3.4)信号交差点を通過する合計2本の道路がある。対象となる信号交差点は全部で12地点あり、各信号交差点の道路形状や車線構成、現示を調査し、シミュレーションに用いた。次に、各信号交差点における渋滞長のフィードバック制御システムの一構成要素である Traffic Flow (交通流) モデルは以下のように考えた。信号交差点の各流入路の各車線においてサイクル長単位で式(1)と式(2)で表される交通量収支が成立する。この交通量収支については、流入交通量や捌け交通量、超過流入交通量を実際にサイクル長単位で測定することにより検証できる。シミュレーションでは信号制御により交通渋滞が発生しないので、車のリンク走行速度は法定速度に基づいて設定した。捌け率  $\xi(i, j, m, k)$  は、実測した捌け交通量を算定した交通処理量で割って求めた。この値はサイクル長単位で不規則に変動するため、ここではラッシュ時の平均値を用いた<sup>13)</sup>。待ち車列の平均車頭間隔  $l_m(i, j, m, k)$  は、車種別混入率によって変動

し、ここではラッシュ時の実測値の平均値を用いた。

今回、シミュレーションの対象となる福山市内交通ネットワークの各信号交差点において、主な渋滞は直進車線で発生し、右折車線では2信号交差点でわずかに発生している程度であった。そこで、シミュレーションは各信号交差点の直進車線を対象に行った。なお、バランス制御アルゴリズムでは右折と左折の青信号スプリットも制御され、それらのシミュレーション結果について文献 14) に示されている。

#### 4.2 パターン選択法

現在、福山市内をはじめ、わが国で実用化されている信号制御システムでは、3つの信号制御パラメータがあらかじめ設定された複数のパターンの中から交通状況に最も適切なパターンを選択して決定されている<sup>15)</sup>。

青信号スプリットは次式

$$A(k) = \alpha X(k) + \beta O(k) \quad (11)$$

で定義される交通状態量  $A(k)$  に基づいて6種類のパターンに分割される。ここで、 $X(k)$  は計測交通量、 $O(k)$  は計測占有率、 $\alpha$  と  $\beta$  は定数を表す。6種類のパターンは、主道路優先や従道路優先、主従道路平等、非飽和状態などから成り立つ。

サイクル長は次式

$$\rho(k) = (x_i(k) + w(k))/S \quad (12)$$

で定義される負荷率  $\rho(k)$  に基づいて5種類のパターンに分割される。ここで、 $x_i(k)$  は流入交通量、 $w(k)$  は待ち車列台数、 $S$  は飽和交通流率を表す。パターン間のサイクル長の差は10~15秒程度である。

オフセットは、上りと下りの双方向の交通量とサブエリアのサイクル長に基づいて10種類のパターンに分割される。10種類のパターンは、上り優先や下り優先、上り下り平等、非飽和状態などから成り立つ。

#### 4.3 測定値とシミュレーション値の比較

福山市内交通ネットワークの渋滞状況は以下に述べるとおりである。最初に、(1.1) 信号交差点では、南行き方向において朝夕のラッシュ時に流入交通量が増加し渋滞が発生している。(1.4) 信号交差点では、南行き方向において夕方のラッシュ時に渋滞が発生している。また、(2.1) 信号交差点では、東行き方向の車線数が2車線から3車線に増加しているが、朝夕のラッシュ時に流入交通量が増加し、東行き方向において先詰まり現象が発生し渋滞が多発している。さらに、(2.3) 信号交差点では、北行き方向において車線数が2車線から1車線に減少し、夕方のラッシュ時に渋滞が発生している。(2.4) 信号交差点では、南行き方向において夕方のラッシュ時に流入交通量が急激に増加

し、渋滞が大きく発生している。最後に、(3.4) 信号交差点では、北行き方向において夕方のラッシュ時に流入交通量が増加し、渋滞が発生している。

以上の調査結果より、福山市内交通ネットワークにおいて特に重要な信号交差点は、流入交通量が多い国道2号線上と、(2.4) 信号交差点を中心とした南北の(3.4)、(1.4) 信号交差点であると考えられる。

シミュレーション、ならびに、比較に用いられた交通量と各パラメータは、平成12年と13年の夏期の平日の朝夕のラッシュ時にサイクル長単位で測定した。信号制御パラメータのサイクル長と青時間はビデオカメラを用いて測定し、相対オフセットは広島県警察本部交通部より提供していただいた資料に基づいて測定値を求めた。また、渋滞長は各流入路の車線ごとに超過流入交通量を目視し測定した。

主要幹線道路である国道2号線における渋滞長制御のシミュレーション結果と考察については文献 8)、12) に譲り、ここでは、特に流入交通量が多く渋滞が発生している(1.4)、(2.4)、(3.4) 信号交差点において、パターン選択法による信号制御の測定値とシミュレーション値を比較し、最後に、合計12の信号交差点の交通渋滞長について比較する。基準入力となる許容渋滞長は全流入路に対して  $l_r(i, j, m, k) = 0\text{m}$  と設定した。信号交差点の各流入路における直進1車線あたりの流入交通量を図5、図6、図7に示す。(1.4) 信号交差点では夕方のラッシュ時に南北方向の交通量が増加している。(2.4) 信号交差点では夕方18時前から19時にかけて南行き交通量が急増し、図14に示すように渋滞が大きく発生している。(3.4) 信号交差点では南北方向の交通量が多く、夕方の一部で北行き交通量が増加している。

ネットワーク制御アルゴリズムでは、サイクル長と青信号スプリットの積で求まる青時間は式(9)の評価関数を最小化するように探索される。サイクル長は指標  $x'_i(i, j, m, k)/c_x(i, j, m, k)$  が最大となる過飽和信号交差点の流入路の交通量の変動に対応して探索され、オフセット制御の観点から全信号交差点で共通な値に設定される。3つの信号交差点におけるサイクル長のシミュレーション値と測定値を比較すると図8のようになる。現実のパターン選択法において、サイクル長は負荷率に基づいていくつかの種類のパターンに分類される。図8より、現実のパターン選択法では(1.4)、(2.4) 信号交差点で150秒を中心に小さく変動し、(3.4) 信号交差点で7時すぎに100秒から170秒の範囲で変動している。それに対し、シミュレーションでは流入交通量の変動に対応して朝夕140秒から

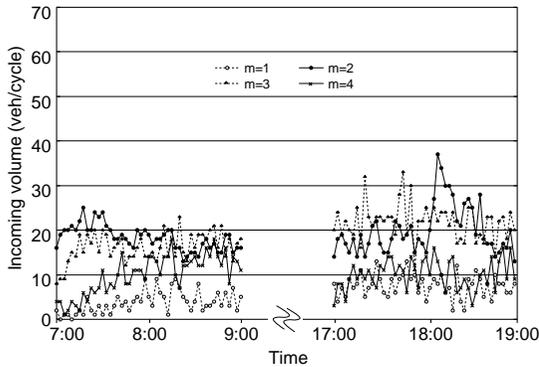


図 5 (1.4) 信号交差点における直進車の流入交通量

Fig. 5 Incoming volumes for straightforward vehicles at (1.4) signalized intersection.

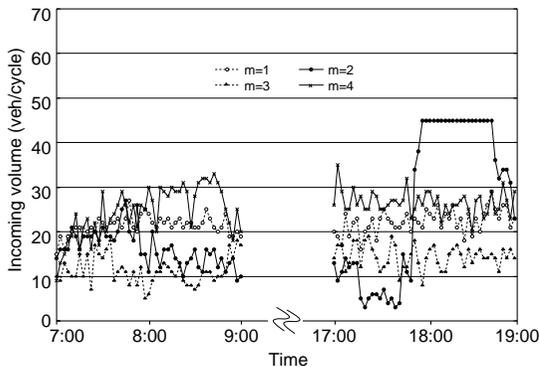


図 6 (2.4) 信号交差点における直進車の流入交通量

Fig. 6 Incoming volumes for straightforward vehicles at (2.4) signalized intersection.

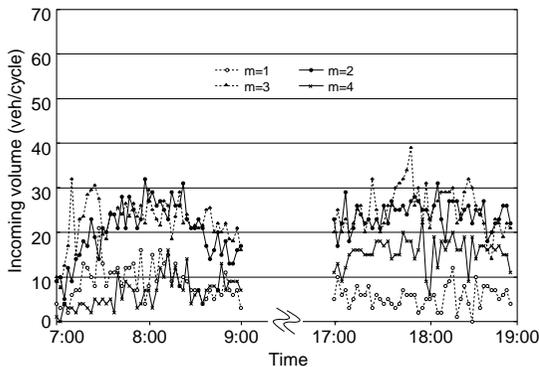


図 7 (3.4) 信号交差点における直進車の流入交通量

Fig. 7 Incoming volumes for straightforward vehicles at (3.4) signalized intersection.

200 秒までの広範囲で制御されている。

青信号の測定値とシミュレーション値を (1.4), (3.4) 信号交差点で比較すると図 9 と図 10 のようになる。(3.4) 信号交差点の 7 時の前半を除き、測定値の変動

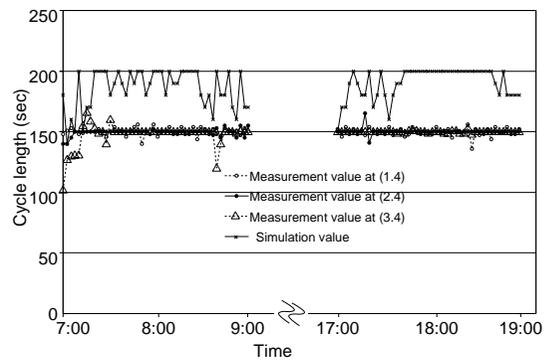


図 8 各信号交差点におけるサイクル長のシミュレーション値と測定値の比較

Fig. 8 Comparison of cycle length between simulation value and measurement value at (1.4), (2.4) and (3.4) signalized intersections.

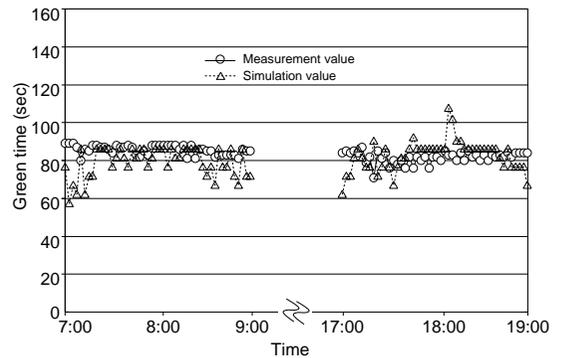


図 9 (1.4) 信号交差点における南行き方向直進車に対する青時間のシミュレーション値と測定値の比較

Fig. 9 Comparison for green time of straightforward vehicles between simulation value and measurement value for  $m = 2$  at (1.4) signalized intersection.

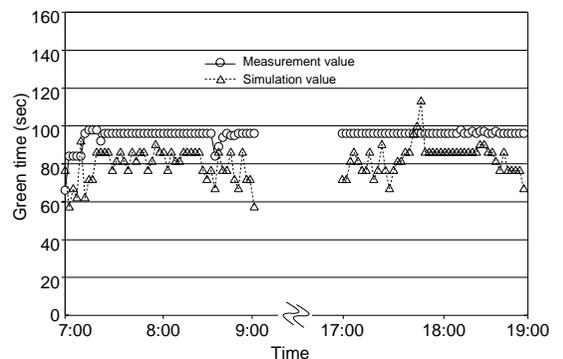


図 10 (3.4) 信号交差点における北行き方向直進車に対する青時間のシミュレーション値と測定値の比較

Fig. 10 Comparison for green time of straightforward vehicles between simulation value and measurement value for  $m = 3$  at (3.4) signalized intersection.

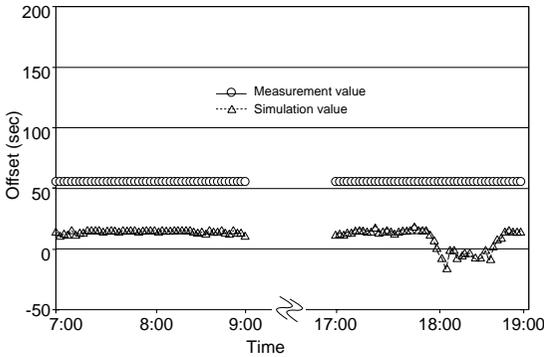


図 11 (1.4)–(2.4) 信号交差点間における南行き方向交通に対する相対オフセットのシミュレーション値と測定値の比較  
 Fig. 11 Comparison of offset between simulation value and measurement value for  $m = 2$  between (1.4) and (2.4) signalized intersections.

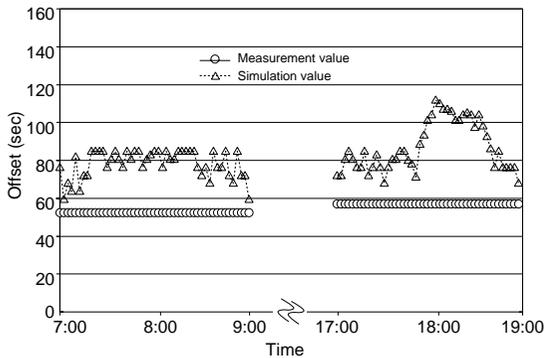


図 12 (2.4)–(3.4) 信号交差点間における南行き方向交通に対する相対オフセットのシミュレーション値と測定値の比較  
 Fig. 12 Comparison of offset between simulation value and measurement value for  $m = 2$  between (2.4) and (3.4) signalized intersections.

幅は小さい．それに対し，シミュレーション値は夕方  
 のラッシュ時をはじめ，流入交通量の変動に対応して  
 広範囲にきめ細かく制御されている．

(1.4)–(2.4) 信号交差点間，および (2.4)–(3.4) 信号  
 交差点間の南行き方向に対する相対オフセットのシ  
 ミュレーション値と測定値を比較すると図 11 と図 12  
 のようになる．パターン選択法による相対オフセット  
 は，サイクル長と上り下り交通量の値に応じて最適  
 なパターンを選択している．パターン選択法によって  
 制御されている測定値は，サイクル長 150 秒に対  
 して午前，夕方ともに 50～60 秒程度ずれている．  
 それに対し，シミュレーション値は (1.4)–(2.4) 信  
 号交差点間でほぼ同時式表示となり，(2.4)–(3.4)  
 信号交差点間では，オフセットの開路に関する制  
 約条件の影響で 60 秒から 110 秒の範囲で不規則  
 に制御されている．

3 つの信号制御パラメータをネットワーク制御アル

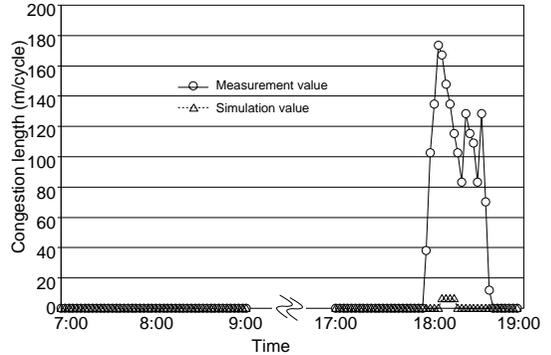


図 13 (1.4) 信号交差点における南行き方向の直進車線に対する渋滞長のシミュレーション値と測定値の比較  
 Fig. 13 Comparison of congestion length for straightforward lane between simulation value and measurement value for  $m = 2$  at (1.4) signalized intersection.

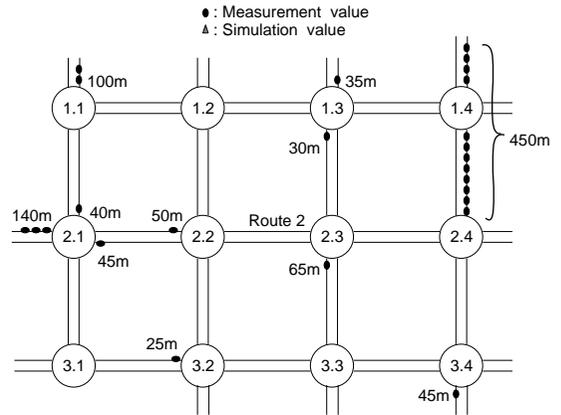


図 14 直進車線に対する渋滞長のシミュレーション値と測定値の比較  
 Fig. 14 Comparison of congestion length for straightforward lane between simulation value and measurement value.

ゴリズムを用いて以上のように流入交通量や待ち車  
 列台数の時間変動に対応して広範囲に，きめ細かく，  
 また，評価関数  $J_n(k)$  を最小にするように統一的に  
 制御した結果，図 13 に示されるように (1.4) 信号  
 交差点における南行き方向の直進車線で現実に発生  
 している渋滞長をほぼ 0 m に制御することができた．  
 また，図 14 に示すように合計 9 つの信号交差点で  
 渋滞が発生しているにもかかわらず，すべての信号  
 交差点の全流入路の渋滞長をほぼ 0 m に制御する  
 ことができた．この図で，渋滞長の測定値は朝夕  
 のラッシュ時を通したの最大値を示している．

## 5. ま と め

本論文では、2方向交通ネットワークにおける渋滞長の信号制御システムと信号制御アルゴリズムを確定的制御システムの観点から提案した。交通ネットワークの渋滞長制御では、幹線道路の場合と異なってオフセットに閉路に関する制約条件が付き、信号制御アルゴリズムも階層的でより複雑になる。また、信号交差点数が多くなり、シミュレーションに必要なパラメータも多くなる。以上の条件のもとで、信号制御パラメータや渋滞長に関するシミュレーション値と現実のパターン選択法による測定値を比較した結果、提案した渋滞長の信号制御システムとネットワーク制御アルゴリズムが現実の交通ネットワークにおいて有効に働くことを確かめた。主な研究結果は以下のようにまとめられる。

- (i) 各信号交差点における渋滞長の信号制御システムを、サイクル長単位の交通量収支に基づいて離散形時変非線形ダイナミックシステムで記述し、フィードバック制御を用いて構成した。
- (ii) オフセットの閉路に関する制約条件のもとで、2方向交通ネットワークの渋滞長の総和に関する評価関数が最小化されるように、3つの信号制御パラメータを段階的、かつ統一的に探索するネットワーク制御アルゴリズムについて提案した。
- (iii) 広島県福山市内の交通ネットワークにおけるシミュレーション結果とパターン選択法による信号制御の測定値の比較より、提案した渋滞長の信号制御システムとネットワーク制御アルゴリズムは、2方向交通ネットワークの渋滞長制御に有効であると考えられる。

今後の課題として以下の点が考えられる。本論文で用いた渋滞長信号制御システムのパラメータ  $\xi(i, j, m, k)$  と  $l_m(i, j, m, k)$  は交通流や車種別混入率によってそれぞれ変動する。また、車線単位の流入交通量や捌け交通量、リンク走行速度の測定には車両感知器が必要である。今後、より規模の大きい交通ネットワークへの応用を試みるとともに、3つの信号制御パラメータ探索演算の高速化についても研究を進めていく必要があると思われる。

謝辞 本研究を進めるにあたり貴重なご協力をいただいた広島県警察本部交通部の関係者の方々に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 交通工学統計：交通工学，Vol.36, No.5, p.85 (2001).
- 2) Hunt, P.B., Robertson, D.I., Bretherton, R.D. and Winton, R.I.: *SCOOT — A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals*, TRRL Laboratory Report 1014 (1981).
- 3) Bretherton, R.D.: *SCOOT — Current Development*, *Proc. 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems*, Yokohama, Vol.1, pp.364–368 (1995).
- 4) Sims, A.G. and Dobinson, K.W.: The Sydney Coordinated Adaptive Traffic (SCAT) System, Philosophy and Benefits, *IEEE Trans.*, VT-29, No.2, pp.130–137 (1980).
- 5) Miyata, S., Noda, M. and Usami, T.: STREAM (Strategic Realtime Control for Megalopolis Traffic) Advanced Traffic Control System of Tokyo Metropolitan Police Department, *Proc. 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems*, Yokohama, Vol.1, pp.289–297 (1995).
- 6) 宇佐美, 榊原: 道路網の信号制御システム, 計測と制御, Vol.41, No.3, pp.205–210 (2002).
- 7) Davison, E.J. and Özgüner, Ü.: Decentralized Control of Traffic Networks, *IEEE Trans.*, AC-28, pp.677–688 (1983).
- 8) 清水, 真柴, 傍田, 小林: 幹線道路の渋滞長制御, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.7, pp.1876–1884 (2001).
- 9) 海老原: 交通システム工学(2), pp.132–133, コロナ社 (1985).
- 10) 埴 克郎: 交通信号, 技術書院, pp.56–67 (1966).
- 11) Shimizu, H. and Ikenoue, J.: Prediction of Traffic Congestion at A Signalized Intersection, *Proc. 1st China-Japan International Symposium on Instrumentation, Measurement and Automatic Control*, Beijing, pp.372–379 (1989).
- 12) 清水 光: 路線の渋滞制御システム, 計測と制御, Vol.41, No.3, pp.199–204 (2002).
- 13) 小林, 清水: 交通流の円滑性の解析, 計測と制御, Vol.41, No.3, pp.181–186 (2002).
- 14) Shimizu, H., Watanabe, E. and Ikenoue, J.: Systematic Control of Signal Parameters for Control of Traffic Congestion Length on Main Road, *Proc. 29th SICE Annual Conference, International Session*, Tokyo, pp.645–648 (1990).
- 15) (社)交通工学研究会: 交通信号の手引き, pp.75–85 (1994).

(平成 15 年 7 月 4 日受付)

(平成 16 年 2 月 2 日採録)



石川 洋 (正会員)

1998年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年福山大学工学部助手，現在に至る。形式仕様記述および検証の自動化に関する研究に従事。博士（情報科学）。人工知能学会，日本ソフトウェア科学会，日本数式処理学会各会員。



傍田 祐司

2000年福山大学工学部情報処理工学科卒業。2002年同大学大学院工学研究科情報処理工学専攻修士課程修了。同年株式会社ピーシーに入社，エンジニアリング統括部応用ソフトウェア開発部に所属。



清水 光 (正会員)

1947年12月10日生。1977年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。同年福山大学工学部電子電気工学科助手。講師，助教授を経て，1990年同大学工学部情報処理工学科教授，現在に至る。1991年～1992年トロント大学客員研究員。都市道路交通ネットワークの信号制御，交通流解析，動的経路探索等の研究に従事。著書に『制御工学の基礎』（共著，森北出版），IEEE，計測自動制御学会，交通工学研究会各会員。



小林 正明

1964年生。1987年福山大学工学部電子電気工学科卒業。1989年同大学大学院工学研究科電子電気工学専攻修士課程修了。同年福山職業能力開発短期大学校機械システム系制御技術科講師。1994年福山大学工学部機械工学科助手を経て，2003年同大学工学部機械システム工学科助手，現在に至る。交通ネットワークにおける交通流制御，リンク旅行時間の解析等の研究に従事。福祉機器の開発にも興味を持つ。計測自動制御学会，交通工学研究会各会員。