

## 幹線道路の渋滞長制御

清水 光<sup>†</sup> 真柴 博樹<sup>††</sup>  
傍田 祐司<sup>†</sup> 小林 正明<sup>†</sup>

本論文では、二方向交通幹線道路の渋滞長を制御するダイナミックシステムと信号制御アルゴリズムについて提案する。幹線道路の各信号交差点の各車線に対してある時間単位で交通量収支が成立する。交通量収支に基づいて、渋滞長制御で基本的役割を果たす渋滞のメカニズムが定量的に記述される。渋滞長の信号制御システムが離散形時変非線形ダイナミックシステムで記述され、フィードバック制御を用いて構成される。サイクル長や青信号スプリット、オフセットから成る3つの信号制御パラメータを渋滞長制御システムの制御偏差の総和が最小化されるように系統的に探索するバランス制御アルゴリズムについて提案する。信号制御パラメータや渋滞長の測定値とシミュレーション値の比較により提案したアルゴリズムの渋滞長制御結果について考察した結果、本論文で提案した渋滞長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 of Arterials

HIKARU SHIMIZU,<sup>†</sup> HIROKI MASHIBA,<sup>††</sup> YUJI SOBATA<sup>†</sup>  
and MASA-AKI KOBAYASHI<sup>†</sup>

A dynamic system and a signal control algorithm which control congestion lengths on two-way traffic arterials are presented in this paper. The volume balance is held for each lane at each signalized intersection of arterials for a certain duration. The congestion mechanism which plays an essential role to control congestion lengths is described quantitatively based on the volume balance at each signalized intersection. 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 balance 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 control errors of the signal control system is presented. From the comparison of signal control parameters and congestion lengths between measurement values and simulation values, it is confirmed that the signal control system and the balance control algorithm work effectively to reduce the congestion lengths on the arterial.

### 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、車の技術革新などともなっていて、わが国の自動車保有台数は図1に示されるように年増加率約1.0%の割合で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の増加や燃料消費、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。現在、交通流の円滑化を図るために信号制御システム

や動的経路誘導システムなどについて研究開発が進められている。これらの中で、信号制御システムは幹線道路の渋滞制御に有効な1つのシステムである。信号制御システムでは、サイクル長や青信号スプリット、オフセットから成る3つの信号制御パラメータが、信号交差点の流入交通量や待ち車列台数の時間変動に対応して制御される。

3つの信号制御パラメータは以下のように定義される<sup>2)</sup>。サイクル長は信号表示によって与えられる現示が一巡する間の所要時間。青信号スプリットはサイクル長に対する青時間の比率。また、オフセットは基準時点から各信号機の青信号開始時点のズレを絶対オフセット、隣接信号機間の青信号開始時点のズレを相対オフセットという。

次に述べるような信号制御法が交通ネットワークの渋滞を制御するために提出された。青信号スプリット

<sup>†</sup> 福山大学

Fukuyama University

<sup>††</sup> アイセル株式会社

Advanced Information System Engineering Laboratory  
Corp.

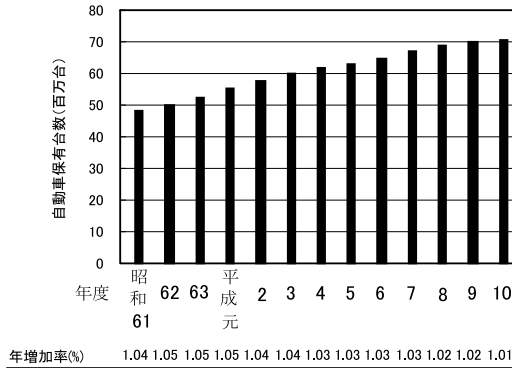


図1 自動車保有台数の増加

Fig.1 Increase of number of vehicles registered in Japan.

は、信号交差点の各流入路の飽和度比<sup>(3),4)</sup>や負荷比<sup>(6),7)</sup>に基づいて遅れ時間を最小化する値が計算された。また、理想的に仮定された一方向交通ネットワークの各流入路の待ち車列長をバ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た<sup>(8)</sup>。サイクル長は、遅れ時間を最小化するように Webster の式<sup>(9)</sup>を用いて算定された<sup>(5),6),10)</sup>。オフセットは、リンクの遅れと停止台数の線形結合で定義される評価関数の最小化より<sup>(3)</sup>、また、上りと下りの交通量とサイクル長に基づいて最良なパターン<sup>(6)</sup>がそれぞれ求められた。

上記の信号制御法では、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探索されている。幹線道路では、一般に朝夕のラッシュ時に信号交差点の流入交通量が急激に増加するので、3つの信号制御パラメータは系統的に探索されることが望ましいと考えられる。

本論文では、交通ネットワークの基礎となる二方向交通幹線道路の渋滞長を確定的に制御する観点から考察する。最初に、各信号交差点の交通量収支に基づいて、渋滞の発生、継続、消滅のメカニズムが定量的に記述される。次に、幹線道路の渋滞長制御システムがフィードバック制御により構成される。3つの信号制御パラメータを評価関数が最小化されるように系統的に探索するアルゴリズムが提案され、最後に、広島県福山市内国道2号線における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

### 2.1 渋滞のメカニズム

交通ネットワークの信号交差点の各車線において、ある時間単位  $\Delta T$  (ここではサイクル長) で交通量収支が成立する。それは図2を参照して以下のように記

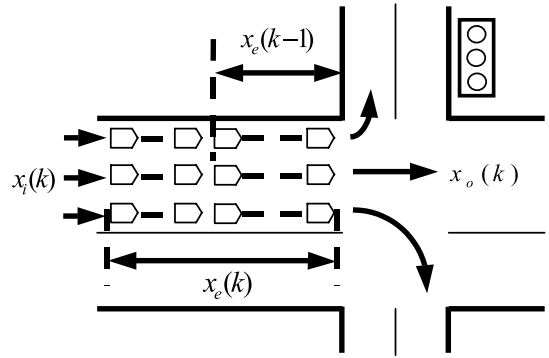


図2 信号交差点の交通量収支

Fig.2 Volume balance for each lane at each signalized intersection.

述される。

$$x_e(k) = x_e(k-1) + x_i(k) - x_o(k) \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_o(k) = \xi(k)c_x(k) \\ x_e(k) \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $k = k\Delta T (k = 1, 2, \dots, k_f)$  は時刻を表し、 $x_e(k)$ 、 $x_i(k)$ 、 $x_o(k)$  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。また、 $c_x(k)$  は各流入路の交通容量、 $\xi(k)$  はある交通流のもとで  $x_o(k)$  を  $c_x(k)$  で除した比率を表す。

渋滞長制御で基本的役割を果たす渋滞メカニズムは、式(1)の交通量収支に基づいて定量的に記述される。

i) 各信号交差点における渋滞は、超過流入交通量  $x_e(k)$  が零より大きくなる時発生する。すなわち、

$$\begin{aligned} x_e(k-1) &= 0 \quad \text{and} \\ x_i(k) &> x_o(k) \end{aligned} \quad (3)$$

ii) 渋滞は、超過流入交通量  $x_e(k)$  が零以下になると消滅する。すなわち、

$$\begin{aligned} x_e(k-1) &> 0 \quad \text{and} \\ x_e(k-1) + x_i(k) &\leq x_o(k) \end{aligned} \quad (4)$$

iii) 渋滞は、超過流入交通量  $x_e(k)$  が正値を保つ間継続する。すなわち、

$$\begin{aligned} x_e(k-1) &> 0 \quad \text{and} \\ x_e(k-1) + x_i(k) &> x_o(k) \end{aligned} \quad (5)$$

### 2.2 渋滞長制御システム

二方向交通幹線道路における渋滞長の信号制御システムが構成される。幹線道路の各信号交差点における交通量収支は次式で記述される。

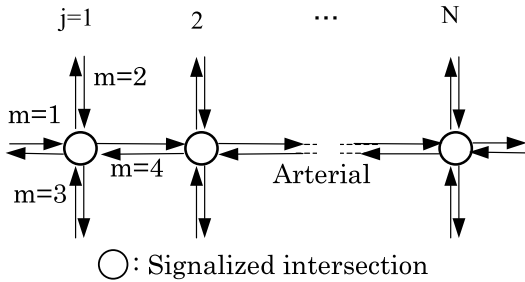


図3 二方向交通幹線道路の交通流  
Fig. 3 Two-way traffic flows on arterial.

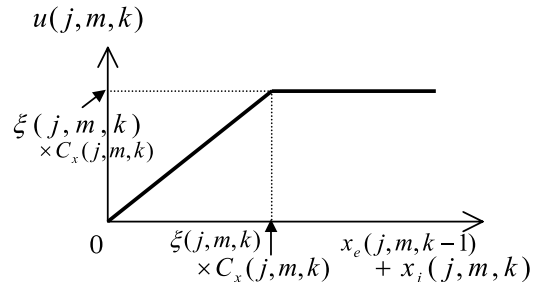


図4 制御入力の特性  
Fig. 4 Characteristic of control input.

$$x_e(j, m, k) = x_e(j, m, k - 1) + x_i(j, m, k) - x_o(j, m, k) \quad (6)$$

$$\begin{cases} x_o(j, m, k) = \xi(j, m, k)c_x(j, m, k) \\ x_e(j, m, k) \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

ここで、図3に示されるように  $j$  は信号交差点の位置、 $m$  は車の流入路をそれぞれ表す。各信号交差点の交通量収支において以下のことが仮定される。流入交通量  $x_i(j, m, k)$  は車両感知器により時々刻々測定される。捌け交通量  $x_o(j, m, k)$  は3つの信号制御パラメータによって制御される。

$$x_o(j, m, k) = f[c_y(j, m, k), r_g(j, m, k), t_{off}(j, m, k)] \quad (8)$$

ここで、 $c_y(j, m, k)$ 、 $r_g(j, m, k)$ 、 $t_{off}(j, m, k)$  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。制御入力  $u(j, m, k)$  を次式で定義する。

$$u(j, m, k) \triangleq f[c_y(j, m, k), r_g(j, m, k), t_{off}(j, m, k)] \quad (9)$$

制御入力  $u(j, m, k)$  は式(7)によって決定され、図4に示されるように飽和特性を有する。以上より、渋滞長の信号制御システムは次式の離散形時変非線形ダイナミックシステムで表される。

$$\begin{cases} x_e(j, m, k) = x_e(j, m, k - 1) + x_i(j, m, k) - u(j, m, k) \\ y_c(j, m, k) = l_m(j, m, k)x_e(j, m, k) \end{cases} \quad (10)$$

渋滞長  $y_c(j, m, k)$  は状態変数  $x_e(j, m, k)$  に変換係数  $l_m(j, m, k)$  を乗じて求められる。なお、変換係数  $l_m(j, m, k)$  は待ち車列の平均車頭間隔に相当する。

信号制御システムで、基準入力に許容渋滞長  $l_r(j, m, k)$  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

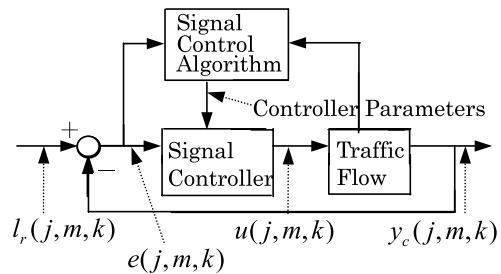


図5 各信号交差点における渋滞長のフィードバック制御システム  
Fig. 5 Feedback control system of congestion length at each signalized intersection.

ステムは図5で構成される。制御偏差  $e(j, m, k)$  を次式で定義する。

$$e(j, m, k) \triangleq l_r(j, m, k) - y_c(j, m, k) \quad (11)$$

幹線道路の各信号交差点の流入路において、交通容量に対する流入交通量の比率は一般に様ではなく、過飽和信号交差点の渋滞制御を優先する観点から以下の関数  $g(j, m, k)$  を定義する。

$$g(j, m, k) \triangleq \begin{cases} 0 & e(j, m, k) \geq 0 \\ |e(j, m, k)| & e(j, m, k) < 0 \end{cases} \quad (12)$$

二方向交通幹線道路の渋滞長の信号制御システムの目的は、次式の評価関数  $J_a(k)$  を最小にする制御入力を求めることである。

$$J_a(k) = \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^4 g(j, m, k) \quad (13)$$

ここで、 $N$  は幹線道路上の信号交差点数を表す。

### 3. バランス制御アルゴリズム

二方向交通幹線道路の渋滞長制御のためにバランス制御アルゴリズムが提案される。バランス制御アルゴリズムでは、信号交差点において互いに交差する流

入路の制御偏差の最大値を等しくし、かつ、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系統的、逐次的に探索する。

**Step 1.** 各信号交差点における現示と信号制御パラメータ( サイクル長、青信号スプリット ) の初期値や上下限值、きざみ幅、ならびに比率  $\xi(j, m, k)$  や、変換係数  $l_m(j, m, k)$ 、閾値  $\varepsilon$  などを設定する。  $m = 1$  とおいて以下の計算を行う。

**Step 2.** 時間区間  $\Delta T$  をサイクル長  $c_y^{(n)}(j, m, k)$  に等しく設定し、流入交通量  $x_i^{(n)}(j, m, k)$  を入力する。ここで、上付添字  $(n)$  は繰返し計算回数を表す。

**Step 3.** 渋滞時の流入交通量を車線単位で再計算する。

$$x_i^{l(n)}(j, m, k) = x_i^{(n)}(j, m, k) + x_e(j, m, k - 1) \quad (14)$$

**Step 4.** 信号交差点の各流入路の交通容量  $c_x^{(n)}(j, m, k)$  を、各車線交通容量の総和より算定する。

$$c_x^{(n)}(j, m, k) = c_{xl}^{(n)}(j, m, k) + c_{xs}^{(n)}(j, m, k) + c_{xr}^{(n)}(j, m, k) \quad (15)$$

$$\begin{cases} c_{xl}^{(n)}(j, m, k) = r_{gl}^{(n)}(j, m, k)c_{xl}(j, m, k) \\ c_{xs}^{(n)}(j, m, k) = r_{gs}^{(n)}(j, m, k)c_{xs}(j, m, k) \\ c_{xr}^{(n)}(j, m, k) = r_{gr}^{(n)}(j, m, k)c_{xr}(j, m, k) \end{cases} \quad (16)$$

ここで、 $c_{xl}(j, m, k)$ 、 $c_{xs}(j, m, k)$ 、 $c_{xr}(j, m, k)$  はそれぞれ左折、直進、右折車線の交通容量を表し、 $r_{gl}^{(n)}(j, m, k)$ 、 $r_{gs}^{(n)}(j, m, k)$ 、 $r_{gr}^{(n)}(j, m, k)$  はそれぞれ各車線の青信号スプリットを表す。

**Step 5.** 各車線の青時間をサイクル長と青信号スプリットの積より算定する。

**Step 6.** 超過流入交通量  $x_e^{(n)}(j, m, k)$  を車線単位の交通量収支に基づいて算定する。

$$\begin{aligned} x_e^{(n)}(j, m, k) &= x_i^{l(n)}(j, m, k) - x_o^{(n)}(j, m, k) \quad (17) \\ \begin{cases} x_o^{(n)}(j, m, k) = \xi(j, m, k)c_x^{(n)}(j, m, k) \\ x_e^{(n)}(j, m, k) \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (18)$$

**Step 7.** 渋滞長  $y_c^{(n)}(j, m, k)$  を変換係数  $l_m(j, m, k)$  を用いて車線単位で算定する。

$$y_c^{(n)}(j, m, k) = l_m(j, m, k)x_e^{(n)}(j, m, k) \quad (19)$$

**Step 8.** 信号交差点の全流入路の各車線に対する現示に基づいて、全流入路の青信号スプリットや青時間などを車線単位で算定する。

**Step 9.** もし、次の制御指標

$$\begin{aligned} \max\{|e^{(\kappa)}(j, 1, k)|, |e^{(\omega)}(j, 2, k)|, \\ |e^{(\mu)}(j, 3, k)|, |e^{(\lambda)}(j, 4, k)|\} \leq \varepsilon \\ \varepsilon > 0 \end{aligned} \quad (20)$$

を満足すれば、得られたサイクル長と青信号スプリットを最適値として Step 12 へ進む。ここで上付添字  $(\kappa), (\omega), (\mu), (\lambda)$  は各流入路に対する繰返し計算回数を表す。

**Step 10.** 一方、次の制御指標

$$\begin{aligned} \max\{|e^{(\kappa)}(j, 1, k)|, |e^{(\omega)}(j, 2, k)|, \\ |e^{(\mu)}(j, 3, k)|, |e^{(\lambda)}(j, 4, k)|\} > \varepsilon \\ \varepsilon > 0 \end{aligned} \quad (21)$$

が成立すれば、制御偏差が最大となった流入路の青信号スプリットをきざみ幅  $\Delta r_{gl}(j, m)$ 、 $\Delta r_{gs}(j, m)$ 、 $\Delta r_{gr}(j, m)$  だけそれぞれ微小増加させる。

$$\begin{cases} r_{gl}^{(n+1)}(j, m, k) \\ = r_{gl}^{(n)}(j, m, k) + \Delta r_{gl}(j, m) \\ r_{gs}^{(n+1)}(j, m, k) \\ = r_{gs}^{(n)}(j, m, k) + \Delta r_{gs}(j, m) \\ r_{gr}^{(n+1)}(j, m, k) \\ = r_{gr}^{(n)}(j, m, k) + \Delta r_{gr}(j, m) \end{cases} \quad (22)$$

ここで、すべての流入路において直進交通が主流で  $r_{gs}^{(n+1)}(j, m, k) \geq r_{gl}^{(n+1)}(j, m, k)$ 、 $r_{gs}^{(n+1)}(j, m, k) \geq r_{gr}^{(n+1)}(j, m, k)$  なる関係を仮定した。もし、 $r_{gs}^{(n+1)}(j, m, k) > r_{gs, \max}$  が成立すれば Step 11 へ進み、 $r_{gs}^{(n+1)}(j, m, k) \leq r_{gs, \max}$  が成立する場合は Step 4 へ帰る。ここで、 $r_{gs, \max}$  は直進青信号スプリットの上限值を表す。

**Step 11.** サイクル長を次式によってきざみ幅  $\Delta c_y(j, m)$  だけ微小増加させる。

$$\begin{aligned} c_y^{(n+1)}(j, m, k) \\ = c_y^{(n)}(j, m, k) + \Delta c_y(j, m) \end{aligned} \quad (23)$$

もし、 $c_y^{(n+1)}(j, m, k) > c_{y, \max}$  が成立すれば Step 12 へ進み、 $c_y^{(n+1)}(j, m, k) \leq c_{y, \max}$  が成立する場合は Step 2 へ帰る。ここで、 $c_{y, \max}$  は

サイクル長の上限值を表す．

Step 12. 探索されたサイクル長と青信号スプリットの最適値を用いて、幹線道路の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>11)</sup>により探索する．

このバランス制御アルゴリズムは、初期時刻  $k = 1$  から最終時刻  $k = k_f$  まで、また、 $j = 1$  から  $j = N$  までの全信号交差点について逐次実行される．この信号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初期値は下限値より出発し、式 (20) の制御指標が満足されるまで式 (22) と式 (23) によって修正される．また、オフセット制御の関係からサイクル長は  $N$  信号交差点の最大値が共通に設定され、各信号交差点の青信号スプリットはあらためて再計算される．

4. シミュレーション結果と考察

二方向交通幹線道路の渋滞長制御に対するバランス制御アルゴリズムが、図 6 に示される広島県福山市内国道 2 号線の 4 つの信号交差点で朝夕のラッシュ時にサイクル長単位でシミュレーションされた．国道 2 号線の東行き交通に対して、 $j = 1$  の信号交差点で 2 車線から 3 車線に増加し、 $j = 4$  の信号交差点では逆に 3 車線から 2 車線に減少する．この車線数の変化によって、2 つの信号交差点を境に交通容量が大きく変動し、渋滞長制御の観点から重要な信号交差点となる．渋滞長制御システムと信号制御に関するパラメータや流入交通量は実測値に基づいて設定した．また、基準入力となる許容渋滞長は全流入路に対して  $l_r(j, m, k) = 0m$  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は図 7, 8, 9, 10 に示されるように変動した． $j = 1$  の信号交差点では、国道 2 号線の交通量がそれに交差する道路の交通量の約 3 倍から 4 倍と多い． $j = 2$  の信号交差点では、朝夕のラッシュ時に東行き交通量が西行き交通量より 10 (台/サイクル長) 前後多い． $j = 3$  の信号交差点では東行き交通量が夕方のラッシュ時に 10 (台/サイクル長) 近く減少している． $j = 4$  の信号交差点では国道 2 号線の交通量とそれに交差する道路の交通量の差が小さく、夕方 18 時から 19 時の南行き交通量が急激に増加し、図 20 に示すように渋滞を発生している．

バランス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 (13) 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  $x'_i(j, m, k)/c_x(j, m, k)$  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、全

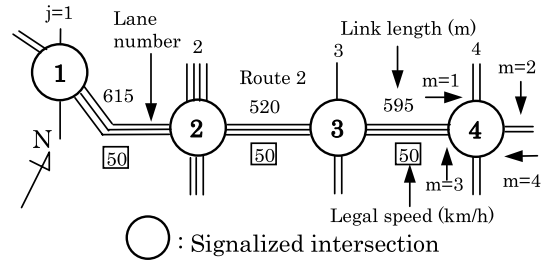


図 6 福山市内の二方向交通幹線道路  
Fig. 6 Two-way traffic arterial consisting of four signalized intersections in Fukuyama city.

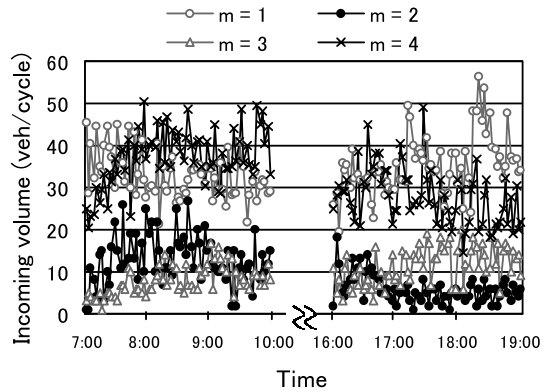


図 7  $j = 1$  の信号交差点における直進車の流入交通量  
Fig. 7 Incoming volumes for straightforward vehicles at  $j = 1$  signalized intersection.

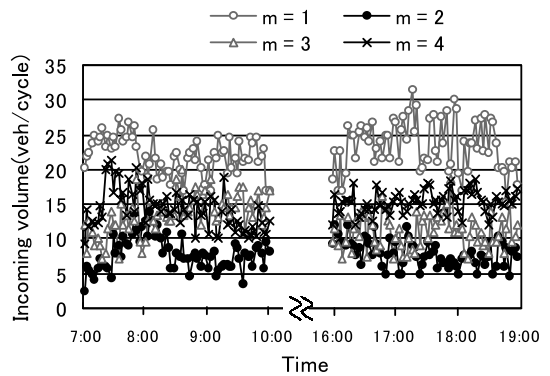


図 8  $j = 2$  の信号交差点における直進車の流入交通量  
Fig. 8 Incoming volumes for straightforward vehicles at  $j = 2$  signalized intersection.

信号交差点で共通な値に設定される． $j = 1$  と  $j = 4$  の過飽和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 11, 図 12 のようになる．現実のパターン選択法では、車両感知器で計測した交通量と占有率より交通指標を求め、その値に応じて複数のパターンの中からサイクル長を選択してい

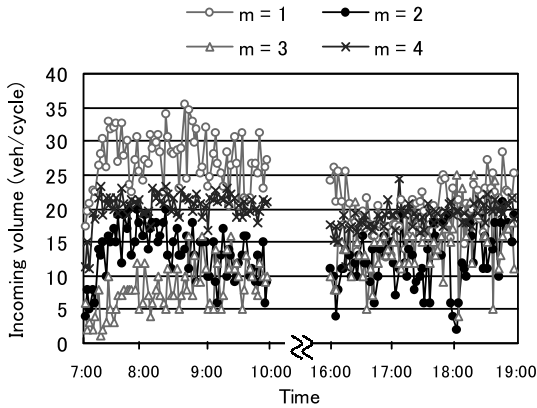


図9  $j = 3$  の信号交差点における直進車の流入交通量

Fig. 9 Incoming volumes for straightforward vehicles at  $j = 3$  signalized intersection.

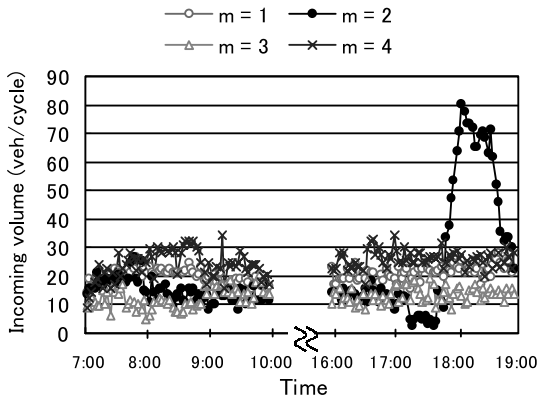


図10  $j = 4$  の信号交差点における直進車の流入交通量

Fig. 10 Incoming volumes for straightforward vehicles at  $j = 4$  signalized intersection.

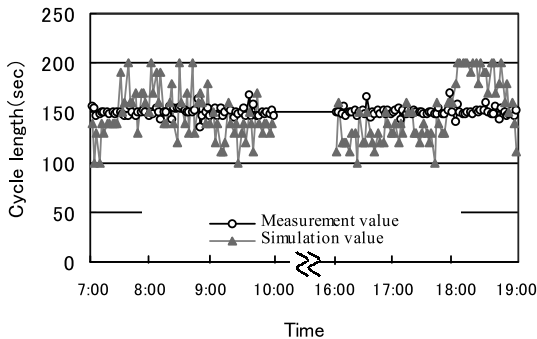


図11  $j = 1$  の信号交差点におけるサイクル長のシミュレーション値と実測値の比較

Fig. 11 Comparison of cycle length between simulation value and measurement value at  $j = 1$  signalized intersection.

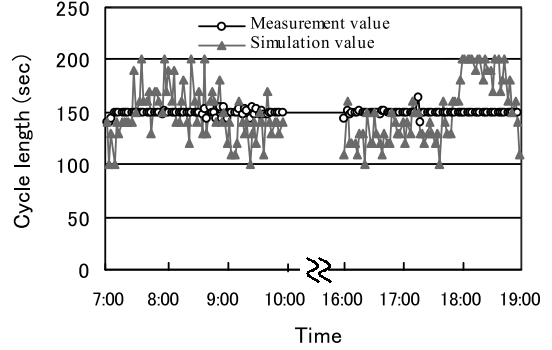


図12  $j = 4$  の信号交差点におけるサイクル長のシミュレーション値と実測値の比較

Fig. 12 Comparison of cycle length between simulation value and measurement value at  $j = 4$  signalized intersection.

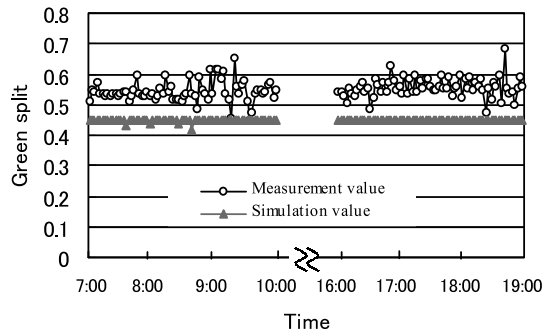


図13  $j = 1$  の信号交差点における東西方向直進車に対する青信号スプリットのシミュレーション値と実測値の比較

Fig. 13 Comparison for green split of straightforward vehicles between simulation value and measurement value for  $m = 1, 4$  at  $j = 1$  signalized intersection.

る。現実のパターン選択法では150秒を中心に小さく変動しているのに対し、シミュレーションでは流入交通量の変動に応じて広範囲に制御されている。青信号スプリットのシミュレーション値は、図13に示されるように $j = 1$ の信号交差点で東西方向直進車に対しほぼ一定であるのに対し、測定値は0.44から0.68までの広範囲で制御されている。 $j = 4$ の信号交差点で南北方向直進車に対する青信号スプリットは、図14に示されるように測定値の変動が小さいのに対し、シミュレーション値が夕方に流入交通量の急激な増加に対応して広範囲で制御されている。現実のパターン選択法による青信号スプリットは、前述の交通指標の値に応じて複数のパターンの中から選択している。

以上のようにサイクル長と青信号スプリットを制御した結果、青時間のシミュレーション値は、図15に示されるように $j = 1$ の信号交差点で東西方向直進車に対し流入交通量の変動に対応して約70秒を中心

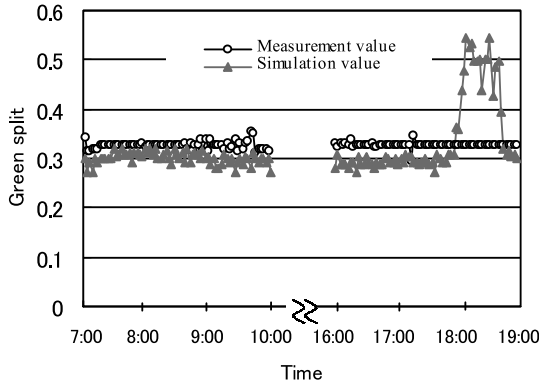


図 14  $j = 4$  の信号交差点における南北方向直進車に対する青信号スプリットのシミュレーション値と実測値の比較  
 Fig. 14 Comparison for green split of straightforward vehicles between simulation value and measurement value for  $m = 2, 3$  at  $j = 4$  signalized intersection.

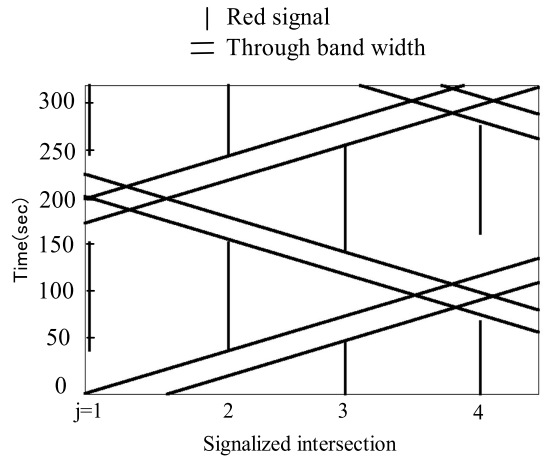


図 17 各信号交差点における直進車に対する平等オフセット  
 Fig. 17 Balance offset for straightforward vehicles at four signalized intersections.

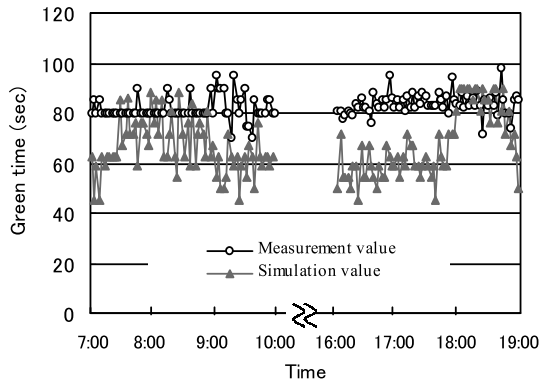


図 15  $j = 1$  の信号交差点における東西方向直進車に対する青時間のシミュレーション値と実測値の比較  
 Fig. 15 Comparison for green time of straightforward vehicles between simulation value and measurement value for  $m = 1, 4$  at  $j = 1$  signalized intersection.

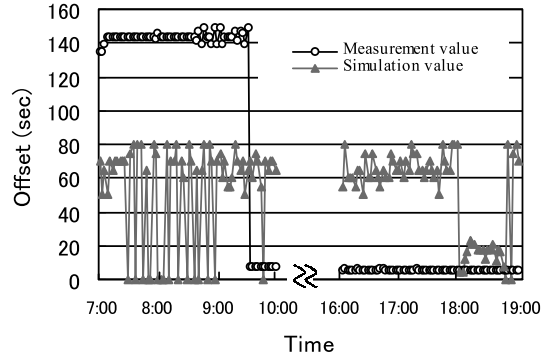


図 18  $j = 3$  と  $j = 4$  の信号交差点間の東行き交通に対する相対オフセットのシミュレーション値と実測値の比較  
 Fig. 18 Comparison of offset between simulation value and measurement value for  $m = 1$  between  $j = 3$  and  $j = 4$  signalized intersections.

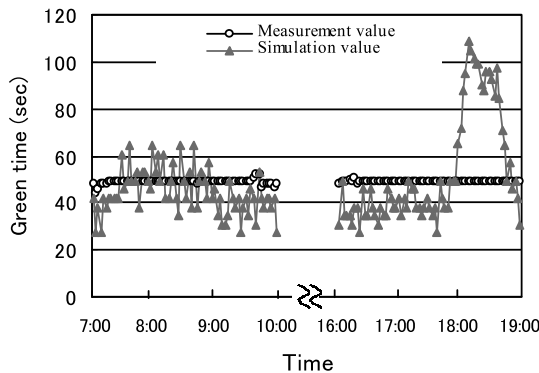


図 16  $j = 4$  の信号交差点における南北方向直進車に対する青時間のシミュレーション値と実測値の比較  
 Fig. 16 Comparison for green time of straightforward vehicles between simulation value and measurement value for  $m = 2, 3$  at  $j = 4$  signalized intersection.

に広範囲に制御されている．また， $j = 4$  の信号交差点で図 16 に示されるように南北方向直進車に対し流入交通量の変動に対応して 27 秒から 109 秒の間で広範囲に制御されている．

4 つの信号交差点から成る二方向交通幹線道路の平等オフセットを Fieser の方法により 18 時 30 分においてシミュレーションした結果を図 17 に示す．サイクル長は 190 秒，走行速度は 15.3 m/s と設定され，得られた連続通過帯幅は 23.75 秒となった． $j = 3$  と  $j = 4$  の信号交差点間の東行き交通に対して，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 18 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複数のパターンの中から選択している．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

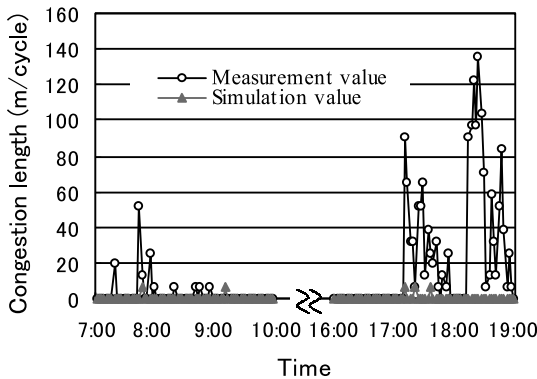


図 19  $j = 1$  の信号交差点における東行き交通の直進車線に対する渋滞長のシミュレーション値と実測値の比較

Fig. 19 Comparison of congestion length for straight-forward lane between simulation value and measurement value for  $m = 1$  at  $j = 1$  signalized intersection.

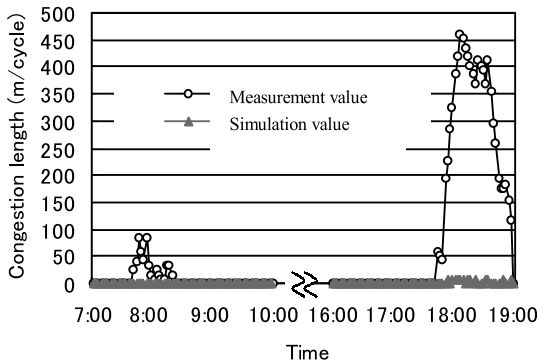


図 20  $j = 4$  の信号交差点における南行き交通の直進車線に対する渋滞長のシミュレーション値と実測値の比較

Fig. 20 Comparison of congestion length for straight-forward lane between simulation value and measurement value for  $m = 2$  at  $j = 4$  signalized intersection.

秒に対して午前、夕方ともに 5 秒前後ずれており、同時式表示となっている。バランス制御アルゴリズムによるシミュレーションではサイクル長が広範囲で制御されるため、サイクル長の値が大きいとき同時式表示で、サイクル長の値が小さいとき交互式表示となっていることがオフセットとサイクル長の値の比較より読み取れる。

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以上のように交通量や待ち車列台数の時間変動に対応して制御した結果、図 19 と図 20 に示されるように  $j = 1$  と  $j = 4$  の過飽和信号交差点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。 $j = 2$  と  $j = 3$  の信号交差点においても現実に渋滞が発生しているがすべての車線で

0 m に制御することができた。

今後の課題として以下のことが指摘できる。図 15 の  $j = 1$  における時刻 17:00 過ぎからの青時間のシミュレーション値と実測値の関係と、図 19 の  $j = 1$  における時刻 17:00 過ぎの渋滞長のシミュレーション値と実測値の関係が逆転している。この原因をビデオの録画データで調べたところ、現実の  $j = 1$  の信号交差点の東行き方向の捌け交通量が渋滞時の先詰まりによって著しく低下していることを確認した。

## 5. まとめ

本論文では、二方向交通幹線道路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。最初に、信号交差点の流入路の各車線単位で成立する交通量収支に基づいて、渋滞のメカニズムを定量的に記述した。次に、渋滞長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した。また、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を制御偏差の総和が最小化されるように系統的に探索できるバランス制御アルゴリズムを提案した。

広島県福山市内国道 2 号線において提案した渋滞長制御システムとバランス制御アルゴリズムを用いてシミュレーションした結果、現実に朝夕のラッシュ時に4つの信号交差点で渋滞が発生しているにもかかわらず、3つの信号制御パラメータが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、きめ細かく探索され、制御目標をほぼ達成することができた。

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制御システムのパラメータ  $\xi(j, m, k)$  と  $l_m(j, m, k)$  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、走行速度の測定には車両感知器が必要である。

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本宮隆重氏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.35, No.5, p.93 (2000).
- 2) 交通工学用語辞典，技術書院 (1984).
- 3) 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).
- 4) Al-Khalili, A.J.: The Optimum Green Split of



- a Cycle Time, *IEEE Trans.*, SMC-15, pp.675–681 (1985).
- 5) 柴田 潤, 山本豊俊: 都市街路網における渋滞制御, システムと制御, Vol.29, No.2, pp.123–131 (1985).
- 6) 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).
- 7) Sakakibara, H., Usami, T., Itakura, S. and Tajima, T.: MODERATO (Management by Origin-Destination Related Adaptation for Traffic Optimization), *Proc. IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Tokyo, pp.38–43 (1999).
- 8) Davison, E.J. and Özgüner, Ü.: Decentralized Control of Traffic Networks, *IEEE Trans.*, AC-28, pp.677–688 (1983).
- 9) 交通信号の手引(社)交通工学研究会, pp.120–123 (1994).
- 10) Al-Khalili, A.J.: Urban Traffic Control—A General Approach, *IEEE Trans.*, SMC-15, pp.260–271 (1985).
- 11) 堀 克郎: 交通信号, 技術書院, pp.56–67 (1966).

(平成 12 年 12 月 18 日受付)

(平成 13 年 5 月 10 日採録)



清水 光 (正会員)

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, 90 年同大学工学部情報処理工学科教授, 現在に至る。91~92 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交通流解析, 信号制御, 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。



真柴 博樹

1998 年福山大学工学部情報処理工学科卒業。2000 年同大学院工学研究科情報処理工学専攻修士課程修了。同年株式会社アイセルに入社。東日本事業部マイコン応用システム

部に所属。



傍田 祐司 (学生会員)

2000 年福山大学工学部情報処理工学科卒業。現在, 同大学院工学研究科情報処理工学専攻修士課程在学中。主として交通ネットワークの渋滞制御に関する研究に従事。



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。交通ネットワークにおける交通流制御, GPS 測位等に興味を持つ。計測自動制御学会, 交通工学研究会各会員。