

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 1日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560063

研究課題名（和文） 都市交通の信号制御とシミュレーション

研究課題名（英文） Signal control and simulation for city traffic

研究代表者

長谷 隆（NAGATANI TAKASHI）

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：40122717

研究成果の概要（和文）：都市交通網の信号制御による交通挙動を明らかにすることを目的として、信号制御された都市交通の非線形写像モデルとセルオートマトンモデルを開発した。この数理モデルのコンピュータシミュレーションによって、都市交通網における任意の選択経路の旅行時間を導出した。また選択経路の旅行時間の信号特性の依存性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We clarify the traffic behavior in the city traffic network controlled by signals. We present the nonlinear-map model and the cellular automaton (CA) model for the city traffic controlled by signals. We derive the tour time for any selected path in the city traffic network by using the nonlinear-map and CA models numerically. We clarify the dependence of the tour time on the selected path and the signal's characteristic.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、工学基礎

キーワード：都市交通、信号制御、経路選択、モデリング、シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

最近複雑系の問題として交通流に関する物理モデルが関心を集め、交通渋滞の発生・構造に関する研究が発展し、かなりの知見が得られてきた。交通輸送問題は交通渋滞と密接に関連する。これらの交通渋滞に関する研究はほとんど信号機のない高速道路での交通問題である。都市交通網では車の優先度と安全性が重要であり、この目的のために信号

による交通制御が行われている。主要な幹線道路の信号は他の信号と部分的に関連付けて制御されているが、都市交通網全体に関連付けた信号制御と交通挙動に関するモデリングとシミュレーションは非常に少ないのが現状である。このような状況に触発されて、都市交通網における信号特性と交通挙動との関係を明らかにする必要があった。またこの問題を記述する数学モデルの開発が求め

られていた。

## 2. 研究の目的

今日、交通渋滞および交通輸送問題は大きな社会問題になっている。特に都市交通では信号制御によって車の優先度と安全性が保たれているが、一方では信号機による交通渋滞や交通効率の低下などが発生している。本研究では都市交通網全体の交通挙動が信号制御によってどのように変化するかをシミュレートできる新しい交通モデルを作成し、この交通モデルに基づいて都市交通網の信号制御問題を明らかにする。また交通信号制御の新しい方法および戦略も研究する。

## 3. 研究の方法

本研究は都市交通網の信号制御による交通挙動をコンピューターシミュレーションによって再現し、都市交通制御の有効な予測を行う。信号制御された都市交通網をモデル化し、信号戦略、旅行時間、経路選択及び交通量との関係の解明を基本にすえ、それを交通シミュレーションに応用する。非線形写像とセルオートマトンを用いて都市交通の信号制御をモデルし、この数理モデルのシミュレーションプログラムを作成する。この計算機プログラムを使って、都市交通の信号戦略と信号特性による交通挙動を計算する。

## 4. 研究成果

本研究で得られた主な成果を以下の4つの節に分けて記述する。

### (1) 信号制御された二次元都市交通ネットワークでの交通挙動

都市交通網を二次元正方格子で近似し、ボンドを道路、サイトを交差点とし、すべての交差点に図1のように二台の信号機を設置する。車は北と東方向の二方向のみに進むものとする。交差点北側の信号によって北方向に進む車は制御され、東側の信号によって東方向に進む車は制御される。各信号はサイクルタイム、スプリット、オフセットタイムによってコントロールする。特に都市交通網全体のオフセットタイムを組織的に制御することによって車の旅行時間をコントロールできる。このように組織的に信号制御された都市交通網においてドライバーは任意に経路を選択できる。任意の選択経路上での旅行時間を非線形写像方程式によって定式化した。

この非線形写像方程式を使って図2の三つの代表的な選択経路 (a: 直線経路, b: ジグザグ経路, c: ランダム経路) の旅行時間を計算し、比較検討した。図3はこれらの選択経路における旅行時間とサイクルタイムとの関係を示す。

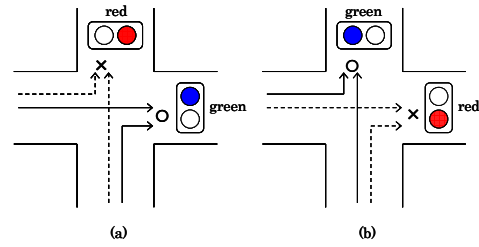


図1 交差点における信号配置

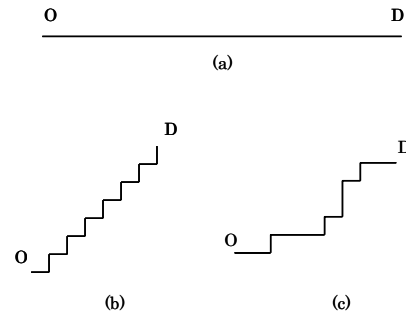


図2 三つの代表的な選択経路

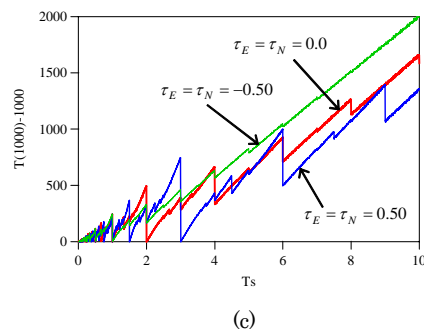
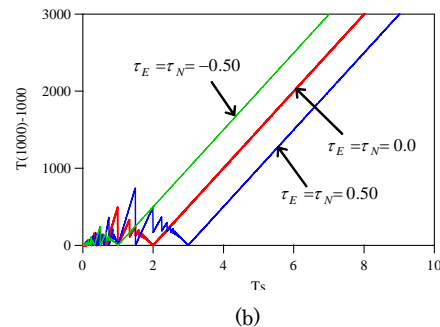
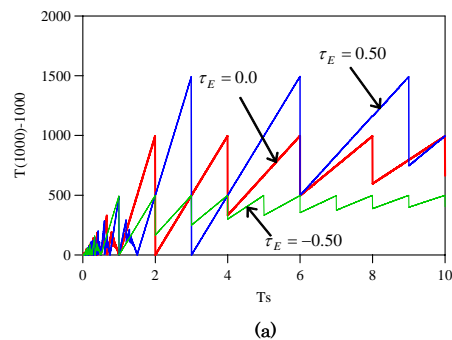


図3 図2の選択経路における旅行時間とサイクルタイムとの関係

図3(a)は直線経路における3つのオフセットタイムに対する旅行時間を示す。オフセットタイムとサイクルタイムによって旅行時間が大きく変化する。図3(b)はジグザグ経路における3つのオフセットタイムに対する旅行時間を示す。旅行時間のオフセットタイムとサイクルタイムの依存性を示す。図3(c)はランダム経路における3つのオフセットタイムに対する旅行時間を示す。旅行時間のオフセットタイムとサイクルタイムの依存性を示す。このように旅行時間のオフセットタイムとサイクルタイムの依存性は選択経路によって大きく変化する。

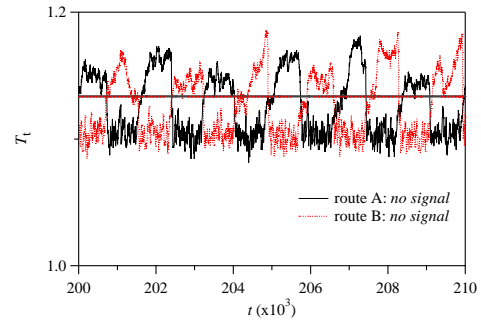
非線形写像モデルによって任意の選択経路の旅行時間をいろいろな信号特性に対して計算できることを明らかにした。この非線形写像モデルを車載することによって、ドライバーは実時間で選択した経路の旅行時間を見積もることができる。

## (2) 実時間情報に基づく経路選択に及ぼす信号機の影響

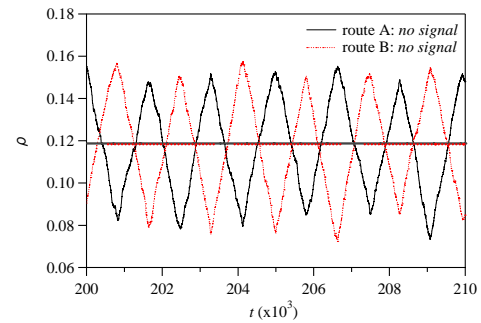
信号制御された都市交通網における二つの経路のうち一つを運転者実時間情報に基づいて選択するシステムを考える。実時間情報を利用する運転者と利用しない運転者が混同しているものとする。運転者は2つの経路の入口から出口までの旅行時間を実時間で利用できる。2つの経路には数十台の信号機を設置し、これらの信号機はサイクルタイムとスプリットによってコントロールする。朝晩のラッシュ時を想定して、入口では最大の混雑状況にあるものとする。車の移動はN-Sセルオートマトンモデルに信号制御モデルを組み合わせたモデルを開発した。このモデルに基づいて2つの経路の旅行時間の時間変動を計算した。

図4は信号機のない2つの経路に対する(a)旅行時間と(b)車両密度の時間変化を示したものである。図5は信号機のある2つの経路に対する(a)旅行時間と(b)車両密度の時間変化を示したものである。黒実線はルートA、赤破線はルートBである。旅行時間はルート上の車両密度と連動し、密度が増加(減少)すると旅行時間は増加(減少)する。各ルートの旅行時間は交互に変動する。信号機を導入すると旅行時間と密度変動の周期は長くなり、スプリットタイムの減少と共に変動周期も長くなる。

信号機がない場合はほとんど交通渋滞は発生しないが、信号機を導入すると、各信号機の手前に交通渋滞が発生する。渋滞の長さはスプリットタイムの減少と共に長くなる。平均旅行時間と平均密度のスプリットタイム依存性を明らかにした。また旅行時間のサイクルタイム依存性も定量的に明らかにした。

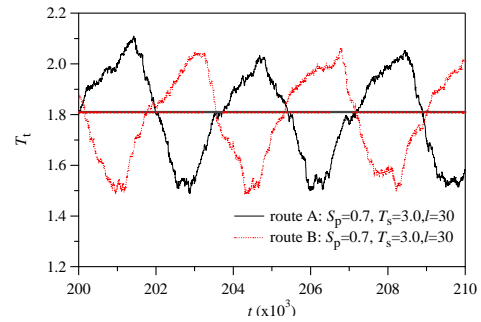


(a)

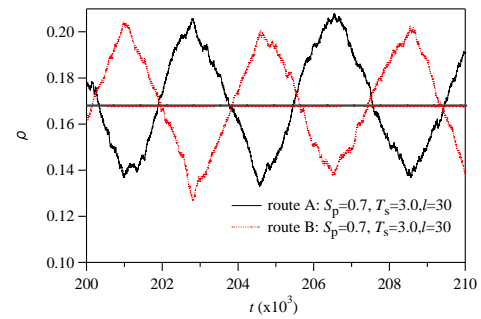


(b)

図4 信号機のない2つの経路に対する (a)旅行時間と(b)車両密度の時間変化



(a)



(b)

図5 信号機のある2つの経路に対する (a)旅行時間と(b)車両密度の時間変化

(3) 不規則な信号機間隔をもつ道路交通の制御

実際の都市交通では信号機の配置は不規則に変動している。このような不規則な信号機間隔では車両の運動は不規則に変動する。この不規則な車両変動を信号機の位相差（オフセットタイム）によってコントロールする方法を提案する。

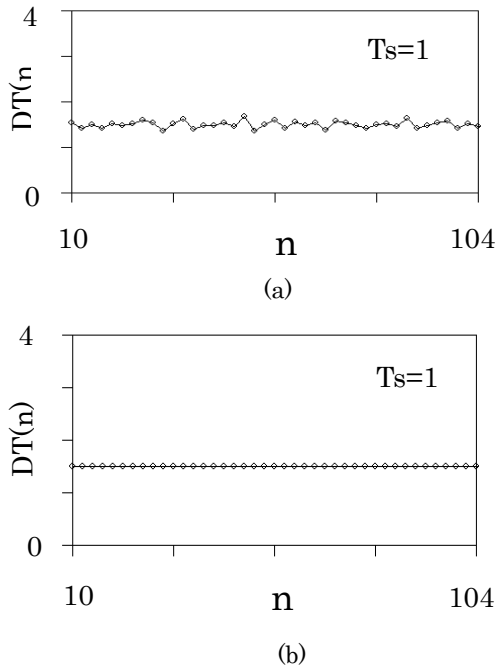


図6 信号機に対する旅行時間のプロット。  
(a)位相差なし。(b)位相差による制御。

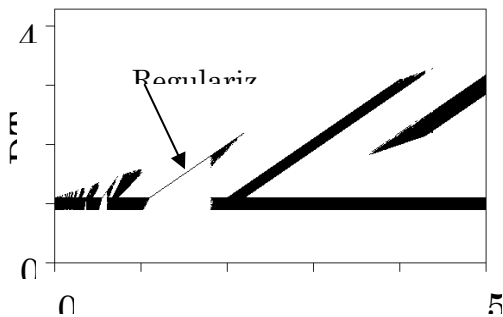


図7 サイクルタイムに対する旅行時間のプロット。

信号間隔が不規則に変化すると信号までの到達時間が連動して変化する。この到達時間の変化に応じて信号間位相差（オフセットタイム）を変化させる。図6は信号機に対する旅行時間のプロットを示す。(a)は信号位相差を制御しない場合の旅行時間の変化である。信号位相差を制御することによって、図6(a)の不規則な旅行時間変化を図6(b)

のように規則化できる。この方法によって図7の実線部分のサイクルタイム領域のみが規則的にコントロールできる。

(4) ラッシュ時での信号位相差による上下線制御

都市交通では一本の道路に上りと下りが対向する交通となっており、上下線は同じ信号機で制御されている。このためサイクルタイムとスプリットは上下線で同じであるが、信号位相差は反転している。この結果上下線の位相差は符号がことなっている。一般に信号位相差によって車の平均速度は大きく変化する。この交通の信号位相差依存性を利用して上下線の交通をうまく制御することができる。図8は平均速度のサイクルタイム依存性を表したものである。(a)はオフセットタイムが0.2と-0.2、(b)は0.6と-0.6である。実線はプラスのオフセット、太線はマイナスのオフセットである。このように同じサイクルタイムの値に対して、オフセットの符号によって大きく平均速度が変化する。この平均速度の差によって上下線の旅行時間が大きく変化する。この差によって朝夕のラッシュ時の交通をコントロールできる。

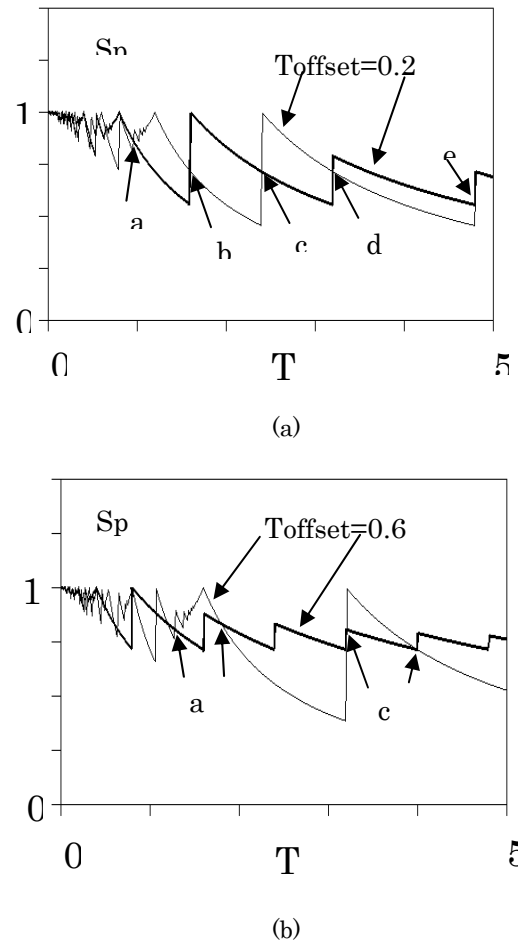


図8 平均速度のサイクルタイム依存性

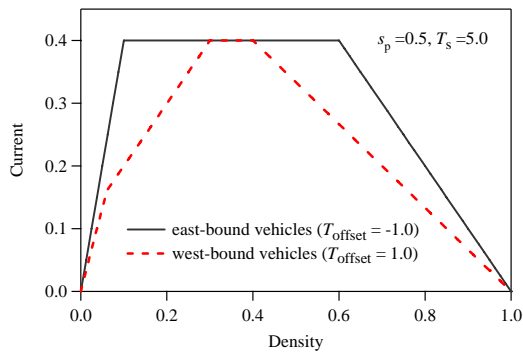


図9 上下線の流量図

信号制御された上下線の基本図（流量線図）を図9に示す。実線が負のオフセットタイムで赤の破線が正のオフセットタイムである。低密度と高密度領域において負のオフセットタイムの流量が正のオフセットタイムの流量より高い。この差を利用して朝のラッシュ時には上り線のオフセットを負に、夕方のラッシュ時には下り線のオフセットを負にすることによって、うまく混雑交通を制御できる。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計6件）

T. Nagatani, Y. Naito, Tour time in two-route traffic system controlled by signals, Physica A 390, 4522-4527 (2011), 査読あり

T. Nagatani, Regularization and control of irregular vehicular motion through a series of signals at disordered intervals, Physica A 390, 2127-2134 (2011), 査読あり

K. Komada, K. Kojima, T. Nagatani, Vehicular motion in 2d city traffic network with signals controlled by phase shift, Physica A 390, 5, 914-928 (2011), 査読あり

T. Nagatani, Effect of speed fluctuation on green-light path in 2d traffic network controlled by signals, Physica A 389, 4105-4115 (2010), 査読あり

T. Nagatani, Randomness control of vehicular motion through a sequence of traffic signals at irregular intervals,

Physics Letters A 374, 2823-2826 (2010), 査読あり

T. Nagatani, Vehicular motion on selected path in 2d traffic network controlled by signals, Physica A 388, 2911-2921 (2009), 査読あり

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

長谷 隆 (NAGATANI TAKASHI)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：40122717