

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560057
 研究課題名（和文） 交通輸送モデルとカオスに関する研究

研究課題名（英文） Chaos and transportation models

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：交通機関の到着時刻と乗車乗客数及び待機乗客数変動の挙動をモデル化し、実際の交通輸送システムにおける交通輸送量と到着時刻の関係を記述する非線形写像モデルを開発した。さらに開発した決定論的モデルを待機乗客数変動を考慮した確率モデルに拡張した。乗客変動・到着時刻変動のカオス発生条件を予測した。交通機関のスピードアップによる到着時刻遅れの回復の予測を明らかにした。また交通信号制御によって交通機関の定刻運転が可能となる条件を導出した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	510,000	3,810,000

研究分野：交通科学

科研費の分科・細目：(分科) 応用物理学・工学基礎 (細目) 工学基礎

キーワード：交通、輸送、カオス、モデリング、非線形力学、シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

最近複雑系の一つの問題として交通流に関する数理物理モデルが関心を集め、交通渋滞の発生および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。一方でカオス力学およびそのコントロールに関する研究も大きく進展してきた。交通輸送問題は密接に交通渋滞問題と関連し、その輸送量変動もカオスと関連している。しかしながら複雑系問題としての交通輸送の研究は非常に少ないのが現状である。オリンピックや万博等大きなイベントの大量乗客輸送は応用上非常

に重要な問題でもある。このような状況に触発されて、乗客輸送問題における到着時刻変動と乗客数変動および駅での乗客の待ち行列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

現在、交通および乗客輸送問題は大きな社会的な問題になっている。できるだけ少ないコストで短時間に大量の乗客や貨物を輸送することは非常に重要な課題である。本研究

は数理的、物理的および工学的手法を用いて交通輸送量とその変動に関する問題を研究する。乗客の待ち時間と乗客変動は顧客サービス上非常に重要な問題である。バス・電車・新幹線のような公共交通機関による乗客輸送量や宅配便等の貨物輸送量を予測するモデリングとシミュレーションに関する研究を行う。

3. 研究の方法

交通流で開発した非線形力学を使って、交通輸送システムにおける交通機関の到着時刻と乗客変動の挙動を数理モデル化し、この数学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、乗客の待ち時間・交通機関内の乗客数・到着時刻を調べる。

4. 研究成果

本研究で得られた主な成果を以下の3つの節に分けて記述する。

(1) シャトルバスの時刻表とカオス制御

数台のシャトルバスが二つのターミナル間を往復するとき、ターミナル駅で待つ乗客数が増えると、乗車時間が増加し、それに伴って次駅の到着時間が遅れる。この遅れを回復するために、バスは速度をアップする。このような乗客数増大に伴う時間遅れを速度アップによって回復を試みる際の定刻運転の可能性について研究を行った。シャトルバスの非線形力学運動は非線形写像モデルで記述できることを明らかにした。

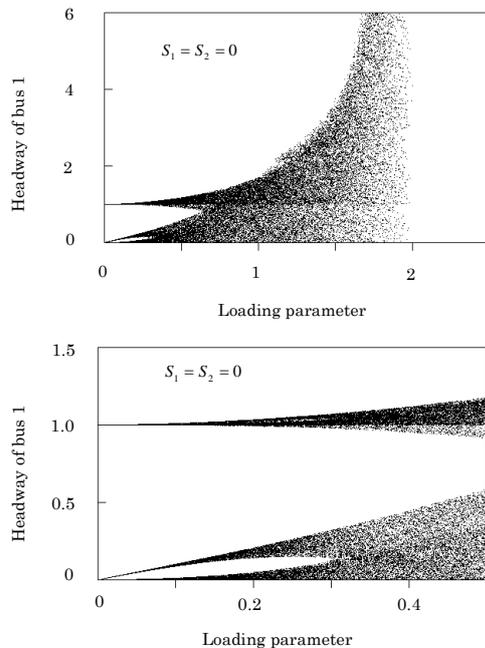


図1 バス1の車間距離とロードパラメータの関係 (スピードアップなし)

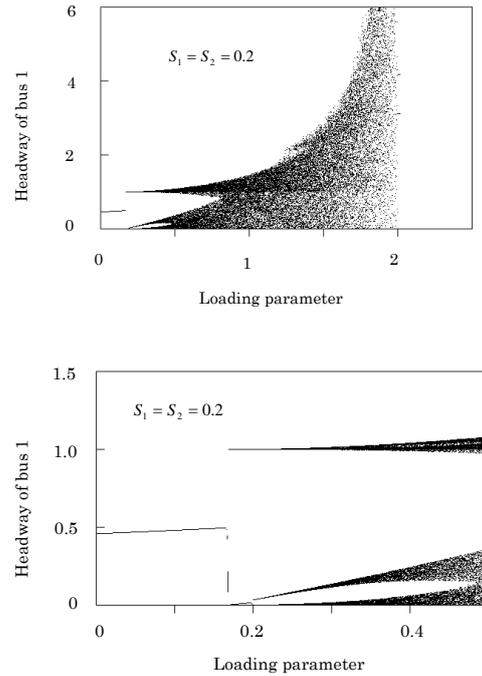


図2 バス1の車間距離とロードパラメータの関係 (スピードアップあり)

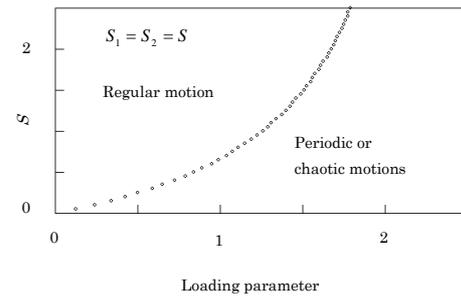


図3 スピードアップとロードパラメータ空間における領域マップ

駅で待機する乗客数はロードパラメータで表される。ロードパラメータが大きくなると乗客数は増加する。また駅で待機する乗客数はバスの時間間隔に比例し、バス間隔が大きくなるとバスの乗客数は増加する。新たに導出した非線形写像モデルを使って、バス間隔の変動とロードパラメータとの関係を計算した。図1はスピードアップなしの場合のバス1の車間距離とロードパラメータの関係を示す。図1の下図は上図の拡大図である。ロードパラメータの増加に伴って、バス間隔は不規則になって行き、やがてカオスとなる。

図2はスピードアップした場合のバス1の車間距離とロードパラメータの関係を示す。図2の下図は上図の拡大図である。ロードパラメータが小さいとき、バス間隔は一定であり、バスが定刻運転ができることを示

している。ロードパラメータがさらに増加すると、バス間隔は不規則になり、やがてカオスとなる。このようにロードパラメータが小さいとき、バスのスピードアップによってバスの遅れが回復できることがわかる。

次に、スピードアップによって定刻運転が可能となるロードパラメータの範囲を領域マップによって示す。図3はスピードアップとロードパラメータ空間において定刻運転ができる領域（バスの規則運動）を示す。ロードパラメータが大きくなるにつれて、定刻運転するためにはより大きくスピードアップする必要があることがわかる。

本研究によってバスの不規則なカオス運動がスピードアップによって制御できることが明らかになった。このバスのカオス制御によってバスの定刻運転が可能となる。

(2) 電車時刻回復のための非線形力学モデル

数十台の電車が一定間隔で始発駅から出発し、各駅に停車をして終点に向かう場合をモデル化した。電車が定刻より遅れたり、早くなったりした場合の時刻回復の非線形力学モデルを構築した。定刻からの遅れは非線形写像で表現でき、図4に典型的な場合のマップを示す。

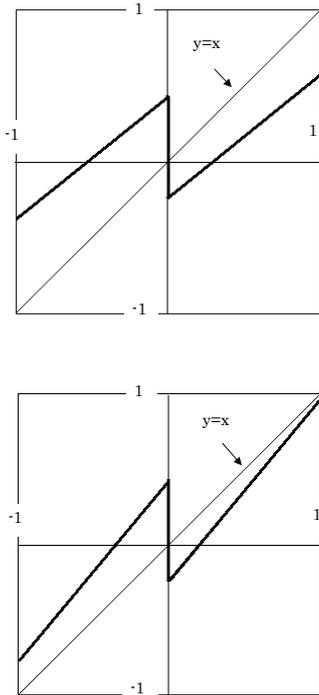


図4 電車時刻遅れの典型的な非線形写像

図4の上図は乗車数が少ないケースのマップであり、下図は乗車数が多いケースのマップである。このマップの違いによって電車のスピードアップによる定刻運転の可能性が大きく変化する。図5の上図は図4上図の

マップに対する電车间隔のスピードアップ依存性を表し、図5の下図は図4下図のマップに対する電车间隔のスピードアップ依存性を表す。乗車数が少ない場合には電車は多重周期運動をするが、乗車数が増えると電车间隔は不規則なカオス運動を示す。また図5下図からスピードアップが臨界値をこえると電车间隔が発散することがわかる。これはこのスピードアップ臨界値以上ではいくら電車がスピードアップしても電車の遅れが回復できないことを表している。

このようにして、図6に乗客数とスピードアップのパラメータ空間における電車時刻回復マップを得た。乗客数が増加するにしたがってスピードアップによる時刻回復が困難になることがわかる。本研究によって電車の時刻回復と電車速度との関係が明らかになった。

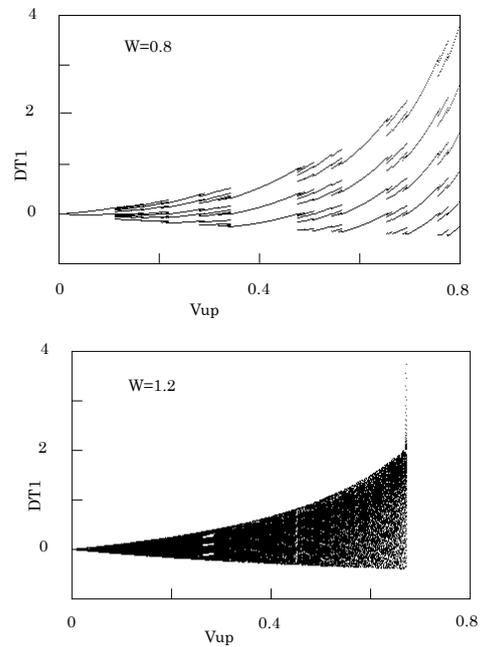


図5 電車時刻間隔とスピードアップ

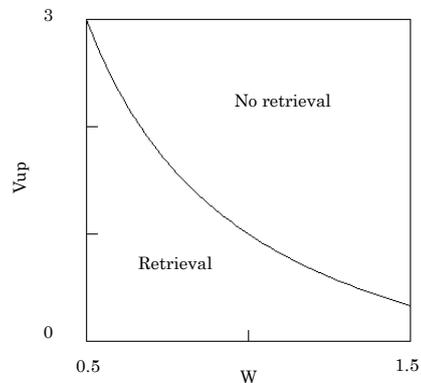


図6 電車時刻回復の領域マップ

(3) 交通信号によるシャトルバスの制御

シャトルバスを運行するとき、バスの到着時刻と乗客数はカオス発生によって不規則に変動し、定刻運転が不可能となる。このカオス発生をコントロールするために、交通信号を導入する。この交通信号のサイクルタイムを変化させることによって、どのようにバスの運動が変化するかを明らかにした。まず交通信号によって制御されたバスの力学を支配する数学モデルを構築した。このモデルは交通信号とバス循環時間の二つの連立した非線形写像となる。

図7は信号サイクルタイムが4.0の場合のバス循環時間とロードパラメータとの関係を示す。信号がない場合のバス循環時間を破線で示す。信号を設置することによってバス循環時間はロードパラメータと共に段階的に増加する。

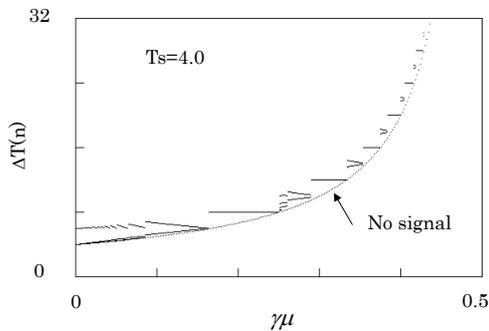


図7 信号サイクルタイムが4.0の場合のバス循環時間とロードパラメータとの関係

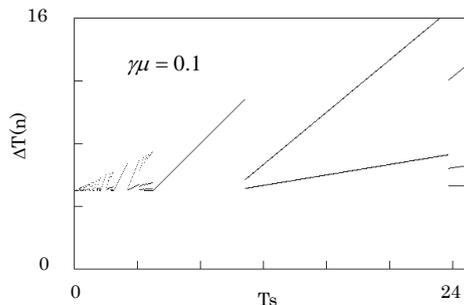


図8 ロードパラメータが0.1の場合のバス循環時間と信号サイクルタイムの関係

図8はロードパラメータが0.1の場合のバス循環時間と信号サイクルタイムの関係を示す。図9は図8にバスの速度変動を加えた場合のバス循環時間と信号サイクルタイムの関係を示す。図の黒い部分はバスが不規則な運動をする領域であり、この領域ではバスは定刻では運転できないことを意味する。図10は信号サイクルタイムと速度変動の大きさを表すパラメータ空間における領域マップを示す。図の黒い部分はバスが定刻で運転で

きる領域を表している。この結果、交通信号のサイクルタイムをこの領域に選ぶことによってバスの時刻表が決定できることを明らかにした。

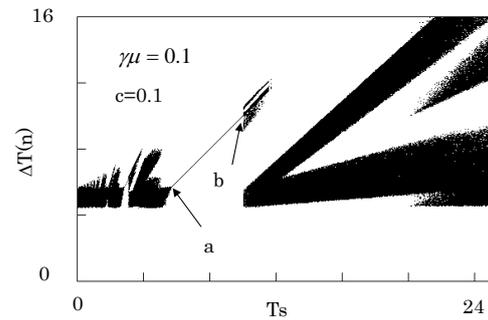


図9 図8にバスの速度変動を加えた場合のバス循環時間と信号サイクルタイムの関係

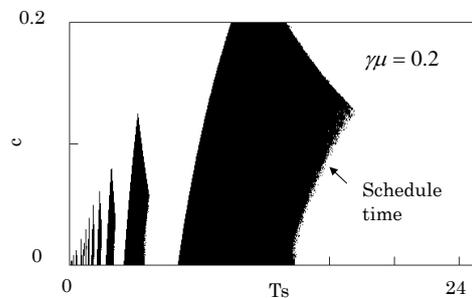


図10 信号サイクルタイムと速度変動の大きさを表すパラメータ空間における定刻運転の領域マップ

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)

Takashi Nagatani, Vehicular motion through a sequence of traffic lights controlled by logistic map, Physics Letters A, 372, 2008, 5887-5890, 査読有

Takashi Nagatani, Dynamics and schedule of shuttle bus controlled by traffic signal, Physica A, 387, 2008, 5892-5900, 査読有

Takashi Nagatani, Passenger's fluctuation and chaos on ferryboats, Physica A, 383, 2007, 613-623, 査読有

Takashi Nagatani, Dynamical model for retrieval of tram schedule, Physica A, 377, 2007, 661-671, 査読有

Takashi Nagatani, Chaos control and schedule of shuttle buses, Physica A, 371, 2006, 683-671, 査読有

Takashi Nagatani, Control of vehicular traffic through a sequence of traffic lights positioned with disordered interval, Physica A, 368, 2006, 560-566, 査読有

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