

エージェントの意思を取り入れた混雑情報の提示とその効果

片岡 崇[†] 川村 秀憲[†] 車谷 浩一^{††} 大内 東[†]

[†] 北海道大学大学院 工学研究科 〒060-0814 北海道札幌市北区北14条西9丁目

^{††} 産業技術総合研究所情報技術研究部門 〒135-0064 東京都江東区青海2-41-6

E-mail: [†]{kataoka,kawamura,ohuchi}@complex.eng.hokudai.ac.jp, ^{††}k.kurumatani@aist.go.jp

あらまし 本稿では、我々は新たな混雑情報システムを提案する。一般的な混雑情報システムにおいては、ユーザが目的地を選択してから実際にその場所に到着するまでに時間的な遅れが存在し、それが問題となっていた。そこで、提案システムではユーザが次の目的地を選択した時点でその選択結果を登録させ、その情報を混雑情報に取り入れて提示することでその問題の解消を試みる。また、多くのユーザに登録を促すために目的地を登録したユーザ専用の待ち行列を設置することを提案する。このシステムをテーマパーク問題に適用した結果、提案システムがどのようなトポロジーにおいても待ち時間の減少に効果的であることがわかった。

キーワード マルチエージェント、時間遅れ、テーマパーク問題、協調、分散

Effect of Congestion Information Taken in Agents' Intention

Takashi KATAOKA[†], Hidenori KAWAMURA[†], Koichi KURUMATANI^{††}, and Azuma OHUCHI[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University North 14, West 9, Kita-ku, Sapporo 060-0814, Japan

^{††} Information Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Aomi 2-41-6, Koto-Ku, Tokyo 135-0064, Japan

E-mail: [†]{kataoka,kawamura,ohuchi}@complex.eng.hokudai.ac.jp, ^{††}k.kurumatani@aist.go.jp

Abstract In this paper, we propose a new congestion information system. There is a problem caused by time delay between decision-making and emergence of its effect in a general congestion information system. In our system, users register their next destination when they select it, and we try to solve its problem with providing congestion information taken in the registration information. Moreover, to stimulate registrations of many users, we propose to make the exclusive queue. As the result of having applied to Theme Park Problem, our system was effective of reduction of waiting time in any topology.

Key words multi-agent, time delay, Theme Park Problem, coordination, distributed

1. はじめに

近年、ユビキタス環境の発達により人々は様々な情報をいたるところで入手、または発信できるようになってきている。このような環境において、これまでは主に各個人のニーズに合わせた情報を提供するようなシステムが開発されてきている。それに対して、現在では個人のニーズを満たすだけでなく、社会全体を考慮した支援を行う、群ユーザ支援と呼ばれるユーザ支援システムの実現が期待されている[1]。この群ユーザ支援において重要な研究分野の一つは、多くの人々で混み合った状況における人の流れの制御である。現在、そのようなシステムはカーナビゲーションシステムにおけるVICS(Vehicle Information and Communication System)[4]のような混雑情報システムに

よってしだいに実現されつつある。そこで、そのような状況(例えばテーマパーク[7]、イベント会場[5]、交通[2],[6]など)をモデル化し、マルチエージェントシミュレーションによって混雑情報システムによる全体の混雑の緩和を検証した研究がなされている。それらの研究の結果、各エージェントがシステムによって提供される混雑情報をもとに混雑を回避することは確かに効果的ではあるものの、あまりに多くのエージェントが混雑を回避してしまうと全体の混雑はそれほど減少しなくなってしまうことが明らかになっている。そこで、我々はその原因が多くのエージェントによる最も空いているサービス施設への過剰な集中と、それが各サービス施設で繰り返し起こることで発生する待ち行列の振動にあることを明らかにした[7]。また、そのような過剰な集中はエージェントが目的地の選択を行ってから

実際に到着するまでに時間的な遅れがあるため、実際はすでに多くのエージェントがその場所を目指しているにも関わらず、提示される現在の各サービス施設での混雑をもとに選択を行うためである[8]。このように、時間遅れによって引き起こされる待ち行列の振動の問題は様々な混雑提示システムにおいて一般的に起こりうる問題である。

この問題を解決するためには、時間遅れを考慮して各サービス施設での将来の混雑の状態を予測した上で、過剰な集中を防ぐような混雑情報の提示を行う必要がある。その予測を行う方法として、まず過去の各サービス施設での状態から将来を予測する方法が考えられる。過去の研究では、各エージェントがそれぞれ予測をして行動した結果、待ち行列がカオス的に振動しそれほど効果的ではないことが明らかになっている[10],[11]。これは各エージェントが予測に基づいて決定された行動をし、それが環境に反映されると、各サービス施設の状態がそれまでの傾向とは違ったものになる。これが繰り返されることで予測に生じる誤差が大きくなり、正確な予測は非常に困難になってしまう。

このように、現在もしくは過去の各サービス施設の状態のみから将来を予測することは非常に困難である。目的地選択とそこへの到着の間にある時間遅れを解消するためには、各ユーザが選択を行った時点でその選択結果を混雑情報に反映し、他のユーザに提示する必要がある。そこで、我々は各ユーザに選択を行った時点で目的地を登録してもらい、その情報を考慮した混雑情報を提示するシステムを提案する。本稿では、このシステムをDVC(Distributed Visitors Coordination)システムと呼ぶ。また、このシステムでは各ユーザの目的地登録という協調を促すために、目的地を登録したユーザ専用の待ち行列を設置することも合わせて提案する。本稿では、このシステムをテーマパーク問題に適用し、マルチエージェントシミュレーションによってその効果を検証する。

2. Distributed Visitors Coordination システム

DVC システムは以下のような2つの特徴を持っている。

- 各ユーザの次の目的地の登録
- 専用待ち行列

まず、各ユーザの次の目的地の登録は時間遅れの影響を減らすためのものである。先に述べたように、一般的に混雑情報システムにおいて目的地選択と実際にそこへ到着する間には時間的な遅れが存在する。その問題を解決するために、各ユーザが目的地の選択を行った時点でその選択結果を知り、近い将来においてあるサービス施設が過剰に混雑しそうであればそこを避けるように情報を提供することである。そのため、DVC システムでは各ユーザに次の目的地を登録してもらう。また、それらの情報から一つのサーバで全体の状態を予測することは困難であるため、各サービス施設においてそこでの待ち行列の長さや登録された人数から分散的に将来の状態を予測する。

しかし、各ユーザにとって次の目的地を登録することは余計な手間になってしまう。そこでユーザの登録を促す要素として、

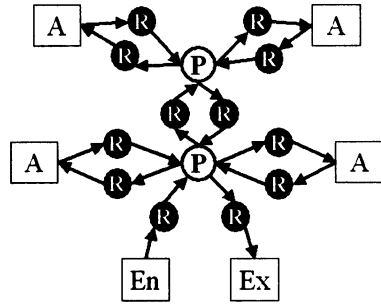


図1 テーマパークの例。A, R, P, En, Ex はそれぞれアトラクション、道路、広場、入口、出口セグメントを表す。

我々はそれぞれのサービス施設に通常の待ち行列のほかに、登録したユーザ専用の待ち行列を作ること提案する。登録したユーザは通常の待ち行列と専用の待ち行列のどちらにも並ぶことができ、その時々で短い方に並ぶことができる。しかし、登録しなかったユーザは通常の待ち行列にしか並ぶことができない。また、2つの待ち行列からは交互に一人ずつサービス施設に入ることができる。このため、常に登録をしたユーザはしなかったユーザよりも短い待ち時間になるので、ユーザの登録を促すことができると考えられる。

我々はこのシステムをテーマパーク問題に適用し、マルチエージェントシミュレーションによって提案システムの効果を検証した。テーマパーク問題はテーマパークの中で問題が閉じており、エージェントの行動や好みをモデル化しやすく、アトラクションでの混雑を計測しやすいという特徴を持っているため[7]、検証に適している。

3. テーマパーク問題

テーマパーク問題は多くのエージェントがテーマパークを訪れたときに、各エージェントの訪問スケジュールの調整によって全エージェントの満足度の増加を目指した問題である。テーマパークには入り口、出口、アトラクション、広場、道路セグメントがあり、それらが図1のような有向グラフによってつながれたテーマパークを考える[7]。

テーマパーク問題では、時刻 t が離散的に定義されており ($t \in \{0, 1, 2, \dots\}$)、セグメントの集合を $S (= \{s_i | i = 1, \dots, n\})$ とする。その中でも、特にアトラクションセグメントの集合を $A (= \{a_j | j = 1, \dots, An\}, A \subset S)$ とする。セグメント s_i は3つの値 c_i , st_i , $q_{i,t}$ を持っている。 c_i はキャパシティを表しており、一度にセグメントでサービスを受けることができる最大の人数である。また、 st_i はセグメント i のサービス時間であり、エージェントは st_i ステップの間そのセグメントに滞在していなければならない。滞在後、そのセグメントがアトラクションセグメントであれば、エージェントはその時点で次の目的地となるアトラクションセグメントを選択し、次のセグメントへ

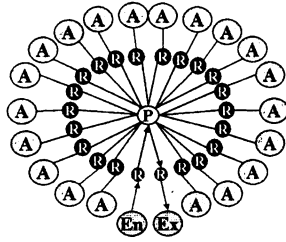


図2 スター型

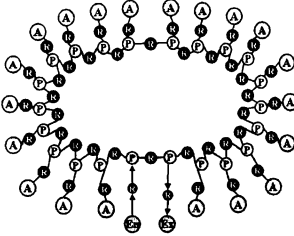


図3 リング型

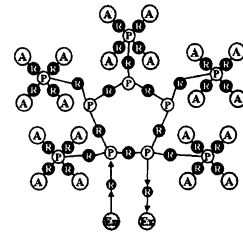


図4 スター・リング型

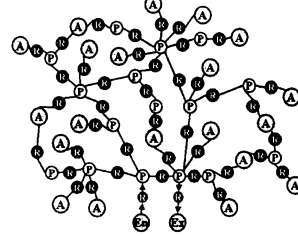


図5 ランダム型

移動する。 $q_{i,t}$ は時刻 t でのセグメント i の待ち行列の長さである。

一方、エージェント k はパラメータとして $vt_{i,k,t}$, pt_k , m_k , v_k , mv_k を持っている。 $vt_{i,k,t}$ はエージェント k が時刻 t にセグメント i に滞在していたかどうかを表しており、滞在していれば $vt_{i,k,t} = 1$, していなければ $vt_{i,k,t} = 0$ である。また、エージェント k はテーマパーク滞在中に $m_k (\leq An)$ 個のアトラクションを訪れる。 pt_k はエージェント k の合計のテーマパーク滞在時間であり、その値は以下の式で計算される。

$$pt_k = \sum_{s_i \in S} \sum_t vt_{i,k,t} \quad (1)$$

テーマパーク問題の目的は全エージェントの満足度の最大化であるが、その評価を全エージェントのテーマパークの合計滞在時間の短さによって行う。具体的には $\sum_k pt_k$ の最小化を目的とする。そのとき、各エージェントがテーマパークを去るときに満たさなければならない以下のような制約がある。

$$\forall a_j \in v_k, \sum_t vt_{j,k,t} \geq st_j \quad (2)$$

ここで、 v_k は $v_k \subset A$ を満たすアトラクション集合である。また、 mv_k は v_k の要素数であり、 $mv_k \leq m_k$ である。つまり数式(2)が意味するものは、エージェント k は v_k に含まれる mv_k 個のアトラクションには必ずすべて訪れなければならないということである。

4. シミュレーション設定

今回のシミュレーションでは図2から図5のようにネットワークにおける一般的なトポロジーである、スター型、リング型、またそれらを合わせたもの、そしてランダムなトポロジーの4つのテーマパークにおいて提案システムの効果を検証する。

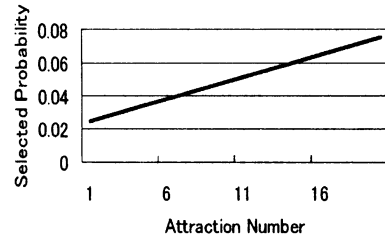


図6 各アトラクションが目的として選択される確率。X軸はアトラクション番号、Y軸は選択される確率を表す。

各アトラクション間の移動には必ず道路を経由しなければならず、その時間が目的地選択と実際にそこに到着するまでの間の時間遅れとなっている。

テーマパーク内にはアトラクションが20個ある。エージェントは1ステップ当りの平均到着人数 $\lambda = 1.5$ でポアソン分布に従って入り口にやってくる。そのときに、図6に示した確率に従って v_k が決められる。そのため、アトラクション番号の大きいアトラクションにはより多くのエージェントが集まるようになっており、そのような混雑の偏りを待ち時間の提示によって解消する。

エージェントに提示する混雑情報は以下のような各アトラクションで分散的に求められたものを用いる。

$$info_{j,t} = ((q_{j,t} + Eq_{j,t}) + \alpha r_{j,t}) \times st_j / c_j \quad (3)$$

ここで、 $Eq_{j,t}$ は時刻 t におけるアトラクション j の専用待ち行列の長さである。また $r_{j,t}$ は時刻 t の時点でアトラクション j を次の目的地として登録してあるエージェント数であり、その値はそこに登録してあるエージェントが実際に待ち行列に並んだ時点で1減少する。つまり、式(3)によって計算される

表 1 パラメータ設定

アトラクションキャパシティ c_j	10
アトラクションサービス時間 st_j	15
平均訪問アトラクション数 m_k	10
平均制約アトラクション数 mv_k	3
平均到着率 λ	1.5
エージェント数	3000
混雑情報パラメータ α	1.0

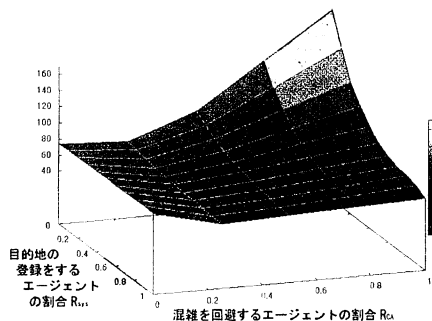


図 7 スター型の待ち時間. X 軸は混雑を回避するエージェントの割合 R_{CA} , Y 軸は目的地の登録をするエージェントの割合 R_{sys} , Z 軸は平均待ち時間.

$info_{j,t}$ はアトラクション j での将来のおおまかな待ち時間を表している.

各エージェントは以下の 2つの行動に関して、その行動をす
るかどうか前もって決められている.

- 混雑の回避
- 次の目的地の登録

そのため、これらの行動の組み合わせから 4つのタイプのエージェントが存在する。混雑を回避するエージェントは未訪問のアトラクションの中から $info_{j,t}$ が最大のものを目的地として選択する。一方、混雑を回避しないエージェントは未訪問のアトラクションの中からランダムに次の目的地を選択する。また、次の目的地を登録するエージェントは各アトラクションで専用の待ち行列に並ぶことができ、登録しなかったエージェントは通常の待ち行列にしか並べない。登録をしてもしなくても提示される情報は同じである。

一回のシミュレーションは 3000 人のエージェントがテーマパークを出て行くまでとする。また、このような設定において全エージェントのテーマパークでの滞在時間の総和を評価するとき、各アトラクションでもサービス時間は等しく、エージェント全体での移動時間も平均すると変わらないため待ち時間のみに差が表れる。そのため、全エージェントの待ち時間によってシステムの評価を行う。

5. 実験結果

図 7 から図 11 はそれぞれのトポロジーにおけるエージェント全体の平均待ち時間を表したものである。X 軸は混雑を回避するエージェントの割合 R_{CA} , Y 軸はシステムを利用するエー

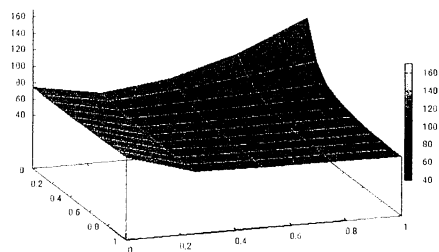


図 8 リング型の待ち時間

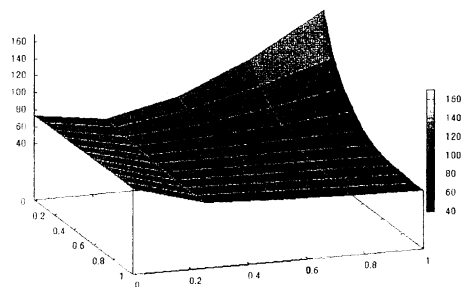


図 9 スター・リング型の待ち時間

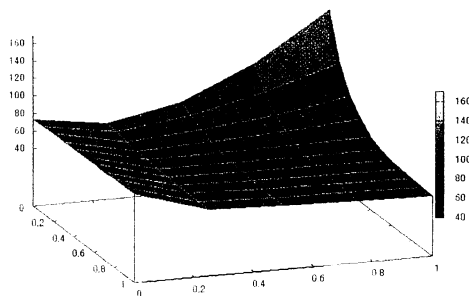


図 10 ランダム型の待ち時間

表 2 各アトラクション間の平均移動距離と標準偏差

	平均移動距離	標準偏差
スター型	20.0	0.0
リング型	38.75	231.5625
スター・リング型	24.55	45.0475
ランダム型	22.65	41.2275

ジェントの割合 R_{sys} , Z 軸は平均待ち時間を表している。それぞれのグラフは同じ傾向を示しており、混雑を回避するエージェントの割合がどんな値であってもシステムを利用するエージェントの割合が大きくなると待ち時間は減少している。このことから目的地登録エージェントの増加は全体の混雑の減少に効果的であるといえる。それぞれのグラフの値に注目してみると、 $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 0.0$ のときの待ち時間が異なっている。スター型の場合が最も待ち時間が長く、スター・リング型、

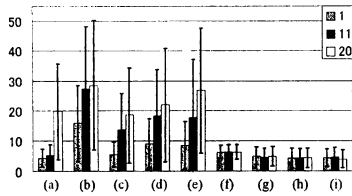


図 11 3つのアトラクションでの待ち時間と標準偏差。(a) $R_{CA} = 0.0$, $R_{sys} = 0.0$, (b) スター型 $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 0.0$, (c) リング型 $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 0.0$, (d) スター・リング型 $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 0.0$, (e) ランダム型 $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 0.0$, (f) スター型 $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 1.0$, (g) リング型 $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 1.0$, (h) スター・リング型 $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 1.0$, (i) ランダム型 $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 1.0$

ランダム型が同程度で、リング型が最も短い。表 2 は各アトラクション間の移動距離の平均と標準偏差を表したものであるが、この結果と比較すると、標準偏差が大きいほど待ち時間は短くなっている。通常アトラクション間の距離が長いほど時間遅れが大きくなり待ち時間も増加する。しかし、移動距離がばらついている場合、最も空いているアトラクションに対してかなり近いアトラクションにも多数のエージェントも存在し、そのエージェントたちがすぐそこへ到着するので、時間遅れが小さくなりそれほど過剰にはエージェントの集中が起きない。そのため、リング型のときに最も待ち時間が短くなっている。一方、 $R_{sys} = 1.0$ になるとどのトポロジーにおいても待ち時間はそれほど差がなくなる。このことから、各エージェントの目的地の選択結果をすぐに混雑情報に含めることで時間遅れの影響を減らし、トポロジーに関係なく一定の混雑減少効果が得られる。また、 $R_{CA} = 0.0$ のとき R_{sys} が大きくなっても待ち時間は変わっていない。これはつまり、ただ専用の待ち行列を作り、何割かのエージェントがそれに並ぶことができたとしても、その分目的地登録をせず専用待ち行列に並べなかったエージェントは待ち時間が増えてしまい、エージェント全体としてみると待ち時間は変わらないことがわかる。

図 11 はアトラクション番号が 1, 11, 20 のアトラクションでの平均待ち時間と標準偏差を表したものである。(a) は全エージェントが混雑を回避しなかった場合の待ち時間である。図 6 に示したように、アトラクション番号が大きいほど多くのエージェントが集まるようになっているので待ち時間も増加している。また、(b) から (e) は $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 0.0$ のときのそれぞれのトポロジーでの待ち時間であるが、いずれの場合も (a) より待ち時間も増え、標準偏差も大きくなっている。標準偏差が大きいことから待ち時間が大きくなったり小さくなったりしている、つまり待ち行列が振動していることがわかる。一方、(f) から (i) は $R_{CA} = 1.0$, $R_{sys} = 1.0$ のときのそれぞれのトポロジーでの待ち時間であるが、いずれも待ち時間が非常に小さく、また標準偏差も非常に小さくなっている。

よって、提案システムを利用することで時間遅れによって生

じる待ち行列の振動の問題が解消され、全体の混雑も減少しているため、提案システムは効果的であった。

6. 協調を促すために

本稿では、我々は次の目的地に登録したユーザ専用の待ち行列の設置を提案した。このシステムは一見すでに実際のテーマパークなどで行われている特定時間予約システムに似ている。しかし、そのようなシステムの目的は予約の出来たユーザの待ち時間を減らし、満足度を高めるためのものである。その一方で予約できなかったユーザは待ち行列の人数分の他に予約者の分余計に待たなければならない。図 7 などからもわかるように、誰も混雑を回避せず、ただ専用の待ち行列に並ぶことだけを導入すると全体としての待ち時間はシステム利用者が増加しても変化はない。一概にこの結果が時間予約システムに直接結びつくとは言えないが、同様の傾向があるものと思われる。しかし、実際の特定時間予約システムは全体の待ち時間の減少を目的としてはおらず、その他の効果が多分にあるかもしれない。

一方、我々のシステムでは専用の待ち行列はユーザの協調を促すためのものである。しかし、上で述べたように、登録することで得られる利益としなかった場合の不利益があり、また特定時間予約システムとは違って何人でも登録できるため、多くのユーザにとって半ば強制的にシステムの利用を促してしまう恐れがある。これはユーザへのサービス提供といった面を考えると不適である。このようにユーザへのサービスの質に違いを持たせることによって生じる問題に対しては、まだまだ様々な議論を必要とするだろう [12]。さらにこのシステムを実装する場合、専用待ち行列の維持、管理に多大なコストがかかる。また、交通のような他の問題にこのシステムを適用する場合に単純には専用の待ち行列を設置できないという問題もある。

協調を促す他の方法として、登録したユーザにポイントを与え、次回来園時にポイントに応じたサービスを提供することも考えられる。こうすれば、登録しなかったユーザに不利益は生じないが、専用の待ち行列よりはユーザの協調を促す効果が弱いかもしれない。

いずれにせよ、今後我々はユーザの協調を促すためのより良い方法を考えていく必要がある。

7. ま と め

本稿で、我々は DVC (Distributed Visitors Coordination) システムを提案した。シミュレーションから、テーマパークのトポロジーによらず、このシステムを利用するエージェントが多くなると全体の混雑も減少し、待ち時間が減った。このシステムによって、各エージェントに次の目的地に登録させることで将来の状態を知り、それを含めた混雑情報を提供することで目的地選択と実際にそこに到着するまでの間の時間遅れの影響が減った。

さらに、エージェントに目的地の登録という協調行動を促すために、登録したエージェント専用の待ち行列の設置を提案した。しかし、協調を促す方法は他にも考えられ、今後最適な方法を十分吟味しなければならない。

今後は待ち時間の減少だけでなく移動時間の減少も考慮したアルゴリズムを提案する必要がある。

文 献

- [1] Koichi Kurumatani: User Intention Market for Multi-Agent Navigation - An Artificial Intelligent Problem in Engineering and Economic Context. In Working Note of the AAAI-02 Workshop on Multi-Agent Modeling and Simulation of Economic Systems, MAMSES-02, Technical Report WS-02-10, AAAI Press pp.1-4 (2002)
- [2] Tomohisa Yamashita, Kiyoshi Izumi, and Koichi Kurumatani: Effect of Using Route Information Sharing to Reduce Traffic Congestion. Multi-Agent for Mass User Support, International Workshop, MAMUS Acapulco, Mexico, August 10, 2003 Revised and Invited Papers pp.86-104 (2003)
- [3] Hidenori Kawamura, Koichi Kurumatani, and Azuma Ohuchi: Modeling of Theme Park Problem with Multiagent for Mass User Support. Working Note of The IJCAI-03 Workshop on Multiagent for Mass User Support, Acapulco, Mexico pp.1-7 (2003)
- [4] VICS (Vehicle Information and Communication System) is information service in ITS (Intelligent Transport Systems): <http://www.its.go.jp/ITS/>
- [5] R. Suzuki and T. Arita: Effects of Information Sharing on Collective Behaviors in Competitive Populations. Proceedings of the Eight International Symposium on Artificial Life and Robotics pp.36-39 (2003)
- [6] 塩瀬隆之, 鬼塚俊行, 田浦俊春: 交通流ナビゲーションにおける効果的な情報提供. 知的都市基盤研究グループ研究会報告, 情報処理研究会報告 2002-ICII-2-2, pp.7-12(2002).
- [7] Hidenori Kawamura, Takashi Kataoka, Koichi Kurumatani, and Azuma Ohuchi: Investigation of Global Performance Effected by Congestion Avoiding Behavior in Theme Park Problem. IEEJ Trans. EIS, 124 pp.1922-1929 (2004)
- [8] 片岡崇, 川村秀憲, 車谷浩一, 大内東: テーマパーク問題における混雑状況の提示とその効果. 電子情報通信学会技術研究報告, ニセコ, Vol.103, No.725, pp. 47-52 (2004.3).
- [9] W.B. Arthour: Inductive Reasoning and Bounded Rationality. American Economic Association Papers Proceedings, 84 pp.406-411 (1994)
- [10] D. Challet and Y.C.Zhang: Emergence of Cooperation and Organization in an Evolutionary Game. Physica A, 246 pp.407-418 (1997)
- [11] C.M. Rump and S. Stidham, Jr.: Stability and Chaos in Input Pricing for a Service Facility with Adaptive Customer Response to Congestion. Management Science, 44 pp.246-261 (1998)
- [12] Are some customers more equal than others?, HARVARD BUSINESS REVIEW, Nov 2001 ; Vol.79, Iss.10