

事例研究

マルチエージェントシミュレーションを用いた レストランサービスプロセスのモデル化と解析

近畿大学 谷崎 隆士, 片岡 隆之
がんこフードサービス(株) 新村 猛

本稿では、レストランホールのサービスプロセスのモデル化手法について提案する。本モデル化手法を用いて、店舗内の座席配置、ホール係の要員数と混雑時の顧客の空席待ちの関係を解析する手法を開発した。待ち時間の解析には、従来、待ち行列理論が用いられる。待ち行列理論は、サービスの提供者と受容者が静的な関係にある場合の解析に有効な手法である。今回の研究対象であるレストランホールのサービスプロセスのように、サービスの提供者であるホール係と受容者である顧客が相互に作用しながら状態を遷移すると共に場所を移動する動的なプロセスの解析は困難である。そこで、二次元セルオートマトンを用いて、レストランホールにおける顧客とホール係の挙動をモデル化した。さらに、マルチエージェントシミュレーションを用いて上記モデルをコンピュータ上に実装し、店舗内の座席配置、ホール係の要員数と混雑時の顧客の空席待ちの関係を解析した。本解析手法を昼食時に混雑するレストランに適用し、混雑時の顧客の待ち発生を減少する方策の検証を行った。この結果、顧客の人数比率と座席の比率が合致した座席レイアウトの方が、待ち発生の減少する効果が得られると共に、本解析手法の有効性を確認した。

Modeling and Analysis of Restaurant Service Process Using Multi Agent Simulation

Kinki University Takashi TANIZAKI, Takayuki KATAOKA
Ganko Food Service Co.,LTD. Takeshi SHINMURA

Abstract: In this paper, modeling and analysis method of restaurant service process using multi agent simulation is proposed. Method to analyze relationship among seat layout, the number of waiter and customer queuing in crowded restaurant is proposed with this modeling. Queuing theory is often adapted to above problem. Queuing theory is the technique that is effective for analysis when a customer has a static relation with the service provider. It is difficult to analyze service process in which provider and customer act mutually and move at a place. Therefore the behavior of customer and waiter is modeled using two-dimensional cellular Automaton. The model above mentioned is implemented on a computer using multi agent simulation and relationship among the seat layout, the number of waiter and customer queuing in crowded restaurant is analyzed. This analytical technique is applied to a restaurant crowded in lunch time and the policy to decrease customer queuing time is discussed. As a result, the seat layout that the ratio of the customer group is equal to the ratio of seat has effect to decrease customer queuing time and the effectiveness of this analysis technique is confirmed.

Keywords: multi agent simulation, cellular automaton, service process, seat layout

1 はじめに

日本の経済活動の中でサービス産業の重要性が高まってきている。しかし、製造業と比較してサービス産業の生産性が低い事から、サービス産業の生産性向上はわが国の重要政策課題である[1]。このような背景からサービス産業の生産性向上を目指して、工学的アプローチを用いたサービスプロセス設計の研究に取り組んでいる。本稿では、上記の一環とし

てレストランホールのサービスプロセスをモデル化し、店舗内の座席配置、ホール係の要員数と混雑時の顧客の空席待ちの関係を解析する手法を開発した。さらに、昼食時間帯に混雑するレストランA店に本手法を適用し、有効性を確認した。

2 サービスプロセスのモデル化

本研究は、レストランホールのサービスプロセス

をモデル化し、混雑するレストランの空席待ちを低減することで、経営効率の向上に資する事を目的とする。そのために、セルオートマトンを用いてレストランホールにおける顧客とレストランのホール係の挙動をモデル化する。さらに、マルチエージェントシミュレーションを用いて上記モデルをコンピュータ上に実装し、店舗内の座席配置、ホール係の要員数と混雑時の顧客の空席待ちの関係を解析する。

2.1 セルオートマトン

本研究において、解析対象のモデル化に用いるセルオートマトンについて、概説する。セルオートマトンとは、細胞のような区画であるセル構造を持つオートマトンのことである。セルオートマトンの特徴は、解析対象をセルという区分領域に分割し、特定の離散的状態量の近傍のセルと相互作用から全体の挙動を表現できることである[2]。単純なルールを設定しても複雑な様相が現れることから、避難流動シミュレーション等の複雑なシステムの有力な解析手法である[3]。セルオートマトンには一次元セルオートマトンと二次元セルオートマトンがあり、本研究では二次元セルオートマトンを用いる。

2.2 二次元セルオートマトン

二次元セルオートマトンとは、セルを二次元的に配置したオートマトンである(図1)。近傍範囲が r の二次元セルオートマトンの状態遷移は(1)式となる。

$$C_{ij}(t+1) = f(C_{i-r,j-r}(t), C_{i-r,j-r+1}(t), \dots, C_{ij}(t), C_{i,j+1}(t), \dots, C_{i+r,j+r}(t)) \quad (1)$$

$C_{ij}(t)$: 時刻 t におけるセル (i, j) の状態
 (t, i, j) は 0 以上の整数

$C_{i-1,j-1}(t)$	$C_{i,j-1}(t)$	$C_{i+1,j-1}(t)$
$C_{i-1,j}(t)$	$C_{ij}(t)$	$C_{i+1,j}(t)$
$C_{i-1,j+1}(t)$	$C_{i,j+1}(t)$	$C_{i+1,j+1}(t)$

図1 $C_{ij}(t)$ を中心とした 8 個のセル座標

2.3 セルオートマトンを用いたレストランホールのサービスプロセスのモデル化

レストランホールでは、サービスの受容者(以下顧客と表記)と提供者(以下ホール係と表記)が相互作用しながら状態を遷移する。顧客とホール係の状態遷移を図2、図3に示す。図2の顧客の状態の中で、水待ち、注文待ち、調理待ち、提供待ち、キャッシャーへ移動、清算は、ホール係との相互作用の結果、次の状態へ遷移する。図3のホール係の状態は、いずれも顧客との相互作用の結果、次の状態へ遷移する。顧客とホール係の状態遷移をセルの状態遷移ととらえ、顧客 m の状態を C_m^v 、ホール係 l の状態を P_l^u とすると $C_{ij}(t)$ は(2)式で表現できる。

$$C_{ij}(t) = \begin{cases} C_m^v: C_{ij}(t) \text{ に状態 } C_m^v \text{ の顧客 } m \text{ が存在する} \\ P_l^u: C_{ij}(t) \text{ に状態 } P_l^u \text{ のホール係 } l \text{ が存在する} \\ 0: C_{ij}(t) \text{ に顧客もホール係も存在しない} \end{cases} \quad (2)$$

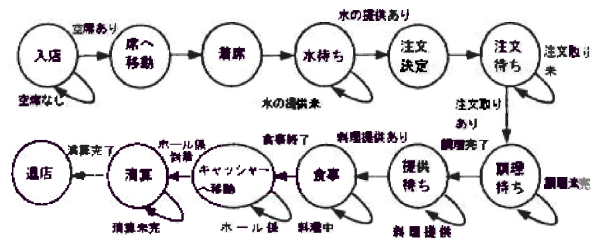


図2 顧客の状態遷移図

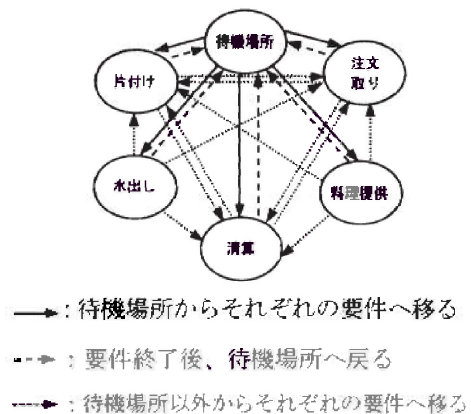


図3 ホール係の状態遷移図

顧客、ホール係の場所移動は、単位時間当たりにセル1区間を1歩ずつ移動するとしてモデル化する。この結果、レストランホールのサービスプロセスは、中心セルの周囲を8個のセルで囲まれた近傍範囲が

1の二次元セルオートマトンとしてモデル化できる。従って、セル $C_{ij}(t)$ の状態遷移は(3)式となる。

$$C_{ij}(t+1) = f_q^r(C_{i-1,j-1}(t), C_{i-1,j}(t), C_{i-1,j+1}(t), C_{i,j-1}(t), C_{i,j}(t), C_{i,j+1}(t), C_{i+1,j-1}(t), C_{i+1,j}(t), C_{i+1,j+1}(t))$$

f_q^r : セルの状態が $q \rightarrow r$ と遷移する事を表す関数

例えば、時刻 $t \rightarrow t+1$ において、図4に示すように顧客 m が状態 C_m^v でセル $(i, j-1)$ からセル (i, j) に移動する状態遷移は(4)式となる。

$$C_{ij}(t+1) = f_0^{C_m^v}(C_{i,j-1}(t), C_{i,j}(t))$$

$$C_{i,j-1}(t+1) = f_{C_m^v}^0(C_{i,j-1}(t), C_{i,j}(t))$$

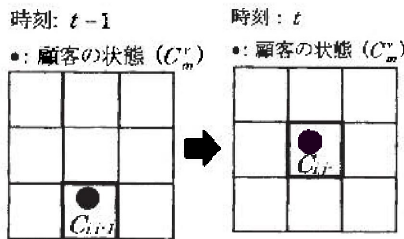


図4 セル間の移動

2.4 マルチエージェントシミュレーション

待ち時間の解析には、従来、待ち行列理論が用いられる[4]。待ち行列理論は、銀行の窓口業務のようなサービスの提供者と受容者が静的な関係にある場合の解析に有効な手法である。今回の研究対象のレストランホールのサービスプロセスのように、サービスの提供者であるホール係と受容者である顧客が相互に作用しながら状態を遷移すると共に場所を移動する動的なプロセスの解析は困難である。このようなプロセスの解析手法として、近年、マルチエージェントシミュレーション(MAS)が注目されている。MASは、現実世界をコンピュータ上で模擬し、複数のエージェントを用いて対象物の挙動を解析する手法である。図5に示すようにエージェントがMAS上で主体性を持ち、自律的に行動することで他のエージェントや周囲の環境との相互作用によりシミュレーション全体を表現することができる。従って人間や組織の活動を自然に表現することができると共に、人間や組織を単位としたシミュレーションであ

ることから、意思決定が中心となる事象の模擬検証に適用しやすい[5][6]。

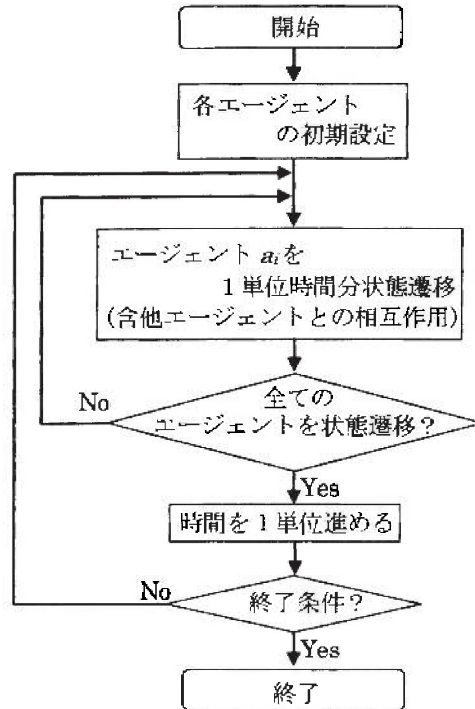


図5 MASの概略フロー

3 本研究へのセルオートマトンとMASの適用

3.1 本研究へのセルオートマトンの適用

(1)顧客のモデル

図2の顧客の状態遷移図における顧客の状態 $C_{ij}(t)$ は、前述の C_m^v を用いて以下のように表現できる。

- C_m^1 : 入店, C_m^2 : 客席に移動, C_m^3 : 着席,
- C_m^4 : 水待ち, C_m^5 : 注文決定, C_m^6 : 注文待ち,
- C_m^7 : 調理待ち, C_m^8 : 提供待ち, C_m^9 : 食事,
- C_m^{10} : キャッシャーへ移動, C_m^{11} : 清算, C_m^{12} : 退店

この時、(3)式における顧客の状態遷移を表す関数は、以下となる。

- $f_0^{C_m^1}$: 入店
- $f_{C_m^1}^{C_m^2}$: 入店後、客席へ移動
- $f_{C_m^2}^{C_m^3}$: 客席に移動し、着席
- $f_{C_m^3}^{C_m^4}$: 着席後、ホール係が来るまで水待ち
- $f_{C_m^4}^{C_m^5}$: 水を受け取り、注文検討
- $f_{C_m^5}^{C_m^6}$: 注文決定し、ホール係が来るまで注文待ち

- $f_{C_m}^{C_7}$: 注文後、調理終了まで調理待ち
- $f_{C_m}^{C_8}$: 調理終了後、提供待ち
- $f_{C_m}^{C_9}$: 提供後、食事
- $f_{C_m}^{C_{10}}$: 食事終了後、キャッシャーへ移動
- $f_{C_m}^{C_{11}}$: キャッシャーへ移動し、精算
- $f_{C_m}^{C_{12}}$: 精算後、退店

(2)ホール係のモデル

図2の顧客の状態遷移図におけるホール係の状態 $C_i(t)$ は、前述の P_j^i を用いて以下のように表現できる。

- P_1^1 : 顧客からの要求待ち, P_1^2 : 水出し,
- P_1^3 : オーダー取り, P_1^4 : 料理提供, P_1^5 : 精算,
- P_1^6 : 片づけ

この時、(3)式に示すホール係の状態遷移を表す関数は以下となる。

- $f_0^{P_1^1}$: 待機場所で顧客からの要求待ち
- $f_{P_1^1}^{P_1^2}, f_{P_1^1}^{P_1^3}, f_{P_1^1}^{P_1^4}, f_{P_1^1}^{P_1^5}, f_{P_1^1}^{P_1^6}$: 待機場所での要求待ちから各々の状態へ遷移
- $f_{P_1^2}^{P_1^1}, f_{P_1^3}^{P_1^1}, f_{P_1^4}^{P_1^1}, f_{P_1^5}^{P_1^1}, f_{P_1^6}^{P_1^1}$: 各々の状態から待機場所での要求待ちへ遷移
- $f_{P_1^2}^{P_1^2}, f_{P_1^3}^{P_1^2}, f_{P_1^4}^{P_1^2}$: 水出し終了後、各々の状態へ遷移
- $f_{P_1^3}^{P_1^3}, f_{P_1^4}^{P_1^3}$: オーダー取り終了後、各々の状態へ遷移
- $f_{P_1^4}^{P_1^4}, f_{P_1^5}^{P_1^4}, f_{P_1^6}^{P_1^4}$: 料理提供後、各々の状態へ遷移
- $f_{P_1^5}^{P_1^5}, f_{P_1^6}^{P_1^5}$: 精算終了後、各々の状態へ遷移

3.2 本研究へのMASの適用

3.1にてモデル化した顧客とホール係の行動をマルチエージェントシミュレーションにて模擬する。その際、事前調査にて顧客とホール係の行動を分析し、顧客エージェントとホール係エージェントにそれぞれの特性と状態遷移のルールを付与した。

4 本設計手法のレストランA店への適用

研究対象であるA店は主要駅に隣接した飲食店街に所在するとんかつ専門のレストランである。周辺にレストランが多数あることから、満席時や来店し

たグループ客の人数に対して空席がないなどの理由により入店待ちが発生した場合、他のレストランに顧客が流れてしまうという問題がある。そこで、上述の設計手法をA店へ適用し、A店のレストランホールのサービスプロセスの改善策について検討した。すなわち、A店の顧客動向の分析結果に基づきレストランホールのサービスプロセスをモデル化し、店舗内座席配置、ホール係人数を変更した際の顧客の待ち人数と待ち組数について分析した。

4.1 レストランA店への適用

図6にレストランA店の既存店舗のモデルを示す。A店は入店可能人数43人、入店可能組数が21組であり、ホール係3名で接客を行なっている。顧客の入店待ちを減少させる方法として、

- (1)ホール係の注文取り、料理提供時間の短縮
- (2)料理人の調理時間の短縮

が考えられる。本研究では、(1)を狙いにサービスプロセスの設計に取り組む。

昼食の来店顧客割合の調査結果を表1に示す。顧客グループ1組あたりの人数割合は、1人が76%、2人が19%、4人以上が2%である。一方、A店の座席割合は1人掛け62%、4人掛け33%である(表2)。すなわち、顧客の比率と座席の比率に乖離がある。研究対象の店舗は相席不可のため、4人掛の座席を1人で利用するケースが発生すれば、座席効率が低下する。そこで、4人掛の座席を減らし、1人掛の座席が多くなるレイアウトモデルを作成した(店舗改善案I; 図7)。図8は当該店舗の設備制約上、中央の机を延長することが困難なため、その部分の座席を排除した現実的な座席配置のレイアウトモデルである(店舗改善案II)。改善案I、IIの座席割合を表3、表4に示す。改善案I、改善案II共に、入店可能人数は減少するが、入店可能組数は増加する。

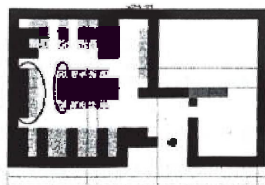


表1 昼食時の来店顧客割合

グループ人数	1人	2人	3人	4人以上	合計
割合(%)	76	19	3	2	100

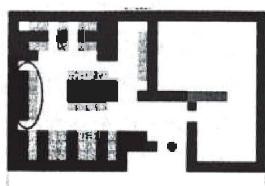
表2 A店の座席割合

グループ人数	1人	2人	4人以上	合計
割合(%)	62	5	33	100



入店可能人数: 42人
入店可能組数: 26組

図7 店舗改善案I



入店可能人数: 40人
入店可能組数: 24組

図8 店舗改善案II

表3 店舗改善案Iの座席割合

グループ人数	1人	2人	4人以上	合計
割合(%)	77	4	19	100

表4 店舗改善案IIの座席割合

グループ人数	1人	2人	4人以上	合計
割合(%)	75	4	33	100

4.2 シミュレーション

本シミュレーションの目的は、座席の配置やホール係の人数を変更し、顧客の待ちを減少させる店舗モデルを設計することである。従って、既存店舗、改善案I、改善案IIを用いて下記の①、②を比較し、待ち人数の減少に有効な店舗案を検証する。

①待ち顧客人数

②座席占有率（顧客が使用している座席数÷全体の座席数）

エージェント（顧客、ホール係共）の移動の所要時間はMASによる移動時間に依存する。従って、シミュレーションにおいて顧客エージェントの状態遷移の所要時間は下記とする。

①入店—着席：MASによる移動時間

②着席—注文：実測による所要時間

③注文—食事開始：実測による所要時間にホール係の「料理提供」のMASによる移動時間を加算

④食事開始—食事終了：実測による所要時間

⑤食事終了—精算：MASによる移動時間

さらに、人が1歩進む際の所要時間を計測し、エージェントが1ステップの所要時間（=エージェントの1歩の所要時間）を決定した。計測の結果、1歩は0.5秒以上1秒未満であったため、MASの1ステップを0.5秒とした。

(1)パラメータ設定

顧客組数とホール係の人数を下記の①、②にて変化させ、それぞれシミュレーションを実施した。

①顧客組数：2014年10月14日～27日の11:00～13:45の顧客来店データ(973組)を用いて、1日分ずつシミュレーション実行(計14通り)。

②ホール係人数：現状店舗と同じ3人と1名増加した4人の場合を比較する。

(2)シミュレーション結果

①待ち顧客数

ホール係3人と4人の14日分の平均待ち顧客数を図9、図10、表5、座席占有率を図11、図12、表6に示す。

図9、図10から改善案Iと改善案IIは共に既存店舗よりも顧客の待ちが減少している。さらに、表5からホール係3人の場合の1ステップあたりの平均待ち顧客数は既存店舗0.288人、改善案I0.078人、改善案II0.130人であり、改善案IとIIは共に既存店舗より待ち顧客数が減少している。また、ホール係4人の場合の1ステップあたりの平均待ち顧客数は既存店舗0.273人、改善案I0.090人、改善案II0.130人であり、ホール係3人の場合と同様に待ち顧客数が減少している。

ホール係3人と4人では、平均待ち顧客数に大きな差はない。

②座席占有率

図11、図12から改善案Iと改善案IIは共に既存店舗よりも座席占有率が減少している。表6からホール係3人のとき1ステップあたりの平均座席占有率は既存店舗52.3%、改善案I42.8%、改善案II46.6%と座席占有率が低下している。また、ホール係4人のとき1ステップあたりの平均座席占有率は既存店舗52.3%、改善案I42.8%、改善案II46.6%と座席占有率が低下し、待ちの発生を抑制できている。

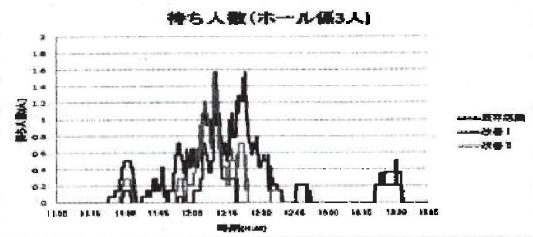


図9 平均待ち顧客数(ホール係3人)

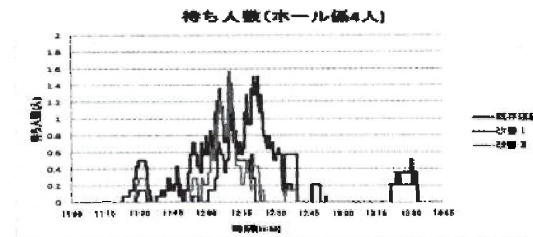


図10 平均待ち顧客数(ホール係4人)

表5 14日間平均待ち顧客数

ホール係		既存	改善I	改善II
3人	平均待ち顧客数 ^{*1)}	0.288	0.078	0.130
	ピーク顧客数 ^{*2)}	13	11	14
4人	平均待ち顧客数	0.273	0.090	0.130
	ピーク顧客数	13	11	14

*1) 平均待ち顧客数 … シミュレーション1ステップ当たりの平均待ち顧客数

*2) ピーク顧客数 … シミュレーション全体の中で最も多い待ち顧客数

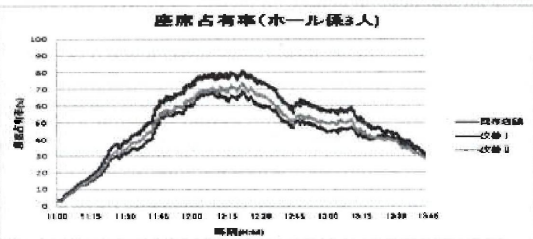


図11 平均座席占有率(ホール係3人)

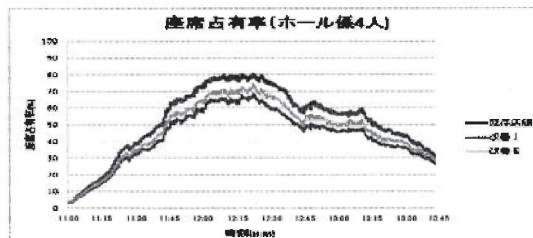


図12 平均座席占有率(ホール係4人)

表6 14日間平均座席占有率

ホール係	既存	改善I	改善II
3人	52.3	42.8	46.3
4人	52.3	42.8	46.6

5 結論

本研究では、二次元セルオートマトンを用いて、レストランホールにおける顧客とホール係の挙動をモデル化した。さらに、MASを用いて上記モデルをコンピュータ上に実装し、店舗内の座席配置、ホール係の要員数と混雑時の顧客の空席待ちの関係を解析する手法を開発した。本設計手法を昼食時に混雑するレストランA店に適用し、混雑時の顧客の待ち発生を減少する方策の検証を行った。この結果、顧客の比率と座席の比率を合致させた座席レイアウトの方が、待ち発生を減少する効果が得られると共に、本設計手法の有効性を確認した。

今後は、遺伝的アルゴリズムなどを用い店舗モデルの座席配置の自動生成と最適な座席配置を決定するアルゴリズムについて研究予定である。

参考文献

- [1] 内藤耕, 赤松幹之:「サービス産業進化論」, 生産性出版, pp.25-29, 2009
- [2] 加藤恭義, 光成友孝, 築山洋:「セルオートマトン法—複雑系の自己組織化と超並列処理—」, 森北出版, p.17, 1998
- [3] 大鱗忠男, 小野木基裕:「セルオートマトン法による避難流動シミュレーション」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, Vol.51, pp.93-111, 2008
- [4] 高橋幸雄, 森村英典:「混雑と待ち」, 朝倉書店, pp.134-135, 2001
- [5] 中西英之, 小泉智史, 石黒浩, 石田亨:「市民参加による避難シミュレーションにむけて」, 人口知能学会論文誌, Vol.18, No.6, pp.643-648, 2003
- [6] 川村秀憲, 車谷浩一, 大内東:「テーマパーク問題のマルチエージェントによる定式化と調整アルゴリズムに関する検討」, 電子情報通信学会技術報告, Vol.102, No.613, pp.25-30, 2003