

平成30年度 愛知県立大学大学院情報科学研究科

## 博士学位論文

利用者の協力行動を活用するサービスシステム  
の設計に関する研究

愛知県立大学大学院 情報科学研究科

宇 都 宮 陽 一



# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	研究の背景と目的	1
1.2	サービス利用者の協力行動の活用	2
1.2.1	サービス	4
1.2.2	サービスシステムの設計	4
1.2.3	利用者に強要せずに協力行動を促すための方策	4
1.3	サービスシステムの問題	5
1.3.1	食品廃棄削減問題	5
1.3.2	航空機への搭乗時間延長防止問題	6
1.4	関連研究	7
1.4.1	協力行動	7
1.4.2	行動経済学	8
1.4.3	情報通信技術	9
1.5	本論文の構成	11
1.6	本章のまとめ	13
<b>第2章</b>	<b>エージェントベースモデリングとシミュレーション</b>	<b>15</b>
2.1	エージェントベースモデリング (ABM)	15
2.2	マルチエージェントシミュレーション (MAS)	16
2.3	エージェントモデルを使ったシミュレーション	17
2.4	本章のまとめ	17
<b>第3章</b>	<b>食品廃棄削減問題における方策1実現方法の有効性の検証</b>	<b>19</b>
3.1	食品廃棄削減問題と関連研究	19
3.1.1	食品廃棄発生背景および食品廃棄削減問題を解決すべき理由	19
3.1.2	食品廃棄発生および食品廃棄削減の関連研究	20
3.2	方策1実現方法	22
3.3	シミュレーション	22
3.3.1	エージェントベースモデル	23
3.3.2	シミュレーション条件	23

3.3.3	シミュレーション結果	32
3.4	試作スマートフォンアプリケーション	33
3.5	本章のまとめ	38
<b>第4章</b>	<b>航空機への搭乗時間延長防止問題における方策2実現方法の有効性の検証</b>	<b>39</b>
4.1	搭乗時間延長防止問題と関連研究	39
4.1.1	搭乗時間延長防止問題を解決すべき理由と搭乗時間延長が生じる背景	39
4.1.2	搭乗時間延長の関連研究	41
4.2	方策2実現方法	41
4.3	シミュレーション	42
4.3.1	エージェントベースモデル	42
4.3.2	乗客誘導戦略	44
4.3.3	シミュレーション条件	47
4.3.4	シミュレーション結果	47
4.4	乗客に対する情報の提示	51
4.5	本章のまとめ	51
<b>第5章</b>	<b>結論</b>	<b>55</b>
	<b>謝辞</b>	<b>59</b>
	<b>参考文献</b>	<b>67</b>
	<b>付録</b>	<b>67</b>
A	プロスペクト理論における価値関数	67
<b>研究業績</b>		<b>69</b>
I	学術論文（査読付き）	69
II	国際会議（査読付き）	69
III	国内学会・研究会	70
IV	受賞	71

# 目次

1.1	サービスを円滑に進めるための利用者の協力行動の活用 . . . . .	3
1.2	本論文の構成 . . . . .	12
3.1	消費者エージェントによる購買行動および店員エージェントによる店舗 での商品の補充の様子 . . . . .	24
3.2	消費者エージェントと店員エージェントによる商品の購買および補充の 流れ . . . . .	25
3.3	価格提示 1(Case1) の時の賞味期限までの残日数と効用値 . . . . .	30
3.4	価格提示 2(Case2) の時の賞味期限までの残日数と効用値 . . . . .	30
3.5	価格提示 3(Case3) の時の賞味期限までの残日数と効用値 . . . . .	31
3.6	全条件での賞味期限までの残日数と効用値 (相対値) . . . . .	31
3.7	シミュレーション条件 1 の全エピソードの廃棄率 . . . . .	35
3.8	シミュレーション条件 2 の全エピソードの廃棄率 . . . . .	35
3.9	アプリケーションの処理ステップ . . . . .	36
3.10	試作したスマートフォンアプリケーションの実際の画面 . . . . .	37
4.1	乗客の搭乗過程の概要 . . . . .	43
4.2	航空機の機体モデル . . . . .	45
4.3	乗客誘導戦略 (到着順と自由座席を除く) . . . . .	46
4.4	乗客誘導戦略毎の搭乗順違反者割合と平均搭乗時間 . . . . .	49
4.5	搭乗時間延長につながる座席間の干渉および通路での干渉の様子を示す アニメーション . . . . .	52
A.1	価値関数 . . . . .	67

# 表 目 次

3.1	アンケート (「スーパー等で冷蔵の商品 (10℃以下で管理されている商品) を購入する際に賞味期限を確認して購入しますか?」) の結果 . . .	21
3.2	日配品のスーパー店頭廃棄率 . . . . .	21
3.3	シミュレーションを行う際の共通条件 . . . . .	26
3.4	価格提示 1(Case1) の時の賞味期限までの残日数と効用値 . . . . .	29
3.5	価格提示 2(Case2) の時の賞味期限までの残日数と効用値 . . . . .	29
3.6	価格提示 3(Case3) の時の賞味期限までの残日数と効用値 . . . . .	29
3.7	シミュレーション条件 1 における廃棄率 (平均) . . . . .	34
3.8	シミュレーション条件 2 における廃棄率 (平均) . . . . .	34
3.9	シミュレーション条件 3 における廃棄率 (平均) . . . . .	34
4.1	通路に移動した乗客エージェントの平均人数と割合 . . . . .	50

# 第1章 序論

本研究では、サービスシステムにサービス利用者の協力行動を活用するサービスシステムの設計を行うために、サービス利用者の協力行動を活用するための実現方法の検討と実現方法の有効性の検証を行っている。

本章では、まず本研究の背景と目的を述べる。次に本研究におけるサービス、サービスシステムの設計および利用者に強要せずに協力行動を促すための方策を説明する。次に2つのサービスシステムの問題を説明する。次にサービス利用者の協力行動および協力行動の活用に関する関連研究を示し、最後に本論文の構成および本章のまとめを述べる。なお、本研究が対象とするサービスは、もの作りなどと対立するものではない。

以下では、1.1節で本研究の背景と目的を述べる。1.2節でサービス、サービスシステムの設計および利用者に強要せずに協力行動を促すための方策を説明する。1.3節で2つのサービスシステムの問題を説明する。1.4節でサービス利用者の協力行動および協力行動の活用に関する関連研究を示す。1.5節で本論文の構成を説明し、1.6節で本章のまとめを述べる。

## 1.1 研究の背景と目的

現代の人々の生活は様々なサービスシステムによって支えられている。サービス利用者はサービスシステムを通して多くの恩恵を受けながらも、より便益性の高いサービスを求めている。サービス利用者の要求に応えようと、サービス提供者はサービスシステムの改善や開発を絶えず行いつつサービスを提供している。しかしながら、サービス提供者は、自身のサービスリソースだけでサービスを円滑に進めることが困難になりつつあり、サービスを円滑に進めるためには、サービス利用者の協力行動をサービスリソースの一部とみなして活用することが必要になってきている。例えば、社会問題となっている食品廃棄問題では、食品廃棄削減に向けてサービス利用者である消費者の協力が必要不可欠となっている。また、各交通機関が遅延せずに運行するためにはサービス利用者である乗客にもスムーズな乗降に協力してもらう必要がある。

このような状況から、サービス提供者には、サービスシステムにサービス利用者の協力行動を積極的に活用する前提でサービスシステムの設計を行うことが求められて

いる。サービス利用者の協力行動を活用するためには、サービス利用者に協力を強要しないようにすることが重要である。その理由は、サービスをグローバルに展開する際に、展開地域において展開サービスを受け入れやすくするためである。また、持続的にサービスを展開するためには強要は適さないからである。

本研究では、サービス利用者に強要せずに協力行動を促すために、行動経済学におけるナッジ理論[1]にもとづく2種類の方策（方策1，方策2）を採用する。ナッジ理論とは、「ひじで軽く突く」ように、選択の余地を残しながらも、望ましい方向へ誘導するという理論である。方策1は、サービスの各利用者に、そのサービスを円滑に進めることを助ける行動（望ましい行動）を増やしてもらうことである。一方、方策2は、円滑に進めることを妨げる行動（望ましくない行動）を減らしてもらうことである。両方策を実現するためにはICT（情報通信技術）の利活用は不可欠である。その理由は、サービス提供者とその利用者の間を取り持つ仕組みが方策を実現するためには必要であり、ICTを利活用することにより両者の間を取り持つ効果的な仕組みを構築できるからである。具体的にはインターネットやスマートフォンの利活用があげられる。

そこで本研究では、2つのサービスシステムの問題を解決するために、それぞれの問題に適した方策を採用した実現方法（方策1 実現方法，方策2 実現方法）を示し、実現方法の有効性をシミュレーションにより検証する。2つのサービスシステムの問題とは、食品販売サービスにおける食品廃棄削減問題（以下食品廃棄削減問題）と、航空輸送サービスにおける航空機への搭乗時間延長防止問題（以下航空機への搭乗時間延長防止問題）である。本研究の目的は、食品廃棄削減問題における方策1 実現方法と、航空機への搭乗時間延長防止問題における方策2 実現方法を示し、それぞれの実現方法の有効性をシミュレーションにより検証することである。

これまでに述べた内容を図 1.1 に示す。サービス提供者は、自身のサービスリソースだけでサービスを円滑に進めることが困難になりつつあり、サービス利用者の協力行動を活用するサービスシステムの設計が求められている。サービス利用者の協力行動を活用するためには、サービス利用者に協力を強要しないようにすることが重要であり、本研究ではサービス利用者に強要せずに協力行動を促すために、ナッジ理論にもとづく2種類の方策を採用する。2つのサービスシステムの問題に適した方策を採用したそれぞれの実現方法を示し、実現方法の有効性の検証を行う。それぞれの実現方法において、行動経済学や情報通信技術の知見を利用する。

## 1.2 サービス利用者の協力行動の活用

本節では、まずサービスの説明をする。次に本研究におけるサービスシステムの設計を説明する。最後に利用者に強要せずに協力行動を促すための方策を説明する。



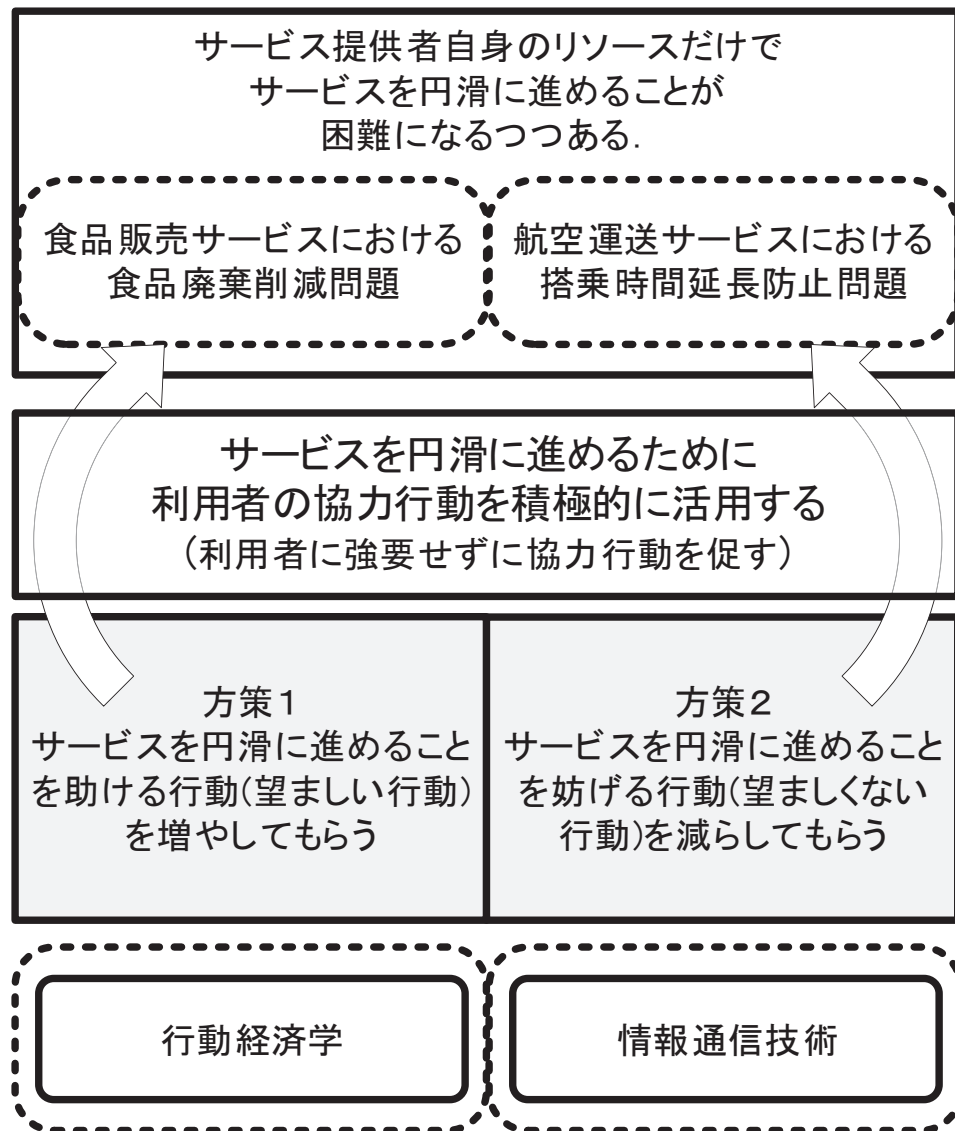


図 1.1: サービスを円滑に進めるための利用者の協力行動の活用

以下では、1.2.1 節でサービスの説明を行い、1.2.2 節で本研究におけるサービスシステムの設計を説明する。1.2.3 で利用者に強要せずに協力行動を促すための方策を説明する。

### 1.2.1 サービス

サービスという言葉は日本では4通りの使われ方をしている [2]。4通りの使われ方とは、以下のとおりである。

- (1) 態度的サービス：表情、みだしなみ、物腰など接客活動を通して顧客を心理的・情緒的に満たすこと。
- (2) 精神的サービス：相手方に奉仕したい、という理念・意識を持つこと。
- (3) 犠牲的サービス：商品の価格を下げたり、商品を無料にするなど値段面の譲歩のこと。
- (4) 機能(業務)的サービス：他の人や組織に役立つ活動そのものを有償提供すること。

(1) から (3) のサービスと (4) のサービスは区別して考えられており、(1) から (3) のサービスをサービス活動の情緒的側面、(4) のサービスをサービス活動の機能的側面、と表現することがある [3]。サービスを活動ととらえるのは、欧米でのサービス研究では常識となっている [3]。サービス提供者にとって (1) から (3) のサービスを無視することはできないが、本研究におけるサービスは、サービス活動の機能的側面である (4) 機能(業務)的サービスを対象とする。

### 1.2.2 サービスシステムの設計

サービスを提供することをサービスを生産するということがあり、サービスを提供する仕組みは、サービス生産システムあるいはサービス・マネジメント・システムと呼ばれる [4]。本研究においては、サービス生産システムあるいはサービス・マネジメント・システムを単にサービスシステムと表記する。このため、サービスシステムの設計とは、サービス生産システムの設計あるいはサービス・マネジメント・システムの設計の意味で使用する。

### 1.2.3 利用者に強要せずに協力行動を促すための方策

サービス提供者は、自身のサービスリソースだけでサービスを円滑に進めることが困難になりつつあり、サービス利用者の協力行動を活用するサービスシステムの設計

が求められていることを述べた。サービス利用者の協力行動を活用するためには、サービス利用者に協力を強要しないようにすることが重要であり、本研究ではサービス利用者に強要せずに協力行動を促すために、ナッジ理論にもとづく次の2種類の方策を採用する。

方策1：サービスの各利用者に、そのサービスを円滑に進めることを助ける行動（望ましい行動）を増やしてもらうこと。

方策2：サービスの各利用者に、そのサービスを円滑に進めることを妨げる行動（望ましくない行動）を減らしてもらうこと。

サービス利用者に協力を強要しないようにする理由に、サービスをグローバルに展開する際に、展開地域において展開サービスを受け入れやすくすること、持続的にサービスを展開するためには強要は適さないということをあげた。なお、サービス利用者に協力を強要しないようにする理由には、内発的動機づけが失われる可能性のある選択的誘因のような方法（報酬や罰を与える方法）を避けるためでもあることを1.4.1で述べる。

次節で説明する2つのサービスシステムの問題を解決するために、それぞれの問題に適した前述の2種類の方策を採用した実現方法（方策1実現方法、方策2実現方法）を示し、それぞれの実現方法の有効性をシミュレーションにより検証する。

## 1.3 サービスシステムの問題

本節では、2つのサービスシステムの問題の概要を述べる。

以下では、1.3.1節で食品廃棄削減問題を説明する。1.3.2節で航空機への搭乗時間延長防止問題を説明する。

### 1.3.1 食品廃棄削減問題

本節では、食品廃棄削減問題を説明する。近年、食品廃棄や食品ロスが社会問題となっている。中でも食品ロスの削減に注目が集まっている[5][6]。食品ロスとは、食品廃棄の内、本来なら食べることが可能だった部分の廃棄を指す[57]。食品廃棄に関して日本では、食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（以下食品リサイクル法）[7]にその定義があり、食品廃棄物等とは次に掲げる2つの物品、となっている。

- (1) 食品が食用に供された後に、又は食用に供されずに廃棄されたもの。
- (2) 食品の製造、加工又は調理の過程において副次的に得られた物品のうち食用に供することができないもの。

食品リサイクル法では、事業者(サービス提供者)だけでなく消費者(サービス利用者)に対しても食品廃棄物の発生抑制および再生利用に関する責務を課している。再生利用には「発生を抑制すること」、「再生利用すること」、「熱回収すること」、「減量すること」という優先順位がある[8]。

事業者にとっての食品廃棄削減問題とは、先に述べた食品廃棄物が増えることで再生利用のためのコストが生じる問題である。再生利用のためのコストには、金銭面だけでなく、人的資源や食品廃棄物の保管場所確保なども含まれる。再生利用のためにかかったコストは食品の販売価格に転嫁されることがあり、食品廃棄削減問題は消費者にも不利益をもたらす。

食品廃棄発生には次のような背景がある。流通の過程で食品偽装などが起きたことから消費者の食に対する安全の意識は強くなっている[9]。一方、賞味期限と消費期限に関しては消費者の認知が十分でないとの指摘もあり、賞味期限の表示に関する研究も行われている[10]。賞味期限を表示した食品で製造日の表示の有無と廃棄率の違いを比較したイタリアの実験では製造日を表示しても食品廃棄を減少させる効果はないとしている[11]。異なる視点からの研究では、大規模小売店が増えたことや乗用車の保有台数が増えたことで買い物の頻度が週1回程度という報告がある[12]。買い物の頻度が週1回程度になることで、賞味期限や消費期限のより遠い食品を購入したり、消費可能な量を超えて購入するようになってきている。これらの事情が重なることで、サービス利用者である消費者は賞味期限や消費期限のより遠い食品を購入する傾向が強くなっていると考えられる。多くの消費者が賞味期限や消費期限のより遠い食品ばかりを購入してしまうと、小売業者の店舗では賞味期限や消費期限の近い食品が購入されにくくなり、賞味期限や消費期限を過ぎると食品廃棄物となる。

第3章では、本節で説明した食品廃棄削減問題における方策1実現方法を示し、方策1実現方法の有効性をシミュレーションにより検証する。

### 1.3.2 航空機への搭乗時間延長防止問題

本節では、航空機への搭乗時間延長防止問題を説明する。航空法[13]における定義では飛行機以外の気球やヘリコプターなども航空機に含まれるが、本論文では特別な場合を除き飛行機の中の旅客機を指す用語として航空機を使用する。

搭乗時間延長防止問題とは、搭乗時間が航空会社の想定する時間を超えて延長することを防止し、航空機の出発が遅延しないようにする問題である。航空機の出発遅延は到着遅延につながる可能性があり、航空会社(サービス提供者)にも乗客(サービス利用者)にも不利益をもたらす。

まず搭乗時間および乗客誘導戦略の説明を行う。搭乗時間とは、航空機に搭乗する全乗客が座席に着席し終えるまでの時間である。乗客誘導戦略とは、航空会社が搭乗

時間を最短にするために、座席位置に応じてどのような順番で乗客を搭乗させるかの戦略である。航空会社は乗客誘導戦略にもとづいて乗客に対して座席位置と搭乗順の指示を行う。航空機内の後方座席の乗客にまず搭乗の指示を行い、その後で前方座席の乗客に搭乗の指示を行うのは、乗客誘導戦略の一例である。

次に搭乗時間延長が発生する背景を述べる。搭乗時間は、乗客が搭乗する過程で生じる座席間の干渉 (seat interference) や通路での干渉 (aisle interference) が少ないほど短くなる [14]。座席間の干渉とは、通路側の乗客が着席したあとで窓側の乗客が着席しようとする状況を表している。通路での干渉とは、乗客が手荷物を収納する場合などに通路を塞ぐことで他の乗客を待たせる状況を表している。乗客誘導戦略は、座席間の干渉や通路での干渉を考慮した上で、搭乗時間が最短となるように座席位置と搭乗順の関係を決めている。つまり、乗客誘導戦略に従わない乗客がいると搭乗時間を最短にできなくなる。航空会社は乗客誘導戦略に関する搭乗方法や搭乗順の情報を乗客に案内しているが [15]、座席間の干渉や通路での干渉が生じた場合に搭乗時間が延びてしまうといったことは案内されていない。一方で、搭乗時間をより短くするための新しい乗客誘導戦略 [16][17] も出てきており、最適な乗客誘導戦略が確立されていないことが推測される。これらの状況から、乗客は乗客誘導戦略そのものを認知していない可能性や座席間の干渉や通路での干渉が生じると搭乗時間が延びてしまうことを認知していない可能性がある。これらを認知していない乗客は乗客誘導戦略に従わない可能性があり、結果的に搭乗時間を最短にできず、搭乗時間延長が発生することが考えられる。

第4章では、本節で説明した搭乗時間延長防止問題における方策2実現方法を示し、方策2実現方法の有効性をシミュレーションにより検証する。

## 1.4 関連研究

本節では、サービス利用者の協力行動および協力行動の活用に関する関連研究を示す。

以下では、1.4.1 節で協力行動の関連研究を示し、1.4.2 節で行動経済学の関連研究を示し、1.4.3 節で情報通信技術の関連研究を示す。

### 1.4.1 協力行動

協力とは他者と共に相互に利益をもたらす活動に従事することである [18]、とされている。現実には協力行動を取る方がよいと分かっているながらも、非協力行動を取る方が自己の利益を大きくすることがあり、社会的ジレンマと呼ばれる [19]。社会的ジレンマは何人かの個人の間に次のような関係のある状況と定義される [20]。

- (1) それぞれの個人は協力行動か非協力行動のいずれかを選択する。
- (2) 他成員がどのような選択をしているかにかかわらず、それぞれの個人にとっては非協力行動の結果の方が協力行動の結果よりも利益が大きい。
- (3) しかし全員が非協力行動を選択した場合にそれぞれの個人の得る利益は、全員が協力行動を選択した場合に得られる利益より小さい。

社会的ジレンマを食品廃棄削減問題にあてはめると、賞味期限や消費期限のより遠い商品を購入することが非協力行動に相当する。もう1つの搭乗時間延長防止問題にあてはめると、乗客誘導戦略にもとづく指示に従わない乗客の行動が非協力行動に相当する。

このような状況における社会的ジレンマの解決の最も直接的な方法は選択的誘因を用いることである [20]。選択的誘因とは、協力行動を取れば報酬を与え、非協力行動を取れば罰を与える方法である。しかしながら、選択的誘因を使用すると内発的動機づけが失われる可能性があるという問題が知られている。内発的動機とは、ある行動をすること自体が楽しい場合やその行動自体から内的な報酬を得ている場合を指す。内発的動機づけが失われると、報酬を与えることが協力行動を強要することにつながり、社会的ジレンマの解決のために自ら進んで協力行動を選択するという動機づけを失ってしまうことになる。本研究が利用者に強要せずに協力行動を促すために、次節で述べる行動経済学におけるナッジ理論にもとづく方策を採用する理由は、内発的動機づけが失われる可能性のある選択的誘因のような方法(報酬や罰を与える方法)を避けるためでもある。

ここでもう少し詳しく食品廃棄削減問題と搭乗時間延長防止問題における協力行動、非協力行動の関係をみてみると状況が異なることがわかる。食品廃棄削減問題では、賞味期限や消費期限のより遠い商品を購入することが自己の利益となるため、より非協力行動を取りやすいと考えられる。一方、搭乗時間延長防止問題では、乗客誘導戦略にもとづく指示に従って協力行動をとることが自己の利益にもなることを認識している乗客が多い可能性がある。このため、この状況で非協力行動をとる乗客は、乗客誘導戦略にもとづく指示に従うことが自己の利益にもなることを認識していない可能性がある。

#### 1.4.2 行動経済学

行動経済学を、利己的で合理的な経済人の仮定を置かない経済学、と定義することがある [21]。この定義は、経済人を利己的、合理的に自分の効用を最大化する経済主体、と考えることへの逆説的な意味がある。さらに、行動経済学では、個人の人間行

動とその相互作用をより深く理解することにより、人間とその集まり(組織など)をより深く理解するという目的がある[21].

個人の人間行動とその相互作用をより深く理解するにあたっては、個人がどのような行動を選択するかが重要となる。これまで、人は自身にとってもっとも合理的な行動をとるとされてきた。そこでの合理性はゲーム論的合理性と自然的合理性という捉え方がある。ゲーム論的合理性とは、取引上で損にならないという合理性を指し、自然的合理性とは、人間の自然な感じ方にもとづいて評価すると心地よいという意味での合理性を指す[22].

さらに、選択的意思決定や認知的節約といった不合理行動[23]が知られている。選択的意思決定とは、新たな行動を始めることは比較的容易であっても、それまで行ってきた行動や慣習を改めたり止めることは難しく、一度決めたことは理由をつけて貫こうとしてしまう意思決定である。認知的節約とは、じっくりと考えることを省略し無意識のうちに楽な判断をしてしまう傾向、のことである[23]. このように、人々の行動は必ずしも合理的なものではなく、選択的意思決定や認知的節約によって合理的ではない選択をすることがある。1.4.1節では、自己の利益を優先することで非協力行動が生じることを示したが、非協力行動を繰り返していると次第に選択的意思決定や認知的節約によってその行動が常態化してしまうことが考えられる。

ここまで説明してきた不合理行動を利用するやり方で、選択アーキテクチャーという概念を導入し適切な選択肢を提示することで、「ひじで軽く突く」ように、選択の余地を残しながらも、望ましい方向へ誘導しながら問題解決を行おうとするものがナッジ理論である[1]. 選択肢の提示の際は、それまでの選択肢をなくすのではなく新たな選択肢を追加提示することが重要である[1]. 新たな選択肢を追加提示することで問題解決を行おうという考え方が、サービス利用者に強要せずに協力行動を促すためにナッジ理論にもとづく方策を採用する理由である。また、前節で述べた内発的動機づけが失われる可能性のある選択的誘因のような方法(報酬や罰を与える方法)を避けることにつながる考え方でもある。ナッジ理論を使った問題解決の具体的な例に、清掃作業員の人件費削減を目的に男性用トイレの便器にハエの絵を描くことや、タバコの吸い殻のポイ捨てを削減するために吸い殻による投票など行わせるようにしたもの、が知られている。なお、ナッジ理論にもとづく方策は無意識のうちに人々に先入観を与えてしまうこともあるため、倫理や社会利益に反しない用途に限るような配慮が必要である。

### 1.4.3 情報通信技術

情報通信技術 (ICT:Information and Communication Technology) とは、情報通信に関する技術のことであり、情報を発信し、情報を流通させ、情報を受信する、これらの

活動に関連する技術の総称を指す [24]. 近年は、前述の発信・流通・受信の活動をコンピュータを利用して行うことを指すことが多い.

様々なサービスを提供する際に、情報通信技術および情報通信技術を使ったサービスの利用は必須となってきた. 総務省の情報通信白書によれば、日本においても ICT サービスの利用は非常に進展している [25]. しかし、米国と比較すると日本の ICT の経済成長への貢献は低水準にとどまっている [26][27]. また、企業における ICT 利活用とイノベーション実現および営業利益増加との関係を見ると、ICT 利活用の低い企業の営業利益増加は低く、ICT 利活用の重要性が指摘されている.

本研究では、サービス利用者に強要せずに協力行動を促すための選択肢となる情報を提示する際に、情報通信技術を使った機器の 1 つであるスマートフォンを利用する. また、サービスシステムの問題における実現方法の有効性を検証するためにシミュレーションを利用する. 具体的には、エージェントベースモデリングおよびマルチエージェントシミュレーションを利用する. これらの情報通信技術は、実際にサービスシステムを設計する際にも利用すべきものである.

スマートフォンの普及率は日本全体で約 65% となっており、20 歳代～50 歳代では 80% 前後 [28] と高く、実際のサービスでの利用を想定した場合、多くのサービス利用者に訴求できるものと考えられる. さらに、この 20 年余りでインターネットを使ったサービスが普及した. スマートフォンをはじめとする様々な機器や手段で接続することができ、利用できるサービスも多岐に渡る [25][29].

スマートフォン上に選択肢や関連する情報を提示するためには、アプリケーションの作成が必要である. 幸いなことに、スマートフォンの OS を提供する各企業が開発ツールの提供も行っており [30][31]、高度なプログラミングスキルをあまり必要となくなっている. このため、実際のサービスシステムに組み込む前に試作アプリケーションを作成することも容易となっている.

シミュレーションは、問題解決などを現実の世界で行う前に、コンピュータ上で現実の世界で行おうとしていることを試行するために利用される [38]. それに加えて、科学技術イノベーション総合戦略 2017 [32] の中では、エネルギーの受給予測、災害予測、もの・コトづくり力の強化など様々な場面でシミュレーションが利用されている.

エージェントベースモデリングおよびエージェントモデルを使ったシミュレーションは、様々な研究で利用されている. イベント会場における混雑解消のための混雑情報提供によるその集団全体への影響を検証するためにも利用されており [33]、混雑情報提供を、集団における行動の多様性に対する情報共有の影響とその適応性に関する具体的な状況設定と想定している. また、都市空間全体を待ち行列ネットワークモデルとみなし、建物間を回遊する人をエージェントとするシミュレーションにより建物に滞在する時間や歩行距離などを評価する研究もある [34]. さらに、通信ネットワークの評価において通信ネットワークの利用者をエージェントととらえ、利用者の行動



の変化によって通信ネットワークがどう変化するかを評価する研究があり，利用者が他者を気遣って協調行動をとった場合の評価を行っている [35].

## 1.5 本論文の構成

本論文は，序論および結論を含む5つの章で構成されている．図 1.2 に本論文の構成を示す．

第1章では，まず本研究の背景と目的を述べる．次にサービスおよびサービスシステムの設計を説明する．次にサービス利用者に強要せずに協力行動を促すためにナッジ理論にもとづく2種類の方策を採用することを述べる．次に2つのサービスシステムの問題の概要を述べる．次に協力行動，行動経済学，情報通信技術の関連研究の説明を行う．

第2章では，サービスシステムの問題における方策1実現方法および方策2実現方法の有効性を検証するために利用するエージェントベースモデリングとシミュレーションについて説明する．

第3章では，食品廃棄削減問題における方策1実現方法を示し，方策1実現方法の有効性をシミュレーションにより検証する．まず食品廃棄が生じる背景および食品廃棄削減問題を解決すべき理由およびその関連研究を述べる．次に方策1実現方法である，賞味期限に応じた価格をサービス利用者である消費者に提示することで消費者の望ましい行動を増やす方法を説明する．次に方策1実現方法の有効性を検証するためのシミュレーション条件とシミュレーション結果を示し，シミュレーション結果より，方策1実現方法が食品廃棄削減問題の解決に有効であることを確認する．最後に賞味期限に応じた価格を消費者に提示するための試作スマートフォンアプリケーションを示す．なお，第3章は，研究業績に記載の学術論文 I-(2) および国際会議 II-(5) の成果にもとづいている．

第4章では，航空機への搭乗時間延長防止問題における方策2実現方法を示し，方策2実現方法の有効性をシミュレーションにより検証する．まず航空輸送サービスにとって搭乗時間延長防止問題は解決すべき優先度が高い問題であることと搭乗時間延長が生じる背景を述べ，搭乗時間延長の関連研究を示す．次に方策2実現方法である，サービス利用者である乗客に対して搭乗時間延長防止につながる情報の提示を行うことで乗客の望ましくない行動を減らす方法を説明する．次に方策2実現方法の有効性を検証するためのシミュレーション条件とシミュレーション結果を示し，シミュレーション結果と先行研究との比較により，乗客誘導戦略毎に搭乗順違反者の割合を変えた場合の搭乗時間の情報は乗客に提示する情報として有効であることを確認する．最後にシミュレーション結果にもとづく情報を使って乗客に対して提示する具体的な方

1 章 序論 1.1 研究の背景と目的 1.2 サービス利用者の協力行動の活用 1.2.1 サービス 1.2.2 サービスシステムの設計 1.2.3 利用者に強要せずに協力行動を促すための方策 1.3 サービスシステムの問題 1.3.1 食品廃棄問題問題 1.3.2 航空機への搭乗時間延長防止問題 1.4 関連研究 1.4.1 協力行動 1.4.2 行動経済学 1.4.3 情報通信技術 1.5 本論文の構成 1.6 本章のまとめ	
2 章 エージェントベースモデリングとシミュレーション 2.1 エージェントベースモデリング(ABM) 2.2 マルチエージェントシミュレーション(MAS) 2.3 エージェントモデルを使ったシミュレーション 2.4 本章のまとめ	
3 章 食品廃棄削減問題における方策1実現方法の有効性の検証 3.1 食品廃棄削減問題と関連研究 3.1.1 食品廃棄発生の背景および食品廃棄削減問題を解決すべき理由 3.1.2 食品廃棄発生および食品廃棄削減の関連研究 3.2 方策1実現方法 3.3 シミュレーション 3.3.1 エージェントベースモデル 3.3.2 シミュレーション条件 3.3.3 シミュレーション結果 3.4 試作スマートフォンアプリケーション 3.5 本章のまとめ	4 章 航空機への搭乗時間延長防止問題における方策2実現方法の有効性の検証 4.1 搭乗時間延長防止問題と関連研究 4.1.1 搭乗時間延長防止問題を解決すべき理由と搭乗時間延長が生じる背景 4.1.2 搭乗時間延長の関連研究 4.2 方策2の実現方法 4.3 シミュレーション 4.3.1 エージェントベースモデル 4.3.1 乗客誘導戦略 4.3.2 シミュレーション条件 4.3.3 シミュレーション結果 4.4 乗客に対する情報の提示 4.5 本章のまとめ
5 章 結論  謝辞 参考文献 付録 研究業績	

図 1.2: 本論文の構成

法を示す。なお第4章は、研究業績に記載の学術論文Ⅰ-(1) および国際会議Ⅱ-(2) の成果にもとづいている。

最後に、第5章では第3章および第4章の検証結果のまとめを述べ、今後の研究課題と展望を述べる。

## 1.6 本章のまとめ

本章では、1.1節で本研究の背景と目的を述べた。食品廃棄削減問題における方策1実現方法と、航空機への搭乗時間延長防止問題における方策2実現方法を示し、それぞれの実現方法の有効性をシミュレーションにより検証することが本研究の目的であることを述べた。1.2節でまずサービスおよびサービスシステムの設計の説明を行った。次にサービス利用者の協力行動を活用するためには、サービス利用者に協力を強要しないようにすることが重要であり、本研究ではサービス利用者に強要せずに協力行動を促すために、ナッジ理論にもとづく2種類の方策を採用することを述べた。2種類の方策とは以下の内容である。

方策1：サービスの各利用者に、そのサービスを円滑に進めることを助ける行動（望ましい行動）を増やしてもらうこと。

方策2：サービスの各利用者に、そのサービスを円滑に進めることを妨げる行動（望ましくない行動）を減らしてもらうこと。

1.3節で食品廃棄削減問題と搭乗時間延長防止問題の概要を説明した。食品廃棄削減問題では、食品廃棄発生背景に、サービス利用者である消費者が賞味期限や消費期限のより遠い食品を購入する傾向があり、結果的に売れ残りにつながることを説明した。サービス利用者である消費者が賞味期限や消費期限のより遠い食品を購入する理由には、食品偽装などが起きたことから消費者の食に対する安全の意識が強くなったこと、大規模小売店が増えたことや乗用車の保有台数が増えたことで買い物の頻度が週1回程度になっていること、などがあることを説明した。搭乗時間延長防止問題では、搭乗時間延長が生じる背景に、航空会社で作成する乗客誘導戦略の詳細(座席間の干渉や通路での干渉)が案内されていないこと、搭乗時間を短くするための最適な乗客誘導戦略が確立されていないこと、などがあることを説明した。

1.4節で協力行動、行動経済学、情報通信技術の関連研究の説明を行った。

1.5節で本論文の構成を説明した。



## 第2章 エージェントベースモデリング とシミュレーション

本章では、エージェントベースモデリングとシミュレーションの説明を行う。説明するエージェントベースモデリングおよびシミュレーションの内容は、社会システムの研究でも利用されるようになった一般的なものである [36]。

本研究では、サービスシステムの問題における方策1実現方法および方策2実現方法の有効性を検証するために、エージェントベースモデリングおよびシミュレーションを利用する。

問題解決にあたってはその問題自体を良く知る必要がある。そのためには1つ上の視点から問題を客観視するメタ認知が必要である [37]。メタ認知とは、客観視すべき問題には気づいている領域だけでなく、気づいていない領域があることを認知することである。客観視すべき対象である問題自体を良く知るためにシミュレーションを利用することは有用であり、想定される事象や結果の検証だけでなく、想定していなかった事象や結果から新たな気づきを得ることができる。それに加えて、問題解決を現実の世界で行う前に、シミュレーションによる試行の段階で新たな気づきを得ることができれば、さらによりよい問題解決を行うことが可能となる [38]。

このことを踏まえ、サービスシステムの問題における方策1実現方法および方策2実現方法の有効性を検証するために、エージェントベースのモデリングを行い、作成したモデルを使ってシミュレーションを行う。

以下では、2.1節でエージェントベースモデリングに関して説明し、2.2節でマルチエージェントシミュレーションの説明を行う。2.3節でエージェントモデルを使ったシミュレーションを説明し、2.4節で本章のまとめを述べる。

### 2.1 エージェントベースモデリング (ABM)

普通名詞の「エージェント」という言葉には「代理人」という意味がある。代理人として動作するエージェントは、自分で自分自身の行動を決める。このように自律的に行動するエージェントは「自律エージェント」と呼ばれる [39]。

従来の社会システムの研究においては、文献調査という事例分析による接近法ないし、対象をモデル化し数理的・統計的に扱う接近法が中心であった。しかし、人類活動

の世界規模での展開，インターネットをはじめとする技術の急速な発展と普及，エージェント技術の進展，ハードウェアの進歩などによりエージェントを用いるシミュレーションの実施が容易になってきた [40].

エージェントベースモデリング (ABM: Agent-Based Modeling) とは，エージェントにもとづくシミュレーションのために，エージェント内部のデザインなどを行うものである．その際，エージェントにもとづくシミュレーションは次の特徴を有する [41].

- (1) ミクロ的な観点においてエージェントが (個別) の内部状態を持ち，自律的に行動・適応し，情報交換と問題解決に携わる．
- (2) その結果として対象システムのマクロ的な性質が創発する．
- (3) エージェントとエージェントを囲む環境とがミクロ・マクロリンクを形成し，互いに影響を及ぼしあいながら，システムの状態が変化していく．

さらに，エージェントベースモデリングにもとづいて行うシミュレーションは，有効性，有用性，拡張性を有するべきとされている [42]. 有効性とは，エージェントにもとづくモデルを正しく実行することである．有用性とは，シミュレーションのアウトプットの解釈によりモデルの動作を理解できることである．拡張性とは，新しい用途に援用できるようにすることである．

## 2.2 マルチエージェントシミュレーション (MAS)

マルチエージェントシミュレーション (MAS: Multi Agent Simulation) とは世界における個々の行為者をエージェントとし，エージェントの行動ルールと相互作用をモデルとして記述するものである [43]. この時，エージェントの行動ルールは複数のエージェント間で異なり，エージェント自身が行動を選択する際には不合理な選択も行う [44]. 個々のエージェントでは不合理な選択であったとしても，分析対象をマクロ的にみた時には合理性のある行動となる場合がある．個々のエージェントのミクロな特徴からは分析対象のマクロ的特性を予測できない場合に有効な手法である．

マルチエージェントシミュレーションの具体例の中では，3つの簡単なルールで鳥の群れの形成や分裂などの様子を例示したボイド (Boids) が有名である [45]. この時，エージェントに与えた3つのルールは，衝突回避 (エージェント同士が衝突しないように混雑してきたら離れる方向に移動する)，整列 (エージェントが感知できるレンジ内の全エージェントの進行方向の平均となる方向に向かう)，結合 (エージェントが感知できるレンジ内の全エージェントの位置の重心にあたる場所の方向に向かう)，だけであった．各エージェントが局所的に得られる情報のみを用いていながら，群れ全体の移動の様子を再現する興味深い結果を示している [46]. この他にも，社会的ジレンマの本質理解と状況改善のためにマルチエージェントシミュレーションによる研究が行われ

ている [47]. さらに, 本研究で対象とするサービスシステムの問題とは異なるが, 市場原理のもとで繰り広げられる利他的な行動を考慮したモデルによるマルチエージェントシミュレーションも行われている [48].

## 2.3 エージェントモデルを使ったシミュレーション

本研究では, 具体的なシミュレーションの実施にマルチエージェントシミュレータの Repast Simphony[49] と Artisoc[50][51] を利用する. 実際にシミュレーションを実施して結果を得る際には, 実施する上での留意点がある. 利用するマルチエージェントシミュレータは, いずれもエージェントの行動を決定する際などに擬似乱数を用いる. 擬似乱数はシード値によって生成される乱数が異なるため, 同一シナリオをシード値を変えて複数回実施した上で統計的な性質を確認する必要がある [43]. このため, シミュレーション結果を提示する際は, 複数回の実施で取得した値の平均値および 95% 信頼区間を使用する. また, 同一シナリオでシード値を変えた試行はエピソードと呼ばれるが, 1 つ 1 つの結果は実際に起こりうる事象の 1 つと考えることができるため, その中から可能性を分析するようなアプローチ [52] も取り入れる.

## 2.4 本章のまとめ

本章では, サービスシステムの問題における方策 1 実現方法および方策 2 実現方法の有効性を検証するために利用するエージェントベースモデリングおよびシミュレーションの説明を行った.

2.1 節でエージェントベースモデリングに関して説明し, エージェントにもとづくシミュレーションの特徴を示した. さらに, エージェントベースモデリングにもとづいて行うシミュレーションが, 有効性, 有用性, 拡張性を有するべきことを説明した. 2.2 節でマルチエージェントシミュレーションの説明を行い, エージェント自身が行動を選択する際には不合理な選択も行うことや個々のエージェントでは不合理な選択であっても, 分析対象をマクロ的にみた時には合理性のある行動となる場合があることを説明した. 2.3 節でエージェントモデルを使ったシミュレーションを説明し, 利用するマルチエージェントシミュレータが擬似乱数を用いることから, 同一シナリオをシード値を変えて複数回実施した上で統計的な性質を確認する必要があることを説明した.





## 第3章 食品廃棄削減問題における方策1 実現方法の有効性の検証

本章では、食品廃棄削減問題における方策1実現方法を示して問題解決を図り、方策1実現方法の有効性をシミュレーションにより検証する。方策1実現方法とは、賞味期限に応じた価格をサービス利用者である消費者に提示することで消費者の望ましい行動を増やす方法である。詳細は3.2節で述べる。

以下では、3.1節で食品廃棄発生背景および食品廃棄削減問題を解決すべき理由およびその関連研究を述べる。3.2節で方策1実現方法を説明する。3.3節で、3.2節で説明する方策1実現方法の有効性を検証するためのシミュレーション条件およびシミュレーション結果を示す。3.4節で、賞味期限に応じた価格をサービス利用者である消費者に提示する試作スマートフォンアプリケーションを説明する。3.5節で本章のまとめを述べる。

### 3.1 食品廃棄削減問題と関連研究

本節では、食品廃棄発生背景および食品廃棄削減問題を解決すべき理由およびその関連研究を述べる。

以下では、3.1.1節で食品廃棄発生背景および食品廃棄削減問題を解決すべき理由を述べる。3.1.2節で食品廃棄発生および食品廃棄削減の関連研究を示す。

#### 3.1.1 食品廃棄発生背景および食品廃棄削減問題を解決すべき理由

まず、食品廃棄発生背景を説明するために、消費者(サービス利用者)が賞味期限や消費期限のより遠い食品を購入する傾向にあることを示すアンケート結果を示す。具体的なアンケートの質問は、「スーパー等で冷蔵の商品(10℃以下で管理されている商品)を購入する際に賞味期限を確認して購入しますか?」という内容で、アンケートの結果[53]は、表3.1の通りとなっている。6割近くが賞味期限を確認して新しいものを購入すると答えており、確認するが期限間近でなければ特に気にしないを含めるとほぼ9割となる。つまり、非常に多くの消費者が購入する際に賞味期限を確認していることがわかる。このことから、消費者が持つ食の安全への強い意識[54]なども加味すれ

ば、店舗での食品が賞味期限や消費期限順に陳列されていても、賞味期限のより遠い食品を購入する可能性が高いことが想像できる。このような消費者の購買行動は、賞味期限の近い食品が売れ残る可能性を高め、結果的に食品廃棄を発生しやすくする。

次に、食品廃棄削減問題を解決すべき理由を述べる。前述したアンケートの質問内容にある冷蔵の商品(10℃以下で管理されている商品)の多くは、日配品(保存性が低く日持ちせず、毎日店舗に配送される商品[55])に該当する。表3.2に日配品のスーパー店頭廃棄率[56]を示す。各食品ごとの店頭廃棄率を示しており、表外の※印は店頭食品ロスの推計値を廃棄量と廃棄金額である。食品ロスとは、食品廃棄の内、本来なら食べることが可能だった部分の廃棄を指す[57]。1.3.1節でも述べたが食品廃棄物の再生利用などにはコストがかかり、かかったコストが食品の販売価格に転嫁された場合、食品廃棄の発生は消費者にも不利益をもたらす。一方、かかったコストを食品の販売価格に転嫁できない場合、事業者(サービス提供者)の収益に悪影響を与えることになる。このように、食品廃棄の発生は消費者および事業者共に不利益をもたらすため、食品廃棄削減問題を解決する必要がある。

### 3.1.2 食品廃棄発生および食品廃棄削減の関連研究

本節では、食品廃棄発生および食品廃棄削減の関連研究を示す。ごみの減量化など環境配慮行動はライフスタイルとの関係が深く、専業主婦・主夫の割合が高い家庭消費型では、食品の賞味期限を切らして捨ててしまうことやつい考えずに買い過ぎることがあり、無計画消費行動と呼ばれている[58]。消費者自身が、食品の賞味期限を切らしてしまうことが多いと認識している場合、賞味期限のより遠い食品を選択しようとする可能性が高い。その結果、賞味期限の近い食品が売れ残る可能性が高まり、食品廃棄の発生につながる。一方で、食品を使い忘れて賞味期限が切れてしまうことを防ぐ取り組みも行われている[59]。また、食品業界では、食品廃棄削減の取り組みとして、納品期限や賞味期限の見直しが進められている[60]。

また、食品に限定せず、より広範な廃棄物の発生抑制行動に関するモデル[61]によれば個人的規範に依存する部分が多く、消費者自身が考える基準を満たさなければ、廃棄物の発生抑制行動を起こさないことが示唆されている。それに加えて、消費者はより新鮮なもの、より安全なものを買おうという意識があるため、食品廃棄、食品ロス等による環境への悪影響、廃棄コストの価格への転嫁などを認識していても行動にはなかなか反映されない[56]。事業者自身が取り組む食品廃棄の発生抑制に関しては、コンビニエンスストアを対象とした見切り販売に関する研究がある。見切り販売により食品廃棄削減効果があるだけでなく、加盟店の経営改善にも結び付くことが確認されている[62]。しかし、常態化すると通常販売品の価格への影響が懸念されるため限定的となっている。

表 3.1: アンケート (「スーパー等で冷蔵の商品 (10℃以下で管理されている商品) を購入する際に賞味期限を確認して購入しますか?」) の結果

選択肢	割合 (%)
確認して新しい物を購入する	56.6
確認するが期限間近でなければ特に気にしない	33.2
あまり確認せずに購入する	9.7
わからない	0.5

表 3.2: 日配品のスーパー店頭廃棄率

食品名	店頭廃棄率 (%)
パン	0.61
豆腐	0.75
牛乳	0.24
納豆	0.50
ヨーグルト	0.38
洋菓子	0.92
魚肉加工品	0.69

※店頭食品ロス推計:約 18600 トン (約 76 億円)

## 3.2 方策1実現方法

本節では、食品廃棄削減問題における方策1実現方法を示す。3.1.2節の関連研究の内容から、消費者が賞味期限のより遠い食品を選択することは食品廃棄につながる可能性が高い。このため、食品廃棄削減のためには賞味期限の近い食品も選択してもらう必要がある。消費者が、賞味期限の近い食品を選択する行動は、方策1の望ましい行動を増やすことであるといえる。具体的には、賞味期限に応じた価格を消費者に提示することで賞味期限の近い食品を選択しやすくする。

賞味期限に応じた価格を消費者に提示する理由は、消費者の購買行動が参照価格に大きく左右されるためである。参照価格には、内的参照価格(購買対象の商品に対して消費者自身がいただく価格)と外的参照価格(商品に対して実際に提示されている価格)がある。内的参照価格よりも外的参照価格が安ければ「得をした」と感じ、逆であれば「損をした」と感じる。消費者の購買行動は内的参照価格と外的参照価格の差に依存することが知られている[63]。「得をしたと感じる場合」と「損をしたと感じる場合」ではその反応(効用)が非対称であることが報告されており、プロスペクト理論の価値関数[21][64][65](付録.A 参照)と一致する結果であることが知られている[63]。

賞味期限に応じた価格を消費者に提示する具体的な方法には、スマートフォン上のアプリケーションを使うことを想定する。1.4.3節で述べた通り、多くの消費者に訴求できるものとする。また、賞味期限に応じた価格の提示には値引きラベルの貼付という方法が現在とられているが、人手不足が社会問題となっており、手作業による値引きラベル貼付の人的負担を下げる意味合いもある。

本節で述べた、賞味期限に応じた価格を消費者に提示する方法が望ましい行動を増やし、食品廃棄削減につながることを確認するためにシミュレーションによる検証を行う。さらに、賞味期限に応じた価格を消費者に提示する試作スマートフォンアプリケーションを示す。

## 3.3 シミュレーション

本節では、エージェントシミュレーションにより賞味期限に応じた価格をサービス利用者である消費者に提示する方法が消費者の行動を変え、食品廃棄削減問題の解決に有効であること確認する。

以下では、3.3.1節でエージェントベースモデリングによるシミュレーションモデルを説明する。3.3.2節でシミュレーション条件を示し、3.3.3節でシミュレーション結果を示す。

### 3.3.1 エージェントベースモデル

本節では、エージェントベースモデリングによるシミュレーションモデルを説明する。

まず、消費者を消費者エージェント、店舗の店員を店員エージェントとする。消費者エージェントによる購買行動および店員エージェントによる店舗での商品の補充の様子を図 3.1 に示す。消費者エージェントは条件として与える購買行動に従って商品を選択し購入する。店員エージェントは1日の終わりに1回だけ商品棚に商品を補充する。補充する際に商品を賞味期限順に配置する。補充の際に賞味期限をむかえる商品があれば廃棄し、廃棄数と同数分の補充をさらに行うものとする。ただし、1日の全消費者エージェント数が商品棚の商品数よりも多い場合、商品売り切れの状態が生じるがその段階での補充は行わない。

図 3.2 に消費者エージェントによる商品の購入および店員エージェントによる補充の流れを示す。1日単位での処理を繰り返し、条件で指定した期間に到達すると終了する。さらに、シミュレーションを行う際の共通条件を表 3.3 に示す。初期商品数、1日あたりの商品補充数、1日あたりの平均消費者数は、商品数と消費者数の差によって廃棄が生じないように同数とする。1日あたりの消費者エージェント数は、1日あたりの平均消費者数をパラメータとするポアソン分布に従うものとする。消費者1人あたりの購買数は1個とし、賞味期限は7日、シミュレーション期間は30日とする。評価指標は商品の廃棄率(廃棄数/商品補充数)とし、シミュレーションを30回実行の上、廃棄率の平均と95%信頼区間を算出する。シミュレーションには、エージェントシミュレータ Repast Symphony[49] を使用する。

### 3.3.2 シミュレーション条件

本節では、シミュレーション条件を示す。以下の3つの条件でシミュレーションを行う。

条件1：シミュレーションモデルの妥当性の確認を行うための条件。

条件2：価格提示の提示方法の違いによる比較を行うための条件。

条件3：賞味期限に応じた価格を変化させた場合の廃棄率の変化を知るための条件。

#### シミュレーション条件1

まず、シミュレーション条件1でのシミュレーションの実施によりシミュレーションモデルの妥当性の確認を行う。シミュレーション条件1では、価格提示に関しては特に考慮せず、消費者エージェントが商品棚のどの位置の商品を選択し購入するかによっ

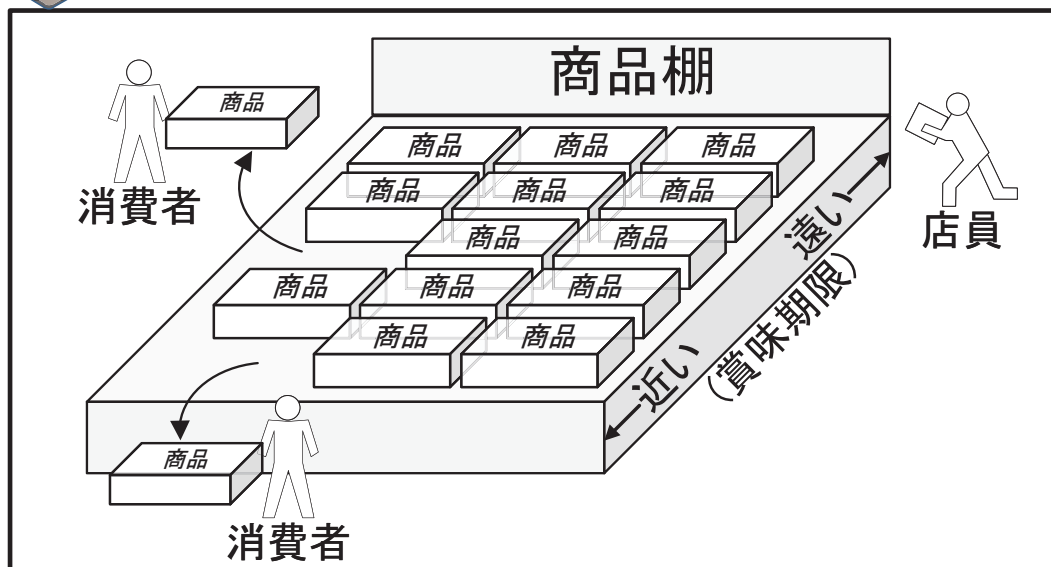


図 3.1: 消費者エージェントによる購買行動および店員エージェントによる店舗での商品の補充の様子

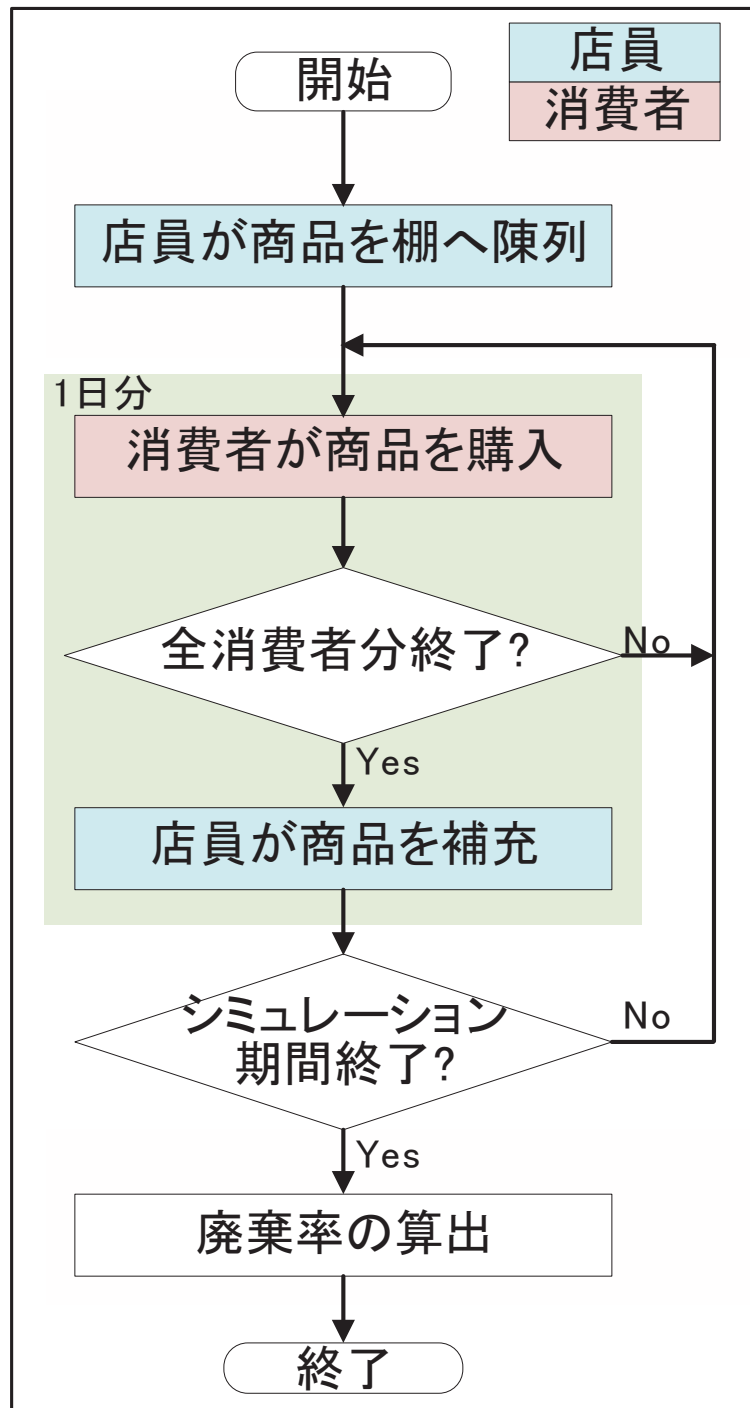


図 3.2: 消費者エージェントと店員エージェントによる商品の購買および補充の流れ

表 3.3: シミュレーションを行う際の共通条件

条件名 (Condition Name)	設定値 (Value)
商品棚の初期商品数 (個) (Initial number of commodity shelves(items))	100
1 日あたりの商品補充数 (個) (Number of replenishment items per day(items))	100
1 日あたりの平均消費者数 (人) (Average number of buyers per day(person))	100
消費者 1 人あたりの購買数 (個/人) (Purchase per person(items/person))	1
商品の賞味期限 (日) (Product's expiration date(day))	7
シミュレーション期間 (日) (Simulation period(day))	30



て、廃棄率がどのように変わるかを確認する。商品棚の商品が賞味期限順に配置されていることを踏まえ、消費者エージェントの購買行動を5つ定義する。

1. 賞味期限の一番近いものを選択 (FIFO).
2. 賞味期限の一番遠いものを選択 (FILO).
3. 賞味期限と関係なくランダムに選択 (RANDOM).
4. 商品全体の賞味期限が近い半数からランダムに選択 (FIFO-RANDOM).
5. 商品全体の賞味期限が遠い半数からランダムに選択 (FILO-RANDOM).

なお、消費者エージェントは商品が売り切れである場合を除いて、いずれかの商品を必ず購入するものとする。

## シミュレーション条件 2

次に、価格提示の提示方法の違いによる比較を行うための条件を述べる。次の3つの価格提示方法により比較する。価格提示 3 が、方策 1 実現方法である。

- 価格提示 1(Case1)：値引きなし
- 価格提示 2(Case2)：賞味期限間近のもののみ値引き（手作業による値引きラベル貼付を想定）
- 価格提示 3(Case3)：賞味期限に応じた価格提示（スマートフォンアプリケーションでの価格提示）

価格提示 3 の賞味期限に応じた価格提示の方法を説明する。消費者の購買行動は、参照価格などに応じて感じる効用 (Utility) に依存するため、消費者の効用 ( $u_{total}$ ) を、賞味期限までの残日数 (Sell by Date) に応じた効用 ( $u_{date}$ ) と値引き価格提示に応じた効用 ( $u_{price}$ ) の2つの要素から構成されるものとし、式 (3.1) で算出する。

$$u_{total} = u_{date} + u_{price} \quad (3.1)$$

賞味期限までの残日数に応じた効用 ( $u_{date}$ ) と値引き価格提示に応じた効用 ( $u_{price}$ ) を算出するために、賞味期限までの残日数 (変数  $x$ , SellbyDate), 値引き係数 (変数  $d$ , Discount) を設ける。

賞味期限までの残日数に応じた効用の算出にあたっては、式 (A.1) で表現されるプロスペクト理論における価値関数 [64][21](付録.A 参照) を利用する。賞味期限が近いものは避け、賞味期限のより遠いものを選択する傾向を考慮し、マイナスの効用とプラス

の効用の双方にまたがるものとする．ここでは，賞味期限の条件とした1週間(7日間)の中間日(価値関数における参照点)を境にマイナスの効用とプラスの効用が変化するものとし，式(3.2)で算出する．

$$u_{date}(x) = \begin{cases} y = x - 3(\text{中間日との差分を算出}) \\ y^{\alpha} (y \geq 0) \\ -\lambda (-y)^{\beta} (y < 0) \end{cases} \quad (3.2)$$

値引き価格提示に応じた効用の算出にあたっては，値引き係数分がそのままプラスの効用になるものとする．なお，賞味期限までの残日数に応じた効用( $u_{date}$ )と等価(残日数の最大値である6と値引き係数の最大値である10を考慮)にするため，式(3.3)で算出する．

$$u_{price}(d) = (d * 3/5)^{\alpha} (d \geq 0) \quad (3.3)$$

これらの式にもとづいて算出した各条件における賞味期限までの残日数と効用値は，表3.4～表3.6の通りとなる．また，賞味期限までの残日数と効用値をグラフにすると図3.3～図3.5のようになる．

消費者はそれぞれの条件毎の効用( $u_{total}$ )値を商品選択の際の重みとして扱い，商品棚に残る商品の中からいずれを選択するかを決定する．効用値の最小値がゼロになるように補正し商品選択の際の重みの相対値を算出する．

なお，消費者を表3.1の結果を踏まえ，次の2つグループ(選択肢「確認して新しい物を購入する」を選択した消費者とこれ以外を選択した消費者)に分ける．

- グループA: 効用がマイナスとなる商品は，その商品しかない場合にのみ購入(全体の6割)
- グループB: 効用がマイナスとなる商品も，重みづけにより選択の対象とする(全体の4割)

なお，購買行動以外の条件は，表3.3の値と同じである．

### シミュレーション条件3

シミュレーション条件2を前提に，値引きによる効用を1%増加，2%増加，3%増加した条件で行う．それぞれの条件を価格提示4.1(Case4\_1)，価格提示4.2(Case4\_2)，価格提示4.3(Case4\_3)とする．図3.6にシミュレーション条件2およびシミュレーション条件3の賞味期限までの残日数と効用値(相対値)を示す．シミュレーション条件2およびシミュレーション条件3は，この効用値(相対値)を使ってシミュレーションを行う．

表 3.4: 価格提示 1(Case1) の時の賞味期限までの残日数と効用値

賞味期限までの残日数 (x) (SellbyDate(x))	0	1	2	3	4	5	6
値引き係数 (d) (Discount(d))	0	0	0	0	0	0	0
$u_{date}$	-5.92	-4.14	-2.25	0.00	1.00	1.84	2.63
$u_{price}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$u_{total}$	-5.92	-4.14	-2.25	0.00	1.00	1.84	2.63

表 3.5: 価格提示 2(Case2) の時の賞味期限までの残日数と効用値

賞味期限までの残日数 (x) (SellbyDate(x))	0	1	2	3	4	5	6
値引き係数 (d) (Discount(d))	10	5	0	0	0	0	0
$u_{date}$	-5.92	-4.14	-2.25	0.00	1.00	1.84	2.63
$u_{price}$	4.84	2.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$u_{total}$	-1.08	-1.51	-2.25	0.00	1.00	1.84	2.63

表 3.6: 価格提示 3(Case3) の時の賞味期限までの残日数と効用値

賞味期限までの残日数 (x) (SellbyDate(x))	0	1	2	3	4	5	6
値引き係数 (d) (Discount(d))	5	4	3	2	1	0	0
$u_{date}$	-5.92	-4.14	-2.25	0.00	1.00	1.84	2.63
$u_{price}$	2.63	2.16	1.68	1.17	0.64	0.00	0.00
$u_{total}$	-3.29	-1.98	-0.57	1.17	1.64	1.84	2.63

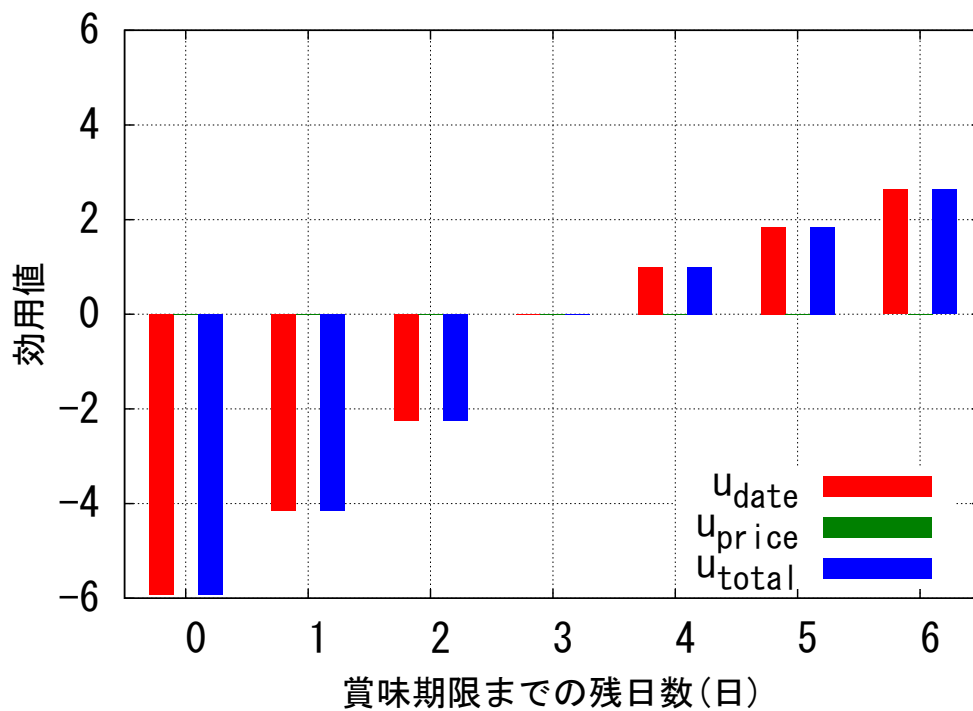


図 3.3: 価格提示 1(Case1) の時の賞味期限までの残日数と効用値

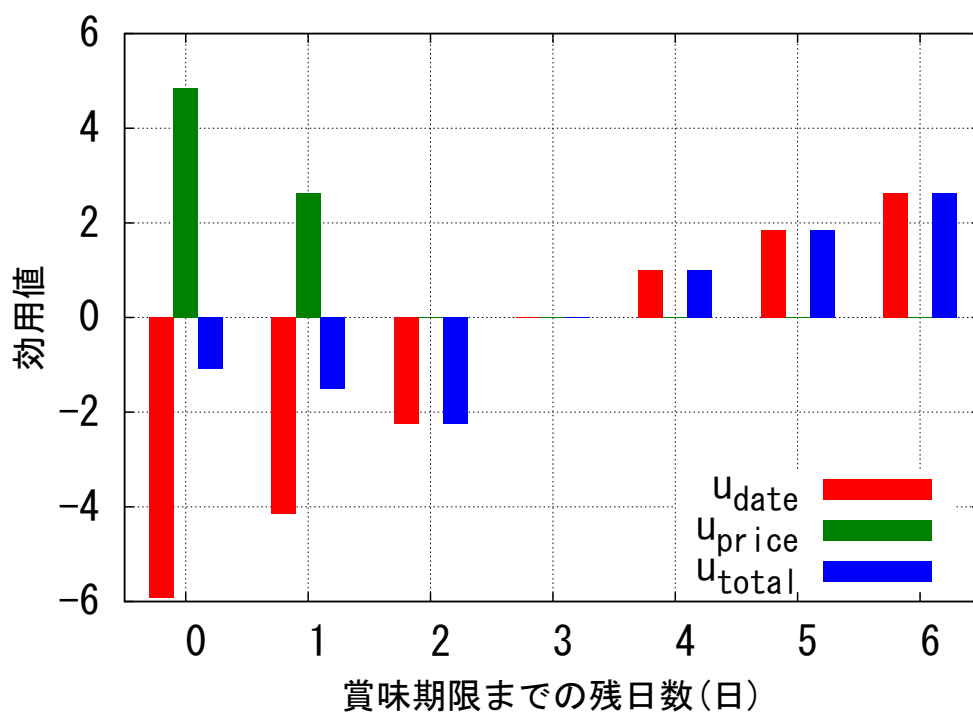


図 3.4: 価格提示 2(Case2) の時の賞味期限までの残日数と効用値

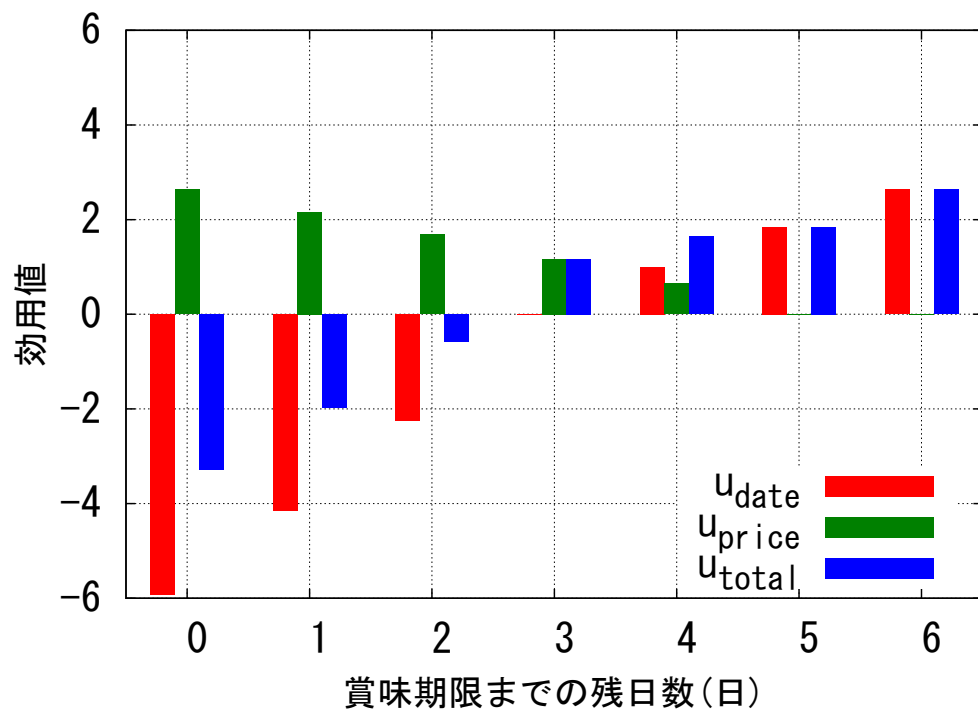


図 3.5: 価格提示 3(Case3) の時の賞味期限までの残日数と効用値

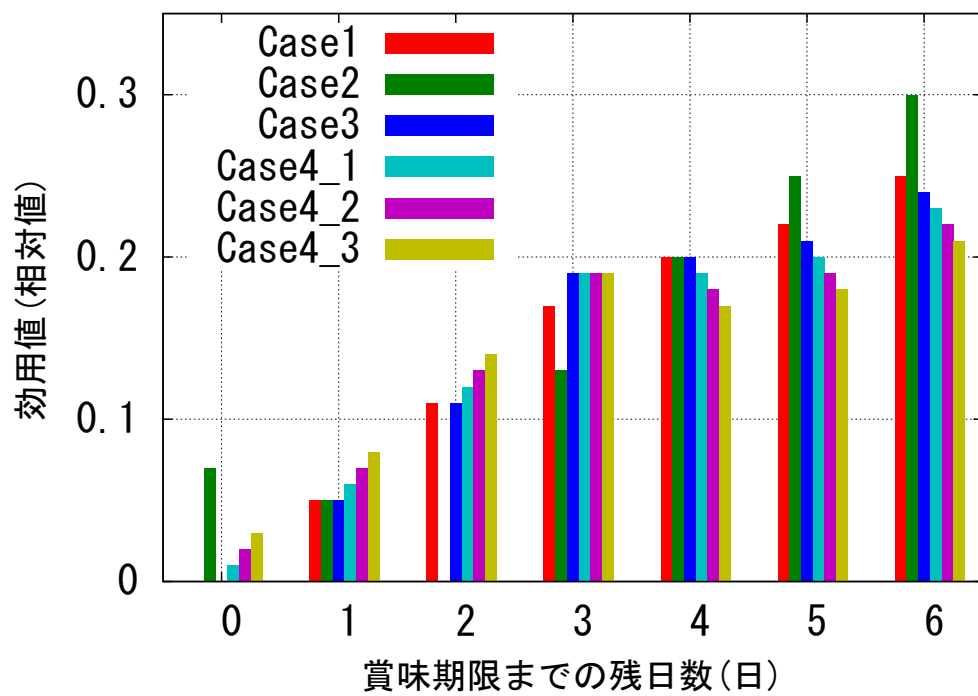


図 3.6: 全条件での賞味期限までの残日数と効用値(相対値)

### 3.3.3 シミュレーション結果

前節で示した3つのシミュレーション条件にもとづくシミュレーション結果を示し、シミュレーションモデルの確認および賞味期限に応じた価格提示が食品廃棄削減問題の解決に有効であることを確認する。

#### シミュレーション条件1の結果

シミュレーション条件1の結果を、表3.7および図3.7に示す。表3.7はシミュレーションを30回実行した結果の平均および95%信頼区間を算出した購買行動毎の廃棄率である。図3.7は各条件の全エピソード30回分の値を描いたものである。横軸はエピソードの順番、縦軸は各エピソードにおける廃棄率である。

表3.7より、賞味期限の近い商品の購入を優先するFIFOおよびFIFO-RANDOMではほとんど廃棄が生じていないことがわかる。RANDOMではわずかに廃棄が生じているが、0.1%以下である。一方、FILOおよびFILO-RANDOMでは、平均で2.5%前後の廃棄率となっている。ただし、図3.7から、FILOおよびFILO-RANDOMに関しては5%を超える廃棄率が発生する場合もある。

表3.7より、FILOとFILO-RANDOMの平均廃棄率の差は大きくないことがわかる。この理由は、1日あたりの商品補充数と1日あたりの平均消費者数×1人あたりの購買数を同数としたことに起因していると考えられる。これは、FILO-RANDOMのように半数からランダムに選択した場合でも、結果的に残商品数が少なくなるとFILOと同じように賞味期限に近い商品ほど売れ残る可能性が高くなるためであると考えられる。RANDOMの廃棄率が低くなっている理由は、FIFOほどではないものの賞味期限に近い商品が適度に購入されるためであると考えられる。

ここで、表3.2に示した日配品のスーパー店頭廃棄率との比較を行う。日配品のスーパー店頭廃棄率には、日配品の発注数が多すぎた場合に生じる廃棄を含んでいる可能性があるため単純に比較することはできない。しかし、廃棄率の具体的な数値を見ると0.24%から0.92%となっており、表3.7の結果と比較するとRANDOMとFILO-RANDOMの間の値となっている。すなわち、日配品のスーパー店頭廃棄率がRANDOMよりはFILO-RANDOMに近い消費者の購買行動によって生じている可能性を示唆している。さらに、シミュレーションにより算出される廃棄率が現実の店舗における廃棄率と大きな齟齬がないことを示唆している。これらのことから、3.3.1節で説明したシミュレーションモデルおよびこのモデルを使ったシミュレーション結果は、消費者の購買行動の違いにより廃棄率が変化することを確認するために利用できることを確認した。

## シミュレーション条件2の結果

シミュレーション条件2の結果を、表 3.8 および図 3.8 に示す。表 3.8 はシミュレーションを 30 回実行した結果の平均および 95%信頼区間を算出した価格提示方法毎の廃棄率である。図 3.8 は各条件の全エピソード 30 回分の値を描いたものである。横軸はエピソードの順番、縦軸は各エピソードにおける廃棄率である。

表 3.8 より、いずれも廃棄率が 0.6% を下回っているもののシミュレーション条件 1 における RANDOM よりは多くなっている。これは、消費者エージェントを 2 つグループに分けたことと消費者の効用値を考慮しているために、賞味期限のより遠い商品を買う傾向が強いためと考えられる。

この結果からだけでは、賞味期限に応じた価格提示の方法(価格提示 3)が既存の手作業による方法(価格提示 2)よりも明らかに優位であるとは言えない。しかしながら、賞味期限に応じて段階的に値引きを行う方法は、賞味期限間近のもののみ値引きを行う値引きラベル貼付による方法と同等程度の効果(廃棄率の改善)を得られると考えられる。このため、手作業による値引きラベル貼付にかかる人件費などを考慮すると、総合的には有効な方法であるといえる。すなわち、賞味期限に応じた価格をサービス利用者である消費者に提示する方法は食品廃棄削減問題の解決に有効であるといえる。

## シミュレーション条件3の結果

シミュレーション条件3の結果を、表 3.9 に示す。表 3.9 はシミュレーションを 30 回実行した結果の平均および 95%信頼区間を算出した価格提示方法毎の廃棄率である。この結果から、消費者が感じる効用値が変化した場合(価格提示 4.1, 価格提示 4.2, 価格提示 4.3)に、効用値の変化 1%で廃棄率は 0.2%程度変化することを確認した。

## 3.4 試作スマートフォンアプリケーション

本節では、賞味期限に応じた価格を消費者に提示する試作スマートフォンアプリケーションを説明する。商品の価格情報は企業毎、店舗毎に異なることを考慮し、各店舗のホームページ上にリンクを置くような形態を想定し HTML5 によるブラウザアプリケーションとする。賞味期限に応じた価格の提示方法は、価格を表形式を使った数値で表示するだけでなく、賞味期限に応じた価格の違いを消費者にわかりやすく見せるためにグラフ形式も併用する。図 3.9 にアプリケーションの処理ステップを示す。処理ステップは次の 4 ステップで構成される。

- [1] バーコードの読み取り：商品のバーコードを読み取る。
- [2] バーコードの送信：読み取ったバーコードを価格を算出するサーバに送信する。

表 3.7: シミュレーション条件 1 における廃棄率 (平均)

購買行動 (Purchasing behavior)	廃棄率 (Discard rate)	
	平均 (mean)[%]	95%信頼区間 (CI)[%]
FIFO	0.00	0.00～0.00
FILO	2.58	1.80～3.36
RANDOM	0.05	0.01～0.10
FIFO-RANDOM	0.00	0.00～0.01
FILO-RANDOM	2.39	1.72～3.05

表 3.8: シミュレーション条件 2 における廃棄率 (平均)

価格提示方法	廃棄率 (Discard rate)	
	平均 (mean)[%]	95%信頼区間 (CI)[%]
価格提示 1(Case1)	0.39	0.10～0.68
価格提示 2(Case2)	0.52	0.19～0.86
価格提示 3(Case3)	0.16	0.00～0.34

表 3.9: シミュレーション条件 3 における廃棄率 (平均)

価格提示方法	廃棄率 (Discard rate)	
	平均 (mean)[%]	95%信頼区間 (CI)[%]
価格提示 4.1(Case4_1)	0.15	0.00～0.34
価格提示 4.2(Case4_2)	0.13	0.00～0.28
価格提示 4.3(Case4_3)	0.10	0.00～0.23



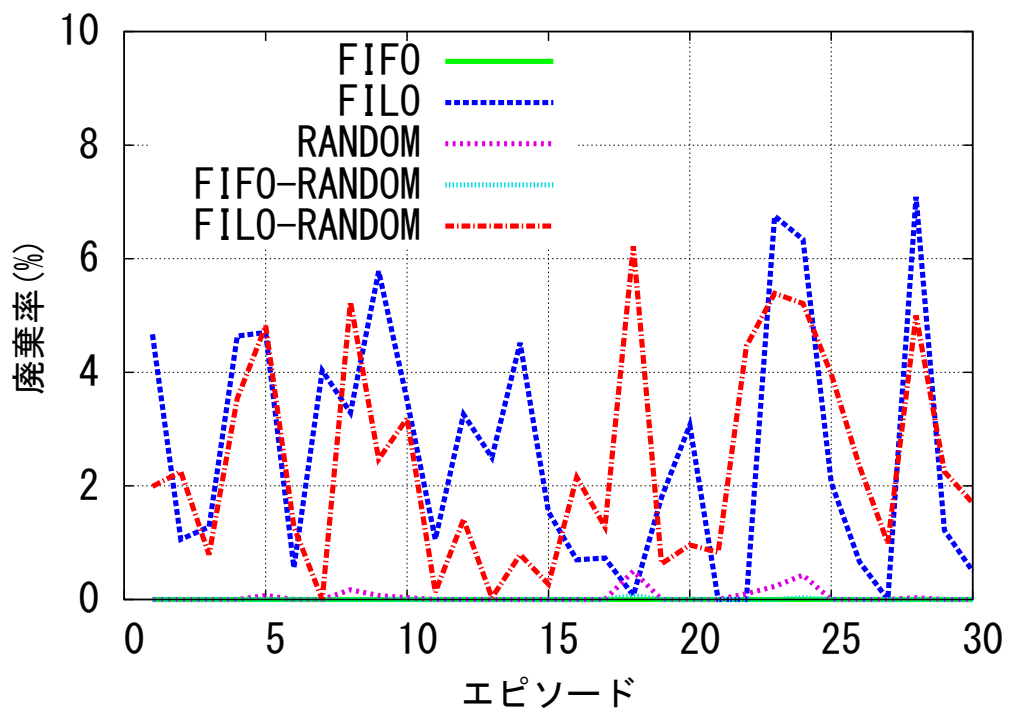


図 3.7: シミュレーション条件 1 の全エピソードの廃棄率

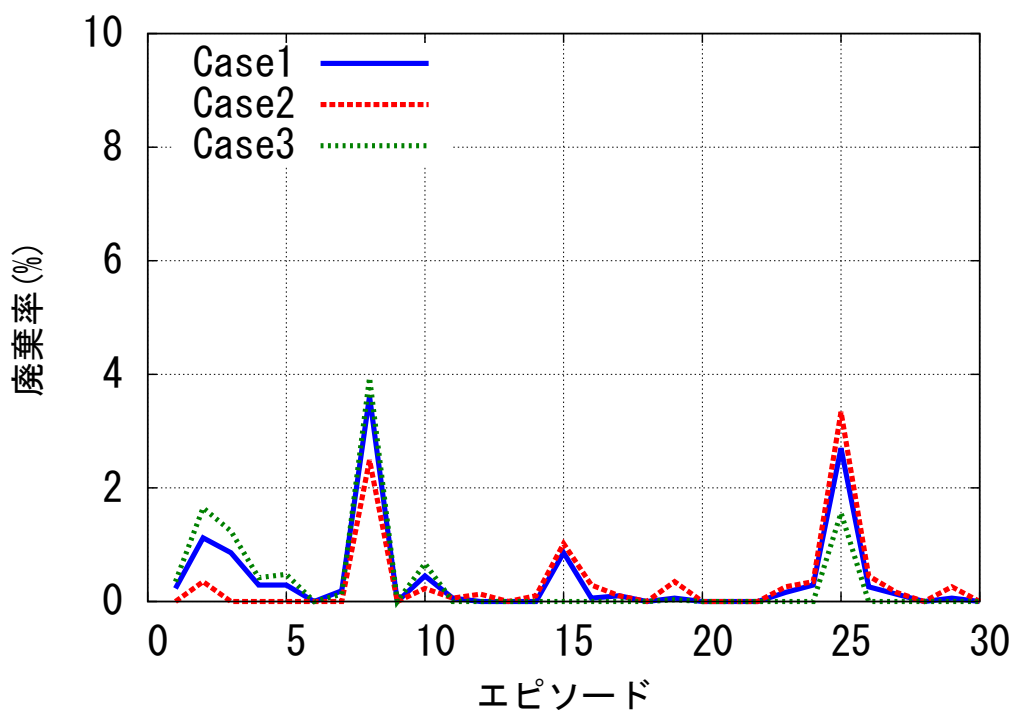


図 3.8: シミュレーション条件 2 の全エピソードの廃棄率

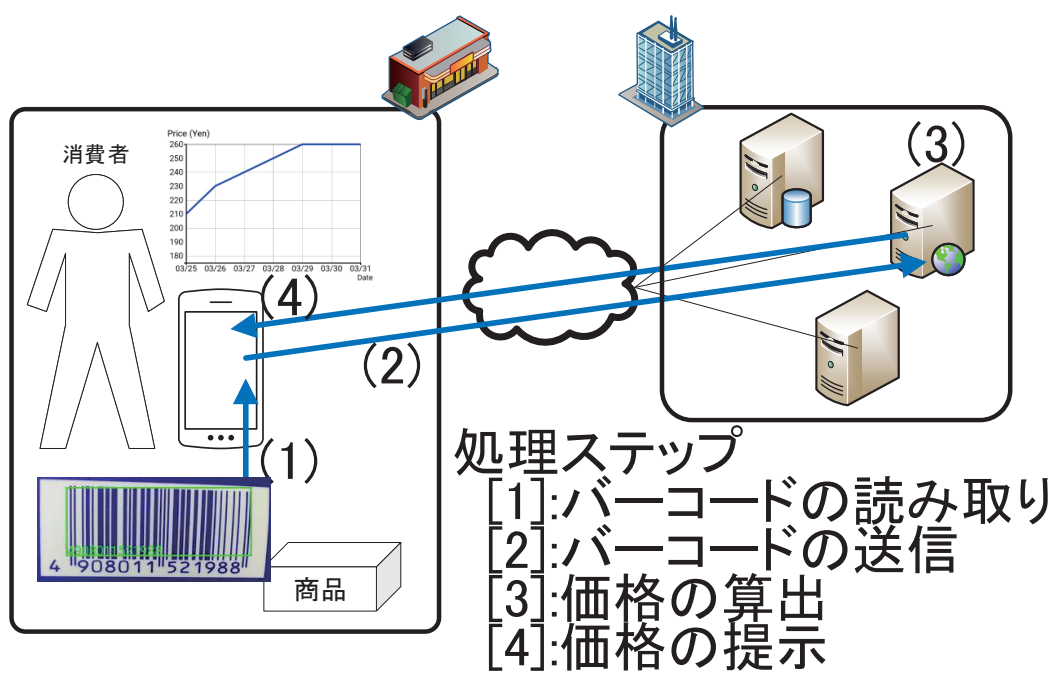


図 3.9: アプリケーションの処理ステップ

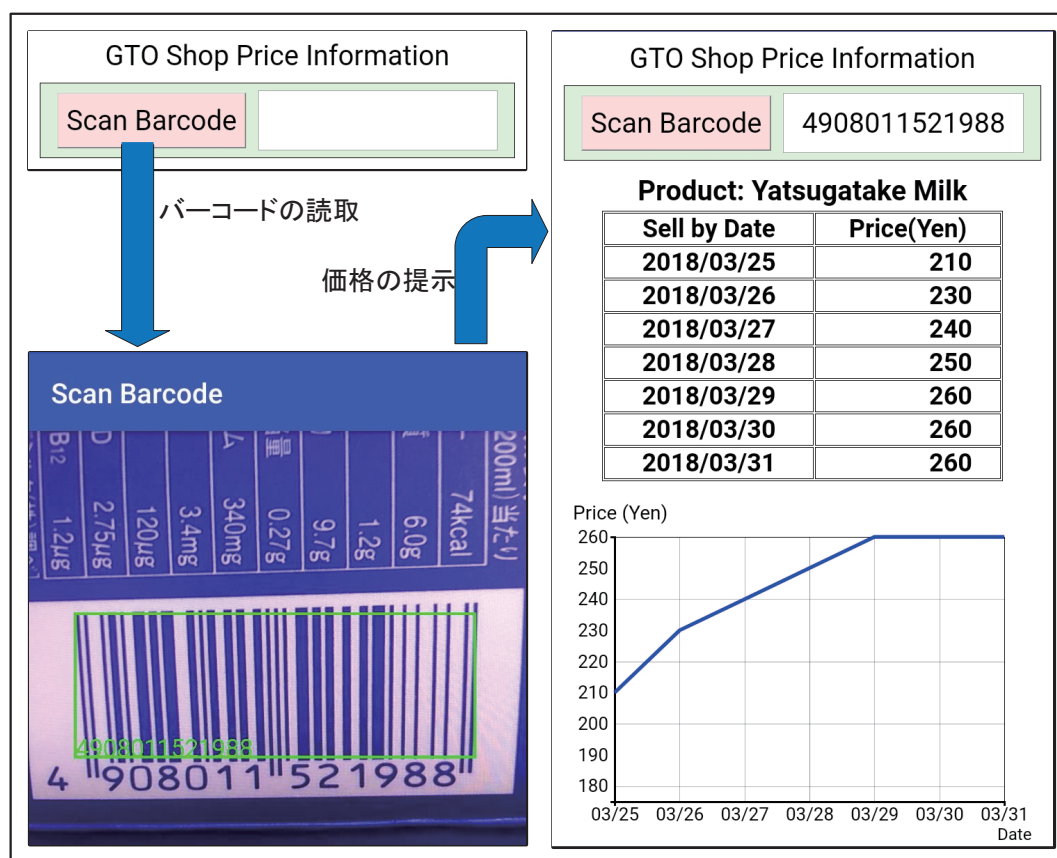


図 3.10: 試作したスマートフォンアプリケーションの実際の画面

[3] 価格の算出：受信したバーコードから商品特定し、提示する価格を算出する。

[4] 価格の表示：算出された価格をサーバから受信し、アプリ上表示する。

図 3.10 に試作アプリケーションの実際の画面を示す。アプリケーションを起動すると左上のバーコード読み取り用のボタンが表示される。バーコードの読み取りを開始するとバーコードを認識した領域に緑色の枠が表示される。緑色の枠を選択すると読み取ったバーコードを送信して価格を算出し、価格情報を右側にあるように表形式とグラフ形式によって表示する。

シミュレーション結果より、賞味期限に応じた価格を消費者に提示する方法は食品廃棄削減問題の解決に有効であることを確認している。しかしながら、賞味期限に応じた価格の情報や賞味期限に応じた価格の違いが消費者にきちんと伝わるかどうかは本節で紹介した試作アプリケーションなどを使って実際に確認する必要がある。

### 3.5 本章のまとめ

本章では、食品廃棄削減問題における方策 1 実現方法を示し、方策 1 実現方法の有効性をシミュレーションにより検証した。方策 1 実現方法とは、賞味期限に応じた価格をサービス利用者である消費者に提示することで消費者の望ましい行動を増やす方法である。

3.1.1 節では、商品の購入時に賞味期限の確認をすることに関するアンケート結果から食品廃棄発生背景を述べ、食品廃棄削減問題を解決すべき理由を述べた。3.1.2 節では、食品廃棄発生および食品廃棄削減の関連研究を示し、消費者は食品廃棄削減につながる行動をあまりとらないことを述べた。3.2 節では方策 1 実現方法を具体化した、食品廃棄削減につながる望ましい行動を増やしてもらうために賞味期限に応じた価格を消費者に提示する方法を示した。3.3 節では、賞味期限に応じた価格を消費者に提示する方法の有効性を検証するためのシミュレーションの、シミュレーションモデル、シミュレーション条件、シミュレーション結果を示した。シミュレーション結果から、まずシミュレーションモデルが検証に利用できることを確認し、次に賞味期限に応じた価格を消費者に提示する方法が食品廃棄削減問題の解決に有効であることを確認した。3.4 節では、賞味期限に応じた価格を消費者に提示する試作スマートフォンアプリケーションの説明を行った。

これらのことから、本章で示した方策 1 実現方法（賞味期限に応じた価格をサービス利用者である消費者に提示することで消費者の望ましい行動を増やす方法）は、消費者が賞味期限の近い商品を購入する望ましい行動を増やすことから、食品廃棄削減問題の解決に有効な実現方法であることを検証した。

## 第4章 航空機への搭乗時間延長防止問題における方策2実現方法の有効性の検証

本章では、航空機への搭乗時間延長防止問題における方策2実現方法を示して問題解決を図り、シミュレーションにより方策2実現方法の有効性を検証する。方策2実現方法とは、サービス利用者である乗客に対して搭乗時間延長防止につながる情報の提示を行うことで乗客の望ましくない行動を減らす方法である。詳細は、4.2節で述べる。

以下では、4.1節で搭乗時間延長が生じる背景を述べ、その関連研究を示し、航空機への搭乗時間延長防止問題は航空会社にとって解決すべき優先度が高い問題であることを述べる。4.2節で方策2実現方法を説明する。4.3節で、4.2節で説明する方策2実現方法の有効性を検証するためのシミュレーション条件と結果を示す。4.4節で、4.2節で述べる実現方法を4.3節で得られた結果にもとづく情報を使って乗客に対して提示する方法を示す。4.5節で本章のまとめを述べる。

### 4.1 搭乗時間延長防止問題と関連研究

本節では、搭乗時間延長防止問題を解決すべき理由と搭乗時間延長が生じる背景およびその関連研究を述べる。

以下では、4.1.1節で搭乗時間延長防止問題を解決すべき理由と搭乗時間延長が生じる背景を述べる。4.1.2節で搭乗時間延長の関連研究を示す。

#### 4.1.1 搭乗時間延長防止問題を解決すべき理由と搭乗時間延長が生じる背景

本節では、搭乗時間延長防止問題を解決すべき理由と搭乗時間延長が生じる背景を述べる。

まず、航空会社が搭乗時間延長防止問題を解決すべき理由を述べる。航空サービスの質を表す重要な指標の1つが定時運航率である。定時運航率は遅延便とならなかつ

た運航便の割合であり、予定時刻よりも15分遅い出発ないし到着となった便が遅延便(Late Flight)とみなされる[66]。定時運航率が改善された航空会社ではビジネスユースの旅客が増加している。ビジネスユースの旅客は単価が高く、航空会社の利益向上にも影響する[67]。日本では、国土交通省が3か月ごとに航空輸送に関する情報を公表している。この情報には、航空輸送サービスに関する情報と運賃の比較を含んでいる。航空輸送サービスに関する情報とは、定時運航率、遅延便数などである。たとえば、「本邦11社の平均定時運航率は2015年7月から9月期は90.62%で、前年同期比1.12%の増加となった[68]」といった実績が公開される。公開される情報には本邦航空運送事業者別の実績も含まれ、公開される情報にもとづく航空会社や空港のランキングにも反映される[69]。このため、航空会社は定時運航率を上げ、遅れた便数を減らすことの重要性を認識している。定時運航率を高めるためには、航空会社自身が航空機の準備時間などを短縮することに加えて、乗客の搭乗時間を延ばさないことが重要である。つまり、搭乗時間延長は定時運航率を下げる原因となるため、搭乗時間延長防止問題は航空会社にとって解決すべき優先度の高い問題となっている。

次に、搭乗時間延長が生じる背景を述べる。搭乗時間が延長してしまう原因は、乗客が自身の座席に移動するまでに通路で待たされることにある。乗客が通路で待たされる状況は主に次の2つである。

- (a) 他の乗客が荷物をストウェッジ(以下収納スペース)[72]に収納するために通路を塞いでいる場合。
- (b) 窓側の乗客が座るために通路側の乗客が一時的に通路に移動している場合。

(a)は1.3.2節で述べた通路での干渉に相当し、(b)は座席間の干渉に相当する。(a)の状況は回避しづらいが、(b)の状況は発生を減少させることができる。(b)の状況が発生しないようにするために、航空会社は乗客誘導戦略にもとづいて乗客に指示を行っている。しかし、航空会社が乗客誘導戦略にもとづいて乗客に指示を行う場合にも2つの問題がある。

- (b-1) 乗客誘導戦略そのものが効率的ではない。
- (b-2) 乗客誘導戦略にもとづく指示に従わない乗客(以下搭乗順違反者)がいる。

(b-1)の乗客誘導戦略に関してはいろいろな研究がなされており、次節で関連研究を示す。(b-2)に関しても乗客誘導戦略に関する研究の中で考慮はされているが、どのようにすれば乗客が乗客誘導戦略にもとづく指示に従うのかといった研究はあまりなされていない。

一方で、航空機を利用する乗客は増加している。1.4.3節の中で、インターネットを使ったサービスが普及したことに触れたが、インターネットを利用したサービスが大きな影響を与えた業種の1つが観光業である。旅行会社を通さずに航空券の購入やホテ

ルの予約ができるようになったことで、それまでのマスツーリズムと呼ばれる大人数での旅行形態から、個人が旅行先や旅程を決めるようになっている [70]。さらに、1980年代の規制緩和や自由化により、航空輸送に関しても国内線・国際線ともに飛行路線や参入する航空会社が増加している。当然ながらそれに伴って旅客数も増加している [71]。2000 年以降は LCC(Low Cost Carrier) の参入により競争が激化するとともに旅客数はさらに増加している。旅客数が増加する中で航空機を利用する頻度の少ない乗客は搭乗に不慣れであることが想像され、乗客誘導戦略にもとづく指示に従わない可能性があり、結果的に搭乗時間延長を生じやすくすることが懸念される。

#### 4.1.2 搭乗時間延長の関連研究

搭乗時間延長の関連研究の多くは乗客誘導戦略に関するものである。1.3.2 節で、搭乗時間は乗客が搭乗する際の座席間の干渉や通路での干渉が少ないほど短くなること [14]、を述べた。関連研究の多くは座席間の干渉を少なくすることに着目している。

1998 年には既に航空会社自身が作成したシミュレータを使って乗客誘導戦略別の搭乗時間の結果が示されている [73]。被験者を実際のサイズの航空機モデルに乗せて搭乗時間を計測したり、シミュレーションによって乗客誘導戦略毎の搭乗時間を算出した様々な研究がある [74][75][76]。

乗客誘導戦略の多くは、座席全体をいくつかの領域に分け、分けた領域毎に乗客を搭乗させるものである。座席全体の分け方は、前方と後方、窓側と通路側およびこれらを組み合わせたものである。搭乗時間を算出する際に、搭乗順違反者の割合を考慮した研究もあるが、乗客誘導戦略そのものや搭乗順違反者がいる場合に搭乗時間延長が生じることをどのように乗客に伝えるべきかの研究は少ない。

### 4.2 方策 2 実現方法

本節では、航空機への搭乗時間延長防止問題における方策 2 実現方法を示す。4.1.1 節の内容から、乗客誘導戦略にもとづく指示に従わない乗客の存在が、搭乗時間延長を生じさせている可能性が高い。このため、乗客誘導戦略にもとづく指示に従わない乗客に、そのような行動を止めてもらう必要がある。指示に従わない乗客にそのような行動を止めてもらうことは、方策 2 の望ましくない行動を減らすことであるといえる。具体的には、乗客に対して搭乗時間延長防止につながる情報の提示を行うことで、乗客誘導戦略にもとづく指示に従いやすくする。

- (1) 搭乗時間を短くするために乗客誘導戦略が作られていること。
- (2) 乗客誘導戦略にもとづく指示に従わない場合、搭乗時間が延びること。

1.4.1 節で、搭乗時間延長防止問題では、乗客誘導戦略にもとづく指示に従って協力行動をとることが自己の利益にもなることを認識している乗客が多い可能性が高いことを述べた。また、非協力行動をとる乗客は、乗客誘導戦略にもとづく指示に従うことが自己の利益にもなることを認識していない可能性があることを述べた。協力行動をとることが自己の利益にもつながることを意識している状況下で、協力行動が自己の利益につながることを示す情報を得ると、人々は協力行動をよりとりやすくなることが示唆されている [77]。すなわち、社会的ジレンマの非協力行動をとらないようにするために、前述の2つ情報を乗客に提示する。

乗客に対する具体的な情報の提示は、次の2つによって行う。1つは、乗客誘導戦略毎に搭乗順違反者の割合を変えた場合の搭乗時間の情報を示す。もう1つは、搭乗順違反者がいる場合の様子をアニメーションを使って視覚的に示す。これらのデータ取得およびアニメーションの作成は、いずれもエージェントシミュレーションにより行う。

## 4.3 シミュレーション

本節では、エージェントシミュレーションにより乗客誘導戦略毎に搭乗順違反者の割合を変えた場合の搭乗時間を算出する。以下では、4.3.1 節でエージェントベースモデリングによるシミュレーションモデルを説明し、4.3.2 節で乗客誘導戦略を説明する。4.3.3 節でシミュレーション条件を示し、4.3.4 節でシミュレーション結果を示す。

### 4.3.1 エージェントベースモデル

本節では、エージェントベースモデリングによるシミュレーションモデルを説明する。

まず、乗客を乗客エージェントとし、乗客エージェントの搭乗する過程を示す。乗客エージェントの搭乗過程の概要は図 4.1 に示す通りであり、乗客エージェントは次の3段階を得て座席につく。乗客エージェントが乗客誘導戦略の指示に従わない行動は、(b)の時に生じる。

- (a) 搭乗待機場所で搭乗順の指示を待つ。
- (b) 搭乗順の指示に従って搭乗口に向かう。
- (c) 搭乗口から搭乗し自身の座席に座る。

次に、乗客エージェントが(c)の搭乗口から搭乗し自身の座席に座るまでの間にとる6つの行動を以下に説明する。

- (1) 搭乗：乗客エージェントが搭乗口から機内に搭乗すること。
- (2) 探索：乗客エージェントが通路を進みながら、自身の座席を探索すること。



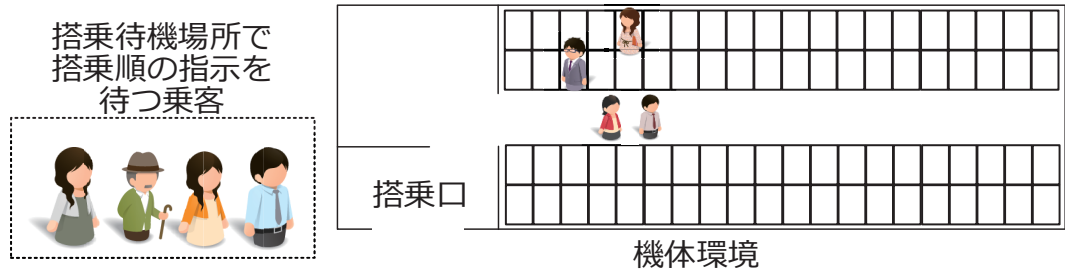


図 4.1: 乗客の搭乗過程の概要

- (3) 着席：乗客エージェントが自身の座席に着席すること。
- (4) 収納：乗客エージェントが機内持ち込み手荷物を収納スペースに収納すること (収納の行動をとる乗客エージェントは全乗客エージェントの一部とする)。
- (5) 移動：通路側の乗客エージェントが先に着席しており，その後に窓側の乗客エージェントが着席しようとする時に，通路側に着席していた乗客エージェントが通路に移動すること。
- (6) 待機：通路の前方にいる乗客エージェントが収納，移動，待機のいずれかの行動を取っているためにその場で待機すること。

### 4.3.2 乗客誘導戦略

本節では，乗客誘導戦略の説明を行う。

まず，想定する航空機の機体モデルを図 4.2 に示す。搭乗口が 1 つがあり，列の数は  $20(I=20)$  であり，1 列の座席数は  $4(J=4)$  とする。

次に，搭乗時間の算出を行う対象の乗客誘導戦略を示す。対象とする乗客誘導戦略は，関連研究 [74][75] を参考に次の 6 つとする。

- 到着順 (fcfs)：到着した乗客から順に搭乗していく搭乗順である。到着した乗客から搭乗していくため違反という行動は存在しない。
- 窓側優先順 (w-a)：指定座席が窓側の乗客から搭乗する。その後，通路側の乗客が搭乗する搭乗順である (図 4.3(a) 参照)。窓側優先順での搭乗順違反者は窓側座席の乗客から呼び出されている際に，通路側座席の乗客が搭乗を開始する。
- 後方優先順 (r-f)：指定座席が機内後方座席の乗客から搭乗する。その後，機内前方座席の乗客が搭乗する搭乗順である (図 4.3(b) 参照)。後方優先順での搭乗順違反者は後方座席の乗客が呼び出されている際に，前方座席の乗客が搭乗を開始する。
- 窓側後方優先順 (w-a+ $\alpha$ )：指定座席が機内後方座席の窓側の乗客から搭乗し，次に後方通路側，前方窓側，最後に前方通路側の乗客が搭乗する搭乗順である (図 4.3(c) 参照)。窓側後方優先順での搭乗順違反者は図 4.3(c) の [1st] の座席の乗客が呼び出されている際に，[1st] 以外の座席の乗客が搭乗を開始する。同様に [2nd] の座席の乗客が呼び出されている際に [2nd] 以外の乗客が，[3rd] の乗客が呼び出されている際に [3rd] 以外の乗客が搭乗を開始する。
- リバースピラミッド (r-pyramid)：指定座席が機内の後方 4/10 の窓側の乗客から搭乗し，次に機内後方 4/10 の通路側の乗客と機内中央 3/10 の窓側の乗客が搭乗する。次に機内中央部 3/10 の通路側の乗客と機内前方 3/10 の窓側の乗客が搭乗す

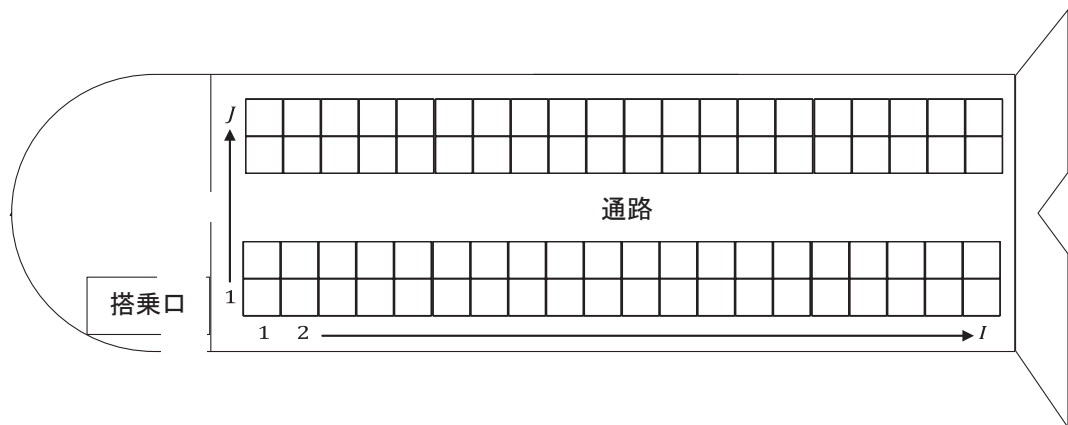
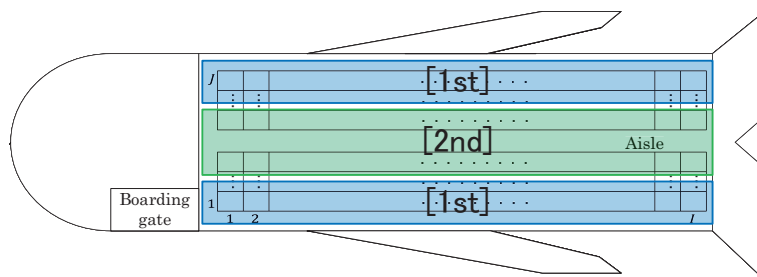
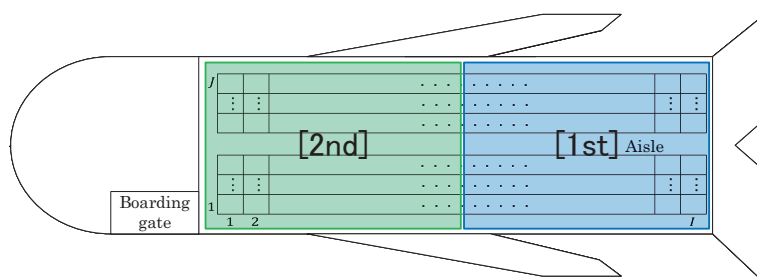


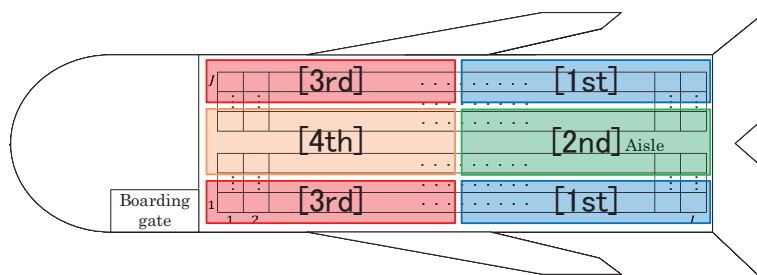
図 4.2: 航空機の機体モデル



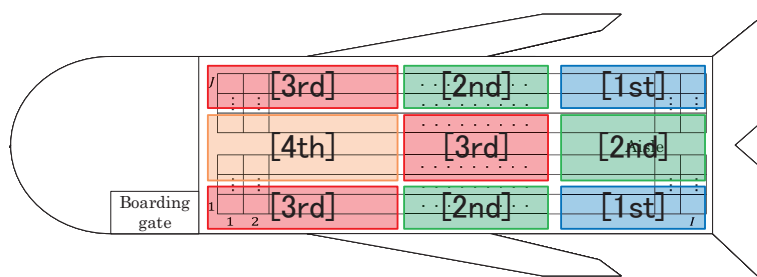
(a) 窓側優先順(w-a)



(b) 後方優先順(r-f)



(c) 窓側後方優先順(w-a +  $\alpha$ )



(d) リバースピラミッド(r-pyramid)

図 4.3: 乗客誘導戦略 (到着順と自由座席を除く)

る。最後に機内前方 3/10 の窓側の乗客が搭乗する搭乗順である (図 4.3(d) 参照). リバースピラミッドでの搭乗順違反者は図 4.3(d) の [1st] の座席の乗客が呼び出されている際に, [1st] 以外の座席の乗客が搭乗を開始する. 同様に [2nd] の座席の乗客が呼び出されている際に [2nd] 以外の座席乗客が, [3rd] の乗客が呼び出されている際に [3rd] 以外の座席の乗客が, [4th] の乗客が呼び出されている際に [4th] 以外の座席の乗客が搭乗を開始する.

- 自由座席 (unreserved): 指定座席ではない (関連研究を踏まえると前方座席を選択する傾向が強いと想定される). 自由座席は到着順と同様に到着した乗客から搭乗していくため違反という行動は存在しない.

### 4.3.3 シミュレーション条件

本節では, シミュレーション条件を示す. 4.3.1 節で説明したエージェントベースモデルおよび 4.3.2 節で説明した乗客誘導戦略を使ってシミュレーションを行う. シミュレーションにはマルチエージェントシミュレータ artisoc[51] を利用する.

航空機内の座席は, 4.3.2 節で説明した通り, 20 列 x 4 席/列の全 80 席とする. 初期状態は空席であるとし, 全座席を利用する (つまり, 乗客エージェント数は 80). また, 全乗客エージェントは搭乗待機場所にすでに集合しているものとし遅刻する乗客エージェントはいないものとする. 搭乗順の指示に対する乗客エージェントの反応は俊敏であるとし, 指示内容が異なることによる搭乗時間への影響はないものとする. 収納の行動をとる乗客エージェントの割合は 50% とする. 乗客エージェントが通路を座席 1 つ分進む時間を 1step とし, この値を算出する時間の単位とする. 関連研究にもとづき, 収納の行動に対する待機時間は 3step, 移動あるいは待機の行動に対する待機時間は 5step とする.

6 つの乗客誘導戦略毎に, 乗客誘導戦略にもとづく指示に従わない乗客の割合 (搭乗順違反者割合) を, 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% に変化させ, 搭乗時間を算出する. 各乗客誘導戦略および搭乗順違反者割合毎に 30 回のシミュレーションをおこない平均搭乗時間および 95% 信頼区間を算出する. さらに, シミュレーション結果を検証する目的で通路に移動した乗客エージェント数も算出する.

### 4.3.4 シミュレーション結果

前節で示したシミュレーション条件にもとづく平均搭乗時間の結果を図 4.4 に示す. 横軸は搭乗順違反者割合, 縦軸は平均搭乗時間で乗客誘導戦略毎の変化を示している. さらに, 通路に移動した乗客エージェントの平均人数と割合の結果を表 4.1 に示す. 表

の上半分が平均人数の結果，下半分がその割合である．関連研究の中で示されている結果との比較をするために，乗客誘導戦略の違いによる搭乗時間の変化を確認する．さらに，搭乗順違反者割合が変化した場合の搭乗時間の変化を確認する．

#### 全乗客誘導戦略毎の平均搭乗時間の結果の比較

全乗客エージェントが乗客誘導戦略を順守する場合，全乗客誘導戦略の中でリバースピラミッドが最も搭乗時間を最小にすることがわかる．次いで，窓側後方優先順，窓側優先順，後方優先順，到着順，自由座席という順に搭乗時間は長くなる．搭乗順違反者割合が増加しても，乗客誘導戦略による搭乗時間の短い順番にほとんど違いはないが，リバースピラミッド，窓側後方優先順，窓側優先順は搭乗順違反者割合が増加すると収束する傾向にある．また，後方優先順は搭乗順違反者割合が30%を超えると到着順や自由座席より搭乗時間が長くなることがわかる．搭乗順違反者割合が増加するとリバースピラミッドと窓側後方優先順との差異は小さい．このことは，窓側後方優先でも搭乗時間を短縮することができることを示唆している．

#### 窓側優先順と後方優先順の平均搭乗時間の結果の比較

窓側優先順と後方優先順に着目する．窓側優先順は搭乗順違反者割合が10%を超えても搭乗時間はそれほど増加しないことがわかる．一方，後方優先順は搭乗順違反者割合が10%あたりで搭乗時間が減少している，これは先行研究[76]においても示されている結果である．後方座席の乗客が搭乗する中に前方座席の乗客が混在することで，部分的にリバースピラミッドに似た状況が生じているためであると考えられる．搭乗順違反者割合が10%を超えると搭乗時間は増加傾向となり，30%を超えると大幅に増加する．

これらのことから，自身の座席が後方座席の乗客エージェントほど搭乗順違反をさせないようにすることが重要であるということを示唆しており，後方優先順で搭乗順違反者が増加するとその影響が大きいということがわかる．

#### 自由座席と後方優先順との平均搭乗時間の結果の比較

自由座席と後方優先順に着目する．自由座席は機体前方に着席する傾向があるとしてシミュレーションを行った．後方優先順において搭乗順違反者割合が増加すると，前方座席の乗客エージェントが通路をふさぐ可能性が増えるため，平均搭乗時間が長くなると考えられる．このことから，後方優先順は搭乗順違反者割合が増加すると自由座席より平均搭乗時間が大きくなることがわかる．

比較した上記3点の結果は関連研究で示されている内容と合っているため，本節での確認結果を乗客に提示する情報として利用する．表4.1に示した通路に移動した乗客エージェントの平均人数と割合の結果から，座席間の干渉を避けるための乗客誘導戦

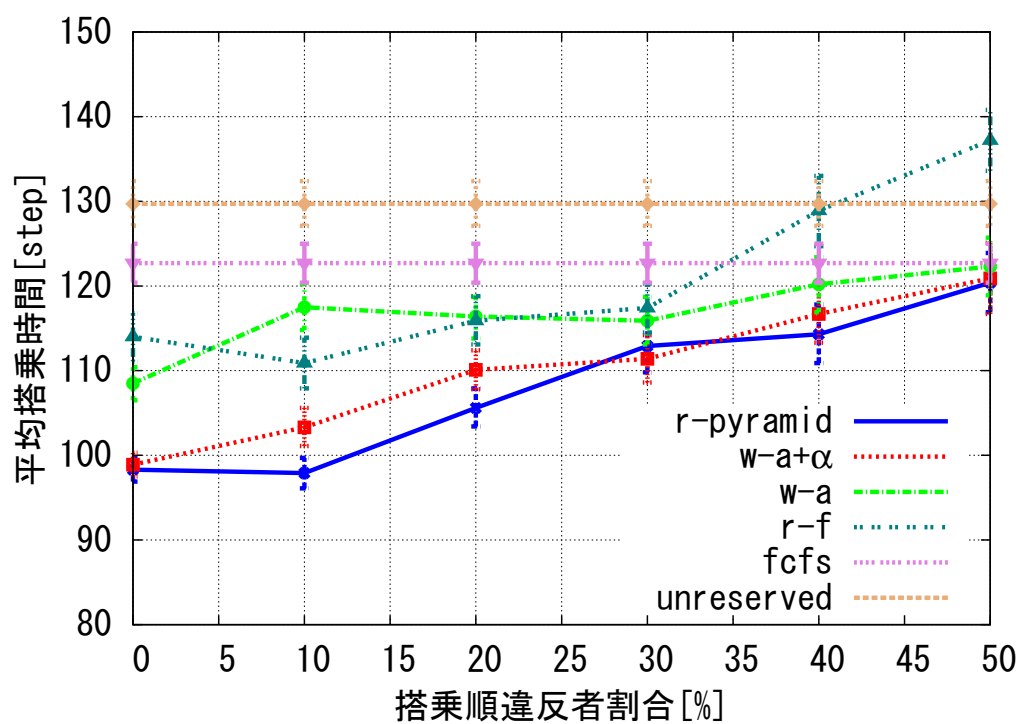


図 4.4: 乗客誘導戦略毎の搭乗順違反者割合と平均搭乗時間

表 4.1: 通路に移動した乗客エージェントの平均人数と割合

乗客誘導戦略 (Boarding order)	平均人数 (Number of agent(average))					
	0.0%	10.0%	20.0%	30.0%	40.0%	50.0%
r-pyramid	0.00	0.27	1.87	5.60	9.80	14.73
w-a+ $\alpha$	0.00	0.23	1.57	4.87	8.60	13.03
w-a	0.00	2.90	6.33	10.57	14.47	22.10
r-f	19.63	19.23	19.30	21.93	27.37	28.67
fcfs	20.93	20.93	20.93	20.93	20.93	20.93
Unreserved	19.73	19.73	19.73	19.73	19.73	19.73

乗客誘導戦略 (Boarding order)	割合 (Rate)[%]					
	0.0%	10.0%	20.0%	30.0%	40.0%	50.0%
r-pyramid	0.00	0.33	2.33	7.00	12.25	18.42
w-a+ $\alpha$	0.00	0.29	1.96	6.08	10.75	16.29
w-a	0.00	3.63	7.92	13.21	18.08	27.63
r-f	24.54	24.04	24.13	27.42	34.21	35.83
fcfs	26.17	26.17	26.17	26.17	26.17	26.17
Unreserved	24.67	24.67	24.67	24.67	24.67	24.67



略である，リバースピラミッド，窓側後方優先順，窓側優先順，においては搭乗順違反者割合が増えると座席間の干渉による移動が増えることが確認できる．このことから，搭乗する航空機の乗客誘導戦略が窓側優先を含む場合，搭乗順違反者割合が増えた場合の影響が顕著となることがわかる．

#### 4.4 乗客に対する情報の提示

本節では，4.3 節のシミュレーションにより得られた結果を使って，乗客に対する情報の提示方法を説明する．

4.2 節で望ましくない行動を減らすために，(1) 搭乗時間を短くするために乗客誘導戦略が作られていること，(2) 乗客誘導戦略にもとづく指示に従わない場合，搭乗時間が延びること，を乗客へ提示することを述べた．

(1) に関しては，まず，搭乗順違反者の割合がゼロの条件における各乗客誘導戦略毎の搭乗時間を伝えることで，乗客誘導戦略が作られている意義を示す．次に，リバースピラミッドや窓側後方優先順のように座席の領域を，前方と後方および窓側と通路側の組み合わせで決めている方法はより搭乗時間を短くすることを伝える．

(2) に関しては，まず，搭乗順違反者の割合が増えることでいずれの乗客誘導戦略も搭乗時間が延びていくことを伝える．次に，リバースピラミッドや窓側後方優先順のように搭乗順違反者の割合がゼロの時に効率的である方法ほど，搭乗順違反者の割合が増えた場合の影響が顕著であることを伝える．さらに，搭乗順違反者がいる場合に，座席間の干渉により通路側の乗客が一度通路に移動することや，通路での干渉により他の乗客が移動待ち (待機) となる状況を図 4.5 に示すようなアニメーションを使って提示する．

#### 4.5 本章のまとめ

本章では，航空機への搭乗時間延長防止問題における方策 2 実現方法を示して問題解決を図り，シミュレーションにより方策 2 実現方法の有効性を検証した．方策 2 実現方法とは，サービス利用者である乗客に対して搭乗時間延長防止につながる情報の提示を行うことで乗客の望ましくない行動を減らす方法である．

4.1.1 節では，搭乗時間延長防止問題の説明を行い，搭乗時間延長防止問題が航空会社にとって解決すべき優先度の高い問題であることを示し，搭乗時間延長が生じる背景を述べた．4.1.2 節では，関連研究の多くが乗客誘導戦略に関するものであることを示すと共に，乗客誘導戦略そのものや搭乗順違反者がいる場合の影響をどのように乗客に伝えるべきかの研究が少ないことを述べた．4.2 節では，協力行動が自己の利益につながることを示す情報を得ると人々は協力行動をよりとりやすくなることを考慮し



図 4.5: 搭乗時間延長につながる座席間の干渉および通路での干渉の様子を示すアニメーション

て、乗客に搭乗時間延長防止につながる情報の提示を行う方法を示した。4.3 節では、乗客に提示する情報を得るために実施するシミュレーションに関して、シミュレーションモデルおよび乗客誘導戦略の説明を行い、シミュレーション条件およびシミュレーション結果を示した。シミュレーション結果と先行研究との比較により、乗客誘導戦略毎に搭乗順違反者の割合を変えた場合の搭乗時間の情報は乗客に提示する情報として有効であることを確認した。4.4 節では、4.2 節で述べる実現方法を 4.3 節で得られた結果にもとづく情報を使って乗客に対して提示する具体的な方法を示した。

これらのことから、本章で示した方策 2 実現方法（サービス利用者である乗客に対して搭乗時間延長防止につながる情報の提示を行うことで乗客の望ましくない行動を減らす方法）は、乗客誘導戦略毎の搭乗順違反者の割合を変化させた搭乗時間の情報を乗客に提示することで搭乗順違反者の乗客が取る望ましくない行動を減らすことから、航空機への搭乗時間延長防止問題の解決に有効な実現方法であることを検証した。



## 第5章 結論

本論文では、まずサービス提供者は、自身のサービスリソースだけでサービスを円滑に進めることが困難になりつつあり、サービスを円滑に進めるためには、サービス利用者の協力行動をサービスリソースの一部とみなして活用することが必要になってきていることを述べた。そのような状況から、サービス利用者の協力行動を活用するサービスシステムの設計が求められていることを述べた。次にサービス利用者の協力行動を活用するためには、サービス利用者に協力を強要しないようにすることが重要であり、サービス利用者に強要せず協力行動を促すために、ナッジ理論にもとづく2種類の方策を採用することを説明した。2つのサービスシステムの問題を解決するためにそれぞれの問題に適した方策を採用した実現方法を示し、それぞれの実現方法の有効性をシミュレーションにより検証することが本研究の目的であることを述べた..

本研究の成果は、2つのサービスシステムの問題を解決するためにそれぞれの問題に適した方策を採用した実現方法を示し、それぞれの実現方法の有効性をシミュレーションにより検証したことである。食品廃棄削減問題では、方策1 実現方法（賞味期限に応じた価格をサービス利用者である消費者に提示することで消費者の望ましい行動を増やす方法）を示した。内的参照価格と外的参照価格の差を考慮して賞味期限に応じた価格の算出を行い、賞味期限に応じた複数の価格を同時に消費者に提示することで、消費者が賞味期限の近い商品を購入する望ましい行動を増やすことから、食品廃棄削減問題の解決に有効であることを検証した。航空機への搭乗時間延長防止問題では、方策2 実現方法（サービス利用者である乗客に対して搭乗時間延長防止につながる情報の提示を行うことで乗客の望ましくない行動を減らす方法）を示した。乗客誘導戦略毎の搭乗順違反者の割合を変化させた搭乗時間をシミュレーションにより算出し、先行研究との比較により、乗客に提示する情報として有効であることを確認した。1.4.1 節で述べたように、協力行動が自己の利益につながることを示す情報を得ると人々は協力行動をよりとりやすくなることから、乗客誘導戦略毎の搭乗順違反者の割合を変化させた搭乗時間の情報を乗客に提示する方法は、搭乗順違反者の乗客が取る望ましくない行動を減らすことから、搭乗時間延長防止問題の解決に有効であることを検証した。

以下、本論文で述べた内容の要点と主要な知見を要約し、今後の研究課題と展望を述べることによって本論文の結論とする。

第1章では、まず1.1節で、サービス提供者は、自身のサービスリソースだけでサービスを円滑に進めることが困難になりつつあり、サービス利用者の協力行動を活用するサービスシステムの設計が求められていることを述べた。サービス利用者の協力行動を活用するためには、サービス利用者に協力を強要しないようにすることが重要であり、本研究ではサービス利用者に強要せずに協力行動を促すために、ナッジ理論にもとづく2種類の方策を採用することを述べた。2種類の方策とは以下の内容である。

方策1：サービスの各利用者に、そのサービスを円滑に進めることを助ける行動（望ましい行動）を増やしてもらうこと。

方策2：サービスの各利用者に、そのサービスを円滑に進めることを妨げる行動（望ましくない行動）を減らしてもらうこと。

2つのサービスシステムの問題を解決するために、それぞれの問題に適した方策を採用した実現方法を示し、それぞれの実現方法の有効性をシミュレーションにより検証することが本研究の目的であることを述べた。次に1.3節で、食品廃棄削減問題と搭乗時間延長防止問題の概要を説明した。食品廃棄削減問題では、食品廃棄発生の背景に、サービス利用者である消費者が賞味期限や消費期限のより遠い食品を購入する傾向があり、売れ残りにつながることを説明した。サービス利用者である消費者が賞味期限や消費期限のより遠い食品を購入する理由には、食品偽装などが起きたことから消費者の食に対する安全の意識が強くなったこと、大規模小売店が増えたことや乗用車の保有台数が増えたことで買い物の頻度が週1回程度になっていること、などがあることを説明した。搭乗時間延長防止問題では、搭乗時間延長が生じる背景に、航空会社が作成する乗客誘導戦略の詳細（座席間の干渉や通路での干渉）が案内されていないこと、搭乗時間を短くするための最適な乗客誘導戦略が確立されていないこと、などがあることを説明した。さらに1.4節で関連研究の協力行動、行動経済学、情報通信技術の説明を行った。

第2章では、サービスシステムの問題における方策1実現方法および方策2実現方法の有効性を検証するために利用するエージェントベースモデリングおよびシミュレーションの説明を行った。2.1節でエージェントベースモデリングに関して説明し、エージェントにもとづくシミュレーションの特徴を示した。さらに、エージェントベースモデリングにもとづいて行うシミュレーションが、有効性、有用性、拡張性を有すべきことを説明した。2.2節でマルチエージェントシミュレーションの説明を行い、エージェント自身が行動を選択する際には不合理な選択も行うことや個々のエージェントでは不合理な選択であっても、分析対象をマクロ的にみた時には合理性のある行動となる場合があることを説明した。2.3節でエージェントモデルを使ったシミュレーションを説明し、利用するマルチエージェントシミュレータが擬似乱数を用いることから、同一シナリオをシード値を変えて複数回実施した上で統計的な性質を確認する必要がある

あることを説明した。

第3章では、食品廃棄削減問題における方策1実現方法を示し、方策1実現方法の有効性をシミュレーションにより検証した。方策1実現方法とは、賞味期限に応じた価格をサービス利用者である消費者に提示することで消費者の望ましい行動を増やす方法である。3.1.1節では、商品の購入時に賞味期限の確認をすることに関するアンケート結果から食品廃棄発生背景を述べ、食品廃棄削減問題を解決すべき理由を述べた。3.1.2節では、食品廃棄発生および食品廃棄削減の関連研究を示し、消費者は食品廃棄削減につながる行動をあまりとらないことを述べた。3.2節では方策1実現方法を具体化し、食品廃棄削減につながる望ましい行動を増やしてもらうために賞味期限に応じた価格を消費者に提示する方法を示した。3.3節では、賞味期限に応じた価格を消費者に提示する方法の有効性を検証するためのシミュレーションの、シミュレーションモデル、シミュレーション条件、シミュレーション結果を示した。シミュレーション結果から、まずシミュレーションモデルが検証に利用できることを確認し、次に賞味期限に応じた価格を消費者に提示する方法が食品廃棄削減問題の解決に有効であることを確認した。3.4節では、賞味期限に応じた価格を消費者に提示する試作スマートフォンアプリケーションの説明を行った。

第4章では、航空機への搭乗時間延長防止問題における方策2実現方法を示して問題解決を図り、方策2実現方法の有効性をシミュレーションにより検証した。方策2実現方法とは、サービス利用者である乗客に対して搭乗時間延長防止につながる情報の提示を行うことで乗客の望ましくない行動を減らす方法である。4.1.1節では、搭乗時間延長防止問題の説明を行い、搭乗時間延長防止問題が航空会社にとって解決すべき優先度の高い問題であることを示し、搭乗時間延長が生じる背景を述べた。4.1.2節では、関連研究の多くが乗客誘導戦略に関するものであることを示すと共に、乗客誘導戦略そのものや搭乗順違反者がいる場合の影響をどのように乗客に伝えるべきかの研究が少ないことを述べた。4.2節では、協力行動が自己の利益につながることを示す情報を得ると人々は協力行動をよりとりやすくなることを考慮して、乗客に搭乗時間延長防止につながる情報の提示を行う方法を示した。4.3節では、乗客に提示する情報を得るために実施するシミュレーションに関して、シミュレーションモデルおよび乗客誘導戦略の説明を行い、シミュレーション条件およびシミュレーション結果を示した。シミュレーション結果と先行研究との比較により、乗客誘導戦略毎に搭乗順違反者の割合を変えた場合の搭乗時間の情報は乗客に提示する情報として有効であることを確認した。4.4節では、4.2節で述べる実現方法を4.3節で得られた結果にもとづく情報を使って乗客に対して提示する具体的な方法を示した。

今後の研究課題として、サービス利用者の協力行動の活用を必要とするサービスシステムの設計に関する検証をさらに重ねていくことがあげられる。その理由は、提供されるサービスの内容や形態は様々であることや今後懸念される問題があるからであ

る．具体的には，人手不足によりサービス提供者がサービスの内容や形態を変えざるを得ないことがあげられる．人手不足に対応するために，日本でもサービス提供者は省力化などを目的にセルフレジや自動チェックインなどを導入している．しかし，省力化だけを目的にサービスの内容や形態を変えることは，半ば強制的にサービス利用者の行動を変えてしまう可能性がある．このため，サービスの内容や形態を変える際にもサービス利用者の協力行動を積極的に活用することを前提としたサービスシステムの設計が必要であると考える．

今後の展望は，SDGs(持続可能な開発目標)やエシカル消費(倫理的消費：消費者それぞれが各自にとっての社会的課題の解決を考慮したり，そうした課題に取り組む事業者を応援しながら消費活動を行うこと)など，消費者に新たに求められている行動を強要せずに促すために，本研究の知見を応用していくことである．



# 謝辞

本研究は、愛知県立大学情報科学部／情報科学研究科奥田隆史教授のご指導のもとに行われました。奥田教授には社会人大学院生を志すきっかけをいただき、入学後も研究内容に関する議論を通じて様々なご指導や助言をいただきました。また、愛知県外に居住することにもご配慮いただきながら議論の場を設けていただき、研究活動を支えていただきました。ここに深く感謝申し上げます。

また、永井昌寛教授、村上和人教授には、本論文の審査において貴重なご指摘をいただきご指導いただきました。心より御礼申し上げます。

さらに、同時期に奥田研究室に所属されていた内田君子氏、井手広康氏、池谷健吾氏、土井崇氏、三浦智裕氏、小林敏也氏、加藤翔冴氏、田中秀明氏、林秀和氏、苗為氏、富山侑子氏、三賀本直也氏、山北美穂氏、加藤光雄氏、伊神聖人氏、兵藤悠也氏、森友哉氏、キルカット・イエフリ氏、宇野颯人氏、鈴木一輝氏、二井克氏、西山幸寛氏、五十嵐響氏、石原弘将氏、片桐一憲氏、坂下航平氏のみなさまとは色々な議論をさせていただく中で多くの刺激をいただくと共にご協力いただきました。本当にありがとうございました。

最後に社会人大学院生を支えてくれた妻の京子、妹の奥美千代、そして両親の榮一と美雪に感謝いたします。



## 参考文献

- [1] Richard H Thaler, Cass R Sunstein: Nudge: Improving decisions about health, wealth and happiness, Penguin Books, 2009, リチャード・セイラー, キャス・サンスティーン (著), 遠藤真美 (訳): 実践行動経済学ー健康, 富, 幸福への聡明な選択, 日経 B P 社, 2009.
- [2] 清水滋: 入門「サービス」の知識, 株式会社日本実業出版社, 1994.
- [3] 近藤隆雄: サービスマーケティング [第 2 版] ーサービス商品の開発と顧客価値の創造ー, 生産性出版, 2010.
- [4] 近藤隆雄: サービス・マネジメント入門 [第 3 版] ーものづくりから価値づくりの視点へー, 生産性出版, 2007.
- [5] 消費者庁: 食べもののムダをなくそうプロジェクトー食品ロス削減のため, できることから始めようー, [http://www.caa.go.jp/adjustments/index\\_9.html](http://www.caa.go.jp/adjustments/index_9.html), 2015 年 10 月閲覧.
- [6] 経済産業省: ニュースリリース: 需要予測の高度化・共有により返品食品ロス削減に成功しました, <http://www.meti.go.jp/press/2016/04/20160425002/20160425002.pdf>, 2016 年 7 月閲覧.
- [7] 環境省, 農林水産省: 食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律 (平成十二年法律第百十六号, 最終改正: 平成十九年法律第八十三号), [http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syokuhin/s\\_hourei/pdf/hou\\_data1.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syokuhin/s_hourei/pdf/hou_data1.pdf), 2018 年 11 月閲覧.
- [8] 佐藤康一郎: “食品廃棄物削減と食品リサイクルの現状と課題”, 専修大学社会科学研究所, 社会科学年報, Vol.48, pp.93–104(2014).
- [9] 石渡正佳: 産業 G メンが見た食品廃棄の裏側, 日経 B P 社, 2016.
- [10] 後藤萌, 笥祐介: “食品の期限表示の新たな表示方法に関する研究”, 芸術工学会誌, Vol.58, pp.59–64(2012).

- [11] 経済協力開発機構 (OECD)(編著), 齋藤長行 (監訳), 濱田久美子 (訳): 世界の行動  
インサイトー公共ナッジが導く政策実践, 株式会社明石書房, 2018.
- [12] 南方建明: 流通政策と小売業の発展, 株式会社中央経済社, 2013.
- [13] 航空法 (昭和二十七年法律第二百三十一号), [http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws\\_search/lsg0500/detail?lawId=327AC0000000231&openerCode=1](http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=327AC0000000231&openerCode=1), 2018 年 11 月閲覧.
- [14] Menkes H.L. van den Briel, J.Rene Villalobos, Gary L. Hogg: “The Aircraft Boarding Problem”, IIE Annual Conference, 2003.
- [15] 日本航空株式会社: ご搭乗方法, <https://www.jal.co.jp/dom/boarding/>, 2018 年 10 月閲覧.
- [16] 全日本空輸株式会社 (ANA): 搭乗案内方法について, <https://www.ana.co.jp/ja/jp/domestic/departure/inflight/bording-information.html>, 2018 年 10 月閲覧.
- [17] 株式会社ソラシドエア: 搭乗案内方法の変更について, <https://www.solaseedair.jp/info/2018/10/2018101.html>, 2018 年 10 月閲覧.
- [18] Bowles Samuel, Gintis Herbert: A cooperative species: Human reciprocity and its evolution, Princeton University Press, 2011, サミュエル・ボウルズ, ハーバート・ギンタス (著), 竹澤正哲, 大槻久, 高橋伸幸, 稲葉美里, 波多野礼佳子 (訳): 協力する種: 制度と心の共進化 (叢書《制度を考える》), NTT 出版株式会社, 2017.
- [19] 山岸俊男: 社会的ジレンマ「環境破壊」から「いじめ」まで, PHP 新書, 2000.
- [20] 山岸俊男: “社会的ジレンマ解決の意図せざる結果”, 数理社会学会, Vol.4, No.1, pp.21–37(1989).
- [21] 大垣昌夫, 田中沙織: 行動経済学 – 伝統的経済学との統合による新しい経済学を目指して, 有斐閣, 2014.
- [22] Richard H. Thaler: The Winner’s Curse, Paradoxes and Anomalies of Economic Life, The Free Press, 1992, リチャード・セイラー (著), 篠原勝 (訳): セイラー教授の行動経済学入門, ダイヤモンド社, 2007.
- [23] 川西諭: 知識ゼロからの行動経済学入門, 株式会社幻冬舎, 2016.
- [24] 中野明: IT 全史-情報技術の 250 年を読む, 祥伝社, 2017.

- [25] 総務省: ICT サービスの利用動向, 平成 30 年版情報通信白書, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/n52000000.pdf>, 2018 年 10 月閲覧.
- [26] 総務省: 日米の ICT とイノベーションの現状, 平成 30 年版情報通信白書, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/n13000000.pdf>, 2018 年 10 月閲覧.
- [27] 総務省: 日米の ICT とイノベーションの現状, 平成 30 年版情報通信白書, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/n14000000.pdf>, 2018 年 10 月閲覧.
- [28] 総務省: スマートフォンの保有状況, 総務省, 平成 27 年度情報通信白書, 図表 1-1-3-4, 2016.
- [29] 大谷卓史: “インターネットの複数の文化とネチケット”, 情報管理, Vol.58, No.4, pp.309–312(2015).
- [30] Google LLC: Android Studio, <https://developer.android.com/studio/>, 2018 年 10 月閲覧.
- [31] Apple Inc.: XCode, <https://developer.apple.com/jp/xcode/>, 2018 年 10 月閲覧.
- [32] 内閣府: 科学技術イノベーション総合戦略 2017, <https://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2017/honbun2017.pdf>, 2018 年 12 月閲覧.
- [33] 鈴木麗璽, 有田隆也: “行動多様性に対する情報共有の影響とその適応性-イベント会場における混雑情報提供に関するマルチエージェントシミュレーション”, 一般社団法人電子情報通信学会, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.86, No.11, pp.830–837(2003).
- [34] 太田浩史: “待ち行列ネットワークモデルによる都市空間のシミュレーション”, 日本建築学会計画系論文集, Vol.78, No.691, pp.2007–2015(2013).
- [35] 木村龍明, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍: “公衆無線 LAN によるデータダウンロードサービスにおけるユーザの協調行動の有効性に関する研究”, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.96, No.7, pp.662–669(2013).
- [36] 出口弘, 木嶋恭一: エージェントベースの社会システム科学宣言, 勁草書房, 2009.

- [37] 細谷功: メタ思考トレーニング 発想力が飛躍的にアップする 34 問, 株式会社 PHP 研究所, 2016.
- [38] 廣瀬通孝, 小木哲朗, 田村善昭: シミュレーションの思想, 財団法人東京大学出版会, 2002.
- [39] 木下哲男 (編): エージェントシステムの作り方, 社団法人電子情報通信学会, 2001.
- [40] 寺野隆雄: “なぜ社会システム分析にエージェント・ベース・モデリングが必要か”, 特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合, Vol.4, No.2, pp.56–62(2010).
- [41] 寺野隆雄: “エージェント・ベース・モデリングへの招待”, 公益社団法人日本オペレーションズ・リサーチ学会, オペレーションズ・リサーチ:経営の科学, Vol.49, No.3, pp.131–136(2004).
- [42] Robert Axelrod: The Complexity of Cooperation, Agent-Based Models of Competition and Collaboration, Princeton University Press, 1997, ロバート・アクセルロッド (著), 寺野隆雄 (監訳): 対立と協調の科学ーエージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明ー, ダイヤモンド社, 2003.
- [43] 鳥海不二夫, 山本仁志: “マルチエージェントシミュレーション: 1. マルチエージェントシミュレーションの基本設計”, 情報処理, Vol.55, No.6, pp.530–538(2014).
- [44] 山本和也: 人工社会の可能性ーネーションの複雑性, 有限会社書籍工房早山, 2008.
- [45] Craig W. Reynolds: “Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model”, ACM SIGGRAPH computer graphics, Vol.21, No.4, pp.25–34(1987).
- [46] 石井秀明, 林直樹, 桜間一徳, 畑中健志: マルチエージェントシステムの制御, 株式会社コロナ社, 2015.
- [47] 大内東, 山本雅人, 川村秀憲: マルチエージェントシステムの基礎と応用ー複雑系工学の計算パラダイム, 株式会社コロナ社, 2002.
- [48] 菊地登志子: “利他的エージェントが生みだす持続可能社会”, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol.125, No.7, pp.1063–1069(2005).
- [49] Argonne National Laboratory: <http://repast.sourceforge.net/>.
- [50] 山影進: 人工社会構築指南～artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門～, 書籍工房早山, 2007.

- [51] 株式会社構造計画研究所：MAS コミュニティ，<http://www.kke.co.jp/>.
- [52] 和泉潔，斎藤正也，山田健太：マルチエージェントのためのデータ解析，株式会社コロナ社，2017.
- [53] 国民生活産業・消費団体連合会：食品廃棄削減に向けた消費者意識調査結果報告書，[http://www.seidanren.jp/pdf/syouhisya\\_ishikityousa2.pdf](http://www.seidanren.jp/pdf/syouhisya_ishikityousa2.pdf)，2015 年 10 月閲覧.
- [54] 東京都消費者月間実行委員会：食の安全に関する消費者意識と消費行動調査報告書，<http://kurashifesta-tokyo.org/2013/special/pdf/chosahokoku.pdf>，2015 年 10 月閲覧.
- [55] 城取博幸，渡邊常和，鈴木ちはる，下野勝映：すぐ分かるスーパーマーケット日配の仕事ハンドブック，株式会社商業界，2014.
- [56] 農林水産省：食品ロスの削減に向けて，[http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku\\_loss/attach/pdf/161227\\_4-76.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/attach/pdf/161227_4-76.pdf)，2018 年 11 月閲覧.
- [57] 農林水産省：食品ロス統計調査（世帯調査・外食産業調査）の概要，[http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/syokuhin\\_loss/gaiyou/](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/syokuhin_loss/gaiyou/)，2016 年 7 月閲覧.
- [58] 大沼進：“ライフスタイルから見る環境配慮行動－消費購買行動の類型化による人びとの特徴－”，廃棄物資源循環学会論文誌，Vol.22，No.2，pp.101-113(2011).
- [59] 読売新聞：食品ロスをなくそう～消費者啓発・見切り品活用＊使い忘れ防ぐアプリ，2016 年 2 月 19 日号.
- [60] 一般社団法人日本有機資源協会：食品ロス削減のための商習慣検討ワーキングチームが本年度成果を公表・納品期限と賞味期限の見直し進む，[http://www.dei.or.jp/aboutdei/pdf/press/press\\_150317\\_01.pdf](http://www.dei.or.jp/aboutdei/pdf/press/press_150317_01.pdf)，2015 年 10 月閲覧.
- [61] 前田洋枝，広瀬幸雄，河合智也：“廃棄物発生抑制行動の心理学的規定因”，環境科学会誌，Vol.25，No.2，pp.87-94(2012).
- [62] 小野雅之，堀奈緒美：“コンビニエンスストアにおける見切り販売による食品廃棄削減の可能性”，日本農業市場学会，農業市場研究，Vol.22，No.2，pp.52-57(2013).
- [63] 青木道代：“情報としての価格－商品および消費者特性による影響－”，消費者行動研究，Vol.3，No.2，pp.97-114(1996).

- [64] Tversky, Amos, and Daniel Kahneman: “Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty.”, *Journal of Risk and uncertainty*, Vol.5, No.4, pp.297–323(1992).
- [65] ダニエル・カーネマン (著), 村井章子 (訳): ファスト & スロー (下), 早川書房, 2012.
- [66] United States Department of Transportation: Aviation Glossary, [https://www.transtats.bts.gov/DATABASES.ASP?Mode\\_ID=1&Mode\\_Desc=Aviation&Subject\\_ID2=0%20&pn=1](https://www.transtats.bts.gov/DATABASES.ASP?Mode_ID=1&Mode_Desc=Aviation&Subject_ID2=0%20&pn=1), 2018 年 11 月閲覧.
- [67] 市江正彦: 大手航空会社と台頭する格安航空会社との競争をどう生き抜くか? (スカイマーク社長), 株式会社財界研究所, 財界 2018 年 11 月 20 号, 2018.
- [68] 国土交通省: 航空輸送サービスに係る情報公開, [http://www.mlit.go.jp/koku/h28zigyo\\_bf\\_14.html](http://www.mlit.go.jp/koku/h28zigyo_bf_14.html)
- [69] SKYTRAX: The world’s Best Airlines 2015: Oscars of the aviation industry, <http://www.worldairlineawards.com/>, 2016, 2016 年 7 月閲覧.
- [70] 山村高淑: “観光革命と 21 世紀: アニメ聖地巡礼型まちづくりに見るツーリズムの現代的意義と可能性”, 観光学高等研究センター叢書, Vol.1, pp.3–28(2009).
- [71] 鈴木真二, 岡野まさ子: 現代航空論—技術から産業・政策まで, 一般財団法人東京大学出版会, 2012.
- [72] 鈴木真二: ダイナミック図解 飛行機のしくみパーフェクト辞典, 株式会社ナツメ社, 2015.
- [73] Boeing: The Role of Computer Simulation in Reducing Airplane Turn Time, *AERO magazine*, QTR\_01 1998, [http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_01/textonly/t01txt.html](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_01/textonly/t01txt.html), 2018 年 10 月閲覧.
- [74] Jason H. Steffen: “Optimal boarding method for airline passengers”, *Journal of Air Transport Management*, Vol.14, No.3, pp.146–150, 2008.
- [75] Jason H. Steffen, Jon Hotchkiss : “Experimental test of airplane boarding methods”, *Journal of Air Transport Management*, Vol.18, No.1, pp.64–67, 2012.
- [76] 中山藍, 宮代隆平: “航空機における乗客搭乗戦略の最適化”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2015 年春季研究発表会, 1-B-8, 2015.
- [77] 藤井聡, 柳田雅史: “他者の協力行動に関するフィードバック情報が道德意識に及ぼす影響”, *心理学研究*, Vol.76, No.1, pp.35–42(2005).



# 付録

## A プロスペクト理論における価値関数

プロスペクト理論における価値関数は式 (A.1) で定義される [21][64].  $x$  は, 参照点 ( $x=0$ ) からの利得 ( $x \geq 0$ ) または損失 ( $x < 0$ ) である. 本稿では, 式内の各パラメータ値にそれぞれ  $\alpha = \beta = 0.88$ ,  $\lambda = 2.25$  [64] を使用する. 式 (A.1) をグラフにするとおよそ図 A.1 のようになる. 参照点 ( $x=0$ ) からの絶対値が同じであっても利得 ( $x \geq 0$ ) か損失 ( $x < 0$ ) で感じる価値が異なることを示している.

$$u(x) = \begin{cases} x^\alpha & (x \geq 0) \\ -\lambda (-x)^\beta & (x < 0) \end{cases} \quad (\text{A.1})$$

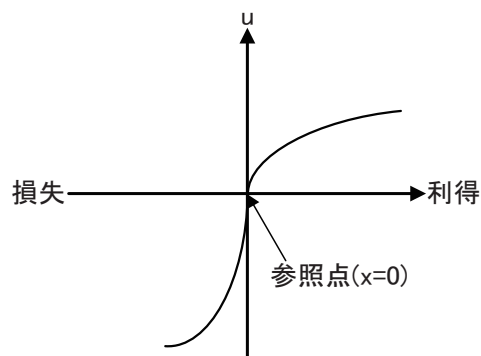


図 A.1: 価値関数



# 研究業績（第一著者）

## I 学術論文（査読付き）

- (1) Yoichi Utsunomiya, Yuko Tomiyama, Takashi Okuda, “Evaluation of boarding time of aircraft considering inexperienced passengers”, Information Engineering Express, International Institute of Applied Informatics, Vol.3, No.4, pp.11–20, 2017.
- (2) 宇都宮陽一, 富山侑子, 奥田隆史, “食品廃棄削減のためのスマートフォンアプリケーションによる消費者の購買行動を考慮した価格提示の有効性の検証”, 電気学会論文誌 C（電子・情報・システム部門誌）, Vol.138, No.6, pp.737–742, 2018.

## II 国際会議（査読付き）

- (1) Yoichi Utsunomiya, Takashi Okuda, “User’s moderate cooperation which helps operation of common resources”, The Second International Conference on Computing Technology and Information Management(ICCTIM), pp.19–24, 2015.  
(146, UTHM, Batu Pahat, Malaysia, April 21, 2015)
- (2) Yoichi Utsunomiya, Yuko Tomiyama, Takashi Okuda, “Evaluation by the Multi-Agent Simulation of Aircraft Boarding Process in Consideration of the Inexperienced Passengers”, IEEE International Conference on Agents 2016, pp.120–121, 2016.  
(Poster Session 2, Kunibiki Messe, Matsue, Japan, September 30, 2016)
- (3) Yoichi Utsunomiya, Takashi Okuda, “Verification of Flow of Commuters for Alleviating Congestion at the Time of Rush Hour”, 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), pp.103–107, 2016.  
(953, Marina Bay Sands, Singapore, November 23, 2016)
- (4) Yoichi Utsunomiya, Takashi Okuda, “Analysis on Assignment Balance of Store Staff by Multistage Queue Model”, 2017 IEEE Region 10 Conference (TENCON),

pp.2035–2040, 2017.

(1570380286, Penang Island, Malaysia, November 8, 2017)

- (5) Yoichi Utsunomiya, Takashi Okuda, “Proposal of Price Presentation by Smartphone Application for Reducing Food Loss”, 2018 IEEE Region 10 Symposium (TEN-SYMP), pp.117–122, 2018.  
(PS-2B-2, Sydney, NSW, Australia, July 4, 2018)

### III 国内学会・研究会

- (1) 宇都宮陽一，奥田隆史，“利用者の協調行動を利用した共有リソースの運用方法”，平成 26 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会予稿集，M4-6，2014.  
(講演番号 M4-6，中京大学，2014/09/09)
- (2) 宇都宮陽一，奥田隆史，“共有リソースの運用における共有情報と利用者の協調行動の関係”，情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集，1G-06，2015.  
(講演番号 1G-06，京都大学，2015/03/17)
- (3) 宇都宮陽一，奥田隆史，“新型成績評価指標のための学修行動シミュレータの改良に向けた検討”，平成 27 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集，A3-7，2015.  
(講演番号 A3-7，名古屋工業大学，2015/09/29)
- (4) 宇都宮陽一，奥田隆史，“人々の自律的協調行動と情報取得の在り方の一検討”，第 22 回社会情報システム学シンポジウム，1-3，2016.  
(講演番号 1-3，電気通信大学，2016/01/21)
- (5) 宇都宮陽一，奥田隆史，“待ち行列が生じるサービスと社会的ジレンマの関係に関する研究”，電気学会東海支部若手セミナー「分散メディアのための情報通信と信号処理第 2 回」，No.6，2018.  
(講演番号 No.6，名古屋工業大学，2016/02/18)
- (6) 宇都宮陽一，奥田隆史，“食品廃棄物を生み出す消費者の購買行動に関する研究”，情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集，6E-03，2016.  
(講演番号 6E-03，慶應大学，2016/03/12)
- (7) 宇都宮陽一，富山侑子，奥田隆史，“スマートフォンアプリケーションを活用した食品ロス削減のための一提案”，平成 28 年度電気・電子・情報関係学会東

海支部連合大会講演論文集, F1-6, 2016.

(講演番号 F1-6, 豊田工業高等専門学校, 2016/09/12)

- (8) 宇都宮陽一, 奥田隆史, “多段待ち行列モデルとなる店舗サービスのスタッフ配置に関する解析”, 情報処理学会研究報告, 数理モデル化と問題解決 (MPS), 2017-MPS-113, No.14, pp.1-5, 2017.

(講演番号 No.14, 沖縄科学技術大学院大学, 2017/06/23)

- (9) 宇都宮陽一, 奥田隆史, “多段待ち行列モデルによる店舗でのサービス時間に関する解析”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会中部支部 Summer Seminar 2017, S10, 2017.

(講演番号 S10, 公立学校共済組合 蒲郡荘, 2017/08/31)

- (10) 宇都宮陽一, 森友哉, 奥田隆史, “多段待ち行列モデルによる店舗でのサービス時間に関する解析”, 平成 29 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集, B4-6, 2017.

(講演番号 B4-6, 名古屋大学, 2017/09/08)

- (11) 宇都宮陽一, 奥田隆史, “多段待ち行列モデルを使った店舗サービスにおける待ち時間の評価”, 情報処理学会研究報告, 数理モデル化と問題解決 (MPS), 2017-MPS-115, No.5, pp.1-5, 2017.

(講演番号 No.5, 北海道大学, 2017/09/25)

- (12) 宇都宮陽一, 奥田隆史, “多段待ち行列モデルを用いた店舗サービスへの IT 導入がもたらす影響の分析”, 情報処理学会研究報告, 数理モデル化と問題解決 (MPS), 2017-MPS-116, No.7, pp.1-6, 2017.

(講演番号 No.7, 奈良女子大学, 2017/12/11)

- (13) 宇都宮陽一, 奥田隆史, “餅まき (餅投げ) 参加者の顧客満足および顧客感動に関する評価”, 平成 30 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集, K3-7, 2018.

(講演番号 K3-7, 名城大学, 2018/09/04)

#### IV 受賞

- (1) 第 23 回情報ネットワーク研究賞

林秀和, 宇都宮陽一, 田学軍, 奥田隆史, “小型無人飛行機を活用した遅延耐性ネットワークの性能評価”, 一般社団法人電子情報通信学会 情報ネットワーク研究専門委員会, 2017/03/02.

