

待ち時間情報提示による複数施設の混雑平準化の効果分析

学生食堂とコンサート会場周辺のトイレによるケーススタディ

Facilities' Congestion Reducing Effect by Providing Information of Wait Time

Case Study on Cafeterias in a College and Public Toilets Around a Concert Hall

○木下 芳郎

Kinoshita Yoshiro

日本工業大学 建築学部 建築学科 准教授 博士 (工学)

Associate Professor, Department of Architecture, Nippon Institute of Technology, Dr. (Eng.)

Summary: This paper's aim is formulating user's facility selecting model and analyzing congestion reducing effect considering providing information of wait time. Although planning suitable scale of facility from number of using frequency is a basic subject of architectural planning, temporal concentrated amount of users and change of utilization style make facility's congestion problem even nowadays. Some facilities are trying to solve the problem by providing information of congestion. But estimating and evaluating the information's effect is not well-argued. This paper formulated a model that explains user's facility selection and enables to analyze congestion reducing effect. To confirm the model's generality, case study was conducted on cafeterias in a college and public toilets around a concert hall. Usage survey and questionnaire indicate that users can't image correct wait time of queue and state of congestion. By using the model, simulations show that if users know facilities' state of congestion, users tend to change their selection and congestion variability among facilities is reduced.

キーワード: 情報提示; 待ち時間; 混雑; 平準化; 効果分析

Keywords: Information providing; wait time; congestion; equalization; effect analyzing.

1. 背景と目的

各種の施設利用時に生じる混雑をとらえて、利用者の安全性や利便性を確保するための適切な施設規模や待ちスペースを計画することは、建築計画における規模論として研究が重ねられ、実用的な計画手法が整備されてきた。ただし、例としてトイレについて現況をみると、大規模な集客施設では、一時的な利用集中時には適切な規模計画がされているとは言い難い混雑状況がみられる。また、近年のトイレ利用形態の変化により、既存施設の計画時の規模では目標の性能を満たせなくなっていることも指摘されている¹⁾。こういった問題は今後の新規施設の計画のなかで改善されていくと考えられるが、既存施設に対しては、規模を増やすといった対応を直ちに実施することが困難である。比較的適用が容易な施策として、情報提示によって利用者の空間的、時間的な分散を促す試みが近年みられる。こういった試みは都心部の列車内や駅の改札付近、空港のトイレの混雑の分散化を意図して実施されているが、情報提示の効果がどの程度あるのかについて評価し、費用対効果を検討するためのデータや分析方法の整備は十分でない状況である。

本研究では、施設の待ち時間などの状況を情報提示することで複数の既存施設の混雑を平準化し、利用者の利便性を向上させるといった施策を対象として、施策によ

る効果を予測、評価する方法を整備することを目的とする。本研究は対象とする施設を限定しない汎用的な方法を作成することを目指す。具体的な施設での個別性を見逃して議論が抽象的にならないよう、大学の食堂施設とコンサート会場周辺のトイレを対象としたケーススタディを通して、情報提示効果の評価を行うための施設選択行動モデルの作成とその実用性の検討を行った。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

施設利用時に生じる混雑状況から適切な施設規模の計画を行う研究については、建築計画学の規模論としてトイレを対象とした α 法²⁾の作成から様々な施設への展開を経て³⁾データの蓄積と計画手法が整備されている。本研究は、施設の規模計画に他施設の待ち状況の情報提示といった要素を取り込み、複数施設の連携によって利用者の混雑を平準化させるための計画手法を作成する。施設計画時に混雑状況などの情報提示を考慮した研究としては、災害時を対象とした研究⁴⁾や高速道路の休憩所での実態調査⁵⁾がみられるが、平常時の施設利用で情報提示の効果の有無を具体的に評価可能とした例はみられない。本研究では、情報提示による効果を推定する方法を作成し、大学の食堂施設とコンサート会場周辺のトイレという限定された例ではあるが、作成した方法によって

雑状況を利用者が把握できていないことが偏りの原因であるとの仮説にもとづき、情報提示によってどの程度混雑の偏りが解消されるかを分析する。

2つ目は埼玉県内にあるコンサート会場周辺の女性用トイレであり、開場前の時間帯にトイレ間の混雑に大きな偏りが生じている。日常的に利用する施設ではないためコンサート会場周辺について詳しく知らない人が大半であるといった点で食堂の場合と異なり、複数のトイレの混雑状況と共にトイレの位置自体を把握していないことや、目にしたトイレの待ち人数から待ち時間を正しくイメージ出来ないことも混雑に偏りが生じる原因と考え、これらの情報を提示することによる効果を分析する。

5-2. 学生食堂でのケーススタディ

5-2-1. 対象とした食堂施設の概要

対象とした大学内にある2ヶ所の食堂施設の概要を表2に示す。2つの食堂は道路を挟んで隣接しているが、提供されるメニューや規模などが異なる。また、食堂Aは券売機が2ヶ所に設置されている。

5-2-2. 現状の混雑状況とイメージの調査

現状の施設で昼食時に生じる混雑状況の偏りの実態をとらえるために、各施設に生じる待ち時間について調べた。実態調査の概要を表3に示す。また、利用者の混雑状況のイメージをアンケートによって調べた。調査の概要を表4に示す。

5-2-3. 各食堂の待ち時間の偏りとイメージとの差

調査結果から、実態としての各施設の待ち時間を図4に示す。調査日では混雑時に券売機の待ち時間で約2～3分、配膳で約1分の待ち時間の違いがみられ、昼食の時間帯の中で、券売機は食堂Bが、配膳では食堂Aが先に混雑するという偏りが見られた。券売機での待ち時間について、利用者のイメージと実態との差を図5に示す。昼食の時間帯の前半は実態よりも短く、後半は長く待ち時間をイメージしている。実施した調査が小規模であるため、今回の調査結果が対象施設の常態であることまでは確認できないが、異なる食堂で混雑の偏りが生じていること、その実態を利用者が正しくイメージできていないことが確認できた。

5-2-4. 食堂選択行動モデル

食堂施設は提供される食事のメニューや値段が異なるため、混雑の違いの原因は、混雑状況を正しくイメージできていないだけでなく、メニューの好みなども影響していることが考えられる。食堂施設の選択に関わる様々な要因が選択行動にどの程度影響しているかを表現し、混雑状況の情報提示による効果を正しく把握するための食堂選択モデルを作成した。食堂選択行動モデルの概要を図6に示す。予備的に実施したアンケート調査で食堂選択の原因としてあげられたメニューの好み、値段、待ち時間、移動距離を要因として、これらを総合した満足

表2 学生食堂の概要

	食堂 A	食堂 B
券売機数	券売機①: 2台、券売機②: 1台	券売機 2台
座席数	約 800人	約 250人
メニュー	定食、麺類、丼もの	カレーライス
価格	200～390円	320円

表3 学生食堂の現状調査の概要

	食堂 A	食堂 B
調査対象	券売機: 2ヶ所 配膳口: 1ヶ所	券売機: 1ヶ所 配膳口: 1ヶ所
調査内容	各施設の券売機、配膳口の待ち時間の変動	
調査方法	待ち行列の最後尾が先頭に達するまでの時間を5分毎に計測する	
調査日	2019年6月18日(火)(通常授業日) 12:30～13:00	

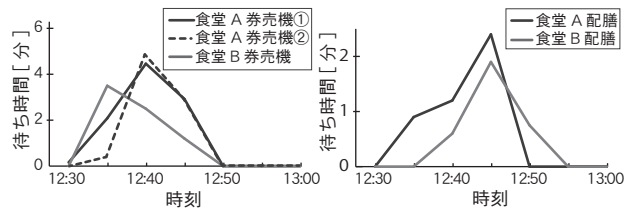


図4 食堂の券売機と配膳での待ち時間の偏り

表4 食堂の待ち時間イメージのアンケート調査

質問内容	食堂 A、B の券売機、配膳口での待ち時間を 12:35～12:55 の 5 分毎について質問する
提示した状況	天気: 晴れ 時期: 6 月下旬の火曜 (通常授業) 午後の授業: 13:15 から
対象者	学生 12 名
調査日	2019 年 7 月 16 ～ 23 日

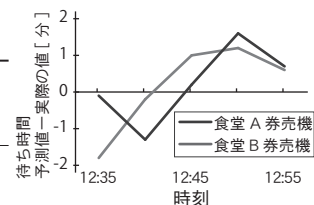


図5 食堂券売機の待ち時間イメージの誤差

$$V_i = S_i - w_i - \alpha_{w/d} d_i - \alpha_{w/c} c_i$$

S_i : メニューの満足度 (待ち時間換算)
 w_i : 待ち時間
 d_i : 移動時間
 c_i : 費用
 $\alpha_{w/d}$: 移動時間と待ち時間の換算値
 $\alpha_{w/c}$: 費用と待ち時間の換算値

図6 食堂選択行動モデル

度によって食堂の選択行動を表現するモデルを作成した。

5-2-5. 食堂の選択行動に関する調査

食堂選択行動モデルに含まれるメニューの好み、値段、移動時間の重視度を表現する未知パラメータを推定するために、表5に示すアンケート調査を行った。調査の結果から、待ち時間が変化しても選択行動に変化が見られない利用者が約3割みられた。その結果を図8のグラフに示す。これは、特定のメニューの嗜好が強く、待ち時間といったその他の要因によって選択行動を変化させることがないためと考えられる。こういった利用者を含めた全員を同質にとらえて未知パラメータを推定すると適切な予測ができないと考え、混雑状況の情報提示の効果がある利用者とならない利用者の2つの属性に分け、待ち時間によって選択行動が変化する可能性のある利用者についての回答結果を用いて未知パラメータを推定した。パラメータの推定方法を図7に、推定した未知パラメータ

を図9に示す。未知パラメータは各満足度や負担感を待ち時間に換算した値を表す。例えば、昼食に定食をとることの満足度は待ち時間が75.6分減った場合と同等であり、カレーは定食に比べると待ち時間に換算して約8分だけ満足度が低い。移動時間1分は同じ時間の待ち時間よりも負担感が大きく、待ち時間6.6分と同等であり、100円の費用は待ち時間4.7分と同等であることを表す。

5-2-6. 情報提示の効果に関するシミュレーション結果

得られた未知パラメータを用いて、待ち時間の情報提示によって食堂の混雑がどの程度平準化されるかについてシミュレーションを行った。シミュレーションで表現する利用者行動の概要と、シミュレーション実施の設定条件を図10に示す。午前の授業終了後に、自らのイメージまたは提示された情報による待ち時間とその他の要因を総合して利用する食堂を選択する。待ち時間の情報はスマートフォンで遠隔から確認できることを想定した。情報提示がある場合、提示された情報をふまえた選択行動によって各食堂の待ち人数が変化し、その変化を反映した待ち時間の情報に応じてその後の選択行動が変化する。なお、食堂Aでは定食以外の食事も提供しているが、効果を確認しやすくするために、対象日の調査時のカレーと定食利用者の67%のみが情報によって選択行動が変化すると設定した。定食以外の利用者による券売機の混雑状況もシミュレーションの中で表現している。利用者の発生頻度や総数は対象日時の計測値を用いた。対象日に生じた選択行動のばらつきによって情報提示の効果が不明確になることを避けるため、情報提示のない場合も、ある場合と同様に選択行動モデルを用いてシミュレーションを行った。

情報提示の有無による待ち時間のシミュレーション結果の違いを図11に示す。待ち時間は券売機での待ち時間と配膳での待ち時間の合計を表す。情報提示がない場合、昼食の時間帯の前半では食堂Aを選択する利用者が多く、待ち時間も長い。券売機は①の方が待ち時間が長かった。これは、券売機②が利用者の発生地点から遠くにあるため、負担感の大きな移動を敬遠したためと考えられる。食堂Bは食堂Aよりも待ち時間が長くなることはなかった。情報提示がある場合、食堂Aの券売機②と食堂Bを選択する利用者が増えることで施設による待ち時間の変化が偏りが小さくなった。待ち時間の変動はほぼ等しくなり、食堂Bの待ち時間がやや長い。これは、食堂Bへの移動時間が食堂Aよりも短いため、待ち時間が多少長くても満足度としては釣り合うかたちになったと考えられる。待ち時間の平均値とヒストグラムを図12に示す。待ち時間の平均値には変化がみられないが、待ち時間のばらつきは小さくなり、情報提示によって待ち時間が10分以上となる利用者が生じなくなり、対象とした施設での情報提示による混雑平準化の効果が確認できた。

表5 食堂選択行動の調査方法

質問内容	提示した状況の下で、各食堂の待ち時間と食堂までの距離の組合せを変えた全8ケースと待ち時間がわからない場合について、どの食堂を利用するか質問する ・食堂までの移動時間：2.5分～6.5分※ ・待ち時間：1分～4分 ※食堂までの距離は明示せず、出発地点の教室を教示した。食堂までの予想移動時間は別途質問し、パラメータ推定の際には予想時間を用いた。
提示した状況	・12:35に授業が終わり、5分後に食堂へ向かう ・各食堂の待ち時間：スマートフォン上で閲覧可能 ・天気：晴れ ・時期：10月中旬の水曜（通常授業） ・午後の授業：あり、13:15から開始
対象者	日常的に食堂を利用する学生200名（有効回答196）
調査期間	2018年10月12～11月16日

アンケートの質問jでの回答を*i(j)* とするとき、*i(j)* を選択する確率 $P_i(j)$ は提示した条件と未知パラメータ $S_i, \alpha_w/d, \alpha_w/c$ に仮の値を入力することで得られる。対数尤度 L は全質問の結果から以下で求める。

$$L = \prod_j P_i(j)$$

$$1 - \frac{L}{L_0}$$

を用いた。この値は0.2以上で実用的とされ本研究では0.23だった。

図7 メニューの満足度などの未知パラメータの推定方法

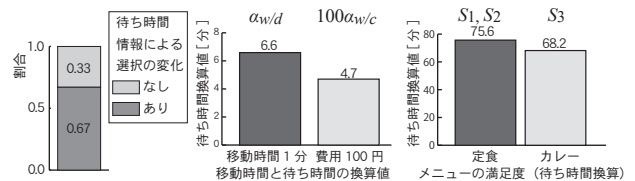
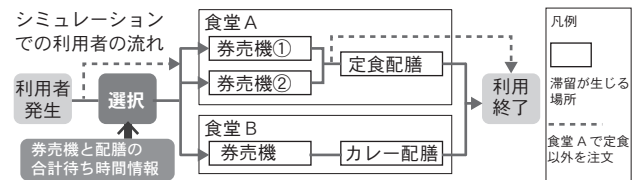


図8 情報による選択の変化の有無 図9 移動と費用、メニューの待ち時間換算値



対象日時：2019年10月16日（水）通常授業、全利用者数：472人
情報の更新間隔：1分間、食堂Aの定食以外を注文する割合：45%
利用者の発生頻度、各券売機と配膳の処理能力は実測値を用いる

図10 食堂の選択行動シミュレーションの概要

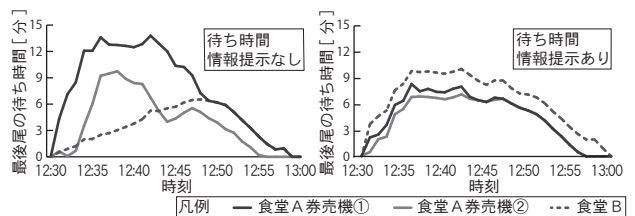


図11 情報提供の有無による待ち時間の変動の違い

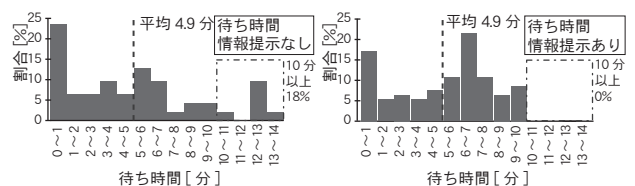


図12 待ち時間のヒストグラム

5-3. コンサート会場周辺トイレでのケーススタディ

5-3-1. 対象施設の概要

埼玉県のコンサート会場に隣接したペDESTリアンデッキ（以下広場と略記）周辺のトイレを対象にケーススタディを行った。各トイレの概要を表6に、コンサート会場と広場、各トイレの位置関係の概略を図13に示す。コンサート会場への交通手段は主に鉄道が用いられ、ほぼ全員が広場を通過してコンサート会場へ向かい、開場まで待つ間に女性用トイレが混雑する。会場に向かう途中にトイレの位置が示された案内地図はあるが、現状では直接目にする事の出来るトイレ1に利用が集中している。その他のトイレ2～4の位置は広場の下の階にある。

5-3-2. コンサート開場前の混雑状況調査

女性客が大半を占めるコンサートが開催された日の開場前の時間帯を対象として、各トイレの待ち行列や平均の利用時間について調査した。調査の概要を表7に示す。

5-3-3. 各トイレの待ち時間の偏り

トイレ1～4の利用人数、最大の待ち時間と平均値を図14に示す。トイレによって待ち時間には大きな変化がみられた。特に、会場へ向かう経路上にあるトイレ1は混雑時に40分以上の待ち時間が生じていた。一方、トイレ4はトイレ1からの移動時間が1分程度であるものの、最大待ち時間は約3分と短く、大きな待ち時間の差が生じていることがわかる。

5-3-4. トイレ選択行動モデル

食堂施設では提供される食事のメニューや金額といった要因が選択行動に影響するが、トイレでは利用時の満足度が施設によってほぼ変わらず、移動と待ち時間が判断に影響する主な要因と考えられる。待ち時間や水平方向の移動、階移動がトイレの選択にどの程度影響しているかを表現し、待ち時間とトイレ位置の情報提供によって待ち行列がどの程度変化するかを予測するためのトイレ選択行動モデルを作成した。モデル式を図15に示す。4章でのモデルを単純化し、待ちと移動のみによって施設選択行動を表現している。なお、後述するパラメータの推定時にアンケート結果をより正確に表現できたことから、時間を対数化して負担感を表現している。

5-3-5. トイレの選択行動と待ち時間に関する調査

選択行動モデルに含まれる未知パラメータを推定するためのアンケート調査を行った。調査対象者には対象施設の利用の有無にかかわらず、同等のコンサート会場を利用する場合を想定して回答するよう教示した。また、利用者がトイレ1の待ち行列を目にした場合を想定し、待ち人数から待ち時間を正しくイメージできているかについても調査を行った。調査の概要を表8に示す。

待ち人数から利用者がイメージした待ち時間と実際の待ち時間を図16に示す。待ち時間を過大にイメージしており、その傾向は待ち人数が多いほど大きくなることが

表6 対象とするトイレの概要

	トイレ1	トイレ2	トイレ3	トイレ4
配置階	2F	1F	1F	1F
ブース数	3	5	4	16
トイレ1からの移動時間	—	50s	45s	60s

①: 駅1 ②: 駅2

図13 対象とするトイレの位置関係

表7 トイレの現状調査

調査日	2019年6月18日	16:00～19:00 (コンサート会場前)
観客者数	約13,000人	
観客の属性	10～20才代が大半で女性が約7割	
調査内容	各トイレの到着人数、利用終了人数、待ち人数を5分毎に計測し、待ち人数の偏り、平均利用時間、待ち時間を把握する	

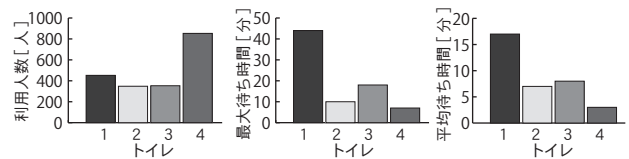


図14 各トイレの利用者数と待ち時間

$$V_i = S - \alpha_w \log(\beta_w w_i + 1) - \alpha_d \log(\beta_d d_i + 1) - \delta_i \log v$$

i : 選択肢 (=1: トイレ1, 2: トイレ2, 3: トイレ3, 4: トイレ4,)
 S : トイレ利用の満足度 w_i : 待ち時間 d_i : 移動時間
 v : 階移動の負担感 δ_i : 階移動の有無 (ありの場合1、なしの場合0)
 $\alpha_w, \alpha_d, \beta_w, \beta_d$: 未知パラメータ

図15 トイレ選択行動モデル

分かる。食堂施設の場合と同様の方法で求めた未知パラメータを用いて、トイレの待ち時間と移動時間による負担感を図17のグラフに示す。未知パラメータによって、待ち時間と水平移動時間、階移動を負担感という共通の指標として表現できる。グラフをみると、同じ時間であっても移動時間の方が待ち時間よりも負担感は大きく、2分の移動時間は6分の待ち時間と同等である。また1階分を上下する移動が含まれると、水平移動のみに比べて負担感は約1割大きくなる。求めた未知パラメータを用いて推定したアンケート結果と実際の結果の相関を図18に示す。高い相関関係から、作成したモデルが利用者の施設選択行動を良好に表現できているといえる。

これらの結果から、利用者は待ち人数から待ち時間を過大にイメージしており、他のトイレ位置を正確に知っていても、負担感の大きいトイレを選択してしまう場合があるといえる。利用者に適切な施設選択の判断を促すためには、トイレの待ち時間情報の提示が有効であると考えられる。また、一時的に利用される施設であるため、別のトイレの位置と移動時間の提示も必要と考えられる。

5-3-6. 情報提示の効果に関するシミュレーション結果

トイレ待ち時間と移動時間の情報提示によってどの程度混雑が平準化されるかについてシミュレーションを行った。実施したシミュレーションの概要を表9に示す。

食堂施設では、日常的に生じる混雑の偏りを解消するために混雑状況の情報を常時提示することを想定した。

一方、コンサート会場周辺のトイレでの混雑は一時的なものであるため、最も混雑する時間帯にアナウンスや掲示といったかたちで情報を提示することがコスト上妥当と考え、最も混雑する時に待ち時間の長いトイレ1で待ち時間の短いトイレ4の待ち時間と移動に要する時間を提示することを想定してシミュレーションを行った。

各トイレの待ち時間のシミュレーション結果を図19に示す。混雑していたトイレ1の待ち時間は36分から10分、トイレ4の待ち時間は2分から6分となり、トイレ1の待ち時間が短くなった。待ち時間の差は34分から4分と大幅に平準化された。情報提示ありの場合、トイレ1の待ち時間が4よりもやや長い。これはトイレ4までの階移動を含む移動の負担感があるためである。これより、トイレ1からトイレ4への移動による負担はややあるが、情報提示が待ちの負担を大きく減らすことが確認できた。

5-4. 選択行動モデルを用いた情報提示効果分析の汎用性

施設選択行動モデルを具体化する際に実態調査と利用に関するアンケート調査を行い、食堂ではメニューの好みや値段といったように、対象施設に応じた選択の要因を組み込むことで情報提示効果の検討が可能であることが確認できた。このような方法を他の施設についても実施することで、情報提示による効果の検討を行うことが可能と考えられる。ただし、本研究で得られた未知パラメータの値の汎用性については慎重な検討が必要と考えられる。食堂施設は値段の負担やメニューの好みが利用者の属性で変化すると考えられるため、対象施設ごとにパラメータの推定を行うべきである。トイレは利用者の年代などに大きな違いがない限り、本研究で推定したパラメータを汎用的に用いることは可能と考えられる。

6. まとめと課題

利用者に待ち時間などの情報提示を行って複数施設間の混雑を平準化する効果を検証するための方法を作成し、2つの事例についてケーススタディを行った。学生食堂を対象とした場合では、情報提示によって待ち時間のばらつきを小さくする効果があり、利用者の約15%に生じていた10分以上の待ち時間が解消されることがわかった。コンサート会場周辺のトイレでは、最も混雑している時間帯に生じていた待ち時間の差を情報提示によって30分短くする効果があることを明らかにした。このように、本研究で作成した方法によって、情報提示の効果を定量的に把握し、実施の検討時に役立てることができる。なお、本研究の成果はアンケート調査から得られたデータによる予測に留まるものであり、実証実験などによる検証を重ねることが今後の課題である。

[謝辞] 本研究は日本工業大学4年(当時)和田奈樹氏、斉藤雄介氏、三谷琢真氏の協力のもと行われました。ここに記して感謝申し上げます。

表8 トイレ待ち時間と選択行動に関する調査

質問内容	●待ち時間の予想 ブース数5のトイレについて複数の待ち人数を提示し、それぞれの待ち時間を予想してもらう ●情報提供がある場合のトイレ選択行動 コンサート会場最寄りのトイレの待ち時間と別のトイレまでの移動時間、階移動の有無を提示し、別のトイレの待ち時間が何分までなら移動するかを回答してもらう。 提示する待ち時間[分]: {10, 20, 30, 40} 提示する移動時間[分]: {2, 4, 6, 8, 10}
提示した想定状況	19時開始のコンサート会場へ向かう途中で、会場入口から50mの最寄りのトイレに18時に到着した状況を想定する。会場内のトイレは混雑するので会場へ入る前に会場周辺のトイレへ行くことにする。
実施方法	web アンケート
対象者	女性 303名 (20才代 25%、30才代 40%、40才代 35%)
調査期間	2019年12月5日～6日

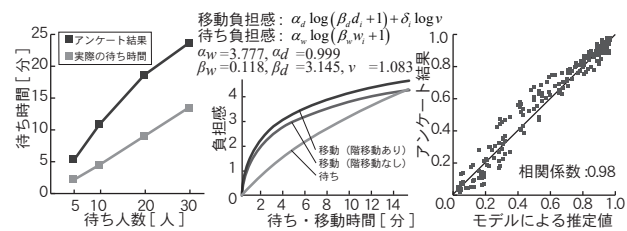


図16 待ち人数に対する待ち時間のイメージと実際の待ち時間

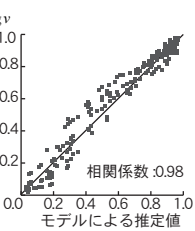


図18 選択行動モデルによる待ち時間の推定値

表9 トイレのシミュレーションの概要

シミュレーションの条件	調査時のコンサート会場で待ち時間に最も偏りが生じた18:20のトイレ1(待ち58人)とトイレ4(待ち22人)について、トイレ1でトイレ4の待ち時間情報と位置(移動時間)を提示した場合に何人がトイレ4へ移動するかをモデル式で推定し、その時の待ち時間の変化を算出した。
シミュレーション結果	トイレ1から4への移動人数: 42人

図19 情報提示による待ち人数の変化

[参考文献]

- 1) 木下芳郎, 疋田篤史, 高橋未樹: 大学におけるトイレ占有時間分布の実態調査と分析 - 公共トイレにおける衛生器具適正数検討に関する研究 その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、p.p.1203-1204、2020年
- 2) 吉武泰水: 所要設備個数について: 事務所等の場合、日本建築学会論文集、vol. 45、p.p. 76-84、1952
- 3) 岡田光正, 高橋鷹志: 新建築学大系〈13〉建築規模論、彰国社、1988
- 4) 守澤貴幸, 大佛俊泰: 広域避難場所の混雑情報を組み込んだ避難行動シミュレーションモデル、日本建築学会関東支部研究報告集II、vol. 78、p.p. 181-184、2008
- 5) 伊藤佑治, 山本浩司, 添田昌志, 諫川輝之, 大野隆造: 高速道路休憩施設のトイレにおける待ち位置選択に影響を及ぼす空間的要因、日本建築学会計画系論文集、vol. 80、No. 713、p.p. 1547-1555、2015
- 6) 筒井義郎, 佐々木俊一郎, 山根承子, グレグ・マルデワ: 行動経済学入門、東洋経済新報社、2017
- 7) 栗田治: 都市と地域の数理モデル - 都市解析における数学的方法 -, 共立出版、2013