

3DPrinCar: 行き先に応じた物品を推薦・提供する乗用車

秋山 耀^{†1} 宮下 芳明^{†2}

概要：本稿で提案するのは、3D プリンタ・カーナビと統合し、行き先に応じた物品推薦・提供を行う乗用車“3DPrinCar”である。行き先が海なら海用品（サンダル・スコップなど）を推薦し、さらに、車内で3D プリントするか、移動途中に店舗を経由して購入するかを手段として提供する。3D プリントする場合は、到着時間に合わせて精度を調整し、最良の品質で到着までに造形完了する。店舗購入の場合は、カーナビの経由地点として自動設定する。提案システムによる旅行体験の変化を調査分析すべく、本稿では旅行のケーススタディを8件実施した。3D プリンタを手段としたものでは、計9種16品が造形され（うち2件が造形失敗）、ブーメラン・フリスピーカーなどの遊具、ペットボトルホルダー・カラビナ・ゴミ箱などの車内アイテム、コップ・皿などの食器が造形された。持参しなかった物品を造形して旅先で使用したり、造形した物品を車内で使用し復路を快適にする事例がみられた。また、途中で店舗を経由して購入された物品は、訪問1件、購入0件であり、あまり利用されなかった。システムが推薦する物品によって、車内空間および現地での不便さを改善するだけでなく、旅先での活動の多様性および行動範囲が広がっていることが観測された。提案システムによって、システムや3D プリンタに関する会話が車内で増えることはあまりなかった。

3DPrinCar: An Automotive System That Recommends and Provides Goods Responded to the Destination

AKIYAMA YOH^{†1} MIYASHITA HOMEI^{†2}

1. 3DPrinCar

本稿では、旅行の行き先に応じて必要になると思われるものや、あると便利なものを推薦・入手するための乗用車“3DPrinCar”的実装（図1）とケーススタディについて報告する。提案システムは、助手席に設置されたインターフェース（タッチパネルディスプレイ）、トランクに搭載された3D プリンタ、そして一般的なカーナビと軽自動車によって構成される。

ユーザがカーナビに行き先を設定すると、提案システムはその行き先に応じた物品を検索し、インターフェース上に

カテゴリー一覧として表示する（2.1）。例えば、行き先が富士山であった場合は「山」カテゴリから「三脚」「フリスピーカー」「ゴミ箱」などが推薦される。インターフェース上には、推薦された物品の画像が表示され、具体的な物品を選択すると入手方法が表示される。ここでユーザは、その物品を3D プリントして到着までに入手するか、店舗を経由し購入するかを選択することができる（2.2）。例えば、店舗に立ち寄ることで、「安く」入手することもできるし、搭載された3D プリンタを使用して「楽」入手することもできる。このような選択肢ごとのメリットは、インターフェース上に「安」、「早」、「楽」というアイコンで表示される。3D プリントする場合は、造形精度や造形時間、樹脂の使用量などを調整した複数の選択肢を提供し、ユーザのニーズに合わせた物品の提供が可能である。

Mobile Fabrication [1] では3D プリンタを外出先で使用する未来を背景としているが、本研究も同様の背景を持つ。かつ、Mobile Fabrication で多くのユーザが問題視してい

^{†1} 現在、明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻
Presently with Presently with Digital Contents Studies, Programs in Frontier Science and Innovation, Graduate School of Science and Technology, Meiji University

^{†2} 現在、明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科
Presently with Department of Frontier Media Science, Faculty of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University



図 1 システム構成; a) システムインタフェース概観（助手席）, b)3D プリンタ（トランク）, c) 推薦インタフェース。

た持ち歩く重量の問題を、車に積載することで解決した。本稿ではシステムによる旅行体験の変化を調査すべく、複数人での日帰り旅行を想定したケーススタディを 6 件実施した。

2. 実装

今回用いた乗用車はダイハツ ミラジーノ（排気量 650cc）であり、3D プリンタには Original Prusa i3 MK2S（100W 程度）^{*1}、駆動バッテリには Anker PowerHouse（最大 120W）^{*2}を用いた。Prusa i3 MK2S は他の 3D プリンタと比べ、省電力でかつビルドスペースが大きいため採用した。省電力のためにヒートベッドは使用せずに造形する。現状の実装では最大 6 時間程度の造形が可能である。カーナビは推薦システムと通信するために、シリアル通信ポートと API を持つ AVIC-BX500-B2V^{*3}を使用した。これにより、行き先の座標のシステムへの送信、予定到着時刻の取得、走行ルートへの経由地点の追加を可能としている。

システムは、Windows10 を搭載したシングルボードコンピュータである LattePanda^{*4}上で稼働する。操作インターフェース部分のみ C # UWP で記述し、残りは Java を用いて実装した。

3D プリントに使用する 3D モデルは比較的造形時間が速い CuraEngine^{*5}でスライスした。造形速度は通常速度（Print Speed: 50mm/s, Outer perimeter Speed: 45mm/s, Infill Speed: 80mm/s）と高速度（Print Speed: 52mm/s, Outer perimeter Speed: 49mm/s, Infill Speed: 85mm/s）から選択される。通常速度は CuraEngine のデフォルトでの設定値である。積層ピッチは 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm の 3 種を用いた。

2.1 物品の推薦機能

推薦システムはカーナビに入力された行き先情報の有無を常に監視している。行き先情報が設定された場合、システムはその緯度経度情報から地名を特定する。その後、地名から観光地の種別を判別する。具体的には、地名を Google で検索し、1 ページ目の全文章からカテゴリ名がヒットした場合にその種別として判定する。今回はカテゴリ名として山、川、海、森、キャンプ、公園、遊園地、高原、滝、洞窟、温泉、スキー、花見、映画、氷雪を用意した。

システムは判定したカテゴリをローカルデータベース上で検索し、推薦された物品をユーザに提示する。提示方法としては、まずヒットしたカテゴリを一覧で表示し、タップするとそのカテゴリの物品が表示される（図 1 c）。推薦された物品を一覧できるボタンも用意した。データベースには、便利なアウトドア用品を紹介している Web サイト（Google 検索において「アウトドア 便利アイテム」で検索してヒットした上位 10 件）に掲載された、3D プリンタのみで造形可能な物品 16 品を登録している。さらに、研究室内でのアンケートで旅行時に必要そうな物品を調査し 15 品を追加し、合計 31 品がデータベースに登録されている。これらの 3D モデルは Thingiverse^{*6}に共有されているものを使用している。

2.2 物品の入手方法選択・提供機能

ユーザが物品の選択を行うとシステムが到着までの残り時間を考慮していくつかの入手方法を調べる。3D プリンタで造形する方法と店舗を経由する方法の 2 つを用意した。各選択肢について物品提供の時間、金額を計算し、最短、最安などを提示する。

3D プリンタで造形する方法では、異なる造形精度・大きさでの造形時間と残り時間を比較し、到着時に造形が終了するような精度を割り出す。到着時間と造形完了時間が一番近い造形精度とその前後の選択肢をユーザに提示する。これにより、時間に余裕を持って造形するか、または少し長引いてもよいので高い精度で出すかなどを選択可能である。金額は消費するフィラメントの量と電気代から推

^{*1} http://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/59-original-prusa-i3-mk2-kit.html?gclid=EAIAIQobChMI95P-1_21AIVXAoqCh1vkASnEAAYASAAgIIISPD_BwE

^{*2} <https://jp.anker.com/products/a1701011>

^{*3} http://pioneer.jp/biz/biz_carnavi/what/lineup/avic-bz500-b2v_avic-bx500-b2v/

^{*4} <http://www.lattepanda.com/>

^{*5} <https://github.com/Ultimaker/CuraEngine>

^{*6} <https://www.thingiverse.com/>

定する。

店舗を経由する方法では、行き先近くのホームセンターを検索する。そのホームセンターでの価格と、ルート変更により増える距離のガソリン代を足した価格を表示する。ネット上に情報がない場合は他の店舗を参考に出した価格を使用した。

物品を得る方法として3Dプリンタが選択された場合、システムは造形処理に入り、トランクに設置された3Dプリンタで造形を行う(図1b)。造形中はインターフェースに3Dプリンタの中継映像が表示される。提案システムは3Dプリントしたものを車内ではなく行き先で使うことを目的としているため、造形進捗や造形終了などの通知を極力行わない。また、店舗を経由する選択を行った場合、システムはカーナビに対し、経由地にその店舗を追加する処理を行う。

3Dプリントする場合は店舗で得るより大抵安くなるかほぼ同じ値段となる。ただし同じ値段でも、使い捨てフォークなどは店舗で購入すれば100個セットが手に入るが3Dプリンタだと1つしか手に入らないなどの違いがある。

3. 実験

3Dプリンタや推薦システムを用いることによる旅行体験の変化を調査分析することが実験の目的である。3Dプリンタを屋外に持ち歩いて共に行動した研究は少なく、3Dプリンタを車載して常用した例はない。Mobile Fabrication [1]では地下鉄でのユーザスタディが報告されている。これは実験実施者が「シャツのボタンを交換する」「壊れた靴紐を交換する」「六角ネジを外す」という状況を仮定した上で実験であった。本稿では、使い方を著者が決めるのではなく、ユーザがどのように使用するか観察することが必要だと考えた。また、物品の推薦が旅行に及ぼす影響も、提案システムを用いて調査する。成人11名(男性10名女性1名、平均年齢24.8歳)を参加者とし、計8回提案システムを用いて日帰り旅行(平均93.0km、160分間)を行った(表1)。1人を除き全ての参加者は、情報・電気・機械系の理系学部に在学または卒業している。ナビに目的地をセットし、推薦システムが起動した段階で実験を開始する。実験参加者は推薦システムの提示内容を見て物品を選択し、3Dプリントするか店舗で購入するかを選択する。実験の行き先と移動目的は全て参加者が決めている。

推薦システムの操作は助手席に座っている参加者が行う。後部座席参加者が造形を行う場合は、その意見を助手席参加者が反映させシステムを代理で操作した。また、操作は安全のためなるべく駐停車中に行っている。2回目以降の造形を行う際には、パーキングエリアなどに駐車して行った。

ビデオカメラを車内に設置し、車内で行われた会話を全て記録した。運転を行ったのはすべて筆者である。3D



図2 実験中造形物の例

プリンタに加速度・角加速度・温度・気圧センサを貼り付け、3Dプリンタの動作ログも記録している。これにより造形エラーが出てても解析が行えるようにした。推薦システム使用は往路のみに限った。これは、システムの使用用途が行き先での物品使用としていたからである。そのため、会話ログの収集も往路のみに限った。

車内の会話については筆者も参加しているが、筆者からシステムや3Dプリンタについての話題を振ることはしなかった。しかし、参加者から質問を受けた際は応答を行っている。実験終了後、物品入手の意図や欲しかった物を聞くアンケートを行った。

4. 実験結果と考察

行き先がすべて異なったため、ここでは行き先の市・町の名前を実験ごとの識別子とした。藤沢、山梨実験の参加者と成田実験の後部座席参加者計5人は、移動中に3Dプリントが可能であることを事前に知っていた。そのうち藤沢、成田実験の後部座席参加者は3Dプリンタを日常的に活用している熟練者である。これにより、3DPriCarにおける3Dプリンタの特性や、旅行体験において効果的なアドバイスが得られると考えた。その他の参加者には実験の意図や提案システムのことを伝えず、乗用車で日帰り旅行を行うことのみを伝えている。秩父、奥多摩、沼津実験においてホームセンターを経由する推薦を行わなかった。これは、目的地近隣にホームセンターが存在しなかったためである。

実験の詳細と造形物を表1に示す。大洗実験以外では、3Dプリンタを用いて物品入手がなされた(図2)。造形された物品は計9種16品である(表1)。造形に成功したのは14品であり、実際に使用された物品は8品であった。山梨実験において2回造形失敗があった。ログ解析後、原因は運転中の振動ではなく、ビルドプレートのメンテナンス不足だとわかった。参加者は推薦物品の少なさを指摘しているが、推薦システム・3Dプリントシステムについては良い評価をしていた。例えば、成田実験では「予定をガチガチに詰める人からすると時間はとても貴重なので、移動時間に必要なものを作れるのはとても良かった」という時間短縮を喜ぶ意見があった。また、1回の実験において最大3つの物品を行き先到着までに用意でき、ユーザから造形時間を気にしたという回答はなかった。旅行の移動には

表 1 実験詳細（距離、時間は最初の造形開始から最後の造形終了まで（大洗実験は出発から行き先到着まで）をカウント）

参加者	行き先	理由	距離	時間	造形物一覧
1名	埼玉県秩父市	老朽化した建物の撮影	84.7km	170分	三脚、ブーメラン、フリスピーカー
2名	神奈川県藤沢市	アニメ舞台の巡礼	59.9km	124分	ブーメラン、ペットボトルホルダー、カラビナ
2名	千葉県成田市	日本酒蔵巡り	68.0km	115分	皿、コップ×2
1名	東京都奥多摩町	未訪問の観光スポット	66.2km	119分	スコップ
2名	山梨県山梨市	グルメ巡り	102km	149分	フリスピーカー（失敗）×2、ゴミ箱
1名	茨城県大洗町	アニメ舞台の巡礼	172km	220分	—
1名	静岡県沼津市	グルメ巡り	160km	210分	ペットボトルホルダー、ゴミ箱
1名	山梨県河口湖市	グルメ巡り	116km	210分	ゴミ箱

表 2 実験後アンケートより参加者が求めた物品（システムで作成しなかった物を抜粋）

実験	物品
藤沢	日傘、サンバイザー、扇風機、メガネケース、保冷剤、鍵、ハンドスピナー、エアコン、着替え、タオル、サングラス
成田	替えの靴下、コップホルダー、菓子袋止めクリップ
奥多摩	コップホルダー、車内用のゴミ箱
山梨	フリスピーカー、サンバイザー、ティッシュ掛け、後部座席が見える鏡、ぬいぐるみ、ハンドルケース、カメラ固定具
大洗	車内用の荷物フック
沼津	ブーメラン
河口湖	ドリンクホルダー

長時間をすることが多く、移動中という隙間時間で造形することは十分可能であり有用である。プロトタイピングなど通常の3Dプリンタの使用では「待ち時間」が問題となり、高速化手法が提案されるほどである[2], [3]。待ち時間が気にならないどころか、時間短縮となるようなユースケースは多くなく、乗用車と3Dプリンタはとても相性が良いと考えられる。

Mobile Fabrication[1]においてカトラリの用意は重要なシナリオではないと報告されていたが、成田実験では造形物として皿とコップという食器が造形されている。車内の会話において、システムや3Dプリンタに関する会話が増えることはあまりなかった。3Dプリンタの熟練者はシステムについての改良点などを積極的に述べていた。実験終了後アンケートにおいて、全ての実験で車内で使用する物品が欲しいと思ったという回答があった（表2）。鍵やバッグの固定具はMobile Fabrication[1]の調査においても求められており、一致する結果となった。大洗実験では店舗の経由が1件なされたが購入品は0品であった。3Dプリントによって物品を得ることは、ユーザが「店舗を経由する」という能動的な行動を行う必要がない。車で移動を行っているだけで物品を得られるため、欲しい物品が少數であれば手軽に得られるという点で有利であったと考えられる。推薦システムで推薦された物品が複数欲しいのであれば店舗に経由する方法が適しているだろう。この2つの入手手法を提示することで臨機応変な物品提供ができると考えられる。他にも「(3Dプリントする手段を選んだ

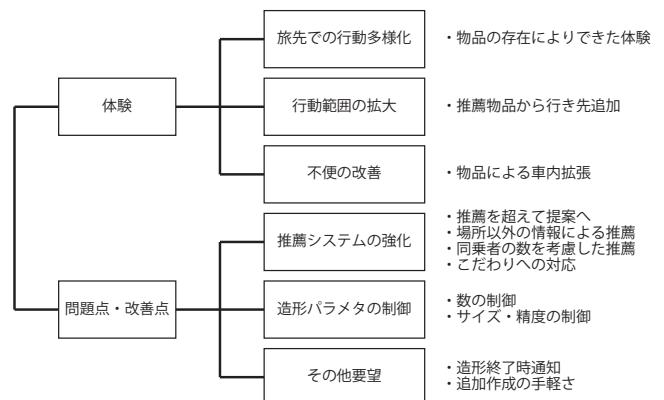


図3 システムで得られる体験と判明した問題点・制約

理由は）運転してもらってるのにホームセンターに寄らせたり（運転手に注文を付けたりすること）が苦手だと思った」という意見があった。同じ乗用車内に複数人がいる場合、全ての人の要望を受け入れるのは社会的・時間的理由によって容易ではない場合がある。車内で3Dプリントして物品を得る方法は目的地を追加しないという点でも選択しやすかったと考えられる。また、河口湖実験では値段を見て3Dプリントを行う方法を選んでいた。

4.1 システムによって得られる体験

実験を通して、いくつかのシステムによる体験や改善点などが判明した（図3）。参加者の行動・言動を分類すると、システムによって得られる体験として(1)旅先での行動多様化、(2)行動範囲の拡大、(3)不便の改善が見受けられた。

4.1.1 旅先での行動多様化

秩父実験の参加者は最初に三脚を造形している。アンケートには「面倒くさかったので持って来なかつたが撮影に使用したくなつたから」と回答しており、実際に「屋内など暗い箇所で撮影するのに使用した」。システムによって三脚を用意できなければ暗い場面での撮影は困難であり、行動が制限されていた可能性がある。これは、暗い場所を持ち撮影しようとすると、シャッター速度を上げるために感度を上げざるを得なくなり、写真のノイズが増えるためである。ノイズのひどい写真しか撮れなければ撮影

の楽しみも減っただろう。このように旅行を楽しむ機会の損失を提案システムは未然に防ぐことに成功している。また、システムで用意した三脚によって暗いところでの撮影を可能にしたともいえる。提案システムによって旅行者の行動は多様化したともいえるだろう。

4.1.2 行動範囲の拡大

参加者が推薦された物品から旅行計画に行き先を追加することで、旅の行動範囲が広がる可能性があった。なお、物品の用意は造形エラーにより失敗しているため、実際は範囲拡大に至らなかった。以下に参加者の発言を引用する。

括弧内には実験に振られた識別子と着席位置を示した。

(失敗 1 回目)

[山梨, 助手席] じゃあフリスビーにしよう。

[山梨, 後部座席] どこ行くんだよ。公園行く?

高原行こう高原。

(失敗 2 回目)

[山梨, 後部座席] (やっぱり選ぶのは) フリスビーにしよう。

[山梨, 助手席] フリスビーがあったら遊べる。

フリスビーやブーメランなどの遊具は、目的地の場所によって推薦の有無が左右される物品ではないが、秩父、藤沢、山梨、沼津実験において求められている。遊具は容易に旅の行動範囲を拡大するが、旅行に必須の物品ではないため、持っていくには邪魔になると考えて持っていくのを諦める、または持っていくのを忘れる物品であると考えられる。遊具の入手を提案し、さらに作成まで行うことで旅行者の行動範囲拡大と旅の満足度向上に繋がるだろう。

沼津実験では、カテゴリ名から行き先を追加しようとすると素振りが見られた。具体的にはカテゴリ名の「花見」を見て「花見をしよう」などの発言をしている。沼津実験の参加者は特にカテゴリを重要視しており、全ての推薦物品を一覧するボタンを使用しなかった。カテゴリを表示することで「行き先で必要な物品は何か」だけではなく「行き先はどういう土地なのか」や「行き先でどういう楽しみ方ができるか」をさり気なくユーザに教える効果があると考えられる。

4.1.3 不便の改善

参加者が車内アイテムを欲しがった(表2)のは、実験に用いた車が参加者にとっては初めて乗る車であり、参加者の好みな車内環境でなく不便だったためと考えられる。また、実験では日帰り実験など比較的短時間の旅行を行ったため、観光地での滞在時間が減り、相対的に車内にいる時間の割合が増えたことも車内アイテムが多くなった理由の1つと考えられる。

[藤沢, 後部座席] 確かに車内で、到着までの半分の時間で造形して、車内で遊んでるのは(使い方として)ありそうですね。

実際に、山梨実験では往路でゴミ箱を出力し、復路にて

車内で使用していた。システムを、行き先で必要になる物を用意するためなく、今現在必要な物を得るために使用していた。

[山梨, 後部座席] ゴミ箱今いる?

[山梨, 助手席] じゃあゴミ箱にしよう。

さらに、藤沢実験では行き先で使うための物品を工夫して車内アイテムとして使っていた。助手席参加者が車内でペットボトルを置く位置に困っており、推薦されたペットボトルホルダーを作成したが、それ単体では車内での使用に難があった。

[藤沢, 助手席] 残念ながら(車内に)引っかかるところ無いですね。

その後、後部座席参加者が造形したカラビナを組み合わせることによって使用を可能としていた。参加者は、物品同士を組み合わせる事によって、行き先で使うための物品を車内で使えるように拡張できるのではないかと提案している。

[藤沢, 助手席] うわ、こんなでかいんだ。

[藤沢, 後部座席] それカラビナと組み合わせたらその手すりにくっつくんじゃないですか?

(…)

[藤沢, 助手席] 完璧ですよこれ。こうやって車内拡張していくばいいんじゃないですか?

ユーザが常用する乗用車であればそうした車内アイテムは整備されている可能性がある。これらの車内アイテムを作るというユースケースは、例えばバスやタクシー、シェアカーなどの使用ユーザがその都度違う自動車において有用だろう。例えばエチケット袋などの消耗品を次のユーザのために用意しておくなどの使用方法も考えられる。

4.2 システムの問題点・改善点

参加者がシステムを使用する上でいくつかの問題点や改善点が見つかった。注目すべき要因に、(1) 推薦システムの強化、(2) 造形物の制御が挙げられる。

4.2.1 推荐システムの強化

参加者のうち2人が推薦システム使用時に「今必要な物はない」という会話をしていた。また、奥多摩実験の参加者は、行き先に到着しないと必要な物品はわからないと述べていた。これについて参加者は、推薦だけではなく推薦した理由も提示し、「推薦」を超えた「提案」を行うことを要望していた。この参加者はカーナビのルート決定においても「面倒なので勝手に最適を選んでほしい」という発言をしている。消極的なユーザを推薦支援するにはこの点が重要であると考えられる。例えばユーザが積極的に欲しいものを選んだ場合はそれを用意するが、特に選択されなかった場合は、一番使われそうなものをすでに出力して用意しておくなどの手法も考えられる。

[奥多摩, 助手席] 蚊とかハエが多い時期だから

き。ハエたたきとか、（…）周辺のマップ情報を元に温度湿度を算出して「蚊が繁殖してるなー」とか予測して提案みたいな。（…）なんかさ、なにが必要ですかとか言われてもすぐパッとは思いつかない。提案してほしい。

このように推薦方法も場所情報だけでなく、多彩なものを組み合わせることを意見している。「同じ行き先だから常に同じものが必要とは限らない」ことを考慮した物品の選定が求められる。こういった「提案」は、4.1.2 項で述べたようにカテゴリでもユーザに行き先の情報を提示できるため、カテゴリ選択画面に組み込むことが可能だろう。

また、推薦物品が行き先に依存しているということは、複数行き先がある場合はその行き先ごとに推薦される物品が変わることもある。成田実験では、複数の酒蔵を巡り、その都度行き先設定を行った。その際に推薦される物品が変わり、欲しい物（コップ）が消えた場面があり、そのことに不満を持つ参加者がいた。その後、コップについては推薦システムを使用せずに造形を行い、その2つのコップを用いて参加者2人は試飲を行っていた。これより、作った物品の履歴からも選択できるようにする機能、または必要な数を選択できるようにする機能を付加する必要があると考えられる。

大洗実験は唯一物品を入手しなかった実験である。参加者はこだわりが強く、推薦された物品の形状が気に入らなかったため、3Dプリントせずに店舗を経由した。参加者は店舗でも気に入ったものを見つけることができず、購入しなかった。3Dプリントを行う利点のひとつは物品をユーザに最適化できることであるため、データベースをユーザ好みの物品を提供できるよう学習・最適化することでより良い推薦が可能となると考えられる。

4.2.2 造形パラメタの制御

造形物のカスタマイズを求める意見が多くみられた。まず、インターフェース操作時における造形物の出力サイズが提示されなかことによって参加者が戸惑うことが多くみられた。成田実験では1回目の造形物が想定以上に小さく使えず、逆に2回目の造形物が同じく小さくなることを見越し、大きい物品を選択していた。

[成田、後部座席] 出力もうおわってるんですか。

皿、ちっこいですね。

[成田、助手席] これ、コップ出力したらほんとにおちょこみたいになるんじゃない？

実際に2回目の造形の際にはコップを目的にあったサイズ（おちょこの大きさ）で出すことに成功し、帰りの車内で日本酒を飲んでいた。実験終了後アンケートでも、特にこの成田実験の参加者がサイズ感の不足を訴えていたため、サイズをユーザが設定できるようにする必要があると考えられる。

また、造形精度についてもユーザに見えないパラメタに

するのではなく、表示する必要がある。システムは造形精度の操作により造形時間を操作している。そのため、同じ3Dプリントする手段の中で、より早く得られる選択をすると、より精度が低い造形物となる可能性がある。参加者の1人は造形精度を考慮できずに選択を行っていた。品質も早、安、楽マークのように提示する必要がある。

[奥多摩、助手席] 全ての記号がついているやつとか、これが1番最適でしょ。どう考えても。

4.2.3 その他

参加者は推薦物品の少なさを指摘している。これは推薦システムを洗練させるとともに物品を増やすことは急務であると考えている。また、造形物を持って帰った参加者は奥多摩実験において1人みられただけである。そのため、3Dプリンタで造形した物品は基本的には使い捨てとなるだろう。

1回の実験中に複数の物品を造形することがあった（表1）。物品の追加作成タイミングは駐車可能スペースに到達したタイミングであるため、思いついたタイミングで自由に行えないことを不満に感じた参加者がいた。アンケートでは「休憩エリアで一度止まらずとも運転中に気軽に追加で3Dプリントできるとうれしい（…）ホルダーか何かが少し欲しくなったけどそのために一度車を止めて欲しいとは言い出しにくい」という意見を述べている。

システムでの造形終了時の会話では、造形終了に気づかなかったという感想が多かった。実験終了後アンケートでも、「『造形終わりました！』とシステムが言って欲しかった」という意見があった。これは作成する物品の用途に左右されるだろう。行き先で使用する物については造形の終了通知は行わない方が良いかもしれないが、車内で使うと思われる物については極力通知を表示すべきだと考えられる。

[奥多摩、助手席] インジケーターがほしい。まあなくてもいいのかな。あまり気にしないほうがいいのかもしれない。まあせっかく制作過程を見せるんだったらという思いがある。

実験後、沼津実験の参加者は、3Dプリントした物品を嬉しげに持ち帰っていた。これより3Dプリントした物品という物は思い出などの旅一度きりの何かを形作ることも可能かもしれない。例えば、行先やその時間、旅路の途中の写真などを造形物に付加できればその旅はとても思い出深いものとなるだろう。

5. 制約

行き先に近くなるにつれ、移動時間内に作れるサイズが小さくなり、到着時間までに造形を終える可能性が下がる。よって3Dプリンタでの大きな推薦物品の提供は、現状は移動初期段階での推薦に限られる。造形精度の操作による製作時間の操作にも制限がある。例えば23cmのサンダル

は提案システムでの低精度高速設定の造形でも 604 分かかる。これは、東京から岩手程度までの移動時間と同等である。これらの問題は 3D プリント高速化手法 [2], [3] との併用や 3D プリンタの技術革新による速度向上で緩和されしていくだろう。

提案手法によって行きの荷物を移動中に造形することで、帰りの荷物が増える問題がある。現在造形に用いている PLA 樹脂は、生分解性プラスチックに分類され、土に埋めることで分解することが可能である。そのため、環境に与える影響は少なく、使い捨てによる使用にも適しており、使い捨てと割り切ることで対処可能である。また、ProtoCycler^{*7}などを用いて造形物をフィラメントに戻し再利用することも可能であると考えられる。

今回、実装コストの問題により、対応しなかった問題が 2 つある。まず、造形中に新しい 3D モデルを追加できない。新しく 3D モデルが欲しい場合は造形後に再度造形物選択プロセスを踏む必要がある。次に、店舗入手手段をホームセンターに限った。例えば帽子がほしい時にシステムは帽子屋までのルートを推薦することができない。また、全国各地にあるホームセンターのうち、ネット上で商品の有無が検索可能なものは 6 種のみである。そのためホームセンターへ経由するルートを推薦しても、そのホームセンターに売っていない可能性もある。

6. 関連研究

6.1 旅行の体験に関する研究

旅行体験を情緒的評価と機能的評価に基づいて因子分析を行っている研究がある [4]。他にも、Web 上の情報が混在していることを問題視し、ユーザが好みの観光地を入力すると、Web 情報などを駆使して類似する観光地を提案する研究が行われている [5]。竹内らは観光地で店を推薦する時に、単に近くの店を探すだけでなく、ユーザの好みに基づいて推薦を行うシステムを作成している [6]。

提案システムは行き先、その土地に関するニーズや理解に情報技術を用いている。これはアーバンインフォマティクスの 1 つであるともいえる。この分野の研究として、松村らは車内での会話を調査し、車内会話のようにタイムリーな話題・情報を共有を実現するための基礎研究を行っている [7]。

6.2 3D プリンタを外出先に持ち歩く研究

Mobile Fabrication [1] ではいつでもどこでも 3D プリントできた場合の物品のニーズの調査や、モバイル 3D プリンタとソフトウェアの開発を行っている。ニーズの調査では修理のための部品（六角レンチ、靴紐など）、忘れ物・なくし物（鍵、カトラリなど）、医療品（耳栓、包帯など）、

Social 用品（視覚障害者のための触覚提示物など）、アウトドア用品（カラビナ、テントの杭など）の 5 カテゴリのユースケースを得ている。これは実際に 3D プリンタを持ち歩いた上で評価したものではない。その他、Popfab [8] はブリーフケースに入った 3D プリンタやフライス盤であり、屋外使用も想定されている。

6.3 自動車に関する研究

モバイルオフィスという考え方の中で自動車の中にオフィス機器を搭載する試みがされている。ウェブサイト「走る書斎『Mobile Home Office』」[9] にはモバイルオフィスを実現した記録が載っている。また、車載用品としてファクシミリや電話が売られていた。自動車に Information と Entertainment の機能を幅広く提供する、IVI (In-Vehicle Infotainment) のためのプラットフォームもいくつか提案されている。例えば Android Auto, Apple CarPlay, Windows in the Car はその 1 つである。これらはスマートフォンと連携することで、音声認識やシンプルなインターフェースによる Web 検索、ナビゲーション、音楽再生などが可能である。さらに IoV (Internet of Vehicles) ではインターネットを通じて接続することで、そうしたことを行うことができる。IoV にはいくつか種類が存在し、車と車で接続するもの、車とデバイスで接続するものなどがある。例えば、車同士で通信を行い、高速道路でスムーズな合流を行うシステムが提案されている [10]。他にも車載インターフェースについての研究もされており、大坪らは車内の限られた大きなディスプレイで Web ブラウジングを行うため、Web の情報を地図上に表示するインターフェースを作成している [11]。また、標準的な乗用車では走行時に IVI システムが無効化されるため、運転していない乗客も操作ができない問題がある。Capasio ではその問題を解決するため、座席に電極を設置し、その波形を識別することで、静電容量を用いた IVI システムを誰が操作しているのかを認識している？

7. まとめ

旅先に関する物品を推薦・提供する乗用車を制作した。提案システムを用いた旅行体験について調査分析を行うため、8 回の旅行実験を行った。その結果、旅先での行動多様化、行動範囲の拡大、不便の改善の可能性が示唆された。ほとんどのユーザは車内アイテムを求めていた。さらにシステムの限界、改善点なども見受けられた。推薦システムを強化、例えば推薦ではなくそれを超えた提案や、ユーザのこだわりに応える物品提供のための最適化、造形物の制御が求められた。

謝辞 本研究は、JST, COI の支援を受けたものである。

^{*7} <http://www.redetec.com/products/protocycler/>

参考文献

- [1] Roumen, T., Kruck, B., Dürschmid, T., Nack, T and Baudisch, P. Mobile Fabrication. In *Proc. of UIST '16*, pp.3–14, 2016.
- [2] Mueller, S., Im, S., Gurevich, S., Teibrich, A., Pfisterer, L., Guimbretière, F. and Baudisch, P. WirePrint: 3D Printed Previews for Fast Prototyping. In *Proc. of UIST '14*, pp.273–280, 2014.
- [3] Mueller, S., Mohr, T., Guenther, K., Frohnhofer, J. and Baudisch, P. faBrickation: Fast 3D Printing of Functional Objects by Integrating Construction Kit Building Blocks. In *Proc. of CHI '14*, pp.3827–3834, 2014.
- [4] 林幸史, 藤原武弘. 観光旅行者の経験評価の構造と規定因 : 同行者、観光地、移動距離の視点から. 観光研究, Vol.23, No.2, pp.3–12, 2012.
- [5] 上原尚, 嶋田和孝, 遠藤 勉. Web 上に混在する観光情報を活用した観光地推薦システム. 電子情報通信学会技術研究報告 : 信学技報, Vol.112, No.367, pp.13–18, 2012.
- [6] 竹内雄一郎, 杉本雅則. 位置情報履歴を利用したユーザアダプティブな街案内システム. 電子情報通信学会論文誌D, Vol.90, No.11, pp.2981–2988, 2007.
- [7] 松村耕平, 角康之. 人は車内においてどのような会話をするのか: 「タイムリー」な情報流通のための一考察. インタラクション 2014 論文集, 2014.
- [8] Peek, N. and Moyer, I. Popfab: A Case for Portable Digital Fabrication. In *Proc. of TEI '17*, pp.325–329, 2017.
- [9] 走る書斎『Mobile Home Office』. <http://e-mobile.koumeishi.com/> (2017/12/18 確認)
- [10] Wang, Y., Wenjuan, E., Tang, W., Tian, D., Lu, G. and Yu, G. Automated on-ramp merging control algorithm based on Internet-connected vehicles. *IET Intelligent Transport Systems*, vol.7, pp.371–379, 2013.
- [11] 大坪 五郎, 宇土 敬祐, 増谷 修. 車載用 Web 情報インターフェースの開発. インタラクション 2005 論文集, 2005.
- [12] Wan, E. J., Garrison, J., Whitmire, E., Goel, M. and Patel, S. Carpacio: Repurposing Capacitive Sensors to Distinguish Driver and Passenger Touches on In-Vehicle Screens. In *Proc. of UIST '17*, pp.49–55, 2017.