

# 大規模フィールドスタディに基づく年齢層別のタッチ・タンジブル・ジェスチャ UI を用いたパブリックディスプレイの利用特性

市野順子<sup>†1</sup> 磯田和生<sup>†2</sup> 久永一郎<sup>†2</sup>

**概要:** 本研究は、人々がタッチ・タンジブル・ジェスチャ UI を用いたパブリックディスプレイをどう利用し、年齢がこの利用に影響を及ぼすのかどうかを探求する。ミュージアムに設置された8つの体験型展示（タッチ UI3 つ、タンジブル UI3 つ、ジェスチャ UI2 つ）を観察の場とした、通算約31ヶ月に渡るフィールドスタディを実施した。10～70歳以上までの7つの年齢層に分けられた一般者の大規模なデータ（8405人分の行動データと1203人分のアンケート回答）を収集・分析し、以下のことが明らかになった。(1)年齢層による違い（検定統計量に基づく検討）：10代はパブリックディスプレイ空間に入る割合が最も低かった；ディスプレイ空間に入ってから操作するまでに要する時間は、年齢の上昇に伴って長くなった；10代と70歳以上は、ディスプレイ空間に他者と一緒により長く滞在した。一方、関与や好みに関しては、年齢層間の差は小さかった。(2)UIによる違い（検定統計量に基づかない検討）：パブリックディスプレイ空間に入った来場者の割合はタッチ UI で高く、パブリックディスプレイを操作した来場者の割合はジェスチャ UI で低かった。UIタイプごとに複数のアプリケーションのデータを収集したため、本研究の知見はアプリケーション（コンテンツ）に依存していない。

## 1. 序論

近年の Human-Computer Interaction (HCI) の進歩により、発話・視線・ジェスチャ等の複雑な人間の行動を解釈する認識技術を利用して、私たちはデジタルコンテンツをより直観的に操作できるようになった。そのようなインタフェースは、ユーザの認知負荷が低く、ユーザの本来のスキルを優先できるため、自然だと考えられている[1]。それゆえ、これら Natural User Interface (以降 NUI) は、多種多様な人にとって有益となる可能性を持っている。NUI は、ユーザのコマンドをどのように捉えるか、ユーザの能力や好みに応じてどのような入力形式を受け付けるのか、に関してより柔軟になる傾向が見られる[2]。

一方、ミュージアム・科学館・駅・ショッピングモール等の公共性の高い場所に設置された、ディスプレイ等の表示装置を使ってデジタルコンテンツを閲覧・操作できるシステム（以降、パブリックディスプレイ）は近年加速度的に増加している。多種多様な人が利用するパブリックディスプレイに NUI を適用することは自然な流れであり、今後さらに魅力的な選択肢になることが予想される。

多種多様な人が利用できる NUI を設計するためには、ユーザ属性（例えば、年齢、熟練度、母語、健康状態、認知スタイル）が異なれば、有益な NUI は異なるのかを理解することが重要となる。著者らは、将来のパブリックディスプレイは、高度なセンシング技術を用いてユーザ属性を特定し、その属性に適したサービスを提供するようになると考えている。ユーザが家庭や職場でコンピュータシステムを利用する際の、ユーザ属性と NUI の関係を調査した研究は多数あるが、パブリックディスプレイにおいてこの関係を探求した研究は限られている。

本研究は、ユーザが NUI を用いたパブリックディスプレ

イをどう利用し、ユーザ属性がこの利用に影響を及ぼすのかどうかを理解することを長期的目的とした研究の第一歩である。本稿では、ユーザ属性の最も基本的な属性の1つである年齢と、最も代表的な NUI であるタッチ、タンジブル、ジェスチャ UI に焦点を合わせ、各年齢層のユーザが NUI を用いたパブリックディスプレイをどう利用するのかを理解することを目指す。

パブリックディスプレイは、非常に社会的でかつ利用するか否かについて選択の自由がある環境に置かれているため、実験室環境では、来館者の本来の活動を見ることは難しい。そこで本研究は、東京のミュージアムで開催された4回の企画展に設置された合計8つの体験型展示（タッチ UI3 つ、タンジブル UI3 つ、ジェスチャ UI2 つ）を観察の場とした、通算約31ヶ月に渡るフィールドスタディを実施した。企画展に来場した広範な年齢層（10代・20代・30代・40代・50代・60代・70歳以上）の一般者の、大規模なデータ（8405人分の行動データと1203人分のアンケート回答）を収集した。本稿では、収集したデータを用いて、各年齢層の来場者が、3つの NUI タイプを用いたパブリックディスプレイをどのように利用するかを比較検討する。

本研究の知見は、ミュージアムのみならず、エンターテインメント施設、ショッピングモール、展示場、映画館、病院等の公共の場に設置するパブリックディスプレイのデザインや、HCI と年齢の関係を解明する研究に有用であろう。

## 2. 関連研究

### 2.1 パブリックディスプレイ

ディスプレイパネルの高耐久性化・低価格化に伴い、パブリックディスプレイの研究が盛んに行われている[3]。本節では、本研究分野における基礎的な知見を示す。

#### 2.1.1 一般的なコンピュータシステムとパブリックディスプレイを設計する際の観点

パブリックディスプレイを設計・評価する際に重要な観点は、一般的なコンピュータシステムの場合とは異なる。

<sup>†1</sup> 東京都市大学  
Tokyo City University

<sup>†2</sup> 大日本印刷(株)  
Dai Nippon Printing Co., Ltd.

一般的なコンピュータシステムを設計・評価する際、研究者はユーザがシステムを利用することを前提にする。そのため、利用開始前の局面を考慮することは稀で、主に、利用開始後の局面を考慮する。利用開始後の局面では、一般的には *task efficiency*（ユーザがタスクをいかに効率的に遂行するか、タスク完了時間や正解率等の尺度でしばしば評価される）が設計・評価の際の重要な観点となる。

一方、パブリックディスプレイを設計・評価する際、研究者は、利用開始後だけでなく開始前の局面も考慮する[4]。これは、パブリックディスプレイは公共の場に設置されており、外界の様々な刺激（例えば標識や歩行者）と通行人の注意を奪い合う状況にあるからである。利用開始前の局面では、*attractiveness*（パブリックディスプレイが通行人の注意をどの程度・どのように引きつけられるか[5][6][7][8][9][10]。パブリックディスプレイ空間に入ったか、パブリックディスプレイを操作したか、といった点から尺度が構成される）が設計・評価の際の重要な観点となる。利用開始後の局面では、*engagement*（ユーザがどの程度・どのようにパブリックディスプレイと関与するか[5][6][8][9][10]。滞在時間、操作頻度、会話内容等の尺度でしばしば評価される）が設計・評価の際の重要な観点となる。加えて、パブリックディスプレイの場合、周囲に他者（知人や見ず知らずの他人）がいる状況でユーザが利用することが前提となる。そのため、利用開始前・開始後の両局面で、*social interaction*（ユーザが、パブリックディスプレイ空間にいる他者とどの程度・どのように関わるか[5][6][9][10][11][12]。他者と一緒にパブリックディスプレイ空間に滞在したか、グループでいるときにアクティブだったか、といった点から尺度が構成される）も重要な観点となる。

一般的なコンピュータシステム、パブリックディスプレイいずれの場合も、上述の観点からこれらを設計・評価する際、上述の客観的な尺度だけでなく、ユーザによる主観的反応（例えば、好み、使いやすさ、作業負荷等）も併せて考慮することが多い。

### 2.1.2 実験室ではなく現場で評価する

パブリックディスプレイを評価する際、実験室ではなく現場で実施することが重要である[10][13][14]。主な理由は次の2点である。第1に、公共の空間には様々な人々が頻繁に出入りする。このような状況を実験室実験で再現することは難しい。第2に、実験室では、参加者は「良い参加者でなければならない」と感じ、研究者の期待に沿うように行動や回答を調整する[15][16]傾向がある。特に見知らぬ人がいるときの社会的行動の再現が困難である[16]。

以上2.1.1および2.1.2節より、一般的なコンピュータシステムとパブリックディスプレイは、設計・評価する際に重要な観点が異なる。一般的なコンピュータシステムを対象とした研究の知見が、パブリックディスプレイに適用できるとは限らない。また、パブリックディスプレイの研究

分野は比較的新しいため、一般的なコンピュータシステムと比べると知見が十分でない。よって以降では、それぞれの研究をレビューする。

## 2.2 複数の UI タイプの比較

NUIの実用化に伴い、NUIと従来UI（キーボード、マウス、スタイラスペン等）を比較する研究や、複数のNUIタイプを比較する研究は増えつつある。

本段落では、一般的なコンピュータシステムを対象として、複数のNUIタイプを比較した文献を概観する。タッチUIとタンジブルUIを *task efficiency* の観点に基づいて比較した研究は存在するが、一貫性のある見解は得られていない——タンジブルUIが優位[17][18][19]、タッチUIが優位[20][37]、両者に差はない[21][22]。また、より先進的なジェスチャUIや視線UIを比較対象とした研究は存在するものの、その数は限られている[37][23]。Carvalhoら[37]は、正しいボタンを選択するタスクで、4つのUIタイプを比較し、タスク完了時間はタッチ（最短）、マウス、タンジブル、ジェスチャの順で長くなることを明らかにした。Schneiderら[23]は、オブジェクトを移動させるタスクで、3つのUIタイプを比較し、タスク完了時間はタッチ（最短）、視線、マウスの順で長くなることを明らかにした。

本段落では、パブリックディスプレイを対象として、複数のUIタイプを比較した文献を概観する。このテーマを扱った研究は限られている[24][25]。Maら[25]は、大規模な科学データを探索するアプリケーションを用いて、タッチUIとタンジブルUIを比較した。その結果以下のことを確認した：タッチUIよりもタンジブルUIの方が、滞在時間が長く、他者と一緒に展示空間に滞在した来場者の割合が高い；操作頻度や会話内容は両UIタイプ間で差がない。

以上より、一般的なコンピュータシステムを対象として、タッチUIとタンジブルUIを比較した研究は複数あるものの、一貫性のある見解は得られていない。パブリックディスプレイを対象として、タッチUIとタンジブルUIを比較した研究は限られている[25]。また、一般的なコンピュータシステム、パブリックディスプレイいずれの場合も、より先進的なジェスチャUIや視線UIを比較した研究はわずかである。加えて、上述の研究はいずれも、特定のアプリケーションのみを分析対象にしている。

## 2.3 年齢が UI の利用に与える影響

NUIの実用化に伴い、子供から高齢層[26]まで幅広い年齢層の人がコンピュータを気軽に利用できるようになった。それに伴い、年齢とUIの関係を検討した研究の焦点は、従来のUIからNUIに遷移しつつある。

本段落では、一般的なコンピュータシステムを対象として、年齢がNUIの利用に与える影響を調査した文献を概観する。これらのほとんどは、高齢層あるいは子供に焦点を合わせている。高齢層を対象にタッチUIの利用を調査した研究[27][28][29][30][31]を俯瞰すると、全般的には高齢層

はタッチ UI の恩恵を受けていることがわかる。10 歳未満の子供を対象にタンジブル UI の利用を調査した研究 [33][34][35]からは、一貫性のある見解は得られていない。高齢層や子供以外の年齢層も扱った研究も少ないが存在する [36]。Carvalho ら [36]は、3 つの年齢層 (9-12/20-35/45-60 歳) を対象に、オブジェクトを動かすタスクで 2 種類のジェスチャ UI デバイス (Microsoft Kinect と Leap Motion) を比較した。その結果、task efficiency の観点では、両デバイスとも 9-12 歳が他の年齢層より劣っていることを確認した。複数 NUI を比較した研究 (2.2 節) の中には、年齢を要因に含めて分析を行っているものもある [23][37]。Carvalho ら [37]は、3 つの年齢層 (9-12/20-30/45-60 歳) を対象に、マウス、タッチ、タンジブル、ジェスチャ UI を比較した。その結果、task efficiency の観点では、マウス UI では 20-30 歳と 45-60 歳間に差があるが、他の UI では年齢層間に差がないことを確認した。

本段落では、パブリックディスプレイを対象として、年齢が UI の利用に与える影響を調査した文献を概観する。前述した研究 [24][25]は、年齢も要因に含めて分析を行っている。Horn ら [24]は、2 つの年齢層 (2-16 歳/17 歳以上) を対象に、マウス UI とタンジブル UI を比較し、以下のことを確認した：展示を操作した来場者の割合・グループでいるときに活発だった来場者の割合は、マウス UI よりもタンジブル UI の方が高く、それらの傾向は 2-16 歳の場合に顕著である；展示空間に滞在していた時間は、年齢層間で差はない。Ma ら [25]は、4 つの年齢層 (-7 歳/8-12 歳/10-19 歳/20 歳) を対象に、タッチ UI とタンジブル UI を比較し、展示空間に入った来場者の割合は、年齢層間で差がないことを確認した。また、Ichino ら [8]は、3 つの年齢層 (15-29/30-44/45-60 歳) を対象に、タッチ UI を用いた 3 種類のディスプレイ角度を比較し、ディスプレイ空間に入った確率・ディスプレイを操作した確率・滞在時間・操作頻度は年齢層間で差がないことを確認した。市野ら [38]は、7 つの年齢層を対象に、タッチ UI を比較し以下のことを確認した：展示を操作した来場者の割合は 40 代前後が高い；展示を操作するまでに要した時間は 10 代が最も長い；滞在時間・操作頻度は年齢層間で差がない；「誰かと一緒に体験した」と回答した割合は 10 代が最も高い；「展示を楽しんだ」と回答した割合は年齢層間で差がない。

以上より、上述の研究の大半は特定の部分の年齢層に着目している。また、より先進的なジェスチャ UI や視線 UI を比較した研究はわずかである。加えて、上述の研究はいずれも特定のアプリケーションのみを分析対象にしている。

### 3. 研究課題

2.2 および 2.3 節の文献調査から、各年齢層の来場者が、NUI を用いたシステムの利用を理解するためには、利用が現実的になりつつあるジェスチャ UI も含めた複数の NUI

タイプを対象として、部分的ではなく幅広い年齢層の来場者の、特定のアプリケーションではなく複数のアプリケーションを対象に分析する必要があることがわかる。2.1 節のパブリックディスプレイに関する基礎的な知見に基づき、本研究は以下の 4 つの研究課題を設定し、これらの課題を探るために、実験室ではなく現場という環境で、パブリックディスプレイの利用を観察した。

**Attractiveness** : NUI (タッチ、タンジブル、ジェスチャ UI) を用いたパブリックディスプレイは、各年齢層の来場者へのどの程度引きつけるか？具体的には、全来場者のうちどのくらいの来場者がパブリックディスプレイ空間に入るか？ (5.1.1 節)；ディスプレイ空間に入った来場者のうちどのくらいの来場者がディスプレイを操作するか？ (5.1.2 節)；ディスプレイ空間に入ってからディスプレイを操作するまでにどのくらいの時間を要するか？ (5.1.3 節)。

**Engagement** : 各年齢層の来場者は、NUI を用いたパブリックディスプレイとどの程度関与するか？具体的には、来場者はパブリックディスプレイ空間にどのくらいの時間滞在するか？ (5.2.1 節)；ディスプレイをどのくらい頻繁に操作するか？ (5.2.2 節)。

**Social interaction** : 各年齢層の来場者は、NUI を用いたパブリックディスプレイ空間で、他者とどの程度関わるか？具体的には、来場者はパブリックディスプレイ空間に他者と一緒にどのくらい滞在するか？ (5.3.1 節)。

**Preference** : 各年齢層の来場者は、NUI を用いたパブリックディスプレイをどの程度好むか？ (5.4.1 節)。

attractiveness と engagement の検討において、本稿では、パブリックディスプレイ空間に他者がいない状況下の来場者 (以降、単独来場者) の行動を対象とする。前述した通り、パブリックディスプレイの研究においては、パブリックディスプレイ空間に他者がいる状況下の来場者の行動を理解することも重要となる。しかし、いずれの状況の知見もないのに、他者がいる状況を先行して分析することは、問題を複雑にする。それゆえ、本稿では、パブリックディスプレイにおける、年齢が NUI の利用に与える影響を調査する研究の第一歩として、単独来場者を中心に扱う。

### 4. フィールドスタディ

本研究は、ルーヴル美術館と大日本印刷 (以降、DNP) による共同プロジェクト <ルーヴルー DNP ミュージアムラボ [39]> の第 7~10 回展の協力を得て実施された。表 1 に各企画展の概要を示す。いずれの企画展も、東京の DNP オフィスビルのエントランスホールの一隅で行われ、3 つの空間——美術作品展示室 (ルーヴル美術館所蔵の美術作品を鑑賞する空間)、シアター (美術作品に関する映像を見る空間)、体験型展示室 (美術作品に関する複数の体験型展示を体験する空間) ——で構成された。本研究は第 7~10 回展で設置された体験型展示の一部を使って実施された。

#### 4.1 調査環境

各企画展の体験型展示室には複数の体験型展示（以降、展示。本稿におけるパブリックディスプレイと同義）が設置された。表1の最右端の列に設置された展示の数を示す。来場者の行動を追跡するために、各展示の前面の床に、アクティブRFIDタグ[40]のアンテナが設置された。体験型展示室に滞在している間、来場者にRFIDタグカードを首から下げてもらった。来場者が展示空間（RFIDタグ検知エリア）に入ると、自動的に操作に関するメッセージがディスプレイに表示された。

共同プロジェクトの目的は、新しい美術鑑賞のあり方を探ることであった。そのため、各展示は、タッチ、タンジ

ブル、ジェスチャ等の様々なUIタイプを用いて開発された。表2と図1に、本研究が調査対象とした展示の概要を示す。タッチUIはいずれもシングルタッチである。タンジブルUIとジェスチャUIは、いずれも、同時に1人の人が使うことを想定して開発された。

#### 4.2 来場者

企画展には誰でも参加できるため、多種多様な人が来場した（表3）。来場した際、来場者の基本属性を来場者自身に登録してもらった。この基本属性は、来場者のRFIDタグと紐付けられた。但し、学生が団体で来場した場合等は基本属性の登録とRFIDタグの携行が省略された。表1と表3の来場者数が一致しないのはそのためである。

表1 <ルーヴル-DNPミュージアムラボ>プロジェクトの第7~10回展の概要

企画展のタイトル	開催期間	開催日数	のべ来場者数	設置された体験型展示の数
第7回展 外交とセーヴル磁器展：ヨーロッパの歴史を動かした華麗な器たち	2010.10.23 - 2011.5.15	83	9,000	9
第8回展 来世のための供物展：古代エジプト美術から読み解く永遠の生への思い	2011.10.8 - 2012.3.4	62	8,000	5
第9回展 ゴヤの《青い服の子供》：ルーヴル美術館のスペイン絵画コレクションに入るまで	2012.4.27 - 2012.10.28	78	13,000	6
第10回展 古代ギリシアの名作をめぐって— 人 神々 英雄	2013.2.1 - 2013.9.1	89	13,000	6

(金土日のみ開館)

表2 本研究が調査対象とした体験型展示の概要

タイトル	UIタイプ	概要
A 第7回展 軟質磁器の製作技術	ジェスチャ	セーヴル磁器の製作技術を紹介するシステム。来場者が各製作工程の前に手をかざすと、正面のスクリーンにその工程の作業の様子のビデオ映像が表示される。
B 第8回展 葬祭用のステラを解説する	タッチ	古代エジプト王家の高官サケルティのための石碑（ステラ）に描かれた内容を解説するシステム。
C 第8回展 供物奉納の儀式に参加する	タンジブル	古代エジプトの供物奉納の儀式を体験するシステム。来場者が儀式的道具（香炉）を持って左右に動かすと正面のスクリーン上に香の煙や解説映像が表示される。
D 第9回展 ルーヴル美術館所蔵のスペイン絵画の傑作	タッチ	ルーヴル美術館における現在のスペイン絵画コレクション作品を紹介するシステム。
E 第9回展 シストゥエ・マシン：解釈は自由	タッチ	ゴヤの《青い服の子供》に描かれた子供の洋服・持ち物・背景を着せ替えて遊ぶシステム。来場者はスロットマシンに表示されるバリエーションの中から選択する。
F 第9回展 絵画とその物質性	タンジブル	絵画を構成する物質的要素（支持体、下絵、絵画層、保護）や絵画の劣化の要因（時間、熱、湿気、光）を解説するシステム。来場者が各要素や各要因に対応するオブジェクトを操作すると、スクリーン上の絵画が変化したり解説映像が表示される。
G 第10回展 ヘラクレス：描かれた神話	タンジブル	古代ギリシアの壺に描かれた神話を紹介するシステム。来場者がオブジェクトをテーブル上の穴に置くと、穴に描かれた壺の絵や解説映像が正面のスクリーン上に表示される。
H 第10回展 男性の裸像：完璧を求めて	ジェスチャ	古代ギリシア彫像のポーズを体験するシステム。来場者が正面スクリーンの彫像のポーズを真似て手足を動かすと、彫像CGが来場者の身体の動きに沿って変化する。



図1 本研究が調査対象とした体験型展示の利用の様子

表4 本研究が分析対象とした各体験型展示を利用した来場者の数

	A	B	C	D	E	F	G	H
$n_1$ 開催期間中、体験型展示室に入ってRFIDタグを携行した来場者の数	987	645	1787	2706	2706	2706	2952	2952
$n_2$ $n_1$ のうち、当該展示のある空間（RFIDタグ検知エリア）に一度でも入った来場者の数	714	286	1394	2575	2561	2554	2589	2483
行動データ $n_3$ $n_2$ のうち、当該展示のある空間に入ってから出るまで1人だった来場者(図2のcompletely-alone)の数	193	274	460	817	871	1131	520	742
$n_4$ $n_3$ のうち、当該展示を一度でも操作した来場者の数	165	260	-(*)	790	859	1054	504	536
アンケート $n_5$ 開催期間中、当該展示に関するアンケートに回答した来場者の数	246	272	270	301	301	296	281	277

表3 第7～10回展の来場者の基本属性

	7th		8th		9th		10th	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Total	1659	100.0	1456	100.0	2655	100.0	2635	100.0
Age (years)								
10 to 19	90	5.4	99	6.8	160	6.0	210	8.0
20 to 29	383	23.1	319	21.9	488	18.4	437	16.6
30 to 39	302	18.2	275	18.9	461	17.4	451	17.1
40 to 49	312	18.8	306	21.0	519	19.5	564	21.4
50 to 59	245	14.8	198	13.6	453	17.1	390	14.8
60 to 69	189	11.4	146	10.0	325	12.2	307	11.7
70+	87	5.2	77	5.3	178	6.7	205	7.8
No response	51	3.1	36	2.5	71	2.7	71	2.7
Gender								
Male	487	29.4	543	37.3	1016	38.3	1086	41.2
Female	1119	67.5	870	59.8	1543	58.1	1453	55.1
No response	53	3.2	43	3.0	96	3.6	96	3.6
Language								
Japanese	1607	96.9	1403	96.4	2599	97.9	2561	97.2
French	28	1.7	22	1.5	32	1.2	43	1.6
English	24	1.4	31	2.1	24	0.9	31	1.2

(The total of the 7th to 10th is 8,405.)

### 4.3 データの収集および分析

表4に各展示で本研究が分析対象とした来場者数を示す。

#### 4.3.1 行動データ

来場者の行動を記録するために、各展示は、展示システム制御 PC、RFID システム、行動データ管理 PC を用いて運用された。

【展示システム制御 PC】来場者が展示を操作する（タッチパネルに触れる、物体を動かす、ジェスチャをとる）と、操作データが行動データ管理 PC にリアルタイムで送られた。このデータに操作者を特定する情報は含まれていない。

【RFID システム】RFID タグの検知エリアは、展示前面の床を中心とする半径約 750mm の球内である。来場者が検知エリア内に入る・エリア外に出ると、RFID タグ受信機から、イベントデータがタグデータ（来場者 ID）と共に行動データ管理 PC にリアルタイムで送られた。

【行動データ管理 PC】展示システム制御 PC と RFID システムからのデータを受信すると、両データの同期がとられた。これにより、操作者（来場者 ID）が特定された。但し、この特定が可能なのは同時に RFID タグ検知エリア内にいる来場者数が 1 人の場合にに限られる。

前節で述べた通り、attractiveness と engagement に関する検討において、本研究では単独来場者を対象とした。上述の運用システム上では、RFID タグ検知エリアに入ってから出るまで完全に 1 人だった来場者（図 2 の completely-alone）を単独来場者とした。

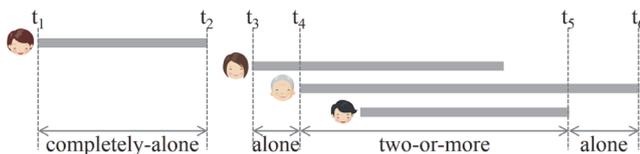


図2 同時来場者数の捉え方

#### 4.3.2 アンケート

各企画展で、各展示に対して「どの程度良いと思ったか」を、5段階のリッカート尺度（1: 良くなかった—5: 良かった）を用いて、来場者に評価してもらった。またその理由を自由回答形式で回答してもらった。アンケートへの回答

は任意であった。

### 4.3.3 観察とヒアリング

各回の企画展の開催期間中からランダムに選ばれた 3 日間に、会場のスタッフによる観察とヒアリングが行われた。ランダムに選ばれた 1 日当たり 10 名の来場者を対象とした。体験型展示室での来場者の様子の観察の後、簡単なヒアリングが行われた。来場者の発言や、観察とヒアリングから得られた気づきが、スタッフノートに記録された。

### 4.3.4 統計的処理

【パラメトリックデータ】本研究は 8 つの展示（図 1、表 2）を調査対象とした。当然のことながら、各展示はコンテンツも設置環境も異なる。これらを横断的に比較分析するために、パラメトリックデータに対しては、以下の手順で分析した。まず、展示ごとに、標本の平均値が 0、標準偏差が 1 になるように測定値を正規化した z スコアを求めた。次に、8 展示の全標本を集計し、これを UI タイプ（Touch, Tangible, Gesture）によって 3 つに分割した。そして、UI タイプごとに、年齢層（10-19, 20-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69, 70+）を独立変数、z スコアを従属変数とした 1 要因分散分析を行った。年齢層の主効果が有意であった場合には、下位検定として Tukey-Kramer 法を用いて年齢層間で多重比較検定を行った。注記：展示ごとに測定値を正規化する（すべての展示の平均値は 0）ため、UI タイプをも独立変数に含めた 2 要因分散分析を行うことは無意味である。

【カテゴリカルデータ】まず、度数分布を正規分布化するために、対象とした各カテゴリーの度数の全体に対する割合を逆正弦変換した。逆正弦変換値は割合が 0% のとき 0 度、100% のとき 90 度になる。次に、UI タイプごとに、年齢層を独立変数、逆正弦変換値を従属変数とした、 $\chi^2$  分布を利用した 1 要因分散分析を行った。主効果が有意であった場合には、下位検定として Ryan 法を用いて年齢層間で多重比較検定を行った。

表 4 に示す通り、展示 C は操作データが収集されなかった。従って、操作に関する尺度（図 4、図 5、図 7）には、展示 C のデータは含まれていない。

## 5. 結果

図 3,4 のグラフは逆正弦変換値の平均値を表す。図 5～9 のグラフは z スコアの平均値を表し、誤差バーは平均の標準誤差を表す。本節の各グラフの\*印の右の数字は、前節で示した下位検定における有意水準を表す。記号とその有意水準は以下の通りである：“\*1”:  $p < 0.05$ , “\*2”:  $p < 0.01$ , “\*3”:  $p < 0.001$ , “\*4”:  $p < 0.0001(1E-4)$ , ..., “\*N”:  $p < 1E-N$ 。

### 5.1 Attractiveness

#### 5.1.1 来場者は展示空間に入ったか？

体験型展示室に入って RFID タグを携行した来場者のうち、展示空間（RFID タグ検知エリア）に一度でも入った単独来場者の割合（表 4 の  $n3/n1$ ）を求めた。UI タイプごとに

分散分析を行った結果、Touch ( $\chi^2(6)=61.73, p<1E-10$ ), Tangible ( $\chi^2(6)=166.26, p<1E-32$ ), Gesture ( $\chi^2(6)=66.62, p<1E-11$ ) において主効果が有意であった。下位検定の結果、図3に示す水準間で有意差が見られた。すべてのUIタイプで、10代が他のどの年齢層よりも、展示空間に入った割合が有意に低かった。

UIタイプ間の差異に注目すると、ほとんどの年齢層で、Touchが最も高く、Gestureが最も低かった。

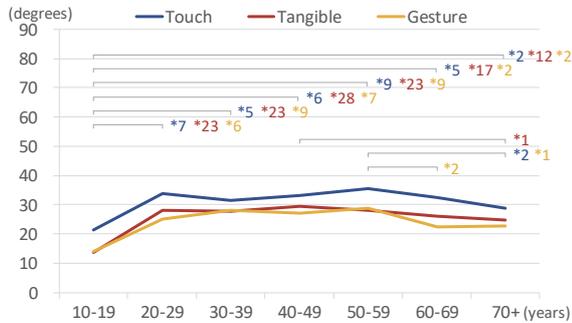


図3 展示空間に入った来場者の割合

### 5.1.2 来場者は展示を操作したか？

展示空間に一度でも入った単独来場者のうち、展示を一度でも操作した来場者の割合(表4の $n_4/n_3$ )を求めた。UIタイプごとに分散分析を行った結果、Gesture ( $\chi^2(6)=17.67, p<.01$ ) において主効果が有意であった。下位検定の結果、図4に示す水準間で有意差が見られた。

UIタイプ間の差異に注目すると、ほとんどの年齢層で、Tangibleが最高で、Gestureが最低だった。Tangibleが高かったという結果は、スタッフの気付き「ほとんどの人は、展示の主旨を理解する(ガイドンスを読む)前にオブジェクトを動かした。」(展示G, Tangible)からも裏付けられた。

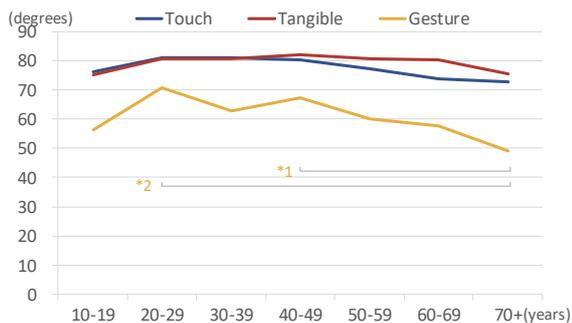


図4 展示を操作した来場者の割合

### 5.1.3 来場者はすぐに展示を操作したか？

展示を一度でも操作した単独来場者(表4の $n_4$ の来場者)が、展示空間に入った後初めて展示を操作するまでの時間を求めた。各展示の測定値の平均は、A:45秒、B:20秒、D:7秒、E:40秒、F:35秒、G:12秒、H:137秒であった。UIタイプごとに分散分析を行った結果、Touch ( $F(6,1806)=11.13, p=3.19E-12$ ), Tangible ( $F(6,1135)=13.22, p=1.62E-14$ ), Gesture ( $F(6,544)=2.20, p=0.041$ ) において主効果が有意であった。下位検定の結果、図5に示す水準間

で有意差が見られた。TouchとTangibleで、60代と70歳以上が、自分より低い年齢層よりも、展示空間に入って展示を操作するまでの時間が有意に長かった。

UIタイプ間の差異に注目すると、TouchとTangibleで、年齢が高くなるにつれて時間が長くなる傾向が見られた。

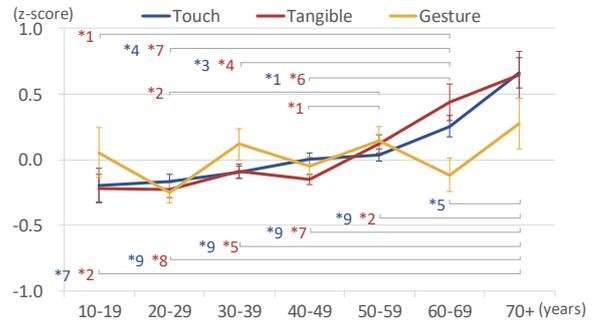


図5 展示を操作するまでに要した時間

## 5.2 Engagement

### 5.2.1 来場者は展示空間に長く滞在したか？

滞在時間——展示空間に一度でも入った単独来場者(表4の $n_3$ の来場者)が展示空間に滞在していた時間[41](RFIDタグ検知エリアに入ってから出るまでの時間)の総時間——を求めた。各展示の測定値の平均は、A:4.9分、B:8.6分、C:7.4分、D:9.0分、E:3.4分、F:7.1分、G:10.0分、H:6.8分であった。UIタイプごとに分散分析を行った結果、Tangible ( $F(6,1740)=3.03, p=0.006$ ), Gesture ( $F(6,901)=4.85, p=6.89E-05$ ) において主効果が有意であった。下位検定の結果、Tangibleでは30代が60代よりも、Gestureでは20~40代が60代と70歳以上よりも、滞在時間が有意に長かった(図6)。

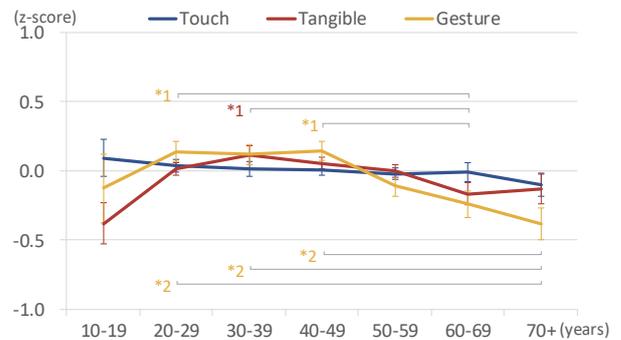


図6 展示空間の滞在時間

### 5.2.2 来場者は展示を頻繁に操作したか？

展示を一度でも操作した単独来場者(表4の $n_4$ の来場者)が展示を操作した総頻度を求めた。UIタイプごとに分散分析を行った結果、Touch ( $F(6,2222)=7.61, p=4.18E-08$ ) において主効果が有意であった。Touchに対する下位検定の結果、10~40代が60代よりも、10~50代が70歳以上よりも、操作頻度が有意に高かった(図7)。グラフから、Touchでは、年齢の上昇に伴って操作頻度は低下することがわかる。これらの結果は、スタッフの気付き「若い世代は、自然に画面に触れ、拡大や回転などの機能を使いこな

していたが、年齢が上がると恐る恐る操作する人も少なくなかった」。 (展示 D, Touch) からも裏付けられた。

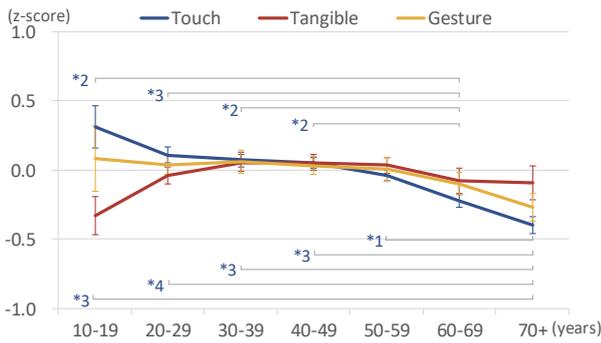


図7 展示の操作頻度

その他、Tangible と Gesture に対しては、以下のようなスタップの否定的な気付きがあった。

- 「オブジェクトを触り始めた後で、複数オブジェクトの操作する順番が決まっていることに気付くもの、もはやどうでも良いという感じで、順番を無視したまま適当に触る人が多かった。」 (展示 G, Tangible)
- 「ジェスチャをとることに注意が向きがちで、解説があまり読まれない傾向が見られた。」 (展示 H, Gesture)

### 5.3 Social interaction

#### 5.3.1 来場者は他者と一緒に展示空間に滞在したか？

展示空間に一度でも入った来場者 (表 4 の  $n_2$  の来場者) が展示空間に滞在していた全時間のうち、他者と一緒に滞在していた時間が占める割合を求めた。各展示の測定値の平均は、A:58%, B:10%, C:56%, D:47%, E:20%, F:43%, G:47%, H:29%であった。UI タイプごとに分散分析を行った結果、Touch ( $F(6,5193)=17.73, p=1.94E-20$ ), Tangible ( $F(6,6173)=25.47, p=4.73E-30$ ), Gesture ( $F(6,3009)=19.38, p=2.75E-22$ ) において主効果が有意であった。下位検定の結果、図 8 に示す水準間で有意差が見られた。グラフから、すべての UI タイプの 10 代と、Touch UI と Tangible UI の 70 歳以上の来場者の時間割合がより高いことがわかる。

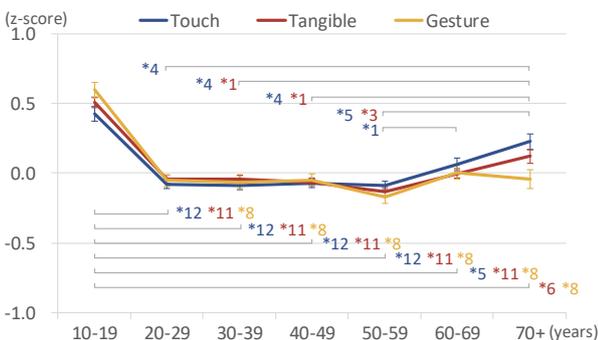


図8 他者と一緒に展示空間に滞在した時間割合

### 5.4 Preference

#### 5.4.1 来場者は展示を好んだか？

来場者 (表 4 の  $n_5$  の来場者) の、「どの程度良いと思いましたが」の質問に対する 5 段階評価値を調べた (図 9)。各展示の測定値の平均は、A:4.3, B:4.5, C:4.5, D:4.2, E:3.9,

F:4.5, G:4.3, H:4.1 であった。UI タイプごとに分散分析を行った結果、いずれも主効果は有意でなかった。

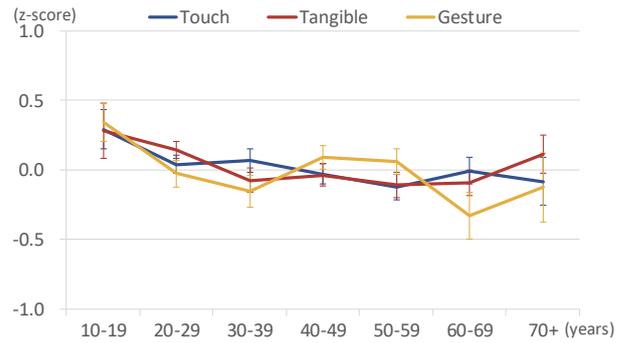


図9 展示に対する好み

本段落では質的データの結果を示す。来場者の自由記述回答には、すべての UI タイプの展示に対して、「楽しかった」、「面白かった」といった肯定的な回答が多数あった。一方で、操作方法の難しさを指摘した否定的な回答は、Gesture が最も多く、次いで Tangible がややあり、Touch はほとんどなかった。さらに、Tangible と Gesture に対しては、理解や内省的思考に関する特性を示唆する、以下のような来場者の発言が複数あった。但し、年齢層との関連性は見られなかった。

- 《タンジブル UI が理解や内省的思考を促す》
  - 「文章で読むだけよりも実際に身体を使って試すと、情報が入ってきやすかった。」 (展示 C, G)
  - 「実体験を通すことで絵を描く工程をよく理解できた。」 (展示 F)
- 《タンジブル UI が理解や内省的思考を阻害する》
  - 「(オブジェクトを) 穴に入れることしか考えていなかった。」 (展示 G)
  - 「解説ビデオを見ずに、(オブジェクトを) ポンポンと置いてしまった。」 (展示 F)
- 《ジェスチャ UI が理解や内省的思考を阻害する》
  - 「単に身体のバランスをとるゲームみたいだった。」 (展示 H)
  - 「解説は読んだが、どちらかというとも身体を動かすことに夢中になってしまった。」 (展示 H)

## 6. 議論

### 6.1 Attractiveness

#### 6.1.1 年齢層間の差異

attractiveness の観点において、最も特徴的な年齢層は 10 代だった。すべての UI タイプで、他のどの年齢層よりも 10 代は展示空間に入った割合が低かった (図 3)。年齢層間で好みの差は見られなかった (図 9) ため、展示の内容が 10 代にとって興味を引かなかったが故に展示空間に入らなかったとは考えにくい。本結果は、発達心理学的に、10 代の自意識過剰[42]によって、公共の場で利用することへの羞恥心が先行し展示に接近しなかった、と解釈できるかもしれない。本研究では単独来場者を対象としたため、本結果が同一展示空間内には他者がいない条件下での結果であることまでは特定できるが、隣の展示空間に他者がいたかどうかは明らかでない。公共の場における他者の気配に

関するどのような条件（例えば、距離や壁の設置状況）によって、10代の展示空間に入る割合が低くなるのかについては、さらなる検証が必要である。一方で、10代は展示空間に入った後は、他のどの年齢層よりもすぐさま展示を操作した（図5）。以上の結果は、10代をパブリックディスプレイ空間の中に呼び込むまでの支援の重要性を示す。しかし一方で、タッチUIを検証した市野ら[38]の結果（2.3節）を追認しなかった。これらについてはさらなる検証が必要である。

次いで、60代と70歳以上が特徴的であった。すべてのUIタイプの展示が、20～50代よりやや劣るものの60代と70歳以上を十分に引きつけた（図3、図4）。これらの結果から、高齢層の積極的な姿勢が伺える。これは、美術展に会場展示を操作できる高齢層は一般的に健康であることが要因と推測される。しかし、TouchとTangibleでは、彼らは他のどの年齢層よりも、展示を操作するまでに時間を要した（図5）。最も時間の短かった10代と70歳以上の平均の差は、最長で17秒もあった（展示F）。これらの結果は、タッチやタンジブルUIを用いたパブリックディスプレイを設計する際、高齢層を操作に誘導するための配慮（例えば、丁寧な操作ガイドを提供する、後から来た人が高齢者を急かすことのないよう時空間的にゆとりのある空間を作る）の必要性を示す。

20代～50代の間には、attractivenessに関する統計的有意差がほとんどなかった（図3、図4、図5）。本結果は、Ichinoら[8]の結果を追認した（2.3節）。

### 6.1.2 UIタイプ間の差異

TouchはTangibleやGestureと比較して、すべての年齢層の来場者が展示空間に高い割合で入った（図3）。

TangibleはTouchやGestureと比較して、ほとんどの年齢層の来場者の操作を高い割合で誘導した（図4）。スタッフの気付き「ほとんどの人は、展示の主旨を理解する前にオブジェクトを動かした」もこれを支持した。本結果は、Maら[25]の結果（2.2節）を追認した。本研究の結果は、タンジブルUIの、物理的なオブジェクトがインタラクションをよりplayfulに見えるようにし、それによって利用を促進する[43]という特徴が、すべての年齢層の来場者にとって有効であることを確認した。

GestureはTouchやTangibleと比較して、ほとんどの年齢層の来場者を引きつけなかった（図3、図4）。これらの結果は、ジェスチャUIを用いたパブリックディスプレイを設計する際、展示空間に来場者を引きつけるための工夫が必要であることを示す。但し、本研究のジェスチャUIを用いた展示は、いずれも、同時に1人の人が使うことを想定して開発された（4.1節）。同時に2人以上の人が使える状況では、異なる結果になる可能性がある。

## 6.2 Engagement

### 6.2.1 年齢層間の差異

engagementの観点において、全体的に年齢層間の差があまり見られなかった（図6、図7）。本結果は、Ichinoら[8]、Hornら[24]、市野ら[38]の結果を追認した（2.3節）。

唯一明らかな傾向が確認されたのは、Touchに対する高齢層（60代と70歳以上）の反応だった——他の年齢層よりも、Touchの展示を操作しなかった（図7）。TangibleやGestureではなくTouchでこの傾向が見られたことについて考察する。タンジブルUIは手全体で、ジェスチャUIは身体全体で操作するのに対して、タッチUIは指先で操作するため操作の粒度が小さい。多くの既存研究は、高齢層は一般的にタッチUIの恩恵を受けタッチUIを好む（2.3節）一方で、視覚的インタフェース（ターゲットのサイズや位置、ターゲット間の間隔、フォントサイズ等）が不適切だと操作が困難になることを示している[30]。この知見や、スタッフの気付き「年齢が上がると恐る恐る操作する人も少なくなかった」を踏まえると、本研究で扱った展示の視覚的インタフェースも高齢層にとっては不適切だった可能性が考えられる。

### 6.2.2 UIタイプ間の差異

量的データ（図6、図7）からは、UIタイプ間の明確な差異は認められなかった。しかし、質的データ——スタッフの気付き（5.1、5.2節）と来場者の発言（5.4節）——から、TangibleとGestureに対する以下の問題点を指摘できる。Tangibleは、「playfulに見える[43]」が故に、来場者は目の前の物体に反射的に反応し、「展示の主旨を理解する前に物体を動かした」と考えられる。物体を動かす行為が、来場者の理解や内省的思考を促す場合もあれば、逆に、動かす行為自体に注意が向き、理解や内省的思考を阻害する場合もあることがスタッフの気付きや来場者の発言から読み取れる。同様にGestureも、身体を動かす行為自体に夢中になり、理解や内省的思考を阻害する場合があることが読み取れる。これらの結果は、タンジブルやジェスチャUIは、人間の認知モード[44]を体験的モードにするには適しているが、内省的モードにするには適していない可能性を示唆する。ミュージアムは、単に楽しむだけでなく内省的思考を深める場でもある。ミュージアムにタンジブルやジェスチャUIを用いたシステムを導入する場合は、UIを通して体験から内省へスムーズにシフトできるかどうかを念頭において設計することの必要性を示唆する。これについてはさらなる検証が必要である。

## 6.3 Social interaction

social interactionの観点において、どのUIタイプも、傾向が極めて類似していた——10代が突出して他者と一緒に滞在し、その後に70歳以上が続いた（図8）。本結果は、Hornら[24]と市野ら[38]の結果（2.3節）を追認した。

10代は、単独では展示空間になかなか近づけない（図3）

が故に、他者と一緒に展示空間に滞在したと推測される。これらの結果は、10代を対象にしてパブリックディスプレイを設計する場合は、他者と一緒に体験を支援することの必要性を示す。青年期の人にとって重要な対人関係は仲間であり[45]、彼らは仲間と一緒に行動することを好む[46][47]。そのため、見ず知らずの他人ではなく、知人と一緒に体験することへの支援がより重要となる。また、この10代の特徴は、どのUIタイプでも見られたため、将来出現する新たなUIを用いたパブリックディスプレイを設計する際にも適用できる可能性がある。

10代ほど強い傾向ではないものの、70歳以上も、TouchとTangibleでは、他者と一緒に展示空間に滞在した(図8)。これは、10代と同様に、70歳以上に対しても他者と一緒に体験を支援することの必要性を示す。

#### 6.4 Preference

いずれのUIタイプも若年層の評価が高めではあるものの、年齢層間で好みの差は見られなかった。本結果は、タッチUIを用いたテーブルトップディスプレイで、複数の項目の主観的反応で、2つの年齢層(19-26/60-88歳)間で、有意差はなかったPiperら[28]の結果や、市野ら[38]の結果を追認した。また、Zuckermanらは滞在時間や操作頻度と好みは正の相関がある[48]と予想したが、そのような傾向は見られなかった。

Gestureに対して、操作方法の難しさを指摘する来場者の発言が散見された(5.4.1節)。Gestureの主観的反応が低かったという結果は、Carvalhoら[37][36]の結果を追認した。

### 7. 限界と今後の課題

本研究の限界と今後の課題について考察する。

第1に、本研究は主に単独来場者の行動を分析した。今後、パブリックディスプレイ空間に他者がいる状況下の来場者に焦点を合わせることは重要かつ興味深い。本研究が用いた各尺度はどう変わるであろうか。social interactionを評価する尺度として、他者と一緒にパブリックディスプレイ空間に滞在した際一緒に操作した割合[25]、対人距離や位置取り[10]、会話内容[25]はどうなるであろうか。これら尺度を用いる場合の注意点を述べる。本研究が用いた手法は、展示空間を出入りするといった大きな粒度の行動に関しては、同時来場者数が2人以上でも個人を特定できるが、展示の操作行動(タッチする、物体を動かす、ジェスチャをとる)に関しては、同時来場者数が1人の場合にしか個人を特定できない(4.3.1節)。複数の来場者の行動を同時に分析する場合は、操作者を特定する手法(例えば[49][50])を本研究の手法に組み入れる等の対応が必要である。

第2に、本研究は10代の来場者を一括りに扱った。しかし、10代は身体的にも精神的にも変化が著しく、社会的スキルも大きく発展する。そのため、10歳と19歳では、パブリックディスプレイを利用する際の行動は大きく異なる

可能性がある。本研究の結果を見ても、図6や図7の10代の測定値の標準誤差は他の年齢層よりも大きかった。本研究では、来場者に、正確な年齢ではなく年齢層(10歳ごとに区切ったグループ)を入力してもらったため、10~19歳のデータを細分化して追加分析を行えない。年齢を考慮した分析を行う場合は、特に10代の妥当な区分けを吟味する必要がある。また、人口構成の世界的な高齢化に伴い、70歳以上も細分化する必要性が生じる可能性がある。

第3に、本研究は量的な分析に比べて質的な分析が少ない。特に、パブリックディスプレイ空間に他者がいる状況で、パブリックディスプレイを利用する人々の社会的な行動を分析する際は、質的な分析が重要になる。現場にいる一般の人を記録する場合、プライバシーの問題が懸念されるため、深度カメラを用いる[10]等の対応が必要となる。

第4に、本研究は回遊する人が大多数を占めるコンテキストでパブリックディスプレイを評価したに過ぎない。したがって本研究の知見は、駅や空港など、明確な目的に向かって急いで移動している人が大多数を占めるコンテキストには適用できない可能性がある。

第5に、本研究結果は特定の時点での結果に過ぎない。多くの人はタッチUIには慣れていますが、タンジブルUIやジェスチャUIはまだ一般的にはなっていない。これらが今後普及すれば、本結果とは異なる結果になる可能性がある。特に若年層よりも高齢層に影響を与えるかもしれない。

### 8. 結論

本研究は、来場者がNUIを用いたパブリックディスプレイをどう利用し、ユーザ属性がこの利用にどう影響を及ぼすかを理解することを長期的目的とした研究の第一歩である。人は年齢によって身体機能、認知機能、精神心理機能が大きく変化する[51]。本稿では、ミュージアムという現場で、幅広い年齢層の来場者の、複数のパブリックディスプレイの利用に関する膨大なデータを収集し、各年齢層の来場者が、NUI(タッチ、タンジブル、ジェスチャUI)を用いたパブリックディスプレイをどう利用するのかを検討した。その結果、年齢層による違いや、UIタイプによる違いに関して、以下のことを発見した。

年齢層による違いに関して(検定統計量に基づく検討)。最も重要な発見は、10代の特異性が明らかになったことである。単独の10代は、パブリックディスプレイ空間に最も入らなかった。10代と70歳以上は、他者と一緒にパブリックディスプレイ空間に長く滞在した。以上の知見は、どのUIタイプでも見られたため、将来出現する新たなUIを用いたパブリックディスプレイを設計する際にも、適用できる可能性がある。一方、関与や好みに関しては、年齢層間の差は小さかった。また、タッチUIとタンジブルUIのとき、操作するまでに要する時間は、年齢の上昇に伴い長くなった。

UI タイプによる違いに関して (検定統計量に基づかない検討). すべての年齢層で, パブリックディスプレイ空間に入った来場者の割合はタッチ UI の場合に高く, パブリックディスプレイを操作した来場者の割合はジェスチャ UI の場合に低かった. また, タンジブルとジェスチャ UI は, 理解や内省的思考を阻害する可能性が示唆された.

アプリケーション (コンテンツ) に依存していない本研究の知見が活用され, あらゆる年齢層の人にとって有益なパブリックディスプレイが設計されることを期待する.

**謝辞** 本フィールドスタディは, <ルーヴル-DNP ミュージアムラボ>プロジェクトの協力により実施された. ここに謝意を表する.

## 参考文献

- [1] Mayer, R. E. and Moreno, R. 2003. Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist* 38, 1, 43-52.
- [2] Oviatt, S. and Cohen, P. 2000. Perceptual user interfaces: multimodal interfaces that process what comes naturally. *Communications of the ACM* 43, 3, 45-53.
- [3] Kuikkaniemi, K., Jacucci, G., Turpeinen, M., Hoggan, E. and Müller, J. 2011. From Space to Stage: How Interactive Screens Will Change Urban Life. *IEEE Computer*, 44, 6, 40-47.
- [4] Müller, J., Alt, F., Michelis, D. and Schmidt, A. 2010. Requirements and design space for interactive public displays. *Proc. MM '10. ACM*, 1285-1294.
- [5] Koppel, M. T., Bailly, G., Müller, J. and Walter, R. 2012. Chained displays: configurations of public displays can be used to influence actor-, audience-, and passer-by behavior. *Proc. CHI '12. ACM*, 317-326.
- [6] Müller, J., Walter, R., Bailly, G., Nischt, M. and Alt, F. 2012. Looking Glass: A Field Study on Noticing Interactivity of a Shop Window. *Proc. CHI '12. ACM*, 297-306.
- [7] Schmidt, C., Müller, J. and Bailly, G. 2013. Screenfinity: Extending the Perception Area of Content on Very Large Public Displays. *Proc. CHI '13. ACM*, 1719-1728.
- [8] Ichino, J., Isoda, K., Hanai, A. and Ueda, T. 2013. Effects of the Display Angle in Museums on User's Cognition, Behavior, and Subjective Responses. *Proc. CHI '13. ACM*, 2979-2988.
- [9] Müller, J., Eberle, D. and Tollmar, K. 2014. Communiplay: A Field Study of a Public Display Media Space. *Proc. CHI '14. ACM*, 1415-1424.
- [10] Ichino, J., Isoda, K., Ueda, T. and Satoh, R. 2016. Effects of the Display Angle on Social Behaviors of the People around the Display: A Field Study at a Museum. *Proc. CSCW '16. ACM*, 26-37.
- [11] Tolmie, P., Benford, S., Greenhalgh, C., Rodden, T. and Reeves, S. 2014. Supporting Group Interactions in Museum Visiting. *Proc. CSCW 2014. ACM*, 1049-1059.
- [12] Fosh, L., Benford, S. and Koleva, B. 2016. Supporting Group Coherence in a Museum Visit. *Proc. CSCW '16. ACM*, 1-12.
- [13] Rogers, Y. 2011. Interaction design gone wild: striving for wild theory. *Interactions*, 18, 4, 58-62.
- [14] Johnson, R., Rogers, Y., van der Linden, J. and Bianchi-Berthouze, N. 2012. Being in the thick of in-the-wild studies: The challenges and insights of researcher participation. *Proc. CHI '12. ACM*, 1125-1144.
- [15] Brown, B., Reeves, S. and Sherwood, S. 2011. Into the wild: challenges and opportunities for field trial methods. *Proc. CHI '11. ACM*, 1657-1666.
- [16] Hornecker, E. and Nicol, E. 2012. What do lab-based user studies tell us about in-the-wild behavior?: insights from a study of museum interactives. *Proc. DIS '12. ACM*, 358-367.
- [17] Tuddenham, P., Kirk, D. and Izadi, S. 2010. Graspables revisited: multi-touch vs. tangible input for tabletop displays in acquisition and manipulation tasks. *Proc. CHI '10. ACM*, 2223-2232.
- [18] Antle, A. N. and Wang, S. 2013. Comparing motor-cognitive strategies for spatial problem solving with tangible and multi-touch interfaces. *Proc. TEI '13. ACM*, 65-72.
- [19] Al-Megren, S. and Ruddle, R. A. 2016. Comparing Tangible and Multi-touch Interaction for Interactive Data Visualization Tasks. *Proc. TEI '16. ACM*, 279-286.
- [20] Donahue, T. J., Poor, G. M., Mott, M. E., Leventhal, L. M., Zimmerman, G. and Klopfer, D. 2013. On interface closeness and problem solving. *Proc. TEI '13. ACM*, 139-146.
- [21] Esteves, A., van den Hoven, E. and Oakley I. 2013. Physical games or digital games?: comparing support for mental projection in tangible and virtual representations of a problem-solving task. *Proc. TEI '13. ACM*, 167-174.
- [22] Poor, G. M., Jaffee, S. D., Leventhal, L. M., Ringenberg, J., Klopfer, D. S., Zimmerman, G. W. and Klein, B. A. 2016. Applying the Norman 1986 User-Centered Model to Post-WIMP UIs: Theoretical Predictions and Empirical Outcomes. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)* 23, 5.
- [23] Schneider, N., Wilkes, J., Grandt, M. and Schlick, C. 2008. Investigation of input devices for the age-differentiated design of human-computer interaction. *Proc. HFES 2008. SAGE*, 144-148.
- [24] Horn, M. S., Solovey, E. T., Crouser, R. J. and Jacob, R. J. K. 2009. Comparing the Use of Tangible and Graphical Programming Languages for Informal Science Education. *Proc. CHI '09. ACM*, 975-984.
- [25] Ma, J., Sindorf, L., Liao, I. and Frazier, J. 2015. Using a Tangible Versus a Multi-touch Graphical User Interface to Support Data Exploration at a Museum Exhibit. *Proc. TEI '15. ACM*, 33-40.
- [26] Vines, J., Pritchard, G., Wright, P., Olivier, P. and Brittain, K. 2015. An Age Old Problem: Examining the Discourses of Ageing in HCI and Strategies for Future Research. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)* 22, 1(2).
- [27] Apted, T., Kay, J. and Quigley, A. 2006. Tabletop sharing of digital photographs for the elderly. *Proc. CHI '06. ACM*, 781-790.
- [28] Piper, A. M., Campbell, R. and Hollan, J. D. 2010. Exploring the accessibility and appeal of surface computing for older adult health care support. *Proc. CHI '10. ACM*, 907-916.
- [29] Hwangbo, H., Yoon, S. H., Jin, B. S., Han, Y. S. and Ji, Y. G. 2013. A Study of Pointing Performance of Elderly Users on Smartphones. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29, 9, 604-618.
- [30] Motti, L. G., Vigouroux, N. and Gorce, P. 2013. Interaction techniques for older adults using touchscreen devices: A literature review. *Proc. IHM '13. ACM*, 125-134.
- [31] Mihajlov, M., Law, E. L.-C. and Springett, M. 2015. Intuitive learnability of touch gestures for technology-naïve older adults. *Interacting with Computers*, 27, 3, 344-356.
- [32] Xie, L., Antle, A., Motamedi, N. 2008. Are Tangibles More Fun?: Comparing Children's Enjoyment and Engagement Using Physical, Graphical and Tangible User Interfaces. *Proc. TEI '08*, 191-198.
- [33] Marsh, P., Fleck, R., Harris, A., Rick, J., Hornecker, E., Rogers, Y., Yuill, N. and Dalton, N. S. 2009. Fighting for Control: Children's Embodied Interactions When Using Physical and Digital Representations. *Proc. CHI '09. ACM*, 2149-2152.
- [34] Manches, A. et al. 2009. Physical Manipulation: Evaluating the Potential for Tangible Designs. *Proc. TEI '09. ACM*, 77-84.
- [35] Cheng, L. K., Der, C. S., Sidhu, M. S. and Omar, R. 2011. GUI vs. TUI: Engagement for Children with No Prior Computing Experience. *eJCSIT*, 3, 1, 31-39.
- [36] Carvalho, D., Bessa, M., Magalhães, L. and Carrapatoso, E. 2015. Performance evaluation of gesture-based interaction between different age groups using Fitts' Law. *Proc. Interaccion '15*, 5.
- [37] Carvalho, D., Bessa, M. and Magalhães, L. 2014. Different interaction paradigms for different user groups: an evaluation regarding content selection. *Proc. Interaccion '14*, 40, ACM.
- [38] 市野順子, 磯田和生, 上田哲也, 佐藤玲美. 2017. 年齢がパブリックディスプレイ利用に与える影響: ミュージアムにおけるフィールドスタディ. *情報処理学会論文誌*, 58, 2, 615-627.
- [39] <http://www.museumlab.eu/>
- [40] <http://www.matrix-inc.co.jp/>
- [41] Serrell, B. and Adams, R. 1998. Paying attention: Visitors and museum exhibitions. *American Association of Museums*.
- [42] Elkind, D. 1967. Egocentrism in adolescence. *Child Development*, 38, 4, 1025-1034.
- [43] Price, S., Rogers, Y., Scaife, M., Stanton, D. and Neale, H. 2003. Using "tangibles" to promote novel forms of playful learning. *Interacting with Computers* 15, 2, 169-185.
- [44] Norman, D. A. 1993. Things that make us smart: defending human attributes in the age of the machine. Addison-Wesley Longman Publishing.
- [45] Erikson, E. H. 1980. Identity and the Life Cycle. W.W. Norton & Co. (1980, originally published in 1959).
- [46] Papalia, D. E., Olds, S. W., Feldman, R. D. and Kruk, R. 2004. *A Child's World: Infancy through Adolescence*. McGraw-Hill.
- [47] Larson, R. and Richards, M. H. 1991. Daily companionship in late childhood and early adolescence: Changing developmental contexts. *Child Development*, 62, 2, 284-300.
- [48] Zuckerman, O., Gal-Oz, A. 2013. To TUI or not to TUI: Evaluating performance and preference in tangible vs. graphical user interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies* 71, 7-8, 803-820.
- [49] von Zadow, U., Reipschläger, P., Bösel, D., Sellent, A. and Dachsel, R. 2016. YouTouch! Low-Cost User Identification at an Interactive Display Wall. *Proc. AVI '16. ACM*, 144-151.
- [50] Evans, A. C., Davis, K., Fogarty, J. and Wobbrock, J. O. 2017. Group Touch: Distinguishing Tabletop Users in Group Settings via Statistical Modeling of Touch Pairs. *Proc. CHI '17. ACM*, 35-47.
- [51] Cattell, R. B. 1971. Abilities: Their structure, growth, and action. Houghton Mifflin.