

手遊びや影絵を用いた3Dモデルの 共同的操作システムの開発と評価

辻 天斗^{1,a)} 牛田 啓太^{1,b)} 山口 実靖^{1,c)} 陳 キュウ^{1,d)}

概要：筆者らは、手遊びや影絵の動きを用いた3Dモデルのリアルタイム操作方法を提案している。本稿ではこれを利用した複数人での同じ3Dモデルの操作を提案する。一つの3Dモデルを複数人での影絵で共同し、一人の場合より表現力の高い操作を行えるようにする。例えば、ワニのモデルを、口・首・尻尾を担当するユーザ、四足を担当するユーザとで操作できる。これらのシステムを試用してもらい、使用感についてアンケートを実施したところ、おおむね好意的な評価を得られた。

A collaborative manipulation of 3D models using finger play and hand shadow

AMATO TSUJI^{1,a)} KEITA USHIDA^{1,b)} SANEYASU YAMAGUCHI^{1,c)} QIU CHEN^{1,d)}

1. はじめに

アニメーションやゲームでは3Dモデルがよく利用されている。その中で、3Dモデルのキャラクタを操作する操作手法として、コントローラやモーションキャプチャが用いられてきた。これらに対して、筆者らは、手遊びや影絵から着想を得たハンドジェスチャで3Dモデルをリアルタイムに操作する手法（以下、手遊びハンドジェスチャと呼ぶ）を提案している[1]。コントローラ操作のような簡単さ・手軽さ、およびモーションキャプチャのように「身体で直接操作する」ことによる表現性の高さ、それに、手遊び[2]や影絵を用いることによって、経験に基づいて直感的に操作できることを特徴としている。

筆者らがこれまで開発してきたシステムでは、一人ですべての3Dモデルを操作している。一方で、手遊びや影絵には、おかみ・恐竜・ワニなど、二人以上で表現を行うものもある[3]。これらを含め、二人以上で操作することで、

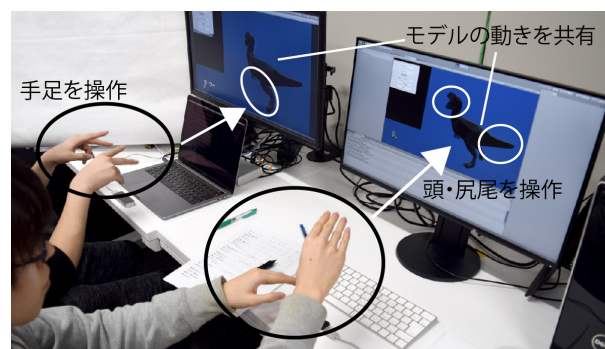


図 1: 複数人で同じ3Dモデルを操作している様子

大規模な3Dモデルを操作したり、より複雑で表現力の高い動きをさせたりできると考えられる。そこで、筆者らは二人以上で同じ3Dモデルを共同でリアルタイムに操作できるコラボレーションシステムを実装した(図1)。これを用いて二人以上で3Dモデルを操作して操作の様子やアンケートから操作性を評価した。さらに、このシステムを利用して生成した3Dモデルのモーションの表現性にどのような特徴があるかを調査した。

¹ 工学院大学
Kogakuin University, Shinjuku, Tokyo 163-8677, Japan
a) cm17032@ns.kogakuin.ac.jp
b) ushida@cc.kogakuin.ac.jp
c) sane@cc.kogakuin.ac.jp
d) chen@cc.kogakuin.ac.jp

2. 関連研究

2.1 3D モデルの操作手法

Oshita は 3D モデルの動きをタッチパネル操作で入力する手法を提案した [4]。用意された動きを選択し行わせるのではなく、3D モデルに直接かつ自在に動きを与えることができる。また、Leap Motion を用いてユーザの手や腕の動きを人の 3D モデルが持つ手や腕に反映させる手法も開発した [5]。Held らは現実空間上の物体の移動を認識し、これとよく似た 3D モデルを自動的に選択して、物体の移動の様子をモデルに反映させた [6]。Jacobson らは開発したコントローラをフィギュアのように動かすことでモーションを入力できるようにした [7]。人に限らず、象やサソリ、魚などのさまざまな形のモデルに対応できる。

提案手法はこれらに対し、手の動きでさまざまな形状を操作する点を特徴とする。

2.2 ハンドジェスチャによるモデル操作手法

Leite らは人間の手を解剖学の知見から分析し、ハンドジェスチャによる 3D モデルの操作手法を提案、評価した [8]。Liang らは子供が手の動きで鳥の 3D モデルを操作する手法を提案した [9]。

提案手法では、手遊びや影絵に倣って、手とモデルの動きの対応づけを行う。手遊びや影絵によりモデルの操作方法を知らされなくても、自分で考えて操作方法を見つけ出せる。

2.3 操り人形をモチーフにした操作手法

Polyak は手人形を拡張した 3D モデルの操作手法を提案した [10]。また、Leap Motion を利用して、手に何も装着することなく糸操り人形^{*1}のように 3D モデルを操作する Marionette Zoo^{*2}がある。糸操り人形に沿った操作を行えばよいので、初めてのユーザも戸惑うことが少ない。

これらもさまざまなモデルを操作することができるが、提案手法では手遊びや影絵をモチーフに、モデルを手の動きで操作する点を特徴とする。

2.4 影を用いたインタラクション

ユーザの手遊びや影絵の動きをコンピュータに取り込み、演出を加えた映像をプロジェクタで投影するアート作品や研究も存在する [11], [12], [13]。また、影絵に従って音響効果を付与する試みもある [14]。

提案手法では手遊びや影絵の動きを拡張するのではなく、モデルの操作に用いている。

2.5 複数人での共同操作

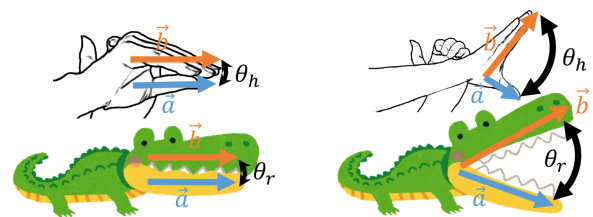
Grandi らはユーザがもつスマートフォンをコントローラとして 3D オブジェクトを操作した [15]。複数人で協力して一つのオブジェクトを操作する。Mayer らは大画面ディスプレイ上で複数人がパックマンをプレイしたときの行動を観察した [16]。

本稿のコラボレーションシステムでは手の動きを 3D モデルの動きとして直接与える。

3. 手遊びハンドジェスチャによる 3D モデル操作 [1]

本研究では、さまざまな形状を手軽に操作するためのアイデアとして手遊びや影絵を取り入れた。手遊びや影絵でユーザの手を 3D モデルに見立てて操作する。手のみを動かすため体全体を用いるモーションキャプチャより簡便である。また、手遊びや影絵の導入により操作性の向上にも期待ができる。

例えば、図 2 のように、手でワニの口を形どり ((a)、(b) とともに上段がワニの影絵)、影絵の動きにのっとって親指を曲げ伸ばしすると、ワニの 3D モデルの口が開閉するようにする。これにより、ユーザは手が 3D モデルになったかのような感覚になると期待される。



(a) ワニの口を閉じる (b) ワニの口を開ける

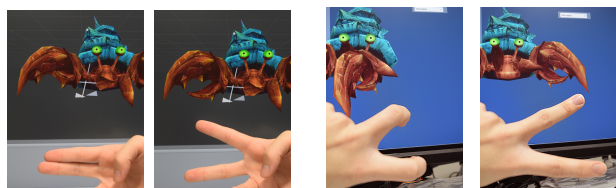
図 2: ワニの影絵の動きでワニの 3D モデルの口を開閉

手の動きを 3D モデルに伝える仕組みを考える。図 2 のように、ワニは下顎を動かすことで口が開閉する。下顎と上顎をそれぞれ $\vec{a}$, $\vec{b}$ とし、それらのなす角を θ_r とする。 $\vec{a}$ や $\vec{b}$ にユーザの手の人差し指を対応づけ、そのなす角 θ_h だけモデルの関節を開けば、手の動きをモデルに伝えられることになる。ワニのほかにも、この対応づけを手遊びや影絵にのっとったものにすれば、直感性のある操作が期待できる。今回実装したプラットフォームではこの対応づけを GUI で行えるようにしてある。ワニの口の開閉の例では、ワニの下顎に対して親指末梢骨 ($\vec{a}$) と人差し指末梢骨 ($\vec{b}$) を指定している。

操作の自由度を高め、動きを適切に反映させるために、手指の角は大きさだけでなく向きも考慮する。たとえばカニのハサミ (図 3) では人差し指と中指を使ってハサミの開閉と向きの 2 つの動きを与えることが考えられる。内転

^{*1} <http://youkiza.jp/about/rekishi.html>

^{*2} <https://lm-s-apps-amnesia.leapmotion.com/apps/marionette-zoo/osx>



(a) 内転外転でハサミの開閉 (b) 屈曲伸展でハサミの向き

図 3: カニのハサミの動きと手指を曲げる向き

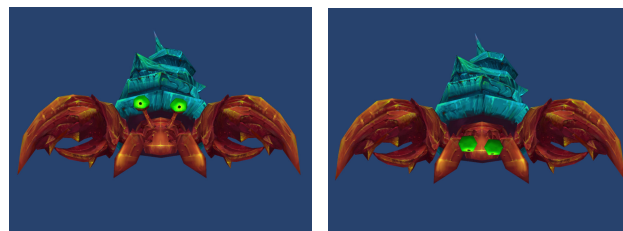


図 4: 複数人での操作時の画面

外転（開く・閉じる）方向と屈曲伸展（曲げる・伸ばす）方向の角度をそれぞれハサミの開閉・向きとして分け、別々にモデルに伝える。この仕組みを用いるため、3D モデルの関節には手指の骨だけでなく動かす方向も対応づける。

4. 実装

一つの 3D モデルを複数人で操作するシステムを Unity を用いて実装した。Leap Motion と Unity に対応している Windows や macOS で動作する。複数台の PC をネットワーク接続させて動作する。



(a) 上げる (b) 下げる

図 5: カニのモデルにおける目の動き

4.1 コラボレーションシステム

システムが持つ主な機能は下記の通りである。

- 複数人で同じモデルを操作する
- モデルの部位は提案手法で操作する
- モデルには任意の 3D モデルを利用できる

4.1.1 動作の様子

ユーザは同一モデルを複数人（最大 5 人）で操作する（図 4）。各ユーザが PC を 1 台ずつ使って操作する。

例えば、カニ（図 5）について、ユーザ A が両ハサミ、ユーザ B が足、ユーザ C が目をそれぞれ操作するように設定する。ハサミの開閉はユーザ A の人差し指と中指の開閉で、向きはこの 2 指の曲げ伸ばしで操作できる。右手は右ハサミに、左手は左ハサミに対応する。ユーザ B は薬指と小指の曲げ伸ばしでカニの足を曲げ伸ばしできる。右手は右足に、左手は左足に対応する。ユーザ C は右手の人差し指を曲げれば左目を下げる。同様に右手の中指が右目に対応する。

この他、複数人で操作できるモデルとして、ゾウ・ワニ・



(a) 鼻を伸ばす



(b) 鼻を曲げる

図 6: 二人でゾウを操作



(a) 右後足を後ろに引く



(b) 右後足を前に出す

図 7: 二人でワニを操作



(a) 口を閉じる



(b) 口を開ける

図 8: 二人で恐竜を操作

恐竜を用意した。ゾウは頭と鼻と両耳、四足を二人で操作できる(図6)。ユーザAが右手首を左右に動かす(外転内転)とゾウの頭を左右に振ることができる。さらに右手中指や手首の曲げ伸ばしで鼻を曲げ伸ばしする。左手を閉じたり開いたりすることで耳を振ることができる。これらの動きは文献[3]によっている。ユーザBについては、右手人差し指が左前足に、中指が右前足に対応して曲げ伸ばしする。同様に、左手人差し指が右後足に、中指が左後足に対応する。

ワニも首と口、尻尾、四足を二人で操作する(図7)。ユーザAが右手首を左右に動かす(外転内転)とワニは首を横に振る。右手親指の曲げ伸ばしで口を開閉する。左手親指を曲げ伸ばしすると尻尾を横に振る。この動きも文献[3]を参考にした。ユーザBはゾウと同様に四足を操作できる。

恐竜は頭と口、尻尾、手足を二人で操作する(図8)。ユーザAが右手首を曲げ伸ばしすると、恐竜は頭を上下に振る。口や尻尾はワニと同様の操作である。ユーザBは右手人差し指は左手に、中指は右手に対応して、指の曲げ伸ばしで恐竜の前足を上下に振る。左手は人差し指が右足に、中指が左足と対応する。

4.1.2 通信フロー

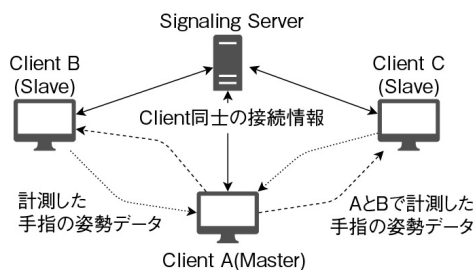


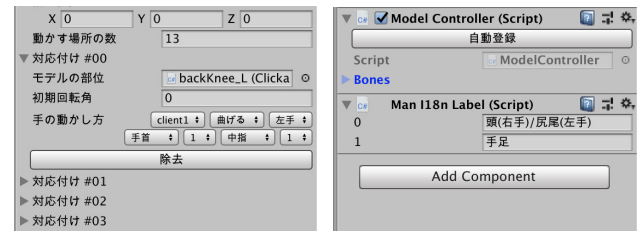
図 9: 操作時におけるデータのやりとり

実装システムでは、各PCのプログラム(クライアント)はUDP/IPを利用したWebRTCで通信をする。本システムではこの通信網を使い、手の姿勢データをJSONとしてリアルタイムに交換をする(図9)。P2Pで交換を行うため、通信開始時クライアント同士が接続情報を交換するためのシグナリングサーバも設置している。サーバアプリケーションはNode.jsで実装されており、dockerコンテナ(Alpine Linux)上で実行している。また手の姿勢データを他クライアントに送信するパケットタイムは150msとした。本稿の実装では、遅延を最小限とするためクライアント同士を有線ギガビットイーサネットで接続している。

3つ以上のクライアントで複数人の手の姿勢データを共有するため、クライアントのうち1つがマスターとなり、その他がスレーブとなる。マスターは自端末で計測した手の姿勢データを全てのスレーブにブロードキャストする。スレーブは自端末の姿勢データを一度マスターに送信する。それを

受け取り次第、マスターはその他のスレーブ全てへブロードキャストする。

4.2 モデルへの提案手法への適用



(a) モデルと指の対応づけ (b) 担当部位に名前づけ

図 10: モデルへ提案手法を組み込む

実装システムでは、利用できるモデルを追加することもできる。Unity Assetsなどで配布されている一般的な骨格付き3Dモデルが使用できる。追加時にプログラミングの必要はなく、GUIでの操作で行うことができる。モデルの追加は次の手順で行う。

- (1) 3Dモデルの動かしたい部位をマウスで指定する。
- (2) この部位の初期位置補正值(3次元ベクトル)や動かす方向(オイラー角)を設定する。
- (3) モデルの部位と対応する指の部位と動かし方、担当するユーザをドロップダウンで選択する。(図10(a))
- (4) ユーザごとの担当部位に名前をつける。(図10(b))

5. 試用と評価実験

5.1 複数人でのモデル操作の操作性

複数人でモデルを操作するシステムを試用してもらい、操作性などを評価した(図11)。

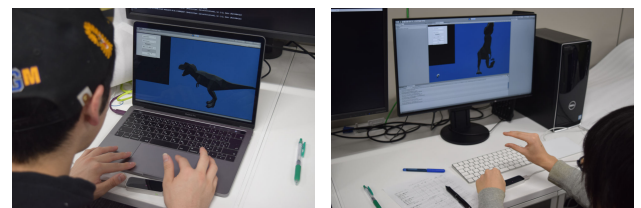


図 11: コラレーションにおける実験風景

5.1.1 実験のプロセス

参加者は22名で、21-30歳、全員男性で右利きである。参加者は実装システムを用いて二人一組で同一モデルを操作する(11組実施した)。共同でモデルを操作する前に、鳥と魚のモデル[1]を一人で操作して、手遊びハンドジェスチャに慣れてもらう。このとき、具体的な手指動かし方を伝えずに、モデルの動く部位とどちらの手を使うのかのみを参加者に伝えている。

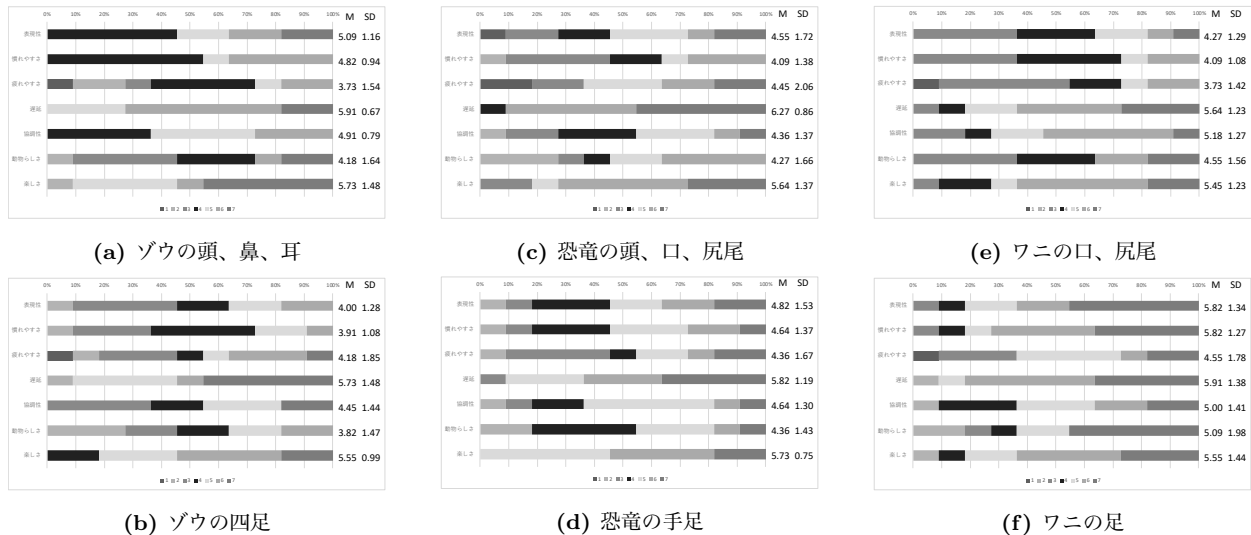


図 12: コラボレーションアンケート結果

これらを合計 2 分間操作したあとに共同でモデルを操作する。すべての組について、ゾウ (図 6)、ワニ (図 7) および恐竜 (図 8) を操作してもらった。これらを操作したあと、アンケートに回答してもらった。

参加者らには操作前にモデルの動く部位を伝えて、参加者同士でどの部位を担当するかを決める。どちらの手でどの部位を動かすかはシステムの画面上に表示されており、それをもとに参加者は自分で考えてモデルを操作する。5 分ほど自分の担当部位を集中して練習を行い、操作中のモデルに対して以下の点で各 7 段階で評価を行う。高いポイントほどポジティブで、低いければネガティブな評価である。

- 思い通りに操作できた (表現性)
- 慣れやすかった
- 疲れやすかった

次に、共同相手の参加者と協力してモデルに対して動きを与える。このとき参加者で思いついた動きがあればそれを行うが、ない場合は筆者らから提案をした。5 分ほどの操作のあとに下記の視点から評価してもらった (各 7 段階)。

- 遅延を感じなかった
- 息を合わせて動かせた
- 動物らしい動きができた
- 操作が楽しかった

この他、自由記述欄を設けた。

5.1.2 実験結果

鳥の羽や魚の尾びれについては、説明なしで全員が操作できた。魚の口のみ、6 割の参加者が口頭の説明で操作できたが、残りの参加者については演示が必要だった。

ゾウの頭や鼻は演示なしで全員が操作できた。演示なしで全員が耳を両方とも同じように動かしたが、別々に動かすには 6 割が演示を必要とした。足については 3 割ほどの参加者が演示なしで自ら操作方法を理解した。小さくゆっ

くり指を動かすことを指示すると歩かせることができた。ゾウが水を飲ませたり、水浴びをしたり、歩かせたりする動作が見られた。

恐竜も頭や口は全員が指示なしで操作できた。一方で、口を思い通りに動かせるまでに 1 分ほど要する参加者もいた。尻尾は左手で動かすことを指示するだけで全員が操作できた。手足はゾウと同じ手指の動きのためか演示なしで動かした。ゾウで頭を操作した参加者が恐竜の手足を操作するときに、演示が必要な場合があった。頭を小さく上下に振り、尻尾を左右に降ったりしながら歩かせたりする動作を参加者二人で操作してもらった。この他、獲物を食べる動作などがあった。

ワニの頭、口、尻尾は全員が大まかな指示で操作できた。足についてもゾウ、恐竜の経験からか演示なしで操作できた。歩行動作に合わせて、尻尾を振るような動作が見られた。

アンケートの結果を図 12 に示す。ゾウの頭・鼻・耳を操作した参加者は表現性・遅延・協調性・楽しさで過半数が好意的な評価を得た。足は遅延と楽しさの項目で過半数がポジティブな回答だった。恐竜の頭・口・尻尾は表現性・遅延・動物らしさ・楽しさで、手足は表現性・慣れやすさ・遅延・協調性・楽しさで過半数が好意的な回答をした。ワニの頭は疲れやすさ、遅延・協調性・楽しさで、足は疲れやすさ以外の項目が好意的な印象だった。「遅延」の項目はどの操作部位でも 8 割以上で 5 以上の評価を得ており、参加者の共有するモデルのモーションに遅れを感じていないことを示している。

ポジティブなコメントには下記のようなものがあった。

- 面白かった
- 頭は全体的に動かしやすかった
- どの指を動かせば良いかは分かった

- 二人で操作する動物の方が一緒にできるので楽しかった
- 操作を練習するとスムーズに動かせた
- 説明なしで簡単に操作できた
- 指先で動物の動きを表現するのが新鮮で面白かった
- 最初はサポートが必要だったが、最後のワニは動物らしい動きができた
- 動かし方が分かったときに楽しかった

一方、次のような課題を指摘するコメントもあった。

- マニュアル整備が必要
- 口などの操作がわかりにくい
- 操作が難しい
- 右利きなので恐竜の足は右手で動かしたい
- 指がつりそうになる
- 同じ手で複数のパーツを動かすときにつられて思い通りにならない。
- 指の動かし方が分かってもスムーズに動かすのは大変だった
- 可動域を制限すると動かしやすい
- パーツが体を貫通することがあり困惑した
- 動きを探す時間が長く手が疲れた
- 手を空中に浮かせることが疲れやすい

5.1.3 考察と議論

参加者に可動部位を伝えるだけで、モデルを操作できることを確認した。これは、これまでと同様、手遊びや影絵を利用している利点と考えられる。可動部位が多い場合でも、担当パートと左右どちらの手にどの部位が対応するかを示すだけでモデルを操作するための手指の動かし方を考え出し習得していた。文献 [3] で影絵として挙げられていない、手足の動きについても参加者は本システムを使いながら動かし方を見つけ出す様子を確認できた。コメントでも操作を練習するとスムーズに動かせること、説明なしで簡単に動かせた旨が記述されている。

一方でこれらの操作性に関する課題の指摘もあった。ゾウの手足、恐竜の口などは、動かせるものの満足には操作できていない参加者がいたり、アンケートの結果でも低評価が目立ったりした。全ての部位で快適な操作性を提供できたとは言えないので、複数人で操作する場合の分け方、操作のしかたの知見を集めてガイドラインを作成する必要があると考える。

二人で協力して操作することへのポジティブなコメントもあった。アンケートの結果でも、3モデル×2パートの6項目について、協調性がうち4項目、楽しさは6項目すべてで好印象な回答が過半数を占めた。他のユーザと共同のモデルを操作して動きを作り出すことは複数人で大きな影絵を作り動かすことと似ている。その共同で一つのものを作り出す楽しさを仮説通りに提案手法に生かすことができたと言える。

最後に、一人での操作と二人での操作をしたときの操作

性を比較した。次に述べるように、文献 [1] での一人での操作に比べ、二人での操作のほうが「慣れやすさ」に関して高評価であることが確認できた。文献 [1] では恐竜を一人で作成して「慣れやすさ」を実験参加者に7段階で評価してもらっている。この一人の操作では、右手は手首で頭の向きを操作し、人差し指の曲げ伸ばしで口が開閉する。また、左手の曲げ伸ばしで恐竜の足や手を曲げ伸ばしできる。親指は右足、人差し指は右手、中指は左手、薬指は左足に対応する。この実験では参加者15名(21–24歳、右利きの男性)であった。この文献 [1] データと、本実験における恐竜の「慣れやすさ」に関するアンケート結果(担当部位に関わらず集計)をMann-WhitneyのU検定で有意差を確認したところ、 $p < 0.05$ で有意差を確認できた。ここで、一人操作での評価においては、平均3.20、標準偏差1.64である。対して、二人操作で担当部位に関わらず合算したときは平均4.41、標準偏差1.87だった。以上のように、恐竜の「慣れやすさ」について、一人のときより二人で操作したときのほうが高評価となったと言える。複数人で操作することにより、操作可能な部位を増やせるだけでなく、操作性も向上できる。人間の手は隣同士の指が腱で繋がっており、完全に別個に動かすことは難しい。この性質が手の動きでモデルを思い通りに操作できないことがあると文献 [1] で指摘したが、複数人で操作することでこれが改善されたものと考えられる。

5.2 手遊びハンドジェスチャによる動きの表現性

実装したコラボレーションシステムで作成したモーションとUnity Assetで配布されているモーションを動画で見てもらい、Webアンケートに回答してもらった。

5.2.1 実験のプロセス

参加者は34名で男性32名、女性2名、20–42歳である。参加者はWebブラウザ上でモデルのモーションを記録した5秒間の映像を見る。映像が魚・鳥・ゾウ・恐竜・ワニについて2種類ずつ(モデルに付属されているものと提案手法で作成したもの)を計10本用意した。ここで、提案手法によるモーションは、5.1節の実験参加者の協力で作られたものである。参加者は映像を1つずつ見て評価するという流れを繰り返し10本の映像を評価する。鳥・ワニ・ゾウ・魚・恐竜の順番で行い、モーション2種を評価する。各モデルについて、2つのモーションの映像の順序はランダムである。参加者にはそのモーションについて「かわいさ」「面白さ」「生きているような感じがするか」「動物らしさ」「親しみやすさ」「元気さ」について7段階で評価してもらった。

5.3 実験結果

アンケートの結果を図13に示す。各質問ごとにモデルに付属されているモーションCと提案手法Pで有意差が

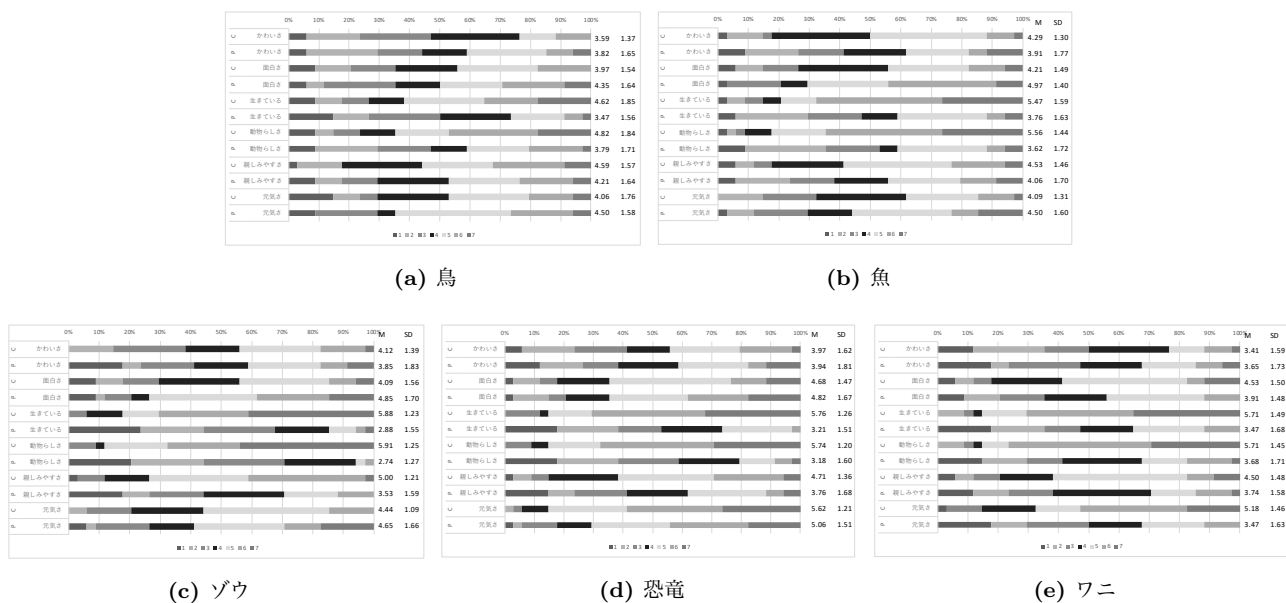


図 13: 付属モーションと提案手法でのモーションの比較結果 (C: 付属モーション、P: 提案手法)

あるか Mann-Whitney の U 検定で調査した。全モデルの「かわいさ」や鳥・恐竜・ワニの「面白さ」、鳥・魚の「親しみやすさ」、ワニ以外の「元気さ」については $p > 0.05$ となり有意差は認められなかった。また、魚・ゾウの「面白さ」は $p < 0.05$ となり有意差を確認できた。この 2 項目は平均値について提案手法のほうが高い評価となっている。

5.3.1 考察と議論

「かわいさ」「面白さ」「元気さ」については予めモデルに同梱されているモーションと同等またはそれ以上の評価を得ることができた。これらは全モデルに共通してみられる特徴でもある。また、各モデルのモーションは、5.1 節の参加者が、たかだか 10 分程度の練習後に撮影されたものである。以上から、3D モデルに関して特別な知識がない人でも、「かわいさ」「面白さ」「元気さ」については知識や経験がある人が付けたものと遜色ないモーションを与えられると言える。

6. まとめと今後の課題

筆者らは手遊びや影絵に基づく 3D モデルの操作手法を提案してきた。本稿では、これを利用して、一つのモデルを複数人で動かすコラボレーションシステムを提案・実装した。実装システムをユーザに試用してもらったところ、肯定的な評価が得られた。協力して影絵を作ることの楽しさを提案手法に生かせたと考えられる。また、同じ動物のモデルに対して、提案手法によるものと同梱されたモーションを比較する評価実験を行った。これより、特別な知識なしでも「かわいさ」「面白さ」「元気さ」があるモーションを作成することができるとわかった。

今後の課題として、意図しない手の動きをモデルに伝え

ないようにフィルタリングする仕組みの構築を考える。また、操作方法のガイドラインとともに動物のモデルでいかに感情を表現しやすい環境を考えたい。

参考文献

- [1] A.Tsujii, K.Ushida, and Q.Chen: “Real Time Animation of 3D Models with Finger Plays and Hand Shadow”, ACM ISS 2018, pp.441-444, 2018.
- [2] Rock Scissors Paper #1 — Finger Play Song — Super Simple Songs, 2015, <https://www.youtube.com/watch?v=P65yE-EXLd8> (参照 2018-05-06)
- [3] 後藤 圭, 手で遊ぶおもしろ影絵ブック, PHP 研究所, 2005
- [4] M.Oshita: “Multi-Touch Interface for Character Motion Control Using Example-Based Posture Synthesis”, WSCG 2012, pp.213-222, 2012
- [5] M.Oshita, H.Oshima, Y.Senju, and S.Morishige: “Character Motion Control by Hands and Principal Component Analysis”, ACM VRCAI '14, pp.171-179, 2014
- [6] R.Held, A.Gupta, B.Curless, and M.Agrawala: “3D puppetry: a kinect-based interface for 3D animation”, ACM UIST '12, pp.423-434, 2012
- [7] A.Jacobson, D.Panozzo, O.Glauser, C.Pradalier, O.Hilliges, and O.Sorkine-Hornung: “Tangible and modular input device for character articulation”, Proc. ACM Transactions on Graphics, Vol.33, Issue 4, 12 pages, 2014
- [8] L.Leite and V.Orvalho: “Mani-Pull-Action: Hand-based Digital Puppetry”, Proc. ACM Hum.-Comput. Interact., Vol. 1, Issue EICS, 16 pages, 2017
- [9] H.Liang, J.Chang, I.K.Kazmi, J.J.Zhang and P.Jiao: “Puppet Narrator: Utilizing Motion Sensing Technology in Storytelling for Young Children”, VS-Games 2015, pp.1-8, 2015.
- [10] E.Polyak: “Virtual impersonation using interactive glove puppets”, ACM SIGGRAPH Asia 2012 Posters, Article 31, 2012

- [11] Shadow Monsters, <https://vimeo.com/106798521>(参照 2018-12-14)
- [12] Puppet Parade - Interactive Kinect Puppets, <https://vimeo.com/34824490>(参照 2018-12-14)
- [13] C.Jacquemin, G.Gagneré, and B.Lahoz: “Shedding light on shadow: real-time interactive artworks based on cast shadows or silhouettes”, ACM Multimedia 2011, pp.173–182, 2011.
- [14] The Manual Input Sessions, <http://www.tmema.org/mis/>(参照 2018-12-14)
- [15] J.Grandi, H.G.Debarba, L.Nedel and A.Maciel: “Design and Evaluation of a Handheld-based 3D User Interface for Collaborative Object Manipulation”, ACM CHI 2017, pp.5881–5891, 2017.
- [16] S.Mayer, L.Lischke, J.E.Grønbæk, Z.Sarsenbayeva, J.Vogelsang, P.W.Woźniak, N.Henze, G.Jacucci: “Pac-Many: Movement Behavior when Playing Collaborative and Competitive Games on Large Displays”, ACM CHI 2018, Paper No.539, 2018.