



# エージェントの表情により生起する力覚の物理量による定量化

Quantification of Perceived Force Induced by Agent Facial Expressions with Physical Dimensions

亀岡嵩幸<sup>1)</sup>, 松山菜々<sup>1)</sup>, 松田壮一郎<sup>1)</sup>, 蜂須拓<sup>1)</sup>

Takayuki Kameoka, Nana Matsuyama, Soichiro Matsuda, and Taku HACHISU

1) 筑波大学 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

**概要:** 近年, 社会的交流の質を高めるためソーシャルタッチへの関心が高まっている. ソーシャルタッチの設計においては物理的な刺激だけでなく, 他者からの社会的刺激を考慮する必要がある. 本研究では社会的刺激である表情と触覚知覚の関係を明らかにすることを目的とする. 我々はこれまでにモニタ上でエージェントとユーザの操作するカーソルに対し綱引きのようなインタラクションを設定し, エージェントがネガティブな表情で引っ張り動作を行うとニュートラルな表情のときよりもユーザが重さを感じるという力覚が生じることを実験より示した. 本稿では, 上述の表情により生起する力覚のように視覚刺激が触覚へ作用するクロスモーダル現象により生起する力覚を力提示装置を用いて物理量 (ニュートン) で定量評価し, 比較する心理物理実験の設計について報告する.

**キーワード:** 力覚, 表情, エージェント, Pseudo-haptic feedback

## 1. はじめに

近年, ビデオチャットなどの会話を主とした交流だけでなく, バーチャル空間におけるアバターを介した身体的なコミュニケーションなどが普及しつつあり, 社会的交流の質を高めることへの関心が高まっている. 特に対人交流において触覚を用いた交流は強く感情を揺さぶり, 質の高い交流を実現するために効果的である [1, 2]. このような対人交流における接触はソーシャルタッチと呼ばれ, 接触により向社会的行動が促進されること [3] や接触者に対する評価が好意的となること [4] が報告されている.

上記のような肯定的な効果を誘発するソーシャルタッチの設計のために, 接触により生じる皮膚の変形や温度変化等の物理刺激だけでなく, 他者からの社会的刺激を考慮する必要がある. なおここでは, 他者は実在の人間に限らずバーチャルアバターやソーシャルロボット等の社会的刺激を発するエージェント等を含む概念とする. 社会的刺激の中でも特に表情は心理状態の表現や伝達に寄与し [5, 6], 触覚の知覚や行動にも影響を与えることが報告されている [7, 8]. したがって, 表情といった社会的刺激に対する触覚知覚の関係性を示す知見は有用であると考えられる.

本研究では, 人とハプティックインタラクションを行うエージェントの表情がハプティックインタラクションに及ぼす効果の計測を目的とする. 我々はこれまでにモニタ上でエージェントとユーザの操作するカーソルに対し綱引きのようなインタラクションを設定し, エージェントがネガティブな表情で引っ張り動作を行うとニュートラルな表情のときよりもユーザが重さを感じるという力覚が生じることを実験により示した [9] (図 1). この実験では力覚を計測す

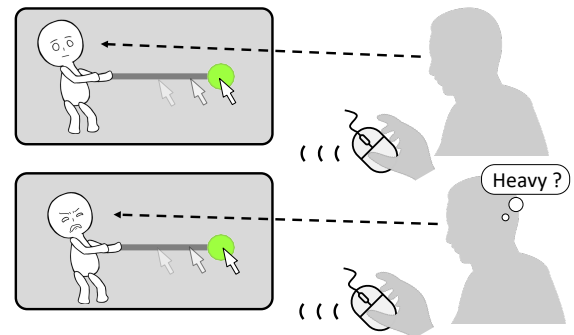


図 1: 画面上でカーソルを移動方向と反対方向に引っ張るように動作するエージェントとユーザのインタラクション: ユーザは, エージェントの表情がネガティブなとき (下) にニュートラルなとき (上) よりも重さといった力覚を感じる [9].

る指標として Control-Display 比 (CD 比; 2.1 参照) を用いたため, 物理量としてどれほどの力に相当する力覚が生じていたかは不明である. 物理量を指標とすることで他の力覚提示手法との比較が容易となり, 設計にも有用となることが期待される本稿では, 上述の表情により生起する力覚のように視覚刺激が触覚へ作用するクロスモーダル現象により生起する力覚を力提示装置を用いて物理量 (ニュートン) で定量評価し, 比較する心理物理実験の設計について報告する.

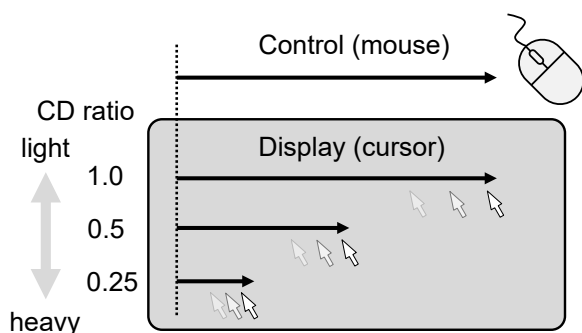


図 2: マウスを入力, モニタ上のカーソルを出力とした場合の pseudo-haptic feedback の概念図: CD 比が小さくなるほどユーザが知覚する力覚は大きくなる [10].

## 2. 関連研究

### 2.1 視触覚間のクロスモーダル現象

視覚刺激による触覚への影響は広く研究されており, その中でも pseudo-haptic feedback は皮膚へ機械刺激を提示することなく触覚を提示できる手法として応用されている [10]. Pseudo-haptic feedback を利用した触覚提示手法のひとつに CD 比を制御するものがある. CD 比とはユーザの入力量を Control 量, 入力反映された視覚刺激の出力量を Display 量として, Control 量に対する Display 量の比率 ( $\text{Display} \div \text{Control}$ ) と定義される. CD 比が小さいほど (入力量に対する出力量が小さいほど) 重さや摩擦, 粘性といった力覚を強く提示できる (図 2).

CD 比の制御により生じる力覚により生起する触覚の強度評価は心理物理実験で行われ, 主観的に同じ強度に知覚される既知の刺激の強度 (Point of Subjective Equality: PSE) を計測する. Lécuyer らは実験参加者に物理的なばねと CD 比の制御によって力覚が生起するバーチャルばねを比較させ, バーチャルばねに対して感じられる硬さをばね係数で評価した [11]. Samad らは力提示デバイスを用いてバーチャル空間の CD 比制御による力覚の強度を計測し, CD 比 0.7 および 1.3 で  $\pm 0.04$  N 相当の力が知覚されることを明らかにした [12]. Kawagishi らは, ポインタ操作課題における CD 比と牽引力錯覚の組み合わせによる力覚の強度を計測し, CD 比 0.7 および 1.3 で  $\pm 0 \sim 0.025$  N 相当の力が知覚されることを示した [13]. これらの研究は実験システムに生起する触覚の強度がされる力が依存することを示唆する.

## 3. 実験

本実験では, 定量的に制御された力を機械刺激の指標としてエージェントの表情変化により生じる力覚と CD 比の制御により生じる力覚を定量的に計測し, 比較することを目的とする.

### 3.1 システム

図 3 に示すように, 本システムを Host コンピュータ (ASUS, ROG Strix SCAR 16 G634JZ), ハプティックイ

ンタフェース, ディスプレイ (Dell, U2312M (1920 × 1080 px, 60fps)), ノイズキャンセリングヘッドホン (SONY, WH-1000XM5), キーボード, および視線計測装置 (Tobii, Tobii pro fusion) より構成する.

ハプティックインタフェースを力提示装置 (3D Systems, TouchX) とスライドレールより構成する. 力提示装置のスタイラスの先端部を机に固定したスライドレールと接続し, スタイラスが水平方向にのみ極力摩擦なく移動するようにする. また実験参加者の身体的負荷を軽減するため, スライドレール前方にアームレストとしてクッションを設置する. 力提示装置から Host コンピュータへスタイラスの位置を送信し, Host コンピュータから力提示装置へスタイラスに提示する力を送信する.

図 3 に示すように, 1920 × 1080 px のディスプレイ上に直径 120 px の緑および黒色のカーソル, 345 × 600 px のエージェント, 240 × 240 px の黒色のターゲットアイコン, エージェントの手と緑色のカーソルの間に太さを 10 px の直線 (紐) を配置する. 初期状態ではディスプレイの左下隅を原点 (0, 0) とし, 緑色のカーソルを (420, 540), エージェントを (360, 540), ターゲットアイコンを (1560, 540) に配置する. スタイラス位置を示す黒色のカーソルを緑色のカーソルに移動し, スタイラスのボタンを押しながらドラッグすることで緑色のカーソルを操作できるようにする. ただし, ボタン押下中は黒色のカーソルを非表示とする. 緑色のカーソルがターゲットアイコンに到達したとき, スタイラスのボタンを離すことで黒色のカーソルを除くオブジェクトが初期状態へ戻るようにする.

ノイズキャンセリングヘッドホンからホワイトノイズを提示し, ハプティックインタフェースが発する聴覚的手がかりを排除する. キーボードを 3.4 節で述べる参加者の回答に用いる. 視線計測装置を実験中に参加者がエージェントの表情を見ていることを確認するために用いる.

### 3.2 視覚刺激

#### 3.2.1 エージェントの表情

エージェントの表情としてニュートラルな表情のまま変化しない条件 (静的表情条件) とニュートラルな表情からネガティブな表情に変化する条件 (動的表情条件) の 2 つを設定する. ニュートラルな表情は Affect grid [14] 上で原点に近くなる (感情が想起されない) ように, ネガティブな表情は覚醒度が高く, 感情価が低くなる (不快感を表現する) ように我々が設計した表情 (図 4) [9] を本実験に用いる.

エージェントの表情はユーザが緑色のカーソルを操作し, エージェントが紐を介してカーソルを引っ張りはじめた際に変化させることでユーザの操作に対する抵抗を意味するように設計する. 緑色のカーソルとエージェントの距離が動作開始閾値  $\theta_+$  (120 px) を超えるとエージェントが直立状態から引っ張り動作状態となり, 動作停止閾値  $\theta_-$  (90 px) を下回ると引っ張り動作状態から直立状態となるようにする. フレーム  $t(t > 0)$  におけるエージェントの座標  $A_t$  を次式により決定し, エージェントがカーソルを追従するよ

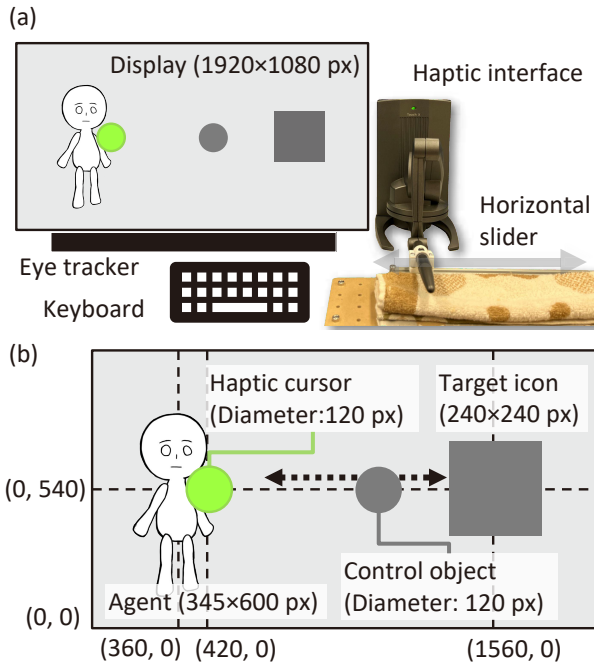


図 3: 実験システム: (a) システム構成; (b) ディスプレイレイアウト。

うにする。

$$A_t = A_{t-1} + v_t \quad (1)$$

$$v_t = a(C_t - A_{t-1} - L) \quad (2)$$

ただし、 $A_{t-1}$  は前フレームのエージェントの座標、 $C_t$  はカーソルの座標、 $L$  は紐のしきい長さ (120 px) である。 $v_t$  はエージェントの 1 フレームあたりの移動量 (速度)、 $a$  は移動量調節ゲインである。 $(C_t - A_{t-1}) < L$  の場合、すなわちフレーム  $t$  においてカーソルとエージェントの距離が 120 px 未満の場合  $a = 0$  とし、それ以外の場合  $a = 0.05$  とした。なおこれらのパラメータはエージェントの動作が自然に見えるよう実験者により経験的に決定された。

### 3.2.2 CD 比の制御

CD 比の制御により生じる力覚を提示する場合は、エージェントおよび紐を非表示とする。このとき、フレーム  $t$  における緑色のカーソルの座標  $C_t$  を次式により制御する。

$$C_t = C_{t-1} + b(C'_t - C_{t-1}) \quad (3)$$

ただし、 $C'_t$  は CD 比操作前のカーソルの座標 (ディスプレイには表示されない)、 $b$  は CD 比である。 $b$  の値はカーソルの移動量が 120 px を超えるまでは 1.0 とし、それ以降は 3.4 節に述べる条件により設定される。

### 3.3 機械刺激

エージェントの表情により生じる力覚を評価する際は、エージェントが引っ張り動作状態にあるときに力提示装置によりエージェントが紐を引っ張る方向 (カーソルの移動

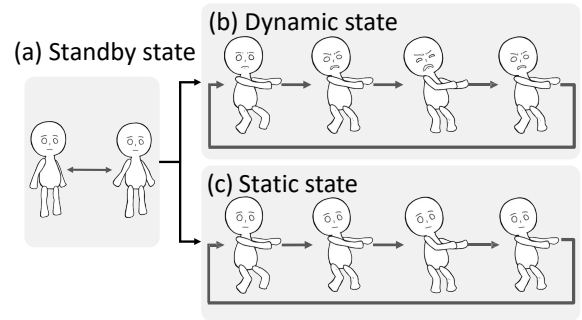


図 4: 各状態におけるエージェントの振り舞い: (a) 直立状態ではニュートラルな表情で立っている。引っ張り動作状態では (b) の動的な表情条件ではネガティブな表情で (c) の静的な表情条件ではニュートラルな表情で紐を引っ張る。

方向とは反対方向) に力を提示する。このときフレーム  $t$  における力  $f_t$  [N] は次式に従い提示する。

$$f_t = \begin{cases} -\frac{F_0}{L}(C_t - A_t) & \text{if } (C_t - A_t) < L \\ -F_0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

ただし、 $F_0$  は提示する力の大きさの最大値 (最大提示力) であり、3.4 節に述べる条件により設定される。

CD 比の制御により生じる力覚を評価する際は、緑色のカーソルの操作開始時より式 4 に従い力を提示する。これは CD 比の制御により生じる力覚と表情刺激により生じる力覚を比較するため、力提示手法の違いによる感覚の差異を減らすためである。

### 3.4 設計

本実験では、まずエージェントの表情により生じる力覚の計測を行う。基準刺激を表情条件 2 水準 (静的な表情条件、動的な表情条件) と最大提示力条件 5 水準 (0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 N) の組み合わせ 10 条件、比較刺激を静的な表情条件かつ最大提示力 0.0 ~ 2.0 N に設定し、10 条件の基準刺激それぞれに対し静的な表情条件下で PSE にあたる最大提示力を階段法を通して計測する。各試行では実験参加者が基準刺激と比較刺激の比較課題を行い、比較刺激の刺激量を実験参加者の反応に応じて増減させながら試行を繰り返す。

試行中のカーソルの移動速度を統制するため、実験開始前に練習としてスタイラスの操作時間を 2.5 秒となるよう操作速度 (288 px/s) を教示する。教示の際は所定の方法で移動するダミーカーソルを表示し、ダミーカーソルに追従するようにカーソルを動かすよう指示する。刺激の増減は上昇方向、下降方向の 2 つの階段法を組み合わせ計測を行う。各条件において 2 回の階段法で得られた値の平均をその条件の PSE とする。各最大提示力条件における動的な表情条件と静的な表情条件の差を表情により知覚される力とする。

次に、CD 比の制御により生じる力覚の評価を行う。基準刺激を CD 比条件 3 水準 (1.0, 0.75, 0.5) と最大提示力条

件5水準(0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 N)の組み合わせ15条件, 比較刺激をCD比1.0かつ最大提示力0.0~2.0 Nに設定し, 15条件の基準刺激それぞれに対しCD比1.0の条件下でPSEにあたる最大提示力を階段法を通して計測する。以下の手順は表情により生じる力覚の計測と同様である。

#### 4. おわりに

本研究では, 社会的刺激である表情と触覚知覚の関係性を明らかにすることを目的とし, モニタ上でエージェントとユーザのカーソル操作による綱引きのようなインタラクション時に生じる力覚を対象としてきた。これまでの実験の結果, エージェントがネガティブな表情で綱を引っ張ると, ニュートラルな表情よりもユーザは力覚を知覚することが明らかになっていた。本稿では, 表情により生じる力覚を力提示装置を用いて物理量(ニュートン)で定量評価し, 他の視触覚クロスモーダル現象で生じる力覚と比較する心理物理実験の設計について報告した。

今後は実験参加者を募り, 本システムを用いた心理物理実験を実施する予定である。これにより, エージェントの表情により生じる力覚の定量化とCD比の制御により生じる力覚との比較を行い, 社会的刺激が触覚知覚に及ぼす影響をより詳細に理解することを目指す。

#### 謝辞

本研究はJST CREST JPMJCR22P4の支援を受けたものである。

#### 参考文献

- [1] A. Haans and W. IJsselstein: “Mediated social touch: A review of current research and future directions”, *Virtual Reality*, **9**, 2-3, pp. 149–159 (2006).
- [2] A. Gallace and M. Girondini: “Social touch in virtual reality”, *Current Opinion in Behavioral Sciences*, **43**, pp. 249–254 (2022).
- [3] A. H. Crusco and C. G. Wetzel: “The Midas Touch: The Effects of Interpersonal Touch on Restaurant Tipping”, *Personality and Social Psychology Bulletin*, **10**, 4, pp. 512–517 (1984).
- [4] D. Erceau and N. Guéguen: “Tactile Contact and Evaluation of the Toucher”, *The Journal of Social Psychology*, **147**, 4, pp. 441–444 (2007).
- [5] P. Ekman and W. V. Friesen: “Constants across cultures in the face and emotion”, *Journal of Personality and Social Psychology*, **17**, 2, pp. 124–129 (1971).
- [6] U. Dimberg, M. Thunberg and K. Elmehed: “Unconscious facial reactions to emotional facial expressions”, *Psychological science*, **11**, 1, pp. 86–89 (2000).
- [7] V. J. Harjunen, M. Spapé, I. Ahmed, G. Jacucci and N. Ravaja: “Individual differences in affective touch: Behavioral inhibition and gender define how an interpersonal touch is perceived”, *Personality and Individual Differences*, **107**, pp. 88–95 (2017).
- [8] I. Ahmed, V. J. Harjunen, G. Jacucci, N. Ravaja, T. Ruotsalo and M. M. Spapé: “Touching Virtual Humans: Haptic Responses Reveal the Emotional Impact of Affective Agents”, *IEEE Transactions on Affective Computing*, **14**, 1, pp. 331–342 (2020).
- [9] N. Matsuyama, S. Matsuda and T. Hachisu: “Can Facial Expressions Induce Haptic Perception?”, *IEEE Transactions on Haptics*, **16**, 4, pp. 634–639 (2023).
- [10] Y. Ujitoko and Y. Ban: “Survey of Pseudo-haptics: Haptic Feedback Design and Application Proposals”, *IEEE Transactions on Haptics* (2021).
- [11] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard and P. Coiffet: “Pseudo-haptic feedback: Can isometric input devices simulate force feedback?”, *Proceedings - Virtual Reality Annual International Symposium*, pp. 83–90 (2000).
- [12] M. Samad, E. Gatti, A. Hermes, H. Benko and C. Parise: “Pseudo-haptic weight: Changing the perceived weight of virtual objects by manipulating control-display ratio”, *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, p. 13 (2019).
- [13] T. Kawagishi, Y. Ban, Y. Ujitoko and S. Wari-sawa: “Enhancing Perceived Resistance and Propulsion by Combining Pseudo-haptics and Pulling Illusion”, *2023 IEEE World Haptics Conference, WHC 2023 - Proceedings*, pp. 403–409 (2023).
- [14] J. A. Russell, A. Weiss and G. A. Mendelsohn: “Affect Grid: A Single-Item Scale of Pleasure and Arousal”, *Journal of Personality and Social Psychology*, **57**, 3, pp. 493–502 (1989).