Vol.2021-UBI-70 No.6
2021/6/3

一人称視点カメラを用いた対人距離計測における頭部・視線運動の影響に関する一検討

辻 愛里[1,a)]　関根 悟[2,b)]

概要：本研究では装着型一人称視点カメラ画像を用いた対人距離計測および距離感推定を目的としてる。装着型一人称カメラによる対人距離計測において頭部の上下方向への傾き状態が二者の対人距離および距離感に影響を与えるとの仮説を立て、その検証を行うためのシステムを設計し、ウエアラブルアイトラッカーを用いた予備的な計測実験を実施した。実験の結果から、提案手法での頭部傾きが取得可能であり、人物面積や注視点情報との併用を行うことで対人距離計測および距離感推定に有効であることが示された。

Measurement of the dynamics of interpersonal proximity using wearable devices

1. はじめに

人間はコミュニケーションによって他者と交流し、関係性を構築する。コミュニケーションは会話や手話、手紙といった言語を介するバーバルコミュニケーションと、仕草や表情・声のトーンといった明示的な言語を介さないノンバーバルコミュニケーションの二つに大別される。ノンバーバルコミュニケーションがコミュニケーションのメッセージ伝達量については音声言語を凌ぐとされている [2]。

ノンバーバルコミュニケーションの一つに対人距離がある。ホールは対人距離を密接距離、個体距離、社会距離、公衆距離に区分し、対人関係を円滑に構築する上で確保すべき距離を明らかにした [3]。二者間の親密さが増すと共に二者間の対人距離は近くなり、親密な間柄でないにも関わらず距離を狭めることが、相手に対し強い不快感を与える。社会的コミュニケーションと対人相互作用に困難を抱える自閉症スペクトラム障害児（以下 ASD 児）[4] は、定型発達児に比べ、対人距離が近すぎたり遠すぎたりする傾向があり、パーソナルスペースの調節や自分から適切な対人距離をとることが困難であると報告されている [5][6]。更に、パーソナルスペースの調整については、ASD 児が定型発達児に比べ対人距離が広い方が快いと判断するという報告がある [7]。こうしたことから、距離感は対人応答性尺度の項目として用いられている [8]。また、ASD 児において適切な距離感を保てないことで関係性の構築が困難になる場面が見受けられることから、対人距離の取り方は心理学領域において着目されてきた研究課題の一つである [5][9][10][11]。しかし、ノンバーバルコミュニケーションの定量的な計測と評価に関し、表情の認識や識別、視線の計測が採用されている一方で、対人距離の計測については依然として古典的な手法が中心となって用いられている。

本研究では一人称視点カメラを用いた対人距離計測を提案し、提案手法における装着者側の頭部・視線運動の影響について、加速度センサを元に頭部の傾きを取得し、頭部傾きを加味した視線の向きが距離感の主観的な評価にどのように影響するかについて、計測方法の提案と実装、予備的な計測実験の結果を述べる。

2. 先行研究

2.1 対人距離計測

対人距離およびパーソナルスペースの計測手法について広く用いられてきたものに Stop-Distance 法 [17] がある。これは 2 者のつま先位置を計測した上で静止した一方に対して他方が不快に感じるまで歩いて近づき、不快に感じた距離を取得するといったもので、簡易に定量的な計測が行

[1] 東京農工大学
Tokyo University of Agriculture and Technology
[2] 東京大学
The University of Tokyo
[a)] atsuji@go.tuat.ac.jp
[b)] ssekine@keio.ac.jp

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

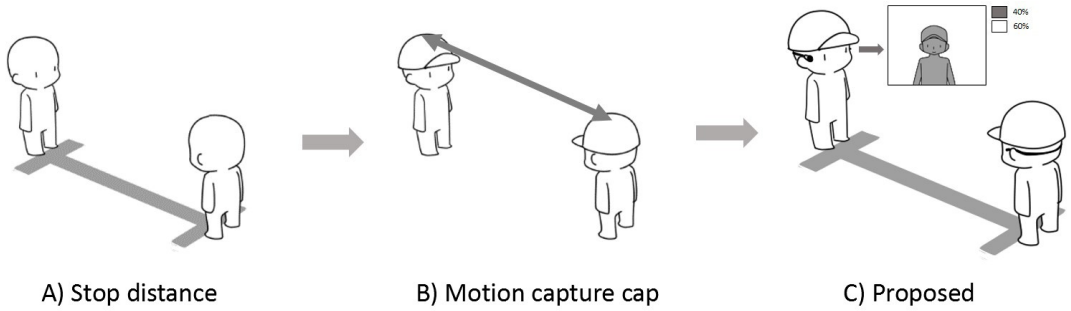


図 1 対人距離および距離感計測の既存・提案手法 [1]
Fig. 1 Previous and proposed measurement methods[1]

える。しかし、Stop-Distance 法では実際の活動中とは異なる不自然な状況下での計測となってしまうこと、計測ルールを理解することが難しい低年齢児や ASD 児において計測を実施することが難しいことから計測できる条件が限られていた。さらに対人距離の時間的変化に関しては把握することが困難であった。そのため、ASD 児の対人距離の時間変化計測の手法としては、セラピー中の行動をビデオで撮影したものを観察者が評価する Observation 法が併用されてきた [11] が、専門家によるビデオ観察には時間が掛かることから、広く一般に普及させることが困難であった。

コミュニケーションロボットに関する研究 [12] などにおける対人距離の計測では、画像解析や Kinect を利用した装着不可の低い計測方式による距離計測手法が取り入れられてきたが、児童・幼児においては体幹が小さいことや突発的な行動をとることが多く、特に動作によらず身体部位の正確な位置や向きの計測が困難であった。

本研究グループではこれまで対人距離を計測する試みとしてモーションキャプチャを用いた頭部間距離を対人距離として定量的に計測し、ASD 児に対するセラピー中の対人距離ダイナミクスを明らかにしてきた [13]。また、応用としてセラピーによる対人距離の変化を定量的に計測し、リアルタイムでのフィードバックを行うことで、適切な対人距離を保つ支援が可能となるとなることを実験により示してきた。

2.2 距離感計測

距離感は対人コミュニケーションの場面において、物理的な距離の概念を内包した相手との心理的距離を表す語として用いられている。二人の関係により適切な距離感は変化し、円滑なコミュニケーションを継続して実施する上で双方にとって適切な距離感を保つことは社会的な相互関係を構築の上で重要であると考えられている。しかし、距離感は物理的な対人距離と完全に一致するものではない。パーソナルスペースに関する議論においても前方と後方では区分して議論が行われていることからも、距離感においては二者間の物理的な距離に対し、顔向きや視線方向が強く影響していることは明らかである。

また、VR 空間上にも対人距離の概念が存在することが指摘 [14] されており、AR を用いて実世界で対人距離を操作し、不快感や圧迫感を低減する手法が提案されている [15]。ヘッドマウントディスプレイを用いた視覚による対人距離操作が実際の対人距離の認識と行動に影響を及ぼすことからも、対人距離の認識である距離感が主に視覚によって知覚・認識されていることが明らかとなっている。

本研究グループでも工学的な距離感計測の試みとして、視野における相手の占める面積および注視点情報に着目した距離感計測システムを提案してきた。これはメガネ型のアイトラッカー [16] を一人称視点カメラとして用いて取得した仮の一人称視野映像に対し、画像解析による物体認識を行うことで相手の占める面積を算出し、この割合を距離感の指標とするものである [1]。提案システムを用いた予備実験から、Stop-Distance 法における不快な距離に達した際に、一人称視点における相手の範囲から注視点が逸れるという結果が得られたことから、提案手法は距離感を明らかにするだけに留まらず、アイトラッカーを使用した対人距離計測についても可能性も示している。メガネ型のアイトラッカーを用いることで、環境を選ばすに動的な対人計測が行えることには、計測の簡便化と応用可能性の拡張といった点で価値がある。

3. 一人称視点カメラによる対人距離計測手法

本研究では相互に一人称カメラを装着した二者間の距離感を、一人称カメラから取得された仮の一人称視点から計測する手法として、一人称視点画像に占める人物面積と注視点情報を利用することを提案している。図 1 に先行研究と提案手法の比較概要を示す。1) は前節で述べた Stop-Distance 法 [17] であり、二者間の対人距離として両者が不快に感じるところまで接近し、止まったところで両者のつま先間の距離を測定するといったものである。この手法は対人距離の定量的な計測を可能にしたが、支援中の対人距離変容を動的に計測することは難しかった。2) 本研究グループによる先行研究 [13] で開発されたモーション

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

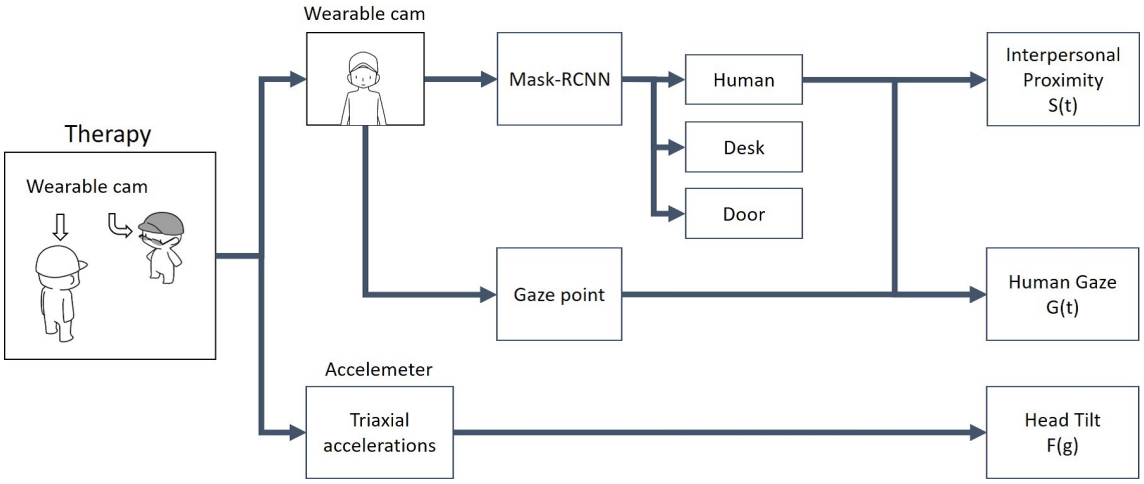


図 2 提案システム概要
Fig. 2 Overview of system

キャプチャシステムを用いて二者間の頭の距離を計測する対人距離計測手法を用いることで、支援中の対人距離変容をリアルタイムで動的に計測することが可能となった。しかし、これは物理的な距離計測に留まるものであり、計測対象の視野や視界の影響を考慮することは困難であった。3) の提案手法 [1] では一人称カメラ画像を用いて対象者の仮の一人称視点視野を取得し、視野範囲における距離感の計測対象者が視野に占める面積を先行研究 2) の物理的対人距離とともに取得することで、より対象者の実感に即した距離感の計測が可能になるまた、注視点情報を画像上に重畳し用いることで、対人注視状態の有無を取得し、注視中の対象の面積を距離感として用いる方法を試みている。

3.1 人物面積の算出

提案システムでは仮の一人称視野において対象人物が占める面積を算出している。図 2 に処理の概要を示す。装着型カメラを用いて撮影された仮の一人称視野画像に対し、機械学習による物体認識手法である MASK-RCNN [18] による処理を実施する。MASK-RCNN では画像内のオブジェクトごとの面積が算出可能なことから、処理結果から対象となる人物が視野中に占める面積を取り出すことが可能となる。この対象となる人物の面積を、本提案手法における対人距離としての人物面積比 S[%] として用いることにした。また、アイトラッカーから得られた注視点情報を仮の一人称視野に重畳し、対象人物に対する注視の有無 (人注視率 G[%]) を取得可能である。

3.2 頭部傾きの取得

Stop-Distance 法を用いた対人距離計測においては、接近側と被接近側が互いを注視しながら不快に感じるところまで接近するよう指示が行われる。このとき、子供と大人のように身長が異なる状況を模倣する場合には被接近側を

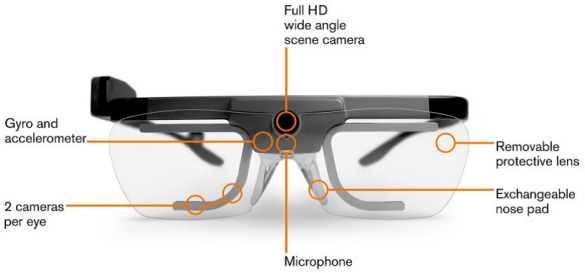


図 3 装着型アイトラッカー：Tobii Pro グラス 2[16]
Fig. 3 Glass type eye tracker : Tobii Pro Glasses 2 [16]

着座させ、子供の視線高さを再現する場合がある。本実験グループでも ASD 児を対象としたセラピーを対象としてきたことから、実験時には二者の視線高さが必ずしも一致しない状態を想定し、計測を実施してきた。こうした中で、Stop-Distance 法における計測位置である足の爪先間距離は一致していても、視線の高さが異なる場合には顔と顔の距離が離れることから距離の感じ方が異なる可能性が示唆されてきた。これは、モーションキャプチャによる頭部間距離計測が爪先間での計測より妥当であることの根拠となりうるものである。また、物理空間・仮想空間上で対面する相手との距離感については視覚を用いて評価されていることが先行研究 [14][15] から明らかになっていることから、一人称カメラを用いて距離感を推定できる可能性についても対象との距離によって面積が変化することから可能性が示唆されてきた。

一方で、着座状態にある対象に接近する場合、接近側は近くなるほど視線が下がり、最接近時には相手を見下ろす状態となることが実験中の観察から明らかになっている。被接近側は接近側の顔を見上げる場合と、頭部位置や傾きを変化させずにいる場合の両方が観察されているが、後者

表 1　実験協力者概要
Table 1　Overview of Participants

実験参加者	性別	身長 (cm)	座高 (cm)	肩幅 (cm)
A	男性	174	123	45
B	男性	177	138	48

表 2　Stop-Distance 法による結果
Table 2　Result of Stop-Distance Method

実験条件	接近側	被接近側	被接近側姿勢	停止距離 (cm)
1	A	B	起立	13
2	B	A	起立	10
3	A	B	着座	7
4	B	A	着座	3

の場合一人称カメラ上では接近側の腰部や脚が主に撮影されていた。このように一人称視野に占める人物面積比 S が一致していたとしても、頭部の傾きが上方向（見上げている状態）の場合と下方向（見下ろしている状態）の場合とでは視界を占める身体部位が異なることから、距離感についても大きく影響することが想定される。

そこで、図 3 のアイトラッカーに搭載された加速度センサの Z 軸方向出力電圧を用いてのようにアイトラッカーの上下方向傾きを取得し、これを補正し、頭部の上下方向傾き（頭部傾き F[g]）として用いることで、相手を注視する際に見上げているか見下ろしているかの判定に用いることとする。

4. 実験

提案手法の実現可能性を検証するために予備実験を実施した。実験は表 1 の 20 代の大学生 2 名が参加し、両方が視線検出が可能なメガネ型一人称視点カメラとして図 3 の Tobii Pro グラス 2[16] を装着した上で実施した。フレームレートは仮の一人称視野を取得するための外向きカメラが 10fps、注視点計測用の内向きカメラおよび頭部傾きを取得するための加速度センサについては 100fps で取得した。実験では被接近側が起立/着席の状態でそれぞれ被接近側が不快に感じる距離になるまで接近側が被接近側に接近し、不快に感じた距離で停止したところで足の爪先間（Stop distance 法）と実験中の人物面積比 S と頭部傾き F を計測した。被接近側の不快は挙手によって表された。

本実験は東京大学倫理審査委員会の承認を受け、マスクとメガネ型アイトラッカーを装着させ、実験中発話させないといった、感染防止に配慮した状態で実施した。

4.1 実験結果

表 2 に実験条件と Stop-Distance 法での計測結果を、図 4 に実験参加者 A の、図 5 に B の各実験条件における人物面積比 S[%] および頭部傾き F[g] の結果を示す。頭部傾き F[g] は値が正であれば頭部が上向きを、負であれば下向きを表す。

4.2 考察

実験結果から、身長差が少ない実験参加者における被接近者起立状態（視線高さ一致）条件では条件 1 での被接近側（実験参加者 B が）以外の 3 例では頭部傾き F の値は変化しなかった。条件 1 の実験参加者 B においてはわずかに頭部が下向きになった。着座状態にある被接近側に接近する条件 3 および 4 においては、条件 3 において接近側となった実験参加者 A の頭部傾きが下向き方向に変化していく傾向が見られた。しかし実験参加者 B が着座状態にある A に接近する条件 4 ではこの傾向は見られなかった。実験時のビデオ観察から、実験参加者 B が着座状態にある A に接近する際、頭部を下に傾けず視線だけで A を確認している様子が見られたことから、頭部傾きも発生していないことが考えられる。現在実験参加者 B の注視点情報について分析を進めている。また、実験参加者 A・B ともに着座状態での被接近時に頭部が上向き方向に変化する傾向は見られなかった。条件 4 では最接近距離が Stop-Distance 法で 3cm となっており、一人称カメラ画像上での相手実験参加者がほぼ画面の全体を占めたことから、画像に対する Mask-RCNN によるオブジェクト推定がうまく働かず面積の計算を行うことができなかった。

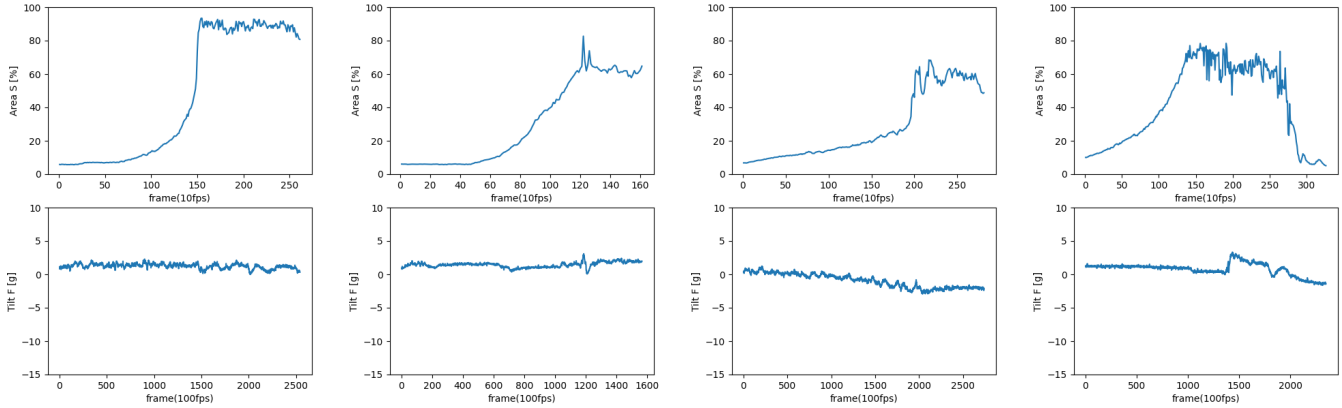
5. まとめ

本研究では一人称視点カメラを用いた対人距離計測と距離感の推定手法として、相手が視野に占める面積（人物面積比 S）と頭部の上下方向傾き（頭部傾き F）を取得し用いる方法を提案し、計測可能性を明らかにするための予備実験を実施した。実験の結果から、一人称視点カメラから得られた人物面積比 S と頭部傾き F を用いることで実験参加者の状態を定量的に計測し、接近/被接近時の傾向を明らかにできる可能性が伺えた。しかし、着座状態にある対象への接近時に頭部が下向きに傾くことや、着座時に立っている相手を見上げる行動が実験時に発生しなかったことから、仮説の検証には至らなかった。また、面積を用いて対人距離を計測する手法において、極端な接近が見られた場合には計算が行えないという問題点も明らかになった。今後は注視点情報の分析結果を加味し、さらなる状態推定と分析を実施するとともに、手法を改善し、実際のセラピー現場への応用を検討したい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20J01493 の助成を受けた。

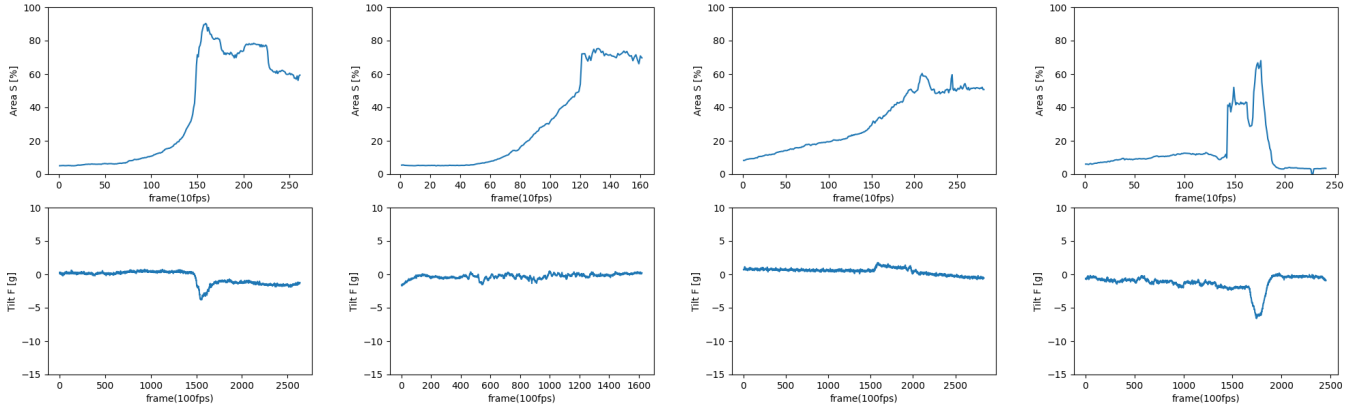
ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan



条件 1（起立状態への接近）　条件 2（起立状態での被接近）　条件 3（着座状態への接近）　条件 4（着座状態での被接近）

図 4　実験結果：実験参加者 A

Fig. 4　Result:Participant A



条件 1（起立状態での被接近）　条件 2（起立状態への接近）　条件 3（着座状態での被接近）　条件 4（着座状態での接近）

図 5　実験結果：実験参加者 B

Fig. 5　Result:Participant B

参考文献

[1] Tsuji, A., Sekine, S., Matsuda, S., Yamamoto, J. and Suzuki, K.: Towards Modeling of Interpersonal Proximity Using Head-Mounted Camera for Children with ASD, *International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, Springer, pp. 104–111 (2020).

[2] 黒川隆夫：ノンバーバルコミュニケーションとインタフェース 第 1 回人間のノンバーバルコミュニケーション，ヒューマンインタフェース学会誌= Journal of Human Interface Society: human interface, Vol. 2, No. 3, pp. 21–28 (2000).

[3] Hall, E. T.: The hidden dimension (1966).

[4] Association, A. P. et al.: *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*, American Psychiatric Pub (2013).

[5] Rogers, A. L. and Fine, H. J.: Personal distance in play therapy with an autistic and a symbiotic psychotic child., *Psychotherapy: Theory, Research & Practice*, Vol. 14, No. 1, p. 41 (1977).

[6] Kennedy, D. P. and Adolphs, R.: Violations of personal space by individuals with autism spectrum disorder, *PloS one*, Vol. 9, No. 8, p. e103369 (2014).

[7] Candini, M., Giuberti, V., Manattini, A., Grittani, S., di Pellegrino, G. and Frassinetti, F.: Personal space regulation in childhood autism: Effects of social interaction and person's perspective, *Autism Research* (2016).

[8] Constantino, J. N. and Gruber, C. P.: *Social responsiveness scale (SRS)*, Western Psychological Services Torrance, CA (2012).

[9] Sekine, S., Tsuji, A., Suzuki, K., Yamamoto, J. : Evaluating Eye Contact Using Wearable Eye Tracker Technology in the Naturalistic Social Interaction for Children with Autism Spectrum Disorder, The effect of Movement-interaction Teaching(MoIT). The 13th annual autism conference, San Francisco, CA(2019).

[10] 児玉昌久：自閉症児の対人距離 (清原健司教授追悼特集号)，早稲田心理学年報，No. 11, pp. p17–23 (1979).

[11] 北洋輔, 稲垣真澄, 軍司敦子, 細川徹：Autism Spectrum Disorders 児の対人距離に関する研究動向，東北大学大学院教育学研究科研究年報，Vol. 58, No. 1, pp. 149–162 (2009).

[12] Mead, R., Atrash, A. and Matarić, M. J.: Automated proxemic feature extraction and behavior recognition:

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

Applications in human-robot interaction, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 5, No. 3, pp. 367–378 (2013).

[13] Tsuji, A., Matsuda, S. and Suzuki, K.: Interpersonal Distance and Face-to-face Behavior During Therapeutic Activities for Children with ASD, *International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, Springer, pp. 367–374 (2016).

[14] Bailenson, J. N., Blascovich, J., Beall, A. C. and Loomis, J. M.: Interpersonal distance in immersive virtual environments, *Personality and Social Psychology Bulletin*, Vol. 29, No. 7, pp. 819–833 (2003).

[15] 酒田 信親前田 将希：仮想身体サイズによる対人距離の視覚的拡張の基礎的検討—ノイズキャンセリング HMD の実現に向けて—，インタラクション 2016 論文集，pp. 47–53 (2016).

[16] Tobii Pro Glass, `https://www.tobiipro.com/ja/product-listing/tobii-pro-glasses-2/`.

[17] Gessaroli, E., Santelli, E., di Pellegrino, G. and Frassinetti, F.: Personal space regulation in childhood autism spectrum disorders, *PloS one*, Vol. 8, No. 9, p. e74959 (2013).

[18] He, K., Gkioxari, G., Dollár, P. and Girshick, R.: Mask r-cnn, *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, pp. 2961–2969 (2017).

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan