

人を惹き込むコミュニケーションシステム「かかわり Eye」の紹介

瀬島 吉裕*

1. 緒言

人は、言葉という記号化された情報だけでなく、表情や視線、身体動作等の非言語情報や、呼吸や心拍等の生体情報が互いの身体というメディアを介して同調することで、心が通う感覚を得ている¹⁾。これは、言語や文化を理解していない乳児が、逆三角形に配置された幾何学的な3点を人の顔（目と口）と知覚して追従するシミュラクラ現象²⁾や、育児者の語り掛けに対して自身の手足を動作させてリズム同調する引き込み現象³⁾から推測されるように、人は視聴覚情報を頼りに他者と同調することで社会的つながりを生み出す戦略を取っていると考えられる。この「同調する」という普遍的な戦略を繰り返して学習することにより、発語模倣による言語獲得や、他者感情を類推する共感という社会的つながりを構築できるようになったと考えられる。また、行動生理学においても、人間と犬とが見つめ合うことでオキシトシンを分泌⁴⁾し、安心感や幸福感を高めることが明らかとなっているように、たとえ言葉が通じなくとも、見つめ合う同調行為そのものが、生物間の自律神経系に影響を与えている。加えて、「目は口ほどに物をいう」や「目は心の鏡」等、諺や慣用句においても目にまつわるものが多いことや、他者の様態によって表す言葉が「目」「眼」「瞳」と異なることから、目という情報伝達メディアは社会的つながりや他者とのかかわりにおいて重要な役割を果たしている。

このように、目を主体とした非線形な行動が相互に同調することによってかかわりを生み出し、心が通う感覚が得られることを経験的に理解しているものの、そのメカニズムについては脳科学や視覚神経科学分野においても明らかとなっていない。この身体的な同調が基底となって「心が通う」基盤が形成される以上、この仕組みを明らかにして技術展開することは、人の意図や欲求等の潜在意識への深度を高めるに留まらず、人類が獲得してきた「発話」というキャッチボールコミュニケーションからパラダイムシフトをもたらし、まさに「目と目で通じ合う」といえる瞬間的な高速コミュニケーションが実現されると期待される。

これまでに著者は、人と人とのコミュニケーションの基底にある身体的な同調の解析や、それに基づくソーシャルロボット等の人工物に対する視線—瞳孔のコミュニケーション支援研究を進め、非言語・生体情報を基盤としたコミュニケーションのメカニズムについて追求してきた。これまでも、認知科学のアプローチにより心理状態を目から読み解く研究⁵⁾が数多くな

*関西大学総合情報学部

されてきたが、著者は目を主体とした人工物の開発を通じて、物理的なメディアを介したコミュニケーションがたとえ言葉が通じないコミュニケーションであっても、心のつながりに強く働きかけることを実証してきた。本稿では、これまで開発してきた人を惹き込むコミュニケーションシステム「かかわり Eye」について紹介する。

2. 目のミニマル・デザイン

2.1 ミニマル・デザインによるアプローチ

人間の眼球は、強膜（白目）と虹彩（目の色）との境界が明確なことから、注視方向や視線追従等の、いわゆる「視線提示」に関する研究⁶⁾が数多くなされてきた。しかしながら、人がコミュニケーション時に捉えている多様な目の情報は、眼球と周辺筋肉を随意的に運動させる「視線提示」というマクロな手掛かりだけではなく、自律神経に支配されている不随意的な「瞳孔」というミクロな手掛かりをも統合して、人の内観を推察していると考えられる。そこで著者は、マクロな手掛かりとなる視線提示をあえてそぎ落とし、瞳孔に着目した必要最小限の見かけと動作を備えた“ミニマル・デザイン”によるアプローチ⁷⁾を試みている。これにより、瞳孔という重要かつ微細なメディアを積極的に引き出すとともに、随意的な視線提示を組み合わせることで、人が多様に捉えている目元の情報を体系的に解明することを目指している⁸⁾。

2.2 コミュニケーションにおけるマイクロインタフェース

ミクロな手掛かりとなる瞳孔は、先行研究において自身の興味関心⁹⁾や好み¹⁰⁾といった内観を客観評価する研究が数多くなされてきた。しかしながら、人と人あるいは人とロボットとのコミュニケーションにおける瞳孔反応に関する知見は著者の知る限り見受けられない。そのため、原始的コミュニケーションとして、話し手から聞き手への対話を行うコミュニケーション実験を行い、両者の瞳孔反応を解析した¹¹⁾。その結果、対面・非対面にかかわらず、話し手の瞳孔は1.5倍程度拡大することが確認された。一方、聞き手においては、瞳孔変動が小さいことが確認され、瞳孔反応は話し手の発話に関連していることが示された。そこで、より基礎的な実験として、意味情報を含まない母音を発音した場合と、口形模倣のみで発音しない場合を比較した結果、発話に同調して瞳孔が顕著に拡大することが確認された¹²⁾。発話する、つまり人が何らかの意図や思いを伝達する際には、無意識に瞳孔が拡大することが明らかとなった。とくに、心地がよいときや楽しいとき等、快状態における発話は瞳孔の拡大率が増大¹²⁾することから、まさに「目は口ほどに物をいう」という諺のとおり、瞳孔は無意識に内なる情動を表現するマイクロなインタフェースであることが示された。

2.3 瞳孔反応インタフェース

発話と瞳孔反応との解析結果から、コミュニケーションにおける身体的な同調を促進させるには、ミクロな瞳孔をあえて誇張することで、他者状態の読み取りが行いやすくなると考えられる。そこで著者は、ミニマル・デザインのアプローチにより瞳孔反応インタフェース¹³⁾を開発してきた(図1)。このインタフェースは、直径250 mmの半球ディスプレイと、虹彩と瞳孔を模擬したCGモデルから構成されている。成人の眼球は直径約24 mmで、虹彩径は約11 mm、瞳孔径は約4 mmであることから、人間の眼球サイズを約10倍に誇張した物理メディアといえる。このように、表情を構成する口や眉毛といった主要な要素をあえて除去し、眼球のみでもコミュニケーションできる、いわば目が身体となるインタフェースを開発した。

瞳孔反応インタフェースは、CGモデルを制御することで任意の運動を生成できる。例えば、虹彩と瞳孔を連動させながら上下方向や左右方向といった3次元位置にCGモデルを移動させることで、視線提示が実現される。さらに、瞳孔を模擬した黒色CGモデルを前後に動作させることで、瞳孔の拡大・縮小を実現している。著者は、ミクロな瞳孔をコミュニケーションで表現する有効性を確認するために、音声が入力されると瞳孔を前方に移動させて拡大表現を実現し、音声入力終了すると瞳孔を後方に移動させる音声駆動型モデルを設計した。コミュニケーション実験を行った結果、瞳孔の拡大が対話しやすさ等の身体的な同調を支援するだけでなく、興味や熱意等の親しみやすさを向上させることが確認された。先行研究¹⁴⁾において、随意的な周辺筋肉の運動によりロボットの効果的な情動伝達を実現しているが、瞳孔反応のみでも情動伝達を実現できたことは、人は視線提示のみならず瞳孔によっても情動を推察していると考えられ、目のミクロな情報を表現する仕組みが重要であることが示された。

3. 人を惹き込むコミュニケーションシステムかかわり Eye

ミクロな瞳孔反応を表現することで、身体的な同調を支援するだけでなく、興味等の情動伝



図1：瞳孔反応インタフェース

達を強化することが確認された。本章では、この知見を応用展開し、瞳孔反応を表現することで人を惹き込む様々なコミュニケーションシステムかわり Eye について解説する。

3.1 Pupiloid : 瞳孔反応ロボット

瞳孔反応インタフェースは、人間の眼球サイズを約10倍に誇張したものであるが、人型となるヒューマノイドロボットを想定すると、人間と同程度の眼球サイズであることが望ましい。ヒューマノイドロボットの多くは、眼球に小型カメラを導入する、あるいはドールアイを導入する手法が取られている。しかしながら、感情等の内的状態を細やかに表現するには、視線提示だけでは不十分で、内的状態と密接に関連する瞳孔反応を表現する仕組みが求められている。そこで、機構的に瞳孔反応を生成する瞳孔反応ロボット Pupiloid¹⁵⁾を開発した(図2)。Pupiloid は、瞳孔を意味する「Pupil」と、「~のような」を意味する「-oid」を組み合わせた造語である。

Pupiloid は視線提示を行う「眼球動作部」と、瞳孔反応を提示する「瞳孔動作部」から構成される。このロボットは全てサーボモータにより駆動している。眼球は、人間の眼球サイズの約2倍となる50 mmの半円を3Dプリンタにより製作している。瞳孔動作部は、カメラに利用されている「絞り羽機構」を参考にし、眼球部に8枚の“羽”を搭載している。この羽は、3Dプリンタにより造形し、立体形状を実現している。この8枚の立体羽を回転させることで、直径6~20 mmまでの範囲で瞳孔の拡大・縮小を実現している。人間の瞳孔径は約2~8 mmで推移するが、Pupiloid は人間には表現できない瞳孔を実現することができる。Pupiloid を用いてコミュニケーション実験を行った結果、人間と同程度の眼球サイズであっても、瞳孔反応インタフェースと同様のコミュニケーション効果が確認された。この立体的な絞り羽機構は、様々なヒューマノイドロボットへの導入が可能であり、視線提示に留まらず瞳孔反応をも表現するヒューマノイドロボットが出来れば、人間と同じような感覚でロボットと対話ができるかもしれない。

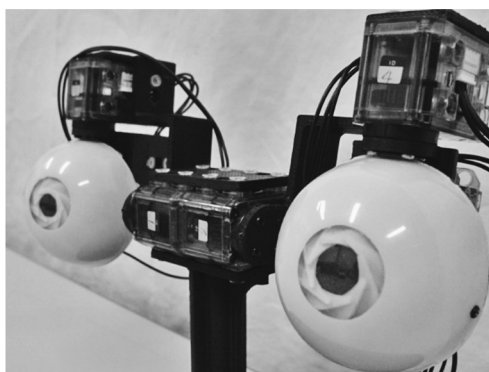


図2 : Pupiloid : 瞳孔反応ロボット

3.2 瞳孔反応ペットロボット

近年、aibo や LOVOT に代表されるように、眼球をディスプレイで表現することで豊かな表情を生み出すペットロボットが注目されている。これらのペットロボットには、人を追従する眼球運動機能が実装されているものの、瞳孔制御による人を惹きつける仕組みについては不十分である。そこで著者は、2.3節の瞳孔反応インタフェースを応用展開し、瞳孔反応ペットロボットを開発した¹⁶⁾。

開発したペットロボットは、小型液晶ディスプレイに瞳を映し出すだけでなく、前面に LED レンズを設置することで、平面ディスプレイを半球状の眼球として表現している (図 3)。さらに、ペットロボットの瞳孔反応を話し手の発話音声に同調するようにミラーリングすることで、あたかも対話に興味があるかのように惹き込む。このように、好意的な同調行動を生み出し、対話者の意図や思いの伝達にあたかも共鳴しているかのように振舞うことで、対話者は好意の返報性の効果により、意欲をもって対話へ惹き込まれると期待される。この取り組みは、新学術領域研究の「人間機械共生社会を目指した対話知能システム学」において現在進められている。加えて、身体接触にも同調するように瞳孔を拡大表現することで、ロボットとの様々な距離に応じて対話者との関係性を強めることができる。

3.3 涙目ロボット

上述したコミュニケーションシステムは、ロボット自身の伝達効果を高めるために、瞳孔反応を誇張するアプローチで実現した。しかしながら、ロボットが瞳孔反応を表現していたとしても、視覚的に捉えやすい社会的シグナル (うなずきや共感行動等) との統合における効果については検討されていない。社会的シグナルの中でも、涙は非常に影響力が強く、コミュニケーションや互いの関係性を大きく変える可能性を秘めている。人の涙は、生命維持のための基礎分泌、物理的な刺激による刺激性分泌、情動刺激に基づく情動性分泌に大別される。社会



図 3 : 瞳孔反応ペットロボット

的シグナルとなる情動性分泌は、共感等の強い情動を伴うことで涙腺が刺激され、涙が生成される。涙を流すことで、ストレス緩和をもたらす¹⁷⁾だけでなく、自己の情動を他者へ強力に伝達する。

著者は、この強力な社会的シグナルの伝達効果に着目し、人間の涙器構造を模倣した涙目ロボットを開発した(図4)。このロボットは、瞳孔動作部と涙器動作部から構成される。瞳孔動作部は、3.2節のペットロボットと同様の構成である。涙器動作部は、ロボット上部に貯蔵している水をバルブの開閉により眼球へ流入させ、眼球表面に水分を保持することができる。とくに、バルブの開閉タイミングの制御により、涙目や落涙といった多様な表現が可能である¹⁸⁾。実際の水を用いることでリアリティの高い表現を生成している。この涙目ロボットは異能vationプログラムによって開発されたものであり、複数のメディアに取り上げられる等ロボットが涙を流すことへのインパクトは大きい。今後は、社会的シグナルの伝達とミクロな瞳孔反応による情動伝達とを統合し、人が無意識的に読み取っている目元の情報を体系的に解析する予定である。

4. 結言

コロナ禍により、日常生活において情報技術が浸透していく中、現在の情報技術では代替できない人間由来の情報の重要さを再認識するようになった。なかでも、現在の情報技術では補えない本能的とも言える「かかわり」を、仮想ではなく実体を通じて感じるものが生物として不可欠であることを経験・再認識し、人間らしいコミュニケーションを潜在的に望んでいることが明らかとなった。そのため、今後はかかわりを通じて身体というメディアを感じ取ることができるコミュニケーション技術が求められると考えられる。すなわち、身体感覚を通じて心地よさや温かさを実感し、心が通うコミュニケーションが望まれていると推測できる。

他者の心を感じ、心を通わせるためには、テキスト情報だけでは不十分で、非分離ともいえ



図4：涙目ロボット

る言語・非言語を統合していく必要がある。言語においては、AI技術によってテキスト情報に基づく言語・概念理解の研究が精力的に取り組まれており、それと並行してかかわりを実感できるコミュニケーション技術がますます重要になる。著者が開発してきた目が伝達する情報は、自己の意図を含んだ意志として他者の心の奥に届くのではないかと考えている。人類が自他の情動を読み取りやすくするために白目を発達・進化させたように、心の奥に届くコミュニケーションを実現するには、目だけであってもかかわりを実感し、相互の意図や欲求が感じられる未来のコミュニケーションスタイルを探求していく必要があると考えている。

謝辞

本研究の一部は、関西大学先端科学技術推進機構、JSPS 科研費19K12890および22H04871、JST A-STEP JPMJTM20Q2、総務省 異能 (Inno) vation プログラム「破壊的な挑戦部門」の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) Watanabe, T.: Human-entrained embodied interaction and communication technology for human-connected IoT design, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 14, No. 2, pp. JAMDSM0025 (2020).
- 2) Reid, V. M., Dunn, K., Young, R. J., Amu, J., Donovan, T. and N. Reissland: The Human Fetus Preferentially Engages with Face-like Visual Stimuli, *Current biology*, Vol. 28, No. 5 (2018).
- 3) Condon, W. S. and Sander, L. W.: Neonate movement is synchronized with adult speech, *Science*, No. 183 (1974), pp. 99-101.
- 4) Nagasawa, M., Okabe, S., Mogi, K. and Kikusui, T.: Oxytocin and mutual communication in mother-infant bonding, *Frontiers in human neuroscience*, Vol. 6, No. 31, (2012).
- 5) Ekman, P. and Friesen, W. V.: Expression and emotion, *American psychologist*, Vol. 48, No. 4, pp. 384-392 (1993).
- 6) Roncone, A., Pattacini, U., Metta, G. and Natale, L.: Gaze stabilization for humanoid robots: A comprehensive framework, *Proc. of 2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp. 259-264, (2014).
- 7) 瀬島吉裕, 渡辺富夫: 視線コミュニケーションにおける瞳孔反応のミニマル・デザイン, *設計工学*, Vol. 54, No. 11, pp. 723-728 (2019).
- 8) 瀬島吉裕: with コロナ時代における目ヂカラコミュニケーション, *計測と制御*, Vol. 61, No. 3, pp. 198-202 (2022).
- 9) E. H. Hess: Attitude and pupil size, *Scientific American*, Vol. 212, No. 4, pp. 46-54 (1965).
- 10) 古川茂人, 米家惇, I. Hsin, 柏野牧夫: 眼から読み取る心の動き: Heart-Touching-AI のキー技術, *NTT 技術ジャーナル*, Vol. 28, No. 2, pp. 22-25 (2016)
- 11) Sejima, Y., Sato, Y., Watanabe, T. and Jindai, M.: Speech-driven Embodied Entrainment Character System with Pupillary Response, *Bulletin of the Mechanical Engineering Journal*, Vol. 3, No. 4, p. 15-00314, (2016).
- 12) Sejima, Y., Egawa, R. Maeda, Y. Sato, and T. Watanabe: A Speech-Driven Pupil Response Robot Synchronized with Burst-Pause of Utterance, *Proc. of the 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2017)*, pp. 437-442 (2017).

- 13) Sejima, Y., Egawa, S., Sato, Y. and T. Watanabe: A pupil response system using hemispherical displays for enhancing affective conveyance, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 3, No. 2, p. JAMDSM0032 (2019).
- 14) 田中一晶, 小山直毅, 小川浩平, 石黒浩: ロボットの情動のかつ社会的表情による人との親密さの強化, *情報処理学会論文誌*, Vol. 59, No. 2, pp. 622-632 (2018).
- 15) Sejima, Y., Egawa, S., Sato, Y. and Watanabe, T.: Pupiloid: A Pupil Response Robot for Emotional Expression in Voice Communication; *Proc. of the 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2016)*, pp. 429-430 (2016).
- 16) Sejima, Y., Sato, Y. and Watanabe, T.: A body contact-driven pupil response pet-robot for enhancing affinity, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 15, No. 5, p. JAMDSM0061, (2021).
- 17) 有田秀穂: 涙とストレス緩和, *日本薬理学雑誌*, Vol. 129, No. 2, pp. 99-103 (2007).
- 18) 瀬島吉裕: 心の動きを表現するための涙目ロボットを用いた落涙提示手法, *日本ロボット学会第39回学術講演会*, pp. RSJ2021AC2B4-04, (2021).