

五感を用いた心に寄り添う“空気感エージェント”の創成

高橋英之^{†1†2} 伴碧^{†1†2} 近江奈帆子^{†3†1} 上田隆太^{†3†1}
香川早苗^{†3} 石原尚^{†1} 中村泰^{†1†2} 吉川雄一郎^{†1†2} 石黒浩^{†1†2}

概要: 心に働きかけることで、人間の暮らしを豊かにするヒューマンエージェントインタラクションの研究が多数行われている。一方で既存の研究は、ユーザーとエージェントとが特定の状況で短時間だけ相互作用することを想定する場面設定が殆どであり、従来のエージェントを長時間使用した際には、かえってユーザーがその存在に飽きてしまったり、“あざとさ”を感じてしまったりするリスクがある。本稿では、五感刺激を組み合わせる空間に提示するシステムとロボットを連動させることで、心に持続的に影響を与える続ける空気感エージェントのデザイン原理とそれに期待される価値についての議論を行う。

キーワード: 空気感エージェント, 多感覚, 空気感ロボット, 身体性認知, 想像力

The emergence of “heart-friendly atmosphere agent” based on multiple sensory modalities

HIDEYUKI TAKAHASHI^{†1†2} MIDORI BAN^{†1†2} NAOKO OMI^{†3†1}
RYUTA UEDA^{†3†1} SANAE KAGAWA^{†3} HISASHI ISHIHARA^{†1}
YUTAKA NAKAMURA^{†1†2} YUICHIRO YOSHIKAWA^{†1†2}
HIROSHI ISHIGURO^{†1†2}

Abstract: There are a lot of researches focusing on virtual agents that enrich human well-being. On the other hand, the most of previous researches mainly assume very short human-agent interaction scenes. Hence these researches have not been seriously considered about risks that users get bored with these agents. If we would like to develop an agent that can contribute to our sustainable fruitful daily live, a new principle for agent design must be required. In this paper, we propose a new design principle for heart-friendly atmosphere agent that can sustain its presence during a long time and moderately influence on our positive mental attitude.

Keywords: atmosphere agent, multiple sensory modalities, interactive robot, embodiment cognition, imagination

1. はじめに

オーストリアの詩人リルケは、二度にわたるロシア旅行の中で土着的に信仰されているロシアの神々の伝承と出会い、下記に述べるようなその在り方に深い感銘を受けた。

「ロシアの神は、とくべつ巨大な主権者として威圧することもなく、またそのことによって、生に恐怖を抱くものの内奥の感情のなかで信じられる神となつたのではない。その神は、すべてを妨げたり、あるいはもっとよいものにしたることはできないのだ。ロシアの神は、いつも私たちの身近にいることだけができるのである。(省略) このように、神のなかに一切保護されていること、すなわち、神のこうした偏在の仕方が、たとえそれがどうであれ、環境を信頼させるようにするのだ。」[1].

リルケが見聞したこのようなロシアの土着の神々の在り方は、直接的な益を人間に与えたり、何らかの課題を直接的に解決したりする性質のものではない。むしろただ寄り添うことで、人間が本来もっている自力で物事を解決

するために力を引き出す存在であると言える。

近年、何らかの擬人的・生命的な自律性を有したエージェントの機能について考えるヒューマンエージェントインタラクションの基礎研究とその社会実装の試みが盛んに行われている。これらの試みは、エージェントが有しているある種の擬人的・生命的な性質が、機械的なヒューマンコンピュータインタラクションでは得られない様々なポジティブな効果をもたらすことを期待して行われている。その一方で、エージェントが我々にもたらす“他の方法では代替不可能な価値”が具体的にどのような性質のものであるか、という点について現状ではまだ十分に科学的証拠に立脚した議論がなされているとは言えない。

本稿では、まずエージェントを社会実装する上で解くべき課題を、“あざとさ”と“状況依存性”という二つの観点から議論する。そしてそれらの課題を踏まえた上で、エージェントがもたらす代替不可能な価値の一つとして前述の

†1 大阪大学 Osaka University.
†2 JST ERATO

†3 ダイキン工業 DAIKIN INDUSTRIES, Ltd
連絡先: 高橋英之 takahashi@irl.sys.es.osaka-u.ac.jp

土着的なロシアの神のような“寄り添い”があるという主張を行う。そしてエージェントによる持続的な寄り添いを実現するために我々が考えている“空気感エージェント”のデザイン原理の詳細、そしてこの空気感エージェントが社会実装された際に創り出すと期待される“感性を共有するエコシステム”の姿について議論を行いたい。

2. 現状のエージェントの課題

これまでのヒューマンエージェントインタラクションの研究の中で本格的な社会実装に繋がりそうなエージェントの機能として、“情報提示”と“心理サポート”が挙げられる。この章では、それぞれの機能を例に、“あざとさ”と“状況依存性”という二つのキーワードに注目して、今後のエージェントデザインの課題についての考察を行う。

あざとさ

エージェントによる情報提示には一定の社会的促進効果があることが既存研究から報告されている。例えば単純にコンピュータ端末でユーザーに何らかの情報を提示するよりも、同じ情報を擬人的なエージェントを通じて提示した方が、ユーザーがその情報から強く影響を受ける（納得する）傾向があり、このようなエージェントの特性を応用することで、ユーザーの行動誘導を行おうという試みも行われている [2-5]。一方で、人間には“心理的リアクタンス”と呼ばれる、自分が外部から誘導されている（“自由”を奪われている）と感じると反発を感じる認知特性があり [6]、エージェントの存在に“あざとさ”を感じるようになると、その情報提示に反発するようになる。“あざとさ”を感じるというのは、その設計者の意図がエージェントの向こう側に透けて見えることであり、作りこまれて設計されたエージェントの場合、長期間使用すればするほど、このような“あざとさ”が強く感じられるようになる。従って、「設計者の意図を如何にユーザーに感じさせないか？」というのは持続的に機能するエージェントのデザインを考える上で非常に重要なポイントである。

状況依存性

情報提示以外でエージェントに期待されているもう一つの重要な機能として、エージェントの擬人的・生命的特性によりユーザーに癒しなどの心理サポートを与える、というものがある。心理サポートとは、エージェント自体が特定の方向にユーザーを誘導するのではなく、ユーザーのネガティブな感情を減衰させたり、何かを行おうとするユーザーの自発的な力をサポートしたりするなど脇役としてユーザーを陰から支える点に主眼がある。例えば、コミュニケーションロボットのかわいらしい外見や動き、柔らかな触感などの要素は孤独感の低減などのポジティブな心理

サポートをユーザーに与えることが実験的に報告されており、これらの要素を備えたエージェントを用いた自閉症療育や老人ホームなどにおける認知症予防などの実証研究の試みも進行している [7,8]。一方で、これらのエージェントが提供する心理サポートが具体的にどのようなものなのか、という詳細な効果についての議論はまだ希薄である。例えば、辛いことがあってとりあえず休みたい時に必要になる“慰めの”心理サポートと、そこから奮起して一歩前に進みたいときに必要な“応援的”心理サポートというものは大きくその性質が異なる。試験勉強を頑張るべき状況なのに、エージェントの提供する“慰めの”心理サポートに過度に依存してしまうことでユーザーの勉学に向かう姿勢が逆に減衰してしまうなど、状況に不適切な心理サポートは負の効果を引き起こすリスクがある。

しかし現状では、エージェントが提供すべき心理サポートの状況依存性について詳細に分類した研究は無い。さらに人間の心理は曖昧性が高く、個人差も大きい為、ユーザーが必要としている心理サポートの性質を常に正確にエージェントが推定して、それを提供するという形は非常に困難であると思われる。

3. 寄り添いエージェントのデザイン原理

では“あざとさ”や“状況依存性”を克服して、より持続的に社会実装が可能なエージェントを創成するためには、どのようなエージェントデザインが必要になるのであろうか？まず持続的なエージェントの機能を考える上で、設計者がユーザーを特定の方向に誘導するようなデザインは相応しくない。なぜならば、このようなユーザー誘導型のエージェントデザインは設計者とユーザーの立場を明確に区別した硬直した構造を前提としており、ユーザーがこの構造に対して意識（懷疑）的になることで、エージェントが機能しなくなるリスクを常に内包しているからである。言い換えると、硬直した社会構造を前提としたエージェントは持続性があるデザインとは言えず、より流動性を許容する柔軟性が高いエージェントの普遍的な原理を考える必要がある。このような観点から、筆者は、あくまでも課題設定や問題解決を行うのはユーザー自身であり、自らで問題を解決しようとする個人の姿勢を陰からサポートする、まさに冒頭で述べた“ロシアの神”のような“寄り添い”存在としての役割が、持続的に機能するエージェントデザインの一つの究極形であると考えている。

では持続的に寄り添い続けるエージェントを創成するためには、現状のエージェントデザインに内包されている“あざとさ”と“状況依存性”の問題とどのように向き合えば良いのであろうか？本稿では、“エージェントのミニマルデザイン”、“身体性認知にもとづく心理サポート”、“ユーザーとエージェントの相互作用的なループの形成”、“集

団でエージェントを共有するエコシステムの構築”という四つのポイントに絞り、筆者が考える“寄り添い”エージェントを設計するための原理を述べたい。

エージェントのミニマルデザイン

ミニマルデザインとは、ある対象の存在をユーザーの心の中に成り立たせる為に必要な最小の感覚刺激を指す。このような最小限の刺激だけを提示することで、ユーザーが対象について自由に想像可能な余白が生まれる。このようなユーザーの想像力を適切に喚起するミニマルデザインをうまくエージェント設計に取り入れることで、設計者の存在をユーザーに感じさせにくくなり、エージェントの“あざとさ”を大幅に軽減できると期待できる [9]。例えば、ITACO on the roomというエージェントは、エージェントが部屋全体に憑依するという演出によって、その実体を消したまま、空間そのものにエージェント性を宿らせようとしている [10]。また石黒らが提案するハグビーという抱き枕型の遠隔コミュニケーションデバイスは、触感と音声というミニマルな感覚モダリティによりユーザーの通話している相手に対するポジティブな想像力を高めることを狙ってデザインがなされている [11]。

一方で、ユーザーがエージェントに対して持続的に高い想像力を働かせ、その存在感を感じ続けることは非常に困難であり、エージェントの最低限の存在感を常にユーザーに感じさせ続けるための演出も同時に必要である。例えば、トップダウンにその存在を示唆するだけで、そこに実際のエージェント由来の感覚入力が存在しなくても、我々の脳はそこにエージェントがいるかのような活動を示すことが報告されている [12]。またリズムや運動随伴性など感覚非依存の物理特性をうまく利用することで、実体が無いエージェントの存在感を高める方法も提案されている [13-15]。これらの演出方法を駆使して、エージェントの存在感を持続的に安定化させる工夫についても考える必要がある。

身体性認知にもとづく心理サポート

ミニマルデザインにもとづくエージェントが我々に働きかける方法として、言語的意味づけを持たない感覚刺激を利用する。我々の認知や感情は、それとは直接的には関係ない刺激の提示によって変容することが知られている。例えば、持っている物の重さで意思決定の質が変化し、周辺視に提示する視覚的フローが我々の行動や感情にも影響を与える、柔らかい触覚を感じさせることで疑心暗鬼が低減する、などの身体感覚と認知や感情の関係に言及した数多くの知見が報告されている [16-18]。感覚刺激が我々の認知や思考に影響を与えるプロセスは身体性認知と呼ばれ、このような感覚が認知や態度に与える潜在的影響をうまく利用することで、ユーザーが取り組んでいる主作業を邪魔しないでバックグラウンドでの心理サポートを提供可能に

なるのではないかと考えている。具体的にはエージェントが様々な感覚刺激の時空間パターンを生成することで、心理サポート的を行うというシステムデザインをとる。

一方でこのような身体性認知に関する心理学的知見の再現性が著しく低いという報告もある [19]。その理由として、本来的には身体性認知を単一の感覚のみに集約することが非常に難しいのにも関わらず、現状では少数サンプルで行った限定された状況における実験室的知見を“言語的説明”により過剰汎化している報告が多いことが挙げられる。このような過剰汎化を避けるためには、様々な多感覚刺激が我々の認知や感情に与える影響について精査した大量のデータを集め、その中から集団で普遍的に共有されている感覚刺激と認知や感情との間の統計的関係を機械学習することで、認知や感情へ効果的に影響を与える刺激パターンの生成モデルを抽出していく必要がある。

ユーザーとエージェントの相互作用的なループの形成

前述のように言語的説明に依らない生成モデルを用いてユーザーの心理サポートを行う場合、どのようにユーザーの状況に適合した生成モデルを適切に選択するのか、という問題が生じる。その一つの方法として、様々なセンサーでユーザーの行動・生理データを収集し、そこから推定されたユーザーの内部状態に対して適切なサポートを自動的に提供するようなシステムがある [20]。しかし、我々の心というものは抽象的であり個人差も大きいので、どのようなサポートが必要な状況なのかを客観的に外部から推定することは非常に困難である。またこのような一方向的サポートは、我々の心理的リアクタンスを強め、システムに対する反発を生じさせる恐れもある。

そこでエージェントの中に様々な特性の感覚刺激パターンの生成モデルを用意しておき、過去に学習したユーザーの個人特性から推定される生成モデルの候補をエージェントが刺激提示により推薦する一方で、ユーザーも必要としているパターンをエージェントに働きかけながら自ら選び取る、といった、ユーザーの自発性を加味した双方向的なループ構造のシステムデザインが必要になる。このようなユーザーとシステムの双方向的関係性は、ユーザーがシステムを機械ではなくエージェントであると認識することで強まる [21-22]。従って、システム全体をエージェント化することは、このようなループ構造を円滑に形成する上でも必須である。さらにこのようなループ構造を形成するためには、“エージェントに触れられる”といった直感的な働きかけが可能なインターフェースの実装も不可欠である。

集団でエージェントを共有するエコシステムの構築

これまで述べてきたような寄り添いエージェントを設計するためには、エージェントの内部に様々な心理サポートを行うための刺激パターンの生成モデルを保持させてお

く必要がある。また、このような生成モデルの個数が有限であると、やがてユーザーはエージェントの振る舞いに“あざとさ”を感じてしまったり、飽きてしまったりする恐れがある。従って、エージェントには逐次、新しい生成モデルを獲得させていく必要がある。近年、人工生命などの分野において、新しいパターンを自己組織的にプログラムに生成させる試みがなされている [23]。一方で、このような“機械に任せる”パターン生成の方法のみでは、既存のものと類似したパターンが生まれやすかったり、人間の感性と大きく乖離した無意味なパターンが生まれやすくなったりなど、意味のある新しい生成モデルを安定的に増やしていくことが難しい。

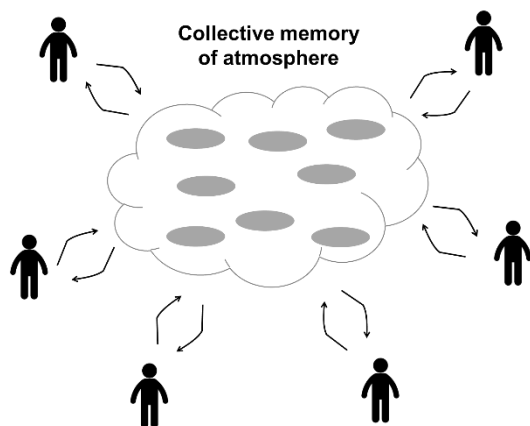


図1. 寄り添いエージェントを共有するエコシステム

そこで、“今はこのような感覚刺激を受け取りたい気分である”ということ、ユーザー自身が自ら刺激パターンを創り出すことで表現していく手段を用意し、ユーザーが作成したパターンをネットワークで共有されたデータベースに貯蓄、新しい生成モデルの獲得に利用していくデザインが必要になる。一方、プロのアーティストではない一般ユーザーに複雑な感覚刺激のパターンを一から作成することを要求するシステムは現実的ではない。そこで全体で共通の刺激パターンのプロトコルを設定した上で、感覚刺激を作成する手段として、非常に緻密にパターンを作成可能な本格的なコンピュータ上におけるビルダーアプリケーションから、それを子供や高齢者でも操作可能なタッチパネル上でのGUIに簡略化したもの、さらに直感的に触ることで無意識的にパターンを生成可能な触感インターフェースまで、幅広い種類を用意することで、ユーザーが創造活動に参入する障壁を極限まで下げる。そして多様なユーザーがネットワークを介して寄り添いエージェントを共有したエコシステムを構築することで、持続的にエージェントの内部に生成モデルを増やしていくことが可能になる。理想的には、ユーザーが自ら創作活動を行っている自覚が無い状態で、ユーザーにより新しいパターンがエコシステムの中で生み出され、それをデータベースに機械的に吸い

上げ貯蔵していくような形が望ましい。このようなエージェントを集団で共有するデザインにおいて、エージェントを通じて見知らぬ他人が作成した新しい感覚刺激のパターンに接することで、ユーザーの中に潜在的にある創造性が活性化されると期待される。このようなセレンディピティ（幸福な偶然）[24]の連鎖が生じ易い開放性が高いエコシステムを構築することができれば、エージェントは持続的に新しい生成モデルを獲得し続けることが可能になる。

以上、寄り添いエージェントの原理として筆者が必要だと考える四つのポイントについて述べた。次章では、これらの原理にもとづいて我々が提案する“空気感エージェント”について述べる。

4. 提案する「空気感エージェント」の概要



図2. 空気感エージェントを実証する場としての全壁面映像プロジェクションが可能な心理実験室(上)と空気感エージェントの存在感を安定化させるために存在する空気感ロボット(下)

“会議が難航して空気が激む”や、逆に“空気が赤ちゃんによって和む”，といったように、しばしば物理的な空気の特徴を超えた形でより主観的に空気の特徴を感じることもある。また森の中の日だまりの中に何か大きなものに抱擁されるような暖かさを感じたり、夜中の墓地で誰もいな

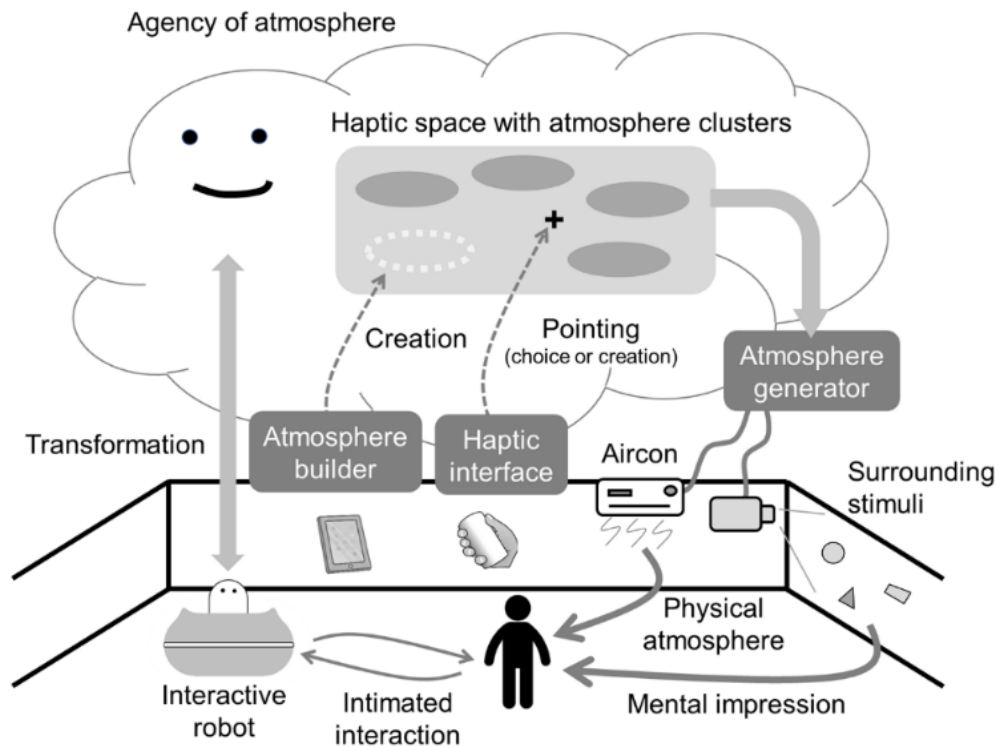


図3. 空気感エージェントの全体像

い暗闇から視線を感じたりといったように、しばしば空気の中に見えないエージェントの気配を感じることもある。このような空気を感じる我々の主観的印象を“空気感”という言葉で定義し、このような空気感自体を前章で述べた原理に従ってエージェント化することを試みる。

具体的には、空調機に加えて様々な種類の感覚刺激を部屋全体に提示することで様々な空気感を生成することが可能な部屋（図2上）とエージェントの存在感を安定化させるための空気感ロボット（図2下）を用いて空気感エージェントの実装を試みる。

図3に空気感エージェントの全体像を示す。空気感エージェントが生成する感覚刺激として空調機による物理的な空気の温度、湿度、風向や風量などに加えて、映像プロジェクタやスピーカー、アロマ発生装置によって部屋全体に提示する視覚や聴覚、嗅覚などの多感覚刺激を想定している。我々の空気の感じ方やそれに対する代謝活動は、直接的に空気とは関係ない視聴覚刺激によって影響を受けることがこれまでの研究で報告されており[25]、空調機に連動する形で多感覚刺激のパターンを生成することにより、従来の空調機では生み出せなかった様々な空気感を表現可能になる。そしてこのような空気感を通じて、部屋の中にいるユーザーに対してバックグラウンドで働きかけ続けることで、様々な種類の心理サポートの提供が実現できると期待

している。またユーザーは単に空気感による心理サポートを受動的に享受するだけではなく、様々なレベルで用意された空気感ビルダーによって自ら望む空気感を感覚刺激のパターンとして作成することも可能である。

本システムにおいて、様々な多感覚な感覚情報で構成される空気感は、触覚表現で記述される低次元空間に写像・保持される。触覚は他の感覚と比較して、その感受性に個人間で個人差が少なく [26]、実際には直接触れない空気感を触覚にもとづいた尺度により疑似的に記述することで、複数のユーザーで空気感を共有しやすくする。そしてこの触覚空間の中で、ユーザーによって作成され蓄積された様々な刺激パターンの機械学習によるクラスタリングを行い、それに基づいて空気感を生起する為の感覚刺激の生成モデルをエージェント内に獲得させる。

本システムでは、空気感エージェントが過去の来歴に応じて統計的に空気感を生み出す感覚パターンの生成モデルを選択するだけではなく、様々な触覚を伴ったセンサーを複合的に組み合わせて作成した触覚インターフェースを“触る”ことでユーザーが様々な生成モデルが保持されている触覚空間の中から望む空気感を自発的に選んでいくという双方向的なループ構造をユーザーとエージェントの間に構築する。このようなループ構造を形成することで、たとえエージェントがユーザーの望む心理サポートを一意に

推定できなくても、ユーザーが求める空気感にたどり着きやすくなる。

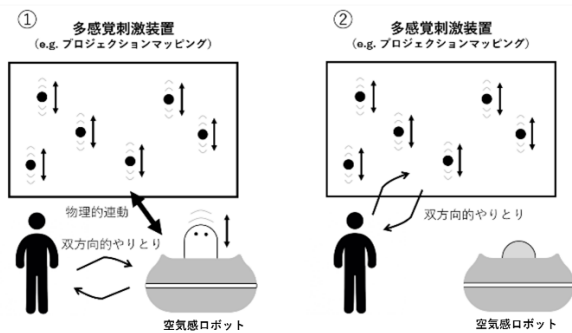


図4. ロボットによる空気のエージェント化

ユーザーと空気感エージェントの間の双方向的なループ構造を安定的に確立するためには、場に空気感をもたらしている原因がエージェントである、とユーザーが認識する必要がある。このような認識をトップダウンで強化するために空気感ロボットを用意する。基本的に空気感エージェントは“あざとさ”をユーザーに感じさせないために、バックグラウンドで感覚刺激のパターンを提示し続けるのみであるが、このようなパターンと連動して実体がある空気感ロボットを適宜動作させることで、空気感を生み出しているのはエージェントである、というユーザーの認識を持続させ続ける (図4左)。ただユーザーと空気感エージェントの間に双方向的なループ構造が十分に確立されている場合は、実体のあるロボットは“あざとさ”を感じさせる要因になるため、活動を停止させる (図4右)。

以上、我々が提案する空気感エージェントの概要について述べた。このシステム全体のプロトタイプはすでに完成しており、空気感エージェントがどのように人間の認知や感情に作用するのかについての予備データについても収集を始めている [27]。

5. 議論

本稿では、人間の暮らしに持続的に寄与可能なエージェントデザインの難しさについての議論を展開した上で、我々が提案している人間の心に持続的に寄り添う空気感エージェントのデザイン原理の概要について紹介をした。

古から現代に至るまで世界中に多数みられてきた自然信仰の宗教観において、我々は実体が無い自然現象をまるで種のエージェント (神) であるかのように扱ってきた。冒頭で述べた土着的なロシアの神も人間の脳が創り出した寄り添いエージェントの一種であるとも言えるのかもしれない。このような自然信仰が世界中に存在する理由として、人間の脳に森羅万象をエージェントが原因であるかのように錯覚する傾向があり、それを心理的な安定性の維持

に用いるという生来のメカニズムが備わっているからであると考えられる [28]。従ってこのような人間の脳の特徴をうまく利用するエンジニアリングを突き進めることで、人間が“あざとい”と感じない、持続的に様々な心理サポートを提供し続ける脇役エージェントを創り出すことができる。本稿で提案する空気感エージェントは、そのような理念を空調機と連動させて具現化させた一つの例であると言える。

我々の提唱する“寄り添いエージェント”は「エージェントがユーザーの横に実際に常に存在する」といった物質的近接性で規定されるものではなく、むしろ“個々人がもっている身体的記憶や自伝的記憶の中にエージェントを位置づけること”，という定義が正しい。このような“寄り添い”は人間とエージェントの間でのみ成立する関係ではなく、人間同士でも (もしかしたら人間とそれ以外の動物の間にも) 成立する関係である。ただしこのような物質的近接性を超越した“寄り添い”を人間同士で実現する上で、人間関係の中でしばしば生まれる“他者への依存”を克服することが不可欠である。空気感エージェントが提供する“寄り添い”はあくまでもテクノロジーが創り出す錯覚であるが、それを基盤として個人が“他者に依らない自分の価値”を確立していくことで、様々な異なる価値観をもった存在が互いに“寄り添い”合いながら暮らしていくことが可能な場を生み出せるかもしれない。

また様々なユーザーで共有された空気感エージェントが社会実装されることで、個々人の心理サポートを超えた化学反応的現象が社会に生じるのではないかと期待している。現在、顕在的な情報を共有するインターネットのようなプラットフォームは既に存在するが、空気感エージェントを媒体にして言語化しきれていない感覚刺激のパターンへの感受性を集団内で潜在的に共有することで、社会に暗黙的に制約をかけている言語的なフレームの外で個人同士が刺激し合い、社会全体の新陳代謝を高める作用を生み出すような、新しい感性を媒介とした創発的エコシステムが構築できるかもしれない。このような作用を引き起こすレベルまで提案システムを大規模に社会実装するためには、大仰な舞台装置を必要とする現行システムでは限界があるため、提案システムで得られた知見を要素に分解し、空調機などに現実的に実装可能なレベルまでブレイクダウンをしていく必要がある。

謝辞

本研究は、ダイキン工業と大阪大学の包括連携契約にもとづく共同研究費の支援を受けて実施した。研究の実施にあたって様々なアドバイスを頂いたダイキン工業の佐藤敦行氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] ルー・ザロメ著作集〈4〉(1973) ライナー・マリア・リルケ. 以文社.
- [2] Fogg, B. J. (2002). Persuasive technology: using computers to change what we think and do. *Ubiquity*, 2002(December), 5.
- [3] Osawa, H., Mukai, J., & Imai, M. (2007). Anthropomorphization Framework for Human-Object Communication. *JACIII*, 11(8), 1007-1014.
- [4] 大澤博隆. (2008). 直接擬人化手法を用いた機器からの情報提示の評価. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 10(3), 11-20.
- [5] Pak, R., Fink, N., Price, M., Bass, B., & Sturre, L. (2012). Decision support aids with anthropomorphic characteristics influence trust and performance in younger and older adults. *Ergonomics*, 55(9), 1059-1072.
- [6] Brehm, S. S., & Brehm, J. W. (2013). *Psychological reactance: A theory of freedom and control*. Academic Press.
- [7] Kozima, H., Nakagawa, C., & Yasuda, Y. (2007). Children-robot interaction: a pilot study in autism therapy. *Progress in Brain Research*, 164, 385-400.
- [8] 柴田崇徳. (2006). ロボットビジネスへの取り組み メンタルコミットロボット・パロとロボット・セラピーの展開. *日本ロボット学会誌*, 24(3), 319-322.
- [9] 高橋英之, & 岡田浩之. (2010). コミュニケーションにおける曖昧さとその機能. *知能と情報*, 22(4), 450-463.
- [10] 板垣祐作, 小川浩平, & 小野哲雄. (2008). ITACO on the Room: アンビエントな情報提供を行う生物感のあるエージェントの提案. *HAI シンポジウム*, 2008.
- [11] Kuwamura, K., Sakai, K., Minato, T., Nishio, S., & Ishiguro, H. (2013, August). Hugvie: A medium that fosters love. In *RO-MAN*, 2013 IEEE (pp. 70-75). IEEE.
- [12] Takahashi, H., Terada, K., Morita, T., Suzuki, S., Haji, T., Kozima, H., ... & Naito, E. (2014). Different impressions of other agents obtained through social interaction uniquely modulate dorsal and ventral pathway activities in the social human brain. *cortex*, 58, 289-300.
- [13] 高橋英之, 伴碧, 佐武宏香, 遠藤信綱, 守田知代, 浅田稔, & 下條信輔. (2015). 電気企鵝に宿るエージェンシーの幻想-ぬいぐるみロボットのリズムパラメータが相互作用時の印象形成に与える影響. *エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集*, 2015, 395-399.
- [14] Sabu, H., Morita, T., Takahashi, H., Naito, E., & Asada, M. (2018). Being a leader in a rhythmic interaction activates reward-related brain regions. *Neuroscience research*.
- [15] Blanke, O., Pozeg, P., Hara, M., Heydrich, L., Serino, A., Yamamoto, A., ... & Arzy, S. (2014). Neurological and robot-controlled induction of an apparition. *Current Biology*, 24(22), 2681-2686.
- [16] Ackerman, J. M., Nocera, C. C., & Bargh, J. A. (2010). Incidental haptic sensations influence social judgments and decisions. *Science*, 328(5986), 1712-1715.
- [17] Seno, T., Kawabe, T., Ito, H., & Sunaga, S. (2013). Vection modulates emotional valence of autobiographical episodic memories. *Cognition*, 126(1), 115-120.
- [18] Takahashi, H., Ban, M., Osawa, H., Nakanishi, J., Sumioka, H., & Ishiguro, H. (2017). Huggable Communication Medium Maintains Level of Trust during Conversation Game. *Frontiers in psychology*, 8, 1862.
- [19] Open Science Collaboration. (2015). Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349(6251), aac4716.
- [20] Bone, D., Lee, C. C., Chaspari, T., Gibson, J., & Narayanan, S. (2017). Signal processing and machine learning for mental health research and clinical applications [Perspectives]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 34(5), 196-195.
- [21] 高橋英之, & 石川悟. (2007). 对人的意識がアンサンブル演奏に与える影響の検討. *日本認知科学会第 24 回大会発表論文集*, pp212-213.
- [22] Takahashi, H., Izuma, K., Matsumoto, M., Matsumoto, K., & Omori, T. (2015). The anterior insula tracks behavioral entropy during an interpersonal competitive game. *PLoS one*, 10(6), e0123329.
- [23] Doi, I., Ikegami, T., Masumori, A., Kojima, H., Ogawa, K., & Ishiguro, H. (2017, September). A new design principle for an autonomous robot. In *Artificial Life Conference Proceedings 14* (pp. 490-466). One Rogers Street, Cambridge, MA 02142-1209 USA journals-info@ mit. edu: MIT Press.
- [24] Roberts, R. M. (1989). Serendipity: Accidental discoveries in science. *Serendipity: Accidental Discoveries in Science*, by Royston M. Roberts, pp. 288. ISBN 0-471-60203-5. Wiley-VCH, June 1989., 288.
- [25] 有光哲彦, 岡崎啓吾, & 戸井武司. (2015). 音環境及び色環境の複合刺激が体感温度に及ぼす影響の評価. *日本音響学会誌*, 71(6), 267-275.
- [26] 小松孝徳. (2015). 特集 「オノマトペの利活用」 にあたって. *人工知能*, 30(1), 134.
- [27] 伴碧, 高橋英之, 近江奈帆子, 上田隆太, 香川早苗, 石原尚, 中村泰, 吉川雄一郎, & 石黒浩. (2019). 五感を用いた心に寄り添う“空気感エージェント”の予備的評価. *情報処理学会研究報告 (第 181 回 HCI 研究会)*
- [28] 村本治. (2004). *神の神経学—脳に宗教の起源を求めて*. 新生出版.