



ムーンショット型研究開発事業
新たな目標検討のためのビジョン策定

「伝統知にもとづく理想的な心理状態の定義化と計測
法、誘導法、社会実装法の具体化に関する調査研究」
調査研究報告書

令和3年7月

目標検討チーム

「Psyche Navigation System による安寧・活力共存社会実現チーム」

チームリーダー：熊谷 誠慈（京都大学 こころの未来研究センター 准教授）

サブリーダー：三浦 典之（大阪大学 大学院情報科学研究科 教授）

チームメンバー：粟野 皓光（京都大学 大学院情報科学研究科 准教授）

チームメンバー：上田 祥行（京都大学 こころの未来研究センター 特定講師）

目次

I. MS 目標案のコンセプト	1
I.1. MS 目標案	1
I.1.1. MS 目標案の名称	1
I.1.2. 実現したい 2050 年の社会像	1
I.2. Targets（当該 MS 目標の達成シーン。2050 年（及び 2030 年）に何が実現しているか）	1
I.3. 当該 MS 目標を設定した理由及び、目標達成の社会的意義等	6
I.3.1. 当該 MS 目標の設定や目標達成に向けた取組みが、今必要である理由	6
I.3.2. 目標達成の社会的意義	7
I.3.3. 当該 MS 目標の達成に向けた社会全体の取組み概要	8
I.4. 当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化	9
II. 統計・俯瞰的分析	11
II.1. 当該 MS 目標を達成するための課題（科学技術的・社会的課題）や必要な取組	11
II.1.1. 科学技術的課題	11
II.1.2. 社会的課題	16
II.1.2.1. 幸福度を判断する際に重要視される要素	16
II.1.2.2. こころのサポートがもたらす経済的効果	18
II.1.2.3. PNS の世間的評価	19
II.1.2.4. PNS の注目度	25
II.2. 当該 MS 目標を達成するために取り組むべき研究開発の俯瞰	28
II.3. 当該目標に関連する研究開発の動向（全体）、海外動向及び日本の強み	33
III. 社会像実現に向けたシナリオ	35
III.1. 挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題	35
III.1.1. 挑戦的研究開発を推進すべき分野・領域	35
III.1.2. 目標達成に当たっての研究課題	36
III.2. 2030 年・2040 年・2050 年のそれぞれにおける、達成すべき目標（マイルストーン）、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果	38
III.2.1. 2030 年、2040 年、2050 年のそれぞれにおいて達成すべき且つ達成が見込める具体的な目標（マイルストーン）	38
III.2.2. マイルストーンの達成に向けて取り組むべき具体的な研究開発テーマ	40
III.2.3. マイルストーンの達成が社会にもたらす効果	47

III.3. 目標達成に向けた国際連携の在り方	48
III.4. 目標達成に向けた分野・セクターを越えた連携の在り方	49
III.5. ELSI (Ethical, Legal, Social Issues) (目標達成に向けて取り組む上での倫理・法的・社会的課題及びその解決策)	49
IV. 結論	51
V. 参考文献	53

I. 提案する MS 目標案のコンセプト

I.1. MS 目標案

I.1.1. MS 目標案の名称

「2050 年までに、伝統とテクノロジーの融合により安寧と活力が共存する社会の実現」

I.1.2. 実現したい 2050 年の社会像

Society5.0 の目指す CPS にマインド空間が融合された CPMS (Cyber-Physical-Mental System) が実現され、物質的な豊かさに加えて、こころの安寧と活力の共存する社会が実現する。環境に応じて服を着替えるように、個人の状況に応じてこころも変えられる社会が実現する。

CPMS のコア技術として PNS (Psyche Navigation System) が社会実装され、こころをサポートすることで、①人々が安心と活力を得てイノベーションが増大し、②社会損失が回復し（こころの病による休職者の職場復帰や犯罪抑制等による経済効果）、③新しい産業の創出（差別の解決と多様性の実現による新産業の創出）が実現する。

こころを理解するコンピューティング基盤が伝統知や認知科学、センサ技術などを統合した PNS 技術は、個人の感情を安寧と活力ある状態に導く。また、人々が集団でインタラクションする場面でも、安寧と活力が共存する状態を維持するために貢献する。さらに、マイクロセンサなどを活用することで、脳や細胞など体内環境を利用した感情ナビゲーション技術を開発する。これらの技術の実現により、他者への不当な攻撃の抑制、不当な攻撃を受け流すレジリエンシーの醸成、うつ状態や緊張からの解放による社会・経済・文化の活性化の土壌が形成される。

PNS 技術と感情ビッグデータを活用した PNS 産業が拡大し、スタートアップからユニコーン企業まで大小の企業体が創出される。さらに PNS 産業の拡大を進め、社会の様々な局面に PNS を関与させることによって、コミュニティの多様性と寛容性を高め、利他的な安寧・活力社会への移行を促す。産業も、敵対的な利益追求から融和的な利益追求にシフトし、健全な経済活動が実現する。

安寧と活力が共存する社会では、誰もが個性を発揮し、産業・技術・文化・知性イノベーションを起こせるようになる。加えて、宇宙空間やパンデミックなどの極限状態でもこころの安定化が可能となる。互いの歴史や文化を大切にする社会、和を重んじる連帯感ある社会が形成される。

I.2. Targets (当該 MS 目標の達成シーン。2050 年 (及び 2030 年) に何が実現しているか)

【2050 年に人々はどのようなことを実現できているか？】

PNS によって、シチュエーションに合わせて服を着替えるかのように、場面に最適な状態にこころが動くようにサポートし、安寧と活力をもたらすことができるようになる (図

1)。

個人レベルでは、PNS 技術による感情のサポートを通じて、過度に続いてしまう不安や攻撃性を和らげることで、心的安定が実現し、これにともなって寛容性と利他性が高まる。過度に続く不安が減ることで人生に生きがいを感じ、他者との共感を大切にし、様々なことに活発にチャレンジできるメンタリティを獲得できるようになる。

集団・社会レベルでは、家族や学校、職場、趣味のサークルなど、様々なコミュニティの構成員が互いに寛容になり、コミュニティ内での攻撃や差別（いじめや DV、虐待）が減少する。このことは、犯罪や貧困の精神的原因の解消に繋がり、うつ病をはじめとするこころの病などで失われたマンパワーを回復させ、経済損失をも解消する。また、寛容性と利他性を持つことで、ジェンダーや人種などの差別を解決し、社会多様性が実現することで、社会全体の生産力が高まり、GDP が大幅に増大する。

感情ビッグデータを核とする PNS 産業がグローバルに拡大し、PNS によって多様性と寛容性が高まることで、産業構造が自利的な奪い合いから利他的な高め合いの利潤追求型に移行する。さらに、伝統知を利用することで、これまでにない産業・技術イノベーションが爆発的に起こる。

教育においては、有名講師や偉人のポットと対話することで、これまでにない新たな考えを生み出す土壌を育成するような高度な教育を実現する。また、芸術やスポーツにおいても、一流のコーチやアーティスト、アナリスト等のポットからコーチングを受けることで、技術やメンタルコントロールの質を上げ、より良い活動や訓練が可能となる。また、教室やホールで、生徒や観客の感情生体データをリアルタイムに収集することで、生徒や観客にとって最適な手法が提案され、授業やパフォーマンスの最適化が可能となる。

宇宙空間や低温／高温状況下での作業・医療従事場面など、心身の緊張感が生じる極限状態においても、感情をサポートし、前向きかつ協力的な姿勢を維持することが可能となる。心的極限状態においても苦痛のピークを緩和させることで、突発的な自殺やうつ病を防ぐ。

今日の社会において弱い立場に置かれている人々が、PNS を用いて安寧と活力をとり戻し、未来に希望を持って、困難克服のためのモチベーションを高め、自ら行動を起こせるようになる。



【図 1】 Psyche Navigation System のイメージ図

【2050 年までにどのような技術が完成しているか？】

PNS システムでは、現実空間における人間のこころ、伝統的知性、社会環境などの情報をデジタル・トランスフォーメーション (DX) し、「こころを理解するコンピューティング基盤」を通じて仮想空間上でシミュレーションし、社会に実装した様々なアクチュエータを用いて、最適解を現実空間にフィードバックする。それによって、個人や集団のこころを理想的な状態へと導く (図 2)。以下、4つの領域から技術開発を進める。

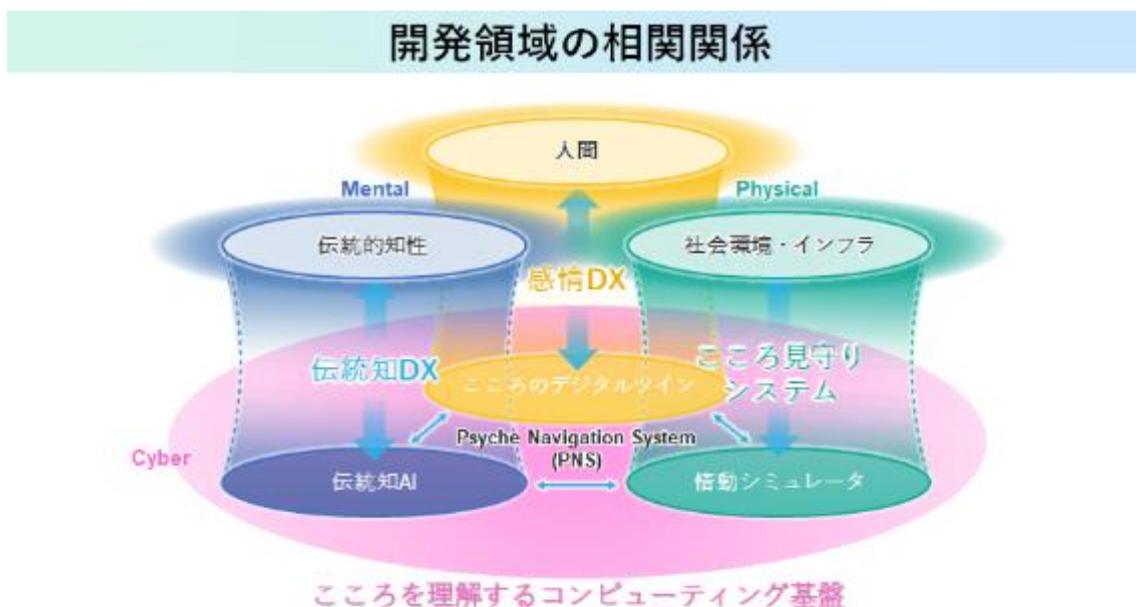
①宗教書や哲学書などに蓄積されてきた膨大な伝統的知性をデジタル・トランスフォーメーションする (伝統知 DX)。さらに、自動的に体系化する機械学習技術を確認し、あらゆる人・産業がこの叡智にアクセスし、恩恵を受けることができるようになる (伝統知 AI)。また、機械学習技術によって体系化された伝統的知性に基づいて、デジタル上で仮想経典や仮想哲学を創出する。これをもとに人類にとっての新時代の思想、哲学、道徳、社会倫理を創出する。さらに、それらの情報を、世界の文化に合わせて文化翻訳することで、あらゆる文化圏の人々に誤解なく伝達できるようになる。

②書物や会話データのDXを通じて構築された感情空間と、計測された生体データおよび環境空間情報を対応付けることで、個人の心理状態を算出する技術 (感情 DX) が完成する。個々の集まりに加えて、集団内のインタラクションを踏まえることで集合的状态を理解し、集団の幸福感を計測する手法が完成する。これを世界の文化的差異に適応させる

ことで汎用感情表現モデルとし、国や文化を問わず安寧・活力社会へと導くアイデアを提案する AI 技術が完成する。

③体表および体内に挿入して直接的に人の心理状態を正確に把握できる極小なセンサを開発する。具体的には、体表に装着して 24 時間リアルタイムに計測可能な不察知心理計測センサや、体内に挿入可能なサイズのナノセンサやナノアクチュエータ技術が完成する。これらを選択的に利用することで、理想状態からの乖離を埋める刺激を個人の五感にフィードバックし、こころを理想状態へとナビゲートする技術を提供する。さらに、心理計測センサを都市空間へと展開し、集合的感情を計測し、集団の幸福感を向上させるナビゲーション技術（こころ見守りシステム）を構築する。

④外的刺激および内的刺激による個人感情遷移モデル（こころのデジタルツイン）から、こころを理想状態へと導く外的刺激および内的刺激の効果をサイバー空間で予測するシミュレーション基盤の構築が完了する（情動シミュレータ）。こころのデジタルツインと情動シミュレータの両方を用いることで以下のことが可能となる。（1）反応シミュレーション：こころのデジタルツインを用いて、未知の刺激に対するこころの反応をシミュレーションすることが可能となる。（2）刺激合成：伝統知 DX が見出す個人が望むこころの状態を得るために必要な刺激をデジタル空間で仮想的に合成できるようになる。（3）仮想空間でこころの状態が似通った人が検索可能になり、自分と似たところにある人を探せるようになることで孤独を解消することが可能となる。（4）複数人の感情の相互作用をモデリングし、集団の状態をよりよくするためのアクチュエータの効果を予測し、さらに集団感情のモデリング技術を完成させる。



【図 2】本プロジェクトの開発領域の相関関係

【2050 年に目標を達成するために 2030 年までに何を實現するべきか？】

2030年の段階では、伝統知DX、個人感情DX、情動シミュレータ、超小型粉末センサ、五感刺激アクチュエータなどの基盤技術が完成し、個人レベルでPNSを試用できるようになる。PNSを用いることで、一定の個人感情の安寧と活力を獲得し、各自が、求められる場所で、本来持ち合わせているパフォーマンスを高いレベルで発揮できるようになる。

例えば、ブッダやソクラテスなどの「偉人ボット」と直接対話し、人生の指針の参考にすることで、安寧と活力について考えることができるようになる。ビジネスパーソンたちは、松下幸之助やドラッカーなどの「経営者ボット」と直接対話し、ビジネスの指針の参考にする。サイバー空間上で誕生した仮想経典や仮想哲学書を参照することで、未来社会のための新アイデアのヒントが次々に生まれる。

体表に装着した小型感情計測センサを通じて、24時間個人の心身のコンディションをチェックし、必要に応じて、運転中の車内や休憩中の室内などの個的空間において、視覚・聴覚・嗅覚・体性感覚を刺激するアクチュエータ（プロジェクション／音楽／匂い／空調）が作動し、特定の空間内で、自動的に心をリラックスさせたり、活性化できるようになる。

他害行為を行いそうな状態になった場合（煽り運転・DV・SNSでの攻撃）、アラートで知らせて気づかせたり、心理アクチュエータが作動してところを落ち着かせ、他害行為を発生させないよう予防する。

授業中の生徒たちの心理状態をリアルタイムで計測し、生徒たちを理想的な心理状態に導く改善案が教師側に常時届くことにより、授業の効率や生産性が大幅に向上する。同様の技術を、コーチとスポーツ選手、演奏者と観客などのインタラクションに応用することで、スポーツや芸術のパフォーマンスを向上させることも可能となる。

【2050年からバックキャストし、2030年までにどのような技術が完成させるか？】

2030年までには、DXした伝統知と定量化した感情表現空間をデジタル空間上で統合し、人工知能で理想の心理状態になるためのサポート手法をシミュレーションし、五感刺激アクチュエータを用いて「個人」の感情を安寧と活力のある状態へとナビゲートするPNS技術が完成する。

特に、2027年（MS開始5年後）までには、小規模な会議室を使用し、画像・音声・嗅覚刺激を用いて、短時間（数分から1時間程度）の感情制御を行うシステム（PNS Lv0.1）を開発し、PNSの短時間的有効性を実証する。2028年～2030年の3年間で、ビジネスホテルや短期滞在宿舎などを用いて、短期（1日から数日程度）の感情制御を行うシステム（PNS Lv1）を開発し、PNSの短期的有効性を実証する。以下、4つの領域から技術開発を進める。

①伝統知DX：多数の宗教書と哲学書、倫理学書をDXし、人工知能と市民との対話を通じて、個人のこころの在り方を自律探索し、自律提示するコンピュータ技術が完成する。書物の機械学習によって生成された伝統知の意味ベクトル空間を通じて、個人の理想心理状態を定義した仮想経典や仮想哲学が創出される。伝統知DXの高速化のため以下の技術ブレークスルーを引き起こす。まず、伝統知文献の電子テキスト化を進めるにあたって、

現代の OCR (Optical Character Reader) 技術が不得意とする非鮮明かつ部分的に欠落のある様な文字を解析できるよう、OCR 技術の精度を高めるとともに、長い伝承過程で部分的に欠損した文章を補完する古文書解析 AI を開発し、古文書画像の自動電子化技術を進歩させる。加えて、文法情報を機械学習させることにより、批判的校訂作業を自動化させる技術も確立する。さらに、電子テキストから Q&A を自動作成する人工知能アルゴリズムを確立する。

②感情 DX：書物や新聞・メディアのデータベース、SNS の記述を用いて、各感情が生じたときに共起する状況やコンテキストを取得し、この共起頻度をベースとして感情間の似かより具合を多次元空間上に表現する (多次元感情表現空間)。さらに各感情が生起しているときに、計測された身体の生理状態や、そのときの環境情報を、同様に多次元空間上に表現する (多次元身体・環境空間)。この 2 つの空間の関係性を表現することで、どのような環境にいて、どのような生理状態をしているときに、どのようなこころの状態にあるのかを推定し、表現する技術を完成させる。

③こころ見守りシステム：生活環境の中で、人々のこころの状態を見守り、こころが理想的な状態になることをサポートするこころ見守りシステムが完成される。外乱なく自然な心の状態を常時見守るために、人に察知されないほどに極小の粉末センサを開発し、それを用いたセンシング (不察知心理センシング) により、体表で測れる生体情報から人の心理状態を推定する。現在のこころの状態と、伝統知 DX から導かれた理想状態との乖離を埋める刺激を、人の五感へフィードバックするアクチュエータを環境に埋め込むことで、こころを理想的な状態にあるべく常時サポートする社会インフラが整備される。

④こころを理解するコンピューティング基盤：デジタル空間へところ (こころのデジタルツイン) を転写し、感情の動向を予測するシミュレータが完成する。また、こころがデジタル空間へと写像されることで、個人間のこころの距離・差異や集団間のこころの距離・差異を定量的に評価できるようになる。これにより、言語化できないこころの機微のデジタル化が実現され、こころの距離に基づいた新しいサイバーコミュニティ等が実現されうる。また、自身の望むこころの在り方をデジタル空間で設計し、利用可能な状態で保存しておくことで、個々人の状況と理想に合わせて適切な心理状態を自身に転写出来るようになる。

I.3.当該 MS 目標を設定した理由及び、目標達成の社会的意義等

I.3.1. 当該 MS 目標の設定や目標達成に向けた取組みが、今必要である理由

近年、科学技術や情報技術が高度に発展する一方、自殺やうつ病、児童虐待、DV など、負の感情 (こころ) に起因する社会問題はますます深刻化している。特に情報化が進んだ現在、SNS 上でも多くのトラブルが発生し、若者たちの自殺を招くケースも起こっており、課題解決が急務とされている。

現在、わが国の科学技術政策は「サイバー空間」と「フィジカル空間」の融合 (CPS: Cyber-Physical System) により、様々な社会課題を解決しようとする画期的な

ものであり、物質的な豊かさや一部の社会課題解決には大きく貢献するものと思われる。しかし、「こころ」の問題が扱われていないため、CPS の技術革新をもってしても、必ずしも人々を幸せに導くことにはならない。

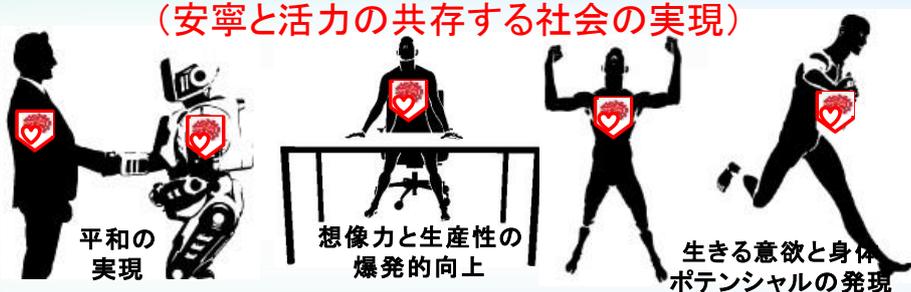
そこで、「サイバー空間」と「フィジカル空間」に、「マインド空間」を統合した「CPMS」(Cyber-Physical-Mental System)の構築を進め、こころある社会を実現していく必要がある。これは現在の「Society 5.0」をさらに一步押し進めた取り組みといえる(Beyond Society 5.0)。その具体的な技術である PNS (Psyche Navigation System)を通じて、個人、集団、社会の安寧と活力を実現させることは、現在の社会的要請に合致した取り組みといえる(図3)。

また、これまで人文科学や伝統知は、テクノロジーや DX が進出し難い領域だと考えられていた。しかし、伝統知こそが、社会と人々のこころの安寧と活力に大きな利益をもたらす可能性を持つ点に着目し、DX 化された伝統知とテクノロジーの融合を通じた「総合知」の創出、それにもとづく個人と社会の安定と活力の向上に向けた未来テクノロジー実装社会を構築し、テクノロジーや DX に新たな領域を提供する点で、技術や産業、社会の未来を拓く取り組みといえる。

科学技術の進歩だけでは真に幸せにはなれない



「Psyche Navigation System」によるこころのサポート (安寧と活力の共存する社会の実現)



「Society 5.0」から「Beyond Society 5.0」へ

【図3】 PNS を通じて「Society 5.0」から「Beyond Society5.0」へ

I.3.2. 目標達成の社会的意義

上述の通り、本報告書で提案する技術が開発され社会に実装できれば、2050年には、個人がこころの安定を得て他者に寛容になり、社会が安寧と活力を獲得し、産業も自利から利他へとシフトする。

自己本位のこころを緩和させることで他者に寛容になり、多様性を認めるようになることで、人種差別、性差別、社会的差別などの意識も改善が予想される。それにより、フィジカル空間とサイバー空間の両空間における諍いや犯罪の中で、こころの問題が関わっているものについて、減少が期待される。こころをサポートする PNS の開発により、人的・精神的被害を抑制できるのみならず、多額の経済損失を抑制し、他の生産活動を増大させることも可能となる。

こころの問題を抱える人々の職場復帰を加速させることで、少子化時代の労働力問題も改善し、生産性の向上が期待される。産業も、敵対的な利益追求型から融和的で利他的な利益追求型にシフトする。このように、PNS の構築は、健全で活力ある社会・産業を実現させていく点で大きな意義を持つ。

PNS は、極限状態にある人々の心を安定化させ、文化や知性にも大きな活力を与えるため、人々のセーフティネットとウェルビーイングに寄与する点で意義をもつ。例えば、宇宙空間などの極限空間やパンデミックなどの極限状態でも心を安定化できるようになる。さらに、子どもたちは主体的に学び、若者が失敗を恐れず挑戦し、だれもが個性を発揮し、産業・技術・文化・知性イノベーションを起こすことが可能となる。伝統を重んじ、歴史や文化を大切にする社会、和を重んじる連帯感あるコミュニティが形成される。

加えて、PNS は学術の社会還元性を高める点でも意義は大きい。近年、様々な社会課題に対して人文社会科学側から有効な助言ができていないために「人文科学不要論」が勃発している。本プロジェクトでは、伝統知をサイエンスと融合し、伝統知 DXを進めることで、古代の叡智をリサイクルし、未来社会のウェルビーイングに有効活用する。世間からも不要というレッテルを貼られつつある人文科学を自然科学と融合することで、大きな学術イノベーションを引き起こし、「不要なモノ（人文科学）を役立てる」という逆転の発想で社会に役立てる。

I.3.3. 当該 MS 目標の達成に向けた社会全体の取り組み概要

当該 MS 目標の達成に向けた社会全体の取り組みを、以下の5つの観点から概説する。

- ・学術界：現在、個人感情のナビゲーション技術を完成させるべく、宗教学、認知科学、情報工学、人工知能、法学・倫理学、社会学、人類学などの研究者と共同研究を進めている。加えて、五感刺激アクチュエータの開発には、メーカー企業の実験者の参画を促し、実装実験のためのインフラも提供してもらおう。さらに、PNS を社会に実装するために、建築・社会インフラなどのハードウェア研究する建築学者や都市工学者、教育場面に実装するために教育学研究者、将来的なうつ病発症を予防するために医学研究者などとも協力し、よりインパクトのあ

る新たな文理融合研究のムーブメントを作り、独創的な最先端技術を多数生み出す。

- ・政界・行政：第6期科学技術・イノベーション基本計画に基づいて、さらにこれを効果的に推し進めるために、文部科学省の学術企画室・人文社会科学振興室とも協働しながら、PNS を主軸とした「人文科学主導」の文理融合研究により、伝統とサイエンスを融合し、「総合知」の創出を進める。さらに、PNS の社会実装に向けた議論を進め、政策化を進める。
- ・産業界：PNS をプラットフォームとし、感情ビッグデータを用いた新たな産業シーズを創出し、「和」を基調とした日本発のスタートアップを創業し、ユニコーン企業に育て上げる。さらに PNS 産業を世界的に拡大していくことで、発展の方向性が精神面にも波及し、持続可能な社会として、企業、労働者、消費者が互いに思いやり、全員が満足する商取引ができるような産業構造へとシフトさせる。
- ・文化：一部の伝統文化や宗教は、現代的視野を失って形骸化し、現代人のニーズに応えられない状態になり衰退を続けている。そうした状況を打開するため、伝統文化や宗教の担い手と協力しながら、PNS の活用により伝統文化・宗教を通じた幸福の実感を高め、新たなフォロワーを増やし、社会をさらに文化的に成熟させていく。
- ・リスク検討（倫理・法律・医学）：倫理・法律・医学的観点から、常にPNSの開発・社会実装の方針をチェックする。医学・生物学の専門家と協働し、PNS 技術が人の心身にもたらす影響を医学的に検証し、安全なテクノロジーに育てる。また、倫理学者や法学者と協働し、個人生体情報の収集、感情変容アクチュエート、PNS の社会実装などに関する倫理的議論、さらに、法的妥当性（場合により法改正）についての議論と検証を継続する。

I.4. 当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化

当該 MS 目標が達成された場合、技術・産業・文化・知性イノベーションが起これ、以下のような社会・産業構造の変化が期待される。

PNS を個人が使用することで、個人の寛容性が高まり、社会に対する攻撃性が減少する。具体的には、犯罪の数が減り、差別も徐々に解消されていき、心的ストレスから解放されることでうつ状態も改善し、安全・安心な社会が構築できる。

PNS を産業実装し、オープン・イノベーション・プラットフォームとすることで、伝統を応用した新たな産業が多数創出される。特に、感情ビッグデータを活用したところに寄り添うビジネス・産業が生まれる。その中から「和」を基調とする日本発の「ユニコーン複合企業体」が誕生する。PNS が多様性と寛容性を高めることで、「自利的」な奪い合いから、「利他的」な高め合いへと産業構造がシフトし、より健全で安心なビジネスが可能となる。

利他的かつ寛容的なコミュニケーションを通じて、国籍やジェンダーを超えて多様性が

確保され、多様なリーダーが生まれ、社会・産業がより加速的に発展する。組織内でのモチベーションが高まることで、円滑で健全な運営が可能となる。

PNS の教育実装により、押しつけ型・画一型の教育から、高度で独創性の高い教育へとシフトし、独創性と自己肯定感の高い若者たちが増える。伝統とテクノロジーの融合による、新時代の新たな文化や芸術が多数創出される。

今日の社会において弱い立場に置かれ、やりがいが見つからず自己実現できない人々も、PNS を使用することで安寧と活力を取り戻し、飛躍のモチベーション、チャレンジ精神を高め、自己実現に向けた行動を実行しやすくなる。

II. 統計・俯瞰的分析

II.1. 当該 MS 目標を達成するための課題（科学技術的・社会的課題）や必要な取組み

II.1.1. 科学技術的課題

Psyche Navigation System によって人々の心理状態を安定させ、あらゆる場面で高度なパフォーマンスを発揮できる社会を実現するためには、個々人が感じている感情をセンシングデバイスによってデジタル空間へと取り込み、理想的な感情状態との差分を捉え、感情制御をサポートする必要がある。

このためには、①そもそも理想的とされる感情の状態はどのようなものか、宗教書や哲学書等の伝統知をデジタル空間へと取り込み、人間では見出すことの出来なかった普遍的な感情の在り方を計算機によって見出す「伝統知 DX」、②個々人が感じている感情をデジタル空間へと取り込む「感情 DX」、③感情 DX に必要な生体情報を測定するセンシングデバイス及び感情制御のために五感に刺激を与えるアクチュエータを不察知化・社会インフラ化する「こころ見守りシステム」、さらに、④感情想起の起点となるこころの働きを計算論的に捉え、これを計算機上でシミュレーションする「こころを理解するコンピューティング基盤」の実現が求められる。

①伝統知 DX による理想的なこころの在り方の探求

そもそも理想的なこころの在り方とはどのような状態を指すのか。価値観の多様化した現代社会において、こころの理想状態を画一的に定義することは難しい。しかし、歴史的な宗教書や哲学書には様々なアイデアが提示されているため、それらの伝統知を活用することは有益であろう。これまで、人文学研究では、熟練の研究者が伝統知からトピックを「恣意的」に選択し、倫理・哲学的視点から考察を加える手法が広く普及していたが、「定量性」を欠いた考察であったがゆえに、サイエンスの土壤に載せることができなかった。結果、自然科学領域との対話ができず、人文学研究を社会にフィードバックする経路が欠けていた。更に、膨大な文献に散りばめられた情報を個々人が手作業で回収するため、研究者ごとの解釈の揺らぎは防ぎようがなかった。結果、世界中に存在する文献を包括的に解析し、伝統知の中で普遍的なものと同別的なものを分類・整理することも困難を極めていた。

この問題を克服する指針の1つは、定量化された集合知を持って取り組むことである。

(i)まず、伝統知を記す宗教書や哲学書の電子テキストを収集する。その上で、デジタル・トランスフォーメーション (DX) によって計算機が扱える形へと変換し、機械学習によって重要な要素を自律的に抽出できるようにシステム化する。これにより、こころのあるべき姿がどのように議論されてきたのかを定量的かつ俯瞰的に認識し、活用することができるようになる。

近年、古文書を古典文献学者たちが手作業でタイプ入力して電子テキスト化を進めてい

るが、いまだ多くの古文書が電子テキスト化されていない。電子テキスト化を高速化するためには、スキャンした古文書の画像を人工知能に解析させ、自動で電子テキスト化する OCR 技術を改善する必要がある。しかし、hand-writing の写本を 100%の精度で解析することは困難である。例えば、くずし字を、スキャンされた画像データから 90%の精度で電子テキスト化する技術が開発されているが、残りの 10%は人力に頼るしかない。また、写本そのものに誤記があった場合、解析ソフトは誤記まで忠実にテキスト化してしまうため、誤記を批判的に校訂する技術の開発も必要となる。

(ii)さらに、電子テキスト化された宗教・哲学文献をもとに、人々の悩みへの回答を自律探索・自律提示する技術については、BERT などの自然言語処理のアルゴリズムを応用する。チームリーダー熊谷が開発した仏教対話 AI「ブツダボット」(図 4)は、仏教経典を機械学習させた人工知能であり、ユーザの質問に対して仏教経典の中から一番適切な回答を提示する技術である。ブツダボットで使用した人工知能アルゴリズムに、仏教以外の宗教書や哲学書のデータを学習させれば、より汎用性の高い「伝統知ボット」や「偉人ボット」を実現できる。また、経営者の語録を学習させれば「経営者ボット」も製作できる。

ただ、現状のブツダボットのアルゴリズムは、文献に書かれた内容を誰に対しても一律提示する形式のものであるため、ユーザ個人の特性や趣向を考慮した回答を提示することはできず、個人の状態に合わせてところをサポートする PNS には、このままの形では使用できない。そこで、個人の特性や状況に応じて臨機応変に最適解を提示できるよう、個人ごとの趣向や考えを反映させる学習機能付きの人工知能に改良する必要がある。また、現在の人工知能アルゴリズムでは、手作業で作成した Q&A 形式の学習データを人工知能に機械学習させているため、学習データの作成に膨大な時間がかかる。時間短縮のためには、電子テキストから Q&A リストを直接的に自動作成するアルゴリズムの開発が必要となる。

以上の技術を開発できれば、現行の伝統知 DX・伝統知 AI の質を飛躍的に高め、PNS の出発点の役割を果たすことが可能となる。

(iii)加えて、古き伝統知は、例えばしばしば男性中心主義であるなど、そのままの形では現代社会に合致しない部分も多い。よって、世論や世界情勢などの情報と統合させたいうえで、モニター実験や世論調査を通じた市民からの意見や、人文科学者たちからの批判的な考察も機械学習させることにより、現代社会に実用可能な形にチューニング、アップデートしていくことが期待される。

(iv)また、伝統知の全てが文字化されているわけではなく、言語化されないノンバーバルな伝統知、伝統的身体技法、伝統的儀礼などが存在する。それらを利用するため、文献のみならず、感情 DX や粉末センサで回収した生体データなどを利用し、非言語的な情報も蓄積した伝統知 AI の開発が期待される。



【図4】仏教対話 AI「ブッタボット」の概念：伝統知 AI 開発のためにアルゴリズムを応用する予定

②感情 DX

感情のデジタル化にあたっては「感情理論体系の再構築」と「時間相関を活用した感情推定」が必要となるであろう。

(i)感情理論体系の再構築：これまで、感情は大きく 2 つの観点から検討されてきた。一方は、感情価 (valence) と覚醒度 (arousal) の 2 軸によって表現されるという考え方 (affect grid: Russell et al., 1989) であり、もう一方は文化普遍的と考えられる喜び・怒り・驚き・嫌悪・恐怖・悲しみ (基本 6 感情) をベースとしたカテゴリカルな考え方である (Ekman, 1971)。しかし、我々が日常で感じる感情はもっと複雑で多岐にわたり、これらでは完全に表現できていない。近年では、基本感情ですら文化普遍的ではないという指摘もされている (Barrett, 2017)。これらを鑑みると、valence・arousal の 2 軸モデルやカテゴリカルモデルを包含し、文化特有の感情表現を概観できるような軸を付加した感情の多次元空間表現を見出す必要がある。

(ii)生体情報から感情の多次元空間表現への変換：計測可能な物理量 (顔画像・心拍・皮膚電位・発汗量等) から、喚起している感情の多次元空間表現へと変換する手法が必要である。これには大きく分けて 3 つの下位課題が存在する。

第 1 の課題は、感情カテゴリの細密化とセンシングするモダリティである。機械学習の進展に伴い、感情を計算機に読み取らせる試みが急速に進みつつあるが、多くの研究は基本 6 感情に基づくラベル付与に終始しており、感情の機微の制御に使用するにはカテゴリが荒すぎるといえる問題がある。これを (i) で構築しなおした理論に基づき細密化する必要がある。また、「顔画像のみ」「心拍のみ」といった単一計測の生理データだけでは感情の機微は理解できないことが指摘されている (Barrett, 2017)。このため、顔画像・心拍・皮膚電位・発汗量に加え、声・体動・姿勢・呼吸・視線・瞬目・瞳孔径・筋電位・ストレ

スホルモンなどをマルチモーダルセンシング氏、感情を推定する必要がある。

第 2 の課題は、主観報告される感情を超解像化する技術である。現状では、感情は直接計測が困難であり、被計測者の主観報告に頼らざるを得ない。しかし、人は感情の機微の細かい変化までを主観的に意識しておらず、主観報告では常にポストディスクリプティブになることを考えると、第 1 の課題で求める細密な感情カテゴリを被計測者が正確に分類できない場合が考えられる。この解決には、(i)で構築する感情間の相関を表現した多次元空間と、測定された生体情報とをデータ同化によって結び付け、主観報告された荒い感情表現を超解像化する必要があるだろう。

第 3 の課題は、時間方向の連続性を活用することにある。現状では、顔写真などの時間から切り離された情報をもとにした感情認識に終始しており、複雑な感情表出形態を十分にモデル化できているとは言い難い。また、深層学習の発明以降は、膨大なデータを集めることに研究の比重がシフトしてしまっており、今一度、感情の理論に立ち返って機械学習モデルを再考する必要があるであろう。また、感情の計測においては、これまで現在の身体状態をセンシングすることだけが注目されてきたが、個々の場面で生じる感情はランダムではない。その場で生じやすい感情や時系列的なパターンから遷移しやすい状態と遷移しにくい状態があり、どのような環境空間にいるのかというコンテキスト情報（気温、湿度、場所といった物理的センシングと、「どこで」「誰と」「何のために」といった目的志向の情報）が大きな影響を与えているため、これをこころの状態の把握に活用できるはずである。

これらの課題を解決することで、身体状態のマルチセンシングとコンテキスト情報を感情の多次元空間表現に変換して表現することが可能となり、サイバー空間上でヒトのこころの現在の状態を表現 (i.e., こころのデジタルツイン) することができる。

③こころを見守りサポートするセンシング・アクチュエーションインフラ

こころの状態を推定するための計測技術および状態をサポートする技術と、継続的な計測・制御実現のために、これらの装置をインフラとして日常空間に埋め込む技術が必要となる。現在、ヒトの心理プロセスを把握するためによく用いられている装置は、MRI 装置や脳波計といった装置である。これらはそれぞれ、脳の活動を調べるための空間解像度や時間解像度が高いという利点があるものの、計測時の姿勢など装置の制約が大きく、日常生活において被計測者の状態を計測し続けることは不可能である。また、②で報告したように、脳活動や表情、皮膚コンダクタンスなどを単独で計測しても、こころの機微を把握することは困難であることが指摘されている (Barrett, 2017)。心理状態をナビゲートするための技術では、感情を司る大脳辺縁系との直接的連関がある嗅覚 (アロマ) を用いたものや、ブルーライトを利用してヒトの覚醒度を司る内在性光感受性網膜神経節細胞 (ipRGC) を刺激するものなどが開発されているが、いずれも一定の場所で一定の刺激をするに留まっている。個人の現在の状態が適切に把握できたとしても、個人の感受性にはばらつきがあるため、人間の意志や情動の状態を推定して理想的な状態になるためのルー

トを探索する AI は非常に大規模なものとなる。しかも、これをリアルタイムに行うためには、対象者の携帯端末や周辺端末といった小型端末で処理を実行する必要がある。

被計測者が、計測されていることを意識してしまうとその振る舞いが変わってしまうため、計測については、あらゆる状況で、邪魔なく生体データを測定できる機器が必要となる。これを解決するには、「粉末コンピュータ」のような超小型センサの開発が有用である。これは、体表や環境空間だけではなく、人間の体内（血管中や脳内）への配置も想定される。重度の患者や身体障害者で外部装置を適切に使用できない場合には、体内への挿入が一つの有効なオプションとして考えられる。体表や体内に実装するためには、センサへの給電と通信技術、またセンサを体内に取り入れることへの心理的障壁・法律的問題解決が課題となる。また、フィードバックのタイミングや形式も被計測者に計測されていることの意識を与えてしまうため、この点も重要な開発課題の一つである。将来的には、脳活動を直接計測し、刺激を脳に直接返す脳細胞インターフェース技術を利用して、人のこころを理想状態に導くアクチュエーション技術の開発も視野に入れる。個人の感受性を考慮したこころの状態ナビゲーションを小型端末で実現するために、エッジ AI コンピュータ技術の開発を目指す必要がある。

④こころを理解するコンピューティング基盤

PNS では伝統知・こころ・センシング・アクチュエーションインフラが情報空間を介して相互接続されることで実現される。現代のコンピュータは 0/1 の 2 進コードで表されたビット列を入力として決定論的に動作する回路素子を用いて出力を生成する。一方で、こころの状態や生体情報は確率的な揺らぎを持っているため、決定論的なコンピュータで扱うためには、疑似的に揺らぎを再現する必要がある、膨大な計算時間を要してしまう。これを解決するために揺らぎの扱いに特化したコンピューティング基盤（こころを理解するコンピューティング基盤）の整備が求められるであろう。将来的には量子コンピュータの持つ量子揺らぎを活用できるよう、伝統知 DX 及び感情 DX アルゴリズムの量子アルゴリズム化が必要になるであろう。また、多種多様な地域・コミュニティの伝統知と感情を扱うためにはスケーラビリティの不足が予想される。そこで、古典と量子アルゴリズムのハイブリッド形態を模索する必要もあろう。

理想とされる状態へとナビゲートするためには、どのような刺激がどのような感情を想起させるかを事前に知る必要がある。そこで、刺激から想起されるであろう感情をデジタル空間で仮想的にシミュレートする「情動シミュレータ」が必要になる。また、我々は社会性を持った存在であり、感情の正確なシミュレートにおいては、個々人の相互作用、更には社会を動かす集団心理の予測も必要となるであろう。この観点から、情動シミュレータの開発は大きく分けて個人レベルと集団レベルの 2 段階に分けて進める必要がある。

(i)個人レベル：視覚・聴覚などの五感を介して与えられる刺激から個々人が喚起するであろう感情を予測する計算モデルの構築が必要である。また、②で述べたように感情は時間連続性があるため、正確な情動予測のためには、計算モデルも時系列情報を取り扱える

必要がある。一方で、情動シミュレータの構築に必要な「感情の正解データ」は個々人の主観レポートに頼らざるを得ないため、正解データの時間分解能が不足してしまう懸念もある。この解消のために、心理学に基づく感情の理論モデルを構築し、データ同化によって理論モデルと実測情報をすり合わせることで、主観では気づかなかった感情の短時間遷移を明らかにする必要がある。

(ii) 集団レベル：情動シミュレータを集団レベルに展開するにあたっては、(1) 集団を形成する個々人の情動シミュレータを効率的に構築すること、そして、(2) 感情の伝播・相互作用を調査し、情動シミュレータに実装することの2点が課題となる。(1)の実現にあたっては、情動シミュレータのテンプレートとなりうる文化・社会を通して普遍的な情動成分を抽出し、シミュレータテンプレートの微調整によって個々人の個性を吸収することで、シミュレータ構築を加速させる技術が必要になる。あわせて、後述する人文科学研究とリンクして、情動における文化普遍成分の抽出も必要となる。(2)の実現においては個人間で感情が伝播する過程の追跡調査と、集団を構成する個人間の相互作用をシミュレートできるコンピューティングプラットフォームが必要であろう。動画投稿サイトやSNSが発達した現代においては、個人間の感情はネットを通して瞬時に数万人へと伝播しうるため、感情追跡は困難を極める。まずはネットへの接続が制限され、なおかつ個人間の物理的な距離も制御しやすい状況（例えば、小中学校のディスカッション授業や企業等での小規模ミーティング）から検討を開始し、スケールアップさせていくのが現実的であろう。情動シミュレータに相互作用の計算を組み込むにあたっての技術的課題として、大幅なコンピューティングパワーの拡充が求められる。相互作用を加味したシミュレーションとしては、重力で引き合う天体の軌道を計算する重力多体問題が有名であり、この計算に特化したアクセラレータ（Grape）も開発される等、相互作用を加味するだけで計算量が爆発的に増加することは良く知られた事実である。情動シミュレータにおいては、多体問題であることに加えて、シミュレーション誤差が無視できないため、確率的に様々な可能性を列挙できるようなコンピューティング基盤が必要となる。

II.1.2. 社会的課題

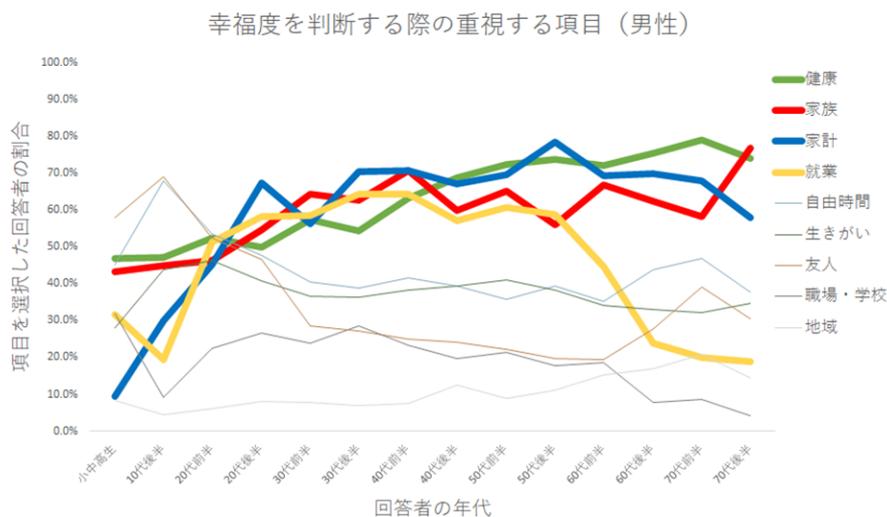
PNS を社会に実装するに際し、こころの状態をシステムが把握してサポートする技術が、どのように社会課題の解決に応用できるかを明確にしておく必要がある。加えて、PNS の技術を、はたして世論がどの程度興味を持ち、どの程度歓迎するか（或いは拒否するか）についても、明確化しておく必要がある。

II.1.2.1. 幸福度を判断する際に重要視される要素

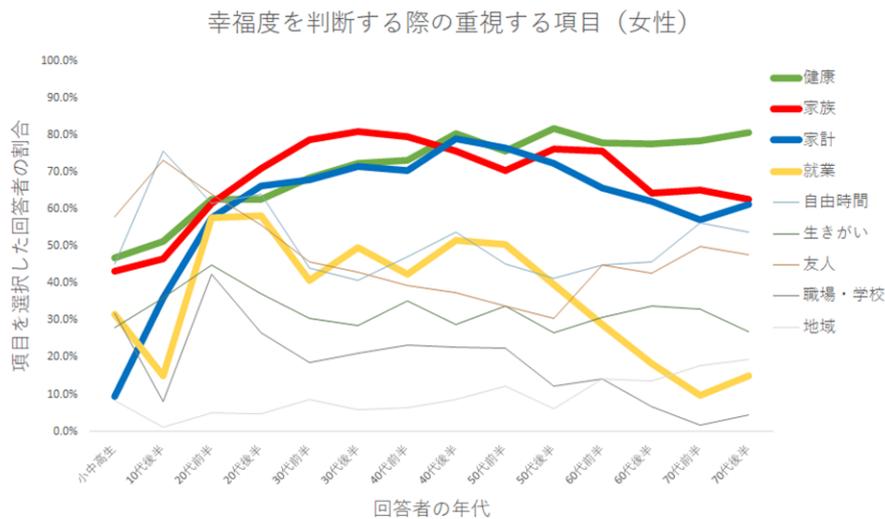
内閣府が進める「ムーンショット型研究開発制度」は、「Human Well-being」（人々の幸福）を目指し、その基盤となる社会・環境・経済の諸課題を解決するというものである。PNS は、特に「こころ」の側面から人々の幸福を実現するシステムであるが、「こころの幸せ」とは具体的にどのようなものだろうか。

例えば、内閣府経済社会総合研究所幸福度研究ユニットは 2011 年に、男女別・年代別に、幸福度を判断する際に重要な要素を調査している。また、同時期(2012 年)にすららネットが「小中高生の幸福度調査」として内閣府経済社会総合研究所とほぼ同じ項目を用いて、小中高生の幸福度を判断する際に重要な要素を調査している。これらの調査結果をまとめたものを図 5 および図 6 に示す。グラフから、幸福には家計、健康、家族、就業の要素が重視されることが明らかになっている。これは、回答者の年代や性別にも左右され、男性は女性に比べて就業の要素が重要視されていること、50 歳代後半から健康の重要度が高くなることが示された。一方、20 歳代前半までは自由時間や友人の要素が幸福感に強く影響していることがわかった。PNS は主に、こころの健康、健全な家庭環境と就業環境の実現に貢献可能であると考えられるが、対象の性別や年代によって重要視される要素が変わってくることを視野に入れて技術開発に望む必要があるだろう。

以前には、幸福は主観的な概念であるから定量的な科学研究は実施できないと考えられがちであったが、大石(2009)や内田(2020)などが紹介しているように、1990 年代以降、特に心理学分野において幸福の科学的、定量的な研究が急増している。本プロジェクトでは、PNS をプラットフォームとし、国内外の幸福研究者と連携しながら、社会的課題の解決に取り組む。



【図 5】年代別の幸福度を判断する際の重視する項目（男性）。内閣府経済社会総合研究所幸福度研究ユニット(2011)およびすららネット(2012)を基に作成。すららネットの調査には年代・性別の区分はないため、「小中高生」のラベルとしている。また、小中高生については、「おこづかい」は「家計」、「成績」は「就業」、「学校・習い事」は「職場・学校」に読み替えている。



【図 6】年代別の幸福度を判断する際の重視する項目（女性）。内閣府経済社会総合研究所幸福度研究ユニット(2011)およびすららネット(2012)を基に作成。すららネットの調査については図 5 と同様。

II.1.2.2. こころのサポートがもたらす経済的効果

PNS の導入が期待される個別具体的な課題として、まず、自殺、うつ病、犯罪などの問題が挙げられる。自殺や精神疾患による経済損失は調査方法によって異なるものの、2010年時点で2.7兆円（金子・佐藤, 2010）から15.2兆円（池上, 2010）、2026年には約30兆円（池上, 2010）など、少なくとも年間あたり数兆から数十兆円の損失があるとされる。精神疾患を防ぐことで、医療費や各種給付金の削減につながるだけでなく、精神疾患が原因の欠勤により生じる生産性の低下、および勤務中の生産性の低下を回避し、生産活動を増大させることができる。また、自殺が抑制できたなら、自殺者が産出できるはずだったはずの生産も期待される。こころをサポートする技術の開発によって、人的・精神的被害を抑制するのみならず、多額の経済損失を抑制し、他の生産活動を増大させることが可能となる。

こころの状態を安定させることは、犯罪の抑制や、犯罪者の矯正業務にも資する。法務省の調査によると矯正業務にかかる費用は年々増加しており、平成27年度には2900億円に達している。また、こころをコントロールすることが困難になることで、児童虐待なども生じてしまう。児童虐待は、行為の直後のみならず、生涯にわたって負担が継続し、そのコストは日本全体で年額1兆6000億円（日本子ども家庭総合研究所調査）にも上る。これによって生じる精神的な恐怖やトラウマなどは、必ずしも金銭に換算できず、精神的な被害は計り知れない。我が国の未来を切り拓く上で、家庭環境を含めた広義での教育は欠かすことの出来ない視点である。

こころの拠り所を提供する産業として、近年ではヨガやマインドフルネス、ヒーリングなどが隆盛しており、日本のスピリチュアル産業の市場は1兆円相当とされる（有本, 2011）。日本の市場の数倍を誇るアメリカのスピリチュアル産業の影響を受け、今後さら

に市場が拡大することが予想される。また、伝統宗教のうち仏教寺院の収入は5700億円に達し、冠婚葬祭業の市場は2兆円を超える。近年、伝統宗教の市場規模は低下の傾向を示しており、こころの安寧をサポートする技術は、代替的な産業を創出できる可能性が高い。

また、PNSは、他者に対する寛容性を向上させる効果をもつため、ジェンダーや人種など、多様性の問題にも寄与することが期待される。McKinsey & Companyが2015年に発表したレポート“The Power of Parity: How Advancing Women’s Equality Can Add \$12 Trillion to Global Growth”によると、ジェンダーの平等が改善された場合、中国を除く東アジア諸国のGDPに、2025年までに最大3.3兆ドル（約359兆円）の追加が見込められることである。また、マッキンゼー日本支社のレポート（堀井他, 2020年）では2018年のMcKinsey & Companyのレポートに触れ、日本におけるジェンダーの不平等が改善された場合、そのGDPを6パーセント押し上げると言われている。PNSによる心サポートは、他者への寛容性を生み出し、それがジェンダー平等の改善にも有益に働く。

以上のように、PNSを通じて人々のこころを寛容と安寧に導き、精神的な苦しみを軽減し、社会が多様性を認めるようになれば、わが国だけでも年間数十兆円規模の経済損失を防ぎ、経済効果を生み出す市場を、新規開拓できることになる。

II.1.2.3. P N S の世間的評価

PNSのように、計算機システムがこころの状態を把握し、それをサポートする技術を受け入れる世論的土壌はどの程度整っているだろうか。衰えた視力や聴力といった物理的な（機械的な）生理機能は、眼鏡や補聴器などで補うことにほとんど抵抗がないくらい受け入れられているが、心理的な面になると「計算機には人の心は理解できない」といった考えや「システムに心の状態を計測されるのは嫌だ」といった考えが根強くあることも考えられる。社会導入のためのこのような心理的ハードルがどの程度あるのかを検討するため、質問紙調査を行った。

(1) 質問紙調査

調査はランサーズに登録されているクラウドワーカーを対象に「こころに関する未来の科学技術についてのアンケート調査」といった名称で2021年6月29日～30日に行われ、485名（男性277名、女性208名、平均年齢41.5（±9.8）歳）が調査に参加した。なお、調査に関する説明文の中に「安寧と活力が共存する社会」等の説明は入れなかった。質問紙の中に混ぜたアテンションチェックの課題（「この質問には6で回答してください」）には483名（99.6%）が正答し、ほとんどの参加者が問題文をしっかりと理解して質問紙に回答していたと考えられる。

「理想的なこころの状態」「よい感情」「避けるべき感情」を自由記述で尋ねた。分析では、記載された記述を品詞分解し、数の多い単語（自立語）を抽出した。数の多さと文字の大きさを対応するようにして作成したword cloudを図7に示す。



【図 7】自由記述で書かれた (A)「理想的なこころの状態」(B)「よい感情」(C)「避けるべき感情」をその頻度に応じた大きさで図示したもの

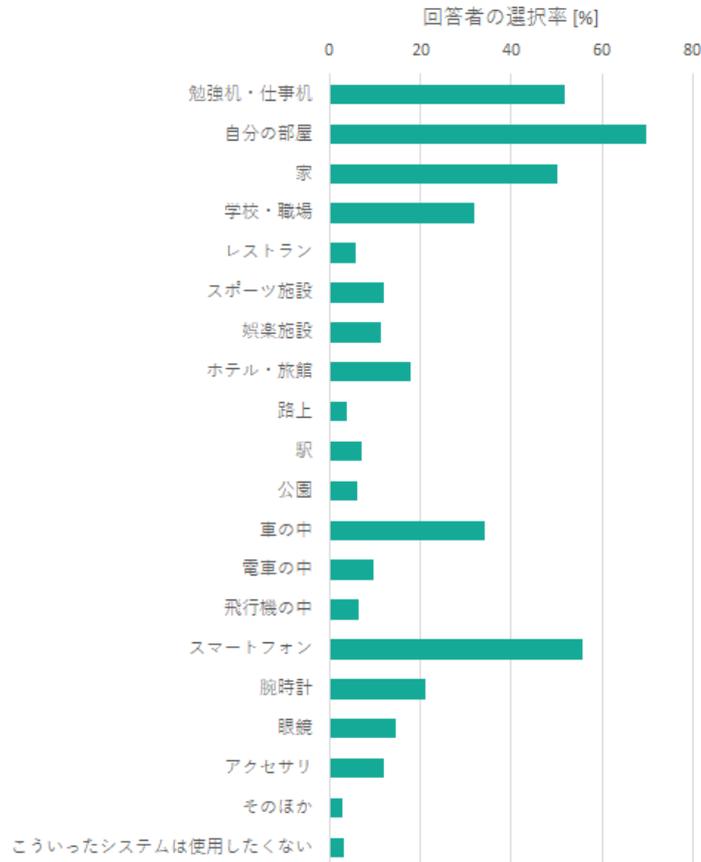
理想的なこころの状態については、「穏やか」という記述がもっとも多く見られた。また、「やる気」という記述も見られ、本調査が設定する「安寧と活力のある社会」という目標が理想的なこころの状態と対応していることがわかった。また、この分析では「心配」「ストレス」「不安」などの語も上位に来ているが、記述が品詞分解されているため、これらが「ない」状態を記述していたものと思われる。

よい感情については、「喜び」などの一過性の感情だけでなく、「穏やか」「安心」「感謝」「満足」「達成」など、比較的ユーダイモニックと思われる感情が上位にあることがわかる。また、「他人」という単語にも言及している記述が多くあり、よい状態が自身の状態だけでは決まらなると考えていることも注目すべき点である。

避けるべき感情については、「不安」「怒り」「悲しみ」「嫉妬」「恐怖」「嫌悪」など、これまで考えられてきたネガティブな感情が列挙された。ここでも注目すべきは、「他人」という単語が言及されている点である。

続いて、こころをサポートするシステムについて、どこに実装されているとよいと思うかを尋ねたところ、「自分の部屋 (69.8%)」「スマートフォン (55.8%)」「勉強机・仕事机 (52.0%)」といった場所が上位に挙げられた。逆に、路上や駅、公園といった公共空間での希望は高くなく (それぞれ、3.8%、7.1%、6.1%)、ごくプライベートな空間での使用が望まれていることがわかった。また、こうした機械・システムについて「使用したくない」と答えた人は3.2%であり、こころをサポートするシステムへの期待が高いことが伺える。図 8 に全項目の回答率を示す。

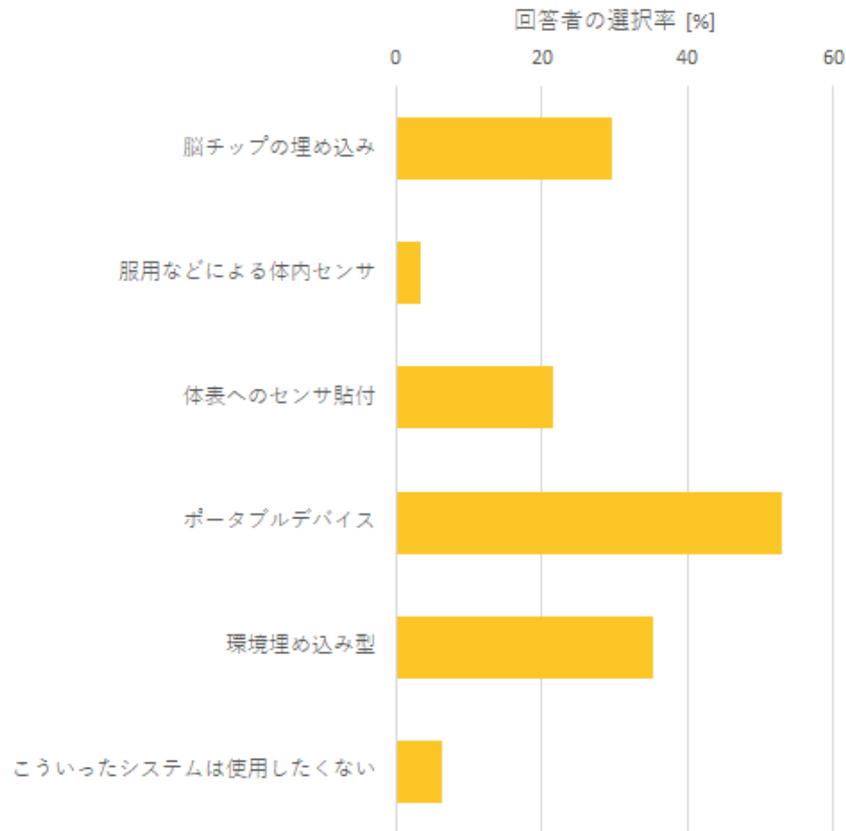
PNSが開発されたとしたら、どこに実装されているとよいと思いますか？（複数選択可）



【図 8】 あなたの気分をよい状態にサポートしてくれる機械・システムが開発されたとしたら、あなたはどこに実装されているとよいと思いますか？

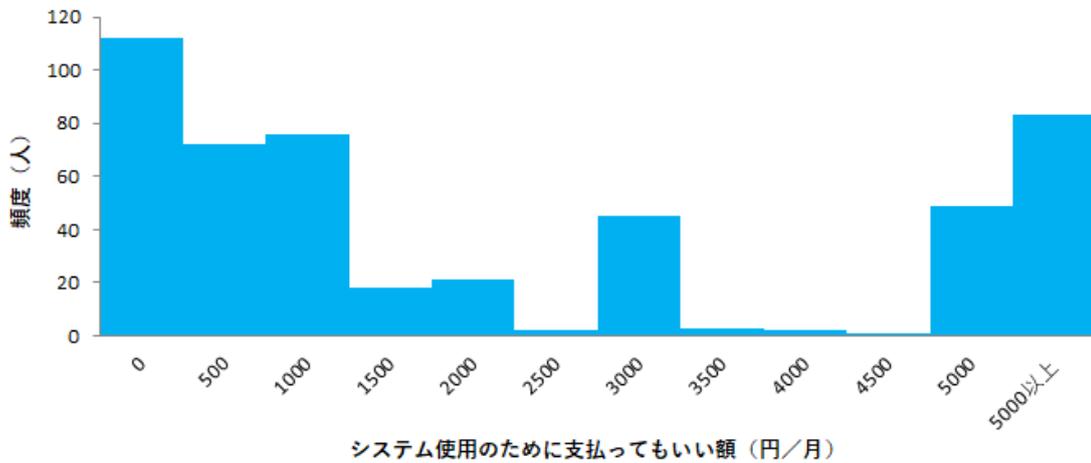
また、ここをサポートするシステムについて、脳にチップやセンサを埋め込む形で使用することについて尋ねたところ、29.6%がこういった形態でも使用してみたいと回答した。また、こういった形態を避ける人たちに、どのような形態なら使用してみたいかを尋ねたところ、ポータブルデバイス（52.8%）や環境埋め込み型（35.2%）が大勢を占めた。脳にチップ等を埋め込みたくない人は、服用等の体内センサも避けたがる傾向がある（3.5%のみが服用なら可能と回答した）。こういったシステムを使用したくないと回答したのは6.4%であり、図7の回答と似たような割合が得られた。ただし、この質問紙では、システムは医療的・法的な安全性が保障されていることを仮定しており、実装にあたっては ELSI の問題を避けては通れない。また、質問紙そのものが「ここに関する未来の科学技術についてのアンケート調査」という名称で行われており、こういった内容に興味を持つ人が回答した可能性（サンプリング・バイアス）も考慮しておく必要がある。質問の結果一覧を図9に示す。

PNSが開発されたとしたら、どのような形態なら利用してみたいですか？（複数選択可）



【図 9】 あなたの気分をよい状態にサポートしてくれる機械・システムが開発されたとしたら、あなたはどのような形態なら使用したいと思いますか？（「服用などによる体内センサ」以下は「脳チップの埋め込み」で“いいえ”を選択した場合のみ回答）

また、こういったシステムの経済的な持続可能性を検討するために、こころをサポートするシステムを使用するために1か月あたりに支払ってもよい額を尋ねた。結果を図10に示す。1,000円以下を選択する人が大勢を占めるが、その一方で5,000円以上支払ってもよいとする人もかなりの人数がいることがわかる。中央値は1,000円であった。



【図 10】感情をあなたの理想的な状態に維持することをサポートしてくれるシステムが開発され、使用できるとしたら、1 か月あたりいくら支払ってもいいと思いますか。

最後に、回答者の人生満足度尺度 (Diener et al., 1985)、情報の過負荷尺度 (Williamson & Eaker, 2012)、情報の過負荷知覚尺度 (Misra & Stokols, 2012) に関する回答を表 1 に示す。

【表 1】人生満足度尺度、情報の過負荷尺度、情報の過負荷知覚尺度の結果

	人生満足感尺度 (7件法：1～7)	情報の過負荷尺度 (7件法：1～7)	情報の過負荷知覚尺度 (0：まったくない～4：とても頻繁にある)	
			サイバーベース情報過多	物理ベース情報過多
平均	3.02	3.76	1.12	1.47
SD	1.42	1.15	0.78	0.86

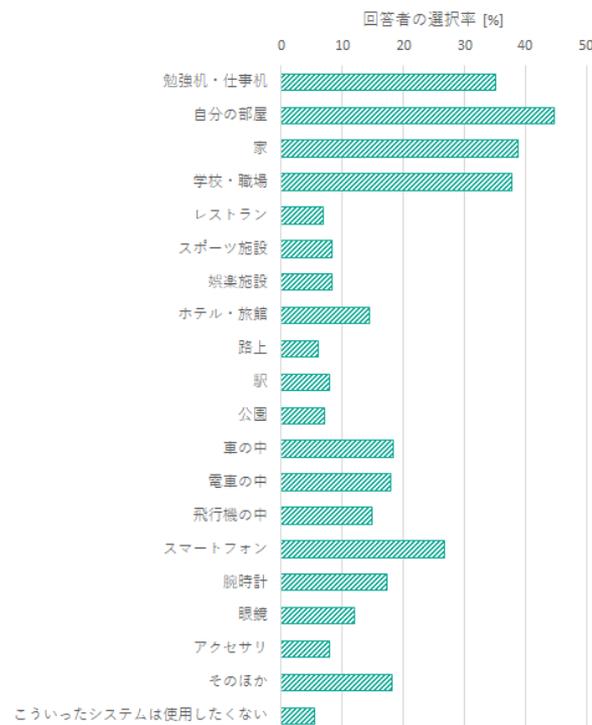
人生満足感と情報の過負荷には負の相関が見られ、身の回りに情報が多すぎる (情報の負荷が高い) と感じているほど人生満足感が減少することがわかった ($r(484) = -.26$)。ここから、身体生理状態を計測したものを単純に被計測者に提示するだけでなく、情報の過負荷を感じさせないようにフィードバックさせることも重要であることが示唆される。

(2) ムーンショット目標検討シンポジウム (2021 年 5 月 22 日) アンケート

さらに、2021 年 5 月 22 日に当目標検討チームが主催となって開催したシンポジウム (ムーンショット目標検討シンポジウム「極限状態におけるこころのあり方」) の参加者にも、こころに関する未来の科学技術について尋ねた (図 11)。このシンポジウム内では、PNS の技術的要素についても説明しており、アンケート回答者は技術的要素についてもより理解した状態で回答したと考えられる。

「理想的なこころの状態」と「こころを落ち着けるために実践していること」を自由記述で尋ねたところ、理想的なこころの状態については、ポジティブなものとしては「穏やか」「安心」といった安寧に関するものや「目標」「集中」といった活力に関する記述が

PNSが開発されたとしたら、どこに実装されているとよいと思いますか？（複数選択可）



【図 12】 あなたの気分をよい状態にサポートしてくれる機械・システムが開発されたとしたら、あなたはどこに実装されているとよいと思いますか？（シンポジウムアンケートより）

2つの調査を通じて、PNSのような技術や機械を用いたところのサポートシステムの開発を期待している国民が大多数であるという事実が判明した。（欲しない人は僅か3~5%）

ところやそのサポート技術に求められる要素には、質的に一貫している点が多かった。これらの調査から、i) ところをサポートするシステムは比較的受け入れられやすい土壌にあること、ii) 「穏やか」や「安定」といった安寧な状態や、「達成」「前向き」「目標」といった活力ある状態が理想的なところの状態であると考えられていること、iii) 情報過負荷の状態では主観的な人生満足感が低下してしまうことが示唆される。

II.1.2.4. PNSの注目度（マスメディアや有識者からの評価）

マスメディアの中での評価は、世間の人々が「想像できる」（imaginative）、「ワクワクする」（inspiring）、「信用できる」（credible）ことを現すメルクマールの1つと言えよう。

2021年1月のミレニア・プログラム開始後、PNS、および、PNSの構成技術が、どの程度のマスメディアに取りあげられたか、以下に紹介する。

<PNS 関連ニュース>

NHK ニュース (2021 年 5 月 22 日)
NHK ラジオ「Nらじ」 (2021 年 7 月 2 日)
京都新聞 (2021 年 6 月 23 日、夕刊第 3 面)
中外日報 (2021 年 5 月 21 日、第 1 面)
文化時報 (2021 年 5 月 20 日、第 1 面)
NHK ウェブサイトニュース
中外日報ウェブサイトニュース
文化時報ウェブサイトニュース

<PNS 構成技術関連ニュース>

・仏教対話 AI「ブツダボット」関連

NHK「あさいち」 (*7 月 15 日放送予定)
NHK ニュース (3 月 26 日, 27 日)
NHK ラジオ「Nらじ」 (2021 年 7 月 2 日)
J-WAVE ラジオ『Tokyo United』 「Takenaka Future Focus」 (4 月 23 日)
TBS ラジオ『赤江珠緒たまむすび』 「週刊ニッポンの空気」 (3 月 29 日)
京都新聞 (2021 年 6 月 23 日、夕刊第 3 面)
毎日新聞 (2021 年 4 月 21 日)
中外日報 (2021 年 4 月 2 日, 1 頁)
文化時報 (2021 年 4 月 1 日, 1 頁)
朝日新聞 (2021 年 3 月 27 日社会面コラム)
京都新聞 (2021 年 3 月 27 日社会面 3, 31 頁)
Asahi Shimbun ウェブサイトニュース (*英語)
Mainichi Shimbun ウェブサイトニュース (*英語)
即時新聞ウェブサイトニュース (*中国語)
昔日新聞ウェブサイトニュース (*中国語)
NHK ウェブサイトニュース
朝日放送 ABC ウェブサイトニュース
朝日新聞ウェブサイトニュース
毎日新聞ウェブサイトニュース
京都新聞ウェブサイトニュース
文化時報ウェブサイトニュース
中外日報ウェブサイトニュース
ヤフーニュース

・「粉末コンピュータ」関連

朝日新聞（2021年3月1日）

Abema TV（2021年3月4日）

Yahoo ニュース（2021年3月5日）

以上のように、PNS の要素技術である仏教対話 AI 「ブッダボット」を特集するメディアが圧倒的に多いことが分かった。その理由は、（精度にこそ問題があるものの）すでに試作品がモノとしてでき上がっていること、さらに、伝統とテクノロジーの融合が一目で分かる目新しさであろう。他方、粉末センサに応用可能な粉末コンピュータについては、Abema TV が長時間密着して放送するなど、技術の細部まで知りたいという世間的要請が高いことが分かった。

驚くべきことは、PNS が未開発の構想段階でありながら、すでに多数のメディアに報道されているという事実である。特に、PNS がブッダボットと併せて報道されることが多いのは、「伝統知とテクノロジーの融合」という点に新規性と独創性が見られるということであろう。いずれにせよ、多数のメディア報道を通じて、PNS の開発を世間が強く期待しているということが判明した。

また、こうしたメディア報道や世間からの反響を受け、官公庁や有識者とも多数の意見交換を行い、政策的観点からも、PNS に対する強い期待が存在することが判明した。

文部科学省学術企画室からは、人文社会科学の振興に向けたアイデアの提供を要請され、2021年4月27日に同室と熊谷チームとで協議を行った。人文科学社会の振興を進めるうえでの DX 化の重要性について意識を共有した。第7回文部科学省人文学・社会科学特別委員会（2021年6月28日）において、人文学 DX の一例として、仏教対話 AI 「ブッダボット」が紹介されるなど、人文社会科学振興政策においても注目されている。

また、2021年5月20日には、自由民主党文部科学部会において、チームリーダーの熊谷が、「文理融合・伝統知DXによる総合知創出の可能性！： 仏教対話 AI と Psyche Navigation System」と題する講演を行い、若手研究者の力でわが国を科学技術立国にすべく、国会議員や有識者たちと情報交換を行った。人文科学主導の文理融合研究のモデルの1つとして高く評価された。

2021年5月27日には、内閣府科学技術・イノベーション推進事務局の公式 Facebook において、PNS の取り組みが紹介された。また、熊谷チームは、同事務局から「総合知」戦略についてのヒアリングを受けるなど、人文・社会科学の振興も含めて「総合知」戦略の点でも高く評価されている。

II.2. 当該 MS 目標を達成するために取り組むべき研究開発の俯瞰

Psyche Navigation System では個々人の感情を情報空間へと転写し、個々の場面で理想的とされる心理状態との乖離に基づき、適切な刺激を合成・提示して人の感情制御を継続的にサポートする。これを実現するためには、①感情制御のガイドとなる「理想的な心理

状態」を見出すこと、②個々人の感情を計算機で扱えるようにデジタル空間へとマッピング（感情 DX）すること、③人に負担を掛けないような感情計測・制御を実現するセンサ・アクチュエータを開発すること、そして、④感情制御に有効な刺激を作り出すことが必要となろう。

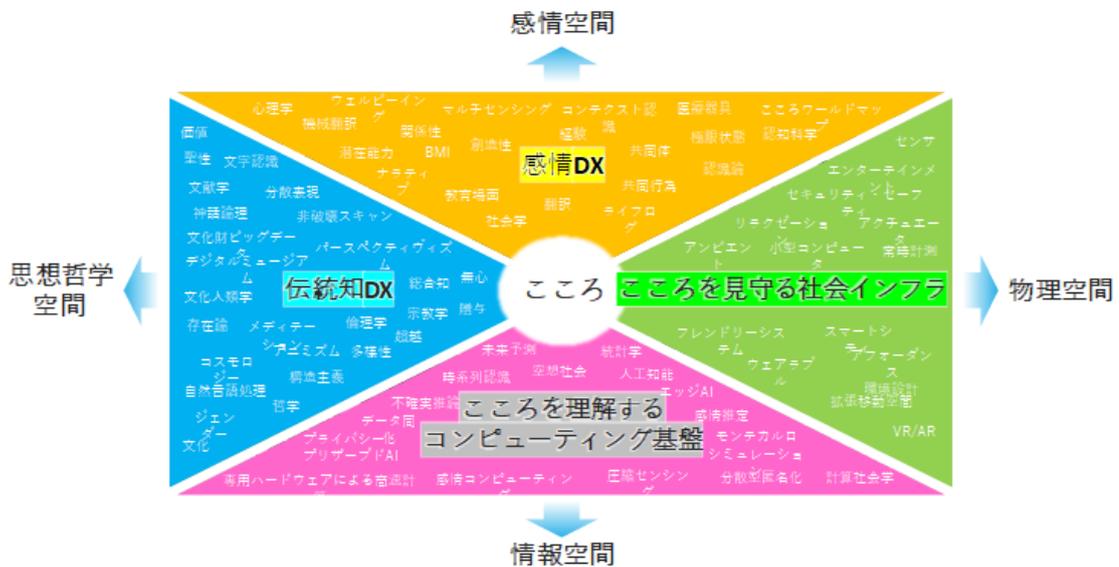
①の「理想的な心理状態」は数千年に渡ってこころの在り方を説いてきた宗教經典をはじめとする伝統知に見出すことが有効であろう。しかし、伝統知は長い伝承の過程で情報の欠落や書き換えに晒されてきたため、そのままでは普遍的なこころの在り方を抽出するのは困難である。そこで、伝統知をデジタル化（伝統知 DX）し、計算機によって膨大な文献に共通の因子を探すことで、普遍的な教え・価値観とは何かを再発見する必要がある。継続的な感情制御サポートのためには、瞬時的な感情に留まらず、個々人の文化・所属コミュニティも考慮した時間大域的な感情変化センシングが求められる。

このために②の感情 DX では、伝統知 DX をもとに感情がどの様に捉えられ、どのような変化が発生しやすいか見出す（感情遷移モデル）とともに、これを計測された生体情報と結び付け感情の機微を推定することが必要となろう。感情 DX に必要な生体情報を集めるセンサや、刺激を与えることで感情を制御するアクチュエータは、計測・制御されていることが負担とならないものが望ましい。

従って、③センシング・アクチュエータを日常空間に溶け込ませる必要もあろう（こころ見守りシステム）。そして、感情 DX によってデジタル化された感情と、伝統知 DX が指し示す理想的な心理状態との乖離に基づき、感情を理想的な状態へと導く刺激を合成する技術が必要となる。

そのためには、④どのような刺激がどんな感情を誘発するかを、デジタル空間でシミュレーションする技術（こころを理解するコンピューティング基盤）が求められるであろう。こころや生体情報は確率的な揺らぎを持つため、こころの振る舞いをシミュレートするためには、同様の揺らぎを効率的に扱えるコンピュータが求められる。量子揺らぎを利用した量子情動シミュレーションや、社会全体の感情趨勢を予測できるようなスケーラビリティを有する古典・量子ハイブリッドシミュレータの研究開発が必要となるであろう。

以上を踏まえると、本 MS 目標の実現には、「こころ」を起点に思想哲学空間・感情空間・物理空間・情報空間がデジタル技術を介して相互接続させる以下の 4 つのプロジェクトの推進が必要である（図 13）。



【図 13】 挑戦的研究開発を推進すべき分野・要素技術

①伝統知 DX によるこころと社会の理想状態の自律探索と自律提示

宗教書や哲学書、倫理学書などに記述される伝統知は、そのままの形では非定量的なため、サイエンスの土壌に載せることはできない。それらの文献をデジタル・トランスフォーメーション (DX) することによって、必要な情報を定量的に抽出し、これを俯瞰的に認識することができる。

(i)しかしながら、それらの伝統知文献をすべて電子化するには膨大な時間的・経済的コストがかかり、即座に効果的な成果をあげることは困難である。まずは伝統知文献の既存の電子テキストを注意深く収集し、統合する。また、スキャンした古写本の画像データを自動で電子テキスト化する現行の技術は不十分であるため、人工知能のサポートにより質を向上させていく。加えて、これまで文献学者が手作業で行ってきた古写本の批判的校訂作業も、人工知能に文法を機械学習させることで、自動修正する技術を開発する。

(ii)さらに、収集した伝統知の電子テキストから理想的な心理状態を抽出すべく、人工知能の開発を進める。すでに調査チームリーダーの熊谷は、最古の仏教経典『スッタニパータ』を機械学習させ、一般ユーザの悩みに回答する仏教対話 AI「ブッダボット」の試作品を公表した (Kumagai et al., 2021)。この技術を応用し、既存の宗教書や哲学書、倫理学書の電子テキスト情報、世論や世界情勢などの情報、さらに、個人の趣向・生体情報を統合することで、こころと社会の理想状態を自律提示することを目指す。

現状、伝統知文献にもとづき手作業で作成した Q&A リストを人工知能に機械学習させているが、手作業では学習データ作成に莫大な時間を要するため、電子テキストから Q&A を自動作成するアルゴリズムを開発し、学習データ作成を飛躍的に高速化させる。

(iii)また、このシステムの返答の的確さについて市民モニター実験を行い、人文学研究者が実験データを検討することで、伝統知の中でこれまで見逃されていた心の在り方を探

しだし、その有用性を定義する。具体的には、自然言語処理 AI の高度化を進めることによって、学習した文献データにもとづいて人工知能に仮想経典や仮想哲学を創出させ、これを人文科学者が批判的に分析し、アウトプットを改善する。それにより、こころと社会の理想状態を探索し、伝統知にもとづいて新たな思想やアイデアを提示する人工知能の完成を目指す。この理想状態の自律探索・自律提言システムが完成すれば、それをを用いて、個人の人生の指針や、組織運営・社会運営の方針の検討に大きく貢献することができる。

(iv) また、伝統知の中には非言語的な伝統知や伝統的身体技法、伝統的儀礼などが存在する。それら文書化されていない情報については、感情 DX や粉末センサで回収した生体データなどをもとに定量化することで DX が可能となる。こうした非言語的な情報を蓄積した、より包括的な「伝統知 AI」へとさらに改良していく。

②感情空間定義による感情の定量化と可視化

感情空間の全体像を明らかにするためには、まずどのような感情があるのかを把握する必要がある。このためには、(i) 感情に関する自由記述式の調査、(ii) 会話・SNS などのダイアログおよび書籍・新聞等で用いられるテキストを用いて、各感情が生じるときにどのような身体的様態が共に記載されているか、各感情はどういったコンテキストと共に記載されているかといった言葉の共起性を指標として、感情間の類似度を反映したモデル（多次元感情表現空間）を構築する。また、(i) や (ii) のような「現代を生きる人」の情報だけでなく、①の伝統知 DX によって使用可能となった (iii) 宗教書・哲学書などの伝統知のテキストも併用し、「古来からの受け継がれた知識」も組み込む。書籍の電子テキスト化や SNS の分析手法は、英語などの一部の言語が中心となっており、こころの問題を詳細に扱う宗教文献をはじめとした伝統知の分野には波及していない。ヒトが抱く感情空間の全体像を理解するためには、現代を生きる人と古来からの知識の両方からアプローチし、ヒトのこころの状態をよりよく説明できる成分を抽出することが必要である。

さらに、各感情が生起するときに生じる身体反応や環境の情報を実際に計測し、その身体反応の類似度を反映したモデル（多次元身体・環境空間）を構築する。このためには、実験心理学でしばしば用いられる感情誘発法（ある感情が生じた際のエピソードを想起させたり、画像・動画などを見せる）が有用である。また、常に身体反応を記録するライフログ技術とスマートフォンなどによって様々なタイミングでどのような感情状態であるかを報告してもらう経験サンプリング法を組み合わせることによって、実験室状況下だけではなく、日常生活で生じる感情と身体反応の関連も検討することができる。このようにして測定された脳活動、声、表情、体動・姿勢、体温、心拍・呼吸、発汗、視線・瞬目・瞳孔、筋電位・皮膚コンダクタンス、ストレスホルモンなどの指標から、ヒトのこころの状態をよりよく説明できる成分を抽出する。このようにして作られた多次元感情表現空間と多次元身体・環境空間の対応をとることで、感情を外側から客観的に定量化・可視化できる。

感情推定の精度を上げるためには、時間方向の連続性の活用も視野に入れる。個々の場

面で生じる感情はランダムではないため、どういった感情が生じやすいか（事前知識）、どの感情間で遷移が生じやすいか（遷移確率の同定）をモデルに組み込むことで、感情推定の精度を上昇させることができる。

なお、この定量化・可視化に大きく寄与している生理情報を③のこころ見守りシステムに組み込む。また、人は計測されていることを意識するとその振る舞いが変わってしまうため、③で開発された極小センサを計測にも活用する。

感情には個人だけでは生じず、集団になったときに初めて現れるものがある。例えば、同調や服従、傍観といった行動に関するものがあげられる。さらに、他者との身体的な同期が集団への帰属や、集団としてのパフォーマンスを高めているといった報告もある。このため、集団の感情状態の把握は、個人のとくと同様に「理論体系の再構築」と「生体情報から感情の多次元空間表現への変換」の道筋をたどることができるが、それだけでなく、その場の個人間のインタラクションも踏まえて、検討されなければならない。

③こころを見守り支える社会インフラを整備するための基盤技術

こころを見守り、あるべき姿へとアクチュエートするシステム(こころ見守りシステム)を開発し、社会環境にインフラとして整備する。特に、人の生体情報を計測してこころの状態を推定するためのセンサは、日常的に広域の社会環境に浸透させるために小型化する必要がある。先端の半導体技術を積極的に利用してセンサを小型化し給電と通信を完全無線化することで、極小センサを実現する。すでに半導体製造技術の進化はセンサを1mm級のサイズで実現できるようになっている。それを0.1mmまで極小化させる。さらに、24時間充電せずに起動しつづける自動充電システムを開発する必要がある。それが開発できれば、24時間、どこでも、心身生体データをリアルタイムに不察知計測することが可能となる。

極小不察知計測センサから収集した生体情報をもとに、理想の状態にこころが動くためのアクチュエータを社会の様々な箇所に設置、実装していく。プライベート空間としては、視覚・聴覚・嗅覚アクチュエータを実装した寝室や車内装備を開発する。室内には、生体データに基づきプロジェクション（視覚）、音楽（聴覚）、香り（嗅覚）を自動発生させる装置を配備し、リアルタイムに最適な心理状態への遷移を実現する。

視覚、聴覚、嗅覚的に理想な環境を選び出し、理想な環境を選択的に享受できるナビゲーターを開発する。例えば、直射日光に当たらない涼しい日陰の歩道をナビゲートしてくれる人工知能技術があるが、そうした技術を統合し、外的環境を有効利用して心を安寧で活力ある状態に導く、総合外的環境アクチュエータ技術を確立していく。

さらに、こころの状態の推定・ナビゲーションの精度向上と、こころ見守りシステムの社会環境への埋め込みを促進する方向性として、体内挿入型のセンサ・アクチュエータ技術の検討も必要である。体表で計測できる生体指標に比べて、唾液・涙などの生体指標は、感情への相関が高いことが知られている。究極的には、さらに感情への相関が高いと考えられる脳波や神経信号に対する体内でのセンシング・アクチュエーションの可能性を追求

する必要がある。

上述のセンサとアクチュエータを日常的な形で環境に調和させることで常に社会の心の状態を見守るインフラを整備できる。効果的なセンサとアクチュエータを開発するための広域の社会実装環境を構築し、住環境、職場環境、都市環境、移動環境のそれぞれの環境に適した社会インフラシステムを実験的に探索し、効果を実証する必要がある。

広域に展開されたシステムの中で遷移するこころの情報を社会全体で共有することで、センサとアクチュエータの高度化と実社会の向かうべき方向性を認知することができる。究極の個人情報であるこころの情報を安心・安全に共有するためのセキュリティ技術と社会全体のこころの状態をリアルタイムに集約する高速通信インフラが必要である。

④こころを理解するコンピューティング基盤

情動シミュレータのコアアルゴリズム開発と、これを支えるコンピューティング基盤の整備が求められる。情動シミュレータの開発は次の研究領域推進が必要となろう。

(i)刺激モーフィング技術：情動シミュレータ実現への第一ステップとして、刺激に対して想起される感情を調査する必要がある。刺激と一言で表しても、その種類は多岐にわたる。例えば音声刺激であっても音声・音楽・環境音等が考えられ、音声に限定したとしても、声質や高さ、話す速度、抑揚のつけ方など様々な要素が絡んでくる。刺激と想起感情の対応を取るためには、単一要素を独立して制御出来ることが望ましく、この合成技術の実現が第一の課題となる。音声であれば、STRAIGHT 等の音声モーフィング技術が盛んに開発されているが、他のモダリティ（環境音や風景映像、香水などの匂い、手触りなどの触覚、味覚）においても同様にモーフィング技術の開発が求められる。

(ii)情動測定とモデル化：刺激モーフィング技術によって、ある抑揚などの特定の要素を変化させた刺激を観察者に提示し、③で開発されるセンシング技術によって生体情報をセンシングする。更に、センシングされた情報を、②で見出される感情モデルと対応付けることで、刺激と感情のペア情報を取得する。次に、機械学習手法によって、感情から刺激への変換関数を獲得し、所望の感情を想起させるために、どの様な刺激が有効かを推論できる計算モデルを構築する（情動シミュレータ）。

(iii)こころの相互作用のモデル化：上記、(i)及び(ii)で個人の感情を①で見出される理想状態へと導くために必要な刺激を得ることができる。一方で、(ii)のモデルは人間の社会的な側面を考慮できておらず、シミュレーション及び制御性に劣るという問題がある。これを解消すべく、個人間の関係性を考慮した感情伝播モデルの作成が必要となろう。関係性としては、上司・部下・友人といった知人としての関係制や、すれ違った通行人やたまたま同じ電車の同じ車両に居合わせた人といったように物理的な位置関係も含まれる。将来的には③が構築するこころ見守りシステムと組み合わせた感情伝播予測も必要となろう。また、インフラと統合した感情制御（例えば、雑踏で苛立っている人が多いことをインフラセンサが感知し、周囲を歩く人に当該箇所を避けるようナビゲーションする等）の可能性も検討すべきであろう。

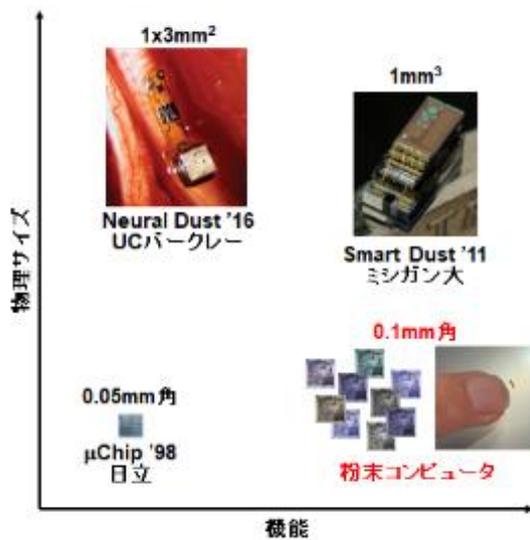
(iv)相互作用やインフラを加味した情動シミュレーションの実現にあたっては、確率的な揺らぎの扱いに長けた新たなコンピューティングパラダイムの開拓が必要不可欠であろう。人の感情は揺らぎを持っており、必ずしもモデル予測に従った感情を示すとは限らない。この揺らぎを扱うために、多くのエージェントシミュレーションでは、乱数サンプリングによって仮説シナリオを多数生成し、統計的に未来を予測している。これは現代のコンピュータが決定的な計算しか扱うことが出来ないことに起因している。確率的ゆらぎを持ったモデルに相互作用を含めようとすると、想定すべきシナリオが爆発的に増加してしまい、現代のコンピュータでは扱えないことが予想される。この解決には、CMOS イジングコンピュータの様に揺らぎを疑似的に再現したコンピュータの開発や、量子重ね合わせによって膨大なシナリオを並列に探索可能な量子コンピュータを活用可能な量子情動シミュレーションアルゴリズムの開発も必要となるであろう。

II.3. 当該目標に関連する研究開発の動向（全体）、海外動向及び日本の強み

日本の科学技術開発水準は高い。これと同時に、西欧諸国とは異なるこころの概念を持っている。このことは、こころとサイエンスの融合について、他の国とは異なった観点から新しい発想を生み出す土壌があることを意味している。

例えば、仏教対話 AI「ブッタボット」(Kumagai et al., 2021) では、google 社が開発した BERT と呼ばれる自然言語処理メカニズムを仏教經典に応用し、悩みに対して、ブッタの教えを經典から自律探索して自律回答することに成功した。同技術は、仏教文献学と人工知能開発の両方の水準が世界的に高く、且つ、仏教徒の数が多く、すなわち、開発力と仏教ニーズがともに高い日本だからこそ、開発が実現できたものと考えられる。日本では、こうした最先端技術と、東洋古来の伝統知を融合することに一日の長がある。

計測技術開発においては、戦略的創造研究推進事業等でも極小の粉末コンピュータの開発に乗り出している。これまでにも、国内外で小型コンピュータに関する研究は盛んに行われてきたが、いずれも機能と物理サイズ間のトレードオフの域を脱していない。日立の μ Chip は、RFID という限られた機能を 0.05mm 角で実現したのみである。IBM の Crypto Anchor (2018 年発表) は、RFID に暗号機能を追加したものでチップサイズは 1mm 角と大きくなっている。同時期に米国主導で研究された Smart Dust は、2011 年にミシガン大によって複数の機能を有するセンサノードとして具現化されたが、1mm 角のチップを複数積層し、バッテリーと給電・通信用電極を必要としており、物理サイズに限界があった。UC Berkeley の Neural Dust (2016 年発表) は、超音波を用いてバッテリーを省略したが、超音波を電力に変換する素子とその接続部品が 1mm x 3mm と大きく、極小化を実現できていない (図 14)。粉末コンピュータは、複数の計算機能の細分化と再構成により、個別チップの極小化とシステム性能の向上を両立するべく、半導体デバイス、実装、回路、コンピュータアーキテクチャ、アルゴリズムの階層をまたぎ多面的・総合的にアプローチしようとしている。



【図 14】小型コンピュータの機能と物理サイズ

ヒトのところが当該文化の影響を受けている可能性については古くから指摘されている。例えば、アメリカで開発された表情認識システムは、日本人の表情では推定精度が悪いなど、文化に依存的であるという実際の問題点もある。ここ 30 年あまりは、北米や欧州を中心とする西洋と、日本や中国を中心とする東洋のこのころの在り方の違いについて盛んに研究されており (Markus & Kitayama, 1991)、日本は特にこの分野でリーダーシップを発揮している。ごく最近では、東洋・西洋というくりに捕らわれずに、オンライン調査を使って世界中のこのころに関する概念の違いを明らかにしようという試みが行われており (Awad, 2020; Sorokowska et al., 2017)、北海道大学を主とする研究チームもこれに貢献している (Thomson et al., 2018)。このころの概念がどのように形成されているのかを明らかにするために、これらのオンライン調査だけでなく、行動実験を含めた各種心理実験を一つのプラットフォームに集めようとする「このころワールドマップ」と呼ばれる試みが開始されており (Ueda et al., in press)、文化や言語、個人の違いを吸収してこのころの理解が目指されている。

身体計測を通じたこのころの理解については、科学研究費の新学術領域で「顔身体学」と呼ばれる領域が立ち上がっており (新学術領域研究：トランスカルチャー状況下における顔身体学の構築—多文化をつなぐ顔と身体表現—)、哲学・心理学・人類学の分野を超えて、日本の研究者全体で、顔と身体からこのころの理解に挑もうという機運が高まっている。

III.社会像実現に向けたシナリオ

III.1.挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題

III.1.1. 挑戦的研究開発を推進すべき分野・領域

人のこころを常時見守りサポートする Psyche Navigation System を完成させ、安寧と活力の共存する社会を実現するために、以下の①～④の分野・領域で挑戦的研究開発を推進すべきである。

①伝統知 DX によるこころと社会の理想状態の探索と提示

人類は、こころのあるべき姿、社会のあるべき姿を探求してきた。有史以来、蓄積されたあらゆる知識を統合し、さらに、現代の文脈や個人差に合わせたチューニングを施すことにより、現代社会を生きる人々が培うべきこころの理想状態、それらの人々のこころの集合が形成する社会の理想状態を探索し、人々に提示することが期待される。

②多次元感情空間マッピングと感情遷移モデルによるこころの可視化

科学は、未だ人の感情を正しく理解できていない。これまで見過ごされてきた文化特有の感情も含め、どのような直交座標系を用いれば人の多様な感情とこころの機微の分布を理解できるだろうか。生体のマルチモーダルセンシングだけでなく、どのような環境空間にいるのかというコンテキスト情報を踏まえて、感情を多次元空間上にマッピングし、その遷移を定量化する理論体系を構築する必要がある。

③こころを見守る社会インフラ

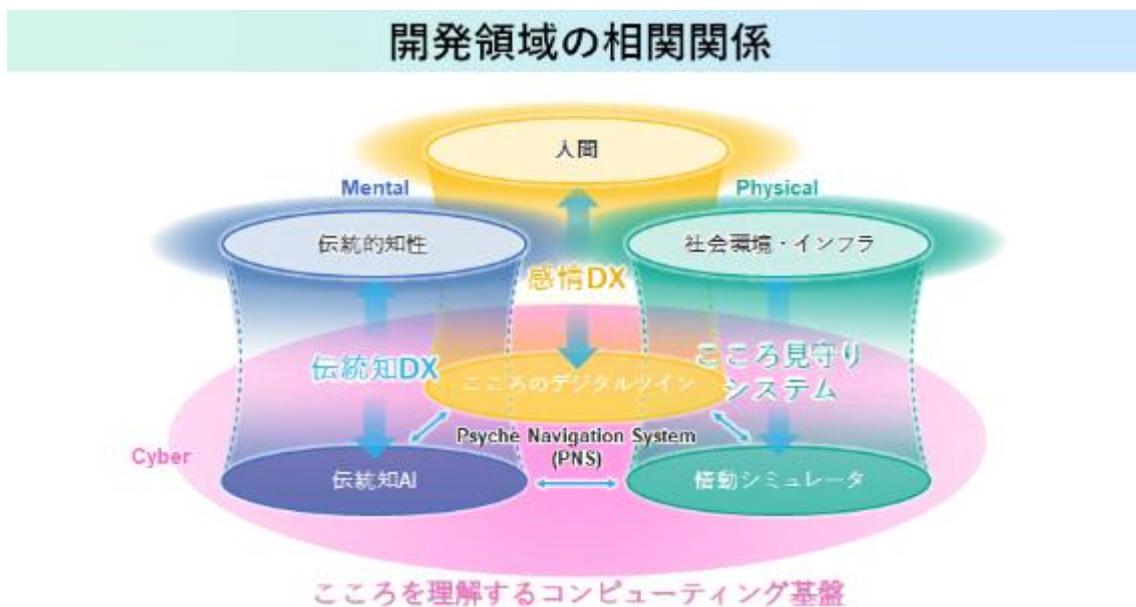
社会は人のこころの集合で形成されている。そうであれば、全ての人のこころを常に見守り、支える環境をインフラとして社会全体に整備すべきである。そのためには、環境と調和し、こころに負荷をかけずに常時サポートするセンサとアクチュエータを理解する必要がある。また、これらを社会全体に展開するためには、広域の社会実装環境で実証実験を通じた技術開発を実施する土壌と、こころの状態に関する情報を安全・安心かつリアルタイムに共有するネットワーク環境を整備する必要がある。

④こころを理解するコンピューティング基盤

こころと社会を導く技術には正確さが要求される。もたらされる結果をあらかじめ予測し、また、向かうべき理想的な社会像を実現する方策の探索に活用可能な仮想空間を構築すべきである。そのために、社会全体の人々のこころの遷移をシミュレートし、サポートするコンピューティング基盤を構築する必要がある。

①と②によって得られるマインド空間の知識と、③で収集されるフィジカル空間の情報を、④によってサイバー空間に集約する。マインド空間の知識に基づき、こころをサポートす

る誘導刺激をサイバー空間上で合成し、フィジカル空間へとアクチュエートした結果を再度サイバー空間で解析することでマインド空間の知識を高度化し、Psyche Navigation System の完成を目指す（図2）。



【図2再掲】

III.1.2. 目標達成に当たっての研究課題

前述の①～④の研究分野において、それぞれ以下の課題を設定し、研究プロジェクトを推進する。

①伝統知 DX によるこころと社会の理想状態の自律探索と自律提示

これまでに蓄積されてきた、宗教、哲学、倫理などのあらゆるテキスト情報について、その意味体系や相関関係をデジタル化する。計算機が、伝統知テキストデータと現代的文脈や生体データを統合した上で、現代社会を生きる人々へ助言を提示し、使用ユーザからの反応を収集することによって、各個人にとってのこころのあるべき姿、社会のあるべき姿を自律的に探索し、個人と社会に対してアイデアを自律提示するコンピューティング技術を開発する。

②多次元感情空間マッピングと感情遷移モデルによるこころの理解

人の感情状態を定量化するための多次元空間を、文献情報（テキスト情報）をベースに構築された“感情表現空間”と身体の生理データおよび感情情報をベースに構築された“身体・環境空間”の2つに分け、これらの写像を取ることで、計測された情報から個人のこころの状態を把握する。感情表現空間では、感情が生じるときにどのような身体的様態やコンテキストが共にテキストとして記載されているか（共起性）に基づいて、感情間の類似

度を、直交座標系を持つ多次元空間上に表現する。身体・環境空間では、マルチモーダル生体センシングと環境情報（コンテキスト情報）によって身体状態を多次元空間状に表現することで、身体状態の観測からこころの状態を把握する。こころをこのような空間上を連続的に遷移する系であると捉えることで、①で伝統知から得られた安寧と活力があるこころの状態をこの空間上に設定し、④のコンピューティング基盤によってこころの状態を導くためのベクトルとして表現することが可能となる。

個人感情の理解に加え、数人から十数人の人が集団として抱く感情（集合感情）の理解をも目指す。集合感情は、必ずしも個人感情の平均ではなく、感情を抱いた人物が集団内でどのような立ち位置にあり、その感情がどのように集団内に伝播していくのかまでも含めて理解しなければならない。したがって、集合感情の理解のためには、単純に個人の感情推定プロセスを複数に拡張すればよいのではなく、集合感情予測ためのプロセスを別のモデルとして開発する必要がある。これを達成することで、③のこころ見守りインフラは個人空間での実装のみならず、複数の人がインタラクションする場においても、集団のこころの安寧と活力ある状態をサポートすることが可能となる。

③こころを見守る社会インフラ

我々は、まだこころを純粹に把握して自然にサポートするために効果的な心理計測・ナビゲーション法を理解していない。こころを外乱なく捉えるための不察知心理センシング技術と人のこころを効果的に導く五感アクチュエーション技術を開発し、生活環境の中に埋没させる環境調和型のこころ見守りシステムを開発する。性別、年齢、生活習慣などのライフログ情報に応じて適切なサポートシステムのカタチを選択できるフレキシビリティを備えた社会インフラ技術を確立する。また、環境に調和するこころのセンシング・アクチュエーション技術の開発と実験のための社会実装環境を住宅、都市開発、自動車メーカー等と協力して整備する。社会実装時に求められる倫理要件を精査し、社会に受容されるセンサ・アクチュエータのあるべきカタチとその導入方法論を研究する。また、こころの情報を公平かつ安心・安全に共有するための強固な情報セキュリティ技術と大量のこころの情報をリアルタイムに集約して適切なフィードバックを行うための高速情報通信インフラ技術を統合したこころのインターネットを開発する。

④こころを理解するコンピューティング基盤

どのような刺激を与えたときに、どのような感情が喚起されるだろうか。こころを所望の状態に維持・制御するためには、こころの反応（つまり、刺激から想起感情の変換過程）を計算論的にモデル化する必要がある（情動シミュレータ）。この開発には大きく分けて以下の4つの課題が存在する。

(i)刺激モーフィング：まず、刺激に対してどのような感情を抱くのか調査するために、刺激を合成する技術が必要となる。例えば、音声であれば抑揚・声質・ピッチなどを独立にモーフィングさせ、どの要素がどんな感情に結びついているかを調査しなければならない。

このために「刺激モーフィング技術」の開発が必要となる。

(ii)刺激・感情の相互変換モデル：情動シミュレータを構築するコア技術である、刺激から感情・感情から刺激への相互変換モデルの構築が第 2 の課題である。これを実現するために、刺激モーフィングで多様な刺激を合成し、被験者の感情を「感情 DX」によってデジタル空間に取り込むことで、刺激と感情のペアをデータベースとして蓄積する必要がある。次に、機械学習モデルを使い、感情から刺激、刺激から感情への相互変換モデルを学習させ、所望の感情を想起させるために必要な刺激の推定を可能とする。

(iii)感情伝播過程のモデル化：人間は社会性を持っており、個人の感情は、その人の周囲に伝播していく。この過程をもシミュレーションすることで、コミュニティ全体の感情を適切にナビゲート出来るようになるだろう。そのために、個人間で感情がどのように伝播するか、その過程をモデル化する必要がある。感情の伝播経路としては、知人（友人・上司・部下）といった人間関係を経由するものと、たまたますれ違った人といった物理的な距離に依存するもの、そして、動画配信サイトなどを介して伝播する経路が考えられ、各々について感情伝播の強さや影響力を調べる必要があるだろう。

(iv)揺らぎを扱うコンピューティングパラダイムの開拓：上記のモデルは全て人間を対象としており、確率的な揺らぎを許容したモデル化が必要であろう。従って、シミュレーションにおいてはモデル化された揺らぎからシナリオを複数生成し、各々に対する予測を得ることが求められる。特に個人間の感情伝播を加味すると、考慮すべきシナリオ数は爆発的に増加するため、これに対応したコンピューティングパラダイムの開拓が必要となる。具体的には、CMOS イジングマシンのような疑似揺らぎコンピュータの開発を進めるとともに、量子重ね合わせによって多数シナリオを並列探索出来るように、情動シミュレーションの量子アルゴリズム実装を検討する必要があるだろう。

III.2. 2030 年・2040 年・2050 年のそれぞれにおける、達成すべき目標（マイルストーン）、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果

III.2.1 2030 年、2040 年、2050 年のそれぞれにおいて達成すべき且つ達成が見込める具体的な目標（マイルストーン）（図 15・図 16）

以下に、30 年間の研究開発、産業化、社会実装における達成すべき目標（マイルストーン）を概説する。

【2030 年】

社会を安寧と活力が共存する状態へと導く「個人」のこころの在り方を提示し、そのこころの状態を定量的に定義した上で、人々の状態を理想的な状態へと導く「個人レベル」の Psyche Navigation System Level 1 (PNS Lv.1)の技術を構築する。PNS Lv.1 によるこころのサポートをサービス提供する PNS スタートアップを起業する。

特に、**2027 年（MS 開始 5 年後）**までには、小規模会議室を用いて、画像・音声・嗅覚刺激を用いて、短時間（数分から 1 時間程度）の感情制御を行うシステム（PNS Lv0.1）を開発し、PNS の短時間的有效性を実証する。**2028 年～2030 年の 3 年間で**、ビジネスホ

テルや大学の短期滞在宿舎を用いて、短期（1日から数日程度）の感情制御を行うシステム（PNS Lv1）を開発し、PNSの短期的有効性を実証する。

【2040年】

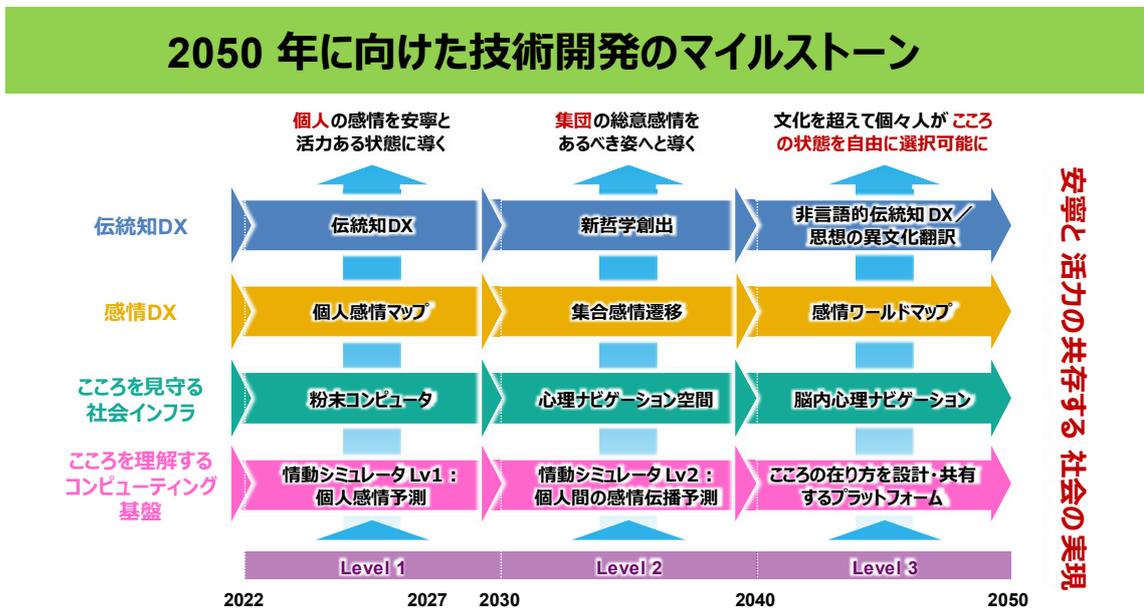
PNSの短期的有効性を確認したのち、住居や長期滞在施設などを用いて、数か月から数年の感情制御を行うシステムを開発し、PNSの中長期的有効性を実証し、実用化する。

PNSスタートアップをユニコーン企業に育てあげ、PNSを社会に流通させる。PNS Lv.1のユーザフィードバックに基づいて、社会に受容される「こころの見守りインフラ」の構成をアップデートしていくことでPNS Lv.1の普及を加速する。

集約された情報を下に、こころのデジタルツインをビッグデータ化し、複数の人間の感情のインタラクションを理解することで、集団内でこころを見守りサポートする「集団レベル」のPNS Lv.2の技術を構築する。

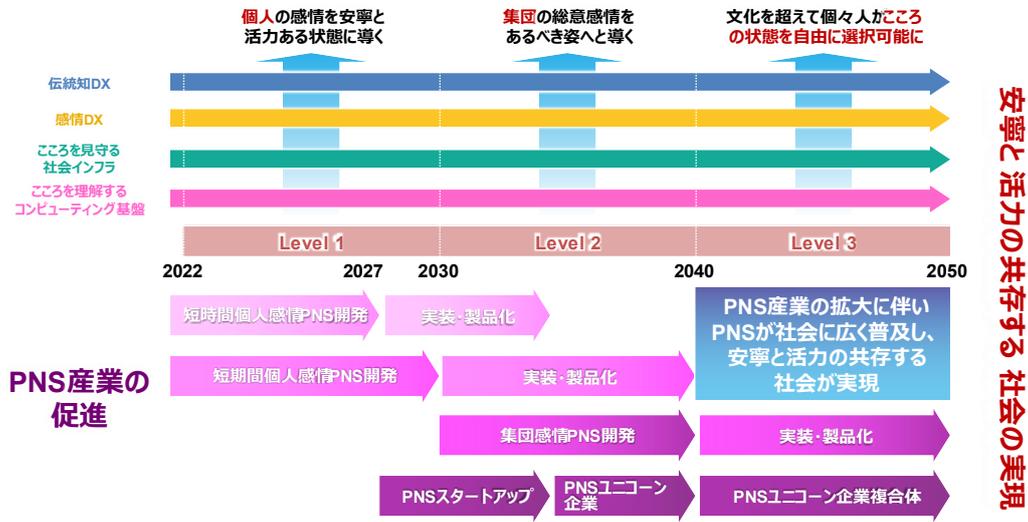
【2050年】

個人のこころのサポートのみならず、教育や合意形成などの集団の感情をサポートするサービスを提供するユニコーン企業複合体を創出し、様々な領域や局面においてPNSユーザのコミュニティを拡大する。世界中のコミュニティにおいて、文化や宗教の違いによる多様性を許容して各コミュニティの様々な局面で、個人と集団の感情をサポートする「社会レベル」のPNS Lv.3の技術を構築し、世界中のコミュニティに安寧と活力をもたらす。



【図 15】 2050 年に向けた技術開発のマイルストーン

2050 年に向けた産業化のマイルストーン



【図 16】 2050 年に向けた産業化のマイルストーン

III.2.2. マイルストーンの達成に向けて取り組むべき具体的な研究開発テーマ

以下に、取り組むべき具体的な研究開発テーマを、10年ごとに概説する。

【2030年までに取り組む具体的な研究開発テーマ】

①多数の宗教書と哲学書を DX し、個人のこころの在り方を自律探索し、人々に自律提示するコンピュータ技術を開発する。意味ベクトル空間を通じて個人の理想心理状態を定義した仮想経典・仮想哲学の創出に繋げる。

以下の 4 つの技術それぞれの精度を高め、より高性能な伝統知ボットを開発し、仮想経典・仮想哲学の創出を目指す。

(i) 伝統知電子テキストの収集：まず、世界三大宗教（仏教・キリスト教・イスラム教）の宗教書、並びに、ギリシャ哲学、インド哲学、中国哲学の哲学書の中から代表的な文献の電子テキストを収集する。続いて、周辺地域の宗教・哲学文献も含め、存在する電子テキストを全て収集する。電子テキストのデータ拡充のための技術ブレークスルーとして、各言語の古文書のスキャン画像データ解析プログラム（OCR 技術）を改良し、古文書画像から「自動的」に電子テキストを作成できるようにする（*但し、手作業での誤植修正が必要）。

(ii) 学習データ作成：まず、代表的な宗教書・哲学書の電子テキストをもとに、Q&A リストをゼロから手作業で作成し、データを手入力して、学習データを蓄積していく。学習データ作成の高速化のための技術ブレークスルーとして、openAI 提供の新アルゴリズム GPT-3 を応用し、電子テキストから自動で Q&A を作成できるアルゴリズムを開発し、伝統知電子テキストから自動的に学習用 Q&A リストを作成する（*但し、手作業での誤植修正が必要）。

(iii)伝統知ボットの製作：仏教対話 AI「ブツダボット」のアルゴリズムを用い、様々な宗教・哲学文献から抽出した Q&A リストを機械学習させ、「伝統知ボット」を製作する。

(iv)伝統知ボットの改良：伝統知ボットを一般ユーザに試用してもらう中で、ユーザからフィードバックを貰い、時代に即した内容の回答ができる 21 世紀バージョンの伝統知ボットへと改良していく。さらに、使用者が、PNS システムを用いて、個人の情報・生体データを伝統知ボットに蓄積させ、個人ごとに適切な回答のできる学習機能を開発することで、既存の助言一律提示型から、個人仕様のボットへと改良する。

②書物や会話のダイアログを DX して感情の状態を多次元空間上にマッピングする。そのうえで、身体の生理状態および環境（コンテキスト）情報と対応付け、サイバー空間上でヒトのこころの現在の状態を表現する。このためには、具体的には(i)感情が生じるときにどのような身体的様態やコンテキストが共起しているかをダイアログから探索、(ii)表情のみならず、体温・皮膚電位・発汗量・心拍ゆらぎ等のマルチモーダル情報を活用、更には(iii)上記マルチモーダル情報の時間変化をも加味出来るよう、既存技術の拡張が求められる。

(i)感情表現空間の構築：感情が生じるときにどのような身体的様態やコンテキストが共起しているのかを、書物や会話のダイアログから探索する。この共起関係を基にして、感情間の類似度が反映される直交座標系で表現する。

(ii)マルチモーダル情報の活用：前述の通り、表情に基づく感情推定は、深層学習の発明に伴い一定の進展を見た。しかし、表情と感情は必ずしも 1 対 1 に対応するものではなく、表情のみからの感情推定は依然として困難を極める。また、表情計測は必然的にカメラでの顔撮像を要求し、プライバシーや撮影されていることがストレスに感じるなどの多様な問題を孕んでいる。そこで、まずは、腕時計型デバイスなどで低コストに取得可能な心拍等の生体情報と、個々人が主観レポートする感情との相関を調査し、どのようなモダリティでどの程度の正確性を持って感情をセンシングできるのか、その関係を明らかにする基礎検討を進める。

(iii)時間相関の活用：こころの状態推定を謳った既存技術の多くは、「こころが記憶を持ったシステム」とあると言う点を無視している。例えば表情認識技術は、現在の瞬時的な表情からこころの状態の推定を試みており、どの様なコンテキストの中で表情が表出されたのかを扱えていない。そこで、数日から数か月という長いスパンにおいて継続的に生体情報をセンシングし、その時々感じた感情と照らし合わせ、大域的な感情変遷の推定を目指す。

③日常的に個人のこころを見守り、サポートするための社会インフラを広域環境に整備する。具体的には、広域の社会環境に埋め込まれたこころのセンサとアクチュエータからなる(i)環境調和型こころ見守りシステム、こころ見守りシステムのあるべきカタチを探索・実証する(ii)社会実装環境、個人のこころの情報を安全・安心かつリアルタイムに収集・集

約するところの情報ネットワーク(iii)ところのインターネットを構築する。

(i)環境調和型ところ見守りシステム：ところを監視されているという意識は、ところに大きなストレスとなる。日常的な生活環境の中に調和することで、ところに不必要なストレスや外乱を与えない、ところのセンシング・アクチュエーションシステムを開発する。またそのようなシステムを社会インフラとして整備するためには、システムのカタチとして多様な人々の要求に応えることのできる多数のオプションを用意する必要がある。センシングの分野では、空間にインプラントできるカメラ、赤外線センサ、レーダー等と、人が普段から身につけている眼鏡、腕時計、指輪等に搭載されたウェアラブルなセンサも、そのオプションとして提示できる。しかし、これらのセンサが心理的・身体的ストレスに繋がる人は少なくない。そこで、センシング対象者に察知されないほどに極小化した粉末センサを開発する。先端の半導体製造技術を用いれば、センシングやコンピューティングの機能は、1mm角以下に小さくできる。課題となるのは、動作するためのエネルギーの供給にあるが、これを環境発電や無線給電によって代替することによって粉末化を達成する。PNS Lv.1では、粉末センサにより体表で測れる生体情報を収集して、ところの状態の推定を行う。アクチュエータについては、日常空間に設置されている照明、空調、音響装置、窓、壁、机、ディスプレイ等に情動シミュレータにより合成された刺激を提示する機能を統合することで環境調和性を高める。

(ii)社会実装環境：ところ見守りシステムを社会インフラとして、広域の環境に整備するためには、自宅だけではなく、オフィス、都市、移動中も含めて利用可能なシステムを整備する必要がある。しかし、それぞれの環境においてところのサポートの効果や、自宅ではない外部環境への技術導入が社会に受容されるかといった倫理問題を評価・検討する土壌がない。そこで、都市開発企業、自治体、自動車メーカーなどと協業して、ところ見守りシステムの実証実験を行う社会実装環境を構築する。技術開発と並行して、ELSI研究者との議論と結果予測を並行して行い、対象となる倫理問題を洗い出し、導入されるところ見守りシステムの社会受容性を評価するのに有効な実験の形態を企画する。実験結果の分析を基に、社会に受容されるセンサ・アクチュエータの仕様へとフィードバックする。

(iii)ところのインターネット：ところの状態とアクチュエータの刺激に応じたところの状態遷移に関する情報をサイバー空間に集約して解析することで、ところ見守りシステムのセンサ・アクチュエータの構成改善、情動シミュレータによる刺激合成の精度向上、PNSプラットフォーム上の新たなサービスの創出へと有効に利用することができる。しかし、ところの状態は、究極の個人情報であり容易に共有することができない。そこで、先端の情報セキュリティ技術を組み込み、安全・安心にところの状態を収集する物理空間の情報ネットワーク環境たるところのインターネットを構築する。末端の端末にところの状態を推定し刺激を合成するエッジAIを実装し、即時性を実現するとともに、ところのインターネットで集約される情報には一定のノイズを付加して個人を特定できないようにする差分プライバシーを適用することで、個人情報を保護する。集約された情報には、Non-Fungible Token (NFT)を発行し、改ざんを防止して適切に保存・管理する。これにより、

社会にとって有益な情報を利活用し、システムそのものの高性能化をできるだけでなく、安心感から PNS プラットフォームのユーザの拡大が期待できる。

④情動シミュレータ Lv1：2030 年までに個々人の情動予測を実現する。具体的には、(i)単一モダリティに限定した条件から開発をスタートし、(ii)複数モダリティの統合へと階層的に研究を展開する。

(i)単一モダリティに特化した情動シミュレータ：五感を単体で刺激したときに想起される感情との対応関係を調べ、機械学習によって双方を結び付けるモデルを作成する。以下に示すように、ディスプレイやスピーカを介しての制御が容易であると考えられる視覚・聴覚から検討を開始し、順次、嗅覚・触覚・味覚へと拡充する。

【視覚】室内環境での照明光（色温度）、プロジェクションマッピングが作る風景・映像と、これらが想起する感情との相関を調査する。視覚アクチュエーションに関しては、住宅メーカーによる照明色デザインや、「デジタル森林浴」等の取り組みが存在するため、これらを活用することで開発の加速が可能であろう。

【聴覚】聴覚は、環境音・音声・音楽へと細分化できる。環境音を用いた感情制御では、雨音・雑踏の音・竹林で笹が擦れる音・森の中で聞こえる小鳥の囀り等を自動合成し、例えばどの程度の雨量の音であれば、感情を落ち着けるのに効果的かを実験的に見出すことが必要であろう。また、音声も F0 基本周波数等をパラメータとして振りながら”説得力のある声”とは何か、”聞いていて落ち着く声”はどんなものか探る必要がある。音楽では、統計的音楽モデリング技術や楽器の音色変換技術を活用して、どの様な音色の、どの様な音階の音楽を聞くと、どの様な感情が誘発されるか、その相関の調査が求められる。

(ii)複数モダリティの統合：嗅覚・触覚・味覚は視覚・聴覚と比較して刺激を提示するアクチュエータが未発達であり、また、時間応答性や空間拡散性に制限があることから、視覚・聴覚との組み合わせによって、感情制御の精密性向上に活用する。

【嗅覚】匂いは感情を効果的に刺激しうるモダリティとして注目されており、店内や自動車の車内空間などに特定の香りを導入することで、企業のブランディングとしても利用されている。また、会議中の音声から参加者の感情を読み取り、議論を活性化するために適した香りを選択・ミストを噴霧するスマート会議室（point 0 marunouchi）の実証も進みつつある。一方で、匂い物質の拡散には時間遅れが発生するため、時々刻々変化する感情の制御には時間応答性が悪いという問題がある。これを解消するべく、時間応答性に優れる他のモダリティ（視覚・聴覚等）と組み合わせ（例えば、雨音と同時に雨の匂いを噴霧する等）を探り、感情制御の精密度向上につなげる必要がある。

【触覚】触覚は全ての生物が持つ基本的な感覚であるために、原始的な感情と結びついているとの指摘は多い（Titchner 1908）。しかし、生存に直結する痛覚としての役割を除くと、触覚によって想起させることができる感情のバリエーションは限定されている。そこで、触覚についても他のモダリティと組み合わせ（例えば音楽に合わせて空気の振動を引き起こす等）、感情制御の正確性を向上につなげる必要がある。

【2040年までに取り組む具体的な研究開発テーマ】

①「伝統知ロボット」に集約された伝統知データを用いて、サイバー空間上で仮想経典・仮想哲学を創出する。創出された仮想経典・仮想哲学の内容を人文科学者が精査し、哲学的にチューニングし直す。現代の人文科学者と「伝統知ロボット」との議論を、人工知能に機械学習させ、現代哲学的な視点も加え、これまでない新たな思想、倫理、道徳を提示する「伝統知 AI」を完成させる。

この「伝統知 AI」を、②集団感情マップと組み合わせ、④情動シミュレータ Lv2 と連動させることで、組織運営を円滑に行うための新時代の倫理観や、社会運営のための新アイデアを抛出し、③こころを見守る社会インフラのサポート範囲の拡充に役立てる。

②多次元感情空間による個人の感情推定から、個人間・集団の感情（集合感情）理解へと進む。このステップでは、個人の感情推定を超えて、2名から十数名程度の集団の理解にまで拡張することを目指す。集合感情の理解の難しさは、必ずしも個人感情の平均ではない点にある。その場にいる人たちが同じ種類の感情（例えば、喜び）を感じているとしても、その強度には違いがあり、集合感情としての強度を推定しなければならない。異なる種類の感情を感じているときには、その組み合わせに応じた理解が必要となる。さらに、リーダー的立場の人はそうでない人よりも集合感情への寄与が大きいことを考えると、集団の中でどのような立場の人が何の感情を感じているのかといった“関係性”も重要な要素として含めなければならない。そのため、集合感情の理解は、個人の感情推定プロセスを単純に複数にしたものではなく、個人の感情推定プロセスに集合感情予測のためのプロセスを上乗せしたモデルとして構築しなければならない。

このための重要なファクターは、“関係性”、“同期”、“伝播”の3つである。i) 明示的あるいは暗黙的な動作などから集団の構成員の関係性を把握し、集合感情の種類や強度の推定に重み付けすること、ii) 集団での協調性が高いほど、動作や生理指標の同期が生じやすいため、これを導入して、集合感情としての強度や集団の統一性、発揮されるパフォーマンスを推定すること、iii) 集合感情の遷移を検討するために、集団のなかでどのように感情が伝播をするのかを明瞭化することが求められる。動作・生理指標の同期については③のセンサシステム部分と協働して、感情伝播については心理実験とともに④の情動シミュレータを併用して開発を進める。さらに、集合感情の意識化が個人の感情に与える影響も検討する必要がある。この意識は“認知モード (cognitive mode)”と呼ばれ、各構成員の“個人”的な側面が強調される状態か、“集団”的な側面が強調される状態かに依存する。特に、集合的側面が強調されている場面において、集合感情から個人感情へのフィードバック経路も検討に入れる必要があるだろう。

これらの研究開発によって、PNS サービスは個人の空間から、複数の人々が協働する空間 (e.g., リビングルーム、会議室、コンサートステージ、チームスポーツ場面) へと拡張することが可能となる。

③こころを見守る社会インフラのサポート範囲を拡大するために、センサ・アクチュエータによるこころの状態推定とサポートの精度と環境調和性を向上する。精度向上の観点では、センサの計測データを人の体表から体内の生理指標へと踏み込んでいくことが重要である。例えば、唾液や涙には、人のストレスや感情の覚醒度に強く相関するタンパク質が含まれており、その濃度を計測する化学物質センサを導入する。2040年時点の先端の製造技術を利用して、粉末センサをさらに小型化した0.1mm角級の化学物質センサを侵襲なく口腔内の歯や目の中のコンタクトレンズに配置できるようにする。この技術は、環境調和性を向上する一つのセンシングのオプションとなり得る。また、コンタクトレンズをディスプレイ化することで外部の物理環境に依存しない視覚への刺激提示も視野に入る。この段階では、倫理問題のみならず、医学的観点から生体適合性や安全性を考慮した研究開発が必要となり、動物実験や臨床試験も求められるであろう。また、ユニコーン企業が展開する、PNSサービスのユーザから使用状況のフィードバックを、こころのインターネットにより回収・解析することで、次世代のセンサ・アクチュエータ開発に生かす。精度と環境調和性をさらに高めた、こころ見守りシステムによりPNSサービスの拡大を促進できる。

④情動シミュレータ Lv2：集団を構成する個人間の情動伝播過程を調査し、これを情動シミュレータ Lv1 に組み込むことで、集団としての情動予測が可能な情動シミュレータ Lv2 を構築する。具体的には、以下の研究課題が考えられる。

(i)汎化モデルの導出：PNSを広く社会実装するためには、個々人の「感情DX」を効率的に実施する必要がある。そこで、個々人に特化した「感情DX」からコミュニティ・社会レベルで普遍的な成分を抜き出し、個人間で変化する部分をモデルパラメータとして置き換えたテンプレートモデルを構築する必要がある。テンプレートモデルは、個人差を客観的に数値として扱えるよう、ベイジアン等の統計モデルに基づくものが望ましいであろう。また、テンプレートモデルを個々人に特化させるにあたっては、幾つかの刺激・感情喚起パターンを取得し、個人の特性を反映したモデルパラメータの導出が必要である。この時に取得すべきデータが少なくなるように、スパースモデリングやアクティブセンシングといった統計モデル化手法の洗練化も求められるであろう。

(ii)個人間の感情伝播過程モデル化：感情がどのように伝播するか、その過程を明らかにする。伝播経路としては、知人関係に基づくもの（関係の近さが伝播を左右）や、たまたま近くに居合わせたといった偶発的なもの（物理的な近さが伝播を左右）、インターネットを介して不特定多数に伝播する場合は考えられ、これらを1つ1つ追跡する必要があるだろう。具体的には数人程度の小さなコミュニティ内での感情伝播を調査し、コミュニティ間、あるいは、人がコミュニティを渡り歩くときに、感情がブロードに伝播する過程を調べる、というように範囲を拡大しながらの調査を展開する。

(iii)揺らぎを扱うコンピューティング基盤の開拓：個々人の感情を完璧に予測することは非常に困難であり、予測誤差（つまり揺らぎ）を前提にしたシミュレータ構築が求めら

れる。そのためには、予測モデルに擬似的に揺らぎを挿入し、複数のシナリオを生成して未来予測する必要があり、計算コストの増大が予想される。更に個々人の相関を含めると想定すべきシナリオは爆発的に増大するだろう。これに対応すべく、揺らぎを持ったモデルのシミュレーションに特化したコンピューティング基盤を開拓・整備する。具体的には、CMOS イジングコンピュータの様に現代の決定論的なコンピュータで擬似的に揺らぎを再現するアーキテクチャの開拓や、量子重ね合わせによって多数のシナリオを同時に探索できる量子コンピュータの活用を試行した量子情動シミュレータの開発が必要となるだろう。

(iv)属性秘匿感情 DX：感情・こころを扱う上で、プライバシーに起因する問題は避けて通れない。そこで、ユーザ自身が隠したい属性のみを隠してデジタル化する属性秘匿感情 DX を開発する。例えば表情の一部や音声を無属性化した上で、感情 DX に入力することが考えられる。更には、感情の中で個人を特定しうる部分が見出されれば、感情空間における無属性化も必要となるだろう。

【2050 年までに取り組む具体的な研究開発テーマ】

①「伝統知 AI」をより深く（垂直的）、より広く（水平的）に活用できるよう、さらに多様なデータを学習させる。感情 DX や粉末センサで回収した生体データなどをもとに、文字化（文書化）されていないノンバーバルな伝統知や伝統的身体技法、伝統的儀礼を定量化し、非言語的な情報も蓄積した、より深みのある「伝統知 AI」に改良する。また、世界各地の伝統知情報を収集し、人工知能に機械学習させることで、「伝統知 AI」の創出するアイデアを、より広く、各文化圏に適合する形に翻訳したうえで提示するシステム（文化翻訳技術）を確立する。

②多様な背景に応じて安寧と活力に満ちた社会へ導くために、多次元感情空間を 2 つの方向に拡張し、汎用感情表現モデルとして提示する。第 1 の方向は世界の文化の違いに適應するためのチューニングである。2040 年までに個人感情と集合感情を表現するためのモデルが完成するため、このモデルを事前知識として使用することで、より少ない情報でも世界の様々な地域や同じ国の中での文化の違い、個人経験の違いに合わせた形にチューニングすることを可能にする。第 2 の方向は、モデルが説明できるドメインの拡張である。2030 年までに個人空間における個人の感情、2040 年までに数人～十数人が協働する空間での集合感情を対象としているが、用途はまだ限定されている。具体的には、より大規模な（社会と呼ばれるような）集団における集合感情表現の構築や、①の開発で明らかになった新たなこころの在り方や、③において新たに開発されたセンサとの対応を踏まえ、モデルが適應できるドメインを拡張し、汎用感情表現モデルへと発展させる。

③環境に調和するこころセンサ・アクチュエータの究極のカタチとして、脳内でのニューロンの電気信号のセンシングと、ニューロンへの刺激信号の直接フィードバックが考えられる。現在でも、てんかん発作の検出と静止を行う脳内デバイスや、脳と電氣的にコンタ

クトする Brain Machine Interface は、実用化されつつあり、利点と安全性が実証されれば、脳内でのこころ見守りシステムの実現も視野に入る。粉末センサは、カテーテルよりも十分小さいサイズであり、物理的な挿入に困難はない。脳の活動範囲を正確に判断するための活性化ニューロン部位を特定するレーダーと、必要個所に刺激信号を挿入するためのステミュレータの開発が必要になる。

④理想的なこころの在り方を設計・共有するプラットフォームの構築：2040年までの研究開発で、「シチュエーションに応じて服を着替えるかの如く、個人の状況に合わせてこころを着替えられる」社会を実現するコア技術が揃う。しかし、こころにどのような服を着せるか（つまり、運動時には気分を盛り上げる、勉強時には集中をサポートするといった制御指針）は、伝統知に基づくテンプレートを核に用いるものの、ユーザが自ら試行錯誤して見つけ出す必要があった。PNS の社会実装を進める上で、ソフトウェアとなる「こころの制御指針」をユーザが自由に公開できるプラットフォームが必要不可欠であろう。また、服の売買によって多種多様なデザインの服が世の中に溢れるようになったように、プラットフォームを介して「こころの制御指針」を売買することで、多種多様な「こころ」が流通できるようになるだろう。この実現にあたっては、「こころの制御指針」が安全か否か、つまりウイルスに該当する機能が埋め込まれていないか、を客観的に評価する仕組みが必要となる。具体的には情動シミュレータに第三者が作った「こころの制御指針」を組み込み、様々な刺激に対する応答を調べることで、犯罪などの社会に損害を与える行動を誘発することが無いか調べる必要があらう。検証すべき刺激パターンは膨大なものとなることが予想されるため、コンピューティング基盤の更なる拡充に加えて、危険なパターンを重点的に調査できるサンプリングアルゴリズムの開発が必要となる。

III.2.3. マイルストーンの達成が社会にもたらす効果

マイルストーンの達成が、社会にどのような効果をもたらすか、以下の 3 段階で解説する。

【2030 年】

個人の感情を安寧と活力ある状態に導く技術（PNS Lv.1）が確立され、いじめや誹謗中傷などの他者への不当な攻撃の抑制、他者からの不当な攻撃を受け流すレジリエンシーの醸成、うつ状態や緊張状態からの解放による社会、経済、文化の活性化のための基盤技術が形成される。

【2040 年】

PNS Lv.1 の産業化を進めることで、PNS の社会普及が進む。さらに、集団の感情を安寧と活力ある状態に導く技術（PNS Lv.2）が確立され、集団内の合意形成のサポートを通じて、コミュニティの well-being を実現するベンチマークを提示できるようになる。

【2050年】

PNS 産業を拡大し、PNS Lv.2 を社会の様々な局面において実用化させ、PNS を世界的に普及させる。体内環境（脳・細胞）を用いた計測・アクチュエート技術、異文化翻訳技術などを兼ね備えた「PNS Lv. 3」が確立され、PNS を用いて世界を安寧と活力ある状態に導く。

III.3. 目標達成に向けた国際連携の在り方

PNS の開発を進めるに際し、以下の国際連携を進める。

【伝統知】すでに代表的な宗教書や哲学書の原典の多くは、すでに電子テキストが存在し、現代語訳も入手可能である。近年、電子テキストのオープンソース化が進んでいるため、すでに電子テキスト化された文献データは、今後も増加するであろう。他方、写本のスキャン画像データは、小規模なデータベースが世界中に散在しており、それら全てを統合するデータベースは存在しない。本プロジェクトでは、各国の宗教学者・哲学研究者と連携し、散在する写本の公開スキャン画像データを収集し、伝統知写本統合データベースを作成する。

【感情研究】文化に根差した感情をもとに多次元感情空間を作成するためには、各文化において個別に検討が必要である。はじめに、日本および研究の盛んな英語圏・欧州語圏で根幹となる検討を実施する。これは、機械学習によるテキスト分析や、心理実験のための基盤が整っているためである。同じ国内でも地域や個人によって異なる可能性が考えられるが、最初の段階では過剰なチューニング（fine-tuning）を避け、多次元感情空間のおおよその形（どの程度文化間で異なるのか、どの程度のユニバーサリティがあるのか、どのくらいのデータ数が必要なのか）の理解を得る。これをオープンにすることによって、同じ国内のより小さな地域のためのチューニング手法の開発や、ほかの文化圏・言語圏の研究者・企業の参入を呼び込み、適応可能な地域を増やしていく。

【センサ技術・AI】科学技術は、国家や地域に依存しない普遍性があり、技術の展開や応用が容易な分野である。最新の技術を積極的に導入するために該当技術分野でアクティビティの高い国との戦略的な国際連携を検討する必要がある。特に、AI 技術に関しては、開発のペースが非常に早い。感情制御の AI プログラムなどは、サービスを展開した場合にアルゴリズムの秘匿は難しくなるため、オープンソース化して国際的なコミュニティで開発を加速する必要がある。センサ技術をはじめとするハードウェアの開発には、公開される論文や特許には、表現されないノウハウが重要な場合が多い。有益な情報交換が可能な国との選択的な連携が求められる。

【幸福研究・政策】大石(2009)や内田(2020)などが紹介しているように、1990年代以降、特に心理学分野において幸福の科学的な研究が急増している。本プロジェクトでは、PNS をプラットフォームとし、国内外の幸福研究者と連携しながら、社会的課題の解決に取り組む。幸福政策を進める代表的な国家としてブータン王国が有名である。ブータンでは、国民総幸福（GNH）政策にもとづき、王立ブータン研究所が中心となり、GNH の国勢調

査を実施している。本プロジェクトでは、幸福政策や社会実装に関する情報を、王立ブータン研究所と共有しながら、共同研究を進める。

III.4. 目標達成に向けた分野・セクターを越えた連携の在り方

当該 MS 目標達成に向けて、以下の分野において連携を進める。

学術：現在、大学・企業の多数の研究者と共同研究の連携を進めている。大学においては、企業では実施しにくい基礎研究を着実に進める。五感刺激アクチュエータを含む製品開発については、大学の研究者のみならず、メーカー企業の研究者の積極的参画も促し、社会実装実験のためのインフラも提供してもらう。また、PNS 研究開発メンバーが中心となり、伝統知・人文知を活用した文理融合研究のための学術的プラットフォームを構築し、研究者間での連携と情報共有を進め、よりインパクトのある文理融合研究のムーブメントを作る。

政界・行政：伝統知とテクノロジーの融合により、第 6 期科学技術・イノベーション基本計画に即した形でさらにそれを効果的に推し進める。文部科学省の学術企画室・人文社会科学振興室とも協働しながら、PNS を主軸とした「人文科学主導」の文理融合研究により、「総合知」の創出を進める。さらに、PNS の社会実装に向けた議論を進め、国内外の自治体とも連携を深め、大規模な調査や実装実験を実施する。

産業：利他的なビジネスに共感する企業を募り、PNS をプラットフォームとした新たな産業シーズを生み出す。「和」を基調としたスタートアップを育て、日本発のユニコーン複合企業体を創出する。PNS 産業共同体を作り、産業構造を、自利的な奪い合い型から、利他的な助け合い、与え合い型へとシフトさせる。

文化：形骸化し、市民のニーズに応えられない状態になった伝統文化や宗教をサポートするため、伝統文化や宗教の担い手と協力しながら、PNS を実装させていくことで、人々の幸福につながる伝統文化・宗教へと変容させる。それにより新たなフォロワーを増やすことで、文化や宗教を活性化させ、社会を文化的に成熟させていく。

III.5. ELSI (Ethical, Legal, Social Issues)

(目標達成に向けて取り組むうえでの倫理・法的・社会的課題及びその解決策)

PNS が完成すれば人類に大きな利益をもたらすことになる。しかし、開発や社会実装に際しては多くの倫理的、法的、社会的課題が存在する。

仮に良い方向にであっても、人の感情を人工知能でサポートするという行為がどこまで許されるのか、市民の意識調査も含め、倫理的に検証していく必要がある。現実的には、II-1.2 で確認されたようなアンケート調査を通じて市民が許容可能な程度までを、個人と社会に実装していくことになる。但し、将来的な社会実装を視野に入れ、技術開発そのものは進めて行く。

また、PNS が人の心身にもたらす効果について、医学的・生物学的に検証を行う必要がある。すでに、マインドフルネスや仏教瞑想などが心身に与える影響については実験結果

が発表されているため、それらのデータも参考にする。

被計測者から生体データを回収することに関し、被計測者の抱える不安や、データ流出のリスク・セキュリティ対策について、過去の流出問題なども検証したうえで、法・倫理的議論を行う。

また、PNS の社会実装に際し、障害となる諸要件について、法・政治学者、倫理学者、行政・立法関係者、さらに市民を交えて議論を重ねていく必要がある。

古き伝統知文献にはジェンダー差別的な表現が含まれており、情報をそのままの形で現代社会に適用することには問題がある。哲学的・宗教学的に、伝統知情報を現代社会の文脈に合わせた形に翻訳しなおす作業が必要となる。

IV. 結論

本調査研究の背景には、現代社会のこころの問題が存在する。テクノロジーや情報技術が日進月歩で発展し、物質的・情報的に豊かになりながらも、いまだ、こころの幸せは実現できていない。結果、自殺者数やうつ病患者数は減少せず、SNS 上では誹謗中傷が飛び交い、自殺をする若者まで現れている。

そこで、本研究グループは、伝統知とテクノロジーを融合し、人々のこころと社会に安寧と活力をもたらす Psyche Navigation System (PNS)の開発を実施することにした。ミレニア・プログラムでは、PNS の具体的な開発計画を策定するとともに、PNS のもたらす社会的意義、経済効果、技術・学術イノベーションについて調査を実施した。

本調査を通じて、PNS の開発が進み、PNS 産業を促進し、個人、集団、社会に広く実装していくことで、人と社会の安寧と活力が高まり、学術、産業、文化、知性に大きなイノベーションを起こすことが実行可能であることがわかった。

PNS は、伝統知とテクノロジーの融合を通じて、伝統知DXを加速させ、これまでにない「総合知」を創出し、人と社会のウェルビーイングを高める大きな可能性を有することが判明した。これは、PNS は現在わが国が進める「第6期科学技術イノベーション基本計画」と合致し、大きく加速させる点で、わが国の科学技術政策に大きな貢献をもたらす。

また、「人文科学不要論」が叫ばれるようになって久しいが、いまだ人文科学側から有効な打開策は示し得ていない。それに対し、PNS は、人文科学と最先端科学の融合研究により、人文科学にも新たな可能性をもたらし、人文科学の価値を高め、文系研究を活性化させる学術振興にも寄与することが明らかになった。

二次資料の調査を通じて、こころの不幸により、多数の社会・経済損失が存在することが判明した。わが国の自殺者数は世界でも10位以内に入り、極めて深刻な状況が存在している。また、自殺やうつ病、犯罪や児童虐待などによる経済損失は数十兆円にのぼる。また、人の心に関わる産業市場は数兆円にのぼり、国内だけでもメンタルケア市場が極めて大きいことが分かった。また、ジェンダーの平等や社会の多様性が改善された場合、わが国のGDPを大きく押し上げる可能性があることも分かった。PNS が完成すれば、自殺・うつ病、不平等・差別などの社会課題を解決するとともに、大きな経済効果をもたらす可能性が高い。さらに、メンタルヘルス以外にも、コンサルティング、教育産業など様々な産業分野で、特に感情ビッグデータを用いた新たなビジネスの創出が期待できる。

利他的なビジネスに共感する企業を募り、PNS をプラットフォームとした新たな産業シーズを生み出し、「和」を基調とした日本発のユニコーン複合企業体を創出する。PNS 産業共同体を通じて、自利的な奪い合いの利潤追求型から、利他的な助け合いによる利潤追求型へとシフトさせることで、日本が主導して、新たな産業構造を構築できる可能性を検討した。

近代化や情報化が進む中、一部の伝統文化や宗教は、形骸化し衰退しつつある。また、伝統知の一部には現代の価値観と対立するものもあり、そのままの形では現代社会に応用することが困難なケースも存在する。そうした状況を打開するため、伝統文化や宗教の担

い手と協力しながら、PNS を実装させて時世に即した形で幸せ効果を高めることで、人々の幸福につながる伝統文化・宗教へと変容させ、新たなフォロワーを増やし、文化や宗教を活性化させ、社会を文化的に成熟させていく可能性も検討できた。

以上、本調査を通じて、PNS の開発、産業化、社会実装により、人々と社会の安寧と活力が大いに実現できると結論づけられる。

V. 参考文献

和文文献

- 有元裕美子(2011). 『スピリチュアル市場の研究 データで読む急拡大マーケットの真実』. 東洋経済新報社.
- 池上正樹(2010). 「自殺や精神疾患による経済損失は年間約 15.2 兆円? 対策を怠ってきた日本が被る“大きなツケ”」. *Diamond Online*, <https://diamond.jp/articles/-/9555>.
- 内田由紀子(2020). 『これからの幸福について—文化的幸福観のすすめ』. 新曜社.
- 大石繁宏(2009). 『幸せを科学する—心理学からわかったこと』. 新曜社.
- 金子能宏, 佐藤格(2010). 「自殺・うつ対策の経済的便益 (自殺・うつによる社会的損失) の推計の概要」. 国立社会保障・人口問題研究所社会保障基礎理論研究部, <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000000qvsy-att/2r9852000000qvuo.pdf>.
- すららネット(2012). 「「小中高生の幸福度」とは? ~小中高生の幸福度調査~」. PR TIMES, <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000016.000003287.html>.
- 内閣府経済社会総合研究所幸福度研究ユニット(2011). 「国民生活選好度調査からみた幸福度」. 第2回幸福度に関する研究会, <https://www5.cao.go.jp/keizai2/koufukudo/shiryou/2shiryou/2.pdf>.
- 堀井摩耶, 山川奈織美, 曾木美希, 井上芽実, 樋口美穂(2020). 「より多くの日本の女性リーダーの躍進を目指して」. McKinsey & Company, マッキンゼー日本支社, <https://www.mckinsey.com/jp/~media/McKinsey/Locations/Asia/Japan/Our%20Insights/Mobilizing%20Women/Mobilizing-Women-in-Japan-to-Step-Up.pdf>.

欧文文献

- Awad, E., Dsouza, S., Shariff, A. Rahwan, I., & Bonnefon, J.-F. (2020). Universals and variations in moral decisions made in 42 countries by 70,000 participants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117*, 2332–2337.
- Barrett, L. F. (2017). *How Emotions Are Made: The Secret Life of the Brain*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Diener, E., Emmons, R. A., Larsen, R. J., & Griffin, S. (1985). The Satisfaction with Life Scale. *Journal of Personality Assessment*, *49*, 71–75.
- Ekman, P. (1971). Universals and cultural differences in facial expressions of emotion. *Nebraska Symposium on Motivation*, *19*, 207–283.

- Kumagai, S., Furuya, T., Higashifushimi, K., Yasuda, A., Matsushita, T. G., Kameyama, T., & Hasegawa, Y. (2021). Using traditional wisdom with AI (Buddhabot) to establish a “Psyche Navigation System.” RIEC International Symposium, When AI Meets Human Science: The 4th Tohoku – NTU Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies, On Zoom.
- Lee, Y., Kim, G., Bang, S., Kim, Y., Lee, I., Dutta, P., Sylvester, D., & Blaauw, D. (2012). A modular 1mm³ die-stacked sensing platform with optical communication and multi-modal energy harvesting. *International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers*, 2p.
- Markus, H. R., & Kitayama, S. (1991). Culture and the self: Implications for cognition, emotion, and motivation. *Psychological Review*, 98(2), 224–253.
- Misra, S., & Stokols, D. (2012). Psychological and health outcomes of perceived information overload. *Environment and Behavior*, 44(6), 737–759.
- Russell, J. A., Weiss, A., & Mendelsohn, G. A. (1989). Affect grid: A single-item scale of pleasure and arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(3), 493–502.
- Seo, D., Neely, R. M., Shen, K., & Singhal, U. (2016). Wireless recording in the peripheral nervous system with ultrasonic neural dust. *Neuron*, 91(3), 528–539.
- Sorokowska, A., Sorokowski, P., Hilpert, P., Cantarero, K., Frackowiak, T., Ahmadi, K., Alghraibeh, A. M., Aryeetey, R., Bertoni, A., Bettache, K., Blumen, S., Błażejewska, M., Bortolini, T., Butovskaya, M., Castro, F. N., Cetinkaya, H., Cunha, D., David, D., David, O. A., . . . Pierce, J. D., Jr. (2017). Preferred interpersonal distances: A global comparison. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 48(4), 577–592.
- Sturgill, R., Martinasek, M., Schmidt, T., & Goyal, R. (2021). A novel artificial intelligence-powered emotional intelligence and mindfulness app (Ajivar) for the college student population during the COVID-19 pandemic: Quantitative questionnaire study. *JMIR Formative Research*, 5(1), <https://formative.jmir.org/2021/1/e25372>.
- Thomson, R., Yuki, M., Talhelm, T., Schug, J., Kito, M., Ayanian, A. H., Becker, J. C., Becker, M., Chiu, C.-Y., Choi, H.-S., Ferreira, C. M., Fülöp, M., Gul, P., Houghton-Illera, A. M., Joasoo, M., Jong, J., Kavanagh, C. M., Khutkyy, D., Manzi, C., . . . Visserman, M. L. (2018). Relational mobility predicts social behaviors in 39 countries and is tied to historical farming and threat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(29), 7521–7526.
- Titchener, E. B. (1908). *Lectures on the Elementary Psychology of Feeling and Emotion*. MacMillan.
- Ueda, Y., Otsuka, S., & Saiki, J. (2021). A three-level approach to understand cultural variability and the evolution of human attention. *Psychologia*, advanced in online. <https://doi.org/10.2117/psysoc.2021-B015>.
- Usami, M., Tanabe, H., Sato, A., Sakama, I., Maki, Y., Iwamatsu, T., Ipposhi, T., & Inoue, Y. (2007). A 0.05×0.05mm² RFID chip with easily scaled-down ID-memory. *International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers*, 2p.
- Williamson, J., & Eaker, P. E. (2012). The Information overload scale. *Proceedings of the 75th Annual Conference of the American Society for Information Science & Technology*, Baltimore, 26-30 October 2012, conference abstract.
- Woetzel, J., Madgavkar, A., Ellingrud, K., Labaye, E., Devillard, S., Kutcher, E., Manyika, J., Dobbs, R., & Krishnan, M. (2015). The power of parity: How advancing women’s equality can add \$12

trillion to global growth. McKinsey & Company, McKinsey Global Institute, https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/employment%20and%20growth/how%20advancing%20womens%20equality%20can%20add%2012%20trillion%20to%20global%20growth/mgi%20power%20of%20parity_full%20report_september%202015.pdf.

Woetzel, J., Madgavkar, A., Sneader, K., Tonby, O., Lin, D., Lydon, J., Sha, S., Krishnan, M., Ellingrud, K., & Gubieski, M. (2018). The power of parity: Advancing women's equality in Asia Pacific. McKinsey & Company, McKinsey Global Institute, <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Gender%20Equality/The%20power%20of%20parity%20Advancing%20womens%20equality%20in%20Asia%20Pacific/MGI-The-power-of-parity-Advancing-womens-equality-in-Asia-pacific-Executive-summary.pdf>