

OS-25

Affective Computing

Affective Computing

熊野 史朗
Shiro Kumano

NTT コミュニケーション科学基礎研究所
NTT Communication Science Laboratories
shirou.kumano.yc@hco.ntt.co.jp

寺田 和憲
Kazunori Terada

岐阜大学
Faculty of Engineering, Gifu University
terada@gifu-u.ac.jp

鈴木 健嗣
Kenji Suzuki

筑波大学
Faculty of Engineering, University of Tsukuba
kenji@ieee.org

Keywords: affect, emotion, computing, subjective, behavior, physiology.

1. はじめに

Affective Computing は 1990 年代に Picard 教授（マサチューセッツ工科大学 Media Lab）が提唱した分野であり、機械に人の感情を理解させる、機械を感情的に振る舞わせる、機械に感情をもたせることを基本目標とする [Picard 97]。ここで、この分野における Affect とは、気分 (mood)、情動 (emotion)、主観的感情体験 (feeling) などを包括する概念としての感情を指し (大平英樹 [大平 16] の言う感情に近い)、このため Affective Computing は感情計算論などと訳すことができる。人の心に計算論的アプローチで迫ろうとするこの分野は、心理学、認知 (神経) 科学、生理学、情報学、社会学、哲学、経済学など幅広い分野にまたがる学際分野である。ことに人工知能は、人の感情の自動推定に (も) 使える優れたアルゴリズムを構築してきただけでなく、幸福、驚き、後悔といった人の進化的な感情を学習モデル自体に取り入れてきており、Affective Computing の中核と言っても過言ではない。Affective Computing の黎明期には、コントロールされた心理実験下で得た喜び、怒り、悲しみといった基本感情カテゴリーや感情価・覚醒度などの基本感情次元の自動推定が主な研究対象だった。だが、近年では、機械学習技術の発展に加えてオンライン実験、ウェアラブル生体センサ、データロギングの普及で、より実環境に近い条件下でのデータ取得や、痛み、うつ、ストレス、共感といったより高次の対象をも扱うようになってきており、ウェルビーイングを支援するための重要な一分野として位置付けられている [Calvo 14]。

Affective Computing は国際的には、旗艦会議として International Conference on Affective Computing and

Intelligent Interaction (ACII) が存在する。2 章で詳しく述べるが、ACII はここ数年で特に伸びてきており、かつ、今回は 2021 年秋に初めて日本開催となるなど注目に値する国際情勢にある。関連分野の人工知能分野でも、深層学習の発展と多数の公開データセット (例えば [Weber 18, Zhao 19] にまとめられている) のおかげで、画像、音声、テキストなどからの感情推定研究の障壁が低くなり、今やホットトピックの一つになっているといえよう。

しかし、日本国内では関連研究が他分野に分散しておりその全体像はつかみにくいと云わざるを得ない。人工知能分野では、感情に関するセッションとして、例えば、2019 年度人工知能学会全国大会でのオーガナイズドセッション、本年の大会での企画セッションや一般セッションで「感情と AI」などが開催されている [日永田 19]。だが、Affective Computing という計算論的アプローチを主テーマに扱った企画はこれまでほとんど存在しない。数少ない例外として、感情心理学分野での特集論文 [片平 17] や、本筆頭著者が企画・開催した第 13 回日本感性工学会春季大会 (2018) での企画セッションなどがあげられる。後者では、著者のうち 2 名を含む 6 件の発表を招待ベースでプログラムを構成した。参加者の方々から一定の興味を得たという感触の半面、Affective Computing の特徴である計算論的アプローチへのフォーカスをより鮮明にする必要があるとの結論に至った。

このため、我々は人工知能学会全国大会にその場を移すことにした。機械学習はじめさまざまな研究が行われる人工知能という分野において Affective Computing に特化したセッションをもつことで、Affective Computing の研究発展や人工知能分野との相乗効果が得られるのではないかと考えたわけである。こうして、2020 年度人

工知能学会全国大会にて「Affective Computing」と題したオーガナイズドセッション（以下、本 OS と呼ぶ）を企画し、一般発表を募集し、発表や議論による知識共有を通じて Affective Computing の現状や人工知能分野との関係をより明確にするとともに、今後 Affective Computing が進むべき方向について考察・共有するきっかけとなり得る場をもつこととなった。

今大会は奇しくもオンライン開催となったため、我々はオーガナイザとして事前の心配が当然あった。だが、それをよそに、結果的には、常に 60～75 名程度の方々に参加いただき、いずれの講演・発表に対しても多くの質問やコメントをいただいていた大変活発に議論が行われた。それだけ多くの方に興味をもっていただいた証であり、OS として一定の成功を収めたと考えている。本解説記事を書かせていただいた背景もそこにある。

本解説記事は以下の構成からなる。まず、2 章では、Affective Computing 分野を代表する国際会議 ACII の動向を整理する。次いで 3 章では、本 OS の招待講演と一般発表を概説する。最後に、4 章にて本解説記事のまとめを行い、今後の Affective Computing の発展の方向性や可能性について簡単に考察する。

2. 国際会議 International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)

ACII は The Association for the Advancement of Affective Computing (AAAC) が主催する Affective Computing に特化した国際会議である。2005 年より隔年で開催されており、北米、欧州、アジア・パシフィックをおおむね順番に回っている。トピックは感情全般であるが、主観・行動・生理のすべてをカバーしており、画像・音声・テキスト・脳活動・生理反応・行動といった単一・マルチモーダル情報からの個人やグループの感情計測や推定、感情的に振る舞うバーチャルエージェント・ロボットの構築、主観・行動・生理データ取得方法の構築やデバイスの考案、心理モデルの提案、公開データベースやアノテーション・分析ツールの構築など多岐にわたる。この分野で目立つのは、上述のマサチューセッツ工科大学、カーネギーメロン大学、南カリフォルニア大学などの米国勢、次いでロンドン大学、ケンブリッジ大学、インペリアルカレッジロンドンを中心とする英国勢であり、残りは日本を含めて混沌としている。

米国サンアントニオにて開催された ACII 2017 では、投稿 170 件、発表 84 件、参加者 200 名であった。ACII 2017 を含みそれまでは、発表件数（日本からの発表件数を含む）や参加者数など会議の規模は安定していた。だが、英国ケンブリッジ大学にて開催された翌 ACII 2019 では、投稿 265 件、発表 108 件、参加者は 315 名を超えるなど急激な成長を遂げた。採択率については、

59% だった ACII 2013 までは高めに設定されていたが、これは投稿論文の平均的な質の高さと関連研究者が一堂に集う機会の提供のためと聞いたことがある。その後は、55% (2015)、49% (2017)、41% (2019) と年々減少している。近年のこれらの数字の変化を見るに、名実ともに AC 分野の旗艦会議として確立されてきているといえよう。

このような状況の中、我々 3 名はリードオーガナイザの一員として ACII 2021 の日本誘致に成功した。これまでアジアでは中国のみで 2 回開催された ACII が初めて日本で開催されることで、日本の Affective Computing 研究コミュニティにとって大変良い転機となると信じている。本記事を執筆した 2020 年 8 月時点では、ACII 2021 を 2021 年 9 月 29 日～10 月 1 日にかけて奈良春日野国際フォーラムで開催すべく準備を進めている。論文投稿期限は 2021 年 4 月の予定である。もちろん、今後の新型コロナウイルスの感染状況次第では、他の多くの会議同様、オンライン開催や延期の可能性も否定できないため、ACII 2021 の Web サイト (<http://acii-conf.org/acii2021> の予定) などを通じて最新動向に注意されたい。

3. 本オーガナイズドセッションの概観

上述の背景をもとに、本 OS 「Affective Computing」では、招待講演 1 件 (40 分間)、8 件の一般発表 (各 20 分間) でプログラムを構成した。実際には、一般発表として 14 件の投稿があった。興味深い研究ばかりであったが、関連性やテーマのバランスなどを考慮しつつ、最終的にオーガナイザが筆頭の 2 件を含む 8 件を選択させていただいた。枠の制約のためにやむを得ずプログラムに組み込めなかった 6 件の著者の方々にはこの場を借りて深くお詫び申し上げたい。結果として全体でカバーするテーマは、感情モデル 1 件、感情推定 2 件、データ獲得法・解析法 3 件、高次認知・応用 2 件となった。また、計算論的手法としては深層学習、ベイズ推論・最適化、項目反応理論、データ駆動解析をカバーし、モダリティとして視覚情報、音声情報、身体反応、行動を扱い、OpenFace [Baltrusaitis 18] や FACET といった表情解析器、Amazon Mechanical Turk を用いたオンライン実験、大規模データ解析などを含んでいる。もちろんすべてを網羅しているわけではないが、8 件という限られた発表で Affective Computing における重要な要素を一定程度カバーしたものとなっている。

以下では、招待講演と一般発表を順に概説する。

3.1 招待講演 [大平 20]

招待講演として、名古屋大学の太田英樹教授に「内受容感覚の予測的符号化と感情と意思決定の創発」と題してご講演いただいた。ご講演では、まず、感情の文化

普遍性と特異性などの基本的知見から、内受容感覚の予測符号化についてご説明いただいた。内受容感覚とは内蔵、自律神経系、免疫系などの身体内部の信号に関する脳内処理と、その結果生じる感覚を意味する。予測符号化とは内的モデルに基づく感覚刺激の予測と実際の感覚信号を比較することで、能動的に知覚を発生させる脳の働きである。予測と感覚入力精度をそれぞれ確率分布として表現することで、予測と感覚入力の統合による主観的な知覚はベイズの定理による更新によってモデル化することができる。また、予測符号化の脳内基盤として、鳥による内受容感覚の予測処理、強化学習により担われる学習や意思決定と内受容感覚との関連についてご説明いただき、内受容感覚を基盤として価値や報酬、学習、意思決定、身体状態の制御を統一的に理解する理論的枠組みを実際のデータを示しながら紹介していただいた。さらに、畏怖についての内受容感覚とその統合についての最新の知見についてもご紹介いただいた。感情の基盤部分に関するとても広範囲にわたる計算論的アプローチに基づく知見や成果を交えたご講演は、これからの **Affective Computing** を考えるオーガナイザにとってはもちろん、多くの参加者にとっても大変示唆的なものとなったはずである。

3.2 一般発表

1) モダリティを統合した DNN による感情の数理的表現 [原田 20]

原田らは、ロボットが感情を扱うための感情の数理的表現をいかに獲得するかの研究発表を行った。まず、画像や音声といったモダリティから基本感情カテゴリーを認識する DNN において、出力層の直前の層を感情空間と定義した。そして、演技された感情表出のデータセットを用いて、単一モダリティを用いて獲得される感情空間にはモダリティ間で違いがあり、かつ、両モダリティを統合したマルチモーダルなネットワークによりそれらの統合空間が獲得できる可能性を示唆した。マルチモーダル感情認識は **Affective Computing** 分野でも主要トピックの一つであるが、単一モーダルとマルチモーダルで獲得される層の比較結果は大変興味深いものであった。

2) マルチモーダル感情喚起推定と ASMR 動画解析への応用 [于 20]

日永田らも深層学習を用いたマルチモーダル感情推定に関する研究発表を行った。ただし、感情表出を対象にした原田らの研究 [原田 20] に対して、映像から喚起される感情を対象としている点が異なる。提案モデルはファインチューンされたマルチモーダル感情推定の畳みニューラルネットワーク (CNN) の出力を長短期記憶ニューラルネットワーク (LSTM) で統合したものである。さらに、最近注目されてきている **Autonomous Sensory Meridian Response (ASMR)** 動画に対して

提案モデルを適用し、推定された喚起感情と視聴者行動との関係性について分析して有望な結果を得ている。**Affective Computing** のメインテーマである感情推定を **ASMR** 動画に対する視聴者行動の予測にまでつなげた点に特に面白さと新しさを感じた。

3) 表情を入力とした感情の逆評価によるベイズ意図推定 [寺田 20]

寺田らは、特定の意図、状況において人がどのような表情を表出するかというモデルを人がもっており、そのモデルを用いたベイズ更新によって、人がオンラインで相手の意図を推定していることを繰り返し囚人のジレンマ課題を用いて検証する実験について発表した。意図推定実験の結果と知識を用いたベイズ更新によって得られた予測値を比較することで、人が知識を用いて意図推論していることの妥当性を検証した。実験結果によって、人が知識を用いてベイズ意図推論を行っていることのある程度の妥当性が確認されたが、より複雑なモデルを用いている可能性が示唆された。本研究は **Affective Computing** の計算モデルとして有望な予測符号化を社会的状況における意図推定に適用したものであり、感情の社会的機能の計算モデル化に寄与するものとして今後の発展が期待される。

4) 情動評定値からの回答スタイル除去法 [熊野 20]

熊野らは、**Affective Computing** を含め感情研究でよく使われる主観評定に含まれる、内容にかかわらず特定のカテゴリーを選択する個人の傾向である回答スタイルが種々の解析に与え得る影響に注目し、代表的な回答スタイルである極端反応傾向と中心反応傾向を、項目反応理論をベースに統計的に除去する方法について発表した。情動認知課題を用いた実験により、日本人の中心反応傾向を再現するとともに、回答スタイルの影響により感情評価の信頼性の基準の一つとしてよく用いられる評定者間一致率が過少に見積もられる可能性を示唆した。個人が与えた評定値からその人の真の感情状態やその認知により迫る可能性をもつ枠組みとして今後の発展や応用が期待される。

5) 自然・意図表情を対象とした人の情動認識 vs 機械の情動認識 [難波 20]

難波は、表情から情動を認識する人工知能は、人の情動認識と比べて現在どれほどの程度まで達成されているのか、という読者の多くが抱くであろう問いに対する研究発表を行った。iMotions の表情解析ソフトウェア **FACET** を用いて、種々の公開表情データセットから集めた自発的に表出された表情と意図的に表出された表情の両方を含めて評価した。その結果、人と機械の成績を平均値で比較すると大きな違いは見られなかった。だが、人独自の解釈方法の可能性を統計モデリングによって明らかにするなど、表情認識を用いたさまざまな **Affective Computing** の応用システムに対して重要な示唆を与える結果であった。

6) 顔から読み取れる印象と感情のデータ駆動計算モデル化 [中村 20]

中村は、これまでの仮説検証型の心理学研究とは異なり、近年利用しやすくなった大規模データを活用して事前の仮説の制約を受けることなく顔を構成する多次元的な物理特徴とそこから読み取れる印象や表情の関係をモデル化するデータ駆動型の計算モデル化研究の発表を行った。提案の枠組みにより、顔印象や表情が、顔形態とその動的変化、表面特徴など、多様な顔特徴の複雑な組合せによって規定されていることを明らかにした。

7) ガウス過程順序回帰による生物の気持ち悪い配色の探索

城下ら [城下 20] は、自然界に存在する視覚的警告として毒を有する生物のもつ警告色・危険色と、それに対する人の気持ち悪さの評価の関係を、逐次的実験計画などで用いられるベイズ最適化手法としてのガウス過程順序回帰を用いてモデル化した。提案法により個人ごとに推定された評価関数を平均化したときのピークとなった配色特徴を、平均的な人が気持ち悪いと感じる配色特徴とした。

中村の研究 [中村 20] と城下らの研究 [城下 20] は、どちらも、視覚特徴と人の感情評価との間の複雑な心理物理関係の解明や推定という似た大きな目標に向かってのもの、異なるアプローチをとっており、このような多方面からの取組みは、日常的に見られる微妙で複雑な感情表出を人がどのように認知するか解明やその自動推定につながる重要なステップになり得る。

8) 対話エージェントを用いた認知行動療法の有効性検証

設楽ら [設楽 20] は、認知行動療法 (CBT) 自動化のための音声対話システムの利用可能性に関する発表を行った。音声対話システムにより、CBT セッションの時間をテキスト対話システムと比べて短縮できることに加えて、表情解析研究のデファクトスタンダードともいえる OpenFace [Baltrusaitis 18] を用いて自動検出した表情 Action Unit (AU) のうちの抑うつ傾向を表す AU と、自述する否定的感情の強度との間の相関といったシステムの効果を示唆する結果を示した。Affective Computing 技術が機械による心理療法の効果測定に使える可能性を示した点は非常に興味深く、このような実世界への応用研究が今後ますます増えるものと予想される。

4. おわりに

本解説記事では、2020 年度人工知能学会全国大会の OS 「Affective Computing」の概説に加え、Affective Computing 分野とその旗艦国際会議である ACII についての解説を行った。

本 OS は招待講演と各一般発表が相互に関係しつつも総体として幅広い要素、計算論、目標をもつものとなっ

たが、それでもなお Affective Computing のうちの一部をカバーしているに過ぎない。例えば、今回の発表にはなかった実環境下での検証へのシフトも必要である。特に実場面での精度はまだ高いものとはいえないため、精度向上のための機械学習的な研究が依然として必要とされる。さらに、文脈や年齢・個人差などの考慮、感情の言語化・カテゴリー化における文化差の考慮、感情の表出と認識の両方を扱うインタラクション解析といった研究の重要性がさらに増すと予想される。また、本 OS の一般発表では扱えなかったが、もちろん神経科学的なアプローチも必須である。これらの難しくも面白い問題を山積みであるが、そこを超えた先には社会的な生活を営む人の QoL やウェルビーイングに直結し得る技術の実現が期待される [Calvo 14]。だからこそ Affective Computing への関心が高まっているはずである。

その一方で、技術が発展すればその悪用や乱用を避ける必要性も高まるわけであり、人工知能の倫理に続き、Affective Computing の倫理についても真剣に考えなければならぬ時期に来ている。実際、ACII 2019 では「Affective Computing and the Misuse of "Our" Technology/Science」と題したパネルディスカッションが行われ、また、我々は ACII 2021 のテーマを「Ethical Affective Computing」と掲げている。Affective Computing の倫理の議論はまだ始まったばかりであり、人工知能の倫理の専門家との連携も必要であろう。

我々は本 OS のような取組みを今後も継続する予定である。本記事が読者の方々の Affective Computing についての理解を深める一助となり、結果的により多くの方々に Affective Computing について興味をもっていたらと著者冥利に尽きる。併せて、たくさんの方々に ACII 2021 への投稿と参加を検討していただくと幸いである。

謝 辞

本 OS の講演・発表者の皆様、活発な質疑に貢献していただいた方々を含む参加者の皆様、2020 年度人工知能学会全国大会を運営いただいた皆様に深くお礼申し上げます。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Baltrusaitis 18] Baltrusaitis, T., Zadeh, A., Lim, Y. C. and Morency, L.-P.: OpenFace 2.0: Facial Behavior Analysis Toolkit, *Proc. IEEE Int'l. Conf. Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2018)* (2018)
- [Calvo 14] Calvo, R. and Peters, D.: *Positive Computing: Technology for Well-being and Human Potential*, MIT Press (2014) (渡邊淳司, ドミニク・チェン 監訳: ウェルビーイングの設計論, BNN (2017))
- [原田 20] 原田誠一, 佐久間拓人, 加藤昇平: モダリティを統合した DNN による感情の数理的表現: 感情空間の次元数が認識・単一化タスク性能にもたらす影響, 2020 年度人工知能学会全国大会 (第 34 回) 予稿集, 4F2-OS-25a-02 (2020)

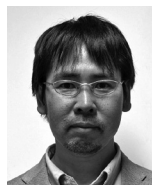
- [日永田 19] 日永田智絵, 堀井隆斗, 長井隆行: 感情と AI, 人工知能, Vol. 34, No. 6, pp. 881-887 (2019)
- [片平 17] 片平健太郎: 計算論の視点から見た感情, エモーション・スタディーズ, Vol. 3, No. 1, pp. 18-24 (2017)
- [熊野 20] 熊野史朗, 野村圭史: 情動評定値からの回答スタイル除去法, 2020 年度人工知能学会全国大会 (第 34 回) 予稿集, 4F3-OS-25b-01 (2020)
- [中村 20] 中村航洋: 顔から読み取れる印象と感情のデータ駆動計算モデル化, 2020 年度人工知能学会全国大会 (第 34 回) 予稿集, 4F3-OS-25b-03 (2020)
- [難波 20] 難波修史: 自然・意図表情を対象とした人の情動認識 vs 機械の情動認識, 2020 年度人工知能学会全国大会 (第 34 回) 予稿集, 4F3-OS-25b-02 (2020)
- [大平 16] 大平英樹: 価値・予測・誤差—社会性を支える意思決定システム—, エモーション・スタディーズ, Vol. 2, No. 1, pp. 46-55 (2016)
- [大平 20] 大平英樹: 内受容感覚の予測的符号化と感情と意思決定の創発, 2020 年度人工知能学会全国大会 (第 34 回) 予稿集, 4F2-OS-25a-01 (OS 招待講演) (2020)
- [Picard 97] Picard, R. W.: *Affective computing*, MIT Press (1997)
- [設楽 20] 設楽一碩, 田中宏季, 足立浩祥, 金山大祐, 阪上由香子, 工藤 喬, 中村 哲: 対話エージェントを用いた認知行動療法の有効性検証, 2020 年度人工知能学会全国大会 (第 34 回) 予稿集, 4F3-OS-25b-05 (2020)
- [城下 20] 城下慧人, 小森政嗣: 生物の気持ち悪い配色の特徴: ガウス過程順序回帰による検討, 2020 年度人工知能学会全国大会 (第 34 回) 予稿集, 4F3-OS-25b-04 (2020)
- [寺田 20] 寺田和憲, ドゥメル・セルス, グラッチ・ジョナサン: 表情を入力とした感情の逆評価によるベイズ意図推論, 2020 年度人工知能学会全国大会 (第 34 回) 予稿集, 4F2-OS-25a-04 (2020)
- [Weber 18] Weber, R., Soladié, C. and Séguier, R.: A survey on databases for facial expression analysis, *Proc. Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISAPP)*, Vol. 5, pp. 73-84 (2018)
- [于 20] 于 楊, 日永田智絵, 堀井隆斗, 長井隆行: マルチモーダル感情喚起推定と ASMR 動画解析への応用, 2020 年度人工知能学会全国大会 (第 34 回) 予稿集, 4F2-OS-25a-03 (2020)
- [Zhao 19] Zhao, S., Wang, S., Soleymani, M., Joshi, D. and Ji, Q.: Affective computing for large-scale heterogeneous multimedia data: A survey, *ACM Trans. Multimedia Comput. Commun.*, Article 93 (2019)

著者紹介



熊野 史朗

2009 年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。博士 (情報理工学)。同年、日本電信電話株式会社入社。2016 ~ 17 年 University College London での Honorary Research Associate を経て、現在、NTT コミュニケーション科学基礎研究所主任研究員、筑波大学システム情報系客員准教授。感情計算論 (Affective Computing)、特に対人行動計測や感情推定に関する研究に従事。Asian Conference on Computer Vision (ACCV 2007) Honorable Mention Award をはじめ各賞を受賞。IEEE、電子情報通信学会各会員。



寺田 和憲 (正会員)

1995 年大阪大学工学部精密工学科卒業。2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。2000 年独立行政法人通信総合研究所特別研究員。2002 年岐阜大学工学部応用情報学科助手。2007 年同助教。2014 年同准教授。現在に至る。2018 ~ 19 年 University of Southern California 客員研究員。ヒューマンエージェントインタラクション、認知科学の研究に従事。日本認知科学会、ヒューマンインタフェース学会、日本ロボット学会、IEEE、ACM 各会員。



鈴木 健嗣 (正会員)

2003 年早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了。早稲田大学理工学部助手、筑波大学大学院システム情報工学研究科講師、准教授を経て、現在、筑波大学システム情報系教授。人工知能、サイバニクス、人支援ロボット、発達支援研究に従事。1997 ~ 99 年伊ジェノヴァ大学客員研究員。2009 年仏カレッジ・ド・フランス客員研究員。2016 年ヒューマンインタフェース学会論文賞。IEEE、ACM 各会員。博士 (工学)。