

## 生理研サテライト拠点

知覚の脳メカニズムを明らかにする基礎研究からモデル化を通じた社会実装と、社会性に関わるような人間的で複雑な情報をとらえる科学的アプローチによる基礎研究の現実社会への応用を目指しています。

### プロジェクトリーダー

萩原 一平 (株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所 フェロー)

### リサーチリーダー

井本 敬二 (自然科学研究機構 理事)

### 参画機関 (令和3年度現在)

自然科学研究機構生理学研究所  
 横浜国立大学  
 京都大学  
 北海道大学人間知・脳・AI研究教育センター  
 沖電気工業株式会社  
 東海光学株式会社  
 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所  
 トヨタ紡織株式会社  
 株式会社ゼンショーホールディングス



## 情報を入力とするヒトと機械が融合する こころ豊かな社会を目指して ～科学と工学をつなぐ COI～

生理研サテライト拠点 プロジェクトリーダー  
 萩原 一平 (株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所 フェロー)

### ■ IT の進化が創る科学の深化

COI STREAM が始まった 2013 年からこの 8 年間で社会は大きく変わっています。新型コロナ禍の全世界への蔓延、第 3 次 AI ブームの到来と DX に向けた展開、誰もが予想しなかったことが予想しなかった速さで進み、社会を変えています。このような変化の中で、良くも悪くも情報の価値が高まり、情報の創出、伝達、交換、蓄積、解析というプロセスが重要になっています。

今、私たち人間はこの社会変化、そして情報化のスピードについていだけで精一杯になっています。ある意味、環境の変化、技術の進化に人間が適応できていないとも言えますが、一方で、環境と人間をつなぐ技術が人間に適応できていないとも言えます。技術は人間の環境への適応戦略ですので、未熟な技術では環境の変化に十分適応できないということです。

技術を進化させ人間に適応させるためには二つの重要なポイントがあります。一つは、人間、そして脳に関する科学の深化です。そして、もう一つは技術としての IT の進化です。

IT の進化により、様々な解析、そしてシミュレーションが可能になり、人間について今までわからなかったことが解明されるようになってきました。

生理研 COI-S 拠点 (以下、生理研拠点) の取組みは、まさに進化する IT を活用し科学を深化させ、人間を理解し、その成果を社会に還元するためのプロジェクトです。

### ■ 共感コミュニケーションの実現をめざして

生理研拠点では、我が国における脳科学研究をリードし多くの研究成果を有する生理学研究所と、先端的な AI、IT の研究開発を行なっている横浜国立大学、そして事業に向け研究成果を活用する企業とが One Team となり取組みを続けています。

テーマは、人間の行動や状態変化を推測し、ロボットやアバターに人間同士のコミュニケーションにおける共感反応と同じような反応を誘発させる「共感コミュニケーション」技術です。

現在、商用化されている多くの製品やサービスでは、まだ捨象されている人間の特性が多くあり、機械による人間とのよりインタラクティブで心豊かなコミュニケーションを実現するには、この捨象されている特性情報を活用していくことが必要です。

具体的には、顔の微表情認識技術、集団におけるコミュニケーション可視化技術、自然なコミュニケーションを実現するソーシャルロボット (VR ロボット)、XR 技術を活用した次世代のヒューマンインタフェース技術を開発しています。

生理研拠点に参加している企業は、これらの技術を積極的に自社の事業に適用すべく、ユーザーフレンドリーな次世代ヒューマンマシンインターフェースの開発、高付加価値の眼鏡開発、新たな自動車体験の創出、満足度の高い外食体験の創出に向けた研究開発を行っています。

### ■ 基礎研究から社会実装までのシームレスな体制の構築

これらの研究開発を社会実装に結び付けることは、科学研究者と工学研究者、そして企業が One Team となって初めて実現可能なチャレンジです。生理研拠点では、脳科学の知見や方法論を組み入れ、工学的なアプローチをし、さらに社会実装できるような研究開発を進めることでより高い精度の実現を目指しています。

研究者の「できる (解明する)」と企業の「つかえる (事業化する)」には大きなギャップがあり、One Roof、One Team で研究者と企業とのコミュニケーションを活性化し、価値観や考え方の違いを互いに理解し、プロジェクトのゴールを共有していくことが重要です。

生理研拠点では、生理学研究所と横浜国立大学の開発した技術を円滑に社会実装につなげる仕組みづくりにも注力してきました。具体的には、脳科学の産業応用を目指す応用脳科学コンソーシアム (2020 年度より一般社団法人化) と連携し、研究者と企業が共感コミュニケーション技術の社会実装や研究開発について協議する研究会を組織し継続的に活動をしています。

基礎研究シーズを理解することで企業において社会実装のアイデアが洗練・具体化されるとともに、社会実装ニーズを理解することでより実践的な研究シーズを発掘するという好循環を形成するよう努めています。

### ■ ポスト COI に向けて

人間は環境の変化に適応するために技術を生み出してきました。そして、その背景には科学的研究や工学的開発の成果があります。基礎研究なくして応用研究なし、応用研究なくして社会実装なし、そして、社会還元を理解することでより充実した基礎研究ができます。

このプロセスは短期間で成果が出るものではなく、また成果が約束されているものでもありません。しかし、その継続が人間の環境への適応を可能にできたのです。

社会の変化スピードがますます速くなる中、短期的に成果が出にくい研究や開発は研究者も企業も自助努力だけで取り組むのが難しくなっています。

それゆえ、COI STREAM のようなプロジェクトは国として取り組む価値が高いと言えるのではないのでしょうか。

#### 萩原 一平プロフィール

1978年 三菱電機株式会社入社  
 1991年 株式会社日本総合研究所入社  
 1997年 株式会社 NTT データ経営研究所入社  
 2001年 横浜国立大学大学院非常勤講師、2004年より同客員教授 (継続)  
 2010年 応用脳科学コンソーシアムを創設、事務局長  
 2017年 大阪大学招へい教授 (継続)  
 2020年 株式会社 NTT データ経営研究所フェロー  
 一般社団法人応用脳科学コンソーシアムを創設、理事・事務局長



## 脳科学研究を未来社会に活かす

生理研サテライト拠点 リサーチリーダー  
井本 敬二 (自然科学研究機構 理事)

### ■COIの基本的な考え方

COI STREAMの基本的な研究戦略は、大学などの研究機関（以下、大学）の研究者と企業の研究者が協力して10年先、20年先の社会を予想し、その未来社会に必要な技術・社会環境を作り上げて行こうというものです。この未来社会で予想されることは、おそらく現在よりは格段に情報化・機械化・ロボット化が進み、多くの人にとって便利で快適な社会です。現在でも既にその傾向は顕著になってきています。身近な例は、電車の切符です。昔は対面で切符を購入し、改札口で切符に鉄を入れてもらいました。それが切符の発券と改札口は機械化され、さらに今ではカード式が一般的となり、切符を購入することさえほとんどなくなってしまいました。このように社会は10年程度の間劇的に変化するので。

ではこのような変化は人々の暮らしをより快適にしているのかと問うてみると、必ずしもそうではないかもしれません。また急激な変化についていけない人々を生み出していることも事実です。できるだけ多くの人に受け入れられ、より優しい機械化・ロボット化を進めるにはどうすればよいのでしょうか。違った見方をするなら、もしそのような優しい機械化・ロボット化ができれば、それは一つの経済的価値となりうるはずで。

高度化していく社会で人々が暮らしやすい環境を作っていくには、ヒトが周りをどのように感じて判断をしているかを知ることが役立ちます。ここには長年にわたって蓄積されてきた脳神経科学の知が活用できると期待されます。

### ■現在の脳科学研究

ヒトは、五感（視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚）を介して周囲の情報を取り入れ、その情報に基づいて判断し行動しています。近年の生命科学の進歩により、脳を構成する分子や細胞の知識は飛躍的に増大し、脳の神経細胞の情報交換のしくみについても分子のレベルでの理解が進んでいます。しかし物質的な理解が進んでも、脳の機能は複雑な構造の上に成り立っているため、感覚情報の取得から認知、行動にいたる過程はまだ十分に理解されたいはえません。

脳の情報処理機構の研究は、長年、地道な基礎研究によって進められてきました。例えばマカクザルの脳のいろいろな部位の神経細胞から活動を記録することにより、眼球から伝わった視覚情

報がどのように処理されているかが明らかになってきています。また現在では、磁気共鳴画像装置(MRI)を用いて、ヒトの脳内の情報処理がかなり可視化できるようになっています。

### ■サリエンシー計測システム

ヒトでは、五感のなかでもとりわけ視覚は重要な位置を占めており、脳科学研究でも視覚研究は進展が著しい研究領域です。眼球からの視覚情報は、大脳の後頭葉にある視覚野で処理され、その後、頭頂葉と側頭葉で並行的に処理されます。この経路のほかに、眼球からは脳幹の上丘へ視覚情報が送られます。この経路は進化的には古いもので、眼前の物を回避する反射運動などに関係しています。この反射的な運動を引き起こす視覚的要素は、いわゆるサリエントな（目立った）部分であり、景色の画素を色、輝度、方向などの成分に分解して定量的に扱うことができます。

このCOIプログラムでは、サリエンシー計測を視線計測と合わせてリアルタイムで表示・解析するシステムを開発しました。サリエンシー研究はこれまで主に実験室内で行われてきましたが、このシステムを用いることにより、日常的な環境で視線が引き付けられる要素を定量的に計測できるようになりました。このシステムは、商業環境・労働環境などの改良の手助けとなる便利なツールです。

このサリエンシー計測は、研究面でも新しい課題にアプローチする手段として利用できます。たとえば、サリエンシーと視線の動きが解離する部分では、知識・記憶などより高度な情報が関連していると考えられます。また素人と名人の視線のちがいがどこにあるかを調べていくのも面白い課題です。いわゆる職人技の秘密も、定量的に計測することが可能となるかもしれません。

### ■ヒト対ヒト（またはロボット）の脳科学

社会生活ではヒトとヒトの関係が重要です。未来社会ではこのヒト対ヒトが、ヒト対ロボットに代わっていくのかもしれませんが、そのようなロボットにはどのような機能が必要なのでしょう？ここでは単純に感覚を受け入れるだけでなく、無意識であっても相互に情報がやり取りされ、それを担う脳の機能があるはずで。

このようなヒト対ヒトの脳科学研究は新しい研究分野ですが、MRIを用いてヒト対ヒトの脳活動を測定すると、脳活動は個体間で同期することやそれに関わる脳の部位が明らかになってきて

います。また瞬きなどの体動がキューとして個体間の同期に関係することがわかってきています。

ヒト対ヒトの場合、私たちは無意識的にも相手の表情を読んで判断の材料にしています。ロボットにも同じようなことが可能でしょうか。最近の機械学習を用いることにより、実験室条件では表情の認識がかなりの正確さで可能となってきています。表情の読み取りは、ヒト対ロボットの高度化に不可欠な要素と考えられ、私たちも開発を進めていますが、乏しいと言われる日本人の表情を日常の測定条件（マスク、メガネ、横向きなど）で読み取るには、いろいろな技術を組み合わせる必要があると。

日常生活ではMRI計測をすることはできませんが、映像でキューとなる動作（瞬き、うなずきなど）を解析することにより、ヒト対ヒトの関係を定量的に計測することが可能となります。このような計測は、例えば、会議や講義での充実度の評価や改善のための手がかりとなるでしょう。

### ■大学の知を活かす

人間社会の進歩の原動力は“知”であり、大学の役割は知を生み出していくことです。知の創造は、偶然性やセレンディピティに依るところがあり、ある研究が知の創造に結びつくかは、必ずしも予見できるものではありません。

これまで大学の産学連携の手法は、実用化できそうな研究成果を探し出し、それを企業に提供するという手法でした。このような手法は、特殊な作用・性質を示す化学物質などには有効です。しかしこれらは大学などが有する知の一部にしか過ぎません。

COI STREAMでは、大学と企業がOne roofで共同研究ということが謳われています。協力して未来の社会を考え、多様な角度からの考えで議論することにより、これまで注目されていなかった知を活用する道が開けるかも知れません。

大学と企業では、基本的な考えや目的が異なります。また知的財産に関する取り扱い方も大きく異なります。しかし大学と企業で、よりよい未来社会を作ろうという点では共通点が見出せるはずで。One roofの共同研究を通して大学と企業の相互理解を深めることにより、両者がWin-Winの関係となり、より一層大学の知を活用することが期待されます。

井本 敬二プロフィール  
1976年 京都大学医学部卒  
1980年 国立療養所宇多野病院 医師  
1985年 京都大学医学部 助手  
1995年 岡崎国立共同研究機構 生理学研究所 教授  
2013年 自然科学研究機構 生理学研究所 所長  
2019年 自然科学研究機構 理事  
脳神経科学が専門



## 2 統合解析パッケージ



# Real-time visual saliency

### Why do we look? Where do we look? Introduction to the hidden world of visual attention.

私達は常に目から情報を得ています。その中で「見よう」と思って見ている割合はどのくらいでしょうか？

見ようと思っていないのにいつの間にか目を向けていたり、見たはずなのに記憶に残っていないものがあったり、「見る」ということの理解はまだ未開拓で、それを知ることで多くの気づきをもたらします。

Real-time visual saliencyでは画像を分析(計算)することで、視界の中で目を引く所を検出したり、ヒトがどこに目を向けるかを予測することができます。無意識のうちにやっている注意や視覚的な特性を見える化することで、あなたの視覚の世界に新しい発見をお届けできるかもしれません。

注意の可視化の基礎研究から現実社会への応用展開  
産学  
生理研サテライト拠点とKANSEIコンソーシアム企業の協同により社会実装が実現しました。



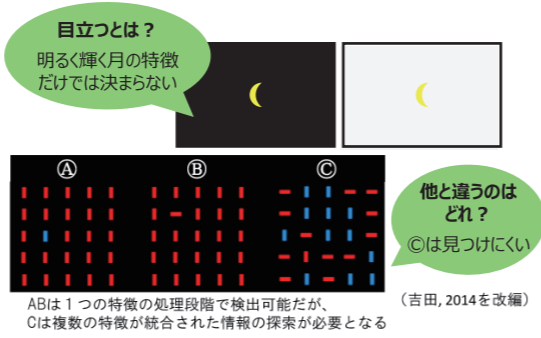
Real-time visual saliencyは視覚的注意の学術研究で用いられる”Saliency map”にリアルタイム処理技術を施して、視線計測技術と統合することで、リアルタイムで”Saliency map”と視線の同時計測を1台のラップトップパソコンで可能にしたシステムです。

Saliency【サリエンシー】とは、感覚刺激がボトムアップ性注意を誘引する特性を指します。言い換えると、目立ちやすさ(顕著性)、私たちが自動的に視線を引き付けられるような特性を指します。Saliencyはその物体自体の特性だけで決まるわけではありません。右上の図を見ると、月は明るいからといって目立つ(”Saliencyが高い”と表現されます)とは言えないことがわかります。右中央の図では、他とは違うものを探そうとした時、AとBに比べて、Cは見つけにくいことがわかります。このようにSaliencyは物体自体の特性だけでなく、まわりの存在によっても変化します。

このSaliencyを2次元のマップにしたものがSaliency mapです。画像の中からSaliencyの要因となる明るさ、色、動きなどの特徴を検出し、それらを使ってマップとして計算したものです。これは元々、心理学やコンピュータビジョンの世界で提唱されてきた概念で、1998年に実際の画像から計算できるプログラムとして実装されて以降、様々な実装が世界中で展開されています。

Saliency mapの特性を利用することで、【目立つ部分】を定量化し、そこから人が【どこに目を向けるか】【どこに注意をひくか】を予測することができます。このことから、人の特性や行動に繋げることができ、カスタマーに見てほしい部分に視線を誘導するデザインやより快適・安全な環境設計等へ応用されています。(saliency mapの詳細が知りたい方は、参考文献「吉田,2014」をご覧ください。)

このSaliency mapを実社会で使いやすいようにシステム化したのが、Real-time visual saliencyです。Windows搭載のラップトップパソコン1台で、計測から解析まで簡単に操作できるようにしたことで、実社会での応用範囲を拡大しました。様々な現場や用途でReal-time visual saliencyをご利用いただくことで、無意識のうちに人が行っている注意や視覚的な特性を発見できるかもしれません。その新しい気づきによる視点の変化・価値観の革新が、新しい商品開発・サービスの提供に繋がることに貢献できれば幸いです。



## 製品版のご案内



### ●ユーザフレンドリーなパッケージの販売を予定しています。

Real-time visual saliencyは、1台のラップトップパソコンでプログラムの専門知識がなくても手軽に使っていただけるユーザフレンドリーなパッケージを2021年度中に販売を開始する予定で、準備を進めています。

このツールは「視線解析」のソリューションとして、多くの方にお勧めできると考えています。

### ●販売開始後は、サービスを充実させます。

販売開始後は、COISTREAM事業内で開発した機能の他、ユーザーのニーズに応じたカスタマイズや追加機能の開発にもお応えしていく予定です。また、使用に関するサポートも充実していけるように準備を進めています。

お問い合わせ先 生理研サテライト拠点担当 (山崎)  
(株)NTT データ経営研究所 (山崎)  
email:yamazakik(at sign)nttdata-strategy.com



### Real-time visual saliencyの特徴

※製品版では改良に伴い、変更されることもございます。

#### リアルタイムで結果が見える

人が見ているシーンのSaliency mapをリアルタイムで計算して、フィードバックする技術を開発しました。みんなでリアルタイムに結果を見ながら改善策を検討したり、結果に応じて条件を変えながら検討する等の活用も可能です。

#### 活用場を拡大

ラップトップパソコン1台で、データの記録・解析ができるようにしました。ポータブル化したことで、店舗や車室内といった社会環境での作業中、幅広い場面で利用できます。

#### 実際に見た所と比較できる

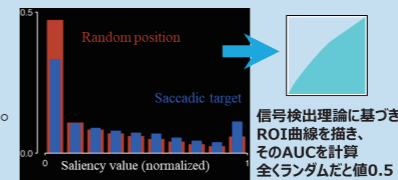
視線との同時計測を可能にしたことで、Saliency map(シミュレーション)と視線(人が実際に見ている箇所)を比較することができます。

#### 専門知識がなくても大丈夫

このパッケージでは、プログラムの専門知識がない人にも手軽に使っていただけるような配慮をしています。販売開始後は使用に関するサポートも充実することで、より多くの方にとって使いやすいものになっていきます。

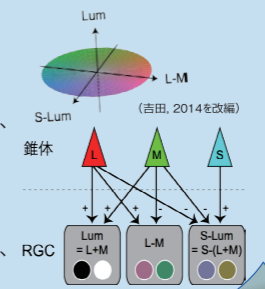
#### 視線に対するボトムアップ注意の寄与度がわかる

解析では、Salientな刺激に実際に目を向けている程度(AUC: area under the curve)値を検出することができます。AUCを見ることで実際にどの程度Saliencyの高い部分を見ているかがわかります。



#### アカデミアの知見に基づいた開発

大学・研究所で視覚や注意に関する脳機能研究等を行なっている研究者の知見に基づいて開発されました。例えば、Saliency mapに用いる特徴量は、研究者の知見に基づき、網膜の神経節細胞(脳へ信号を送る部分)で行われる情報処理に基づいたDKL色空間によって、輝度(Lum)、赤緑(L-M)、青黄(S-Lum)という3つの特徴をモデルに入れることで、生物学的に妥当なモデルにしています。



#### 企業視点でのツール改良

KANSEIコンソーシアムの多業種の企業が実際に研究開発で試用し、現場で必要な条件を取り入れた仕様となっています。これにより、実社会における適応領域が拡大され、企業の方にも使いやすいツールとなっていると思います。「以前からSaliency mapに興味があった」「視線解析のソフトを探していた」という方の取っ掛かりとしても十分にご満足いただけるクオリティとなっています。

## 応用事例

私たちがヒトの行動を理解しようとする時、その経験や知識に基づく予測が「先入観」として働き、アイデアの幅を狭めてしまうことがあります。このようなトップダウン的な要素をヒトが行なう判断から取り除くことは難しいといえます。そこで、ボトムアップ的な特性を捉えるReal-time visual saliencyを使うことで、ヒトの判断とは違った視点からの理解を得ることができます。Real-time visual saliencyはヒトのより原始的な処理と関係しており、ヒトが無意識的に行っていることを捉えられる可能性があります。

ここでは、COI STREAM事業において、Real-time visual saliencyやsaliency mapの技術を利用した【新しい見方・気付き】【感覚的だったことの形式知化】の事例をご紹介します。

### ●見せたいものを見てほしい!

カスタマーに見て欲しい部分に視線を誘導するデザインになるよう、店舗のレイアウトや商品デザイン等に活用しています。

Real-time visual saliencyは、メガネをかけるだけでデータが取れるので、カスタマーの購買時により近い自然な行動を見ることが出来ます。ある店舗では、店内に設置した陳列棚の装飾部分が目立っており、商品に目が向けられにくくなっていったことがわかりました。そこで、装飾を抑え、陳列の仕方を工夫したレイアウトに変更しました。

Real-time visual saliencyを用いたことで、人の動線や実際の動きを観察しながら、陳列に対する照明の当て方を変えたり、店舗全体の雰囲気を変えないようにバランスを取りながらデザインすることができました。

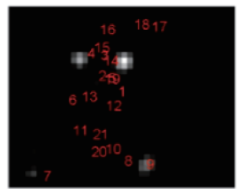


検証前のレイアウト 検証後のレイアウト

### ●プロはどんな見方をしているのか?

エキスパートの行なう製品検査の特徴を知るために、Real-time visual saliencyを検査時に使用しました。検査開始時のエキスパートの見方は、他の検査者と同様にSaliencyの高い所に視線を送っていました。エキスパートの特異性が出るのはSaliencyが高い所を見た後にあることがわかりました。

学術研究から、画像を見る際の視線はまずSaliencyの高い部分に向かい、それからSaliencyの低い部分を探索していくことや、この傾向は精神的な要因により変化することがわかってきています。学術研究と組み合わせることで、科学的な理解を目指しています。

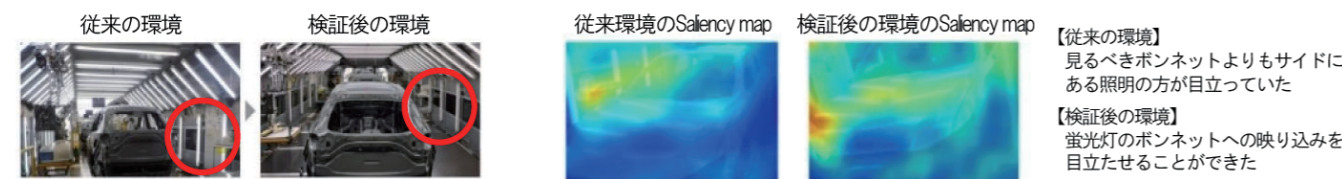


Saliency mapと視線の順番

### ●Real-time visual saliencyとスタッフを思う人々の気持ちが変わる環境を変えた!

不具合を見つけ出すような工程における工場での検証した所、見るべきものを際立たせるために使っていた照明が、実際には他の部分を目立たせており、同時に計測した心拍から、働くスタッフにも負担をかけていることがわかりました。この工場では照明を変えることで見るべきものを目立ちやすくすることができただけでなく、環境を変えることでそこで働くスタッフの余分な負担や緊張を軽減することができました。

「見るべきもの」を目立たせるためには、見るべきものの自体のSaliencyを上げる方法もありますが、周辺のsaliencyを下げることで結果的に見るべきもののSaliencyを上げるという方法もあります。Real-time visual saliencyのリアルタイムに現場でデータを確認できる特徴を使うことで、周りの空間とのバランスを考慮しながら様々な条件を検証することができます。



【従来の環境】見るべきボンネットよりもサイドにある照明の方が目立っていた  
【検証後の環境】蛍光灯のボンネットへの映り込みを目立たせることができた

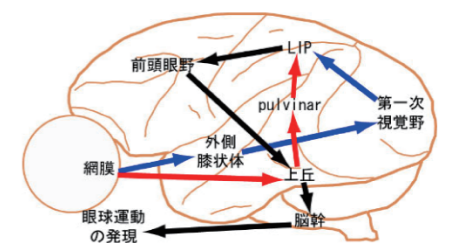
※ 詳細は【マツダ株式会社 デジタルマガジン 2020年夏号】をご覧ください。  
[https://www.mazda.co.jp/experience/stories/2020summer/featured/04\\_01](https://www.mazda.co.jp/experience/stories/2020summer/featured/04_01)

## 学術研究からの神経科学的アプローチ

Real-time visual saliencyを使うことで、様々な実社会環境において、リアルタイムにヒトの行動データを検証することができるようになりました。そのことは私たちに新しい疑問をもたらし、新たな研究課題となっています。私たちはこれまで行ってきた注意の可視化に関する学術研究に加え、これらの課題を説明する学術研究を展開することで、「知」を創造し、社会実装に活用することを目指します。

### ●Saliencyは脳のどこで、どのように計算されるのか?

ヒトが目で見えた情報処理の経路は、視覚野を通して「見たこと」が意識される視覚処理経路(右図:青色)と中脳にある「上丘(じょうきゅう)」を介して脳の中に無意識に情報が伝わっていく経路(右図:赤色)があります。



脳の視覚処理経路

上丘は、爬虫類や両生類など大脳皮質を持たない動物の原始的な脳では中心的な視覚中枢とされています。ヒトにおいては、ボールが飛んできた時、何が飛んできたかはわからなくても反射的に避ける行動に出る際などにこの上丘の経路が働いていると考えられており、上丘は無意識の視覚中枢ともいえます。

私たちは中脳上丘が視覚的Saliencyを検出し、視線運動に変換する役割に関与していると考え、Saliency検出器としての上丘の神経回路モデルを構築し、研究を進めています。

### ●「無意識に見ている世界」の存在

日常生活でヒトに入力される視覚情報は膨大ですが、そのうち意識できている部分はわずか、大半の情報が無意識のうちに処理されています。私たちに大きな「無意識に見ている世界」が気付かない所で存在しているといえます。この無意識の世界は行動や意思決定に影響を与えるため、無意識の世界を解明することは、私たちに未知の世界を教えてくれると同時に、ヒトの本質を理解する一助となります。私たちは意識にのぼらない刺激での条件付け等、無意識の神経基盤の解明を目指した研究を進めています。

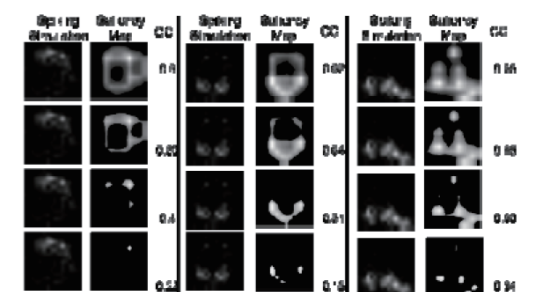
これまでの研究から、視覚野が損傷して「見えている」と意識できない場合でもSaliencyが高い部分に目を向けることができるということがわかっており、意識的な視覚処理に関連する視覚野の機能をコントロールすることで、意識的に見ていないものでも記憶できる可能性があると考えられます。

また、周辺視との関係についてもあわせて検討が必要だと考えています。網膜の視細胞は中心窩以外では密度が低いため、私たちの視力は視線の中心以外は低くなっています。しかし私たちは周辺視野にある物を認識したり、周辺視野で起きた変化を捉えたりすることができます。

### ●トップダウン的特性の理解

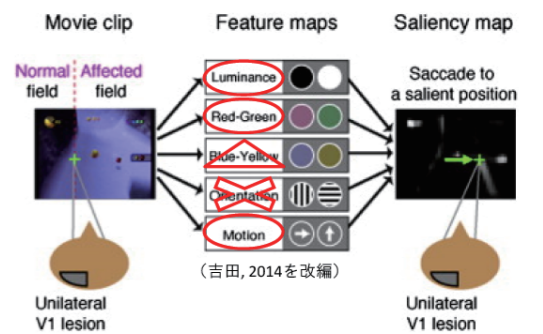
ヒトの行動には、トップダウンの注意とボトムアップの注意が目的に応じて様々な割合で混在しています。例えば、経験に基づく予測や期待、目的などによりヒトの視線の動き方は変わりますし、顔や好きなものに対しては目立っていても注意が引き付けられます。ヒトの注意を理解するためには、トップダウンの特性の研究も重要です。私たちは基礎研究を進めながら、そこから得られた知見を導入した拡張モデルをつくらせたり、新しいモデルを開発することにチャレンジしています。

複雑なトップダウンの特性を理解するためには、非常に多くの研究の積み重ねが必要で、私たちは自分達で行なう研究にとどまらず、関連する研究を行なう世界中の研究者と繋がり、常に最新の学術研究状況をフォローしあうコミュニティを持っています。様々な専門分野の研究者と連携することで、自分たちだけではできない幅広い展開を可能としています。

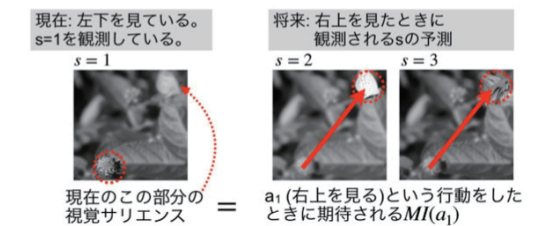


回路シミュレーションとSaliency mapの相関

網膜-上丘系の回路モデルでSaliency mapをほぼ再現できたことから、脳の眼球運動制御系にSaliency map的な機構が存在する可能性が考えられる



見えないはずの視覚野に出てくるサリエントな刺激に目が向くことがわかった  
輝度、動き、一部の色の違いは検出できるが方位は検出しにくい



自由エネルギー原理の中での視覚saliency  
実際に行動してみないと観測されるsはわからない。しかしあるactionで観測されるsを予測することで、そのactionで期待される相互情報量MIが計算できる。「Saliencyが高い」=「そこを見る行動選択をすれば、平均的には情報が得られる」

## 参考文献

Yoshida, Itti, et al., 2012, Current Biology, "Residual Attention Guidance in Blindsight Monkeys Watching Complex Natural Scenes"  
Yoshida and Veale, 2014, Neuroscience Research, "Saliency-guided neural prosthesis for visual attention: design and simulation."  
Veale et al., 2017, Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci., "How is visual saliency computed in the brain? Insights from behavior, neurobiology and modelling"  
吉田正俊, 2014, 日本神経回路学雑誌, 21 (1), 3-12 「サリエンシー・マップの視覚探索解析への応用」  
Takeda et al., 2016, AHFE2016, 375-388, "Windshield Frame Shape and Awareness of the External World While Driving an Automobile."

# 表情認識システム

## 人間と機械がより高度に共感しあう「共感コミュニケーション技術」の開発に向けて

我々は生理学研究所の持つ脳科学的知見と横浜国立大学が持つ工学的知見を組み合わせ、人間と機械がより高度に共感し合う「共感コミュニケーション」技術の実現に必要な新たな人工知能の要素技術の研究開発を推進しています。

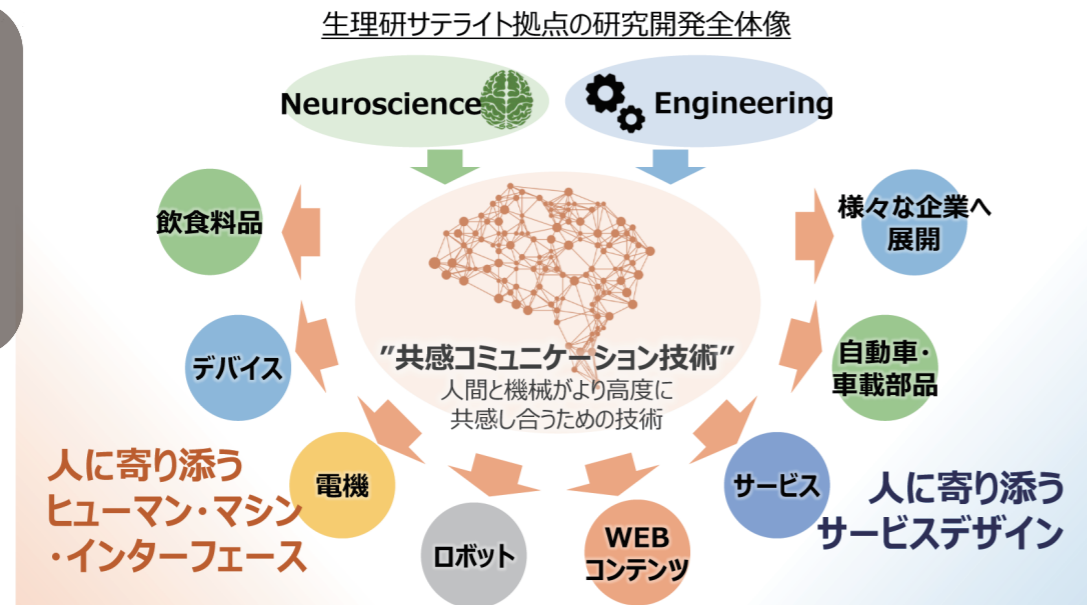
円滑なコミュニケーションを行うためには相手の情動の状態を適切に読み取ることが重要です。表情認識システムは顔表情から相手の情動の状態を推定するシステムであり、共感コミュニケーション技術の中核をなす技術の一つです。

### 生理研サテライト拠点

生理研サテライト拠点は、「精神的価値が成長する感性イノベーション拠点」のサテライト拠点のひとつです。

自然科学研究機構生理学研究所、横浜国立大学、京都大学、北海道大学人間知・脳・AI研究教育センターと、NTTデータ経営研究所を中心とした6企業から構成されています。

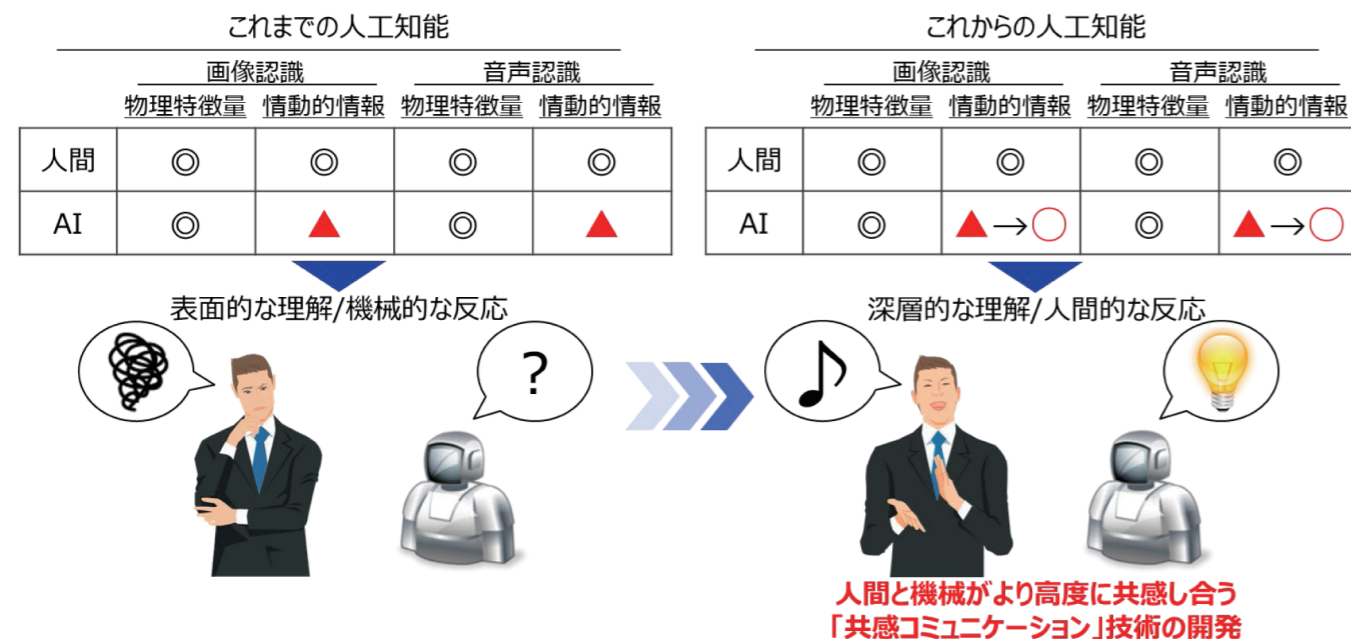
知覚の脳メカニズムを明らかにする基礎研究からモデル化を通じた社会実装と、社会性に関わるような人間の複雑な情報をとらえる科学的アプローチによる基礎研究の現実社会への応用を目指しています。



## 開発背景・人工知能の課題

近年、AI技術の進展に伴い、AIを介して消費者とインタラクティブなコミュニケーションを行なう製品・サービスが増加しています。しかし現在のAIのコミュニケーションは機械的であり、消費者との自然なコミュニケーションができていない状況です。

この課題を解決するためには、従来の表面的な理解／機械的な反応を行うAIではなく、人間のコミュニケーションに基づく新たなAI(深層的な理解／人間的な反応が可能なAI)の開発が必要と考えられます。

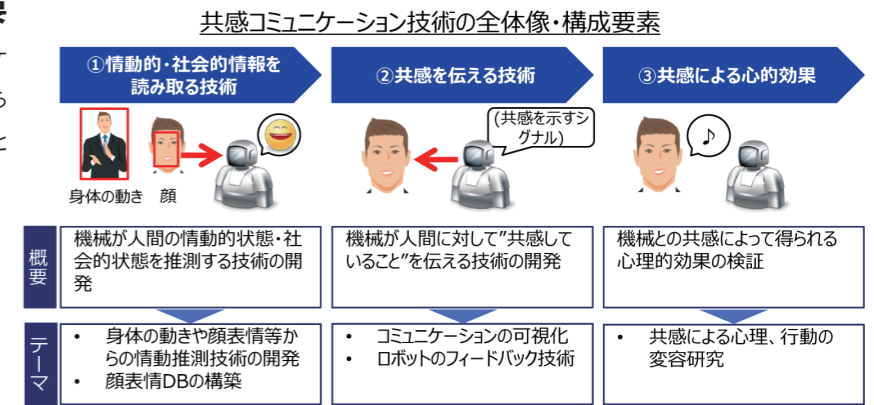


## 技術概要

### ●共感コミュニケーション技術の概要

共感コミュニケーション技術は、人間のコミュニケーション機構に基づいて、以下①②③の3要素から構成される人間と機械のコミュニケーションであると定義しています。

- ① 情動的・社会的情報を読み取る技術
- ② 共感を伝える技術
- ③ 共感による心的効果

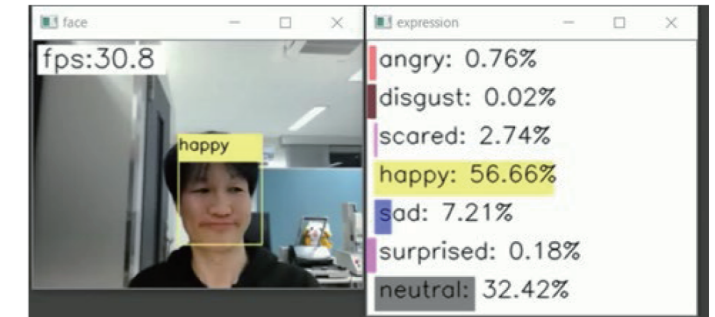


### ●表情認識システムの概要

表情認識システムは上記の「①情動的・社会的情報を読み取る技術」に該当する技術です。一般的なWEBカメラから撮像した顔画像から人間の情動状態を推定します。

前処理、深層学習モデルを組み合わせることで、実環境下でも有用な技術の開発を目指しています。さらに、心理物理実験の知見を組み合わせることで、人間の認知メカニズムに基づく更なる精度向上を図っています。

### 表情認識システムの出力結果(イメージ)



## 技術の特徴

既存の表情認識システムは撮像条件の違いなどによって実環境下では十分なパフォーマンスが発揮できないケースが多くあります。

生理研サテライト拠点の表情推定システムは社会実装を強く志向した研究アプローチを採用しています。具体的には、社会実装環境を想定した状況下における精度向上アプローチやカスタマイズ性(柔軟性)、脳科学的知見に基づく精度改善等の独自アプローチによる研究開発を行っています。

また、他社とのベンチマークテストを適宜実施することで、本技術の評価および改良を行っています。

### 社会実装時に困難となる条件(一例)



マスク着用条件



外乱光条件

### 他社技術の比較概要

他社プロダクト	特徴	生理研COI-S拠点技術
顔表情のみ(静止画像)	データ	顔表情+身体の動き(動画像)
ビッグデータ(数百万件オーダー)	解析アプローチ	少量データ+カスタマイズ(数千件オーダー)
◎	汎用性	○
○	特定状況下における精度	◎
△	カスタマイズ性(社会実装時の柔軟性)	◎
?	脳科学的知見に基づく精度改善アプローチ	◎

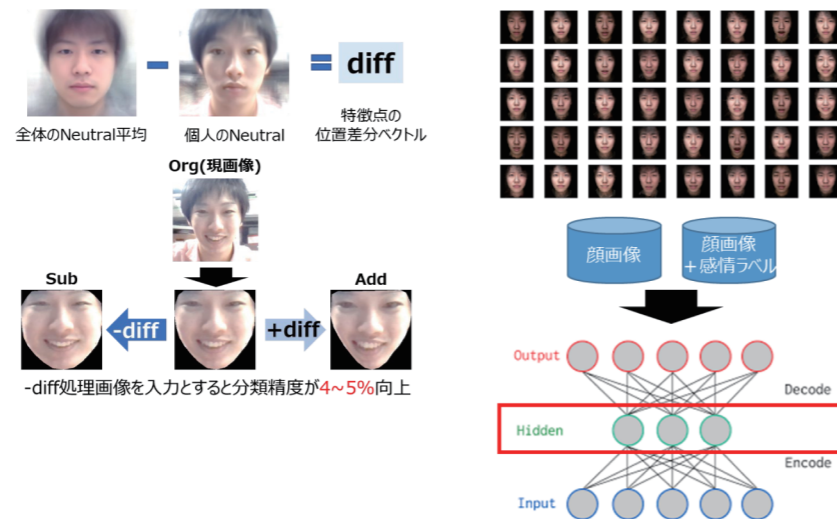
## 背景となる研究 (一部)

### ●少量データによる学習

モデル開発を行うためには学習データが必要不可欠ですが、大量のデータを収集するためには多くのコストを要します。したがって、社会実装を行うためには少量データによる学習方法の開発が肝要となります。

本技術では、平均顔を利用処理技術によって、表情には関係のない特徴パターンを減らすことで少量データによる学習を実現しています。

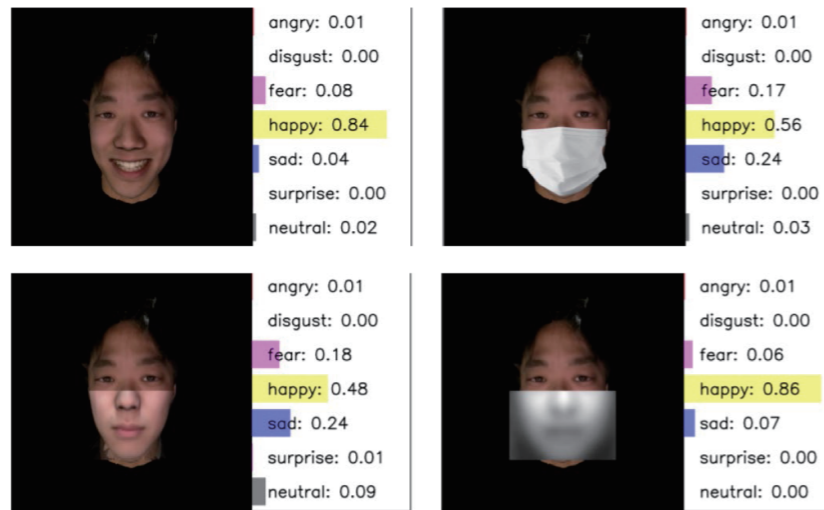
さらに、GANやAuto Encoderを学習させることにより、様々なタスクで少量データによる転移学習を可能とする低次元の埋め込み表現を作成しています。



### ●マスク着用時の表情認識技術

マスク着用時は顔の大部分が隠れてしまうためそのまま表情認識器を適用しても妥当な評価は困難です。

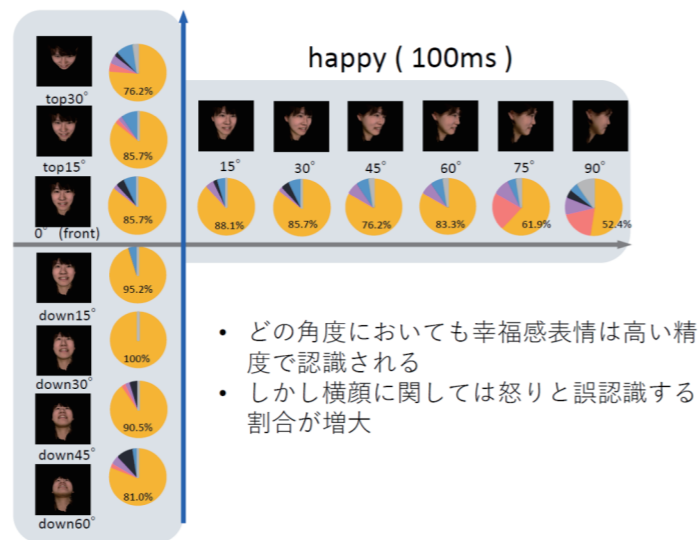
本研究ではマスクで隠れる顔部分の補填や、マスク着用時でも参照可能な部位に焦点を当てた分析など方法論を組むことで、マスク着用時でも妥当性の高い評価が可能な技術開発を目指しています。



### ●顔回転時の人間の表情認知・学習メカニズム研究

人間は顔の向きが回転していても相手の感情を読み取ることができます。しかし、このタスクは機械にとっては非常に困難であり、表情認識技術の精度低下の大きな要因の一つとなっています。この課題を解決するためには、人間の表情認知・学習メカニズムに基づく技術開発が有効であると考えられます。

人間の表情認知メカニズムに基づく表情認識システムの改良に向けて、顔回転時の人間の表情認知実験や、表情認知の学習効果に関する実験を実施し、アルゴリズム改良に向けた示唆を得ました。

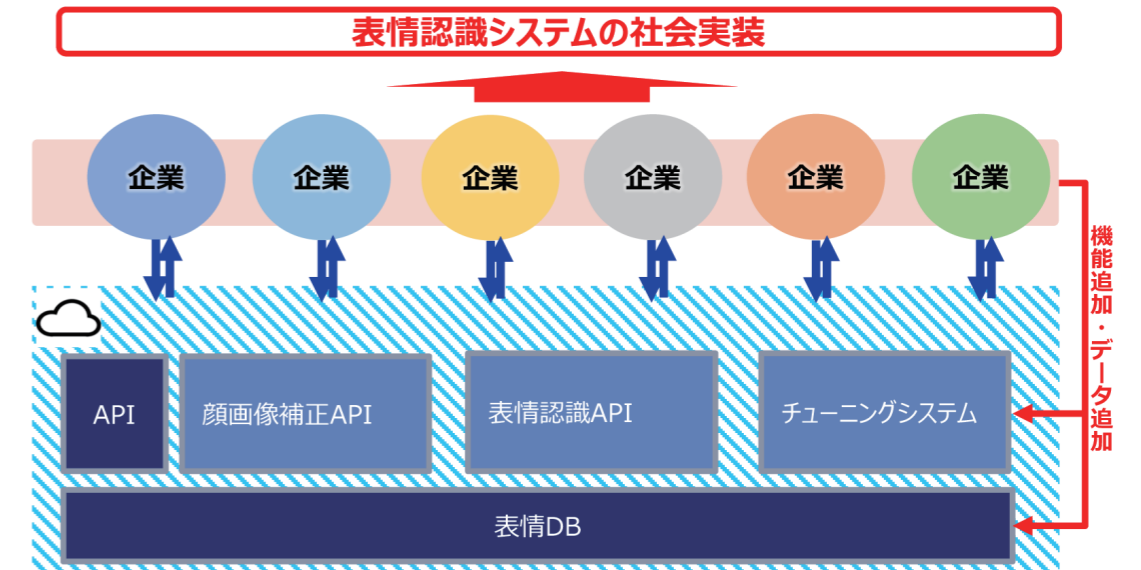


## 今後の更なる展開 / 展望

### ●表情認識システムの社会実装促進

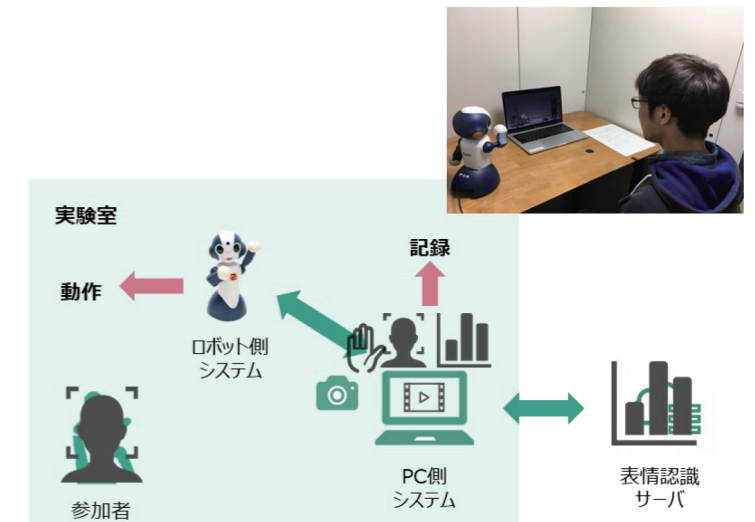
現在、生理研サテライト拠点参画企業を中心に表情認識システムの社会実装を推進しており、社会実装の過程で得られた課題に基づいて技術の更なる改善や新たな要素技術の開発を行っています。

さらに、企業の社会実装支援のために技術のAPI化、DB化を推進しており、今後もさらに社会実装を加速していく予定です。



### ●コミュニケーションロボットなど ヒューマンマシンインタフェースへの適用

共感コミュニケーション技術の構成要素(※前述)における「共感を伝える技術」「共感による心的効果」ではコミュニケーションロボットを活用したコミュニケーション研究も推進しております。表情認識システムをコミュニケーションロボットをはじめとしたヒューマンマシンインタフェースへ適用しその効果を検証することで、共感コミュニケーション技術の実現に向けた研究開発・社会実装を加速します。



### ●ELSI対応の強化

ELSIとはethical, legal and social implicationsの略称であり、倫理的・法的・社会的な課題を指します。表情認識システムを含む共感コミュニケーション技術は顔データをはじめとする人間の機微なデータを活用する技術であるため、社会実装にあたってはELSIに関する万全の体制を整える必要があります。

生理研サテライト拠点では、法令や過去事例などを分析し本技術の社会実装にあたって生じるELSIに関する問題を明らかにし、その対策を講じることで、ELSIの観点からも円滑な社会実装の実現を目指します。

### ●参考

114 ~ 118 ページの研究ハイライト⑤、⑥に背景となる学術研究の一部を掲載しています。

### ●お問い合わせ先

(株)NTT データ経営研究所 (山崎)  
email:yamazakik(at)sign)nttdata-strategy.com

### 3 感性研究ハイライト



# 社会信号を担う一次知覚の可視化に関する基礎研究

自然科学研究機構生理学研究所  
定藤 規弘

### 感性 = extended emotion

ヒトに特有な、情動生起を伴う価値判断系を指して「感性」という術語をつかうことで、生物学的により一般的な価値判断系としての「情動」と区別できる。これにより、ヒト特有の(社会行動を含む)環境との相互作用における価値判断の神経基盤を、情動と(数学や言語を含む)高次認知機能との相互作用として理解することが可能となる。「感性」をヒトに特有の情動を基盤とする価値判断機能として捉えて、コミュニケーションにおける感性研究を推進した。社会信号をやり取りするコミュニケーションの神経基盤を、その発達過程に沿って出現する行動里標(milestone behavior)を実験系に埋め込むことによって健常成人を対象とした機能的MRI実験を遂行した。具体的には、以下の行動里標を用いた。

#### (1) 対面模倣

対面模倣は、相手のフィードバックに基づいて共有行動が実行される独特の社会的相互作用である。相手の模倣は、模倣者の行動へのフィードバックであり、結果的に行動の共有化をもたらす。主観間性の中核である対面模倣における行動の共有表現の神経機構はよく知られていない。ここでは、予測符号化理論に基づいて、ペア固有の順モデルが、ミラーニューロン系の一部の個体間同期によって表現される行動の共有表現であるという仮説を立てた。顔の表情の即時模倣課題を用いて、16組の参加者を対象に、顔と顔の相互作用中に2個体同時計測機能的磁気共鳴イメージングを実施した。ペアになった参加者は、幸せな顔、悲しい顔、または非感情的な顔を表現するように促された。模倣者または模倣者の役割は交互に割り当てられた。模倣することと模倣されることによって誘発される神経活性化は異っていたが、オンライン模倣的相互作用は右下頭頂葉における脳間同期を促進し、顔の動きの運動学的プロファイルの類似性と相関があった。このことは、右下頭頂葉が、模倣的相互作用を介して、ペア固有の前方内部モデルとしての行動表現を共有する上で重要な役割を果たしていることを示している(Miyata et al. 2021)。

アイコンタクトは、最も単純な相互模倣と考えられる。2台のMRIを用いて2個人間の相互作用中の神経活動を同時に計測するシステムを開発して、アイコンタクト時の神経活動を計測した。2名の被験者が2個体同時計測用fMRI装置に入り、ビデオコミュニケーション装置を介してアイコンタクトを行った(オンライン条件)。また映像遅延装置を利用することで、相互作用が存在し得ないオフライン条件も設定した。アイコンタクト中の行

動上の相互作用として瞬目に注目し、多変数自己相関解析法の一つであるAkaike causality (Ozaki, 2012)を適用して、パートナーからの影響の程度の指標としてノイズ寄与率(Noise Contribution Ratio, NCR)を計算し、これを相互作用の定量指標として評価した。参加者は条件の違いに全く気が付かなかったにも関わらず、オンライン条件時には、瞬目のタイミングが相手のそれに影響を受けていた。また小脳半球及び前部帯状回の脳活動がオンライン時に高かった。加えて前部帯状回と前部島皮質への機能的結合が、オンライン時に増強されていた(Koike et al. 2019)。これらは小脳と大脳辺縁系ミラーシステムがアイコンタクト時の相互作用を媒介していることを示している(Koike et al, 2019)。

#### (2) 社会的随伴性

社会的随伴性とは、自己の行為によって他者の行為が惹起されるという因果関係のことで、その理解は生後3ヶ月ころに出現するとされている。社会的相互作用は、自己の行動が他者からの適切な反応を引き起こすという行動結果随伴性によって促進される。これまでの研究で、線条体報酬系が行動・結果の偶発性信号の生成に関与していることが示唆されている。しかし、自己の行動と他者の反応に関する信号が統合されて成功報酬信号が生成される神経メカニズムは不明である。そこで、自己を表す脳活動が、線条体報酬系と他者の反応を処理する感覚領域との結合を調節するという仮説を検証するために、機能的MRIを行った。実験では、参加者がジョークを言って聞き手を笑わせるという条件付きの課題を用いた。参加者は、自分のジョークの後に他人のジョークよりも大きな笑いが起きたときに、より大きな喜びを報告した。自己に関連する聞き手の反応は、内側前頭葉皮質(mPFC)でより強い活性化を示した。笑いは聴覚野の活動と関連していた。腹側線条体は、参加者が聞き手を笑わせたときに、他の人が笑わせたときよりも強い活性化を示した。生理的相互作用解析では、腹側線条体は、mPFCと聴覚野から抽出した信号との相互作用効果を示した。これらの結果は、自己関連処理に関与するmPFCが、腹側線条体での価値処理の際に、他者の反応に関連する感覚入力を変調するという仮説を支持するものである(Sumiya et al. 2017)。

社会的随伴性は、自己の行為に対する他者による肯定的な評価(社会的承認)の理解に必須である。社会的承認の一つに褒めがある。褒められると運動能力が向上することが知られているが、そのフィードバック経路は不明である。ここでは、社会的評価の運動系へのフィードバックが、社会的偶発性評価系である

前外側内側前頭葉皮質(arMPFC)などのトップダウン効果によって修飾されるという仮説を立てた。私たちは、生徒と教師の会話を簡略化した擬似対話課題を開発し、33名の被験者(男性13名、女性20名、平均年齢=21.7歳、標準偏差=2.0歳)を対象に、機能的磁気共鳴画像法による研究を行った。スキャナー内の参加者は、スキャナーの外にいる英語教師に対して擬似英単語を発声した。教師はビデオを見ながら、ジェスチャーまたは言葉で肯定または否定のフィードバックを行った。対照条件として、疑似英単語はコンピュータによって読み上げられた。先生の承認によって、参加者の喜びの度合いが増強した。参加者の発話に対する拒絶または受容のフィードバックによって前部頭側内側前頭前野(arMPFC)が活性化した。また、自分の発話とコンピュータの発話にかかわらず、拒絶よりも受容の方が右の一次視覚野(V1)を活性化し、逆の場合は左のV1を活性化した。このように、V1の活性化が価値に依存して側性を示したことは、この効果が視覚処理の領域全体を調節するものではないことを示している。これは、視覚処理の領域一般的な変調ではなく、初期視覚皮質が社会的信号の価値特異的な表現の一部であることを示している。また、左右のV1をシード領域、arMPFCを変調領域とする生理的相互作用解析では、V1と両側の一次運動野との結合性が、arMPFCの活動依存的に増強した。これらの結果は、社会的随伴性の信号が、運動制御システムへのフィードバックとして働き、このプロセスは初期視覚野によって媒介されていることを示している(Nakagawa et al. 2021)。

#### (3) 共同注意

共同注意は生後6~12ヶ月ころに出現する。他人の意図を付度する能力(心の理論)の萌芽でありまた言語発達の前駆と目されており、さらにその欠如は自閉症の早期兆候とされている。個体間の相互作用である「共有」の神経基盤を明らかにし、視線を介してどのように二者が単一の「我々」を構成するかを明らかにするためには、2個体の神経活動を同時に記録解析することが必須である。アイコンタクトと共同注意は、個人間で注意状態を共有する際、密接に関連している。オンラインおよび遅延オフライン条件を含むアイコンタクトの2個体同時計測fMRIによって、アイコンタクトを介した実時間性相互作用が、前帯状皮質および右前島皮質(AIC)を含む小脳および辺縁系ミラーシステムを活性化することが判明した。一方joint attention中の2個体同時計測fMRIによって、右AICの神経活動が共同注意課題特異的、パートナー特異的に同期することが明らかとなった。右AICは、共同注意開始時にターゲットを自発的に選択する際に賦活されることから、右AICの神経活動同期は、特定のターゲットに注意を向けるという意図の2者間での共有を表象するものと考えられた(Koike et al. 2019)。これらの結果は、辺縁系ミラーシステムと小脳の両方が、視線を介したりアルタイムの社会的相互作用に関与しており、視線を介した注意と意図の共有が相互視線中のペアに固有な右AICの神経同期によって表され、保持さ

れることを示している。

#### (4) 心の理論

共同注意から心の理論への発達は、言語コミュニケーションにより担われると考えられている。経験を共有することは、人間の社会的認知の基本である。視覚的経験は世界に向けられた心的状態であることから、視覚的経験の共有は、共有の指向性に対する共同注意と心的状態の推論(心の理論)によって媒介されるという仮説を立てた。この仮説を検証するために、健常成人被験者44名を対象に、2個体同時計測fMRIを実施した。実験では、音声言語を用いた空間的・特徴的な共同注意課題を用いた。この課題では、発話者が空間的な位置や物体の特徴を指示することで相手の注意を引きつけ、応答者が注意を向けるというものである。その結果、共同注意ネットワークの主要ノードである右前島皮質(AIC)-下前頭回(IFG)複合体と、ターゲットの共有カテゴリーを表す右後上側頭溝において、課題特異的な神経活動のペア間同期が見られた。また、右AIC-IFGは、メンタライゼーションとデフォルトモードネットワークの主要ノードである右側頭頭頂接合部と背内側前頭前野とともに、残差時系列データの個人間同期を示した。この背景の同期は、状況を共有するという信念の共有を表している。このように、視覚体験の共有は、デフォルトモードネットワークと右AIC-IFGを介して結ばれたサリエンスネットワークとの間の機能連関によって表現される(Yoshioka et al. 2021)。

#### (5) 共同作業

複数個体間の「協力」は、対人関係におけるヒトの柔軟な意思決定過程の典型である。それぞれの行動が、相手の意思決定により自己の意思決定が影響を受けながら共有する目的に向けて自己組織化される、という点で1個体に還元できない過程である。どのように複数人が冗長な個々の役割を自律的に組織化するのか、またどのような神経基盤がこの組織化に関与しているのかを明らかにすることを目的として、2個体同時計測fMRIを用いた実験を実施した。実験課題はモニター画面上にカーソル位置によって示される握力を、標的力(個々の最大握力の20%)に可能な限り正確に一致させ続けることであった。課題条件として「(1)個々の力を一致させる個別課題」「(2)2人の平均力を一致させる共同課題」「(3)個別課題時のパフォーマンス(カーソル運動)を注視する課題」「(4)共同課題に関する同様の注視課題」の4条件が課された。課題中のペアの脳活動は2個体同時計測fMRIによって、握力は非金属製・fMRI用特殊フィルター付握力測定装置によって、それぞれ2人同時に測定された。共同課題時の握力データにAkaike Causality解析を適用し、パートナーからの影響の程度の指標としてNCRを算出した。NCRは、時系列のある時点での状態がうけるその時系列の過去からの影響と、他の時系列の過去からの影響を分離して定量する指標であることから、被験者の協力の測度とした。共同課題と個別

課題の脳活動を比較したところ、側頭頭頂接合部後部 (posterior Temporo-Parietal Junction: TPJp)、楔前部、下頭前回、小脳、上頭前回などが共同課題時に有意な活動の増大を示した。これらの領域の中でも右のTPJ の前部 (TPJa) は共同課題と個別課題の活動の差異に関してNCR と有意な正の相関を示した。この相関は共同課題時に右TPJ の活動が大きくなる被験者ほどパートナーからの影響を大きく受けていたことを意味し、この領域が共同課題におけるパートナーとの相互作用に直接関与する領域であることを示唆した。さらに協力課題遂行時にTPJa からTPJp へのeffective connectivity が増加し、さらにTPJa はペア特異的に個体間相関することがわかった。これらのことから、右TPJ には機能的な下位領域が存在し、全体として心の理論ネットワークと連関して協力行動の調整に関わっていることが明らかとなった (Abe et al.,2019)

## (6) 語用論(比喩・皮肉・ユーモア)

語用論とは、話し手と聞き手(ないし書き手と読み手)を想定した場合、聞き手が「話し手が伝えたいと思っている意味」を理解できるのはどうしてか、を研究する学問である。情動理解が必須となる皮肉表現やユーモア表現は、情動生起を伴う価値判断系としての「感性」の重要な研究対象である。ヒトに特有なコミュニケーション機能としての言語と情動の関係を明らかにするために、皮肉とユーモアに関与する神経基盤を、機能的MRI を用いた2つの実験により明らかにした。

1. 聞き手がある発話を皮肉だと認識するには、聞き手の発言、談話の文脈、発話の韻律を統合し、これらの間の不調和を評価することが必要である。皮肉の理解における韻律の効果は、日常会話の中で明らかになっているが、そのメカニズムや神経基質についてはほとんど知られていない。本研究では、聴覚による皮肉理解の神経基盤を明らかにするために、21名の成人被験者を対象に機能的MRI実験を行った。実験では、子どもが良いことや悪いことをしたときに、親がそれに対して肯定的なコメントをするという内容の短い映像が用意されました。参加者は、親の肯定的なコメント(褒め言葉)に含まれる皮肉の度合いを、肯定的または否定的な感情プロソディを伴って判断することが求められました。行動データによると、発話と文脈の不一致(子供の悪い行いに対する親の肯定的なコメント)が皮肉の知覚を誘発することが明らかになった。文脈と韻律の間には有意な相互作用があり、悪いことをしたときに肯定的な韻律が使われると皮肉の知覚が増強され、逆に良いことをしたときに否定的な韻律が使われると皮肉の知覚が増強された。これに対応する相互作用効果は、左下前頭回の吻合部(Brodmann's Area (BA) 47に相当)で観察された。褒め言葉と矛盾する否定的な韻律は、右下前頭回、前帯状皮質、脳幹に広がる両側の島皮質を活性化した。これらの結果は、皮肉の理解において、左下前頭回、特にBA47が、談話の文脈や発話と感情プロソディの統合に関与していることを示している (Matsui et al. 2016)。

2.さらに、ヒトに特有なコミュニケーション機能としての言語と情動の関係を明らかにするために、ユーモア理解に関与する神経基盤を、機能的MRI を用いた実験により明らかにした。ユーモアの理解に伴うポジティブな感情と関連して左扁桃体の賦活が見られた(Nakamura et al. 2018)。これは、扁桃体が、言語により媒介される情動の評価に関連することを示しており、言語を含む認知と情動の結節点としての扁桃体の重要性を明らかにしたものである。

## (7) 幸福感の神経基盤の解明

幸福感には持続的な肯定的評価(幸福度)と、ポジティブな出来事に直面した時に発生する一時的な肯定的感情(幸せ感情)という二面性があり、お互いを強化しあうことがわかっている。幸せ感情想起課題を行っている際の脳活動をfMRIを用いて検証した結果、幸福度と幸せ感情は共通の神経基盤(吻側前部帯状回, rostral anterior cingulate cortex)を持ち、幸福度は灰白質体積に、幸せ感情はポジティブな出来事の想起中の神経活動に関連していることが明らかになった。今回の結果から、幸せ感情想像トレーニングによって幸福度が増強する可能性があることが示唆された (Matsunaga et al., 2016)。

## References

Abe MO, Koike T, Okazaki S, Sugawara SK, Takahashi K, Watanabe K, Sadato N (2019) Neural correlates of online cooperation during joint force production. *Neuroimage*, 191:150-161. doi:10.1016/j.neuroimage.2019.02.003.

Koike T, Sumiya M, Nakagawa E, Okazaki S, Sadato N (2019) What makes eye contact special? Neural substrates of on-line mutual eye-gaze: A hyperscanning fMRI study. *eNeuro*, 6(1):ENEURO.0284-18.2019. doi:10.1523/ENEURO.0284-18.2019.

Koike T, Tanabe HC, Adachi-Abe S, Okazaki S, Nakagawa E, Sasaki AT, Shimada K, Sugawara SK, Takahashi HK, Yoshihara K, Sadato N (2019) Role of the right anterior insular cortex in joint attention-related identification with a partner. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 14(10):1131-1145. doi: 10.1093/scan/nsz087.

Matsui T, Nakamura T, Utsumi A, Sasaki AT, Koike T, Yoshida Y, Harada T, Tanabe HC, Sadato N (2016) The role of prosody and context in sarcasm comprehension: Behavioral and fMRI evidence. *Neuropsychologia*, 87:74-84. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.04.031.

Matsunaga M, Kawamichi H, Koike T, Yoshihara K, Yoshida Y, Takahashi HK, Nakagawa E, Sadato N (2016)

Structural and functional associations of the rostral anterior cingulate cortex with subjective happiness. *Neuroimage*, 134:132-141. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.04.020.

Miyata K, Koike T, Nakagawa E, Harada T, Sumiya M, Yamamoto T, Sadato N (2021) Neural substrates for sharing intention in action during face-to-face imitation. *Neuroimage*, 233:117916. doi: 10.1016/j.neuroimage.2021.117916.

Nakagawa E, Sumiya M, Koike T, Sadato N (2021) The neural network underpinning social feedback contingent upon one's action: An fMRI study. *Neuroimage*, 225:117476. doi: org/10.1016/j.neuroimage.2020.117476.

Nakamura T, Matsui T, Utsumi A, Yamazaki M, Makita K, Harada T, Tanabe HC, Sadato N (2018) The role of the amygdala in incongruity resolution: the case of humor comprehension. *Social Neuroscience*, 13(5):553-565. doi: 10.1080/17470919.2017.1365760.

Ozaki T (2012) Time-series modeling of neuroscience data. Boca Raton, FL: CRC press

Sumiya M, Koike T, Okazaki S, Kitada R, Sadato N (2017) Brain networks of social action-outcome contingency: The role of the ventral striatum in integrating signals from the sensory cortex and medial prefrontal cortex. *Neuroscience Research*, 123:43-54. doi:10.1016/j.neures.2017.04.015.

Yoshioka A, Tanabe HC, Sumiya M, Nakagawa E, Okazaki S, Koike T, Sadato N. (2021) Neural Substrates of Shared Visual Experiences: A Hyperscanning fMRI Study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. doi:10.1093/scan/nsab082.

# 無表情顔と平均顔を用いた表情認識システムの開発と応用

横浜国立大学 大学院環境情報研究院  
岡嶋 克典

## はじめに

ロボットや知的インターフェースがヒトと共感しながらコミュニケーションを図るには、機械がヒトの感情を理解する必要がある。ヒトは相手の顔の表情から感情を推測していることから、共感コミュニケーションに表情認識システムは有効である。通常の顔表情分類器は、表情の強度が高い顔画像を基に作成されているため、日本人のような微妙な表情に対しては認識精度が低いという問題がある。そこで、機械学習に基づく分類器の能力を向上させるために、顔のモーフィングという前処理方法を提案した。これを機械学習ベースの認識装置における前処理として施すことで、深層学習に基づく顔面表情認識システムの認識精度を大幅に向上させることを示す。また、マスクをすると顔の下半分が隠れて、ヒトでも表情が認識しにくくなるが、通常の表情認識システムでも正答率は大幅に低下する。しかし、平均顔を前処理に用いることで、表情認識の正答率を向上させることができる。

## 平均顔の生成

無感情 (Neutral) の平均的な顔画像を作成するために、顔画像から特徴点 (2次元のランドマークポイント) を検出した。特徴点の検出例を Fig.1(left) に示す。この画像からドロネーの三角測量図を作成し Fig.1(center)、特徴点の平均ベクトルを算出した。このベクトルには、モーフィングの対象となる点が含まれており、この平均的な特徴点からドロネーの三角形を作成し、対応する各ドロネー三角錐に対して、剛体変換を用いて平均顔を作成した。これを、顔表情データベース全体のすべてのニュートラルな顔に対して実施する。Fig.1(right) に6つのニュートラル顔を平均化した結果を示す。

## 無表情顔と平均顔を用いた顔表情の操作と表情認識率の向上

入力された表情顔画像とニュートラル平均顔の差分がそれぞれの表情ベクトル成分と仮定し、その差を増大させることで、入力画像の表情を強調できる。この際、各ベクトル成分は表情の種類によって一律に増大せず、平均顔を用いた実験から得られた最適ゲインを用いる。このような前処理をすることで、表情認識システムの精度が向上することを Fig.2 に示す。横軸は表情の増幅率、縦軸は正答率、各グラフは各表情を示す。このように、日本人のような微表情でも、無表情顔を用いて表情を強調させ、認識率を向上させることが示された。また、マスクで覆われた部分に平均顔をマッピングすることで、表情認識の精度が大幅に向上することも示されつつある。

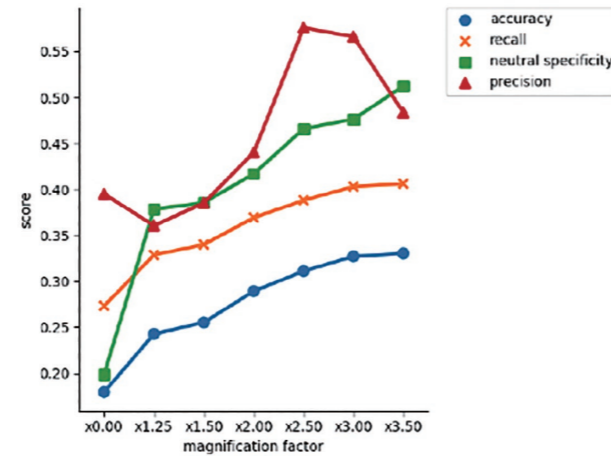


Fig.2 Accuracy indicators of recognition result as functions of the magnification factor

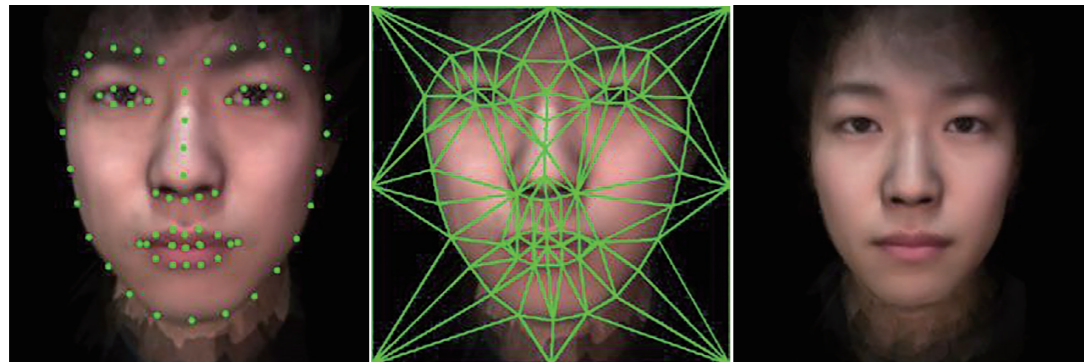


Fig. 1 Facial landmarks (left), Delaunay diagram (center) and Average face (right)