

柏野 牧夫

日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
人間情報研究部 部長 / 上席特別研究員

潜在的インターパーソナル情報の解読と制御に基づく  
コミュニケーション環境の構築

## §1. 研究実施の概要

本研究は、生身の対面コミュニケーションを質的に凌駕し、しかも精神的・身体的に安全なコミュニケーションシステムの設計指針を得るとともに、それらの構築に必要とされる要素技術を開発することを目標とする。そのために、円滑なコミュニケーションに不可欠でありながら軽視されてきた「潜在的インターパーソナル情報(Implicit InterPersonal Information; IIPi)」(非記号的・無自覚的、かつパートナー間の相互作用によって立ち現れる情報)に着目し、脳活動、生理反応、身体運動などから IIPi を解読する手法を確立する。さらに、IIPi の認知神経科学的基盤の解明を進め、情報環境側から IIPi を適切に制御する手法を開発する。

これまでに、研究の実施体制(研究員等の雇用、グループ間の連携、実験設備の構築、実験手続きの確立など)はほぼ確立し、いくつかの項目で萌芽的な成果が出始めた。以下に項目別の進捗状況について述べる。

当プロジェクトの基本的仮説のひとつは、「社会的関係のダイナミズムの基礎には、潜在的な身体相互作用がある」というものである。この仮説を検証、精緻化するために、対面した二者の無意識的な手の動きにおける同期をターゲットとして、行動および脳活動を計測するパラダイムを確立した。これに基づいて、異なる社会性課題への拡張、自閉症スペクトラム障害者と定型発達者の比較、インターパーソナルな脳活動の連携メカニズム等について検討を進めている。

当プロジェクトではまた、対面コミュニケーションにおいて心理的状态の伝達に用いられる IIPi を特定、解読することを目指している。これまでに瞳孔や視線に着目し、選好や情動との関係を分析してきた。現在、生体反応から心理的状态を推定する手法や、脳波から選好を解読する方法について、一層の精度向上を目指している。

遠隔地間のコミュニケーションの障害となる通信遅延の克服については、視覚刺激により駆動される不随意的な腕運動を利用した手法を考案している。これまでに基本的な原理は確認した。今

後は、対人間での協調タスクに拡張し、行動実験、脳活動計測などにより、その有効性を検証する。

心理状態を非侵襲的に制御する手法の開発においては、これまでに経頭蓋直流電気刺激 (tDCS) をヒトおよびラットに適用し、認知機能向上、報酬関連部位の活性化などを確認した。今後は神経基盤のさらに詳細な解明を図る。

IPI の生物学的基盤をさぐる動物実験では、これまでにラットの超音波発声の記録系および複数個体からの海馬神経活動の記録系を開発した。これらを踏まえ、(1) ラットの超音波がコミュニケーション手段として機能しているかどうか、(2) 複数個体からの行動、脳波解析により、ラットでも個体間の協調、社会的促進、共感などの萌芽が見られるかどうか、(3) 発達環境の操作、tDCS、薬物投与などの手段によって IPI の利用に関連した社会行動の変化が見られるかどうかを検討している。

上記の各研究項目において、H23 年度の進捗目標は、本格的な実験データの取得を行い、成果を着実に論文化することである。また、グループ間の連携もより強固なものにしていく。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 「NTT」グループ (A)

① 研究分担グループ長: 柏野 牧夫 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 部長/上席特別研究員)

#### ② 研究項目

・潜在的インターパーソナル情報 (IPI) コミュニケーション環境の評価と設計に資する知的基盤技術構築に向けた心理物理学的・神経科学的・工学的手法を用いた研究

### (2) 「カルテック」グループ (B)

① 研究分担グループ長: 下條 信輔 (カリフォルニア工科大学・生物学部、教授)

#### ② 研究項目

・IPI コミュニケーション環境の評価と設計に資する知的基盤技術構築に向けた心理物理学的手法・機能的脳イメージングを用いた研究

### (3) 「東大」グループ (C)

① 研究分担グループ長: 渡邊 克巳 (東京大学先端科学技術研究センター、准教授)

#### ② 研究項目

・IPI コミュニケーション環境の評価と設計に資する知的基盤技術構築に向けた心理物理学的手法・認知科学的手法を用いた研究

### §3. 研究実施内容

#### A. NTT グループ

##### 1. 視線や瞳孔に基づく IIPi の解説

自律神経系の活動を反映した身体反応に現れる IIPi の解説に向けて、ヒトの瞳孔径の機能と学習、情動、閾下知覚を関連づける基礎研究を進める環境を整えた。瞳孔径と知覚学習の関連性については論文投稿済みである。また、閾下で繰り返し提示された刺激への選好が高まる閾下単純接触効果に関し、その選好度合いが瞳孔径の変動から推定できる可能性を示唆する実験結果を得た(国際会議 2 件投稿中)。さらに瞳孔径は、閾上刺激がもたらす arousal に応答するが、閾下刺激の場合はその valence に応じて変容する可能性が示唆された。今後は、

(1) 閾下単純接触における選好度を瞳孔径から定量的に予測できるかどうか、

(2) 瞳孔径を変動させることにより、選好度を操作できるか、

(3) 刺激の持つ arousal / valence 成分を単独の生理的指標から個別に推定できるかどうか

という3点について集中的に検討する。閾下刺激として顔画像や音声を用いた場合は、対人への選好度の高低の操作が可能になるという点から、IIPi の制御に関して本質的な貢献となりうると考える。

視線については、対人コミュニケーションにおける視線情報の役割を検討している。これまでに、群衆の中から人間がどのように自分に向けられた視線を検出するかについて視線計測を用いた心理実験を行い、複数の顔が同時に提示される状況では、観察者は頭部方向の情報を利用し、検出を効率化していることが明らかになった。今後は、パートナー間の視線のダイナミックな相互作用について検討していく。

##### 2. 身体運動の引き込みに基づく IIPi の解説

身体運動に現れる IIPi の解説に向けて、パートナー間の身体運動の相互作用を定量化し、その指標とコミュニケーションの質との対応関係を分析する研究を進めている。まず、他人の気持ちを理解しにくい、空気が読めないといった、コミュニケーションに問題があるとされる自閉症スペクトラム障害(autism spectrum disorder, ASD)の幼児と、定型発達(typically developed, TD)の幼児とで、他者との身体の相互作用の強さを比較する実験を行った(協力:株式会社 Kid's Power)。実験では、大人のセラピストと対面で、歌に合わせて簡単な手遊びをするときの動作を録画した。そこから手首、肩、頭部などの動きを抽出し、幼児と大人の動きの相互相関や、新たに開発した引き込みの指標などを分析した。各ペアについて相互作用の強さを定量化することには成功したが、その強さは、ASD、TD というカテゴリーで明確に分かれるというよりは、個人差の方が大きく、現在実験参加者数を増やすなどさらなる検討を進めている。また、成人 ASD を対象とした、よりコントロールされた課題による実験も計画している。

### 3. IPI に基づくコミュニケーション環境の質の向上

通信システムを介したコミュニケーションでは、生の対面コミュニケーションに比べて、IPI の伝達や再現が不十分になり、コミュニケーションの質が低下するおそれがある。中でも通信遅延の問題は不可避かつ本質的である。我々は、通信遅延に伴うシステム使用感の劣化を、人間に備わる潜在的な感覚運動特性を利用して補償する方法を開発している。

まず、人対人のコミュニケーションに先立って、人が対象物を遠隔操作する際の操作感の問題を取り上げた。遠隔操作場面を模擬するシミュレータ環境(HMD、モーションキャプチャを利用)を構築し、リーチング動作を行った際の視覚フィードバック遅延に伴う抵抗感を視覚運動刺激の提示により軽減(増加)できることを示した。また、その遅延感補償の効果が刺激速度に依存することを示した。

さらに、より複雑な運動で遅延補償が実現できることを示すために書字実験のセットアップを構築し、遅延感補償を実現するための視覚提示方式を検討した。知覚実験の結果、視覚運動により遅延感覚が有意に減少することが明らかになった。

一方、潜在的視覚運動応答の情報処理メカニズムについてもまだ解明すべき点が残っている。そこで、視覚刺激の特性や空間配置を変化させた場合の応答変化を検討した。その結果、実際の体幹動揺に対する視覚入力が腕制御の改善に役立つこと、空間的に離れた視覚刺激においても情報処理に抑制性と興奮性のインタラクションがあることが明らかになった。また、別の潜在応答を誘発させる方法により、腕運動知覚に潜在応答が与える影響が大きいことが示された。

### 4. IPI の生物学的起源

IPI の生物学的起源を探る目的で、ラットの社会的行動を調べる実験を何種類か開始した。まず、自然な飼育環境下でラットの超音波発声と行動の対応を検討し、個々の発声エピソードではなく、複数のエピソードの遷移と行動の間に関係があることを見出した(論文 A-1)。

次に、相手の餌取り行動が見える形で2個体を並列させて餌取り学習をさせた場合、行動の社会的促進が見られるときには報酬予期に関連した海馬同期脳波(シータ波)のパワーが増加していることが見出された。

また、成育環境を操作することによって、狭い場所で相手の行動を見ながら行動を調節してゆく能力が影響を受けるかどうかを検討し、「情報環境依存」のモデル動物を作成する試みを開始した。

さらに、IPI の制御に関連して、非侵襲的な脳活動の操作の有効性・安全性・作用メカニズムに関する研究を実施した。その一環として、ラットの頭皮上からパッド状の電極で経頭蓋直流電気刺激(tDCS)を行い、小動物用の fMRI を用いて、刺激部位直下の大脳皮質およびその近傍の皮質下領域の血中酸素濃度依存(BOLD)信号が増大することを見出した(論文 A-3)。

また、我々は報酬の予測と意思決定の問題について多角的な研究を続けており、とくに「逸脱的消費行動」すなわち嗜癖と意思決定の問題を動物実験、ヒトの実験・臨床例等から検討している(論文 A-2)。

## B. カルテックグループ

### 1. 身体運動の同期と、インターパーソナル脳電図(EEG)

「社会的関係のダイナミズムの基礎には、潜在的な身体の相互作用がある」という大仮説に基づき、東大グループが開発した「身体運動のインターパーソナル同期」行動パラダイムを適用、EEG ハイパースキャン(高密度EEG電極による、2被験者間でのインターパーソナル同時計測)を行った。具体的には、EEG ネットを装着した二者が対面して座り、相手の指を見ながら自分の指で相手を指さし、自分の指はできるだけ静止させるという課題を遂行した。

この課題中の指の微小な動きを測定した結果、(1) 有意な同期(相関)が認められ、(2) 追従訓練の後で再び静止課題に戻ると、同期は高まった(高橋、渡邊の結果を追認)。またEEGデータからまず信号の発生源同定を行い(八十数カ所をそれぞれの脳で同定)、この発生源間のPDC (Partial Directed Coherence)を計算した(N=20)。結果、まず追従者の脳内で、下前頭回から紡錘状回、および海馬傍回への影響が認められた。さらに興味深いことに、同じ追従者の下前頭回から、被追従者の海馬傍回への影響が認められた(ただし注意:「追従者」「被追従者」と言ってもあくまで訓練中の役割で、プレ/ポストテスト中は、課題は「互いに相手の指は無視する」という意味で相称的)。PDCは通常脳内各部位の活動間の「因果関係」を推定する有力な手法と見なされている。このことから、二者の脳の間での有意なPDCの発見は、IIPiに関して、これまでのところでもっとも直接的な神経学的証拠を得たと言えるかも知れない。

主実験はすでに完了。1、2の制御実験を追加し、論文準備の予定。さらに行動パラダイムの面では、東大グループとも共同で、異なる社会性課題や状況(協調/競合)が、身体同期とその神経対応にどのように影響するかを探索する予定。

さらに最新のデータとして、高機能自閉症(high-functioning autism, ASDの一種)の成人(N=4)で、定型発達(TD)の被追従者(=実験者)とペアにした場合を、同様に解析した。結果、プレ/ポストテストでは、ASDでもTDと質的に同様の同期が認められた。が、訓練後のポストテストでの同期の上昇は、まったく認められなかった。ASDは社会性の障害と言われるが、その身体基盤を示す有力な新発見である。と同時に、ここで計測しているような身体同期が、社会性の一般的な基盤であることの傍証を得たとも言える。ASDのデータをさらに蓄積し、行動データと神経データの両面で、TDとの共通点、相違点をさらに探る予定。

### 2. 顔の選好判断～EEG 信号に基づく予測

われわれ自身のfMRI研究(Kim, et al., 2007)で用いた顔の選好判断パラダイムをそのまま応用し、一對の顔を継時呈示して選好判断を求めた。ここでわれわれの関心は、EEG データのどの側面/コンポーネントに、選好を決める信号があるか。またそれから、直後の選好判断がどの程度予測できるか。さらにその予測力について、グループデータに基づく場合と個人内データに基づく場合を比較することにあつた。

結果、顔1の呈示直後にすでに、後頭部からのERPで有意差があつた。また顔2の呈示後、頭頂

～前頭チャンネルの theta, gamma 帯域からも、有意に高い同期信号が得られた。さらにグループデータでの予測力 (Combined Global Model, CGM): 74.3 %、個人内データでの予測力 (Personalized Average Model, PAM): 91.4 %を記録した。これは現在商用に供されている音声認識システムなどと比較しても、実用に近づく数字であると言える。

### 3. 視線と選好～ASD の場合

われわれ自身の「視線のカスケード」パラダイム(Shimojo et al., 2003)を用い、高機能成人 ASD で、視線と選好判断の特徴を見た。まだごく予備的ながら、ASD にだけ特有のいくつかの特徴を見いだした。(1) 選好に先立つ視線の偏りそのものは、ASD でも見られる。また顔に限定されず、自然風景の選好でも見られる(この点でも、質的には TD と同様)。(2) ただし TD では、顔刺激側の開眼/閉眼の条件差で、好みそのものと視線のパターンともに違いが見られるが、ASD では見られない。(3) また TD の視線の偏りは常に S 字関数で最適近似できるが、ASD のそれでは、例外が生じる。たとえばはじめから一方に偏ったり、むしろ線形近似できたりする。

今後さらに ASD の行動データの特徴を絞り出すとともに、われわれの「新奇性 vs. 親近性」パラダイムを用い、記憶の選好に及ぼす影響の点で、顔や社会性刺激に特異性が見られるかを、ASD でも検討する。それらの結果から、一方では ASD の対人知覚の特異性を見いだすとともに、翻って TD の社会性知覚の特徴をも掘り下げることを目指す。

### 4. tDCS による報酬系刺激の試み

tDCS 電極の頭皮上の位置を最適化するのに手間取っていたが、さまざまな試みの結果、眉間に一方、前頭外側部に他方の電極を置くのが最適であることを見いだした。(われわれ自身のヒト fMRI 予備実験、NTTグループ/東大グループの動物実験で、報酬系の活性化を示唆する結果が出ていることを踏まえて、)この電極布置を用い、機能上有意な効果を見い出すことを優先とした。

結果、「陽極を眉間に、陰極を前頭外側部に」という条件で15分(2mA)刺激した後、顔の魅力度評価が有意に高まることを見いだした。また電極位置を逆にすると(「陰極を眉間に、陽極を前頭外側部に」)、魅力度評価は有意に低くなった。このことは、tDCS 刺激が実際に機能的効果を持つことを示しており、臨床応用に向けて有力である。が、どの程度機能特異的なのかは、今後さまざまな質問紙(たとえば鬱アセスメント)や課題(運動モチベーション、作業記憶など)を試みなければ結論できない。来年度にこれらの実験を計画している。

直近では、tDCS 刺激直後に fMRI スキャナー内でこの行動データを再現することにも成功(N=10程度)。現在、皮質下報酬系を中心に fMRI データを解析中。

### 5. ポーカーフェース

ポーカーゲームでのベストストラテジーは、ニュートラルな無表情を保つことだと伝統的に言われてきた(いわゆる「ポーカーフェース」)。が、われわれはこれに反する結果を見いだした。少なくとも

中～上級競技者では、相手の顔の表情が“trustworthy”であるときに特に、最適でない選択をしやすい。具体的には、必要以上に「降りてしまう」エラーが増える。(論文 B-1; このプロジェクトは完了。全米の多くのメディアに採り上げられた。)

## 6. Attractiveness is Leaky

情動の大きな特徴が非選択的であることだとすれば、情動意思決定(たとえば選好判断)も、周辺刺激から非選択的な影響を蒙る可能性がある。周辺の対象(たとえば顔)を無視して、中央の対象の魅力度を判断する課題や、顔の魅力度を無視して髪の毛の魅力度だけ判断する課題などで、われわれはこれを示した。ただし、注意のありかや、対象同士の知覚的群化の強度などによって、こうした潜在的影響の方向や強さは変わる。

さらに、周辺を無視しようとするほど潜在レベルでは強くその影響を受ける、という一見パラドキシカルな効果を見いだした(国際学会2件発表、3件投稿中)。

今後は、心理物理実験でこうした Leakage 条件が起きる(起きない)条件を特定するとともに、先のパラドキシカルな効果に的を絞り、教示/課題を操作し眼球計測を含めて検討する。さらにトップダウンとボトムアップの相互作用の観点から、fMRI 実験に乗り出す予定。

## C. 東大グループ

### 1. インターパーソナル EEG (カルテック G と共同)

二者間のインタラクションが起きている時の脳活動を同時にとる EEG システムを使い、KOKKURI 課題時の脳活動を計測した。事前準備として東大 G で雇用予定の研究者を含めたミーティングを夏にカリフォルニア工科大学で行い、基本パラダイムを確定することができた。

### 2. KOKKURI(こっくりさん)課題

KOKKURI 課題において、他者の行動に対して同じ動作をさせるというアダプテーションを行うと、動機の指標である位置の相互相関が上昇することが分かっている(高橋・渡邊, 2008)。そこで、この現象のロバストさを確認し、被験者のコミュニケーション能力とどのような関係になるのかを調べる実験をスタートした。

### 3. tDCS (NTTG, カルテック G と共同)

tDCS による運動能力向上が、片側麻痺によって脚力が弱くなった患者に対しても見られるかを調べる研究をリハビリ病院の協力を得て行った。その結果、通常の被験者と同様に、単一の tDCS セッションによって片側麻痺患者でも脚力の向上を観察することができた(論文 C-1)。

## §4. 成果発表等

### (4-1) 原著論文発表

#### ● 論文詳細情報

A-1. Nobuaki Takahashi, Makio Kashino, Naoyuki Hironaka, Structure of ultrasonic vocalizations and its relevance to behavior. *PLoS One*. 5: e14115. 2010.

A-2. 高野裕治・高橋伸彰・廣中直行, 意志決定とアイオワ・ギャンブル課題: 依存研究との関連. アルコール・薬物医学会誌, 45: 420-429. 2010.

A-3. Yuji Takano, Takashi Yokawa, Asami Masuda, Jun Niimi, Satoshi Tanaka, Naoyuki Hironaka, A rat model for measuring the effectiveness of transcranial direct current stimulation using fMRI. *Neurosci Lett*. 491: 40-43. 2011.

B-1. Park, J., Shimojo, E., Shimojo, S. Roles of familiarity and novelty in visual preference judgments are segregated across object categories. *Proceedings of National Academy of Science*, doi: 10.1073/pnas.1004374107, 2010.

B-2. Schlicht, E., Shimojo, S., Camerer, C. F., Battaglia, P. & Nakayama, K. Human wagering behavior depends on opponents' faces. *PLoS ONE*, 5(7), e11663. doi:10.1371/journal.pone.0011663, 2010.

B-3. Liao, H., Yeh, S. & Shimojo, S. Novelty vs. familiarity principles in preference decisions: task-context of past experience matters. *Frontiers in Psychology*, 2, 43, 1-8, 2011.

C-1. Tanaka, S., Takeda, K., Otaka, Y., Kita, K., Osu, R., Honda, M., Sadato, N., Hanakawa, T., Watanabe, K. Single session of transcranial direct-current stimulation transiently increases knee extensor force in patients with hemiparetic stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. (in press)

### (4-2) 知財出願

- ① 平成22年度特許出願件数(国内 1件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 1件)