

2 瞳孔径から感覚・知覚の状態を検出

# 瞳孔径の変化から知覚の変化を事前に読み出せる可能性を示すことに成功

NTT コミュニケーション科学基礎研究所（以下、CS 研）の研究分野の1つに、人間の感覚や知覚、認知の状態を生体信号から読み取り、脳の情報処理メカニズムの理解とそれらの情報の実世界での活用を目指す「マインドリーディング研究」という分野がある。本稿ではその中から目の瞳孔径を調べることにより「こころ」の動きを読む研究について紹介する。

## 脳の内部状態を読み取り理解と活用につなげる研究

CS 研 人間情報研究部 感覚表現研究グループ（以下、人表 G）では生体信号から脳の状態を読み取り理解する、またその読み取る技術を人の豊かなコミュニケーションに活かすための研究を行っている。なかでも鈴木氏は2つの目標を掲げて研究に取り組んでいる。

「1つは主観的な体験、自分にしかわからないような情報を他者とコミュニケーションを取り伝えていけるようにすること。もう1つは自分自身も気づいていない無意識な脳の状態を自身にフィードバックさせること、もしくはその内部状態に介入することです。たとえば全く仕事に集中できていない人に『集中できていないので休憩した方が良さ

よ』と示唆する、または集中力の持続をうながすような介入を行う、といったことの実現を目指しています。脳の状態を事前に読み取ることができれば、集中力やタスクのパフォーマンスがどのような状態であるかを事前に伝えることが可能になると考え、研究に取り組んでいます。」（鈴木氏）

## 瞳孔径は「こころ」、「脳の内部状態」を反映する

鈴木氏が研究対象としている生体信号は瞳孔径、すなわち黒目の大きさだ。心拍や体温などさまざまな生体信号の中から瞳孔径に着目した理由は複数あるが、まず挙げられるのは脳の内部状態との関連性だ。瞳孔径が光に対する反応で変化することはよく知られているが、脳の状態も瞳孔径の変化に関係している。



NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
人間情報研究部  
感覚表現研究グループ  
鈴木 雄太氏

このことを利用し、瞳孔径の変化を測定して人の感覚や知覚、認知を読み取る研究が世界的に注目を浴びている。

「かつて瞳孔径を計測するためには、頭部を固定した状態で目を撮影し、複雑な画像処理を行うための計算機が必要でした。近年は高性能な計算機の小型化によりグラス型のデバイスを装着するだけで視線の方向や瞳孔径などの情報を簡単に読み取ることが可能になってきています。また既存の研究により、瞳孔径の変化が脳の深部、脳幹レベルの活動を反映していることが知られています。脳波の計測や、脳の血流の状態を画像化する fMRI による計測など

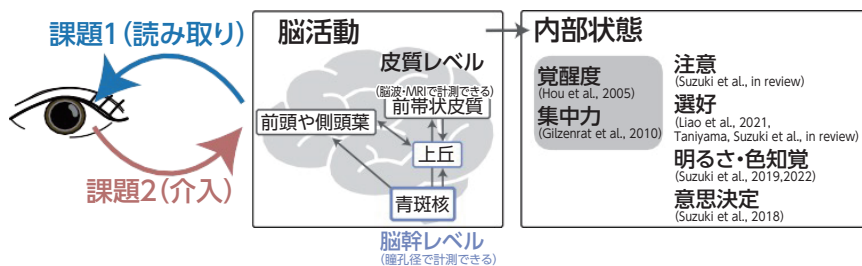


図1 瞳孔径は脳の内部状態を反映する

では読み取ることが難しい脳の活動まで反映しているということです。この情報を調べることにより脳幹レベルの活動がどのようなタスクに影響しているか、といったことが推察できます。」(鈴木氏)

### 瞳孔径と微小な眼球運動から音への注意を読み取る

人表Gは近年この分野でさまざまな研究成果を発表している。その1つが音への注意の読み取りだ。複数の音が混在する環境において、どの方向から来る音に注意が向いているかを、無自覚な瞳孔径の変化や微小な眼球の動き(以下、マイクロサッカド)から読み取る実験を行った。

実験参加者に黒、灰、白のように水平方向で段階的に明暗が異なる画面の中央を注視してもらい、その状態で左右別々の方向から聞こえる男性と女性の声を同時に聞いてもらう。どちらかの声に注意を向けようと、注意を向けた方向に視線を向けているような瞳孔径の変化やマイクロサッカドを示すことがわかった。これにより、瞳孔径の変化やマイクロサッカドを計測してどの方向の音に注意を向けているかを知ることができる。

CS研オープンハウス2023ではこれらの実験結果に基づいて、音に対する注意方向を推測するデモ展示が行われ、来場者に体験をしてもらった。

### 瞳孔径を変化させ魅力度評価に介入できることを発見

もう1つは瞳孔径の変化量から魅力度の評価を読み取ることであった。人の顔写真を見ると、魅力度が

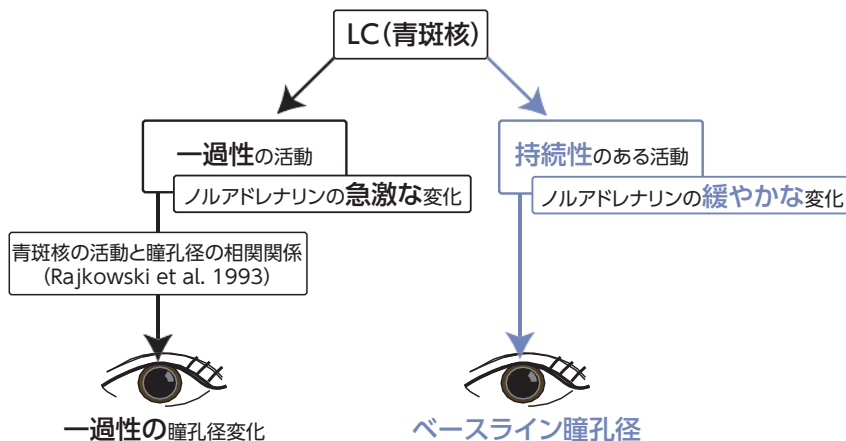


図2 ベースライン瞳孔径

大きいと感じるほど瞳孔径が縮小することがわかった。さらにこの結果を基にもう1つの実験を行った。背景が黒と灰色の顔写真を用意し、それらを見せたときの瞳孔径と魅力度評価を調べるという実験であった。瞳孔が縮小する灰色の背景の方が、顔を魅力的に感じるという実験結果であった。このことから、外部刺激により瞳孔径変化を生じさせることによって魅力度の評価に介入できることがわかった。瞳孔径を変化させることで、認知や行動への介入が可能になることを示した世界で初めての研究であった。

### 持続性のある活動を反映するベースライン瞳孔径

瞳孔径と脳の内部状態の関係をより詳しく説明する。瞳孔径は脳幹の青斑核(せいはんかく)と呼ばれる領域の活動と関連があることが既存の研究によりわかっている。青斑核は覚醒や注意に関与する領域であり、脳内の神経伝達物質としてノルアドレナリンを分泌する。

青斑核の活動はノルアドレナリンの急激な変化を伴う一過性のものと、ノルアドレナリンの緩やかな変

化を伴う持続性のあるものの2つに分けることができる。この脳活動パターンに関連した瞳孔の変化が知られている。たとえば、ある知覚や感覚のイベントによって一過性の瞳孔径変化が生じたり、覚醒度のレベルによって瞳孔径の大きさ自体(ベースライン瞳孔径)が時々刻々と変化する。前述の顔写真を見た後の瞳孔径を計測するケースでは、一過性の瞳孔径変化に着目している。

### ベースライン瞳孔径からイベント前の内部状態を読み取る

以下に紹介する鈴木氏による研究では、ベースライン瞳孔径に着目している。

「脳の状態を事前に読み取ることがを目的に、タスクに取り組む前のベースライン瞳孔径を計測しタスクのパフォーマンスや知覚状態の変化を調べました。生体信号としては心拍、皮膚抵抗、体温なども考えられますが、それらは非接触で計測ができない、安定した計測が難しいといった難しさがありました。最終的には、簡易で非接触に計測ができ、比較的緩やかに変化するベースライン瞳孔径の大きさにたどり着きまし

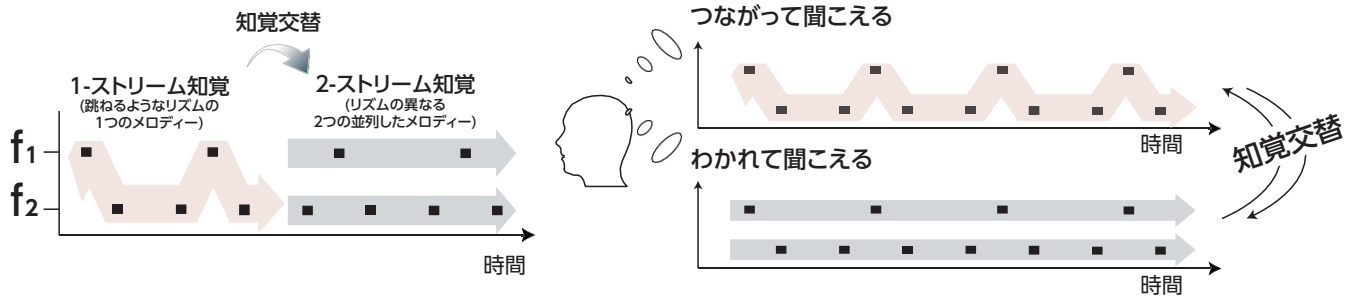


図3 多義的な音に対する知覚交替

た。」(鈴木氏)

瞳孔径変化量に着目したこれまでの研究の多くは、あるイベントが起きた後の瞳孔径の変化に着目していた。たとえばあるタスクをうまく実行できたのか、できなかったのかによってその後の瞳孔径が開く、開かないといったことを調べることが多かった。一方で、今回の実験ではタスクに取り組む前の瞳孔径を計測し、脳の内部状態を事前に読み取る試みを行った。

### 知覚交替

本研究で利用する「知覚交替」について説明するため、まず多義的図形について説明する。

同じ図形を見続けているにも関わらず異なる見え方をすることがある。そのような見え方をする図形を多義的図形と呼んでいる。例として、立方体の図において交わる2つの辺のどちらもが前にあるように見える「ネッカー・キューブ」、また壺の絵が向かい合う2つの顔のシルエットに見える「ルビンの壺」などを挙げることができる。人形が片足を軸に回転するシルエットを写した動画が左回りにも右回りにも見える「スピニング・ダンサー」も多義的図形の一つだ。

このような多義的図形を見続けている間に2つの見え方が切り替わることを知覚交替と呼んでいる。

知覚交替は集中瞑想と呼ばれる瞑想を行うと起きづらいことが既存の研究により確認されている。このことから集中力が高まっているときには知覚交替が起きづらく、散漫になっているときには起きやすいと考えることができる。

鈴木氏はこの既存研究で示されていることを応用し、知覚交替と瞳孔径の関係を調べることによって知覚交替の起きやすさと脳の内部状態の関係がどのように瞳孔径に反映されるのかを確認する実験を行った。

### 多義的な音に対する知覚交替を利用した実験

本研究では多義的図形ではなく、「多義的な音」を使用した。図形を見る実験では光によって瞳孔径が変化する可能性もあるため、音を聞く実験にすることによりノイズの混入を排除する目的があった。

本実験で使用した音がどのようなものであったかを図3に示す。低い音と高い音が交互に繰り返されるのだが、「ピポピ、ピポピ」という1つのメロディに聞こえる場合と「ピ、ピ」と「ポ、ポ、ポ、ポ」という2つのメロディが平行して

流れるように聞こえる場合がある。この聞こえ方が切り替われば、知覚交替が起きたことがわかる。

実験では参加者に多義的な音を聞いてもらう前のベースライン瞳孔径を計測し、一定時間音を聞いた後に知覚交替が何回発生したかを申告してもらった。

### タスク開始前の瞳孔径が大きいほど知覚交替回数が多い

実験の結果を図4と図5に示す。図4は音を聞き始める直前、1秒間のベースライン瞳孔径の大きさと知覚交替の発生回数の関係を示している。ベースライン瞳孔径が大きいほど知覚交替が起きやすいという関係が見て取れる。このことから、ベースライン瞳孔径に反映される持続性のある脳活動の状態変化が知覚交替頻度に影響を与えている可能性があると考えられる。

「知覚交替のような主観的な体験を伴う脳の状態変化を、タスク実行前の瞳孔径から読み取れることを示したと言えます。このことを応用すると、タスク実行前の脳の状態を知ることが可能と考えています。」(鈴木氏)

### 瞳孔径と知覚交替回数の相関が30秒持続

図5は同じ実験におけるタスク



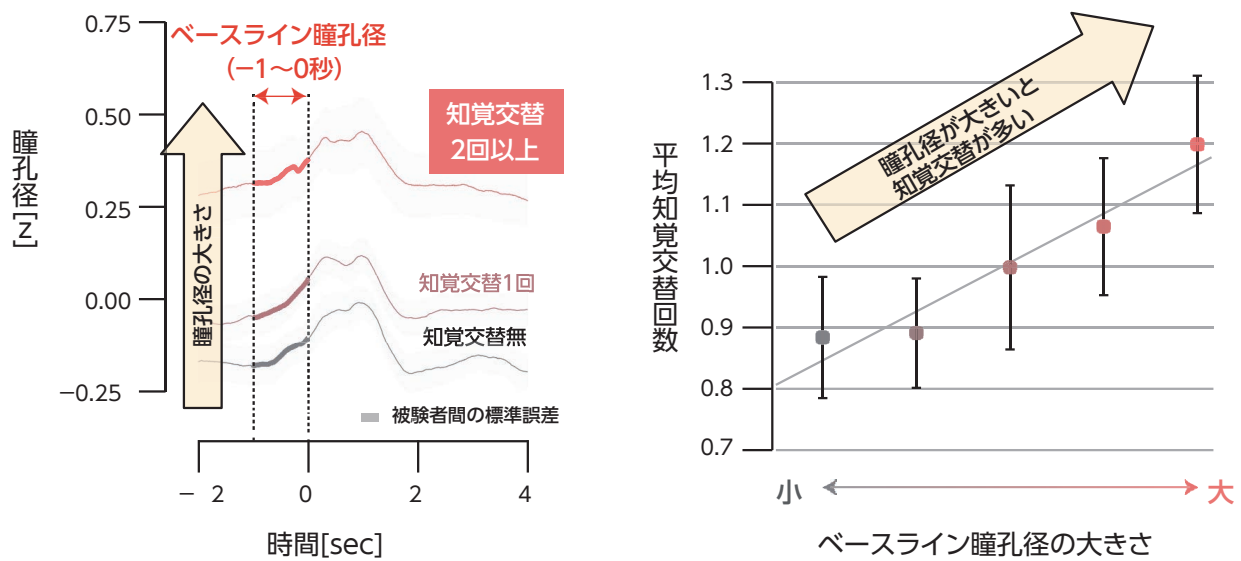


図4 タスク開始前の瞳孔径と知覚交替回数の関係

開始直よりもかなり前、180秒前までのベースライン瞳孔径と知覚交替回数の相関関係を示したものだ。30秒ほど前でも瞳孔径の大きさと知覚交替回数に相関関係があると言える。

「30秒前のベースライン瞳孔径に反映される脳の内部状態と知覚交替に相関関係を見いだせたことは、興味深い発見でした。今の瞳孔径の状態から、30秒先の脳の内部状態を予測できる可能性があるということです。」(鈴木氏)

### 「介入」することによる応用や理解の進化に取り組む

鈴木氏は今後、脳の内部状態を読み取ることに加えもう1つの目標である知覚や認知への介入に関する研究にもより力を入れていく考えだ。

たとえば照明を工夫することでベースライン瞳孔径を変化させ、知覚交替を多く発生させるような内部状態の変化を引き起こすことができるか、ということに取り組んでいる。知覚交替をうながすことができれば集中力を高める、または集中力を持続させるよう

な介入の実現可能性も高まる。

また特殊な照明で瞳孔径を変化させることにより、タスクのパフォーマンスにどのような影響があるかを調べる、といった研究も行う予定であるという。

「これまで瞳孔径に着目した研究ではタスク後の瞳孔径を計測していました。これにより可能な介入は事後のアドバイスです。何かタスクをこなしてから『パフォーマンスが良くなかった』と言われるよりも、事前に何らかのアドバイスをもらえた方が良いと思います。こうしたことから、タスク開始前のベースライン瞳孔径に反映される脳の内部状態と例えば覚醒度や集中力との関係があることを利用した介入の研究に力を入れる考えです。介入は実験室レベルの研究だけでなく、実空間への応用という意味でも重要になってくると思います。また介入を行うことが脳の内部状態をより深く理解することや、瞳孔径がどのような働きを持っているかを深く理解することにもつながると期待しています。」(鈴木氏)

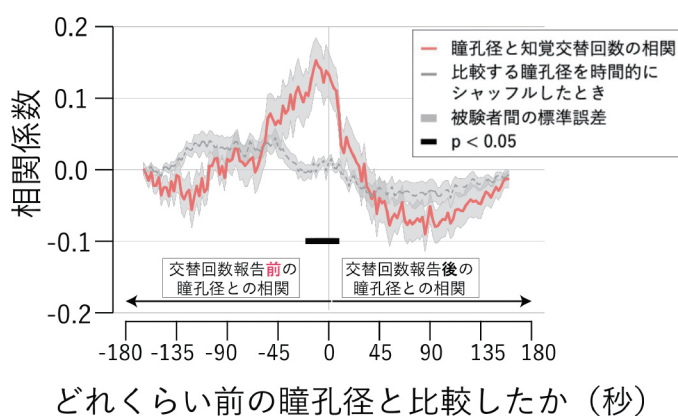


図5 瞳孔径と知覚交替回数の相互相関