

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
立命館大学

外言と内言では瞳の大きさが異なる

声に出す「外言（がいげん）」によって数を数える場合と、心の中で数える「内言（ないげん）」での瞳孔反応を比べたところ、外言では一貫して瞳孔が拡大する一方、内言での瞳孔反応は課題によって変わり、いずれも外言より小さいことを明らかにしました。頭の中の言葉は、声に出す言葉より覚醒状態が低いことを示しています。

私たちは、声に出さなくても頭の中で自分に語りかけたり、言葉を使って考えたりします。こうした頭の中の言葉は「内言」と呼ばれ、思考や自己制御を支えると考えられています。脳イメージング研究から、内言は声に出す言葉「外言」と共通する言語ネットワークを一部用いることが分かってきましたが、脳のどの部分が働くかに焦点が当てられてきたため、内言と外言で脳が同じ覚醒状態で働いているのかは分かっていませんでした。

そこで本研究チームは、脳の覚醒状態を秒単位で映し出し、発声中も非接触で計測できる瞳孔の大きさの変化に着目しました。健常な若年成人を対象に、安静（何も考えない）、外言（声に出して数える）、内言（心の中で数える）の 3 条件からなる数唱課題を用い、数え方の異なる三つの実験で瞳孔径の変化を調べました。その結果、外言では三つの実験の全てで瞳孔が拡大した一方、内言での瞳孔反応は課題によって縮小・不変・拡大と異なり、いずれの実験でも外言より小さいままでした。

これらの結果は、内言が「声に出さない小さな外言」ではなく、外言よりも覚醒状態が低い言語活動であることを示しており、内言研究に、脳の状態という新たな視点を加えるものです。本手法は、幼児期に頭の中の言葉が育つ過程の解明や、スポーツで自分を鼓舞したり落ち着かせたりする際の言葉の使い分けの理解につながることで期待されます。

研究代表者

筑波大学体育系／ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター（ARIHHP）

桑水 隆多 助教

立命館大学 OIC 総合研究機構

渡部 綾一 助教

京都大学大学院文学研究科

森口 佑介 教授

研究の背景

「目は口ほどに物を言う」といわれます。では、声に出して話すときと、頭の中で話すときとで、目は同じように物を言うのでしょうか。

声に出さずに頭の中で行う発話は「内言^{注1)}」と呼ばれ、思考や記憶、自分の行動や感情のコントロールに重要な役割を果たすと考えられています¹⁾。脳イメージング研究から、内言は左下前頭回（ブローカ野）などの言語ネットワークを外言と共通して用いることが分かってきましたが、その活動が外言より弱いのか、同程度か、むしろ強いのかは脳の領域や課題によって異なり、決着をみていません²⁾。加えて、これまでの研究はもっぱら大脳皮質のどこが働くかに焦点を当ててきました。皮質の働きは、脳幹などから脳全体に作用する上行性の覚醒システムによって支えられています。仮に内言と外言が同じ脳領域を用いていても、その領域が同じ覚醒状態で働いているのかは分かっていませんでした。

周囲の明るさが安定した環境では、瞳孔の大きさの変化は脳の覚醒や注意、認知的な負荷を反映することが古くから知られています³⁾。近年では、瞳孔の拡大・縮小が覚醒システムの活動や脳全体の活動状態を秒単位で映し出すことが明らかになり、脳の覚醒状態の指標（瞳孔連動覚醒^{注2)}）として神経科学分野で注目されています^{3) 4)}。瞳孔計測は非接触・非侵襲で、発声中も頑健に計測できるため、発声に伴うノイズ処理が一つの課題となり得る脳波や機能的近赤外分光法（fNIRS）とは異なり、内言と外言を同じ条件で直接比較するのに適しています。

数を数える課題（数唱課題）は、話す内容を統制しやすく、子どもの研究にも橋渡しできる課題です。本研究チームはこれまで、この課題を用いて幼児の内言を測定する研究⁵⁾を進めてきました。本研究では、内言と外言で脳の覚醒状態が似ているのか、あるいは異なるのかを、数唱課題中の瞳孔計測によって検証しました。

研究内容と成果

本研究では、健常な若年成人（大学生・大学院生）を対象に三つの実験を行いました（解析対象はそれぞれ23人、27人、30人）。参加者は画面を見つめたまま、30秒間の安静と45秒間の課題を繰り返しました。課題は安静条件（何も考えない）、外言条件（声に出して数える）、内言条件（心の中で数える）の3条件で、ランダムな順序で各3回ずつ行いました。画面の明るさや表示する情報は条件間で厳密にそろえ、スクリーン型アイトラッカーで瞳孔径を連続記録し、直前の安静時を基準とした課題中の瞳孔径の変化量を求めました。

実験1では「1、2、3…」と順に数える単純な数唱、実験2では「猫が一匹、猫が二匹…」のように名詞句を付けて数える課題、実験3では「1、4、7、10…」のように2～4ずつ飛ばして数える課題を用いました（図1）。なお、内言が実際に行われたことを確認するため、内言でどこまで数えたかを聞き、外言で数えた最後の数との関係を調べたところ強い相関（ $\rho = 0.85 \sim 0.92$ ）がみられました。これは、外言で速く数える参加者ほど内言でも速く数える傾向が一貫してみられたことを示し、参加者が指示された内言を実際に行っていたことを間接的に支持します。

その結果、外言では三つの実験の全てで安静時より瞳孔が拡大しました（図2）。一方、内言における瞳孔の変化は課題によって異なり、単純な数唱（実験1）では安静時よりも縮小し、名詞句を伴う数唱（実験2）では安静時と差がなく、飛ばし数え（実験3）では明確に拡大しました。ただし、いずれの実験でも、内言の瞳孔径は外言より有意に小さいままでした。すなわち、内言に伴う瞳孔連動覚醒は、数え方の違いで変化の仕方はさまざまなものの、どの条件でも外言の水準には達しませんでした。

これらの結果は、内言が外言よりも低い瞳孔連動覚醒を伴うことを示しています。外言は構音や呼吸運動、自身の音声を聴取・調整する感覚フィードバックなどを伴うため、これらの付加的な処理が覚醒

システムをより強く働かせている可能性があります。一方、内言は外言と一部共通する言語機構を、より低い覚醒状態で動かしていると解釈できます。内言と外言の脳の皮質活動の違いを巡って脳イメージング研究の結果が一致しないことの背景にも、こうした瞳孔と連動した覚醒状態の違いがある可能性があります。

今後の展開

本研究は、内言・外言・何も考えない状態を同一の課題のもとで瞳孔から直接比較した初めての研究であり、脳のどこが働くかに焦点が当てられてきた内言研究に、脳がどのような状態で働くかという新たな視点を加えるものです。

瞳孔計測は非接触・無音で、幼い子どもにも適用しやすい方法です。本研究チームは最近、1 から 5 まで数える課題によって幼児（3～6 歳）の内言の発達を測定できることを報告しています⁵⁾。今回の手法をこれに組み合わせることで、幼児期に独り言（私的発話）が頭の中の言葉へと内面化していく過程で、脳の覚醒状態がどのように変化するかを捉えられると期待されます。

また、スポーツの現場では、声に出したり心の中で唱えたりするセルフトークが、自分を奮い立たせたり落ち着かせたりするために広く用いられています⁶⁾。本研究では、声に出して数える場合は心の中で数える場合よりも瞳孔連動覚醒が高いことが示されました。この違いは、頑張りたいときと冷静に集中したいときで言葉を使い分けることの生理学的な手がかりとなるかもしれません。この点は、より実践的な場面での研究が必要です。

本研究にはいくつかの限界があります。第一に、本研究で用いた内言は指示に基づく数を数えるという特定の形態に留まり、自発的・対話的・要約的といった多様な日常の内言を含んでいません⁷⁾。第二に、安静条件は完全な精神的安静を意味するものではなく、相対的な対照条件に過ぎない点です。今後は、より自然な自発的・対話的内言への対象拡大に加え、脳機能イメージング法や自律神経系（心拍・呼吸）のマルチモーダル計測、さらに発達期や臨床群への検証を通じて、内言と覚醒状態の関係を多角的に解明していく必要があります。

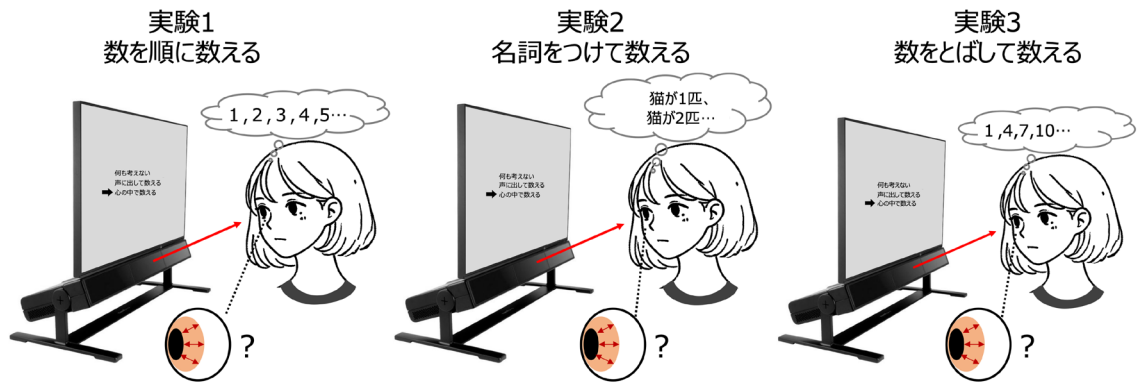


図 1. 実験の方法 参加者は画面を見つめ、「何も考えない」（安静条件）、「声に出して数える」（外言条件）、「心の中で数える」（内言条件）のいずれかを 45 秒間行った。その間の瞳孔径（瞳孔の大きさ）の変化を、画面下のアイトラッカーで連続記録した（イラストは内言条件）。

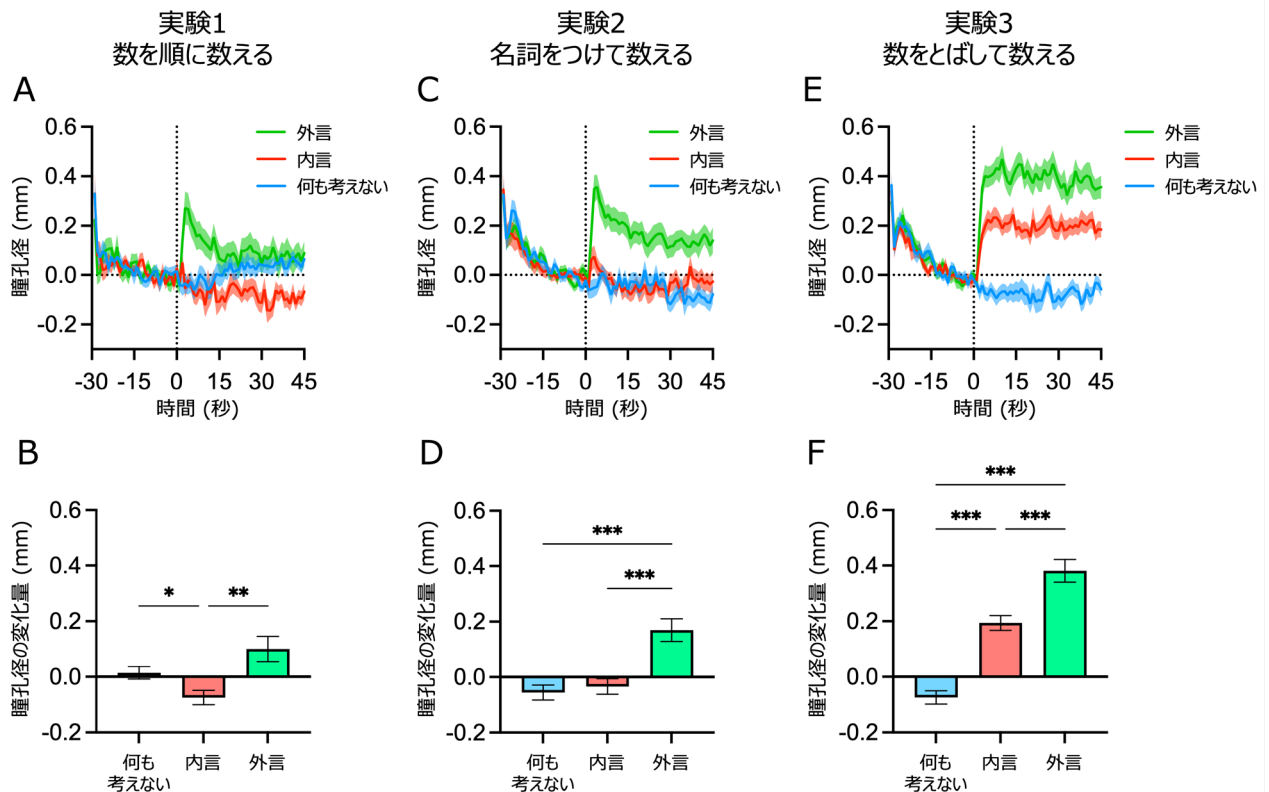


図 2. 内言と外言における瞳孔径の変化 A、C、E：課題開始（0 秒、縦の点線）の 30 秒前から 45 秒後までの瞳孔径の推移。課題直前 15 秒間の平均を 0 とした差で示す。B、D、F：課題 45 秒間の瞳孔径の変化量。緑は外言（声に出して数える）、赤は内言（心の中で数える）、青は何も考えない（安静条件）で、線と棒は平均、帯とバーは標準誤差。外言では三つの実験全てで瞳孔が拡大したが、内言では実験 1 で縮小、実験 2 でほぼ変化なし、実験 3 で拡大と課題により異なり、いずれも外言より小さかった。* $P < 0.05$ 、** $P < 0.01$ 、*** $P < 0.001$ （条件間の有意差）。

参考文献

1. Alderson-Day, B. & Fernyhough, C. Psychol. Bull., 141, 931–965, 2015.
2. Price, C. J. NeuroImage, 62, 816–847, 2012.
3. Joshi, S. & Gold, J. I. Trends Cogn. Sci., 24, 466–480, 2020.
4. Schwalm, M. & Rosales Jubal, E. eNeuro, 4, ENEURO.0293-16.2017, 2017.
5. Otani, K. et al. Acta Psychol., 270, 107716, 2026.
6. Fernyhough, C. & Borghi, A. M. Trends Cogn. Sci., 27, 1180–1193, 2023.
7. Hurlburt, R. T. et al. PLoS One, 11, e0147932, 2016.

用語解説

注 1) 内言 (inner speech) と外言 (overt speech)

声に出さずに頭の中で経験される言葉を内言、声に出して行う発話を外言と呼ぶ。内言は自分自身への語りかけや考え事などに用いられ、思考や自己制御を支えると考えられているが、外から直接観察できないため、その客観的な測定には課題がある。

注 2) 瞳孔連動覚醒 (pupil-linked arousal)

明るさが一定の環境で観察される瞳孔径の変化のうち、脳の覚醒状態と連動する成分。認知的な努力や身体活動などに伴って高まり、脳の覚醒状態を映し出す指標として注目されている。

研究資金

本研究は日本学術振興会 (JSPS) 科学研究費補助金 (23H04830、24K20598、23KJ1169 : 桑水隆多、24K00486、23H04832 : 森口佑介)、筑波大学ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター (ARIHHP) の研究助成 (渡部綾一・山本希・桑水隆多) の支援を受けて実施されました。また、学術系クラウドファンディングサイト「academist (アカデミスト)」を通じてご支援いただいた皆さんの寄付 (プロジェクト番号 396) も活用されています。

掲載論文

【題 名】 Dissociable pupil-linked arousal during overt and inner speech (外言と内言における瞳孔連動覚醒の乖離)

【著者名】 Ryuta Kuwamizu (桑水隆多) *, Ryoichi Watanabe (渡部綾一) *, Nozomi Yamamoto (山本希), Kota Otani (大谷康太), Yusuke Moriguchi (森口佑介) * 共同筆頭著者・共同責任著者

【掲載誌】 iScience

【掲載日】 2026 年 10 月 9 日 (オンライン公開)

【DOI】 <https://doi.org/10.1016/j.isci.2026.117825>

問い合わせ先

【研究に関すること】

桑水 隆多（くわみず りゅうた）

筑波大学体育系／ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター（ARIHHP） 助教

TEL: 029-853-4477

Email: kuwamizu.ryuta.ft@u.tsukuba.ac.jp

<https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000004918>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

立命館大学 広報課

TEL: 075-813-8300

E-mail: r-koho@st.ritsumei.ac.jp