

# 意識レベルの定量化を目指す

脳内の統合情報量の新たな指標を提案

2016年12月7日プレスリリース

医療の現場では、植物状態や麻酔状態にある患者さんの意識レベルを判定しなければならないことがある。そのような場合、患者さんが意識的な行動を示すかを医者が診て判定するが、主観に頼る部分があり誤診の可能性がある。医療現場に限らず意識レベルの判定は極めて難しい。例えば赤ん坊はいつから意識が生まれるのか、成長とともにどのように変化していくのか。眠っているときの意識レベルはどの程度低いのか。ヒト以外のイヌやカラス、チョウ、ハエは意識を持つのか。ヒトと同等の神経ネットワークを持つ人工知能が出現したら意識を持つのか。興味は尽きないが、これらの問いに正確に答えるためには、脳活動から測定できる意識レベルの客観的指標が必要だ。

近年、米国の精神科医ジュリオ・トノーニが提唱した意識の統合情報理論が注目されている。トノーニは、ネットワーク内部でいろいろな情報が統合されたときに意識が生じると考え、その統合の度合いを示す“統合情報量”（以下 $\phi$ と記す）の指標を提案した。この指標で意識レベルを客観的に評価しようと考えたのだ。今回、脳科学総合研究センター 脳数理研究チームの大泉匡史 基礎科学特別研究員、甘利俊一チームリーダーらの研究グループは、これまでに提案された $\phi$ の指標が持つ数学的問題点を明らかにし、新たな指標の導出を試みた。

ニューロン2個から成るシンプルな“元ネットワーク”（図1①）を例に $\phi$ を説明する。 $\phi$ として測りたいのは、異なるニューロン間でどれだけ情報が交換されているかである（図1③）。従来指標ではこれに、同時に外部から受ける影響（ $y_1$ と $y_2$ を結ぶ緑線）が加わっていた（図1④）。研究グループは、元ネットワークを二つに切断した“切断ネットワーク”（図1②）も考え、二つのネットワークの情報処理の差（図1①-②）から、異なるニューロン間の情報交換だけを求められるようにした\*。元ネットワークのように全体が統合されて情報処理されていると $\phi$ は高く、切断ネットワークのように部分がばらばらに情報処理されていると $\phi$ は低くなる。

上述の二つのニューロンを、左脳と右脳に置き換えることもできる。私たちの脳は左脳と右脳という二つの脳が脳梁でつながっている。われわれは通常、自分の脳の中で意識は一つと思っているが、脳梁が部分的に切断されてしまった分離脳の患者さんの場合、左脳と右脳とで独立な意識が生まれた

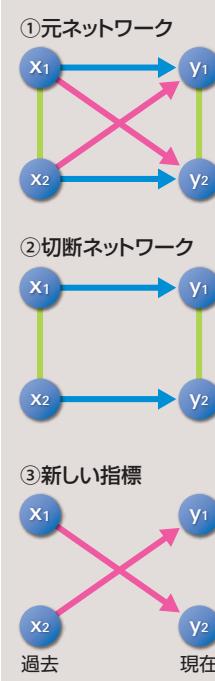


図1 ニューロン2個から成るネットワークの統合情報量

ニューロン2個から成る元ネットワーク（①）を考え、各ニューロンの過去の活動度を（ $x_1$ 、 $x_2$ ）、現在の活動度を（ $y_1$ 、 $y_2$ ）とする。各ニューロンの現在の活動度は、自身の過去からの影響（ $x_1$ と $y_1$ 、 $x_2$ と $y_2$ を結ぶ青矢印）、他ニューロンの過去からの影響（ $x_1$ と $y_2$ 、 $x_2$ と $y_1$ を結ぶ赤矢印）、同時に外部から受ける影響（ $y_1$ と $y_2$ を結ぶ緑線）によって決まる。元ネットワークを二つに切断した切断ネットワーク（②）では、赤矢印の情報処理がなくなり、二つのニューロンが個別に情報処理を行う。統合情報量の新しい指標（③）は、赤矢印の情報処理に対応し、元ネットワークと切断ネットワークの情報処理との差として求められる。従来の指標（④）では、緑線の情報処理が残っていた。

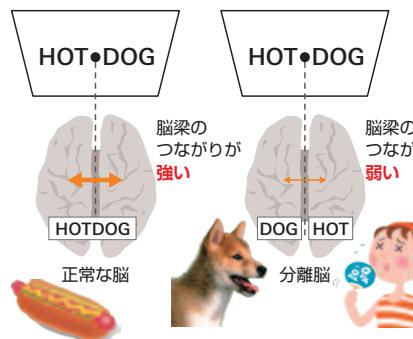
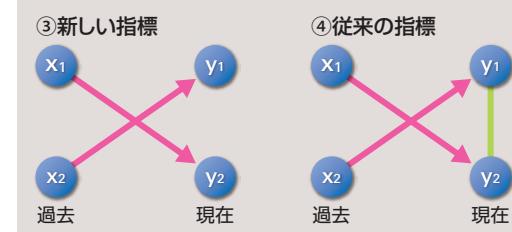


図2 分離脳の実験

画面中央の●を注視すると、左視野の「HOT」は右脳に届き、右視野の「DOG」は左脳に届く。正常な脳では、二つの視野情報を統合し「ホットドッグ」として認識することができる。脳梁が切断された分離脳は、左脳は「イヌ」、右脳は「熱い」と別々に認識し、「ホットドッグ」と認識することができない。

かのような振る舞いを示す（図2）。この場合、分離脳の $\phi$ は正常脳の $\phi$ より低くなる。

私たちの脳のニューロンは数十億～1000億個程度といわれており、脳の $\phi$ を正確に測定するのは不可能に近い。研究グループは、脳波から $\phi$ の近似値を測定し、睡眠状態や麻酔状態で $\phi$ がどう変化するかなどの実証実験を進めている。意識研究のさらなる発展を期待したい。

- 『Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America』（2016年12月6日号）掲載

\*統合情報量の導出法：全ニューロンの過去と現在の活動度は、どのような値を取るかが確率で決まる確率変数である。まず、元ネットワークで測定した活動度に適合するような確率分布を決める。次に、元ネットワークの確率分布をもとに、切断ネットワークの確率分布の集合を理論的に決める。そして情報幾何学を用いて、元ネットワークの確率分布と切断ネットワークの確率分布の集合との距離が最も近くなる状態を定める。そのときの距離が、研究グループが提案した統合情報量の指標となる。情報幾何学は、甘利チームリーダーが確立した数学の一分野で、確率分布の集合から成る空間を考え、その空間の中に成り立つ幾何学を考えるもの。