

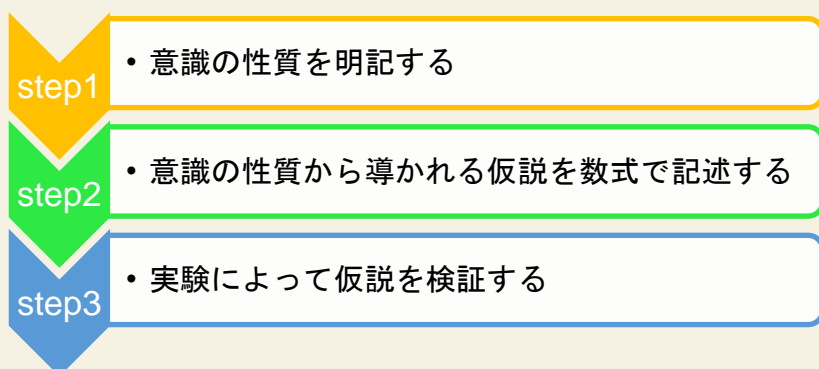
統合情報理論

～意識の数理～

理論

統合情報理論（Integrated Information Theory, IIT）は意識を数学的に取り扱った現状唯一の理論です。意識という主観的なものが数学で記述される対象になることにまず驚かれる方も多いかもしれません。このポスターではIITがいかにして意識を数学的に取り扱っているのかを見ていきます。

IITの立論は次のようになっています。



Step1の意識の性質というのは、我々が自分の意識について主観的に知っていること（経験していること）でなければなりません。そうでなければ、主観的な意識を扱っていることにならないからです。そして、意識の性質を明記することは、「意識はこういうものだ」と定義することに近く、それによって議論の対象を明確にする意味があります。Step3は、これがないと科学とは言えないので非常に重要です。そして、Step2があることによって始めてStep3が成り立つ、つまりStep2には仮説を検証可能なものにする意味があるというわけです。

Step1では「情報」「統合」という概念が出てきますが、その心は簡単な思考実験から理解できます。

思考実験その1：

スクリーンの前に人がいて、スクリーンがついていたら「ついています」、消えていたら「消えています」と報告するとします。また、同じスクリーンの前にフォトダイオードが置いてあり、スクリーンがついていると電流を流し、消えていると流さないとします。この時、人もフォトダイオードもついているか消えているかを「報告」することができるという点では同じですが、人には意識がありフォトダイオードには意識がないと思われます。その違いはどこにあるのでしょうか？それは、「報告した時にどれだけ多くの可能性を排除しているか」です。フォトダイオードが電流を流さない時スクリーンがついている可能性を排除しているに過ぎないのに対し、人が「消えています」と報告した時はスクリーンに色々なものが映る無数の可能性を排除しています。この「排除している可能性の多さ」は「情報量の大きさ」とも言い換えられます。

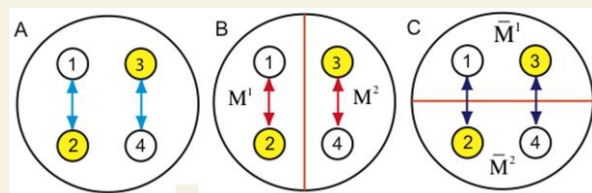
思考実験その2：

その1で、フォトダイオードの代わりに、フォトダイオードを100万個並べたカメラ（のようなもの）を置いたらどうでしょうか？カメラは人と同じようにスクリーンに映る様々な画像を区別して「報告」できます。つまり情報量の大きさという点では人とそれほど変わらないことになります。しかし、カメラに意識があるとは思えません。その違いはどこにあるのでしょうか？それは「統合されているかどうか」です。カメラはバラバラなフォトダイオードの集まりでそれらは互いに影響を及ぼさないのに対し、人の脳は神経細胞の集まりでそれらは互いに影響し合っています。

2つの思考実験の結論をまとめると、意識には「情報量が大きい」「統合されている」という性質があるということになります。これらがStep1で意識の性質として明記されます。

Step2では、Step1の意識の性質に基づき、意識レベルに対応する量として、統合されている度合いまで含めた情報量を統合情報量 Φ として数学的に記述します。数学的に記述するためにはモデルが必要です。IITが対象とするモデルは、ある時刻にそれぞれの状態をとる確率が一つ前の時刻の状態だけから決まるようなもので、専門的には「離散時間マルコフ過程」と言います。人間の脳も、そのようなモデルで近似することは可能です。数学的というと現実離れしている印象を受けるかもしれませんが、様々な対象をそのようにモデル化することが可能なので、IITの適用範囲は広いです。 Φ の定義は複雑ですが、ざっくり言うと、対象となるシステムとそれを分割したシステムの「相互情報量」の差のような形で定義されています。（ただし、これは定義の一例であり、別の定義も考えられています。）

例を見てみましょう。AのようなシステムはBのように分割しても全く変わらないので、 Φ は0になります。Cのように分割するとAとの違いは出ますが、IITでは最も違いが出ないような分割の仕方考えるので、AとBを比べた結果が Φ になります。



[2]の図を改変

Step3の実験は、夢を見ている最中の人の脳や植物状態の患者の脳の神経活動を調べたりして実際に行われています。

IITが確かめられれば、植物状態かどうかの判断が難しい患者に意識があるかどうかを判定する道が開けることにもなります。

参考文献

- [1] トノーニ, ジュリオ・マッスィミーニ, マルチェッロ. 意識はいつ生まれるのか 脳の謎に挑む統合情報理論 (花本知子訳), 垂紀書房, (2015), ISBN 978-4-7505-1450-5
- [2] Balduzzi D, Tononi G (2008). Integrated information in discrete dynamical systems: motivation and theoretical framework. PLoS Computational Biology, 4 (6), pp. e1000091.