

脳のデジタルツインが拓く未来：精神・神経疾患の個別化医療へ*

Digital Twin Brain: Paving the Way for Personalized Neuropsychiatric Medicine

国立精神・神経医療研究センター | 高橋 雄太 Yuta Takahashi

1 はじめに

現実世界をデジタル空間に再現する「デジタルツイン」技術を、人体で最も複雑な臓器である「脳」に応用する挑戦的な研究が進められている。個人の脳をリアルタイムに再現する「デジタルツイン脳」が実現すれば、薬の作用を事前にシミュレーションしたり、精神・神経疾患の複雑なメカニズムを理解したりできるようになる。これは、患者一人ひとりに合わせた「個別化医療」の実現に大きく貢献すると期待される。しかし、脳は数百億個もの神経細胞が複雑に絡み合ったネットワークであり、その活動は常に変化し個人差も大きい。そのため、デジタルツインの実現は容易ではない。われわれの研究グループは、この困難な課題に対し、霊長類の脳の状態をリアルタイムに反映する、新たな「デジタルツイン脳シミュレータ」を開発した⁽¹⁾。本稿ではその仕組みと可能性を紹介する。

2 脳の状態をリアルタイムに再現する仕組み

脳シミュレータは、脳内の神経活動を再現しながら、それをリアルタイムで脳にフィードバックするシステムである。そのため、二つの重要な要素を用いた。一つは、脳内で生じる神経活動をリアルタイムで観測することである。脳活動は電気的な信号（脳波）として観測される。もう一つは、脳内の神経活動をモデル化することである。脳活動データを用いたモデル化は「データ同化」と呼ばれる。これはリアルタイムに、観測された脳波データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定

している。脳活動のシミュレーションも同時に、観測データと一致するように調整して状態を推定する「観測データを用いたモデル化」を行う。この観測データを用いたモデル化は、脳活動の観測データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定することである。これは、脳活動の観測データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定することである。

3 シミュレータは脳の「意識」の状態を見分けられるか

意識状態の推定は、脳活動の観測データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定することである。これは、脳活動の観測データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定することである。これは、脳活動の観測データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定することである。

脳のデジタルツインが拓く未来：精神・神経疾患の個別化医療へ

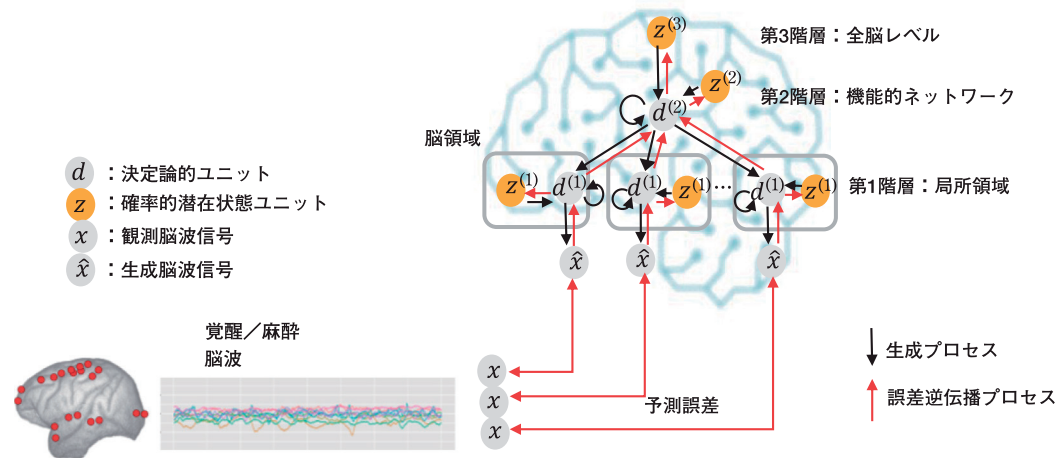


図1 デジタルツイン脳シミュレータのシステム。データ同化は、潜在状態から仮想脳波を生成するプロセスと、生成脳波と観測脳波の誤差から潜在状態を更新するプロセスによって成り立つ。

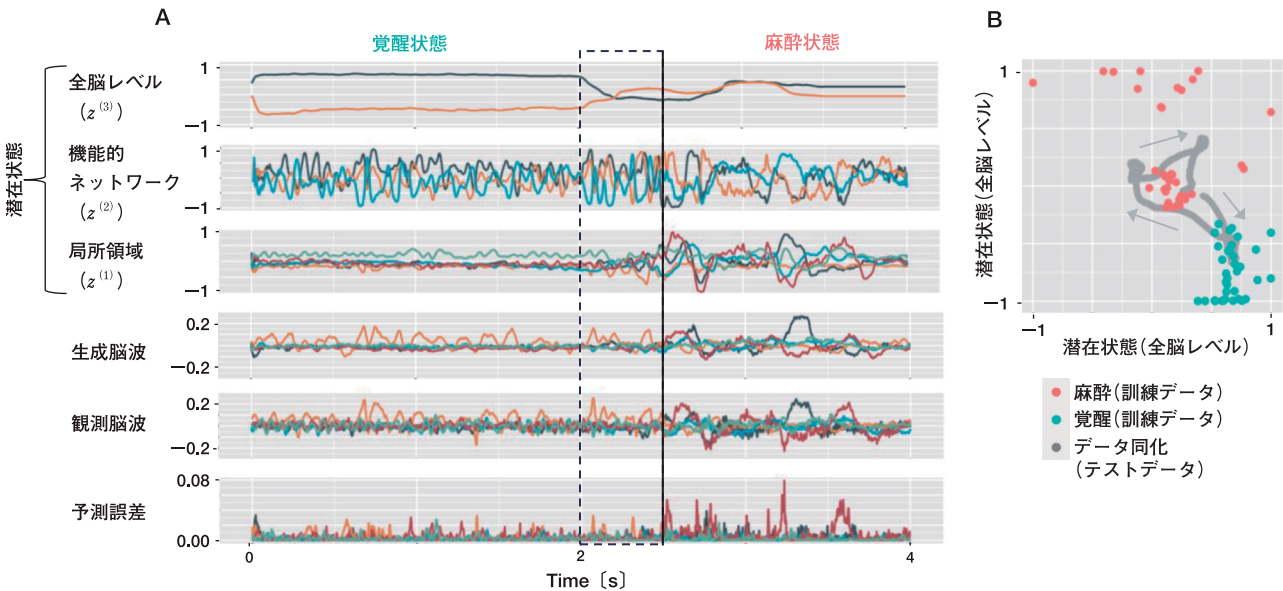


図2 (A)観測された脳波に対して、類似した波形の脳波の生成に成功している。さらに、そのときの潜在状態を観察すると、覚醒と麻酔時で大きく変化していることがわかる。(B)全脳レベルの潜在状態の変化(灰色)を観察することで、テスト個体における覚醒状態から麻酔状態への変化がわかる。

4 仮想的な脳への介入と個別化医療への展望

脳シミュレータの活用は、脳活動の観測データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定することである。これは、脳活動の観測データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定することである。

脳活動の観測データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定することである。これは、脳活動の観測データを用いてモデルを更新し、モデルが観測データと一致するように調整して状態を推定することである。

* 2025 年 8 月 24 日受付