



配信先：大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

2025 年 6 月 10 日

大阪公立大学

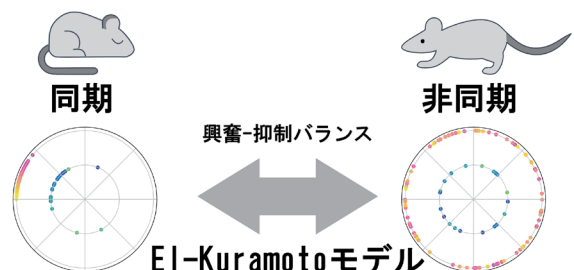
脳機能を正常に保つメカニズムの一端を解明 -興奮と抑制のバランスが神経細胞活動に及ぼす影響を数理モデルで解析-

<ポイント>

- ◇神経細胞の活動を解明するために数理モデル「EI-Kuramoto モデル^{*1}」を開発。
- ◇「EI-Kuramoto モデル」を用いてシミュレーションを行った結果、興奮と抑制の相互作用の強さのバランスが振動子^{*2}集団の状態の決定において重要であることが示された。

<概要>

脳の神経細胞は、自律的に振動しながら活動しており、同期状態（寝ているときなど）と非同期状態（集中しているときなど）を使い分けることで、さまざまな脳機能を実現しています。状態の変化には、神経ネットワークにおけるシナプスの興奮性入力（Excitation）と抑制性入力（Inhibition）のバランス、いわゆる EI バランスが関与していることが知られています。また、EI バランスの乱れは自閉症スペクトラムなど、多くの精神神経疾患で観察されています。しかし、EI バランスが神経細胞集団の活動にどのような影響を及ぼすのかについては、まだ十分に解明されていません。



図：同期状態（左）と非同期状態（右）の EI-Kuramoto モデルの例

そこで、大阪公立大学大学院医学研究科神経生理学の黒木 暁助教、水関 健司教授らの研究グループは、振動子の集団を興奮性と抑制性の 2 つのグループに分け、それぞれのグループ内およびグループ間で働く 4 種類の相互作用の強さを定義した新たな数理モデル「EI-Kuramoto モデル」を開発しました。このモデルを用いて振動子集団の活動を解析した結果、集団全体の状態が、これらの力のバランスによって同期状態、非同期状態、そして同期と非同期を交互に繰り返す双安定状態の 3 つに分類されることが明らかになりました。この成果は、脳の神経細胞が集団で活動する際の同期現象が、EI バランスによってどのように制御されているのかという基本的な仕組みを理解するための手がかりとなることが期待されます。

本研究成果は、5 月 23 日（金）に国際学術誌「Neural Computation」にオンライン掲載されました。

EI バランスが神経細胞の活動にどのように影響するのか、その詳しいメカニズムは不明な点が多いです。本研究が、さまざまな脳機能の理解、さらには関連する病気のメカニズム解明に繋がることを願っています。



黒木 暁助教

<研究の背景>

神経細胞は、一斉に活動する同期状態（休んだり寝ているときに多い）と、バラバラに活動する非同期状態（活動したり集中しているときに多い）を使い分けて、さまざまな脳機能を実現しています。この同期と非同期の状態では、ネットワーク全体の「興奮」と「抑制」のバランス(EI バランス)、特に抑制の働きが大きく変化していることが分かってきました。しかし、この EI バランスが、具体的にどのように神経集団の活動に影響を与え、同期活動の制御に関わっているのか、その詳細なメカニズムは、未解明の点が多く残されています。そこで、相互作用する多くの振動子が同期する現象を数学的に記述する「Kuramoto モデル」を使って、EI バランスが同期現象に与える影響を調べました。

<研究の内容>

本研究は、従来の Kuramoto モデルに EI バランスの考え方を取り入れて、「EI-Kuramoto モデル」を考案しました。このモデルでは、振動子の集団を、同期を促す「興奮性ユニット」と、同期を避ける「抑制性ユニット」の 2 つのグループに分け、ユニット間で働く 4 種類の相互作用の強さ（興奮-興奮、興奮-抑制、抑制-興奮、抑制-抑制）を定義しました。これらの 4 つの力のバランスをコンピューター上で変化させながらシミュレーションを行った結果、集団全体の同期が 4 つの力のバランスによって大きく 3 つの状態の「同期状態」、「非同期状態」、同期と非同期を交互に繰り返す「双安定状態」に分けられることが明らかになりました。さらに、数式を用いた解析によって、これらの状態が 4 つの力のバランスによって決定されることを理論的にも確認しました。また、生物の脳を模して、抑制に関わる力の強さを周期的に変化させると、モデルの活動状態が 3 つの状態（同期、双安定、非同期）の間を滑らかに切り変わる様子も再現しました。

<期待される効果・今後の展開>

本研究成果は、脳の神経細胞が集団で活動する際の同期現象が、どのようにして「興奮」と「抑制」のバランスによってコントロールされているのか、その基本的な仕組みを理解するための重要な一歩となります。また、脳の EI バランスの乱れは自閉症スペクトラムなど多くの精神神経疾患で観察されており、これらの疾患の治療につながる可能性があります。

<資金情報>

本研究は、日本学術振興会（JSPS）科研費(24K18243, 23H02788)、武田科学振興財団の研究助成を受けたものです。

<用語解説>

- ※1 EI-Kuramoto モデル：多くの振動子が集まったときに、お互いにどう影響しあい、全体としてどのように同期していくかを記述するための数理モデルである Kuramoto モデルに、EI バランス(神経細胞が受ける興奮性入力と抑制性入力とのバランス)の考え方を取り入れた数理モデル。
- ※2 振動子：振り子のように周期的に振動するもの。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Neural Computation

【論文名】 Excitation–inhibition balance controls synchronization in a simple model of coupled phase oscillators

【著者】 Satoshi Kuroki, Kenji Mizuseki

【掲載 URL】 https://doi.org/10.1162/neco_a_01763

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院医学研究科 神経生理学
助教 黒木 暁（くろき さとし）

TEL : 06-6645-3717

E-mail : skuroki@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課

担当：久保

TEL : 06-6967-1834

E-mail : koho-list@ml.omu.ac.jp