

ガウス分布関数の相対変化率の発散とまさつがない双安定系の確率共鳴

Divergence of relative difference in Gaussian distribution function and stochastic resonance in a bistable system with frictionless state transition

北大 量子集積センター・情報科学院・人間知・脳・AI センター ○葛西 誠也

RCIQE, IST, CHAIN, Hokkaido Univ., °Seiya Kasai

E-mail: kasai@rciqe.hokudai.ac.jp

確率共鳴 (Stochastic Resonance, SR) は雑音により微弱信号応答能力が「向上」もしくは「最適化」される非線形現象である。雑音が微弱信号をかき消けすのではなく信号検出を助けることは我々の直感に反する。しかし工学的見地からすると非常に有効な現象である。今では確率共鳴といえば生物に特徴的な現象として認知されているが、初出は 1982 年に発表された地球の氷河期の周期的到来のモデルである[1]。ここで紹介する論文[2]は、確率共鳴の誕生以来数多くの検討を経て確立した現象モデルの問題点を指摘し、新たなメカニズムを提案実証したものである。

確率共鳴の基本は、非線形系における雑音支援の状態遷移である。従来モデルは、現実的にはまさつの効果があり、信号の周期、雑音が後押しするタイミング、状態がスイッチするのに要する時間の 3 要素が適切に合致した際に系が微弱信号に特異的に反応する、というのが従来の描像である。これにより雑音強度に対して系の信号感度はピークをもつことが想像できる。

しかし、この描像は電子工学でよく知られている双安定電子デバイス、シュミットトリガでの確率共鳴を説明しなかった。シュミットトリガの確率共鳴に関し詳細なモデル解析の論文があるが[3]、しきい値に対する挙動が合わない。一般的なモデルまで遡って確認したが、どのモデルも実験と逆の傾向を示した。ただ、実験はモデルよりも明確に感度が高く「向上」を示していた。

確率共鳴の理論的フレームワークは非線形系確率ダイナミクスで、従来モデルでは確率微分方程式を用いて現象を記述解析する。だが、我々はこれに寄らず確率をベースに独自に数理モデルを構築し解析を進めた。結果的にまさつの影響を除くことで雑音の性質すなわち確率密度分布関数をダイレクトにモデルに取り入れることが可能になった。従来式では雑音に関するパラメータは雑音電力のみである。感度の式が明らかに異なるものとなった。

入出力関係を定式化し評価した結果、従来モデルでは不可欠であった任意パラメータを用いることなく、実験を定量的に再現した。これでモデルと実験の不一致は解消された。しかし、まだ反直感性の理由が不明であった。我々のモデル式を紐解いていったところ、確率共鳴の反直感性がガウス関数の数学的性質に由来しているという事実を知るに至った。詳細は当日説明する。

本講演の原著論文[2]は豊田中研 田所幸浩氏、名古屋大 一木輝久先生との共著である。論文化の過程でご議論・激励頂いた東京理科大福山秀敏先生に感謝致します。一連の研究は科研費新学術領域分子アーキテクニクスはじめとし複数のプロジェクトの支援を受けて行われた。

[1] L. Gammaitoni, P. Hänggi, P. Jung, F. Marchesoni, Rev. Mod. Phys. 70, p.223 (1998).

[2] S. Kasai, A. Ichiki, Y. Tadokoro, Appl. Phys. Express 11, p.037301 (2018).

[3] V. I. Melnikov, Phys. Rev. E 48, p.2481 (1993).