



研究者所属・職名 : 大学院情報工学研究院・教授

ふりがな ほ じょんぶん

氏名 : 許 宗焄

最適化したノイズによる確率共鳴現象および逆確率共鳴現象の制御

物性物理学およびその関連分野

主な採択課題 :

- [基盤研究\(C\)「振幅及び位相ゆらぎに対する液晶対流系の応答メカニズムの研究調査」\(2022-2024\)](#)
- [基盤研究\(C\)「1次元液晶対流系を用いた進行波及び孤立波のノイズ応答性の研究調査」\(2018-2020\)](#)
- [基盤研究\(C\)「カラーノイズによる液晶対流系の制御」\(2015-2017\)](#)

分野 : 物性基礎、非平衡散逸系

キーワード : 液晶、電気対流系、ノイズ、確率共鳴現象、逆確率共鳴現象

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

普通では検知できない微弱な信号に適切なノイズを加えると、その微弱信号を検出できることがある。このようなノイズのポジティブ効果は確率共鳴現象として広く知られている。これまで物理系、生物系、情報系、脳科学などの分野で確率共鳴現象(SR)と逆確率共鳴現象(ISR)が発見され、応用分野も多岐にわたる。**両共鳴現象の一括制御から必要に応じて系のパフォーマンスを柔軟に制御できる**可能性がある。

●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

これまでのSR及びISR研究では、主にホワイトノイズの強度のみに注目していたが、本研究では**ノイズのカラー化**や**パワースペクトルのエッジ効果**、**振幅・位相ノイズの混合を定量的に制御する手法**を導入し、この課題に取り組んだ。具体的には、数値解析と実験により、液晶電気対流(図1)の発生閾値に対するノイズ影響を通じて、SR-ISRの転移問題を調べた。本研究で、両共鳴現象の発生・消滅・転移手法が確立されれば、様々な応用分野への波及効果が大きいと期待できる。

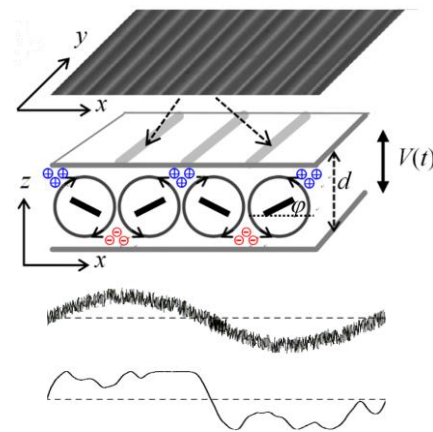


図1 液晶電気対流系と振幅・位相ノイズ



最適化したノイズによる確率共鳴現象および逆確率共鳴現象の制御

物性物理学およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

1. 液晶電気対流の発生閾値は、カラーノイズの特性（自己相関時間： $\tau \neq 0$ ）によって制御可能であることが分かった。従来のホワイトノイズ（ $\tau = 0$ ）による閾値の単調増加とは異なり、カラーノイズによる閾値の減少・一定・増加が実験で確認された。また、そのノイズ影響は磁場で制御できることも明らかにした。さらに、1次元及び2次元の液晶電気対流系で、対流パターンのダイナミクスを調査した結果、ノイズ強度の制御により、静止波から進行波、孤立波への転移が実験で確認された。本課題で明らかになった非平衡散逸系におけるノイズ影響の本研究成果は、Phys. Rev. E **95**, 042704(2017)及びE **97**, 042707(2018)として発表された。

2. 上記1の結果を踏まえて、これまでの振幅ノイズに加えて位相ノイズを新たに導入し、液晶電気対流系のノイズに対する応答を数値計算と実験で調査した。図2に示すように、「**位相ノイズによる確率共鳴現象（SR）**」と「**振幅ノイズによる逆確率共鳴現象（ISR）**」が、液晶対流系で初めて発見された。また、対流発生閾値の数値計算により、振幅・位相ノイズの混合によって**SR-ISRの転移**が確認された。本研究成果は、Scientific Reports **13**:16883(2023)及び**14**:21821(2024)として発表された。

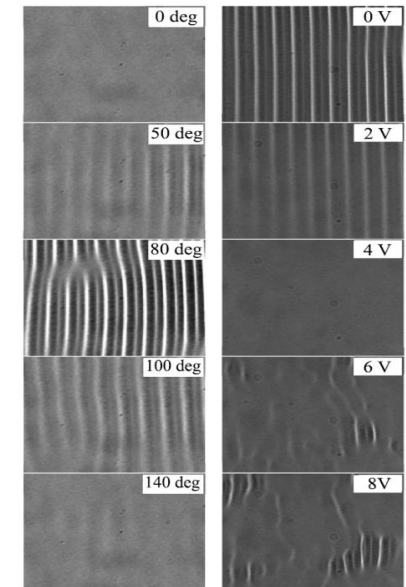


図2 位相ノイズによる確率共鳴(左)と振幅ノイズによる逆確率共鳴(右)

今後の展望

●**今後の展望・期待される効果** SR及びISRの研究は、1980年代に氷河期・間氷期の転移に対するノイズ由来のアプローチから始まり、その後、生物系、情報センサー、神経系など多くの分野で確認された。近年では、SRとISRの同時制御が注目され始めている。本研究で提案する「**カラー化した振幅・位相ノイズ混合手法**」は、この同時制御の可能性を秘めている。もし同時制御が実現すれば、システムから期待するパフォーマンス(SRの効果)と望まないパフォーマンス(ISRの効果)を組み合わせることができる。これにより、従来は独立した現象として限定的なパフォーマンスの制御に用いられたSR・ISRの応用研究が、高い自由度を持つことになり、ノイズを避けられないナノテクノロジーや脳神経分野などでの具体的な応用が期待できる。今後、液晶対流系以外の分野にも本研究手法を試していく予定である。