

## 自然界のありふれた雑音は小さな信号を際立たせる

～直感に反する確率共鳴現象の解明に新たな道筋：電子機器の小型・低消費電力化への貢献に期待～

### ポイント

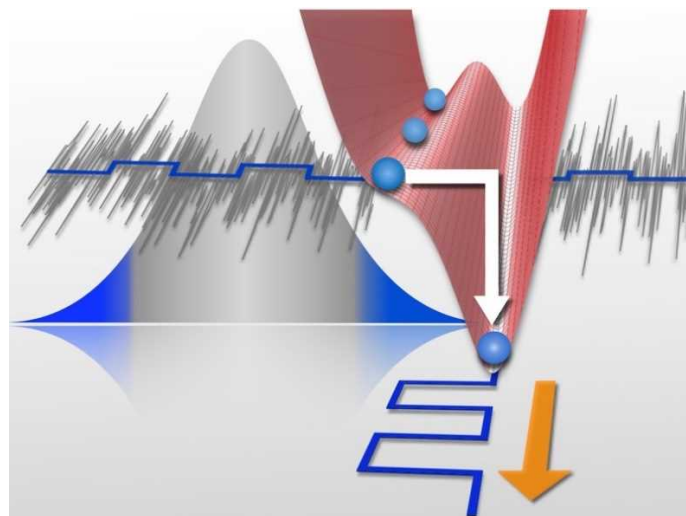
- ・ 雑音によって微弱な信号に対する感度が高まる確率共鳴現象を支える新たなメカニズムを発見。
- ・ 高感度化の起源が自然界に広く存在するガウス雑音にあることをつきとめた。
- ・ 電子機器の小型・省電力化や、ゆらぎが関わる自然・社会現象の理解への貢献に期待。

### 概要

北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター・大学院情報科学研究科の葛西誠也教授らは、名古屋大学の一木輝久特任准教授、株式会社豊田中央研究所の田所幸浩主任研究員らとの共同研究において、雑音（ノイズ）によって微弱な信号に対する感度が高まるという、直感に反する現象「確率共鳴」を説明する新たなメカニズムを発見しました。

騒音が会話をさえぎるように、雑音は小さな信号をかき消してしまう邪魔者です。しかし本研究は、双安定<sup>\*1</sup>な系においては摩擦が無視できる場合、自然界に広く存在するガウス雑音を加えることで小さな信号を高感度に検出することが本質的に可能であり、その起源はガウス分布<sup>\*2</sup>の裾の非線形<sup>\*3</sup>性にあることを理論解析と実験によってつきとめました。本研究成果はこれまで排除してきた雑音を逆に利用する新たな技術を可能にし、雑音などの「ゆらぎ」がからんだ非線形現象の理解を深めるものです。電子機器の小型化・低消費電力化の新たな可能性をひらくとともに、ゆらぎが関与する様々な自然・社会現象の理解につながるものと期待されます。

なお、本研究成果は、日本時間 2018 年 2 月 16 日（金）公開の Applied Physics Express 誌に Spotlights 論文として掲載されました。



ガウス雑音にうもれる微小信号と双安定系の応答の概念図

ガウス雑音が加わることで双安定系は小さな信号に敏感になり、高い感度で信号を取り出せる。

## 【背景】

話し相手の声を聞き取りにくくする騒音のように、不規則で耳障りな雑音（ノイズ）は捉えたい信号をかき消してしまう邪魔者です。ところが、生物にとっては雑音があるほうが敵を敏感に察知しやすいなど、雑音により感覚器の感度が高まることが知られています。直感に反するこの現象は確率共鳴と呼ばれています。電子工学をはじめとして様々な分野で雑音が問題になっている中で、雑音を利用することができるこの現象は工学的な利用価値が高いと考えられています。1981年に現象が報告されて以来、工学的応用のために原理の本質的解明が望まれてきましたが、誰もが納得できる十分な理解はまだ得られていません。

## 【研究手法】

理解をさまたげている一因は、雑音や現象発現に必要な非線形特性の理論的な取り扱いが難しく、解析が大変複雑で難解なことでした。そこで本研究では、これまで重要と考えられていた摩擦の効果を省いたシンプルなモデルを設定し、理論解析を行いました。

## 【研究成果】

非線形系の一つである双安定系において、感度と雑音の関係を導き出しました（図1右）。また、自然界に広く存在し、最も標準的な雑音である白色ガウス雑音の場合、雑音を特徴付けるガウス分布の裾において相対変化率が無限大に発散するという特異な性質があり、これが起源となりガウス雑音を信号に加えることで感度が増大することをつきとめました（図1左）。本理論は、シュミットトリガと呼ばれる双安定電子素子を用いて実験的にも確認されました（図2）。

## 【今後への期待】

本成果により、雑音を除去せずに小さな信号を扱えるようになることから、様々な電子機器の小型化や低消費電力化につながるものと期待されます。また、ガウス雑音の性質は自然界や社会の多くの現象に関連していることから、本研究が電子工学のみならず自然・社会のゆらぎと非線形が関与する諸現象の理解に貢献することも期待されます。

なお、本研究の一部は、科学研究費助成事業 新学術領域研究「分子アーキテクニクス～単一分子の組織化と新機能創成」及び挑戦的萌芽研究の一環として行われました。

## 論文情報

論文名	Divergence of relative difference in Gaussian distribution function and stochastic resonance in a bistable system with frictionless state transition（ガウス分布関数の相対変化の発散と状態遷移に摩擦がない双安定系における確率共鳴）
著者名	葛西誠也 <sup>1</sup> 、一木輝久 <sup>2</sup> 、田所幸浩 <sup>3</sup> （ <sup>1</sup> 北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター・同大学院情報科学研究科、 <sup>2</sup> 名古屋大学未来社会創造機構、 <sup>3</sup> 株式会社豊田中央研究所）
雑誌名	Applied Physics Express（応用物理学の専門誌）
DOI	10.7567/APEX.11.037301
公表日	日本時間 2018年2月16日（金）（オンライン公開）

### お問い合わせ先

北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター 教授 葛西誠也 (かさいせいや)

T E L 011-706-6509 F A X 011-716-6004 メール kasai@rciqe.hokudai.ac.jp

U R L <http://www.rciqe.hokudai.ac.jp>

### 配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

### 【参考図】

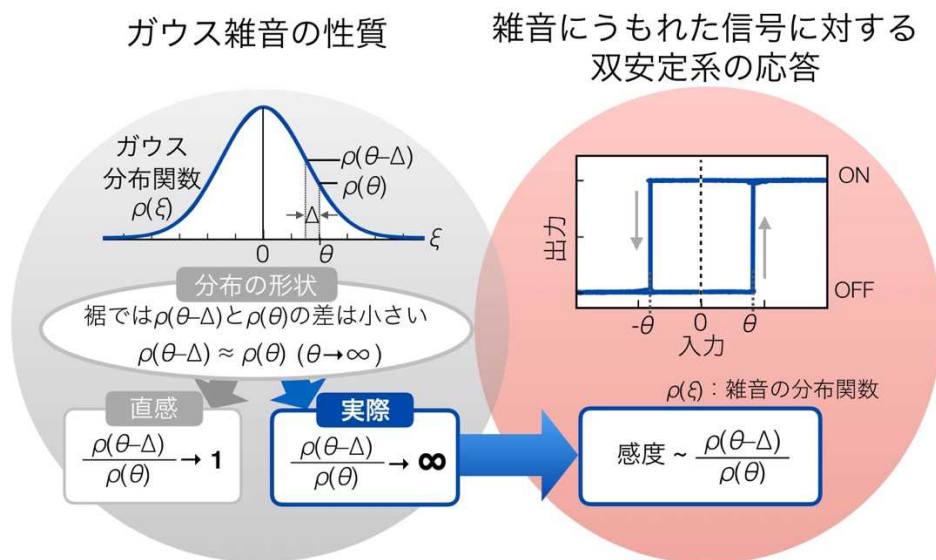
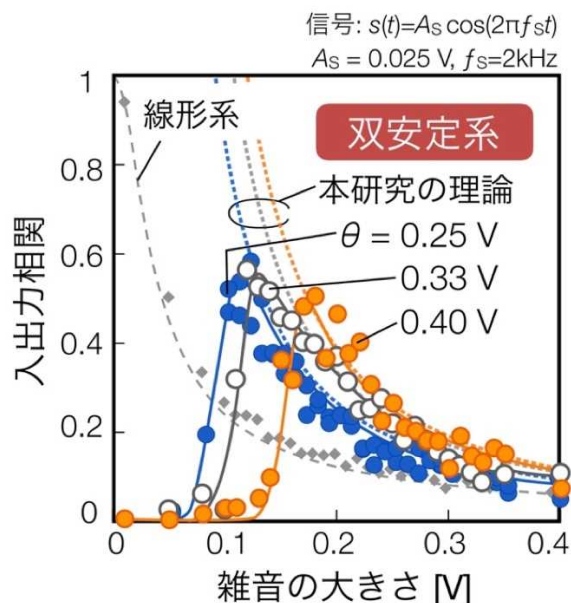


図1 双安定系の感度とガウス雑音の性質。ガウス雑音の分布（ガウス分布）は裾をひく釣鐘型の形状をもつ。裾にゆくほど隣り合う2つの値の差は小さくなるが、これは互いに等しくなることを意味しない。実際には、一方の値は他方の値よりも相対的に大きくなり、その比は無限大に発散する。直感に反するこの性質と双安定系の入力信号に対する感度が結びつき、雑音による感度の増大が生み出される。



**図2** 雑音を加えた信号に対する応答が雑音強度にどれくらい依存しているか確かめた実験結果。応答（縦軸）は信号波形（雑音なし）と出力波形の相関で評価。この相関は SN 比（信号雑音比）と直結しており、大きいほど感度が高い。双安定系では一定の雑音を加えると相関が高まり、グレー点線で示された線形系を上回る。本研究の理論は実験結果を正しく説明できる。なお、グラフの左側（小さい雑音側）での実験（青・黒・オレンジの実線）と理論（同点線）が異なるのは、信号の周波数が高いため。

### 【用語解説】

- \*1 双安定 … 2つの等しい状態が存在し、いずれか一方の状態をとるものこと。入力が一定の値（しきい値）をこえると状態が切り替わる。身近な例は、同じ重さの2人が乗ったシーソー。シーソーは少しの力を加えるとどちらか一方に傾き接地する。接地した側の人が一以上の力（しきい値）で地面を蹴ると反対側に傾く。蹴りが弱いと傾きは変わらず元に戻る。
- \*2 ガウス分布 … 正規分布。釣り鐘型の形状をもつ確率分布で、平均値の近くに大多数が分布し、平均値からはなれるほど少数になっていく。最も基本的で重要な分布であり、統計学、自然科学、社会科学など様々な分野で広く用いられている。
- \*3 非線形 … 入力と出力が比例しない性質。たとえば  $y=x^2$  や  $y=1/x$  のような関係。  $y=x$  のように比例関係の場合は線形と呼ばれる。