Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers

A-2-35

4重井戸ポテンシャル系での確率共鳴の状態解析

State Analysis of Stochastic Resonance in Quadruple-Well Potential

尾崎翔太 [1] Shota Ozaki　荒井伸太郎 [1] Shintaro Arai　山里敬也 [2] Takaya Yamazato　西尾芳文 [3] Yoshifumi Nishio

香川高等専門学校 [1] Kagawa National College of Technology　名古屋大学 [2] Nagoya University　徳島大学 [3] Tokushima University

1 はじめに

ある非線形システムにノイズを加えることによって，システムの応答性が確率的に向上する現象を確率共鳴 (Stochastic Resonance: SR) と呼ぶ [1]．SR は様々な工学システムへの応用が期待されており，そのためにはノイズと SR の関係を詳しく調査する必要がある．そこで本研究では，SR の研究で広く用いられている「2 重井戸ポテンシャル系」を拡張させた「4 重井戸ポテンシャル系」での SR 現象を解析する．具体的には，状態がノイズ強度の変化に伴い，どのような振る舞いを示すのかを調査する．

2 4重井戸ポテンシャル系の SR モデル

双安定な 2 重井戸ポテンシャル系の SR は，次のように表される [1]．

$$\frac{dx}{dt} = f(x) + D_x n_x(t) + A\sin(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

$$f(x) = -\frac{dU_0(x)}{dx} \quad (2)$$

$$U_0(x) = -\frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{4}x^4 \quad (3)$$

ここで，x は状態変数，$s(t)$ は入力信号，A は入力信号の振幅，D_x は x のノイズ強度，n_x は x に加えるノイズである．この状態 x に，状態 y を新たに加えることにより，4 重井戸ポテンシャル系での SR を考える．新たに加える状態 y の式は，次のように表される．

$$\frac{dy}{dt} = f(y) + D_y n_y(t) + A\sin(2\pi f_0 t) \quad (4)$$

$$f(y) = -\frac{dU_0(y)}{dy} \quad (5)$$

$$U_0(y) = -\frac{1}{2}y^2 + \frac{1}{4}y^4 \quad (6)$$

ここで，D_y は y のノイズ強度，n_y は y に加えるノイズである．これらの状態を x, y 平面上に，座標系で表したものを図 1 に示す．図に示すように，4 つの領域を A, B, C, D と分ける．それぞれの状態に加えるノイズは異なるものとする．ノイズ強度を変化させることにより，図中に示す矢印のように，状態が遷移することを理想とする．

3 シミュレーション結果

以上のシステムを用いて，コンピュータシミュレーションを行う．加えるノイズを変化させ，ノイズによる出力の変化と関係性について解析する．ここでシミュレーション条件は，x の初期値 =1, y の初期値=1, A=0.4, f=0.01, ノイズは AWGN, dt=0.01, t=20000 とした．また，ノイズ強度 D_x と D_y は，異なる値 ($D_x = 10, D_y = 5$) と，等しい値 ($D_x = D_y = 10$) の 2 種類を用いた．

図 2 にシミュレーション結果を示す．図中の数字は，それぞれの領域での状態の存在頻度を表している．図から分かるように，ノイズ強度の値の決め方の違いが，存在頻度に大きく影響するという興味深い結果が得られた．まず，$D_x = 10, D_y = 5$(図 2(a)) では，状態は原点対称な分布となっており，B と C に多く存在している．存在頻度を見ると，B と C は等しく，D が A より少し低くなっている．次に，$D_x = D_y = 10$(図 2(b)) では，先程と同様に原点対象な分布に見えるが，存在頻度で見ると A と D では大きな差があることが確認できる．当初は，ノイズ強度が等しいので D と A の頻度は等しくなると考えていたが，実際には D は A の半分であり頻度は原点対称とはなっていなかった．この興味深い結果の原因についてはまだ分かっておらず，今後の課題の一つである．原点付近に状態が分布していなかった理由としては，加えるノイズやノイズ強度が異なるため，同時に遷移する確率が低いからだと考える．また，入力信号は x 成分 y 成分ともに正弦波を用いているので，状態は B と C で存在頻度が多くなっていると考えられる．

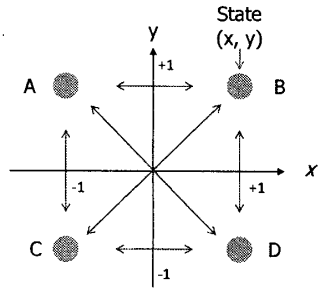
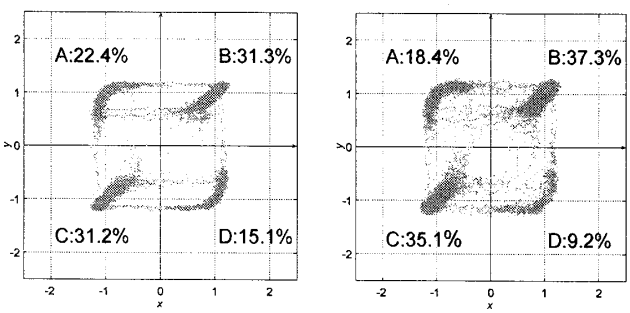


図 1　4 重井戸ポテンシャル系での確率共鳴.



(a) D_x=10, D_y=5　(b) D_x=10, D_y=10

図 2　状態の分布と存在頻度.

4 まとめ

本研究では，2 重井戸ポテンシャル系を拡張させた 4 重井戸ポテンシャル系の SR 現象のシミュレーションを行った．結果からわかるように，ノイズ強度の変化により，状態の様々な変化を確認した．

参考文献

[1] 西村治彦, “ゆらぎを伴うシステムでの確率共鳴とカオス共鳴,” 計測と制御, vol. 49, no. 4, pp. 244-249, 2010 年 4 月.

Copyright © 2012 IEICE

NII-Electronic Library Service