

神経系における確率共振とその応用可能性
Stochastic Resonance and Application Capability of Nervous System

長谷まり子, 太田裕治

Mariko HASE, Yuji OHTA

お茶の水女子大学大学院 ライフサイエンス専攻

1. 確率共振について

確率共振現象は、もともと地球にみられる氷河期と間氷期のくりかえし周期（ミランコビッチサイクル：約 10 万年周期の地球の軌道離心率変動周期にほぼ一致を説明するモデルとして提唱された。周期信号が雑音に共鳴することから「確率共振」と呼んだ。その後、実験的にはシュミットトリガー回路やレーザー発振などの物理系で実際に確率共振の存在が確かめられた。

2. 生命における確率共振

生体における確率共振現象は、最初にザリガニやコオロギが水流や気流を感知する触覚において観測された。弱い一定の強度の周期信号に適度な雑音が重なると、コオロギの触覚につながる感覚ニューロンが信号に応じて発火し、信号を感知するようになる。

このように、生体では感覚系が非線形系で、つねにあるしきい値をもつ。このため雑音がしきい値超えに重要な役割を果たし、その結果、確率共振現象がさまざまな生物で観測されている。

3. ヒトの脳活動における確率共振現象

雑音（ここでは単に雑音ではなくカオスまで含めた乱雑信号）の種類によって同じ非線形回路網が異なった機能で働くということがいえる。すなわち脳の内部の各領域や情報処理部分は異なった特性や振幅の雑

音に依存して、異なった回路や処理が励起され演算をはじめると考えられる。これは同じコラムや領野が異なったカオス（雑音）信号がくれば異なった処理や機能を発揮することを意味する。このことは現在の脳研究で顔ニューロンに代表される固定的な機能をもつという考え方を否定しないまでも単一機能ではなく周囲の信号状況（カオスの種類）が変われば異なった処理を行なうことを推測させるものである。すなわち、領野は、雑音によって確率同期特性が変わり、そのときに働くニューロン群が変わり処理機能が変わる。これはヒトの脳の無限の可能性を意味している。また、このことはカオスが脳内で重要な働きをしていることを示すとともに、脳がカオスを利用していることを示唆している。

4. 確率共振の実験

Fig.1は確率共振のシミュレーション実験図である¹⁾。ノイズが大きい一番上の図では、振動外力とほとんど無関係に値が変化している。ノイズレベルを下げた真中の図では、点線で示した周期外力と同期して値が正と負の値を行き来しているのがわかる。これが確率共振である。ノイズをさらに小さくした一番下の図では外力変化に敏感ではなく、ポテンシャルのどちらかの底に長く滞在し、たまに他方の底に飛び移る。

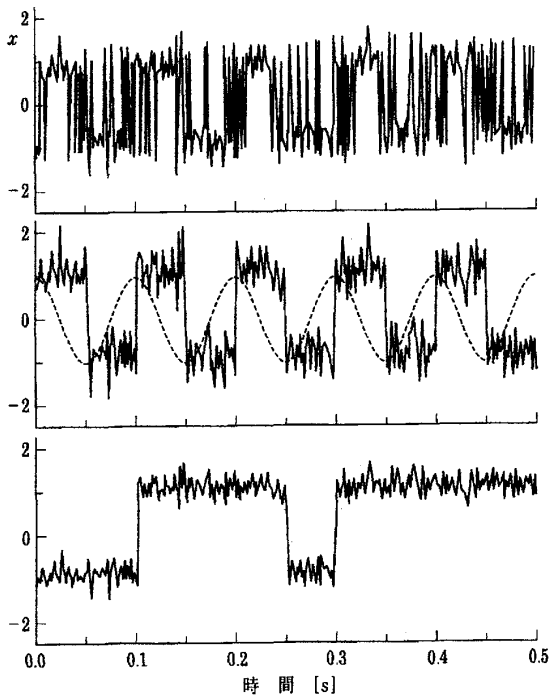


Fig.1 確率共振のシミュレーション

5. J.J.Collins (Boston University) の先行研究の例²⁾

Collins の先行研究によると重心動揺計測を行なった場合、生体に微小なノイズを与えた場合、動揺が減少するという結果がでている (Fig.2).

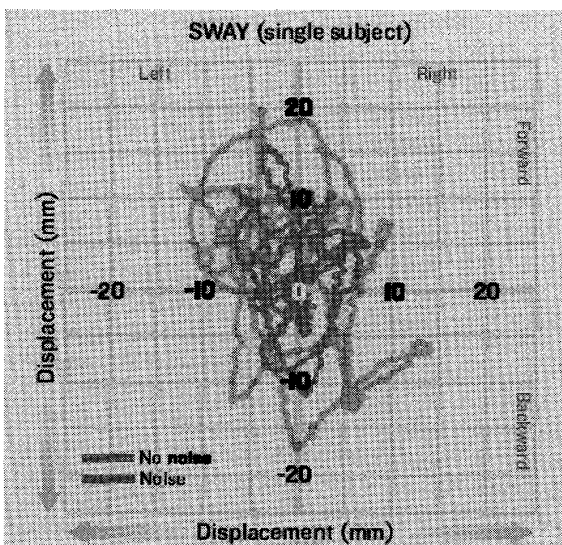


Fig.2 Still Standing

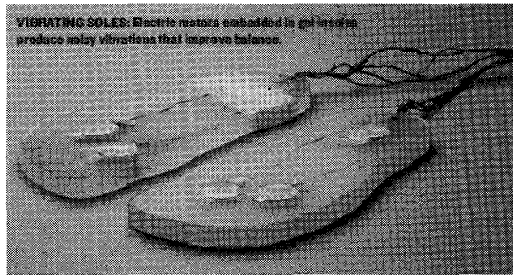


Fig.3 Vibrating Soles (出典 Jasond.Harry,James,B.Niemi,Attilaa.Priplata&James)

Fig.3 はバランス性の向上を保つために、ノイズ振動を与えるモーターを靴底に挿入する、というデバイスである。デバイスは高齢者の転倒予防を可能とするのではなかろうか。

6. 生体の将来展望

この確率共振を直接活用した医用工学・福祉工学への応用も考えられる。脳波の確率共振から視覚野の異常診断や、あるいは雑音印加によるパーキンソン病にともなう手足の周期振動の抑制、糖尿病によって低下した感覚神経系の亢進、アルツハイマー病の改善、老人の重心バランスの改善などが期待される。

7. 今後の予定

原理、確率共振を利用することで高齢化社会を支援するデバイスの開発をおこなうことが今後の予定である。

[参考文献]

- 1) L,Gammaitoni, P. Jung and F. Marchesoni:Rev.Mod.Phys.70(1998)223
- 2) JamesJ.Collins. Noise is the key to restoring the body's sense of Equilibrium IEEE Spectrum NA 37-41,2005