

神経系と確率共振その応用可能性

Stochastic Resonance and Application Capability of Nervous System

長谷まり子, 太田裕治

Mariko HASE, Yuji OHTA

お茶の水女子大学院 ライフサイエンス専攻

1.はじめに

「確率共振」を医工学・福祉工学的に応用するにあたり体を動かす仕組みそして、確率共振を応用できる可能性のある嚙下障碍, 確率共振を考える上でカオスのふるまいについて本稿では解説していくこととする。

2.体を動かす仕組み

体性感覚・内臓感覚系：体性感覚・内臓感覚系は皮膚・筋・関節・内臓にある感覚受容器官を形成する求心性ニューロンを含む。これらの感覚受容器を形成する求心性ニューロンを含む。これらの感覚受容器由来の情報は一次感覚ニューロンを経由して中枢神経系に到達する。体性感覚・内臓感覚の情報は、脊髄・脳幹・視床・大脳皮質などの多くの中枢神経系の構造でなされる。2次感覚ニューロンから起こる上行性伝導路は脊髄・脳幹にあり普通は体側の視床に投射する。体性感覚・内臓感覚系は一般感覚系こととする。この系が伝える感覚モダリティとしては、触圧覚、振動覚、身体位置感覚、関節運動、温度感覚、痛覚、内臓膨満感などがある。

3. 体性感覚・内臓感覚の遠心性制

御によって、脳は自分が受け取る感覚情報をあらかじめ制御できる。感覚は環境でおこることを受身で検出しているのではない。環境を探索することによって積極的に感覚を得ている。脳の感覚中枢への感覚情報伝導路は脳からの下行性経路により制御される。こういうことから、脳は感覚情報を分別して入ってくる入力を制御することができる。触覚や自己受容の体性感覚伝導路も下行性経路によって調節される。しかし、特に重要な下行性制御系は侵害受容情報の伝導を調節するものである。

立位姿勢保持は主に視覚系・前庭系・体性感覚系の情報を用いてなされる。視覚の影響は大きく、閉眼により姿勢動揺が増大する。前庭系疾患により姿勢動揺が増大する報告も多くその関与は重要視される。固定点へ指先で軽く触れることで直立姿勢保持時の身体動揺が減少することが報告し、指先触覚が求心情報源として立位姿勢保持に貢献していることを示した。このことは、杖などの補助器具が力学的支持のみならず、中枢神経系における制御面でも貢献するものと捉えられることができ、高齢者の立位補助器具開発にとり有益

な情報といえる。

4. 嚥下とは

嚥下は随意運動として始まるが、その後はほとんど完全に反射的に進行する。嚥下反射は食餌を口から胃まで移送する一連の運動で、その順序はしっかりと決まっている。嚥下中、呼吸は反射的に抑制され食餌が気管に侵入するのを防止する。嚥下反射の求心路は触受容器から始まり、咽頭入り口付近の受容器が良く知られている。これらの受容器からの感覚性インパルスは延髄に送られる。中枢神経系内で嚥下を統合している領野は延髄や橋にあり、これらを総称して嚥下中枢 (swallowing center) という。運動性インパルスは嚥下中枢から出て複数の脳神経をとおり咽頭や上部食道の筋肉に達する。中部・下部食道は迷走神経ニューロンの支配を受けている。嚥下の口腔相は随意的である。下尖を使って一塊の食物を口腔中へ入れたときが嚥下の口腔相 (oral phase) の始まりである。嚥下されるには、まづ舌の先端、次いでもっと後ろの部分を使って、食塊を硬口蓋へ押し付けながら後上方に移動させる。こうして、食塊は咽頭に入りそこにある触受容器を刺激して嚥下反射を始動させる。

5. 嚥下障害

高齢化社会にはいり、摂食・嚥下障害は最近特に注目されてきたが、実際に

は新生児から高齢者までのあらゆる年齢層に見られる。原因はいろいろあるが、脳卒中に代表される脳血管障害の後遺症によるものが最も多いとされている。特に、血管障害が嚥下中枢の存在する延髄にある場合は嚥下反射が起こらないだけでなく舌や下顎にも重大な運動障害 (随意運動の不能・不随意運動) が現れ、経管栄養に頼ることが多い。

高齢者の摂食・嚥下機能の変化：老化にともない摂食・嚥下機能も全身の機能と同じように低下する。高齢者でも若齢者でも、輪状咽頭筋が弛緩し終えるまでは差はない。しかし、輪状咽頭筋が弛緩したあと若年者では舌骨・咽頭運動に余力があるが高齢者ではこの余力に乏しく、嚥下障害のリスクが高くなる。

子供の摂食・嚥下機能の変化：嚥下はすでに胎児のときから始まっていて、羊水のなかに浮きながら羊水の飲水・指しゃぶりをしている。乳児の嚥下では、喉頭や舌骨が解剖学的にかなり高い位置にあります。このため、乳児では成人の嚥下と比較して咽頭の挙上は少なくてすみます。咽頭挙上は少なくなりますが嚥下時の呼吸抑制など、基本的な神経制御機構には違いない。

6. 嚥下の神経機構

嚥下は自分で飲み込もうと考えて (上位中枢が関与して随意的に) 誘発できる。また、嚥下は中咽頭を機械刺激す

ること（末梢刺激）でも誘発できるが、中枢と末梢は互いに影響しあっていて純粋に一方の刺激だけで嚥下を誘発することは困難。例えば、嚥下するものが何もない状況で意識的に嚥下をおこなうことを「空嚥下」というが空嚥下は最初の1, 2回は容易にできるが繰り返すとなかなか誘発できなくなる。このとき少量でも水を咽頭に滴下すれば、嚥下は再び誘発できる。逆に、中咽頭の特定期部分を刺激しても誘発できません。むしろ吐き気を催す絞扼反射のほうが容易に誘発できる。

嚥下誘発に関連した感覚は口腔、咽頭、および喉頭の味覚、触覚、温度覚と痛覚などの感覚受容器で受容される。嚥下のための特別の受容器があるとは考えられず三叉神経、舌咽神経、迷走神経により受容器から脳幹へ伝えられる入力末端が主役であると考えられる。なかでも、上咽頭神経を経由する求心性神経の閾値がもっとも低い。

- ・嚥下を誘発する中咽頭および下咽頭の刺激は無呼吸・吐き気・嘔吐・咳などの全く異なった応答も誘発する。どの応答も同じ受容器が刺激を受け取っていても与えられる刺激のパターンが異なることで誘発される応答に違いが生じる。

7. カオスと生体への応用

非周期的で予測不可能な運動のことをカオスと呼ぶ。カオス的リズムの同期・非同期現象は現象の新奇さというだけ

でなく応用の観点からも注目されている。生物系への応用の可能性も指摘している。生物が生存していくためには生物を構成している各器官が強調して働くことが必要であるが、そのためには各器官を構成する細胞集団が同期して働かなければならない。生体の同期現象はこれまでリミットサイクル振動子の結合系と考えた方が良さそうであるという見方もあり新しい観点からの生体機能の発現の研究の発展が期待される。カオスの結合系は、自然現象や工学現象を中心として経済現象や社会現象への応用可能性も含めて、不安定素子の結合系が示す多様な現象を解析するための力学モデルの1つのプロトタイプとなっている。一見して不連続な挙動を示す心臓病やてんかん等における病態の変化に対しては、医学分野でも比較的早期からこれらの非線形力学を応用した理論の応用が試みられている。心電図や脳波等の生体の電気現象にカオス的なダイナミクスが存在することは示唆されてから久しく、最近ではこれらの定量化による生体の非線形特性に基づいた新しい診断法の開発が注目されている。しかしながら、生体に観察されるカオス性の成因については多くの推測が行なわれているが定説がないのが現状である。

しかし、カオス性は動脈圧受容体を介して中枢神経にフィードバックされ、交感、副交感神経の回路を介して心臓におけるカオス性を作り出すというこ

とも考えられ循環動態におけるカオス性を規定する重要な因子となっている。カオス制御の方法論で生体のダイナミクスをコントロールするよりむしろ現在で可能であることのできるだけ正確な生体計測技術を駆使して、非線形ダイナミクスに注目した生体機能の解析や、生体制御系の診断技術へのアプリケーションに活路を見出すことが目標である。

8. 決定論的カオスと臨床診断への応用

非線形力学の発展に伴い決定論的な時間発展をするシステムが非線形性の効果により複雑な挙動を示す局面が多く観察されるようになり、一般にも広く知られるようになってきた。この現象は「決定論的カオス」と呼称され様々の立場から特徴付けを行なう研究がなされつつある。ここで言う「決定論的」なシステムと言うのは確立課程に対比して呼ばれるプロセスであり、初期値が決まっていれば将来の発展も一意的に決定されるような時間発展系である。この決定論的なシステムにおける複雑な挙動はリーとヨークによる1975年の論文で「カオス」と命名された。カオス的なダイナミクスは、交感神経系等の自律神経活動の遠心性放電に起因しており中枢神経系にその起源がある可能性が示唆された。これ以外にも心拍変動などの神経支配などが相互に影響しあい複雑系としての循環動態を形成しているものと考えられるが心拍

変動を除いてもカオス性が成立すると言うことは生体の非線形ダイナミクスであるのではないか。この現象を臨床に当てはめて考えることも可能であるであろう。

9. 生命におけるリズムと確率共鳴

生体での確率同期現象は、医学・工学にわたる広い応用が期待され、今後の物理的・数理的な研究がその迅速な発展をサポートすると考えられている。物理的には雑音の導入は新しい自由度を結合振動子系に持ち込んだもので新たに時空の特性長の導入、場の特性長や相関距離への繰り込み、それらの間の競合関係などが重要になり新しい問題を提起するものと考えられる。いずれにしても非線形力学の新しい発展となるであろう。

参考文献

- 1) 蔵本由紀 「リズム現象の世界」東京大学出版会 2005
- 2) R.M.バーン, M.N.レウ"ィ 「カラー基本生理学」西村書店 2003
- 3) 山田好秋 「摂食・嚥下のメカニズム」医歯薬出版株式会社 2004
- 4) 太田隆夫 「非平衡系の物理学」裳華房 2005