



博士（人間科学）学位論文 概要書

呼吸系の協調を制約する情報に関する研究

A Study on Information Constraining  
Coordination of the Respiratory System

2003年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

高瀬 弘樹

Takase, Hiroki

研究指導教員： 春木 豊 教授

本研究では、呼吸系の協調を成立させる原理とそこに関わる情報について実験的検討を行った。

第 1 章では、呼吸と身体運動の制御理論について概観した。呼吸には 2 つの制御系——代謝性制御系と行動性制御系——がある。これは他の生理活動にはない特異な機序である。この 2 つの制御系を明確に分離できないことが、生理学を基盤とする心理学の領域で呼吸の研究があまりなされてこなかった原因の 1 つと考えられる。

一方、(身体) 運動の制御については、中枢による体肢などの一方向的に支配する古典的運動制御理論(「鍵盤支配型モデル」と呼ばれる)では、膨大な自由度を含む身体運動の生成が説明できない。第 1 章の後半では、近年、身体運動を自己組織化する協調的な系と考え、その協調運動のモデル化を試みるダイナミカルシステムズアプローチの発想を説明し、その新たなアプローチのもとで盛んになりつつある、運動のパターン形成、特に運動パターンの揺らぎ・崩壊と新たな協調運動の生成に関する研究について総説した。

このダイナミカルシステムズアプローチの観点から行った第 2 章の実験 1 では、被験者に対して、(1)逆さ振り子運動と呼吸を 1 : 1 の周波数比で同期させること、(2)その同期運動は快適なテンポで行うこと、の 2 つを教示したところ、逆さ振り子を撓屈させる時に吸気し尺屈させる時に呼気するモード(RIUE モード)と、逆さ振り子を撓屈させる時に呼気し尺屈させる時に吸気するモード(UIRE モード)の、2 つの安定的な位相モードが観察された。

実験 2 では、意図的に身体運動と呼吸運動を同期させたところ、運動のテンポが速くなったとき、意図的に行っていた逆さ振り子を撓屈させる時に呼気し尺屈させる時に吸気するモード(UIRE モード)から、意図していない、逆さ振り子を撓屈させる時に吸気し尺屈させる時に呼気するモード(RIUE モード)へ

と自発的にスイッチする相転移現象が観察された。そして、この相転移付近で  $SD\phi$  ( $\phi$  は呼吸と逆さ振り子運動間の相対位相であり、 $SD\phi$  は相対位相の標準偏差である。  $SD\phi$  増加は協調性の低下を示す) の揺らぎの増大 (臨界揺らぎ [critical fluctuation]) が認められた。

この相転移現象や臨界揺らぎは、被験者 A が逆さ振り子運動、被験者 B が呼吸運動を行い、それぞれ相手の運動に自身の運動を同期させるという、個体間での呼吸-逆さ振り子運動間でも、個体内での同期時と同じように観察された。

この相転移現象や臨界揺らぎは、自己組織化する系に特徴的な現象である。自己組織化とは、自発的なパターン形成、つまり系がそれ自身で組織化する現象であり、従って、自己組織化系であることは、その系の内部に組織化を行っている小人のようなエージェント、運動プログラムが存在しないことを含意している。これは、個体間の協調現象を考えると、より現実的なものと考えられる。個体間での運動の協調には単純に考えても 2 つの「中枢」が下位の系として関与している。これら 2 つの「中枢」には解剖学的な接続はなく、従って二者間の協調を成立、維持させるものは、視覚的・聴覚的「情報」のみである。

以上の議論から、「呼吸-体肢運動」は自己組織化系であり、従って、呼吸や身体運動は中枢によって制御されているのではなく、情報によって制御されると考察された。

これまでの実験で示されたような呼吸が関わる協調系は、感情の変化といった文脈の変化によってどのような影響を受けるであろうか。実験 4 ではストレス時、実験 5 ではリラックス時の胸部と腹部呼吸運動間の協調について調べた。その結果、ストレス時には呼吸数の増加とともに「胸部-腹部呼吸運動」間の協調性は低下し、リラックス時には呼吸数の減少とともに「胸部-腹部呼吸運動」間の協調性は高まった。呼吸数を「呼吸-逆さ振り子運動」協調実験の運

動のテンポ，つまり相対位相（協調性）に影響を及ぼす制御変数と考えると，呼吸数（運動のテンポ）が増加すると協調性は低下し，呼吸数が減少すると協調性が高まるという実験 4 と実験 5 の結果は，身体の各部位間の協調原理を示す HKB モデルに従うと考えられる．これらの結果から，感情という文脈が，HKB モデルにおける制御変数と秩序変数に影響を及ぼす変数と考えることができる可能性が示された．

以上の実験結果とその考察から，呼吸は手や脚と同じように自己組織的に制御されるということ，そして，そのように呼吸が自己組織化系として捉えられるとき，呼吸を制御しているのは「情報」であることが結論付けられた．また，感情は，呼吸運動を含めた身体各部位間，及び行為者と環境との間の協調性の情報と関連しており，従って，感情といった文脈は，身体各部位を構成要素とする系の秩序変数と制御変数の両者に影響を及ぼしている可能性があることが示唆された．