

2003年1月10日

人間科学研究科委員長 殿

高瀬 弘樹氏 博士学位申請論文審査報告書

高瀬 弘樹氏の学位申請論文を下記の審査委員会は、人間科学研究科の委嘱を受け審査をしてきましたが、2002年12月24日に審査を終了しましたので、ここにその結果をご報告します。

記

1. 申請者氏名 高瀬 弘樹
2. 論文題名 呼吸系の協調を制約する情報に関する研究

3. 本論文の主旨

本論文は身体の運動間の協調の形成と崩壊の過程を、ダイナミカル・システムズ・アプローチの発想で解明することを試みたものである。

4. 本論文の概要

本論文では、呼吸系が関わる協調を成立させる原理とそこに関わる情報、及びそれらと文脈との関連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——があること、そして、(身体)運動の制御は、その理論が膨大な自由度を含む身体運動の生成が説明できないという「自由度問題」について説明した。第1章の後半では、本論文で一貫して用いられているダイナミカル・システムズ・アプローチを説明し、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を総説した。

第2章では、個体内及び個体間における呼吸と体肢運動の協調に関する実験について記述した。ダイナミカル・システムズ・アプローチの観点から行った実験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逆さ振り子は3種類用いる(逆さ振り子運動の固有周波数を変えることで、呼吸-逆さ振り子運動間の

固有周波数差を操作する。本実験では、長い振り子と呼吸との固有周波数差が小さく、短い振り子と呼吸は大きい)、②その同期運動は快適なテンポで行うこと、の3つを教示したところ、逆さ振り子を橈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、逆さ振り子を橈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。協調性に対する振り子の種類の影響は認められなかった。

実験2では、被験者に対して、①逆さ振り子運動と呼吸運動をRIUEモード、またはUIREモードで同期させる、②逆さ振り子は3種類用いる、③運動のテンポを徐々に速める、という3つを教示した。その結果、RIUEモードの方がUIREモードよりも協調性が高いこと、その傾向は運動のテンポが速いとき、より顕著であること示された。さらに、UIREモードで運動のテンポが速くなったとき、意図的に行っているUIREモードから、意図していないRIUEモードへと自発的にスイッチする相転移現象、及び相転移時に「呼吸-逆さ振り子運動」の協調性の低下(臨界揺らぎ)が観察された。また、呼吸と逆さ振り子運動間の固有周波数差の違いによって、両運動間の協調の収束点(位相のずれ)が変化した。固有周波数差が大きいほど、両運動間の位相のずれは大きかった。

実験3では、実験2を二者間で行うという課題を用いた。つまり、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課題である。実験2と同様に、被験者に対して、①逆さ振り子運動と呼吸運動をRIUEモード、またはUIREモードで同期させる、②逆さ振り子は3種類用いる、③運動のテンポを徐々に速める、という3つを教示した。その結果、実験2と同様に、RIUEモードがUIREモードより協調性が高いこと、UIREモードからRIUEモードへの相転移現象、振り子の種類の違いによって呼吸-逆さ振り子運動間の協調の収束点が変化すること、が認められた。従って、「呼吸-逆さ振り子運動」間の協調性は、個体内または個体間で行われるかに関わらず、質的に同様であることが示された。

実験2と実験3で観察された結果は、手や脚といった体肢間の協調的振る舞いをモデル化したHKBモデルに適合するものであった。また、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。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」は自己組織化する系であり、従って、呼吸や身体運動は中枢によって一方向的に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。

第3章では、これまでの実験で示されたような呼吸が関わる協調系が、心理状態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か検討した。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。実験4で

は、ストレス課題として多く用いられてきた暗算課題、反応時間課題、ストレスフルな映像を観る課題、の3つを被験者に行わせ、ストレスフルな心理状態を喚起させ、また、実験5では、筋弛緩というリラクゼーション技法を被験者に行わせ、リラックスした心理状態を喚起させた。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。これらの結果から、「胸部－腹部呼吸運動」はHKBモデルに従うものであり、そして、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られることが示された。また、呼吸が随意的制御系による第2章の実験と、自律的制御系による第3章の実験では、どちらの呼吸系の協調も同様にHKBモデルに従うという結果であった。呼吸の制御が「随意性」であるか「自律性」であるかに関わらず、呼吸系が関わる協調には同じ原理が機能していることが示された。

第4章と第5章では、上記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。

5. 本論文の評価

実験1では呼吸反応と手にもった棒を上下動させる反応間の協調の観察であったが、快適なテンポで運動すると、協調運動が一定のパターン（吸気で上、吸気で下とその逆のパターン）に落ち着くことが確かめられた。

その上で実験2では呼気で上、吸気で下というパターンで運動させ、速度を上げてゆくと、ある時点で突如この反応パターンが崩壊し、吸気で上、呼気で下のパターンに呼吸と棒振りの協調関係が転換してしまう（相転移現象）という事実が確かめられた。肢体運動間ではこの事実は指摘されていたものであるが、呼吸と肢体運動間でも起こることを見出したものである。このような二つの運動の協調関係は、数学的（HKBモデル）に表現されており、本実験の事実もこのモデルにあてはまることが確かめられた。また相転移が生起する前に一つの安定したパターンが揺らぐ現象（これも数学的に表現されている）も観察され、これは自己組織化現象の特徴である。

以上の実験は、従来観察されていた肢体（随意）運動間の協調関係が、肢体運動と呼吸運動間にも当てはまり、ダイナミカル・システムズ・アプローチの有効性を証明するものであるといえる。

実験1,2は個人内の運動系の協調関係を調べたものであるが、更にこのような協調関係が個人間でも生ずるかどうかを調べた（実験3）。一人は呼吸反応、他は棒振りの肢体

運動であった。そして実験2と同じ手続きで行なったところ、個体間でも実験2と同じ結果が観察された。この事実は肢体運動間では指摘されていたが、呼吸反応についても見られることを見出したものである。個体間でも運動の協調関係が個体内と同じであるということはダイナミカル・システムズ・アプローチ（自己組織化）の考え方の有効性を更に強めるものであろう。

実験4,5は腹部の呼吸と胸部の呼吸という不随意運動間の協調関係をストレス事態とリラックス事態において観察したものである。その結果、前者では呼吸数が増えて（テンポが速くなる）協調の揺らぎ現象が大きくなり、後者では呼吸数が減少し、揺らぎ現象が小さかった。このことは呼吸反応間（不随意運動間）でも、HKBモデルが当てはまることを示したものである。このような研究は初めての試みであり、感情状態と呼吸反応の協調状態を明らかにしたものとしても興味深いものである。

以上のように本論文では呼吸反応を中心にして他の反応系（随意、不随意反応を含む）との協調現象を観察し、それが自己組織化現象を表現する、HKBモデルに当てはまることを証明し、しかもそれが個人内と個人間においても同じであるということで、ダイナミカル・システムズ・アプローチの有効性を示したものである。構想が大きく、巧みな実験で証明した諸研究は高く評価できるものである。よって博士（人間科学）の学位を授与するに値するものと認める。

6. 高瀬 弘樹氏 博士学位申請論文審査委員会

主任審査委員 早稲田大学教授 文学博士（早稲田大学）
審査委員 早稲田大学教授 医学博士（東邦大学）
審査委員 早稲田大学教授 医学博士（東京医科歯科大学）

春木 豊
山崎 勝男
加藤 清忠

