

京都大学	博士（情報学）	氏名	荒井 貴光
論文題目	Study on method for estimating phase coupling functions from time-series data and its application to human gait motion data (時系列データからの位相結合関数の推定手法とその歩行運動データへの応用に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文では、位相縮約理論に基づくデータ駆動型アプローチによる力学系推定手法のネットワーク力学系への適用に関する研究を行った。本論文の前半ではネットワークの集団振動のリズム変化を記述する位相結合関数が正しく推定されるための条件を調べ、後半では本手法の応用となる歩行動作の実データ解析を行った。</p> <p>第1章では、まず同期現象の発見から理論的研究、そしてデータ駆動型アプローチへの発展までの概説をしている。更に、位相縮約理論の適用範囲は集団振動を示すネットワーク力学系へと拡張されている一方で、この拡張はデータ駆動型アプローチでの応用では議論がされていない点を問題点として挙げている。</p> <p>第2章には集団振動を示すネットワーク力学系の位相縮約に基づいたデータ駆動型アプローチに関する研究の成果をまとめている。各ネットワークのダイナミクスを観測する際の観測変数の選択に関する検証を行い、各ネットワークの集団振動が完全同期、あるいは部分同期の場合にどの観測変数を選べば、集団振動間の位相結合関数の推定に成功するかといった議論を行った。結果として、集団振動が完全同期の場合はネットワーク内の1素子を観測しても、あるいはネットワークの平均場を観測した場合でも、結合関数を正しく推定できることを確認した。また、部分同期の場合には、片方のネットワークから非同期の1振動子を観測した時に双方向の結合関数の推定におけるロバスト性の非対称性が確認された。この結果は、完全同期の場合には、ネットワーク内の個々の素子が摂動に対して異なる応答を見せるにも関わらず、柔軟な観測変数を選ぶことができるという結果を示唆しており、その一方で、部分同期の場合には、非同期の振動子を観測してしまうことが予期しない推定結果に繋がりを示唆している。</p> <p>第3章の内容はトレッドミル上で歩行する健常者の歩行メカニズムの解析に関する研究の成果をまとめている。これは第2章における議論の実データ解析に対する応用という位置づけとなる。具体的には、断続的に速度変化するトレッドミル上での歩行動作に関して左脚右脚の逆相同期を安定化する制御の解析を行った。従来では複雑な骨格筋の構成のために左脚右脚のダイナミクスを解析することが困難であったが、本研究では左脚右脚のダイナミクスを2個の結合位相振動子としてモデリングする事により、トレッドミルの速度変化によって乱された左脚右脚間の位相差を再び安定状態に収束させる制御を解析することに成功している。得られた結合位相振動子系の位相結合関数を用いて歩行動作の制御を説明する関数を得ることができ、この関数が左脚右脚の位相差を逆相同期近傍の一定の領域に収束させる作用を示す一方で、その領域内であれば制御が働かないという結果が示された。この関数は歩行動作において省エネルギーとなるような方策を示唆していると予想される。</p> <p>第4章では、本論文で扱った研究に関して概観を述べ、実データ解析における観測変数の選択について考えられる問題点を気象解析や脳機能解析の具体例を挙げて述べ</p>			

ている。次に、実データ解析において同期している結合振動子系の結合関数を解析するためには同期を解消するための外部摂動が必要であるが、このような状況下での位相振動子モデリングの有効性を第3章の内容を挙げて述べている。本章の最後には、位相縮約理論に基づくデータ駆動型アプローチにおける問題点を述べており、等位相面が未知といった条件の下で、近似的な位相時系列を採用することの問題点にも言及している。