

## 学 位 審 査 報 告 書

（ふりがな） 氏 名	あいはらいっきゅう 合原 一究
学位（専攻分野）	博 士 （ 理 学 ）
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
（学位論文題目）  Synchronization of Calling Frogs （アマガエルの発声行動における同期現象）	
論文調査委員	（主査） 太田隆夫 教授 小貫明 教授 篠本滋 准教授

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (理学)	氏名	合原 一究
論文題目	Synchronization of Calling Frogs (アマガエルの発声行動における同期現象)		
(論文内容の要旨)			
<p>同期現象とは、単独では周期的に振動する素子が複数個集まり、互いに影響を及ぼし合う系において観測される協同的な振動現象である。例えば、東南アジアに生息するホタルの集団が互いにタイミングを合わせて発光する同期現象や、壁に掛けた2つの振り子時計が逆向きのタイミングで振動する同期現象など、生物系、物理系を問わず様々な具体例が知られている。他方で、位相縮約理論およびその帰結として得られる位相振動子モデルを用いて、同期現象を引き起こす数理的なメカニズムを明らかにする理論研究も活発に行われている。</p> <p>本博士論文では、ニホンアマガエルの発声行動を例に、同期現象に関する実験的・数理的研究を行った。ニホンアマガエルは日本全域に生息しており、水田などにおいて春から夏にかけて集団で鳴く様子を観察できる。オスガエルは単独では周期的に鳴く一方で、目の後ろに鼓膜を備えており周囲の音声情報を認識できる。そのため、実際のフィールドにおける集団発声行動は、多数の周期振動子が空間的に存在し互いに影響を及ぼしあう結合振動子系として数理的に理解できるだろう。</p> <p>本論文ではまず2匹のアマガエルを用いた録音実験を行うことで、2匹が交互に同期して鳴く逆相同期現象を実験的に見出した。さらに、埋め込み法およびリカレンスプロット法による時系列データ解析を行い、2匹が鳴き交わす際のダイナミクスの可視化を行った。次に、観測された同期現象を定量的に説明する振動子モデルに関する数理研究を行った。具体的には、まず実験データから個々のカエルの固有周波数、同期中の位相差および周波数を見積もった。理論解析では、相互作用関数に1次ないしは2次の正弦波関数の影響を取り入れることで、最も安定な逆相同期状態、および過渡的に表れる同相同期状態との共存現象のそれぞれを定量的に説明できることを示した。このような2体系における逆相同期現象は、その拡張である3体系において興味深い理論的な問題を与える。なぜならアマガエル3体系においては、全てのペアが互いに逆位相<math>\pi</math>で同期することは不可能でありフラストレーションが生じることになるからである。本論文では、2体系の振動子モデルを3体系に拡張した数理研究を行うことで、同相同期する2匹が他の1匹と逆相同期して鳴く1:2逆相同期状態や3匹がほぼ3分の2<math>\pi</math>の位相差で順番に鳴く三相同期状態などの同期現象が実際に観測される可能性を示した。最後にアマガエルを用いた行動実験と独立成分分析法による音声分離解析により、予測された同期状態のいくつかが実際に観測されることを実験的に示した。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

非平衡開放系は、熱平衡系や散逸変分系にはみられない多彩な構造やダイナミクスが発現する。生命現象はその典型例である。これらの状態の発現機構やその法則性、原理などの物理学的研究は、過去、30年以上行われてきたが、十分な解明にはほど遠いのが現状である。

非線形振動は非平衡開放系の研究において中心的なテーマのひとつであり、その同期については、数理的な研究が進んでいる。心筋細胞の相互引き込みなどのように、実験的にも調べられており、非線形多体振動系は同心円波パターンやらせん波などが起こることが知られている。マクロには熱帯地方の蛍の発光が同期を起こす観察が報告されている。

本論文では、アマガエルの発声行動における同期現象を実験、理論解析の両面から研究している。このテーマは、国内外でこれまで研究されておらず、本研究の独自性がある。

2匹のカエルの同期、非同期の観察では、逆位相同期の出現が一般的であることを観察し、それを説明するために位相モデルを作り、観察結果を解釈している。逆位相同期するカエルが3匹いるとどうなるかは、基本的な問題であるが、その実験では、2匹と1匹への同期・非同期の分裂・クラスター化、位相が120度ずれた同期などを観察している。また、これらの異なる状態の実現と分岐をモデル方程式で確認している。さらに、室内の実験ではなく、フィールドで多数のカエルの発声ダイナミクスのデータを得るため、鳴き声を光に変換して位置と時間を特定する装置を考案し、集団発声が協同的挙動をすることがあることも見つけている。

これらの観察結果が生物学的にもつ意味については、今後、さらに研究を進めていかなければならないであろうが、本論文は世界にさきがけて、その第一歩を踏み出したものとして意味がある。

以上の研究結果は4編の論文として査読審査のある国際的な学術雑誌に公表されている。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認められる。また、平成22年12月27日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降