

-グローバル COE プログラム
「普遍性と創発性から紡ぐ次世代物理学—フロンティア開拓のための自立的人材養成—」
双方向国際交流プログラム(BIEP, 派遣) 報告書

2009 年 12 月 29 日

派遣大学院生

氏名(ふりがな)	合原 一究 (あいはら いっきゅう)
所属部局および専攻内の所属分野	物理学第一教室・非線形動力学研究室
指導教員	太田 隆夫
学年	博士課程 2 回生
メールアドレス	aihara.ikkyu@t02.mbox.media.kyoto-u.ac.jp
電話番号、FAX	075-753-3770

派遣先

受け入れ研究者氏名	Hugh.Robinson
所属機関(国)	イギリス
身分	教授
メールアドレス	hpcr@cam.ac.uk
研究室 URL	http://www.pdn.cam.ac.uk/staff/robinson/
電話番号、FAX	+44-1223-333828 (電話)、+44 (0)1223 333840 (FAX)

共同研究

研究課題名	和文	ニホンアマガエルの多体系発声行動に関する数理物理学および生物行動学的研究
	英文	Modeling and Behavioral Studies on Frogs' Calling Behavior
派遣期間	2009 年 9 月 1 日から同年 11 月 30 日	

実際に行った研究活動、成果など簡潔に記述してください。スペース不足の場合は、用紙を追加してください。また、GCOE への今後の要望があれば記してください。

アマガエルの同期した発声行動に関する共同研究 2 件を行なった。

1 件目の共同研究テーマとして、アマガエルの発声行動における位相応答関数を実験的に推定し、かつその関数を説明する数理モデルを見出す研究を行った。まず、我々が事前に行った「スピーカーから周期的な音声を再生し、アマガエルの応答を調べる実験」において録音した音声データを解析することで、アマガエルおよび周期刺激それぞれの出力タイミングを検出した。次に、検出したタイミングを元に位相応答関数を推定し、実験的に求めた位相応答関数は \sin の一次関数に近い形をしていること、および約 0.8π 程度位相方向にシフトしていることの 2 点を明らかにした。Robinson 教授は Fast-Spiking ニューロンにおいて実験的に位相応答関数を推定しているが、ニューロンの場合のように大きな位相シフトは観測されていない。我々は、結合振動子系においては時間遅れの効果が位相シフトとして表れることを報告した先行研究 (H. Kori and Y. Kuramoto, Phys. Rev. E 63, 046214 (2001)) をヒントに、アマガエルの位相振動子モデル (I. Aihara, K. Tsumoto, Mathematical Biosciences 214, pp.6-10 (2008)) に時間遅れの効果を取り入れた解析を行った。具体的には、まず Robinson 教授との議論を行なう中で、「アマガエルの場合音声を介して相互作用する。そのために時間遅れの原因としては、(1) 一方のカエルの発声がもう一方に伝わるまでの音声伝搬にかかる時間、(2) カエルが音声を聞いてからその情報を自分の発声タイミングに反映させるまでにかかる時間 (Auditory Response Time) の二つが考えられる」、さらに「行動実験におけるスピーカーからカエルまでの距離は約 1m なので前者の時間遅れの効果は数 msec だが、後者は数百 msec になる可能性がある (人間の場合は 100msec 以上である)」とのコメントをもらった。そこで我々は、「アマガエルの発声

行動における時間遅れの効果はその固有周波数である約 250msec と同じオーダーになり、そのために時間遅れの効果が位相応答関数における大きな位相シフトとして表れている」との予想を立て、モデル内に導入した時間遅れの効果を表すパラメータの値を変え、位相応答関数の変化を調べる解析を行なった。その結果、「時間遅れの値が 180msec 程度の場合に実験的に求めた関数を定性的に説明すること」、および「求めた位相応答関数を 2 体の相互作用系に拡張した場合、同相同期と逆相同期が双安定になりえること」の 2 つを確認した。特に後者の性質は、我々が 2 匹のアマガエルの発声行動実験で得た実験結果と一致しており(I.Aihara, Phys. Rev. E 80, 011918 (2009))、モデルに取り入れた時間遅れの効果がアマガエルの集団発声行動メカニズムを解明する手がかりとなることを期待している。残された研究課題である「位相応答関数の推定方法の改善」および「アマガエルの Auditory Response Time に関する先行研究の調査」の 2 点をクリアした上で、本研究成果を学術論文として公表したい。

2 件目の共同研究テーマとして、実験的に観測したアマガエル 3 匹の同期した発声行動を説明する数理モデルの解析を行った。昨年度、京都大学大学院・情報学研究科・奥乃博研究室と共同で行なった実験により、アマガエル 3 匹の発声行動においては 3 匹が順番に鳴く三相同期および同相同期する 2 匹と残りの 1 匹とが逆相同期して鳴く 1 : 2 逆相同期の 2 状態が双安定に存在することが明らかになっている。しかし、我々が行った数理モデル解析(I.Aihara, K.Tsumoto, Mathematical Biosciences 214, pp.6-10 (2008))では上記の 2 状態を双安定平衡点として説明するには至っていない。Robinson 教授との議論の中で、「3 匹の双安定性を説明するために、まず 2 匹の発声行動における同相同期状態と逆相同期状態の双安定性に注目し、その性質を説明する数理モデルを考えるべきである」とのコメントをもらった。そこで、我々は以前から提案していた数理モデルに弱い 2 次の高調波の影響を取り入れ、2 匹のアマガエル発声行動における双安定性を定性的に説明できることを示した。さらに、2 次の高調波の影響を取り入れたモデルを 3 体系に拡張し、カエル間の結合強度が個々の発声音圧に比例しかつカエル間の距離の 2 乗に反比例する数理モデルを解析することで、3 匹のアマガエルの発声行動における双安定性を説明できることを明らかにした。本研究成果についても、実験データと合わせて学術論文として公表する予定である。