

先端研究拠点事業—国際戦略型—  
「ソフトマターと情報に関する非平衡ダイナミクス」  
研究者交流プログラム 派遣報告書

2014年 6月 24日

氏名(ふりがな)	金澤 輝代士
所属機関・部局・専攻内の所属分野	京都大学 理学系大学院 物理学・宇宙物理学専攻
身分・学年 (学生の場合は指導教員名)	早川 尚男教授
メールアドレス	kiyoshi@yukawa.kyoto-u.ac.jp
電話番号、FAX	075-753-7064

派遣先

受け入れ研究者氏名	Frédéric van Wijland
所属機関 (国)	パリ第7大学 (フランス)
身分	教授
メールアドレス	frederic.van-wijland@univ-paris-diderot.fr
研究室 URL	<a href="http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~vanwijland/">http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~vanwijland/</a>
電話番号、FAX	+33 (0)1 57 27 62 54

共同研究

研究課題名	和文	生体内の細胞揺らぎのエネルギー論
	英文	Energetics of active fluctuations in living cells
場所 (国名・都市)	パリ第7大学 (フランス・パリ)	
派遣期間	2014年5月25日～2014年6月6日	

**【研究活動・成果】**

近年の実験技術の発展により、 $\mu\text{m}$ スケールの微小系を詳細に操作することが可能になった。このような微小系に対する操作を、熱力学の観点から議論することが盛んに行われている。この試みの一つの完成形が”揺らぎのエネルギー論”と呼ばれる枠組みであり、微小系での熱・仕事といったエネルギーの形態を明らかにしてきた。この理論の有力な応用する先として期待されているのが微小生物系である。そこで、本研究では細胞内の揺らぎをエネルギー論の立場から理解することを試みた。

具体的な対象系としては、アクチンフィラメントに埋め込まれたビーズの運動を扱った。アクチンフィラメント上にはミオシンと呼ばれるモーター蛋白質が存在しており、周囲のATPをミオシンが用いる際に熱揺らぎと異なる本質的に異なる揺らぎ(以下、非熱的揺らぎと呼ぶ)が生じることが知られている。ビーズをアクチンフィラメント上に埋め込むと、非熱的揺らぎの影響をビーズが感知することになり、通常のブラウン運動とは異なる挙動をする。私はパリ大学のF. van Wijland等とともに、ビーズに光ピンセットでのトラップを加え、操作を行うことを考え、この設定での動力学のモデル化と、操作を通じて内部パラメータを推定する方法の理論を構築した。特に今回の渡航では、前回の渡航(2014年11月～12月)で進展した共同研究の内容を完成させ、論文の形としてまとめることを行った。

次に、研究活動・成果の具体的な内容を説明する。私とF. van Wijland等は、前回の渡航中に私が提案した、active fluctuationを含むIterative Brownian motionのモデルを引き続き研究した。特に、生物系特有の非平衡揺らぎを定量的に特徴付けることを操作的に行うために、レーザーピンセットで操作を行った時のエネルギー論を考えた。このアイディアの基礎は次のような発想が下となっている：【平衡揺らぎの特徴とは、揺らぎから仕事を取り出せないことである。逆に

考えると、非平衡揺らぎからは仕事を取り出せるはずであり、その取り出せた仕事量からその非平衡性を特徴づけられるはずだ。】そこで、光ピンセットを熱力学のサイクルに類似する方法で操作を行ったときに揺らぎから取り出せる仕事量を計算する公式を導出した。この量はミオシンが生成する非熱的揺らぎの非平衡性を特徴づけている。これらの公式が数値的にも正しいことをチェックし、論文としてまとめた。この論文は *Physical Review E* に投稿中である。また、*arXiv* にも投稿した (*arXiv:1406.1732*)。