

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 1月 8日

氏名(ふりがな)	金澤 輝代士 (かなざわ きよし)
所属機関・部局・専攻内の所属分野	基礎物理学研究所 物性基礎：統計力学
身分・学年 (学生の場合は指導教員名)	早川 尚男
メールアドレス	kiyoshi@yukawa.kyoto-u.ac.jp
電話番号、FAX	090-2016-8961

派遣先

受け入れ研究者氏名	Frédéric van Wijland
所属機関 (国)	Université Paris Diderot (France)
身分	Professeur
メールアドレス	frederic.van-wijland@univ-paris-diderot.fr
研究室 URL	http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~vanwijland/
電話番号、FAX	+33 (0)1 57 27 62 54

共同研究

研究課題名	和文	揺らぎのエネルギー論の非ガウス確率過程への拡張
	英文	Stochastic energetics for non-Gaussian processes
場所 (国名・都市)	フランス・パリ	
派遣期間	11月2日～12月22日	

実際に行った研究活動、成果などを1-2ページ程度で記述してください。スペース不足の場合は、用紙を追加してください。

近年の実験技術の向上により、微小熱力学系が着目を浴びている。例えば光ピンセットを用いて  $\mu\text{m}$  オーダーの生物系・コロイド系を詳細に操作することが可能になった。結果、揺らぎを含めた微小系の詳細な性質を調べることができるようになった。このような微小系を理解する理論的枠組みが揺らぎのエネルギー論である。この枠組みでは系が確率過程としてモデル化され、微小系の仕事・熱といった熱力学量が導入される。この理論は揺らぎの定理・Jarzynski 等式といった近年の非平衡理論と整合しており、微小系の熱力学構造を理解する為に大いに貢献している。

さて、今までの微小熱力学系の研究は主に熱的な系に限られていた。ここでいう「熱的な系」とは、接する環境が熱平衡状態にある微小系を指している。このような系は、典型的には白色ガウスノイズに駆動される Langevin 方程式としてモデル化される。何故なら線形抵抗を伴い、詳細つり合いを満たす確率過程で minimal なものがそれだからである。一方、自然界では非熱的な系が遍く存在している。例えば、生体内の非平衡揺らぎや電気回路のショット雑音、アバランシェ雑音などがそうである。これらの揺らぎはしばしば非ガウス性によって特徴づけられることが知られている。こういった系の熱力学構造は明らかになっていなかった。

そこで、申請者は F. van Wijland 教授、P. Visco 氏、É. Foder 氏とともに生物系の揺らぎに駆動されるブラウン運動を有色非ガウスノイズとしてモデル化し、その熱力学的特性を調べた。具体的には九州大学の水野氏が行った、【myosin 由来の active force に駆動される、actin ネットワークに埋め込まれたビーズのブラウン運動】のモデル化を行った。特に申請者は、光ピンセットを系に導入した時にも成立するモデルの提案に貢献した。具体的には、光ピンセットがない自由ブラウン運動の時系は系の挙動に大域的には寄与しない【粒子とネットワーク間の相互作用項】が、

光ピンセットを導入すると特異摂動の結果系の挙動に支配的に寄与することを示した。粒子・ネットワーク間の相互作用を取り入れたこのモデルを“back action model”と呼ぶ。Back action model は ATP がない状況，即ち myosin が active force を出さない passive な状況での系の特徴である平均二乗変位の 2 段階緩和を再現することを示した。これらの性質を用いることでモデル内のパラメータのすべてを実験的に決定する方法が明らかになった。次に，back action model の非熱的性質を特徴づける方法として光ピンセットで操作したときの応答に着目した。特に，操作した時のエネルギー収支に着目した議論を行った。結果，系の非熱的性質が仕事として取り出せることがわかった。特に系の揺らぎ・光ピンセットがともに空間的等方であるにも関わらず仕事が出せることがわかった。

今後の研究予定としては，系から取り出せた仕事が近年の非平衡関係式と同関連付くかを調べる予定である。具体的には，Harada-Sasa 等式のように実験的に熱・仕事を測定するうえで有用な表式がないかに興味がある。また，Hatano-Sasa 等式のような表式を用いて，生物系の非平衡定常熱力学を議論することができないかに興味がある。両方の非平衡等式は主に白色ガウスノイズに駆動される 1 変数 Langevin 系で発見された関係式だが，こういった等式が多変数・有色ノイズに駆動される確率過程にどのように拡張され，どのような意味を持つのかを今後調べる予定である。