

非熱的 Brown 運動による時空間欠性の統計的性質

九州大学大学院 工学府 橋口 愛¹, 日高 芳樹, 鳴海 孝之, 甲斐 昌一

1 非熱的 Brown 運動

時空カオスの研究の多くは, 空間構造の時間変化を観測することによって行われてきた. 一方, 液晶電気対流系で観測される時空カオスに対しては, 系内に微粒子を混入し, その運動を観測する研究がなされている. 前者は Euler 的観点, 後者は Lagrange 的観点からの研究ととらえることができる. 時空カオスに混入した微粒子の運動は, 熱ゆらぎを駆動力とする Brown 運動とは異なり, 時空カオスを揺動力としているため非熱的 Brown 運動と呼ばれる.

Lagrange 的観点について, 液晶ホメオトロピック系において Nambu-Goldstone モードの効果によって生じるソフトモード乱流を対象としてこれまでは研究が行われてきた [1]. ソフトモード乱流では, 非常に弱い揺らぎを実現できるため, 時空カオスの揺らぎの基本的性質を熱揺らぎとのアナロジーを用いて調べるのに適している. 一方, Nambu-Goldstone モードの存在しない液晶プレーナー系では, コントロールパラメータである電圧を変化させると欠陥乱流や欠陥格子といったパターンが現れるので, 多様な非線形揺動の統計的性質が Lagrange 的観点から得られることが期待される. その中でも本研究では, 秩序領域と乱流領域とが時間空間的に混在する時空間欠性 (図 1) を研究対象としている. これまでの時空間欠性の研究では, 秩序領域と乱流領域とを画像解析により二値のパターンに変換し解析を行う Euler 的観点からの研究がなされている [2].

2 時空間欠性における非熱的 Brown 運動

液晶プレーナー系では印加電圧をあげていくと, 乱流領域からグリッドと呼ばれる格子状の秩序構造が島状に現れる. 本研究では, このグリッド領域と乱流領域とが混在する時空間欠性の状態にある系内に微粒子を混入し, その非熱的 Brown 運動を観測することで Lagrange 的観点から時空間欠性の統計的性質を明らかにすることを目的としている. 微粒子は直径が $6.48\mu\text{m}$ で比重が 1.22g/ml の黒色マイクロパール (積水化学工業 (株)) を使用しており, 一つのグリッド格子の一辺は約 $40\mu\text{m}$ である.

観察の結果, 粒子は両方の領域において運動可能であるが, 二つの領域で大きく異なる運動をすることがわかった. グリッド領域にある粒子は一つのグリッド格子内でトラップされているかのように振動しているが, 乱流領域にある粒子はグリッド領域で運動するものと比較し, 速度は

¹E-mail: hashiguchi@athena.ap.kyushu-u.ac.jp

さほど変わらないが，四方八方に運動する．この運動を定量的に調べるために，時間依存する拡散係数

$$D(t) = \frac{\langle |\mathbf{r}(t+t') - \mathbf{r}(t)|^2 \rangle}{4t'} \quad (1)$$

を導入した．ただし $t' = 40\text{s}$ である．この時間変化は，拡散係数の間欠的なふるまいを示している (図2)．拡散係数が小さければ場がグリッド領域であることを表しており，また，十分に大きければ乱流領域であることを表している．このことから，時空間欠性では拡散係数の値が空間的に不均一になっており，その状態が時間空間的に変化していることがわかる．拡散係数の値が大きく異なるドメインが時間空間的に混在しているという考え方は，時空間欠性と比較して研究されている directed percolation モデルにおいても当てはめることができる．

さらに，拡散係数の時間変化をグリッド領域と乱流領域の二つに分けるため，拡散係数の長時間平均値をしきい値とし，グリッド領域の持続時間 τ の分布 $P(\tau)$ をとった．その結果は，写像系の間欠性カオスと同様，べき分布になることがわかった (図3)．

また，画像解析により時空間欠性のパターンをグリッド領域と乱流領域とに二値化し，Euler 的観点からもグリッド持続時間分布をとった．その結果，Lagrange 的観点と同様にべき分布を示したが，べき指数値が異なるという結果を得た (図3)．なぜべき分布を示すのか，なぜ指数値が異なるのかについて詳しいことはわかっていない．電圧を変化させると，乱流とグリッドの面積比を変化させることができ，粒子の拡散の仕方が変化すると考えられるので，今後，乱流面積比依存性について調査することで，時空間欠性の詳細な統計的性質が得られると考えられる．

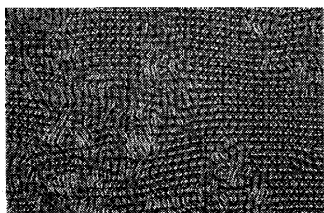


図 1: 時空間欠性

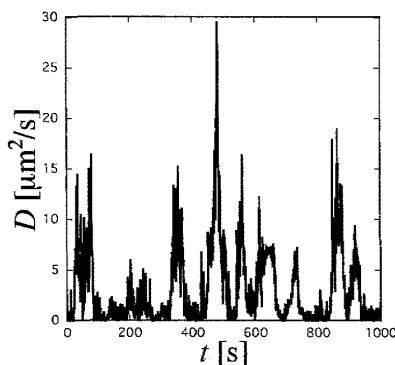


図 2: 拡散係数の時間変化

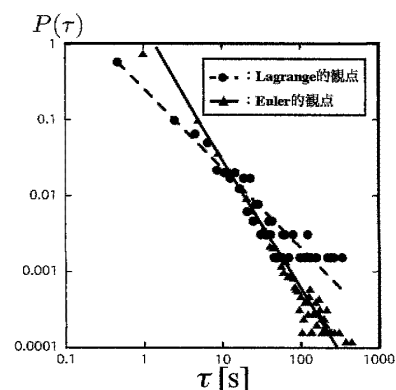


図 3: グリッド持続時間分布 $P(\tau)$

参考文献

- [1] K. Tamura, Y. Yusuf, Y. Hidaka, S. Kai, J. Phys. Soc. Jpn. **70** (2001), 2805.
Y. Hidaka, et al., Physica D **239** (2010), 735.
- [2] N. Oikawa, Y. Hidaka, S. Kai, Phys. Rev. E **77** (2008), 035205.