

○ 茨城大学大学院理学研究科物理学専攻

ゆらぎの時間反転非対称性

鶴 見 智

非平衡・非線形系の問題は、物理系のレーザー、流体力学、化学反応等、そして生物に到るまで極めて広範囲に存在している。これらの問題は、近年めざましく発展し、研究されているものである。

その中で、特に生物に目を向けた時に、非平衡状態におけるゆらぎの重要性を示唆していると思われるいくつかの例が見出せる。

例えば、ゾーリムシ *Paramecium* 細胞の膜ポテンシャルのゆらぎに、時間反転に対する非対称性が見出されている (T. Majima 1980)。また筋肉の収縮において、ミオシンとアクチン分子のサイクリックな相互作用で作られる active tension にゆらぎがあることは知られているが (J. Borejdo et al. 1977) そのゆらぎにありうる非対称性と筋収縮の分子メカニズムを関連づける試みが進められている (F. Oosawa et al. 1982)。しかし、ゆらぎの時間反転非対称性は、未だ具体的なデータで定量的に確認されていない。

このような状況の中で、本論は非平衡状態のゆらぎを解析する方法を検討し、そうして得られた方法を具体的なデータに適用してゆらぎの時間反転非対称性を確認することを主な目的とする。

我々はまず、ゆらぎの時間反転対称性および非対称性の問題がこれまでどのように扱われてきたかをみた。非平衡的状況でのゆらぎの研究からは、非可逆循環という量が導入された (K. Tomita et al. 1974)。また、過程が時間反転対称かどうかをみるもっとも簡単な方法は 3 次の相関関数である (M. Nelkin et al. 1981) ことが指摘された。

そこで、高次の相関関数に注意を向け、非平衡状態のゆらぎとの関係性を探った。一般に平衡状態では詳細釣り合の原理と呼ばれるものが成り立つ。詳細釣り合の原理は、確率論における結合確率の概念を使って定義される (H. Haken 1975)。定常状態にある時、いろいろな状態数の系で詳細釣り合の原理が成り立つための必要十分条件を求めてみると、一般に一連の高次相関関数の時間反転に対する対称性が要求された。このことは、高次の相関関数のうち 1 つでも時間反転に対して非対称であれば詳細釣り合の原理は破れ、非平衡状態のゆらぎを確認したことを意味する。

次に我々は、こうして意味の明確になった高次相関関数の方法を実際のデータに適用して

筑波大学物理学系

みた。それらの中には、 $1/f$ タイプのスペクトルをもつものもある。 $1/f$ ゆらぎは生物とも関わりが深いので、結果は興味のもてるものである。時間反転非対称性の有無は、正規型乱数をもとにした。また、調べるのに使った高次の相関関数は、3次（1乗×2乗）と6次（2乗×4乗）のみに限った。それらを選ぶ理由は、非対称性をみるのに適したものの中で最も構造が簡単な奇数次と偶数次のものであることである。

解析結果からいくつか興味のあることがわかった。

- (i) この方法によりゆらぎの時間反転非対称性が確認され、その大きさが定量的に得られた。
- (ii) 3次の相関関数よりも6次の相関関数の方が非対称性をみるのに適している。
- (iii) 同じ $1/f$ タイプのゆらぎにも時間反転に対して対称なものと非対称なものがある。

高次の相関関数を使い、ゆらぎの時間反転非対称性が確認されたことは意味がある。非対称性の大きさと生物の消費エネルギー等との関係を定量的に調べることが可能であり、生物においてゆらぎの果す役割が一層明確にできると期待される。また、 $1/f$ ゆらぎの問題でも理解が深められると思われる。

多くのデータで（特に生物のゆらぎで）の解析結果を蓄積すること、ならびに生物の特徴とゆらぎの時間反転非対称性との関係を明確にしていくことは今後の課題である。

○ 筑波大学物理学系

- | | |
|--|---------|
| 1. GAMMA 10 における遠赤外レーザー散乱 | 藤 田 稔 |
| 2. 真空紫外領域における H_2O と D_2O の解離過程 | 渡 辺 正 幸 |
| 3. 固体 3He の磁性 | 児 島 伸 生 |
| 4. 過渡光学における位相緩和現象の微視的解析的研究 | 番 雅 司 |
| 5. レーザーにおける非平衡協同現象とコヒーレンスに関する量子統計力学的研究 | 高 田 裕 司 |
| 6. 厳密に解ける格子モデルにおける代数的ベータ仮説法 | 吉 田 春 彦 |