

## メゾスコピック系における量子カオス

大阪市立大学工学部 中村勝弘

カオスは新興の学問であり、自然科学あるいは物質科学の一分野として、まだ確実に定着しているわけではない。しかし、最近では、超微細加工技術で作製されるナノスケール構造の電子デバイスを用いてカオス（特に量子系のカオス）の実験的検証が盛んに行われつつある。

たとえば、スタジアム・ビリヤード内の点粒子の古典カオス運動は、規則格子をなす剛体ディスク間（シナイ・ビリヤード）での同様の運動とならんで、非線形動力学および統計力学の両方の立場から興味をもたれてきた。1992年、Marcus(Stanford)等がGaAs/AlGaAsヘテロ接合界面に、ナノスケールのスタジアムビリヤード型の伝導性ディスク（量子ドット）を作り、更に磁場をかけて磁気抵抗の異常を観測した。他方、ほぼ同じ頃、Weiss等(MPI, Stuttgart) はナノスケールのシナイビリヤード（アンチドット系）を作製し量子輸送の測定を開始した。ここに、カオスの理論とナノ構造製作の最先端技術（結晶成長と超微細加工の技術）との結合が始まり、理論と実験の双方での研究が加速的に進んでいる[1]。

そこでは、カオスの量子力学的兆候（量子輸送の異常など）を捉えるだけではなく、カオスが量子物性論や量子力学の枠組自体にどのような大きな影響を与えるのかも問題になりつつある[2]。

この講演では、古典的にカオスを示すアハロノフ・ボーム(AB)ビリヤードでの量子カオスと量子干渉効果の関連について述べる。特に、永久電流やアルトシュラー・アロノフ・スピヴァク (AAS) 振動は、メゾスコピック物理学の曙となった重要なテーマであるが、これらのテーマを弾道（バリスティック）領域でカオスとの関連で考察する。

正方形ビリヤードの中心部を円状にくりぬいたもの、これもシナイのビリヤードである。円と正方形の壁の間を弾性衝突を繰り返すバリスティックな電子運動は、初期条件が何であってもいつもカオスになる。今、中心部に磁束を貫通させ、正方形の両端にリード線をつけて磁気抵抗を測定すると、磁束量子を周期とするAB振動があらわれ、この振動はカオスの量子論的兆候をおおいにかくしてしまう。しかし、AB振動を入射電子のエネルギーに関して平均をとった時、磁束量子の半分を周期とするAAS振動が出現する可能性がある。これはバリスティックな弱局在効果にもとづいている。実際、私達の研究グループは、AAS振動の解析的な表式を半古典論で理論的に導出することに成功した[3]。結果を見ると、高次の巻数

を持つ軌道に対応する高調波成分の振幅が、ビリアードの可積分性を反映した電子の滞在時間分布や面積分布に大きく依存しており、カオスの兆候をAAS振動を通じて捉えることが可能であることを示唆している。

他方、永久電流も、メソスコピックなABビリアードでの量子干渉効果の現れである。ここでは、リード線のついていない閉じたシナイビリアード（カオス系）と2重円ビリアード（可積分系）を考える。磁束はやはり中心部のみを貫通させる。アスペクト比を内部の円状のくり抜き部と外部の正形状（あるいは円状）の剛体バリアーの半径の比として、一体のエネルギー準位（エネルギー固有値）を磁束の関数として求める。電子をフェルミ準位まで詰めることにより永久電流が求まり、これは磁束に関する周期関数（周期は磁束量子）となる。アスペクト比を大きくするにつれ、永久電流の磁束相関の相関距離は可積分ビリアードの場合は不変であるが、シナイビリアードの場合は長くなる[4]。BerryとKeatingの半古典理論の予想との比較についても言及する。

#### 参考文献

- [1] カオスと量子輸送に関する最新の実験と理論の特集号は  
*Chaos and Quantum Transport in Mesoscopic Cosmos*, edited  
by K. Nakamura: Special issue of *Chaos, Solitons and Fractals*  
(Pergamon), Vol. 8, No. 7& 8 (1997).
- [2] メソスコピック系の量子カオスの諸問題を解説した教科書は、  
K. Nakamura: *Quantum versus Chaos- Questions Emerging  
from Mesoscopic Cosmos*, Kluwer Academic Publishers  
(Dordrecht, 1997).
- [3] S. Kawabata and K. Nakamura: *J. Phys. Soc. Jpn.* **65**, 3708  
(1996) ; Submitted to *Phys. Rev. Lett.*
- [4] K. Nakamura *et al.*, in preparation.