

Title	Chaotic Behavior in the DC-and RF-current Driven Josephson Junctions
Author(s)	吉木, 政行
Citation	
Issue Date	
oaire:version	
URL	https://hdl.handle.net/11094/37302
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名・(本籍)	よし き まさ ゆき 吉 木 政 行
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	第 9781 号
学位授与の日付	平成3年3月26日
学位授与の要件	基礎工学研究科 物理系専攻 学位規則第5条第1項該当
学位論文題目	Chaotic Behavior in the DC-and RF-current Driven Josephson Junctions (DCおよびRF電流で駆動されたジョセフソン接合におけるカオスの挙動)
論文審査委員	(主査) 教授 西田 良男 (副査) 教授 望月 和子 教授 朝山 邦輔 助教授 小林 融弘

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、ジョセフソン接合に直流(DC)電流と高周波(RF)電流を流した場合のI-V特性を理解するため、カオスについて実験とシミュレーションの両方から調べている。カオスとは決定論的な方程式に従う系が一見不規則で乱雑な挙動を示す場合があり、この挙動のことをいう。ジョセフソン接合の電気的性質は、接合を形成している2つの超伝導体の波動関数の位相差が行う運動の状態決定される。位相差の運動は振り子の運動と同じ力学系になっている。この運動状態が接合のキャパシタンス、RF電流の振幅と振動数、DC電流の大きさをパラメータとして、多様に変化しカオスを発生させる。ジョセフソン接合のI-V特性は、位相差の運動状態の長時間平均に対応している。

実験では、ニオブウムの点接触型ジョセフソン接合を製作し、50GHzのミリ波を照射してI-V特性を測定した。キャパシタンスのない場合、I-V特性は滑らかに変化するのに対して、キャパシタンスのある場合では、接合電圧がDC電流に対して不規則に変化する領域が現れる。このキャパシタンスの有無による違いを明らかにするため位相差の運動状態を調べた。位相差の運動はその周波数の高さから実験で観測することができないので、RCSJ(抵抗とキャパシタンスとで短絡した接合)モデルを使ったシミュレーションで求めている。シミュレーションでは、実験と類似したI-V特性をもつアナログ回路を作製し、位相差の運動波形とそのスペクトル特性を測定している。また、RF周期で運動波形をサンプリングして作るストロボ写像を描かせ、運動状態の解析を行った。さらに、ストロボ写像を再現するような一次元写像曲線を推定によって求め、この写像曲線を使って運動状態の変化を論じている。一つの力学系に対して運動方程式の解と写像関数の両面からカオスに至る過程を詳細に調べている。

このような方法でI-V特性の多くの点で位相差の運動状態を解析し、次の結論を得た。

- (1) 一次元写像曲線の形はキャパシタンスの有無で著しい違いがある。
- (2) キャパシタンスのない場合、 $I-V$ 特性の定電圧ステップ上ではカオスは発生しない。ステップ間ではPomeauとMannevilleが提案したI型の間欠型カオスになる。
- (3) キャパシタンスのある場合、ステップ上では周期倍化型カオスが発生し、ステップ間では間欠型カオスが発生する。この場合の間欠型カオスは、I型とは異なり、より複雑な様相を見せる。両型カオスの一次元写像曲線は殆ど同じ形であって、写像空間におけるその位置の違いがカオスの型の違いを生じている。
- (4) RF電流値を変えると写像曲線の形が僅か変化し、カオスの挙動も変化する。
- (5) キャパシタンスをもつ接合でもDC電流が増すと、写像曲線はキャパシタンスのない場合に似てくる。これは、DC電流の増加に伴い抵抗を流れる電流が増え、キャパシタンスを流れる電流の寄与が相対的に減るためである。

ジョセフソン接合の $I-V$ 特性のいろいろの点について超伝導体の位相差の運動方程式の解から写像関数を求め、写像関数の変化からカオス状態の特徴を解析し、カオスに関する新しい知見を示した。

論文審査の結果の要旨

この論文は、実験によってジョセフソン接合の $I-V$ 特性を測定し、シミュレーションを使って、接合の位相差の運動状態を調べ、 $I-V$ 特性とカオスの関係を系統的に考察している。その結果、位相差の運動状態が周期性からカオスに転移する過程およびカオスに潜在する或る規則性を指摘している。

位相差の運動を支配するパラメーターとして、接合キャパシタンス、DC電流、RF電流の大きさに注目している。実験ではニオブウム点接触型ジョセフソン接合を使い、 $I-V$ 特性を観測しながら接合を調整する。50GHzマイクロ波を照射したときの $I-V$ 特性が接合キャパシタンスのある場合とない場合とで明らかに異なることを指摘して、問題提起としている。シミュレーションではRCSJ模型（抵抗とキャパシタンスで短絡した接合の模型）を使って位相差の運動方程式を解き、位相差のスペクトルとストロボ写像を求めて周期運動からカオスへの移行を解析している。カオス状態のストロボ写像は一次元写像関数になっていることに注目して、一次元写像とパラメーターの関係を議論している。非線形2次微分方程式を解いて一次元写像を求める方法を使ったことがこの研究の独創的な点である。位相差の運動状態が周期的からカオスに転移すること、換言すると安定解から不安定解に変化するの、一般に一次元写像の形と移動によって生じる。一次元写像について、次のことを明らかにしている。一次元写像関数が、キャパシタンスの有無により顕著に異なることが指摘され、それによりカオスの違いが理解された。DC電流を変化させたときの周期運動からカオスへの移行は、一次元写像の形の変化よりも移動によって主に支配されていることがわかった。また、DC電流を増やすと、一次元写像関数の形が徐々に変化し、キャパシタンスのない場合に近づくことも明らかにした。

これらの結果は、カオスの理解のみならず、ジョセフソン接合を使った電磁波検出の機構および雑音の発生等の応用上の問題に貢献するところも多く、工学博士に値すると思われる。