

氏 名	は せ が わ よ し た か 長 谷 川 義 孝
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3525 号
学位授与の日付	平 成 12 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	二自由度動揺方程式系における引力圏構造のハミルトニアン運動に基づく考察 ——二機無限大母線系統をモデルとして——
論文調査委員	(主 査) 教 授 上 田 皖 亮 教 授 奥 村 浩 士 教 授 島 崎 眞 昭

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、二機無限大母線系統をモデルとした二自由度動揺方程式系の安定平衡点の引力圏構造を数値解析的に検討し、さらにその幾何学構造の由来を保存力学系の観点から検討したもので、次の7章から構成される。

第1章では二自由度動揺方程式系について概観する。工学的な応用例として電力系統における過渡安定問題のモデルとなる二機無限大母線系統が以前から多く研究されていること、また電気系のみならず種々の分野で複雑な運動を生じうる最低の自由度として二自由度系が広く研究されている状況などの背景と本研究の目的を述べる。

第2章では、モデルとした二機無限大母線系統と二自由度動揺方程式系の対応、ならびに系が保存力学系に散逸を導入したものと記述されることを示した。また保存力学系の運動を定めるポテンシャル構造について一般的な性質を要約し、さらに二自由度間結合度が比較的弱い場合には系が2つの一自由度動揺方程式の直積系と見なしうることから、その平衡点および周期解とポテンシャル構造について一般的な性質をまとめた。

第3章では、第2種周期解の種類と安定型について数値解析的に検討した結果を述べた。大別して、発電機1台のみが脱調した状態を表わす周期解・2台同時に脱調した状態を表わす周期解の存在することが確認され、また系が周期解付近の運動を示す際にはほぼ2つの独立した一自由度動揺方程式の直積系として振舞うことに基づき、系へのエネルギー授受の観点から周期解の近似的な存在位置を導き、数値解析結果との比較を行った。2台同時脱調解には両発電機の角速度がほぼ等しい値を維持する周期解と、簡単な整数比を保つ周期解が複数存在することを確認し、それらに大域分岐が生じる状況を数値解析結果を元に幾何学的に説明した。

第4章では、安定平衡点および第2種周期解の引力圏構造を探るべく、まず格子積分法を定義した。相空間に平衡点・周期解軌道が通るような二次元平面を定め、またそれ等を基準とする系統的な複数の平面群を与えて、その上に観察される引力圏断面についてまとめ、系の大域的な引力圏構造を考察した。特にいずれか片方の発電機の動作について安定解・脱調解の区別をせずにそれ等を同一視したとき、観察される引力圏構造はほぼ一自由度動揺方程式系の引力圏構造に従い、また自由度間干渉という観点から引力圏の侵食が著しい領域は相手の発電機が比較的特定の角周波数の範囲内にある場合に限られることを、既に報告されているエスケープ方程式による結果を参照して指摘した。また安定平衡点の引力圏境界付近に微細構造の存在を確認し、系の散逸性のために擬フラクタル状の境界が存在する可能性を述べ、次章以降の保存系に生じる分離枝構造の検討への準備とした。

第5章では、散逸を含まない二自由度動揺方程式系について、束縛・発散運動の境界をなす分離枝を数値解析的に求めた結果をまとめた。まず、サドル-センター型平衡点に付随する閉軌道群の不変多様体が分離枝をなすことを指摘した。次いで、分離枝を観察するための閉軌道群に横断的に定めた断面の位相構造をモース理論に従ってまとめ、これ等を用いて分離枝がホモ・ヘテロクリニック構造をなしていることから前章の微細構造の成因を導いた。一方、分離枝の断面はループなど複雑な連結を有する曲線群として表わされることを確認し、このことを二次元管状不変多様体と断面の交叉状況から考察した結果を示した。また、安定平衡点の引力圏侵食部分および保存系において対応するホモクリニックローブ部分に初期点を

もつ運動（動揺波形）を観察し、散逸系と保存系の対応について定性的にまとめた。

第6章では、前章で述べたような分離枝構造の成因を束縛運動を特徴づける基本周期解によるものと予想して、軌道形状と安定型・分岐をハミルトン関数の値をパラメータとして詳細に検討した。また、特に不安定基本周期解の不変多様体と分離枝との関わりについて、ヘテロクリニック交叉構造の存在を確認し、これまで報告されていない分離枝構造の存在を明らかにした。

最後に第7章では本研究で得られた結果をまとめ、今後の課題について述べた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、二機無限大母線系統をモデルとした二自由度動揺方程式系に数値解析的手法および非線形力学系一般における幾何学的手法を適用し、安定平衡点の引力圏についてその構造と成因を検討したものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 安定平衡点の引力圏大域構造の解明—モデルとした二機無限大母線系統において通常の運転状態に対応する安定平衡点の引力圏構造を、格子積分法による系統的な数値解析により大域的に説明した。系は概ね2つの一自由度動揺方程式の直積系として説明されるが、とりわけ引力圏の侵食が激しい部分は二自由度間干渉によるものであって、相手の発電機の動揺角周波数が特定の範囲にある場合に顕著に観察される。これはエスケープ方程式などで代表されるように、外部入力角周波数が特定の範囲にある場合に系が敏感に反応する現象の一面と考えられ、動揺波形からそうした性質を指摘した。また、安定平衡点の引力圏境界付近に微細構造の存在を確認し、不確定性指数と系の散逸性から、保存系における検討の必要性を述べた。

2. 保存系の分離枝に基づいた引力圏構造の解明—対象とした二自由度動揺方程式系は保存系に散逸を導入したものとして記述され、従って安定平衡点の引力圏境界は散逸をなくすと分離枝へと収束する。本研究では両者の対応を幾何学的に考察し、サドル-センター型平衡点に付随した不安定閉軌道群の不変多様体が分離枝であることを指摘し、その安定性など諸性質を数値解析的に求めた。次いで、閉軌道に横断的に定めた断面と分離枝の交叉状況の数値解析的および幾何学的検討から、分離枝の大域構造として従来より知られているホモクリニック交叉のみならず、ポテンシャル構造の非対称性のためにより複雑な構造が出現することを説明した。さらに、束縛運動を特徴づける基本周期解群の不変多様体と分離枝のヘテロクリニック交叉が生じている状況を数値解析的に検証し、安定平衡点の引力圏境界付近の微細構造の成因を示したほか、分離枝がポテンシャル構造と密接な関連を有する状況を詳細に検討した。

以上、本論文は二自由度動揺方程式系の引力圏構造および大域的な運動の様子を数理解析的な立場から明らかにしたもので、学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年3月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。