

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 7 月 31 日現在

機関番号：35302  
 研究種目：基盤研究(C) (一般)  
 研究期間：2014～2016  
 課題番号：26400181  
 研究課題名(和文) 差分方程式の擬概周期解の存在と放射能による機能性EDモデルの数値解析的手法の研究  
  
 研究課題名(英文) Study on the existence of pseudo almost periodic solutions of difference equations and due to the numerical analytical methods of functional ED (Erectile dysfunction) model by the radiation  
  
 研究代表者  
 濱谷 義弘 (Hamaya, Yoshihiro)  
  
 岡山理科大学・総合情報学部・教授  
  
 研究者番号：40228549  
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ED(勃起症候群)モデル構築に必要な血液・リンパ液中体内感染モデル及び有限時間遅れを持つ感染症流行の拡散反応型偏微分方程式の漸近安定性を示し、テストステロン分泌の時間遅れを持つ制御モデルの漸近安定性と概周期解の存在定理を構築してポーランドの国際会議で発表し論文を投稿した。2016年に大阪府立大学・松永氏と共同で国際会議を大阪で開催し、サテライト・コンファレンスを所属機関・岡山理科大学で開催した。

研究成果の概要(英文)：For constructing the ED model, we show the asymptotic stability of the blood and lymph model of infectious diseases in a body and the reaction diffusion partial differential equations with finite delay. Moreover, we study the existence theorem of almost periodic solutions and the asymptotic stability of control model with a time lag of testosterone secretion, announced at the International Conference of Poland and submitted a paper. In 2016, Osaka Prefecture University, Professor Matsunaga in joint International Conference on Difference Equation and Applications held in Osaka and, the Satellite Conference held in the institution, Okayama University of science, in Okayama.

研究分野：関数差分方程式の解の大域的性質

キーワード：時間の遅れを持つ関数差分方程式 擬概周期解 概周期族の解 機能性EDモデル テストステロンモデル 解の安定性の判定条件 Liapunov汎関数 放射能汚染モデル

### 1. 研究開始当初の背景

1989年以降、研究代表者・濱谷は、無限の時間遅れを持つボルテラ型積分微分方程式の概周期解の存在について安定性との関連で研究を始め、科学研究費奨励研究(A)を使用して、研究成果を専門雑誌に発表した。

1994年(サンフランシスコAMSミーティング)から米国を中心に、函数差分方程式の定性的理論の研究が流行した。濱谷は函数差分方程式の解の全安定と概周期解の存在について研究を始め、国際差分方程式学会にて研究成果を発表すると同時に専門雑誌に発表した(Y. Hamaya, Existence of an almost periodic solution in a difference equation with infinite delay, Journal of Difference Equations and Applications (JDEA), Vol.9, No.2 (2003) 227-237)。

さらに2013年まで53編の研究論文がある。2000年頃から、中国のC. Zhang, テキサス大のC. Corduneanu, を中心に、常微分方程式に対して概周期族の解の存在定理が問題とされた。

2012年、濱谷は、線形ボルテラ型差分方程式の擬概周期解の存在定理を指数漸近安定の下で示した(Y. Hamaya, Stability properties and existence theorems of pseudo almost periodic solutions of linear Volterra difference equations, Advances in Difference Equations, SpringerOpen 2012-58 (online))。2013年には、Rickerモデルの概周期解の存在定理を示した。2014年以降、濱谷は、生体モデルの概周期族の解の存在条件の研究や、放射能微少被爆による機能性ED症候群の症例現象の数理モデルを研究している。(Y. Hamaya, Pseudo almost periodic solutions of radioactivity ED discrete model with delay, (投稿準備中), Y. Hamaya, On the asymptotic behavior of pseudo almost periodic solutions of an erectile

dysfunction model in radioactivity, (投稿準備中)。

現在までに時間遅れを持つ函数差分方程式について、概周期族の解の存在定理を応用した放射能微少被爆による機能性ED症候群の数理生体モデルの研究結果は殆ど知られていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、放射能微少被爆による機能性ED(erectile dysfunction)症候群を表す数理生体モデル(時間遅れを持つ函数差分方程式)を新たに構築し、新しい数値解析的手法を用いて数値実験を行い、福島県原発被害などにおける実際の機能性ED発症の時系列とその減衰結果やED回復のメカニズムを解析することである。この為に、モデルに対して多くのファクターを考慮して数値解析的取扱いを行い、多次元的なシミュレーションから得られる結果と、解析的理論からの結果を比較検討し、最適なシステムを構築することである。本研究では、川崎医科大学泌尿器科チーム(永井教授, 常講師), 放射線科(平塚教授, 余田准教授)の協力の基、サンプリングデータを用いて解析を行う。

### 3. 研究の方法

時間遅れを持つ函数差分方程式の予想される概周期族の解の存在定理に対して、その応用例として放射能微少被爆による機能性EDモデルを構築し、数値実験を行うことにより実際の結果と、理論上得られた結果の妥当性を得て、さらなる高精度の理論や証明に向かうことが出来る。その実験の際、放射能微少被爆による機能性EDモデルの性質は複数の変数によって、概周期族の解や概周期解、周期解の存在などさまざまな結果が発生する。その変数を決定すること。さらに、変数による分岐的な変化をとらえることも重要である。その様々な現象を解析するためには、所属機関の情報処理センターのGPU計算機によ

って数値実験を行う。その際のアプローチの開発を主に行う。同時に、ユーザーインターフェースの開発を行う。

代表者・濱谷は時間遅れを持つ函数差分方程式の漸近挙動や擬概周期解，概周期族の解の存在定理と，放射能微少被爆による機能性 ED モデルなど数理生体モデルへの応用を担当する。

分担者・榊原 は放射能微少被爆による機能性 ED モデルの数値計算アルゴリズムの数学的妥当性の証明を担当する。

分担者・河野は放射能微少被爆による機能性 ED モデルの数値計算とユーザーインターフェースの開発を担当する。

分担者・澤見は放射能微少被爆による機能性 ED モデルの数値結果の可視化を行う。

#### 4. 研究成果

研究代表者は，平成 26 年度の研究実施計画の前研究段階である，無限の時間遅れを持つ非線形 Volterra モデルの概周期解について，協力者，他 1 名と共に（5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕参照）を表し，さらに 2 種 Ricker 競争モデルの大域的漸近安定性の結果について，（5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕参照）に掲載している。

平成 26 年度の研究実施計画に関連する数理生体モデルとして，テストステロン分泌の時間遅れを持つ制御モデルの漸近安定性と概周期解の存在定理について，濱谷は（5. 主な発表論文等〔学会発表〕参照）を 2015 年 7 月にポーランド Bialystok での国際差分方程式学会(ICDEA2015)において発表した。

また，この結果をまとめた論文 Y. Hamaya and K. Saito, On the stability of a feedback delay model for the control of testosterone secretions を協力者と専門誌に投稿中である。さらに，研究実施計画の ED モデルの構築に技術的に必要な拡散反応型偏微分方程式の手本として 3 次元の血液・リンパ液中体内感染モデル（5. 主な発表論

文等〔雑誌論文〕参照）や，有限の時間遅れを持つ SIR 拡散反応型偏微分方程式の漸近安定性について（5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕参照）と，無限の時間遅れを持つ SIR 拡散反応型偏積分微分方程式の漸近安定性について K. Saito, T. Kohno and Y. Hamaya, Global stability of a delayed SIR epidemic model with diffusion を分担者達と共に専門誌に投稿中(IJDEA)である。さらに 2016 年 7 月 24 日～29 日に大阪府立大学・松永氏と共同のローカルオーガナイザーとして第 22 回国際差分方程式学会(ICDEA2016)を大阪で，そのプレサテライト・コンファレンスを代表者の所属機関である岡山理科大学で開催した。

#### 5. 主な発表論文等 (研究代表者は下線) (雑誌論文)(計 10 件)

Toshiyuki Kohno, On the behavior of the error in numerical iterative method for PDE, The 22th International Conference on Difference Equations and Applications, Proceedings, 査読有, To appear  
<http://www.atalacia.com/icdea2016/osaka/index.html>

Kaori Saito, On the stability of an SIR epidemic discrete method, The 22th International Conference on Difference Equations and Applications, Proceedings, 査読有, To appear  
<http://www.atalacia.com/icdea2016/osaka/index.html>

Toshiyuki Kohno, Preconditioned iterative method for regular splitting, Advances in Pure Mathematics, 査読有, 7, (2017) 180-187  
<http://www.scirp.org/journal/apm/>

Yoshihiro Hamaya and Kaori Saito, Global asymptotic stability of a delayed SIR epidemic model with diffusion, Libertas Mathematica, 査読有, 36, (2016) 53-57  
<http://dx.doi.org/10.14510/2Flm-ns.v0i0.1339>

Kaori Saito, Toshiyuki Kohno and Yoshihiro Hamaya, Global stability

properties of virus dynamics of a diffusive model, International Journal of Mathematical Analysis, 査読有, 10, (2016) 1109-1127  
<http://www.m-hikari.com/ijma/>

Yoshihiro Hamaya, Global asymptotically stable of a non-autonomous discrete Ricker competition system, Advances and Applications in Mathematical Sciences, 査読有, 14, (2015) 1-12  
[http://www.mililink.com/issue\\_content.php?id=59&iid=277&vol=14&is=1&mon=January&yer=2015&pg=1-45](http://www.mililink.com/issue_content.php?id=59&iid=277&vol=14&is=1&mon=January&yer=2015&pg=1-45)

Yoshihiro Hamaya, Tomomi Itokazu and Kaori Saito, Almost periodic solutions of nonlinear Volterra difference equations with unbounded delay, Axioms, 査読有, 4, (2015) 345-364  
<http://www.mdpi.com/journal/axioms>

Yoshihiro Hamaya, Existence of almost Periodic solutions of discrete Ricker Delay models, International Journal of Difference equations, 査読有, 9, (2014) 187-205  
[http://campus.mst.edu/ijde/index\\_files/ijdeeb.htm](http://campus.mst.edu/ijde/index_files/ijdeeb.htm)

Yoshihiro Hamaya and Takashi Tanaka, Existence of periodic solutions of discrete Ricker delay models, International Journal of Mathematical Analysis, 査読有, 8, (2014) 939-950  
<http://www.m-hikari.com/ijma/>

Yoshihiro Hamaya, Existence of periodic and almost periodic solutions of discrete Ricker delay models, Theory and Applications of Difference Equations and Discrete Dynamical Systems, Springer, 査読有, 102, (2014) 171-185  
<http://www.springer.com/us/book/9783662441398>

[学会発表](計 5件)

Toshiyuki Kohno, On the behavior of the error in numerical iterative method for PDE, The 22th International Conference on Difference Equations and Applications, 2016年7月28日, Osaka Prefecture University, Osaka

Kaori Saito, On the stability of an SIR epidemic discrete method, The 22th International Conference on

Difference Equations and Applications, 2016年7月25日, Osaka Prefecture University, Osaka

Kaori Saito and Yoshihiro Hamaya, On the stability of an SIR epidemic discrete model with a delay, The 2<sup>nd</sup> Satellite Conference on Difference Equations and Applications, 2016年7月22日, Okayama University of Science, OKAYAMA

Yoshihiro Hamaya, Existence of almost periodic solutions of a feedback delay model for the control of testosterone secretions, The 21st International Conference of Difference Equations and Applications (ICDEA2015), 2015年7月22日, Bialystok, Poland

Yoshihiro Hamaya, Existence of periodic and almost periodic solutions of discrete delay models, 日本応用数学会 第18回環瀬戸内応用数理研究部会シンポジウム, 2015年12月7日, 加計学園国際学術交流センター 倉敷市

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

濱谷 義弘 (HAMAYA, Yoshihiro)  
岡山理科大学・総合情報学部・教授  
研究者番号: 40228549

### (2) 研究分担者

榊原 道夫 (SKAKIHARA, Michio)  
岡山理科大学・総合情報学部・教授  
研究者番号: 70215614

河野 敏行 (KOHNO, Toshiyuki)  
岡山理科大学・総合情報学部・准教授  
研究者番号: 90309534

澤見 英男 (SAWAMI, Hideo)  
岡山理科大学・総合情報学部・教授  
研究者番号: 70098581

[その他の研究協力者]

斉藤 香織 (SAITO, Kaori)  
岩手県立大学・宮古短期大学部・講師

永井 敦 (NAGAI, Atsushi)  
川崎医科大学・医学部泌尿器科・教授

常 義政 (JO, Yoshimasa)  
川崎医科大学・医学部泌尿器科・講師(平成 27 年退職)

平塚 純一 (HIRATSUKA, Junichi)  
川崎医科大・医学部放射線医学・教授

余田 栄作 (YODEN, Eisaku)  
川崎医科大・医学部放射線医学・准教授