



Title	恒常性自己調節モデルに対する数理的研究
Author(s)	陰山, 真矢
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69711
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 陰山 真矢 ）	
論文題名	恒常性自己調節モデルに対する数理的研究
論文内容の要旨 1974年にJ. E. Lovelockは地球における恒常性自己調節システムという概念を提唱した。これは生物相とそれを取り巻く環境が相互に作用することで、地球システム全体を安定化に向けて自己調節しているという考えである。このようなシステムを単純化・理想化した数理モデルがWatsonとLovelockによるデイジーワールドモデルである。 デイジーワールドは恒星の周りを公転している仮想の惑星である。惑星には黒色と白色の2種類のデイジーしか存在せず、これらは互いに生育域を争っている。また、惑星の温度は恒星からの放射熱と地表面の光反射率によってのみ決まる。したがって、地表面の色が濃いほど恒星からの光を吸収して温度が上昇しやすく、色が薄いほど光を反射して温度が低下しやすい。これは非常に単純な数理モデルであったが、デイジーが互いの生育域を争いながら、惑星の大域的な気温を自らの成長に最適な値へと自律的に調節していくような結果を示した。 本論文では、既存モデルに対して球面上でのデイジーと温度の拡散効果を加えた2次元モデルを扱う。まず、球面上でモデルの定式化を行い、それに対して局所解、大域解、力学系を構成し、有限次元アトラクタの存在を示している。さらに、この球面モデルに対する数値計算結果として、白と黒のデイジーの生存競争によって生成される棲み分けパターンが得られている。続いて、その棲み分けパターンについてより詳細に調べるために、2次元長方形上でモデルを定式化している。これによって定数定常解の安定性を調べる事が可能となり、一様分布の不安定化の条件を調べることができる。これと有限次元アトラクタの存在とを併せて、モデル方程式に対してパターン形成が起こることが理論的に示唆される。実際に方程式に対する数学解析の結果から、惑星の熱伝導率が十分大きくデイジーの種間競争が強まった場合にパターン形成が起こることを導き出している。またこれはモデルにおいて拡散誘導不安定性のようなものが生じることを示している。この結果を受けて行った数値計算では、温度の恒常性が現われる太陽光度の区間において棲み分けパターンが現われ、さらにその棲み分けパターンは太陽光度の強さによって「斑点パターン」、「連鎖パターン」、「迷路パターン」の3種類に変化することを示している。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (陰 山 真 矢)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	鈴木 秀幸
	副 査	名誉教授	八木 厚志
	副 査	教授	藤崎 泰正
	副 査	教授	森田 浩

論文審査の結果の要旨

1974年に J. E. Lovelock は恒常性自己調整システムというアイデアを導入した。例えば、地球は、地表に生育する植物相とそれを取り巻く気候システムとの相互作用により地球環境の恒常性を自律的に調整する機能を備えたシステムであると主張した。その後、1983年には A. J. Watson と J. E. Lovelock は最大限に理想化された惑星、デイジー・ワールド、を想定し、そこで唯2種だけ生育する白と黒のデイジー間の生存競争と気候システムとの相互作用により惑星の大域温度が一定に調節されるメカニズムを微分方程式系モデルを用いて研究した。彼等の研究を皮切りにしてデイジー・ワールド・モデルは様々な拡張され惑星が大域温度を自己調整するメカニズムが数学的に研究されてきた。

デイジー・ワールドには白デイジーと黒デイジーの2種だけの植物が存在し、繁殖場所を巡り競争関係にある。2種の繁殖率は等しく同一の温度下では等しく増殖する。ただし、黒デイジーは白に比べ太陽からの光の吸収率が高く結果として黒デイジーの生息域では局所的に高温となる傾向があり、反対に白デイジーは黒に比べ太陽からの光の反射率が高く白デイジーの生息域では局所的に低温となる傾向がある。惑星の大域温度は局所温度の総和として与えられ、太陽光強度が増加するにつれて増加し、減少するにつれて減少する。また、宇宙空間への熱放射効果があり Stefan- Boltzmann の法則にしたがうとする。デイジー・ワールド・モデルは、これら白・黒デイジーと大域温度の動態を記述した運動方程式であり、これらの3変数に関する反応・拡散方程式系により表現される。

本論文は、本モデルを解析的・数値的に研究し新しい知見を示したもので、その成果は以下のようにまとめられる。

1. 新しく球面上のデイジー・ワールド・モデルを設定し、関数解析学の手法を用いてその大域解の構成と無限次元力学系の構成を行っている。さらに、力学系には有限次元アトラクタがあることを証明している。
2. モデルの数値計算から白・黒デイジーの生育域には明白な棲み分けパターンが形成されることを見出すとともに、そのようなパターンは白・黒デイジーの種間競争が種内競争より大きくかつ温度の拡散がデイジーの拡散に比べて大きいことから生み出される拡散誘導型の Turing パターンの一つであることを示している。
3. 2種デイジーの棲み分けパターンは太陽光強度が低い値から増加するとともに、黒優勢の斑点パターンから連鎖パターンへと変化し、同強度が中間値付近では白・黒均衡の迷路パターンが出現し、さらに同強度が増加すると白・黒が反転した連鎖パターンから斑点パターンへと移行することを見出している。
4. 太陽光強度が低い値から増加するにつれて、地表では初め黒デイジーのみが生育可能であったものが白デイジーも生育可能となり次第に生育域を拡大し、強度が中間値付近では白・黒デイジーが均衡して生育し、中間値を超えると今度は白デイジーが優勢となり黒デイジーは生育域を縮小する、この変動のお蔭で惑星の大域温度はこの間ずっと一定の値に保たれる。このメカニズムにおいて、白・黒デイジーの定量的な変動が、棲み分けパターンを通じて定性的な変化を引き起こすことを明らかにしている。

以上のように、本論文では恒常性自己調節モデルに対してその大域解を構成するとともに解の構造について非常に興味深い知見を得ており、情報科学に寄与するところが大きい。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。