

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12823

研究課題名(和文)自然界における周期性の自発的パターン形成機構解明と社会システム設計への合理的応用

研究課題名(英文)Elucidation of spontaneous pattern formation mechanism of periodicity in natural world and rational application to social system design

研究代表者

佐藤 太裕 (Sato, Motohiro)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：00344482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：自然界には植物が生み出す機能美や、自然発生的に生じる現象として「周期的なパターン」がさまざまなものに自発的に生じ、そこには全て合理的な理由があると考えられる。しかしその周期性のほとんどが、「そもそもなぜ生じるのか」という根源的理由すら明確ではないものばかりである。本研究は主に力学的側面から、自然界に潜むさまざまな周期性に着目し、その発生メカニズムを理論的に解明するとともに、得られた知見を合理的な社会システム設計技術・設計思想への応用していくことを目指したものである。

研究成果の概要(英文)：In nature, as spontaneous occurrences of functional beauty produced by plants and so on, "periodic patterns" can be found in various things, and there are all reasonable reasons to occur. However, the reason why it arises is not clear. From the viewpoint of mechanics and dynamics, this research focuses on various periodicity lurking in nature, theoretically elucidates the mechanism of its occurrence, and applies the obtained findings to rational social system design technology / design philosophy.

研究分野：応用力学

キーワード：数理工学 波状起伏 周期性

1. 研究開始当初の背景

自然界には植物が適者生存の環境下で合理的に生きる仕組みや、自然発生的に生じる不思議な周期パターンが数多く存在する。例えば竹(図-1)は節が擬周期的に配置された構造であり、その周期性や節間長には必ず合理性のある力学的意味があると考えられる。また未舗装路では特に自動車の加減速が行われる区間で図-2に示す波状起伏が生じやすいことが知られている。さらに南瓜(図-3)など野菜の多くは特徴的な周期的凹凸が見られる。これらはいくまで自然界に見られる周期性の例の一部であり、他にもDNA二重螺旋構造や砂漠の波紋など、数多の例が存在する。しかしその周期性のほとんどが、「そもそもなぜ生じるのか」という根源的理由すら明確ではないものばかりである。申請者はその発生メカニズムの根源に迫るといった学術的な意味・意義に加え、ある合理的意味を持って生じたこの周期性を社会システムに適用すると、システムそのものを合理的に設計できる可能性がある、という独自の視点から本研究の着想に至った。



図-1 竹の節の周期性



図-2 未舗装路面の周期的凹凸



図-3 南瓜の周期的凹凸

2. 研究の目的

本研究は主に力学的側面から、自然界に潜

むさまざまな周期性に着目し、その発生メカニズムを理論的に解明するとともに、得られた知見を合理的な社会システム設計技術・設計思想への応用していくことを目指すものである。

3. 研究の方法

上記の研究目的を実現するためにこの2年間で、高度な構造力学理論を用いて、理論数理モデル構築を基礎とする周期特性の記述に挑戦することを計画した。初年度である平成28年度は、生物形態にみられる周期性と、自然発生的に生じる周期性の双方についてさまざまな事例を検証するとともに、構造安定論の観点からその周期性の定式化を試みた。また当該年度中、本研究と並行して採択された科研費国際共同研究加速基金(国際共同研究強化)により、韓国仁川大学校に3ヶ月間滞在し、国際共同研究として現地研究者と議論しながら、周期座屈モードの性質に関する検証を現地にて実施するなど、本研究を進展させた。第二年度である平成29年度は、英国ケンブリッジ大学の滞在が実現し、当地での在外研究にて、中空円筒構造の最適な補剛設計のヒントとなりうる合理的なルールについて理論的な検証を深めるとともに、構造力学的な観点から「有効幅」との関係性について検討を行った。

4. 研究成果

得られた研究成果を列举すると、以下の通りである。

- (1) 野菜・果実などに存在する周期的なしわや螺旋形態をとる構造の原因について検証した。具体的には、外側の固い層と内側の柔らかい実の部分の相互作用が外圧により特徴的な座屈モードを有すること、またそれを引き起こす座屈荷重について、統一的なべき則が存在すること、さらにそのべき数が形状により変化することを、構造安定論の観点から見出すことができた。得られた成果は2016年に *Journal of mechanics* 誌に掲載された(〔雑誌論文〕欄1)。
- (2) 竹の節の軸方向配列に着目し、その中で中空円筒構造の最適な補剛設計のヒントとなりうる合理的なルールを発見した。さらにそれを記述するための無次元パラメータを構造力学的に導出することに成功した。また、複数の種類の異なる竹について、節の軸方向配列の違いも検証を行った。得られた成果は得られた成果は2017年に *Trees* 誌に掲載された(〔雑誌論文〕欄2)ほか、海外でのシンポジ

ウムで講演を行った。

- (3) 未舗装路などで自然発生的に生じる周期的な凹凸 (Washboard road) の発生メカニズムについて、車両を想定した振動子とその速度、路面の物性およびそれにより発生する凹凸の周期長との関係などについて実験・理論的検討を実施し、その原因となるパラメータを多角的に検証した。これによりある条件が揃った時のみ凹凸が発生することなどが、実験室規模のスケールではあるが定量的に明らかとなった。これらの得られた成果は2017年に *Physical Review E* 誌に掲載された ([雑誌論文] 欄3)) ほか、複数の学会で講演発表を行った。

以上の成果を基盤とし、今後の新たな学術領域の開拓につながる、「空間周期性の構造安定論的解釈」に関わるいくつかの有用な知見を得ることができた。これにより、上記知見を基礎とする科研費基盤研究 (A) 「空間周期性の構造安定論的解釈と合理化社会・構造システム設計思想のパラダイムシフト」が新規採択となり、今後研究をさらに進展させていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- 1) M. Sato, S. Harasawa, Y. Konishi, T. Maruyama and S.-J. Park:
Power Law of Critical Buckling in Structural Members Supported by a Winkler Foundation,
Journal of mechanics (査読有), Vol.33, No.3, pp.369-374 (2017)
DOI: <https://doi.org/10.1017/jmech.2016.112>
- 2) T. Srimahachota, H. Zheng, M. Sato, S. Kanie and H. Shima:
Dynamics of washboard road driven by harmonic oscillator,
Physical Review E (査読有) 96, 062904 (2017)
DOI: [10.1103/PhysRevE.96.062904](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.062904)
- 3) A. Inoue, S. Tochihara, M. Sato and H. Shima:
Universal node distribution in three bamboo species (*Phyllostachys* spp.),
Trees -Structure and Function (査読有), Vol.31, pp.1271-1278 (2017)
DOI: [10.1007/s00468-017-1546-2](https://doi.org/10.1007/s00468-017-1546-2)
- 4) T. Srimahachota, H. Zheng, M. Sato, and S.

Kanie

WASHBOARD ROAD: EFFECT OF NATURAL FREQUENCY TO THE DYNAMIC BEHAVIOR OF SAND SURFACE

土木学会平成 28 年度年次技術研究発表会論文報告集 (査読無)、2017.

- 5) 亀山 侑平、宮川 奨、谷垣 俊行、島 弘幸、井上 昭夫、佐藤 太裕：
竹の異方性および維管束配置を考慮した円筒構造における断面扁平抵抗の定式化、土木学会平成 29 年度年次技術研究発表会論文報告集 (査読無)、2017.

[学会発表] (計 4 件)

- 6) 亀山 侑平、宮川 奨、谷垣 俊行、島 弘幸、井上 昭夫、佐藤 太裕：
竹の異方性および維管束配置を考慮した円筒構造における断面扁平抵抗の定式化、土木学会平成 29 年度年次技術研究発表会、2018.
- 7) 松山 千春、田中 之博、佐藤 太裕、蟹江 俊仁、島 弘幸：
未舗装路で生じる波状起伏の自発形成メカニズム、
日本物理学会第 72 回年次大会、2017.

- 8) T. Srimahachota, H. Zheng, M. Sato, and S. Kanie

WASHBOARD ROAD: EFFECT OF NATURAL FREQUENCY TO THE DYNAMIC BEHAVIOR OF SAND SURFACE

土木学会平成 28 年度年次技術研究発表会、2017.

- 9) M. Sato:
Learning from bamboo: Plant-mimetic design toward less material & high-stiffness structure
Joint Seminar on the Application of Nano materials in Civil Engineering, 2016.

[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]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 太裕 (SATO, Motohiro)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：00344482

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし

(4) 研究協力者
なし