

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25660204

研究課題名(和文)大自由度離散力学系において観測される低次元非線形ダイナミクスの創発メカニズム抽出

研究課題名(英文)Detection of Low Dimensional Nonlinear Dynamics generated from Large Degree of Freedom Systems

研究代表者

酒井 憲司 (Sakai, Kenshi)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：40192083

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、大自由度離散系において観測される低次元(6～7次元以下)非線形ダイナミクスについて、これを非線形系に偏在する創発現象と仮定し、非線形時系列解析(カオス解析)手法を基盤として、大自由度離散系から観測される創発現象として観測される信号の決定性の定量的な検出法を提案した。また、この手法は、非線形ダイナミクスに駆動されノイズが混入した変動データに効果的に適用できることを明らかにした。対象としては、土壌の破壊現象、心循環器系の脈波変動、共通ノイズ同期としての温州ミカンの国内市場レベルの生産量変動、花粉結合と共通ノイズを印加されたドングリのマस्टィング現象等である。

研究成果の概要(英文):Low dimensional nonlinear dynamics emerged from large degree of freedom Systems was investigated. We employed nonlinear time series analysis in a comprehensive manner and proposed empirical and simple way to distinguish determinism from colored noise. The subjects investigated in this project were soil failure patten, human cadiovascular system, citrus production of national market and acorn masting with pollen coupling and common induced noise.

研究分野：農業環境工学

キーワード：非線形力学 同期 共通ノイズ 土壌破壊 脈波 サロゲーション 遷移誤差 カオス

1 . 研究開始当初の背景

1970年代以降、複雑な非線形現象を対象に、カオス理論と複雑系の科学が勃興してきた。農学関連分野においても、耕うんにおける土壌破壊・斜面崩壊・土石流・津波などへの粒子法や個別要素法の応用、マルチエージェントシステムを用いた野生動物・昆虫・微生物等の生物個体群動態、地域計画、農産物流通プロセスのモデル化など、広範に適用が試みられている。これら、所謂”複雑系シミュレーション”と言われるものであるが、ミクロレベルでの支配法則は妥当であっても、マクロレベルでシミュレーションによって生成される変動パターンの妥当性に保証はなく、単なるコンピュータグラフィックスに陥る危険もある。これを克服するためには、マクロレベルの変動パターンとミクロレベルの支配法則の関係性を解明する方法論が必要となる。

2 . 研究の目的

粒子法、マルチエージェントシステム、個別要素法などの大自由度離散系モデリングにおいては、粒子やエージェントにミクロレベルの支配法則を与えることにより、解析的には解けない大規模で複雑な現象記述が可能となってきた。しかし、大量の要素の相互作用によって生成されるマクロレベルの変動パターンとミクロレベルの支配法則との関係は不明確である。本研究では、大自由度離散力学系において観測されるマクロの変動パターンについて、これを創発現象と捉え、ミクロからマクロへの創発メカニズムを抽出するため特に、創発したパターンの決定性の判別法を提案する。

3 . 研究の方法

大自由度離散力学系として土壌切削破壊の空間周期パターンと生物個体群動態を対象とする。粒子系シミュレータとマルチエージェントシミュレータを構築し、ミクロレベル各要素・エージェントに支配法則を与え、百万個程度の要素数の相互作用によるマクロな時系列データを生成する。東京農工大学およびカリフォルニア大学デービス校附属農場における実験・調査から実時系列データの取得し、これらに対して、本研究で提案する局所ベクトル場の内積平均によるフラクタルブラウン運動と決定論的カオスの判別を行う。また、エージェントモデルとして樹木作物を非線形振動子として扱う、温州ミカンの国内市場での“隔年結果”とドンダリの豊凶現象(マスティング)に対して、共通ノイズ同期を集団力学系において創発する現象として数値実験によって調べた。

4 . 研究成果

本研究では、大自由度離散系において観測される低次元(6~7次元以下)非線形ダイナミクスについて、これを非線形系に偏在する

創発現象と仮定し、非線形時系列解析(カオス解析)手法を基盤として、大自由度離散系から観測される創発現象として観測される信号の決定性の定量的な検出法を提案した。また、この手法は、非線形ダイナミクスに駆動されノイズが混入した変動データに効果的に適用できることを明らかにした。対象としては、土壌の破壊現象、心循環器系の脈波変動、共通ノイズ同期としての温州ミカンの国内市場レベルの生産量変動である。

(1) 粒子法を用いた大自由度離散系土壌は大自由度離散系の代表例である。農業においては耕うんやトラクタの走行性を考えるうえで重要な対象である。粒子法を用いて、土壌切削・破壊現象のモデリングを試みた。図1に示すように、土壌内の応力分布が示されると同時に、切削抵抗が合力として算出できる。これらは、実際の土壌切削抵抗と類似したパターンを示す。個々の粒子に与えるパラメータを調整することにより、実際の切削抵抗波形と比較することが可能である。

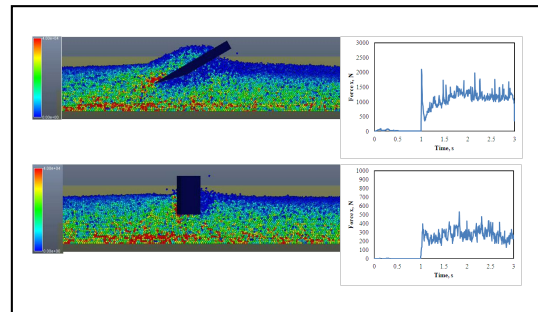


図1 粒子法による土壌切削過程のモデリング

(2) DNP/AUT 比による土壌切削変動の決定性検出

土壌切削パターンについて土壌の水分、圧縮密度を変化させて4つの土壌条件を準備した。実験はカリフォルニア大学デービス校附属農場における Yolo Loam 土壌で実施したものである。

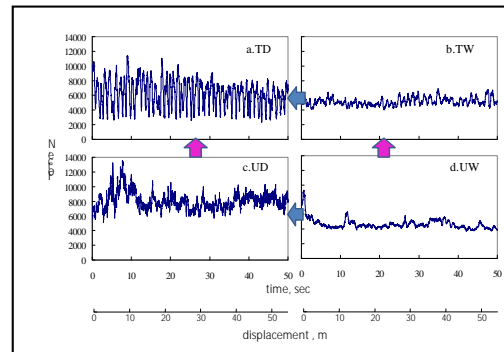


図2 4つの切削抵抗データ

ここでは、非線形時系列解析を包括的に行った。また、4つの土壌切削データの他に、Lorenz63として知られている Lorenz モデルから生成した時系列データと、これにシステムノイズを混入したデータを参照データとして用意した。すなわち、FFNによって埋め込み次元を推定したのち、ダイナミクスを再

構成する。Lyapunov 指数，決定論的非線形予測 (DNP)，サロゲーション，遷移誤差 (Translation Error)，相空間内のベクトル内積などを算出した。その過程で，決定論的プロセスと確率過程の双方の混入の可能性が高く，実用的な決定性の判別手法の提案が必要と考えた。

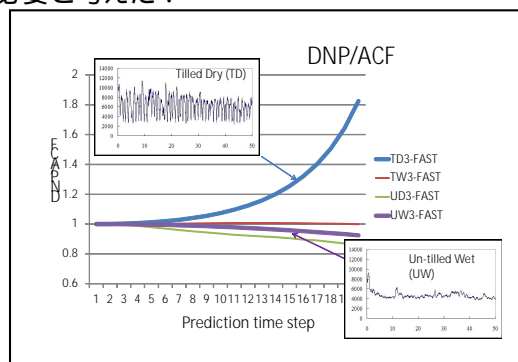


図3 DNP/ACF 関数による決定性の判別

ここでは，供試データの自己相関関数 (ACF) はタイムラグが小さい場合は高い値を示し，カロードノイズとの判別が特に重要となる。DNP と ACF の比として DNP/ACF 関数を定義し，これを図 3 に示した。包括的非線形時系列解析において参照データとの比較を行い，総合的な考察を加えた，DNP/ACF 関数が 1 より大きい場合は，決定性がノイズに対し優位であり，1 より小さい場合は決定性が検出できないと解釈できる。

(3) 局所ベクトル場の遷移誤差および内積平均による決定性の判別

再構成された相軌道上の各点近傍のベクトル群の遷移誤差および内積平均によって流の滑らかさを遷移誤差と 2 つの内積平均を求めた。遷移誤差が小さいほど，内積平均が大きいほど，滑らかな流れと判断できる。TD の場合のみ，図 4 に示すように，滑らかな流れが認められた。ただし，計算時のステップは 1 ではなく 6 程度としている。

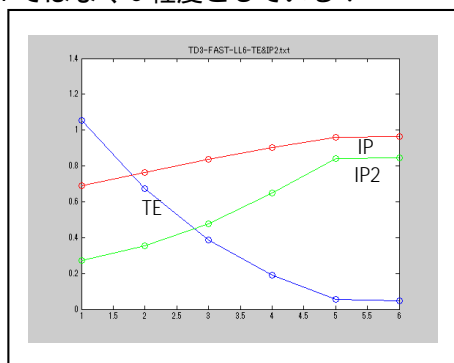


図4 局所ベクトル場の遷移誤差と内積平均

脈波の時系列データに関しても遷移誤差を用いて相軌道の滑らかさを調べた。大域的な値は 0 に近く滑らかであることが示されたが，局所的に高い遷移誤差の値を示すこと

も明らかとなった。これは，非線形時系列解析を局所的に行うことで，脈波の持つ特徴を抽出できる可能性を示している。

(4) 共通ノイズ同期としての樹木作物生産量変動パターン

温州ミカンの隔年結果現象は非線形振動子としてモデル化可能である。100万個体の温州ミカン为非線形振動子の集団と考え，共通ノイズ同期について調べた。温州ミカンは自己受粉であり，他家受粉の樹木作物のような結合が想定されない。光合成残余物の値に対して 5% のパルス入力を年次的にランダムに印加して共通ノイズとした。その結果，共通ノイズを印加しない場合には 100 万個体の平均収量は一定値となったが，共通ノイズを印加した場合には，ON-year と OFF-year を交互に示す，いわゆる集団レベルでの隔年結果を示した。これは，国内市場レベルでの明確な“隔年結果”現象と矛盾しないものである。

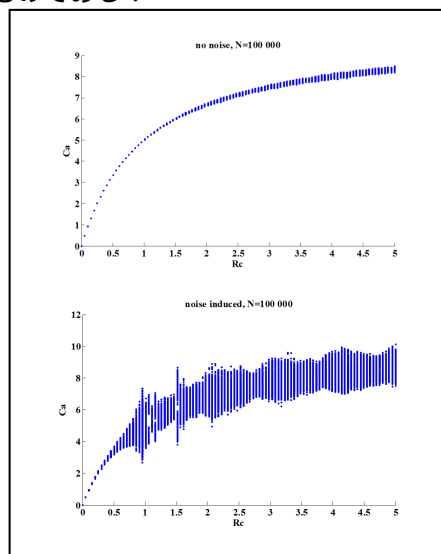


図5 分岐図による共通ノイズ同期
a. 共通ノイズ無，b. 共通ノイズ有

また，広葉樹堅果 (ドングリ) のマスティング現象は，花粉結合によって引き起こされると理解される。花粉結合と共通ノイズの双方がどのように同期に寄与するかについても数値実験によって調べた。

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 8 件)

Nina Sviridova and Kenshi Sakai, Common Noise Induced Synchronization on Collective Dynamics of Citrus Production, Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers, 78(3):221-226, 2016 (査読有)

Nina Sviridova, Kenshi Sakai, Human Photoplethysmogram: new insight into

chaotic characteristics, Chaos Solitons and Fractals, 77:53-63, 2015 (査読有)

Nina Sviridova, Kenshi Sakai, Application of Photoplethysmogram for Detecting Physiological Effects of Tractor Noise, Engineering in Agriculture, Environment and Food, 8(4), 313-317, 2015 (査読有)

Nina Sviridova, Kenshi Sakai, Insight into Local and Global Short Term Predictability of Human Photoplethysmogram, NOLTA2015, 938-941, 2015 (査読有)

Kenshi Sakai, Nina Sviridova, Common noise induced synchrony on coupled and uncoupled oscillators: Case studies for Citrus alternate bearing and Acorns, NOLTA2015, 942-945, 2015 (査読有)

Nina Sviridova and Kenshi Sakai, Application of photoplethysmogram for detecting physiological effects of tractor noise, Engineering in Agriculture, Environment and Food, 8(4):313-317, 2015 (査読有)

Takahiro Yamazaki and Kenshi Sakai, Modelling of Spatial Synchrony in Acorn Masting for Ecosystem Management, NOLTA2014, 610-613, 2014 (査読有)

Kenshi Sakai, Shrini K. Upadhyaya, Nina Sviridova, Distinguishing Chaos from 1/f Motions in Soil Failure, ASABE paper No. 1899139, 1-9, 2014 (査読無)

[学会発表](計6件)

森俊勝, 酒井憲司, 非線形ダイナミクスを用いた樹木作物の予測ネットワークシステム, 農業環境工学関連学会合同大会, 2015年9月14日, 岩手大学(岩手県, 盛岡市)

Kenshi Sakai, Nina Sviridova, Shrini K. Upadhyaya, 局所遷移誤差と局所内積による土壌破壊パターンの解析, 農業食料工学会年次大会, 2014年5月16日, 琉球大学(沖縄県・中頭郡)

Nina Sviridova & Kenshi Sakai, Photoplethysmograph nonlinear time series analyses application on power machinery ergonomics., XXXIV Dynamics Days Europe, 2014年9月8日, バイロイト大学, バイロイト(ドイツ)

山崎崇広, 酒井憲司, 生態系管理を目的とした森林の豊凶現象のモデリング, 農業食料工学会, 2013年9月10日, 帯広畜産大学(北海道・帯広市)

酒井憲司, 大自由度ダイナミクスにおける創発としての土壌切削破壊パターン, 農業食料工学会年次大会, 2013年9月10日, 帯広畜産大学(北海道・帯広市)

Kenshi Sakai, Applied Nonlinear Dynamics in Ecological Management- Acorn, Bear and Multi-agent system, WildCRU and Carneco

Joint mini-symposium, 2013年8月21日, オックスフォード大学, オックスフォード(英国)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 憲司 (Sakai, Kenshi)

東京農工大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号: 40192083