

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 22 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19380141

研究課題名（和文）カオス制御理論に基づく温州みかん隔年結果制御技術の実証と確立

研究課題名（英文）Development of Control Method for Citrus Alternate Bearing Based on Controlling Chaos Theory

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

研究成果の概要（和文）：

温州みかんの隔年結果の制御原理の実証的確立に関して、ダイナミクスのオブザーバ計測も実施し、アンサンブル再構成によって構築された局所線形ダイナミクスによる非線形ダイナミクスへの OGY 制御理論の開発を実施し、局所線形化されたダイナミクスの抽出法を実データを対象に実装できた。制御原理の実証に関しては、ハイパースペクトルカメラによるオブザーバ計測において Molans' I や各種空間変動の計測指標の有効性を検証した。WEB ベースの予測量算システム、制御量算出システムの試作に着手した。個体数カウントデータだけではなく、リモートセンシングによって得られたオブザーベーションデータの計測方法を検討した。オブザーベーション計測の高精度化において、従来継続してきた校正手法の精度向上を進めるとともに、航空ハイパースペクトル画像およびマルチスペクトル画像を用いて、収量の校正モデルの精度向上を検討し、携帯型ハイパースペクトルイメージングシステムを用いて、地上計測を行った。さらに、空間自己相関の検出方法を検討し GStatics の有効性を明確にした。

研究成果の概要（英文）：

In order to develop a methodology to control citrus alternate bearing, observer measurements of the targeted dynamics were conducted and OGY based control method was established with employing ensemble reconstruction of the dynamics from very short but ensemble data set. The algorithm was implemented on a conventional PC. The observer was also detected with hyperspectral imaging technique and Molan's I and GStatics were identified as a measure of mechanistic process. Not only with the obtained number of fruits, the estimated yield of citrus by remote sensed data set was successfully used to forecasting the yield in individual level.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 19 年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
平成 20 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
平成 21 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
平成 22 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：農業環境工学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：隔年結果、カオス、OGY 制御、予測、アンサンブル再構成

1. 研究開始当初の背景

研究代表者（酒井）はこれまで、温州みかん隔年結果のメカニズムの解明をカオス理論・非線形時系列解析により実施してきた。農学・生態学データにおいては数点～十数点のデータしか得られない場合が一般である。このような極めて少数の時系列データを、反復を利用した集合データとして構成することにより、非線形時系列解析を可能とするアンサンブル再構成手法を発明した。

2. 研究の目的

温州みかんは現在においてもわが国最大の果樹生産高を誇っている。しかし、個体収量の激しい豊凶変動（隔年結果現象）により結果的に国内市場レベルでの価格変動が極めて大きく、栽培農家の経営を圧迫しており、隔年結果のメカニズム解明、予測、制御技術の確立が求められている。すでに研究代表者はカオス理論に基づいたモデリング・予測に成功した。本研究では、カオス制御理論を基に、温州みかんの隔年結果の制御原理を構築し、栽培試験による実証を経て実用化技術として確立したい。

3. 研究の方法

(1) 制御原理の構築

カオス制御理論として現実の摘果技術に対応して2つの異なる制御原理を開発する。

従来の隔年結果の制御は、毎年一定の収量への安定を目的として行われる。これは、非線形力学の立場からは、不安定平衡点（サドルノード・鞍点）の安定化制御に他ならない。本研究ではOGY法をダイナミクスの元写像に対して適用することにより、これを実現する。

(2) ハイパースペクトルイメージング等を用いて、対象とするダイナミクスのオブザーベーション計測を行う。

(3) ウェブベース栽培支援システム

収量の1年後予測、安定化制御、2周期化制御の3つの機能についてウェブベースのソフトウェアとして実装した。

4. 研究成果

(1) サドル安定化制御の制御原理を構築し、数値実験により安定的に制御可能であることを明らかにした。特に、ノイズ印加時における制御可能性も示した。最初の制御入力時刻 $t=2$ に $u(2)=-456$ である。これに引き続いて微小な制御入力を印加した所、最初の一撃によって安定多様体上に移行した。すなわち、 $X(2)$ の状態に摘果量（制御入力）として $u(2)$

を与えることにより、翌年の状態 $X(3)$ を、無制御では 991 となるべきところを 535 へと減少できた。この制御過程を相図で確認し制御入力 $u(2)=-456$ により、状態 $X(2)$ が安定多様体の近傍に移動して $X(3)$ の状態をとり、その後の小さな制御入力により、不動点（サドル） $X_{fix}=(410, 410)$ に誘導されていく様子が明確に示された。 $t=10$ で制御を解除した後、不動点 $X_{fix}=(410, 410)$ からの僅かな偏差が次第に拡大し、リミットサイクルの2周期点 $X_{p,1}=(811, 189)$ および $X_{p,2}=(189, 811)$ に漸近収束した。

(2) ダイナミクスのオブザーバ計測も実施し、B-MATRIX, NBTVI などの測定指標の有効性を明らかにした。これまで開発してきたアンサンブル再構成による非線形ダイナミクスとともに、現場利用が容易である、線形大域的ダイナミクスの推定を実施した。その結果、精度はおとるものの、予測は可能であり、実用上は有効な手法であることを確認した。試験果樹園において制御実験に用いる個体を10個体程度選定した。ハイパースペクトルカメラにより生育状況モニタリング技術の開発を行った。ウェブベース栽培支援システムの仕様の概要をまとめた。

(3) これまで構築してきた予測モデル・制御原理に基づき、WEBベースの予測量算出システム、制御量算出システムの試作に着手した。温州みかんの隔年結果データ以外に、他種のアンサンブル時系列データに関してダイナミクスの再構成などを行い、多角的に予測精度などを検討した。個体数カウントデータだけではなく、リモートセンシングによって得られたオブザーベーションデータの計測方法を検討した。航空ハイパースペクトル画像およびマルチスペクトル画像を用いて、収量の校正モデルの精度向上を検討した。また、携帯型ハイパースペクトルイメージングシステムを用いて、地上計測を行った。

・計測波長の拡張、PCAやPLSに加えB-Matrix解析などの非線形解析の導入による予測制度の向上などを行った。Moran's I、GStaticsにより空間自己相関の検出方法を検討し、特にGStaticsの有効性を明確にした。

(4) 温州みかんの隔年結果の制御原理の実証的確立に関して、ダイナミクスのオブザーバ計測も実施し、アンサンブル再構成によって構築された局所線形ダイナミクスによる非線形ダイナミクスへのOGY制御理論の開発を実施し、局所線形化されたダイナミクスの抽出法を実データを対象に実装できた。今後得

られる成果の基づきシステム改善を行う際により容易に行えるように考慮した。ハイパースペクトルカメラによるオブザーバー計測においてMolans' I や各種空間変動の計測指標の有効性を検証した。WEBベースの予測量算出システム、制御量算出システムを開発した。その際、個別モジュール毎にコーディングを行い、今後の改良知見を容易に反映できるように構成した。個体数カウントデータだけではなく、リモートセンシングによって得られたオブザーベーションデータの計測方法を検討した。航空ハイパースペクトル画像およびマルチスペクトル画像を用いて、収量の校正モデルの精度向上を検討し、携帯型ハイパースペクトルイメージングシステムを用いて、地上計測を行った。同時に、室内定置式の高精度分光計測システムUV3100を用いて、ハイパースペクトルイメージングにおける精度比較を行った。また、スペクトルカメラを用いた最適撮影時の確定も行うことができた。さらに、空間自己相関の検出方法を検討しGStaticsの有効性を明確にした。

また、今後のシステムの汎用性を向上させるために、低価格の衛星画像データを用いた情報抽出能力向上についての提案を行った

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 16 件)

1.H.Itoh, S.Kanda, N.

Shiraishi,K.Sakai,A.Sasao,Measurement of Nitrate Concentration Distribution in Vegetables by Near-Infrared Hyperspectral Imaging, Environ. Control. Biol., 48(2),37-49,2010 (査読有)

2.酒井憲司、アンサンブル再構成法による生態系ダイナミクスの同定、計測自動制御学会誌「システム/制御/情報」、(解説査読付き)、第54巻、2010

3. Gang Shen, Kenshi Sakai and Yoshinobu Hoshino, High Spatial Resolution Hyperspectral Mapping for Forest Ecosystem at Tree Species Level, Agricultural Information Research,19(3), 2010. 71-78,2010 (査読有)

4.Kenshi Sakai, Noguchi,Y.Controlling Chaos (OGY) Implemented on Reconstructed Ecological Two Dimensional Map, Chaos Solitons & Fractals (査読有 IF.3.315,Elsevier), 41(2),630-641,2009 (査読有) doi:10.1016/j.chaos.2008.02.041

5.Ye Xujun,Sakai.K.et al.,Estimation of citrus yield from canopy spectral features determined by airborne hyperspectral imagery , International Journal of Remote Sensing,30(18):4621 – 4642,2009 (査 読 有) DOI: 10.1080/01431160802632231

6.Y. Makino, S. Oshita, Y. Murayama, M. Mori, Y. Kawagoe, K. Sakai,NONDESTRUCTIVE ANALYSIS OF CHLORPYRIFOS ON APPLE SKIN USING UV REFLECTANCE, Transaction of ASABE,52(6):1955-1960,2009 (査読有)

7.P.Junkwon, T. Takigawa, H. Okamoto, H. Hasegawa, M. Koike, K. Sakai, et al.,Hyperspectral imaging for nondestructive determination of internal qualities for oil palm,農業情報研究 18(3):130-141,2009 (査 読 有) doi:10.3173/air.18.130

8.P. Junkwon, T. Takigawa, H. Okamoto, H. Hasegawa, M. Koike, K. Sakai, et al.,Potential Application of Color and Hyperspectral Images for Estimation of Weight and Ripeness of Oil Palm,農業情報研究、18(2):72-81,2009 (査読有)

9.Vitaniv,Nikolay,Kenshi Sakai, Zlastinka Dimitrove, SSA,PCA,TDPSC,ACFA:Useful combination of methods for analysis of short and nonstationary time series<cahso soliton & fractals,37(1)187-202,2008 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077906008538>

10. Ye,Xujun., Sakai.K. ,Inter-relationships between canopy features and fruit yield in citrus as detected by airborne multispectral imagery, Transaction of ASABE, 51(2):739-751,2008 (査読有)

11.Kenshi Sakai, Noguchi,Y, Asadae,S. Detecting Chaos in a Citrus Orchard: Reconstruction of Nonlinear Dynamics from Very Short Ecological Time Series, Chaos Solitons & Fractals, 38(5),1274-1282,2008 (査 読 有) 10.1016/j.chaos.2007.01.144

12.Ye,X,ujun,Sakai,K.*,Okamoto,H.,Garciano,L , A ground hyperspectral imaging system for characterizing vegetation spectral features, Computer and Electronics in Agriculture, 63(1):13-21,2008 (査 読 有) 10.1016/j.compag.2008.01.011

13. Yao, Zhong, Kenshi Sakai, Ye, X., Akita, T., Iwabuchi, Y., Hoshino, Y., Airborne Hyperspectral Imaging for Estimating Acorn yield based on PLS B-Matrix Calibration Technique, Ecological Informatics, 3:237-244, 2008 (査読有) doi:10.1016/j.ecoinf.2008.03.001

14. 酒井憲司、野口優子、ウンシュウミカン隔年結果現象の予測：線形ダイナミクスを用いた1年先の果実数予測手法の提案、農業機械学会誌：(2008) (査読有)

15. Ye Xujun, Sakai, K., Sasao, A., Asada, S., Potential of airborne hyperspectral imagery to estimate fruit yield in citrus, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 90(2):132-144, 2008 (査読有) 10.1016/j.chemolab.2007.09.002

16. Xujun, Sakai, K., Asada, S., Sasao, A., Application of narrow-band TBVI in estimating fruit yield in citrus, Biosystems Engineering, 99(2):179-189 (査読有) doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.09.016

[学会発表] (計 5 件)

1. 酒井憲司、Model Free Modelling:生態学／農学時系列データのダイナミクス再構成、*Kyoto Summer Research Program in Mathematical Biology Next Wave 2010* 生物現象に対するモデリングの数理 (2010年京都大学数理解析研究所共同研究), 平成22年8月23日(月)～8月27日(金) 於京都大学大学数理解析研究所(招待講演)

2. Zhong Yao, Sakai, K., Spatial Synchrony of Acorn Production Detected by G Statistics from Airborne Hyperspectral Imagery, 第19回日本数理生物学会、2009/09/10

3. 酒井憲司、Yao Zhong、雑草-カバークロップ系の時空間ダイナミクス、第19回日本数理生物学会 2009. 9. 9

4. Ye Xujun, Kenshi Sakai et al. Application of narrow band TBVI in estimating fruit yield in citrus, 農業機械学会 2008年大会, 2008. 3. 28

5. Kenshi Sakai., Application of Nonlinear Time Series Analysis on Spatio-Temporal Dynamics of Agro-Ecosystems, EcoSummit2007, Bejin, 2007. 5

[図書] (計 1 件)

1. 酒井憲司、個体数変動の非線形時系列解析、「数」の数理生態学(数理生物学会編), 共立出版, 2008

[その他]

○ホームページ等

<http://kenkyu-web.tuat.ac.jp/Profiles/1/0000021/theses1.html>

○国際ワークショップ「カオス・複雑系の生態情報学-生態系モデリングのための分光イメージング」を2007年9月18日に開催した。

○本研究プロジェクトに関連する成果発表や今後のプロジェクトの進展のための情報収集・交換・共同研究企画のためのセミナーを開催した。国際共同研究先のNeal Van Alfen教授(カリフォルニア大学デービス校)およびUpadhyaya教授(カリフォルニア大学デービス校)が来日の際に、共同研究の推進方法につき検討した。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井憲司 (SKAI KENSHI)

研究者番号：40192083

東京農工大学 大学院農学研究院 教授

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

