

概日時計制御技術の高度化研究

○福田弘和
 所属：大阪府大・工

キーワード：AI栽培ロボット、Speaking Plant Approach、位相応答曲線、概日時計、同期制御

要旨

PFC設立時から10年以上にわたって研究してきた概日時計の制御技術を紹介する。概日時計の重要性は2017年にノーベル医学・生理学賞が贈られたことから広く世に知られている。しかし、その制御技術は未だ研究開発の途上にある。

制御の鍵となるのは「**位相応答曲線 (PRC)**」であるが、PRCの同定は非常に効率が悪くことで知られている。そこで本研究では、伝統的な手法に対し約2.5倍の効率を示す**MP-PRC法**を2017年に開発し、さらに2021年には約100倍効率の**SR-PRC法**を開発した。

これは1年間で取得できるPRCが1200個となり得ることを意味し、全ての入力に対するPRCを網羅的に同定できる可能性をもつ。本発表では、PRCと環境設計の最適化やAI栽培ロボットとの関係にも触れたい。

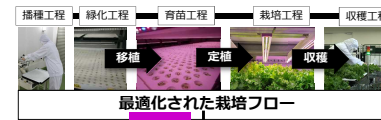
自動化技術と新技術原理

(A) 産業課題

慢性的な労働者不足
 自動化による高効率化

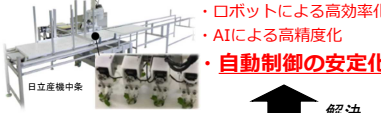


15名@5000株植物工場



最適化された栽培フロー

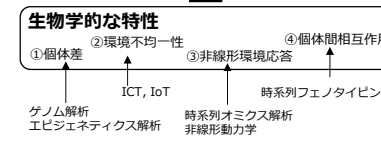
原理A
 AI栽培ロボットによる自動化



- ・ロボットによる高効率化
- ・AIによる高精度化
- ・自動制御の安定化

生命自動制御技術

学術的成果

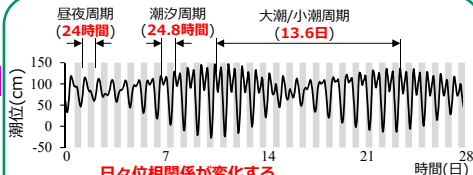
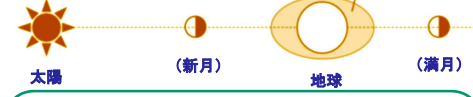


ゲノム解析
 エピジェネティクス解析
 ICT, IoT
 時系列オミクス解析
 非線形動力学
 時系列フェノタイピング

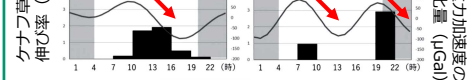
(B) 多重サイクル・起潮力同調栽培

SHITAシンポジウム・田畑和文（トヨタ紡織）、2019

“あらゆる栽培現場”に存在し
 遮断困難な環境シグナル



日々位相関係が変化する



ケナフ草の伸び率 (%)

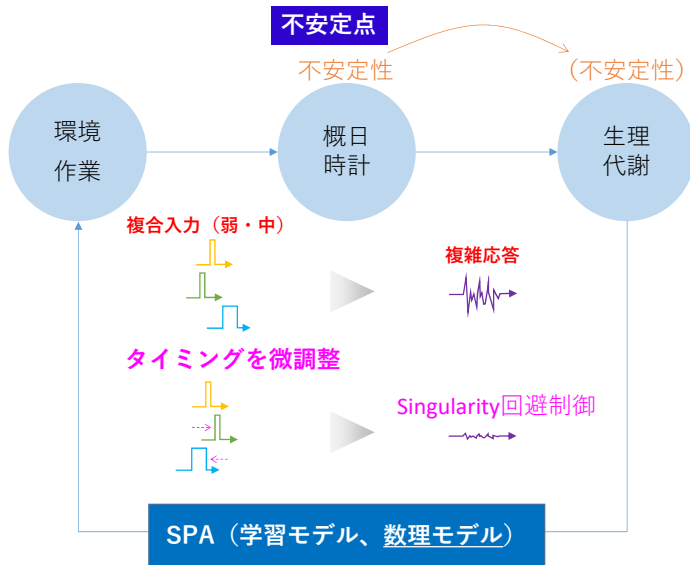
ケナフ草 (インドネシア)

ケナフを使用した自動車部品

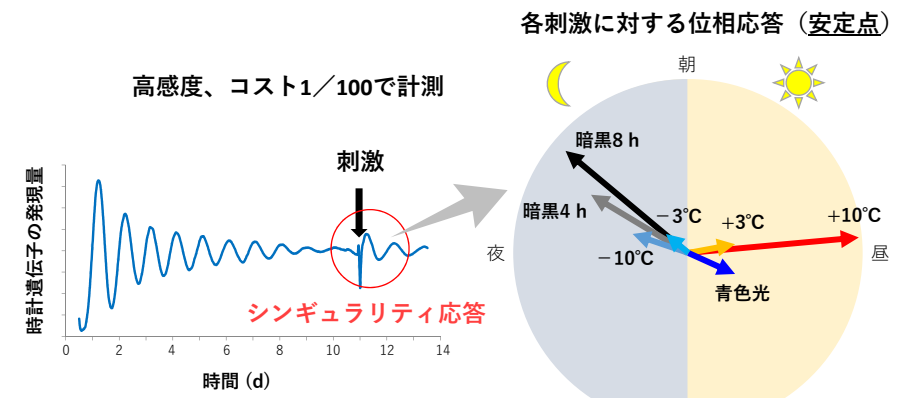
植物工場レタス (小林クワイエット)

重加速度の変化量 (μGal)

SPA基礎モデル：概日時計モデル



位相応答の高効率計測法の開発 (Singularity Response法)



- Masuda et al., Nature Commun. 2021
 報道等
- 1) Nat Commun editor's highlights に掲載
 - 2) 日刊工業新聞 (2月9日朝刊19面) 「刺激1回で全時刻計算」
 - 3) 電波新聞 (2月10日朝刊8面)

栽培技術への応用：複合環境サイクルの「タイムラグ」の影響解明
 Time Lag Between Light and Heat Diurnal Cycles Modulates CIRCADIAN CLOCK ASSOCIATION 1 Rhythm and Growth in *Arabidopsis thaliana*. Masuda et al., Frontiers Plant Sci. 2021

総合的タイミング微調整のための基礎モデル構築へ

PRCの同定効率

SR-PRC 同定できるPRCの数 1200 PRC/年 **100倍**

Masuda, et al., Nature Commun. 2021

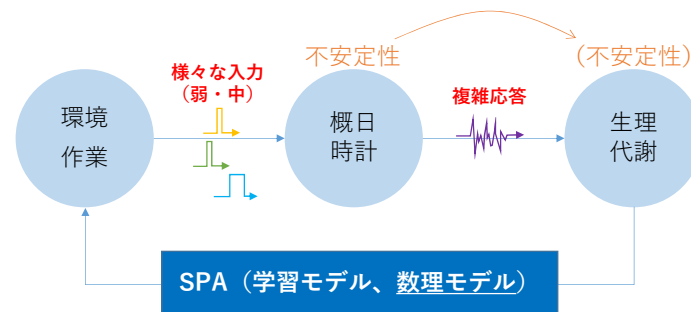
MP-PRC 30 PRC/年 **2.5倍 (17倍の精度)**

Masuda, et al., Science Advances 2017

SP-PRC 12 PRC/年

Fukuda, et al., Scientific Reports 2013

原理A・B ← SPA基礎モデル：概日時計モデル



Masuda et al., Nature Commun.; Front. Plant Sci. 2021

$$\frac{d\phi_j}{dt} = \omega_j + \frac{K}{N} \sum_{k=1}^N \sin(\phi_k - \phi_j) + \sum_p a_p \sin(\phi_j - \alpha_p) E_p(t)$$

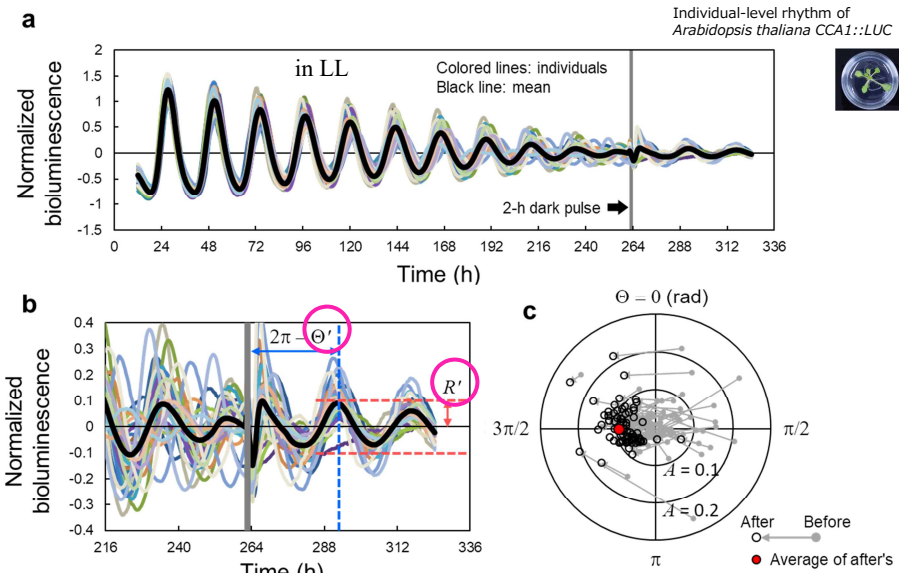
各細胞の位相変化 固有振動数 $\tau \sim 2\pi/24$ h 細胞間の相互作用 環境入力への位相応答

位相感受関数 外力

各パラメータの説明 (P9)

- ◆ シングularity 応答 → 基本パラメータ
- ◆ 弱入力だけでなく、中入力も適用可 (高い実用性)
- ◆ 環境応答は重ね合わせ

Singularity Response (SR)

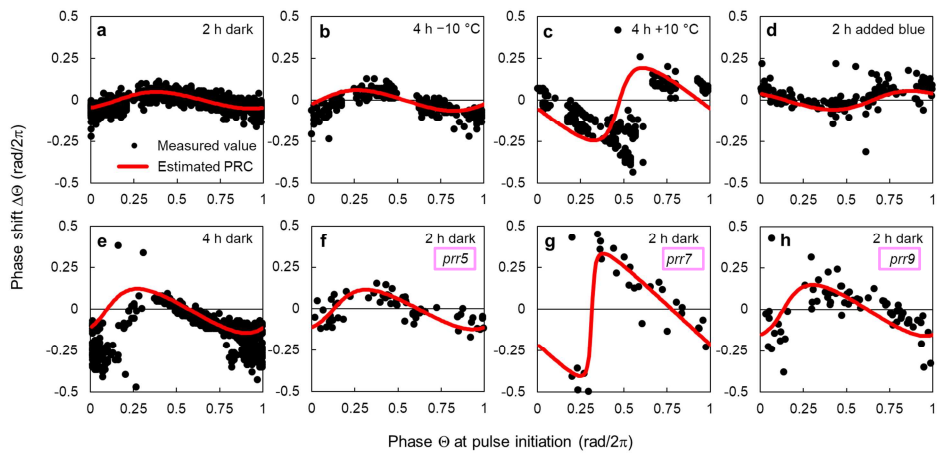


→ パラメータ(Θ', R')の同定

Masuda, et al. 2021

PRC Construction Using SR

パラメータ(Θ', R')から位相応答曲線の再構築



極低振幅の時計変異体 (prp5, prp7, prp9) においてもPRC同定が可能

