

## 多波長蛍光画像同時撮影システムを用いたトマトの生葉観測

Observation of Living Tomato Leaves Using a Multi-wavelength Fluorescence Imaging System

小林 一樹<sup>\*1</sup> 金原 和哉<sup>\*1</sup> 小林 史利<sup>\*2</sup> 大谷 武志<sup>\*2</sup> 斉藤 保典<sup>\*2</sup>  
 Kazuki Kobayashi<sup>\*1</sup> Kazuya Kimpara<sup>\*1</sup> Fumitoshi Kobayashi<sup>\*2</sup> Takeshi Ohtani<sup>\*2</sup> Yasunori Saito<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 信州大学 大学院工学系研究科

<sup>\*1</sup> Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

<sup>\*2</sup> 信州大学 工学部

<sup>\*2</sup> Faculty of Engineering, Shinshu University

**Abstract:** In this paper, we describe monitoring of plant growth by using laser-induced fluorescence method. We developed a multi-wavelength imaging system that simultaneously obtains four fluorescence images with different wavelengths on a single CCD chip. Fluorescence ratio images of a tomato leaf were obtained in an experiment under water stress condition. A normal digital camera images showed that the tomato leaf drooped and changed in the color on the fourth day. In comparison, the developed system showed that changes in a physiological state were observed on the second day. It would be useful to early detect changes of growth conditions of a living plant.

## 1 はじめに

農作物の栽培において、増産や高品質化を実現するためには作物の生育を的確に把握し、必要な施肥や防除を行うことが重要である。作物の生育には、環境ストレスと呼ばれる生育環境が植物に与える負荷が大きく関与しており、これらのストレスを迅速に把握することが栽培上重要だと考えられる。

環境ストレスとなりうる要因としては、高温、低温、強光、暗黒、乾燥、降雨、塩などが多くのものである [1]。たとえば、光ストレスに関してはクロロフィル含量を計測する研究が行われており [2, 3]、水ストレスに関しては作物の画像によって診断する研究 [4] などが行われている。

しかし、生育状態を把握するための既存の測定器では、複数の内部情報を同時に取得することができない。そこで本研究では、レーザ誘起蛍光 (LIF; Laser Induced Fluorescence) 法を用い、4つの蛍光波長を測定することで複数の内部情報を同時に取得するシステムを提案する。提案システムでは、蛍光を画像として撮影するため、植物の各部位についての内部情報を取得することが可能である。

本報告では、提案システムを用いてトマトの生葉を撮影し、生育状態について検討を行う。

## 2 多波長蛍光画像同時撮影システム

図1に開発したシステムの構成を示す。誘起光源には波長 398nm の半導体レーザを使用した。カメラレンズは主鏡を4分割し、4つのアイリスを追加した (Feflex NIKKOR 500mm F8をベースとした) ものを使用した。このレンズを通して4つの蛍光波長を ICCD カメラに

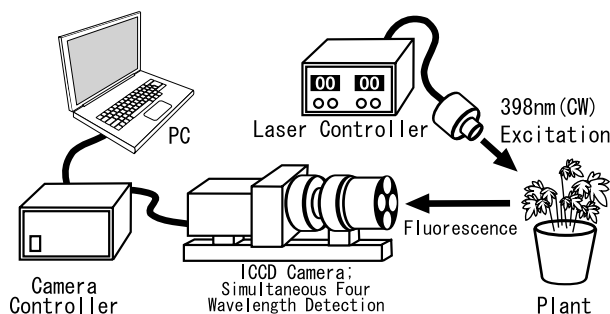


Fig. 1: Multi-wavelength Fluorescence Imaging System

て撮影し、1つの CCD 上に4つの像を結像させる。

撮影対象とした波長は 460nm, 530nm, 685nm, 740nm であり、4枚の干渉フィルタを用いて撮影する。波長 460nm, 530nm, 740nm の蛍光強度をそれぞれ 685nm の強度で除算して3つの指標とする。蛍光強度比 460nm/685nm の値は細胞の成長とともに増加するフェルラ酸 [5] の含量に関係している [6]。また、蛍光強度比 530nm/685nm の値は水ストレスに関係し [7]、740nm/685nm の値はクロロフィル含量と相関があることが報告されている [8, 9]。

## 3 トマトの生葉観測実験

多波長蛍光画像同時撮影システムを用い、2009年1月12日から18日にかけてトマトの生葉観測実験を行った。トマトは屋内において植物生育器 (Panasonic 社製 アイテラリウム) 内で種から育てて1ヶ月経ったものを使用した。観測期間の最初の5日間はトマトに水を与えず、ストレスをかけた状態で観測を行った。また、5日目に水を与え、その2日後の7日目に再度観測を行った。

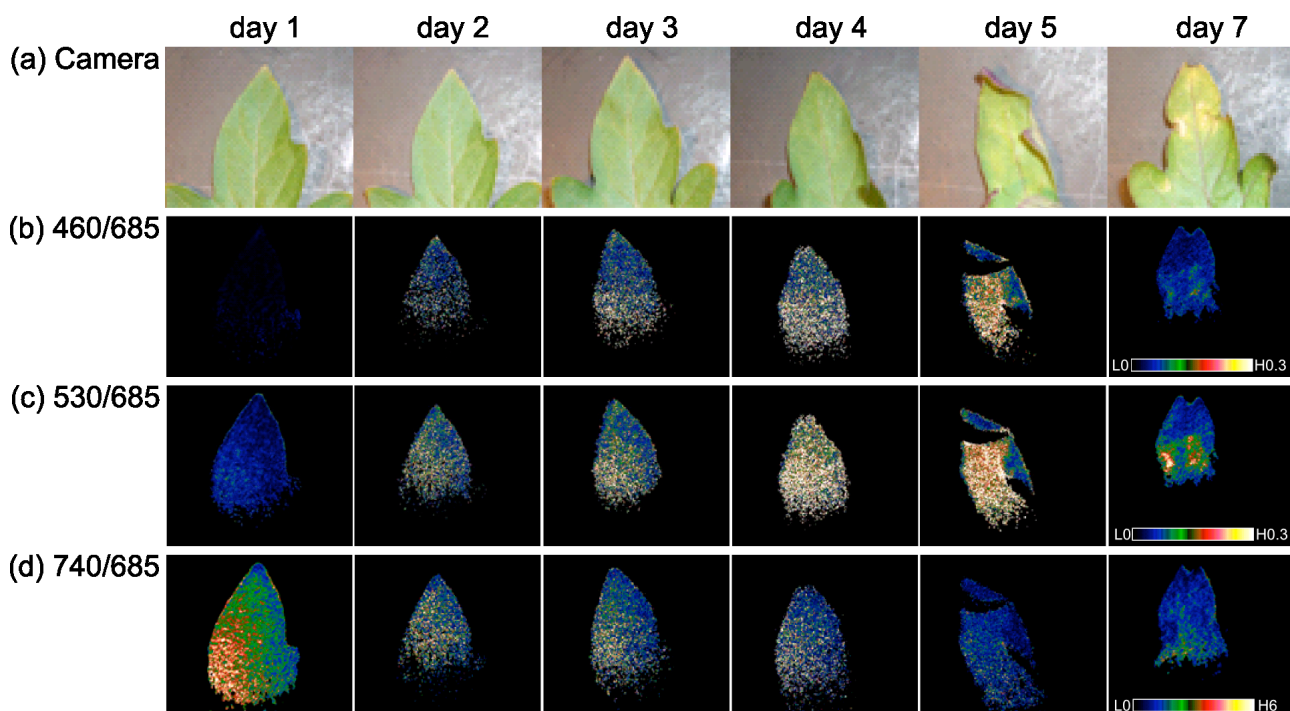


Fig. 2: Tomato's digital camera image and Fluorescence ratio images

図2に実験結果を示す。市販のデジタルカメラで撮影した画像の(a)では、4日目に葉が丸まってくる変化が確認でき、5日目には葉色が黄色に変化する様子が確認できる。また、水を与えた後の7日目では、再び葉が広がり、黄色く変色した部分が一部緑色に戻っていることがわかる。図2(b)と(c)とでは変化の傾向が似ており、1日目と2日目の値の差が比較的大きく、7日目は5日目と比べて大きく値が減少している。一方(d)では4日目と5日目の値の変化が大きく、7日目は5日目とあまり変化がない。

デジタルカメラ画像では、4日目や5日目で水を断った影響を確認できるが、(b)や(c)では2日目の画像から確認することができる。また、(d)ではデジタルカメラで観察された色の変化とほぼ同じ5日目に影響を確認することができる。

#### 4 まとめ

本研究では、植物の内部情報を複数同時に取得するために、LIF法を用いて4つの蛍光波長を同時に測定する多波長蛍光画像同時撮影システムを開発した。システムの有効性を検証するため、水ストレスをかけたトマトの生葉の観測を行った。実験の結果、目視では水を断ってから4日目に葉の形状や色の変化を確認できるが、開発したシステムの使用によって、2日目から生育状態が大きく変化している様子を確認することができた。

今後、環境ストレス要因と生育状態との対応付けを行い、施肥や防除といった意思決定支援の実現をめざす。

#### 参考文献

- [1] 園池：“植物の環境ストレス応答”，Ajico News 203, pp. 1-8 (2001).
- [2] 木樽, 岩崎：“異なる光条件下における樹木の葉色とクロロフィル蛍光の関係”，日本緑化工学会誌, **28**, 1, pp. 290-293 (2002).
- [3] 佐川, 蔵田, 高橋, 福地：“弱光などのストレスを受ける屋内樹木のレーザー誘起蛍光誘導期現象の新たな解析法”，農業気象, **60**, 2, pp. 123-131 (2004).
- [4] 田附, 塩：“数種浸透質の添加と無酸素または通気停止処理によるキュウリ幼植物体の水ストレスの画像診断”，園芸学研究, **6**, 3, pp. 367-373 (2007).
- [5] 神阪：“細胞壁中の多糖：フェルラ酸複合体の構造と機能”，植物の化学調節, **24**, 2, pp. 82-93 (1989).
- [6] Z. Cerovic, G. Samson, F. Morales, N. Tremblay and I. Moya: “Ultraviolet-induced fluorescence for plant monitoring: present state and prospects”, *Agronomie*, **19**, 7, pp. 543-578 (1999).
- [7] Y. Saito: “Laser-induced fluorescence as an index for monitoring plant activity and productivity related to photosynthesis”, in *Recent Progress of Bio/Chemiluminescence and Fluorescence Analysis in Photosynthesis*, N. Wada and M. Mimuro (Eds.), Chapter 11, pp. 235-251, Research Signpost (Kerala, India) (2005).
- [8] H. K. Lichtenthaler: “Chlorophyll fluorescence signatures of leaves during the autumnal chlorophyll breakdown”, *Journal of plant physiology*, **131**, pp. 101-110 (1987).
- [9] Y. Saito, K. Kurihara, H. Takahashi, F. Kobayashi, T. Kawahara, A. Nomura and S. Takeda: “Remote estimation of the chlorophyll concentration of living trees using laser-induced fluorescence imaging lidar”, *Optical Review*, **9**, 2, pp. 37-39 (2002).