

# 画像処理技術を活用した 形質評価のハイスループット化 技術の開発

七夕 高也

農業生物資源研究所 農業生物先端ゲノム研究センター

e-mail: [tanabata@computer.org](mailto:tanabata@computer.org)

# 形質評価のハイスループット化技術の開発

- ・ 大量の形質データは新たな価値を与える可能性を持つ
- ・ 多種多様な形質評価への対応
- ・ 研究目標に必要な形質データをいち早く手に入れる
- ・ 開発コストと開発期間は重要な要素



# ハイスループット形質評価技術の 開発事例の紹介

1. 生育モニタリングシステムの開発

2. 形質計測ソフトウェアの開発

# フェノーム解析システム

## 1. LemnaTec (ドイツ)

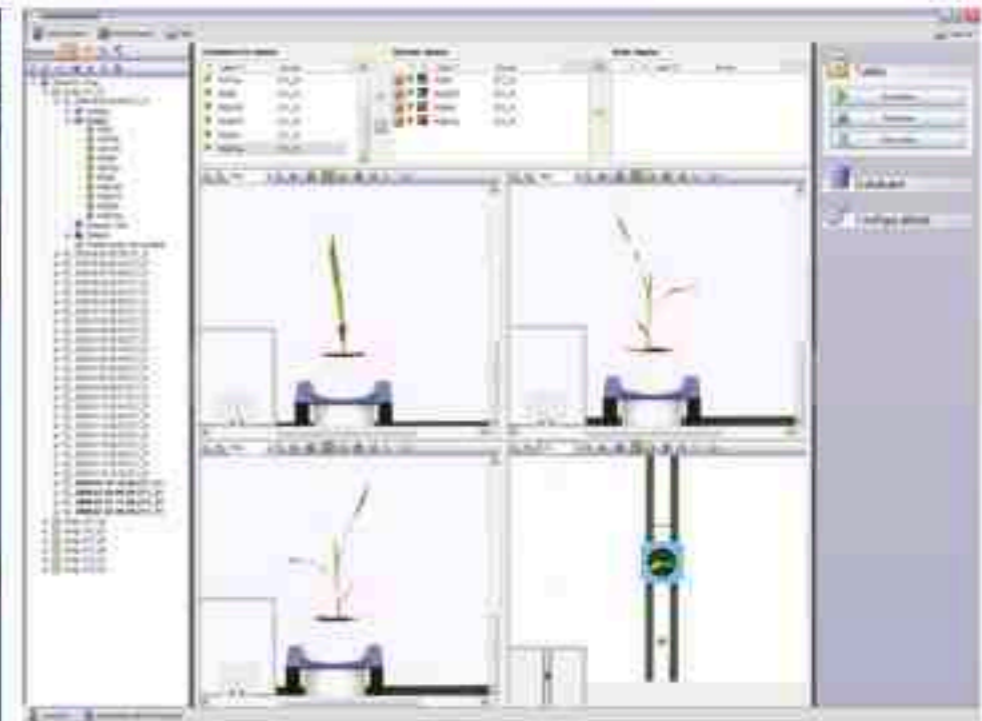
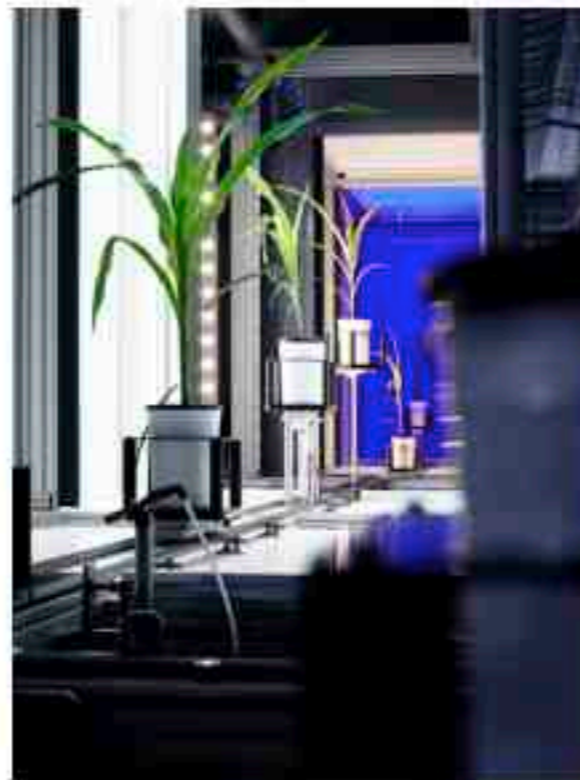
<http://www.lemnatec.com>

## 2. The Plant Accelerator (オーストラリア アデレード大)

<http://www.plantaccelerator.org.au/>



Scanalyzer 3D Plant Phenotyping



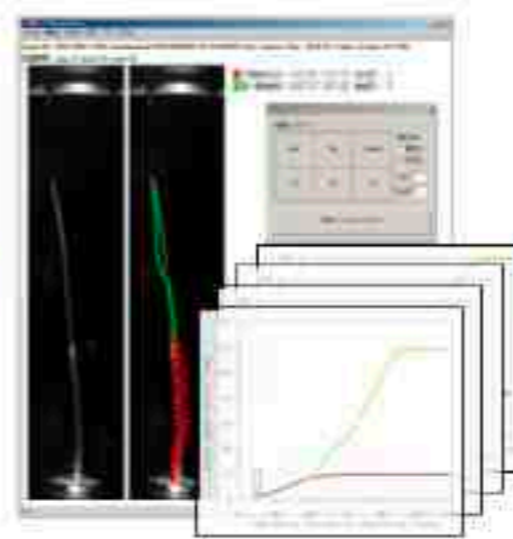
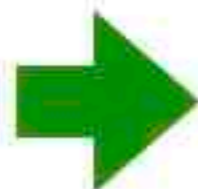
LemnaLauncher

画像処理技術を活用した多様な成長形質計測とハイスループット化の実現

# イネ生育モニタリングシステムの開発

平成13-15年度 農水省PJ「イネゲノムシミュレータの開発」

- ・イネの個体成長を画像に記録するイメージング装置の開発
- ・画像から成長の変化量の計測（距離、面積、角度など）と成長解析を実現するソフトウェア、システムの開発



イメージング装置  
Image capturer  
—ハードウェア—

画像データベース  
Image Database  
—システム開発—

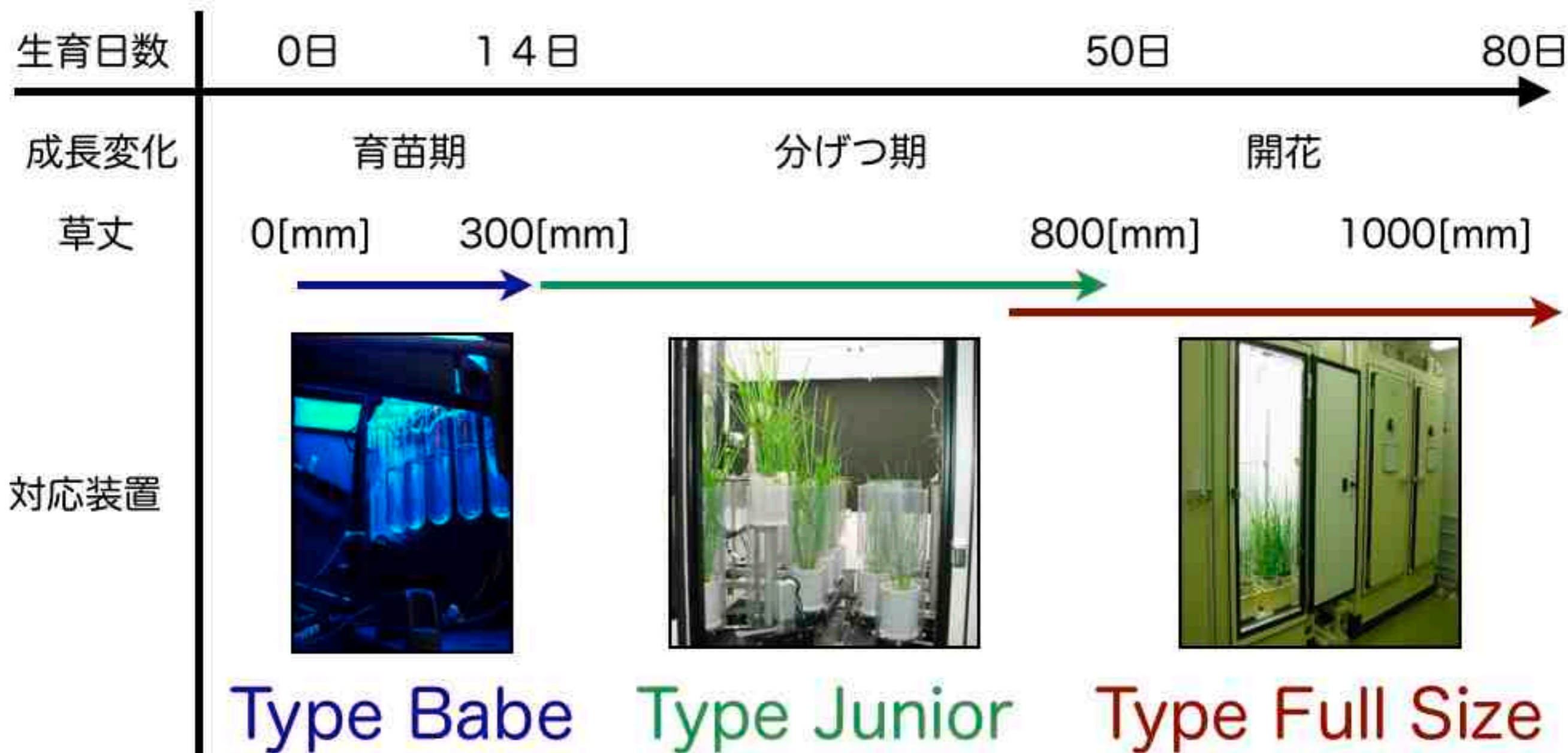
画像解析  
Image Analysis  
—ソフトウェア—

成長解析システム  
Growth Analysis  
—システム開発—

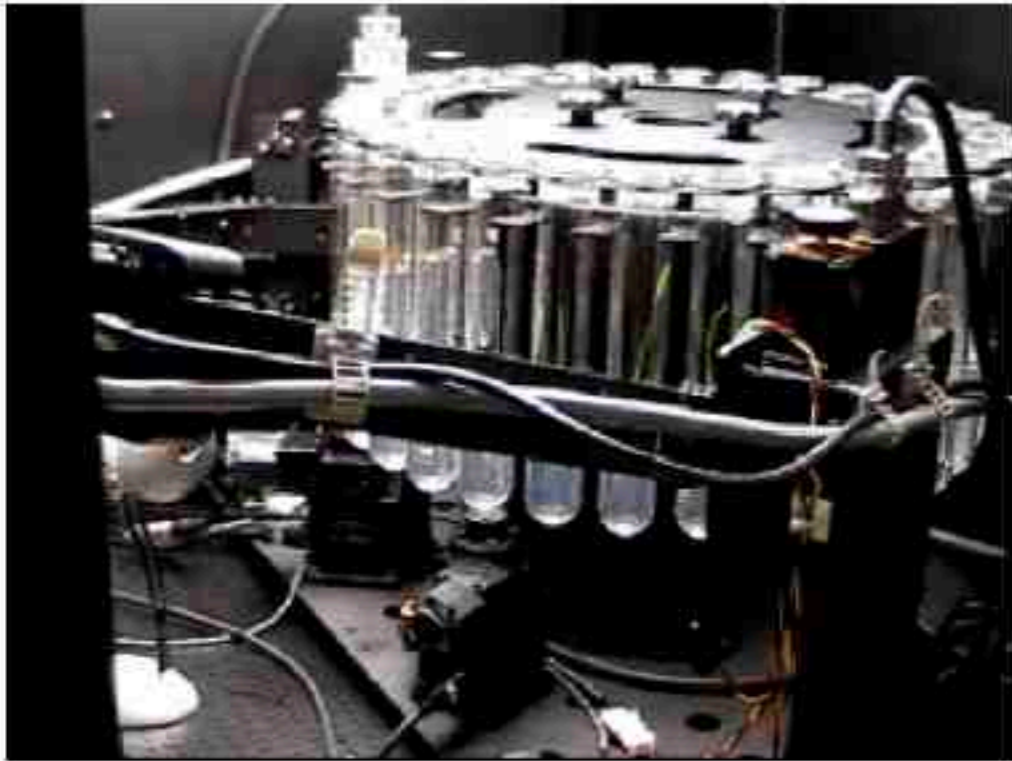
研究プロジェクトURL : <http://www.gs.dna.affrc.go.jp/SY-1108/>

# イメージング装置の開発

イネの全生活史に渡る形状，成長変化の網羅的計測と解析  
成長時期の形状と研究目的に応じた装置を開発

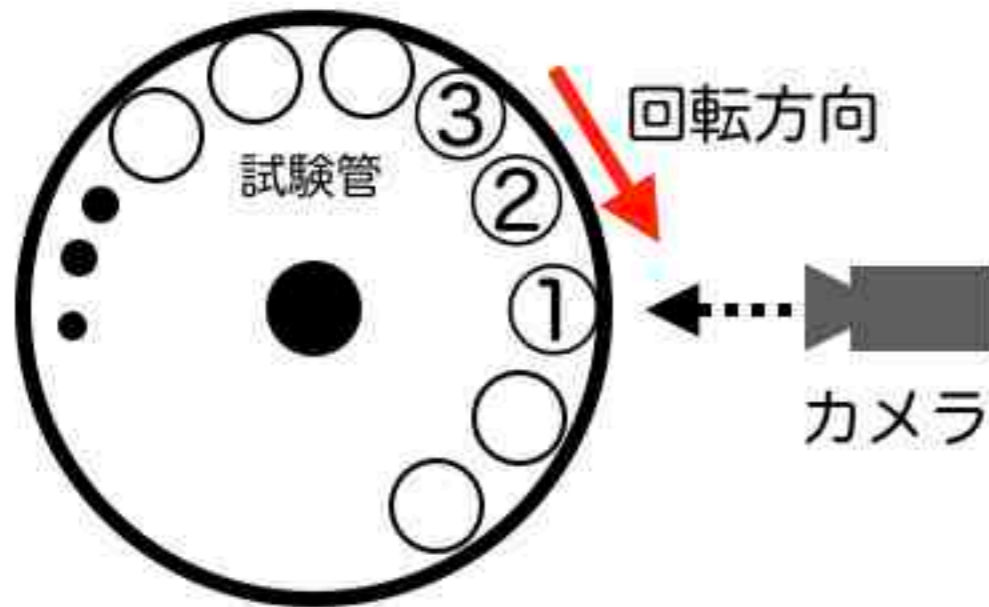


# 初期生育イメージング装置

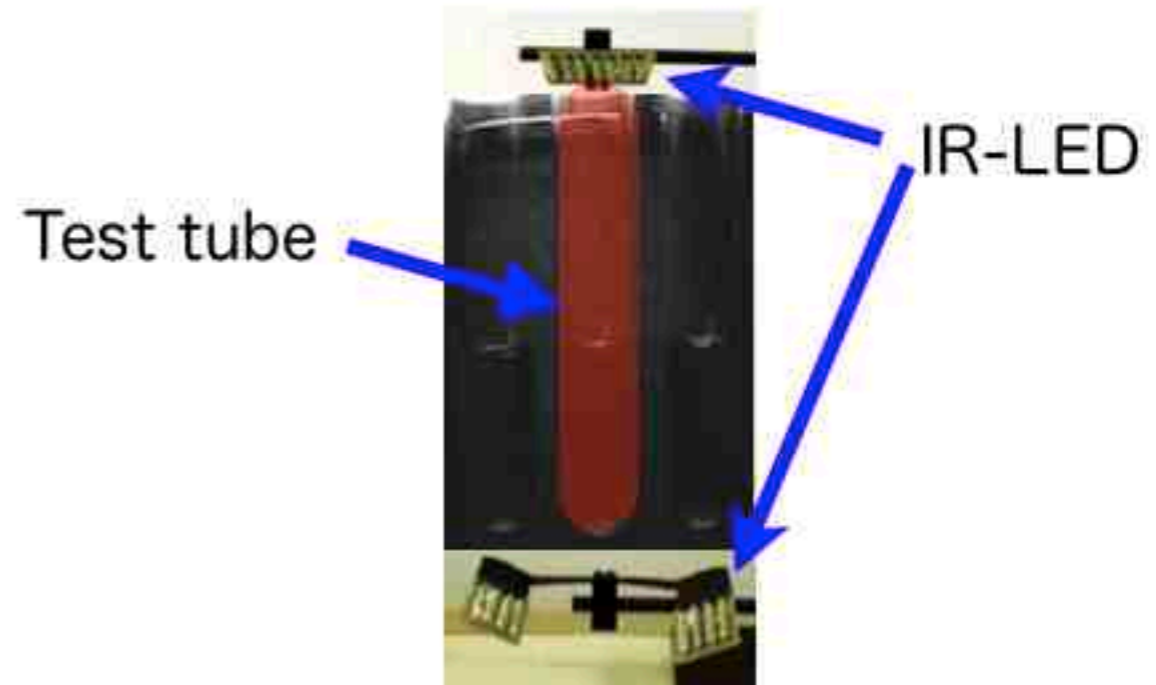


## 特徴

1. 一度に30個体，10分間隔でイネの初期生育を画像記録
2. 光受容体遺伝子解析のための暗所生育の成長画像記録



1. 回転搬送による撮影機構



2. 暗所生育撮影のための長波長LED照明装置

# 成長画像

10分間隔で個体全体の成長の様子を画像記録

暗所での成長の様子を画像記録  
(幼葉鞘の回旋運動)

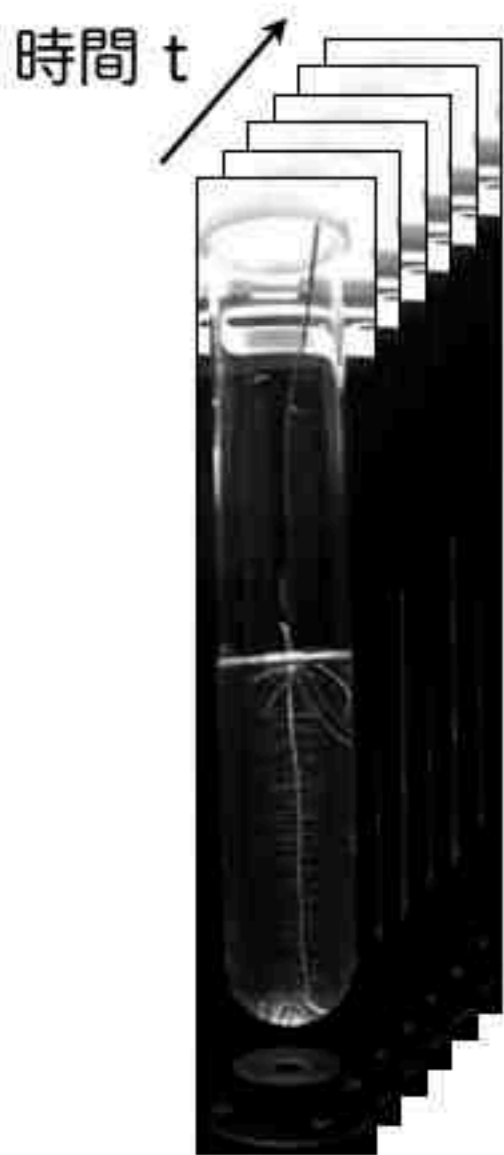
Growth condition:

- ・ 28 °C
- ・ Darkness





# 葉の先端部自動検出処理



成長画像

画像読込 (成長画像)

空間フィルタ処理

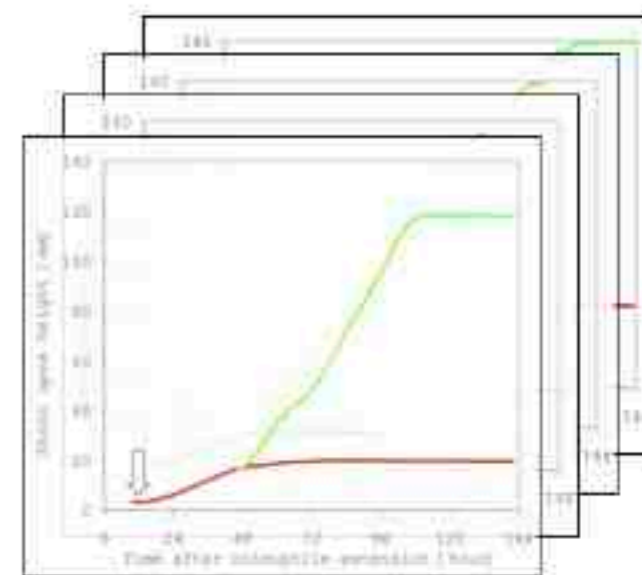
先端座標記録

フィルタ適用エリア更新

次の画像

-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	1	-1	-1
-1	1	1	1	-1

検出に使う空間フィルタ



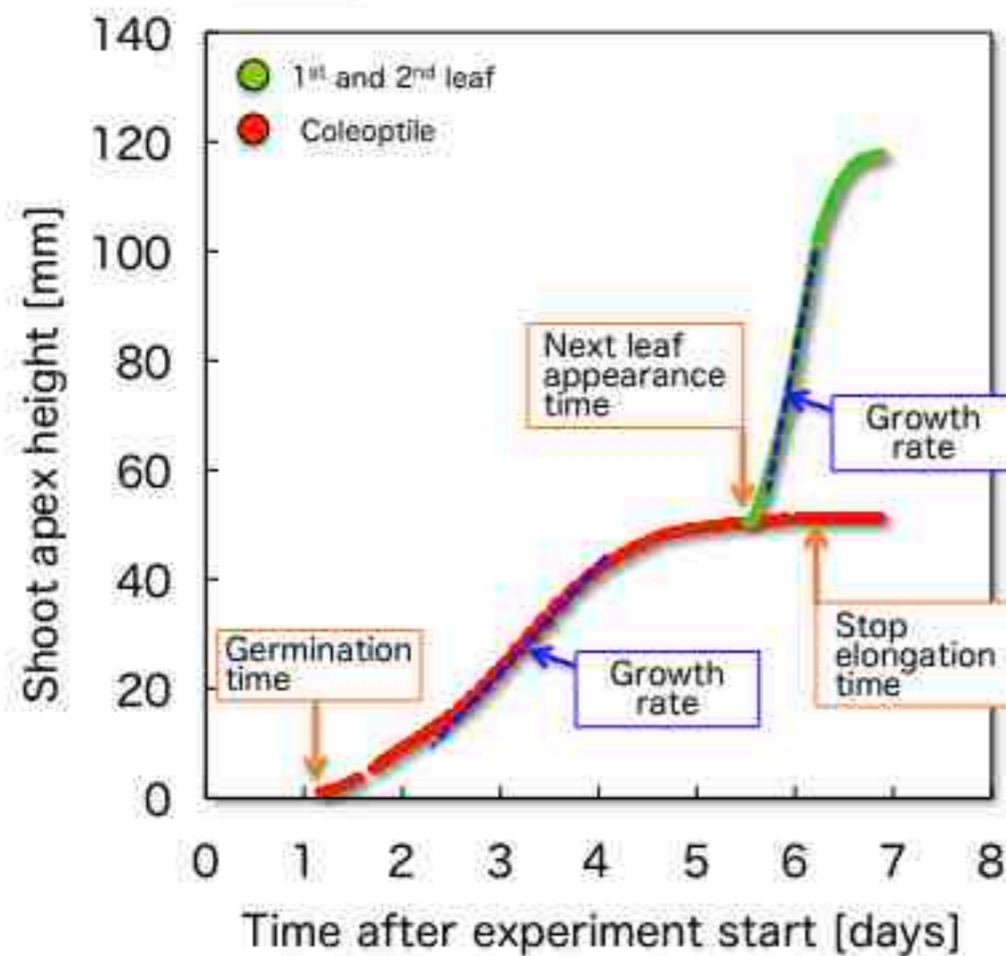
先端検出結果

# 先端検出結果から成長の連続的な 形状計測値を取得

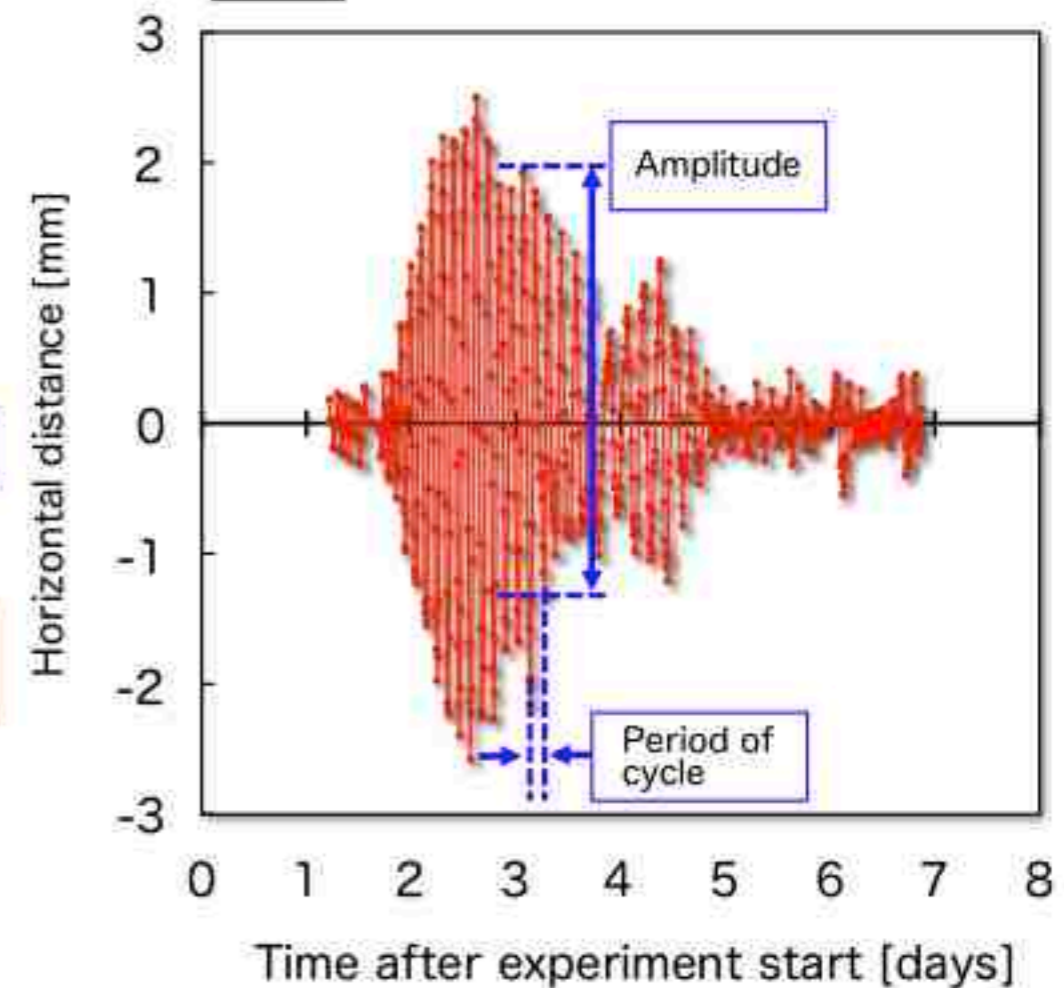
先端検出結果



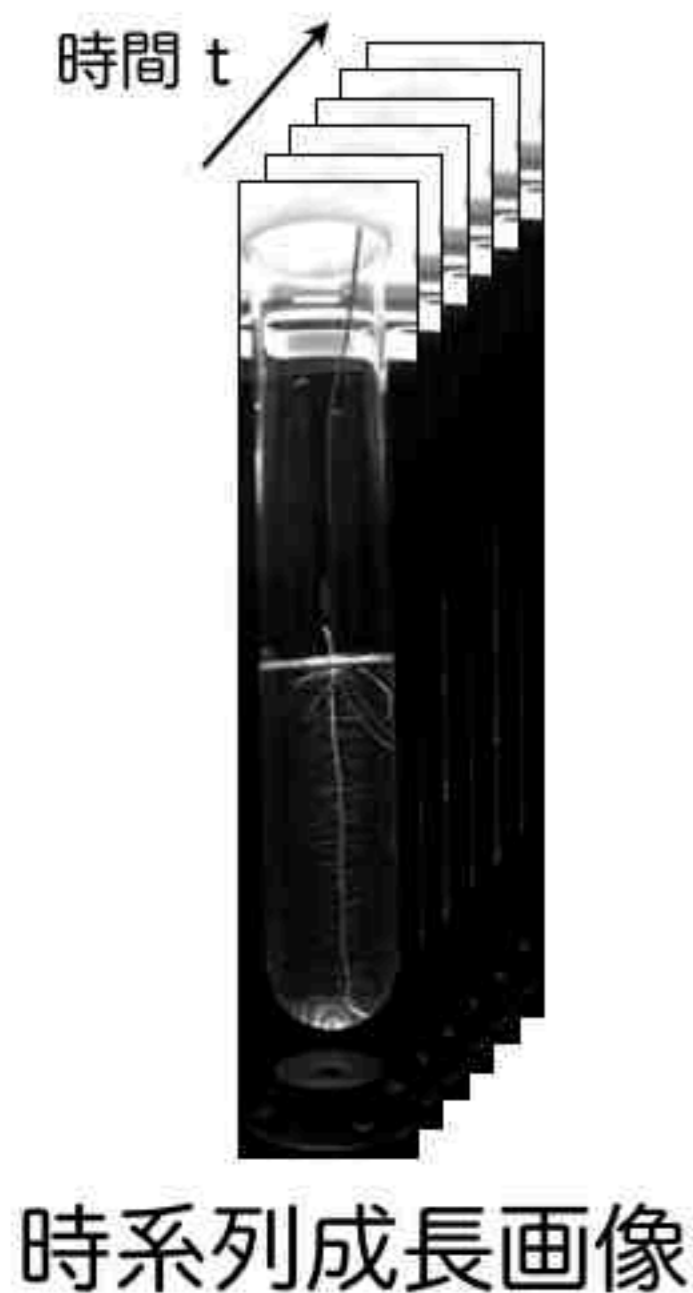
伸長パラメータ  
(垂直方向成分)



回旋パラメータ  
(水平方向成分)



# 時系列解析を用いた根の形状計測



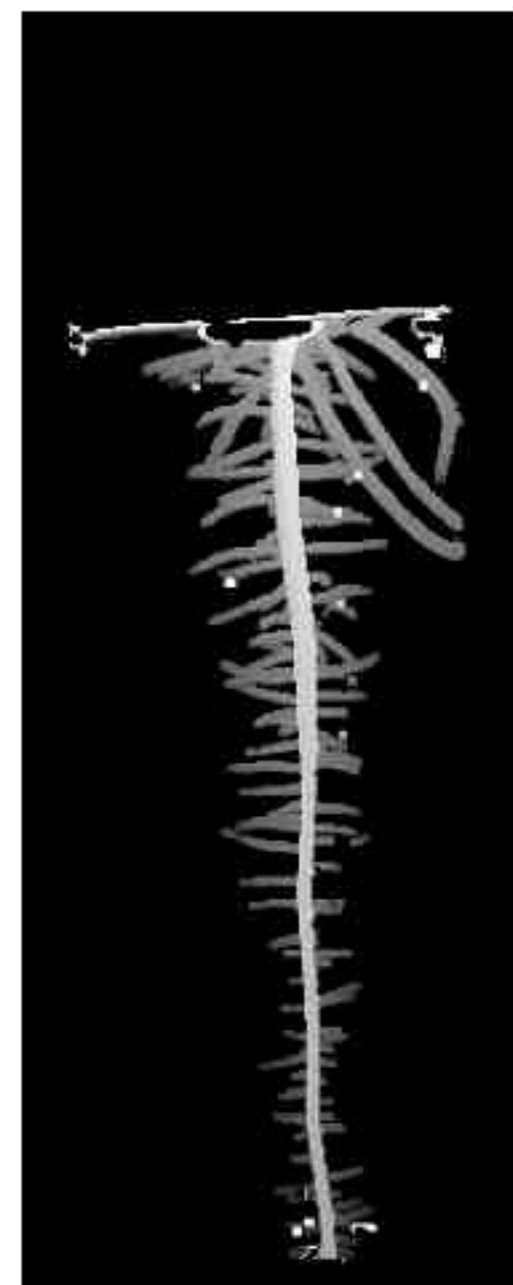
入力 (成長画像)

2値化処理

ダイレーション処理

最小値投影

解析結果出力

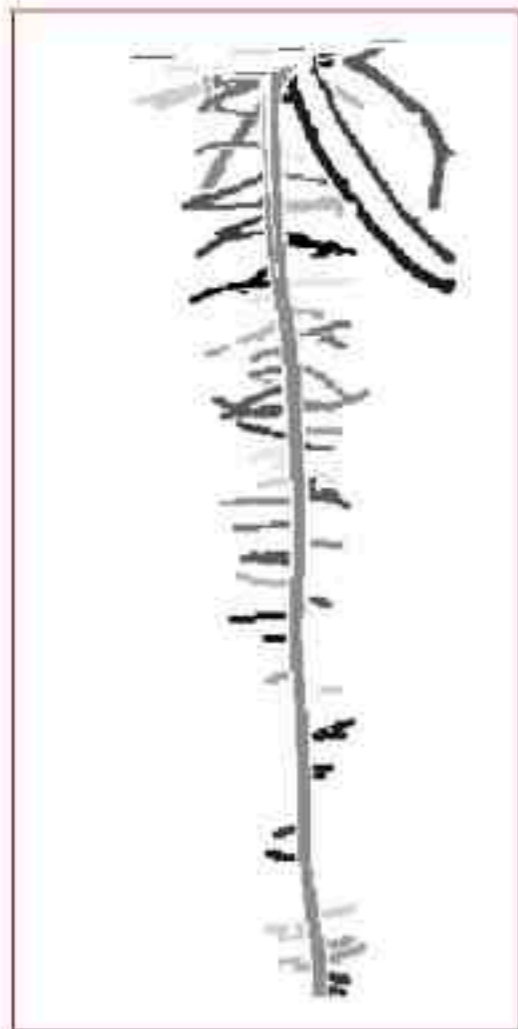


出力結果 (時間画像)

宮村 (中村) 浩子, 七夕 高也, 斎藤 隆文, 篠村 知子, "時系列画像解析によるイネの根の成長特性の解析と可視化", 画像電子学会誌, Vol.36, No.4, pp.520-529 (2007)

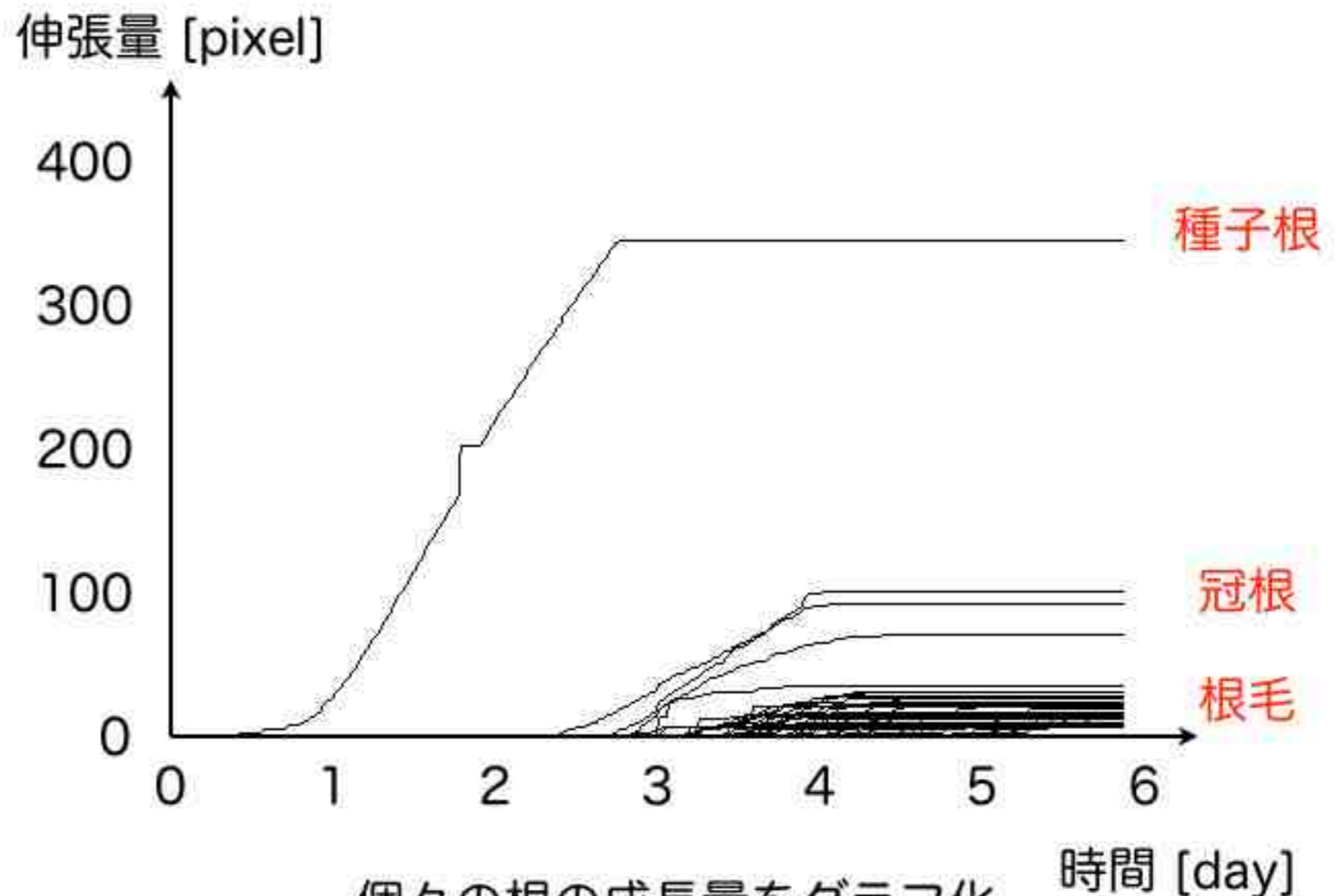
# 個々の根の計測値の取得

イネの根は、種子根→冠根→根毛の順に成長する知見を利用



抽出した領域をラベル付け

個々の根の切り出し



個々の根の成長量をグラフ化

時間 [day]

# 初期生育イメージング装置開発

開発目標：長期間の繰り返し動作精度の保証

課題：回転機構，試験管固定方法

基本機能の検証

機能と操作性の向上

初号機  
暗視撮影



暗視撮影

2号機  
全周囲撮影



全方位撮影

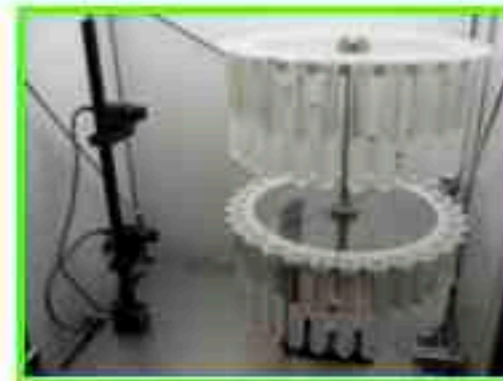
3号機  
製品試作



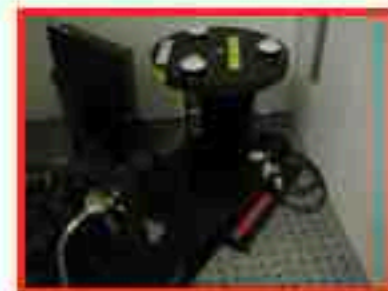
長期間動作の  
精度保証

全周囲撮影装置

4号機  
ハイスループット



2段60本構成



# 立体的な形状計測手法の開発

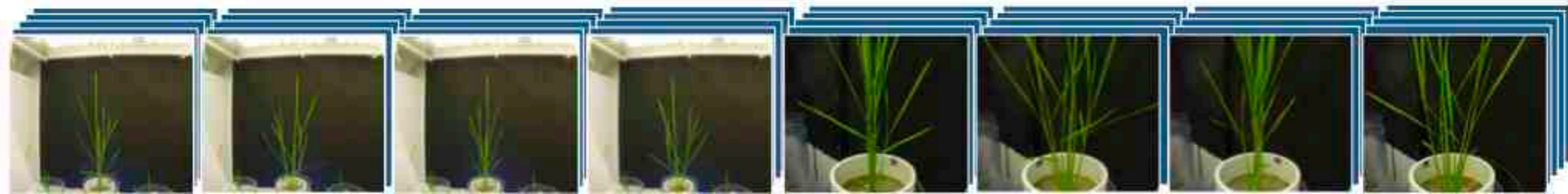
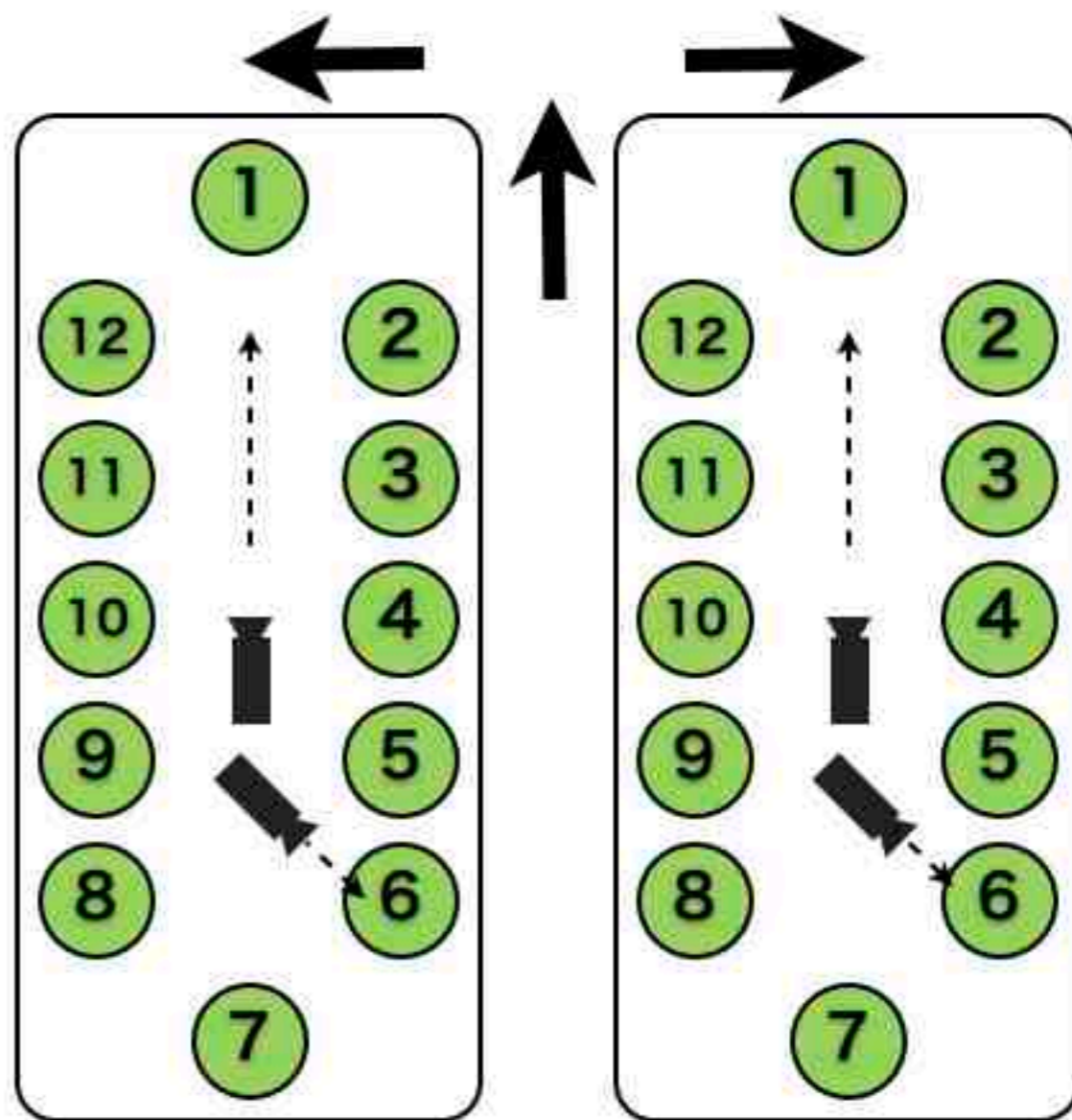
詳細な形状形質取得のための撮影装置の開発



複数本の試験管の全周囲  
からの撮影を実現する  
搬送機構を開発

# 中期生育イメージング装置

イネの分けつ期の成長解析のための画像撮影機構の開発



# 成長画像

Nipponbare

0°

90°

*osphyB-5* mutant

0°

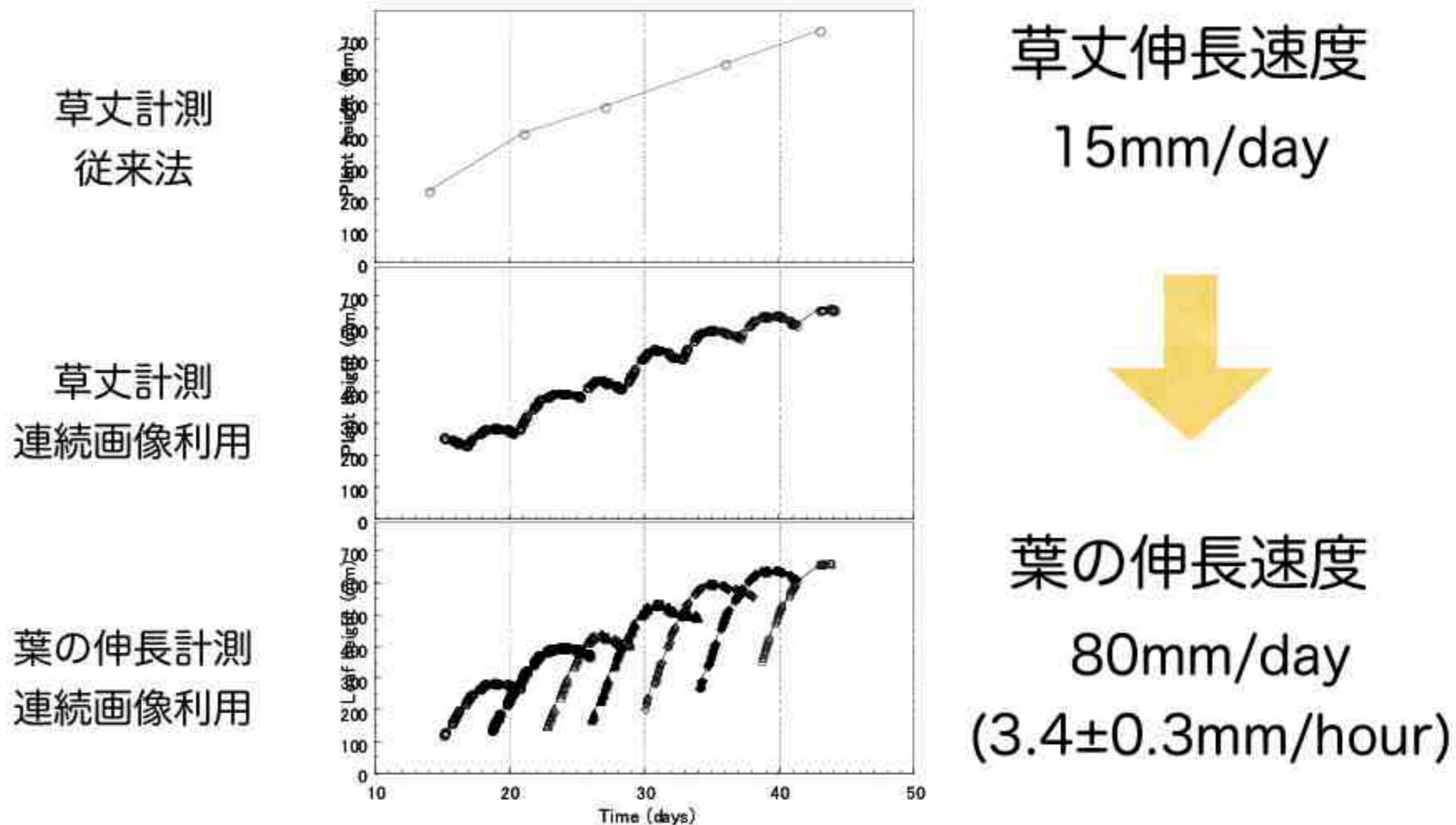
90°





# 葉の伸長速度解析

画像より一枚一枚の葉の伸長速度計測を実現

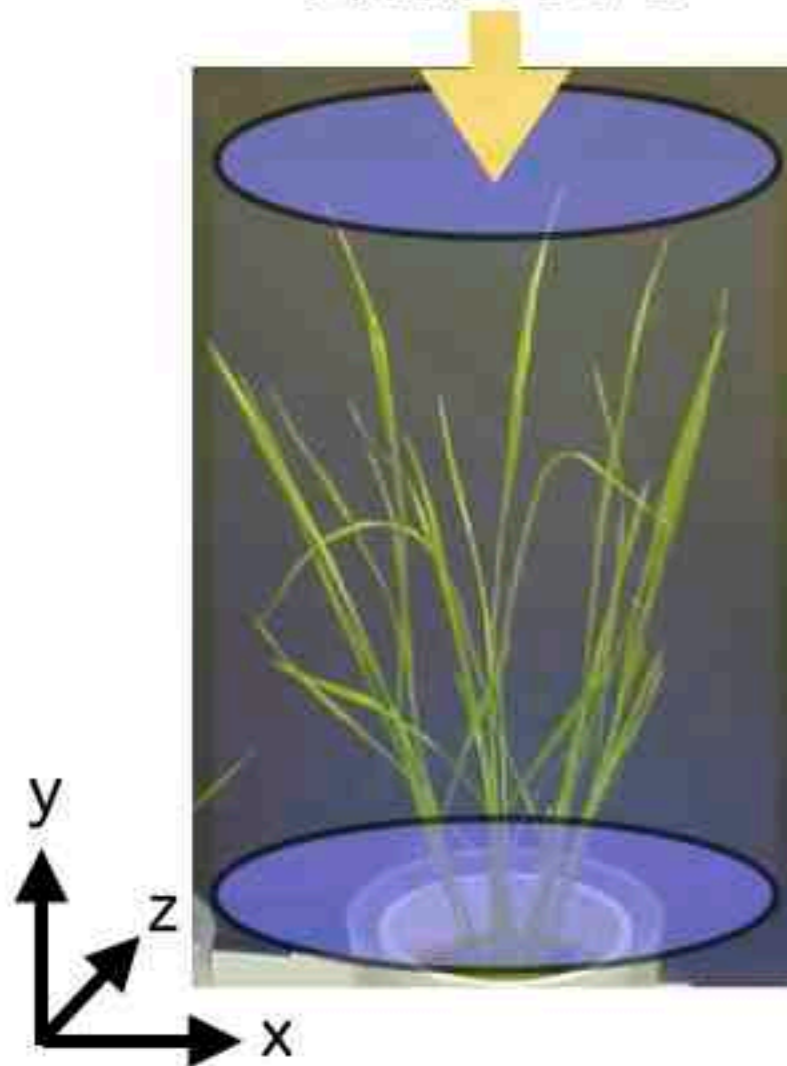


Ishizuka, T., Tanabata, T., Takano, M., Shinomura, T. 2005. Kinetic measuring method of rice growth in tillering stage using automatic digital imaging system. Environ. Control in Biol. 43:83-96.

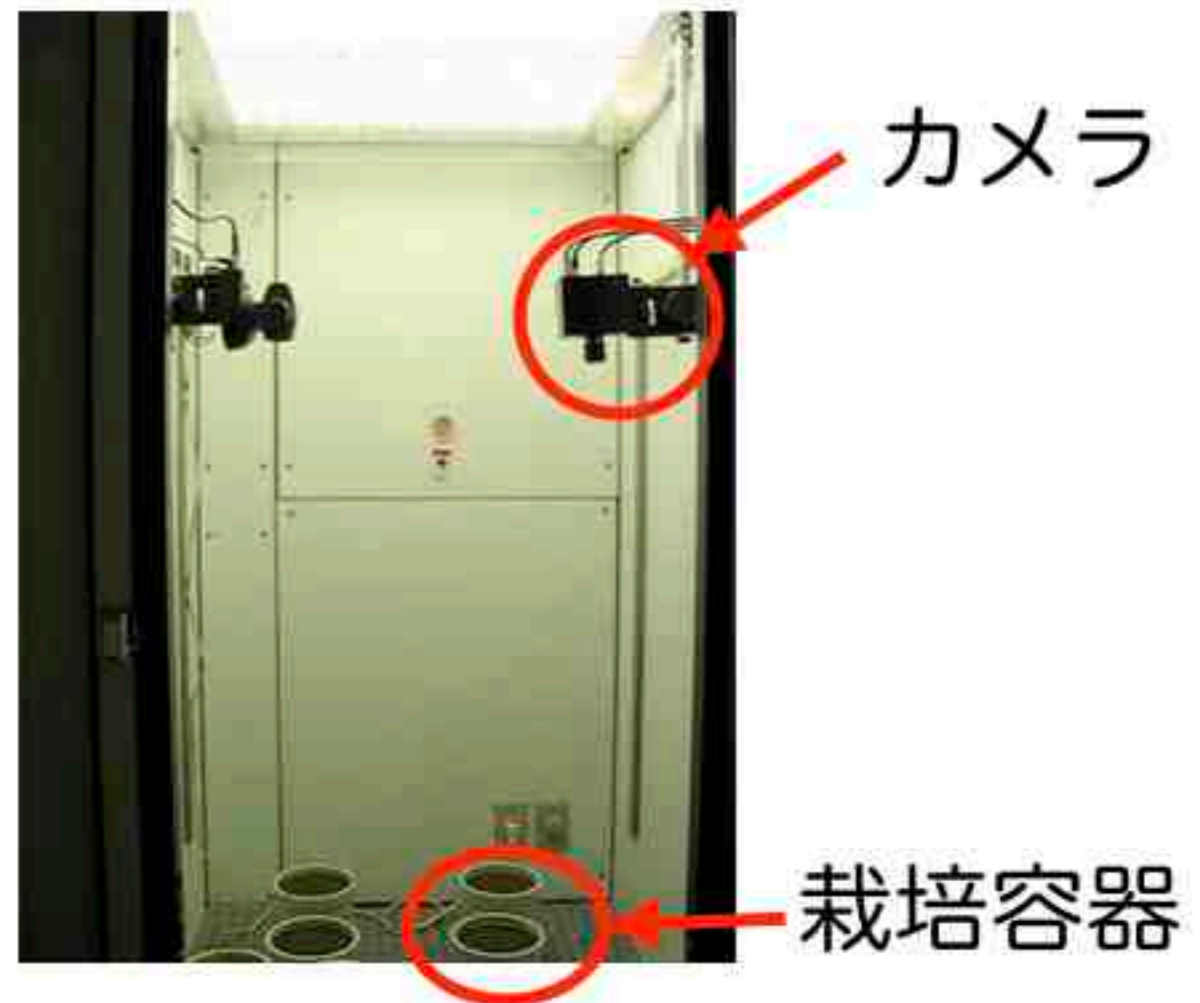
# 葉の運動解析のための時空間画像解析

イネの成長を上部から捉え空間上の葉の広がりを記録

撮影方向



撮影モデル



カメラシステム

# 成長画像



## 実験条件

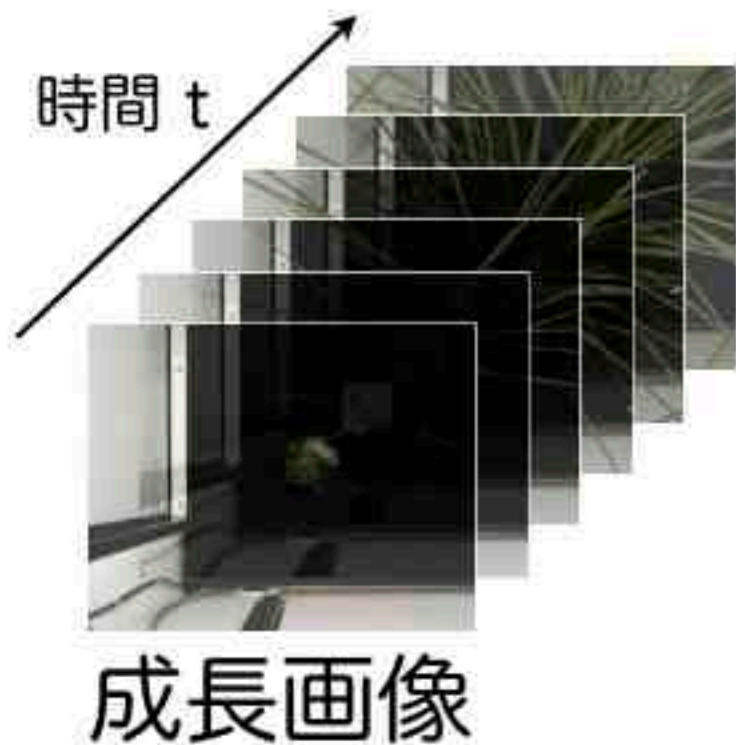
材料：日本晴

照明条件：日中14時間，夜間10時間

撮影間隔：30分（夜間は2時間）

撮影期間：発芽誘導より20日目0時0分から79日目23時30分 計2,880画像

# 葉の運動解析のための時空間画像解析



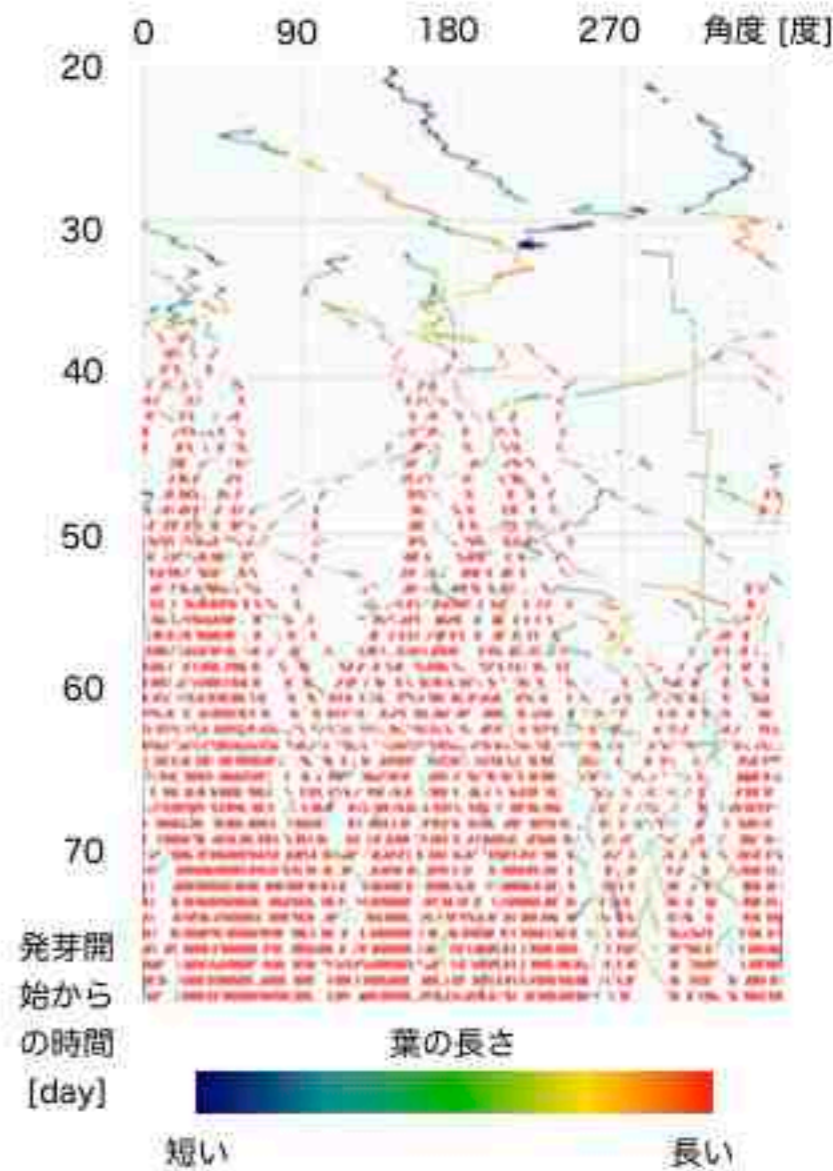
入力 (成長画像)

極座標変換

端点抽出

時空間断面画像の作成

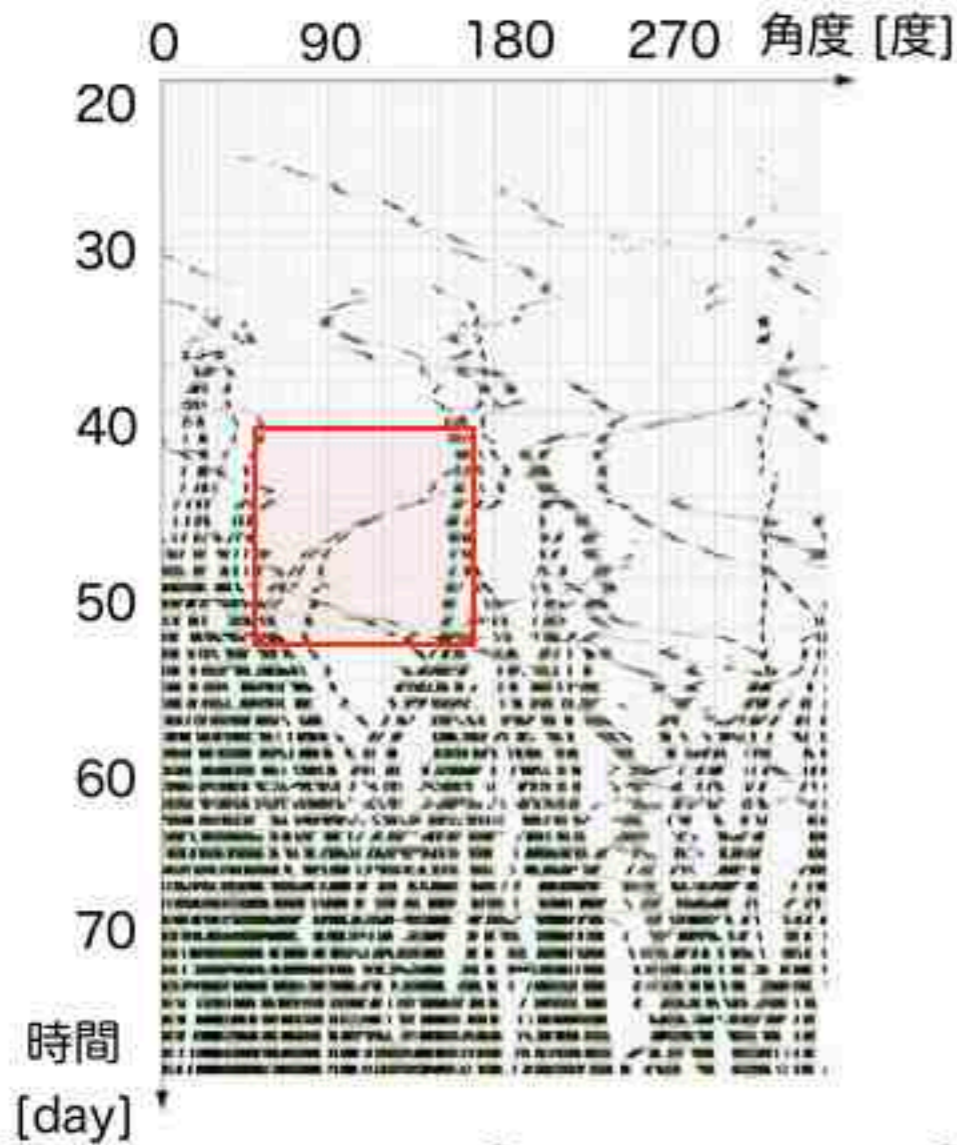
解析結果出力



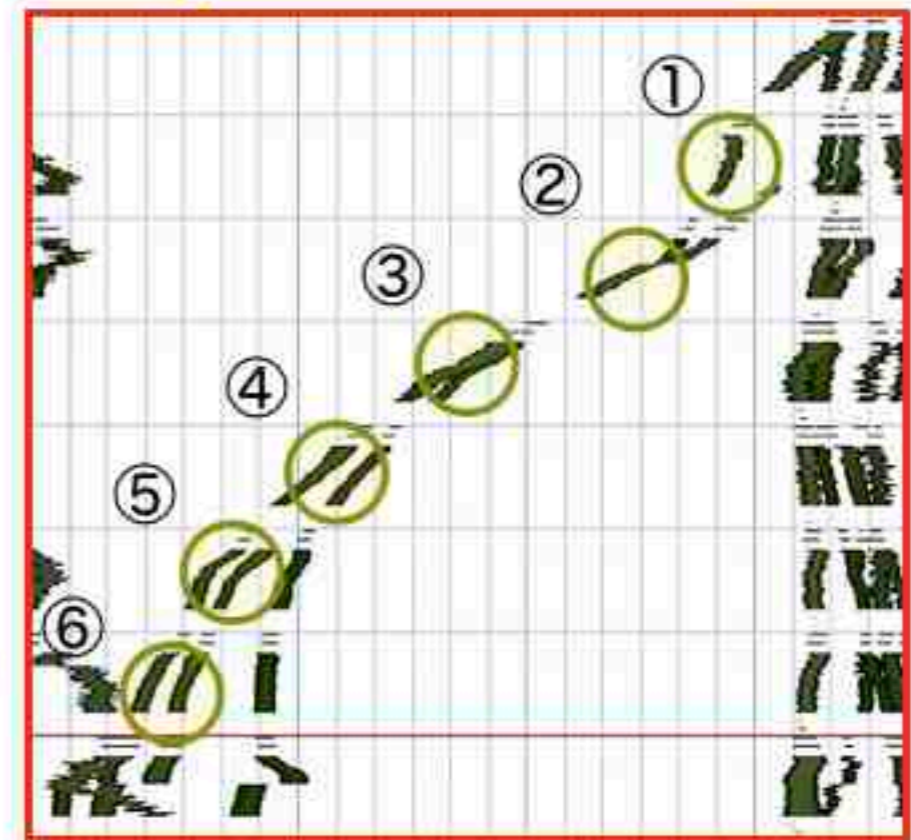
解析結果  
(時空間断面画像)

# 時空間断面画像

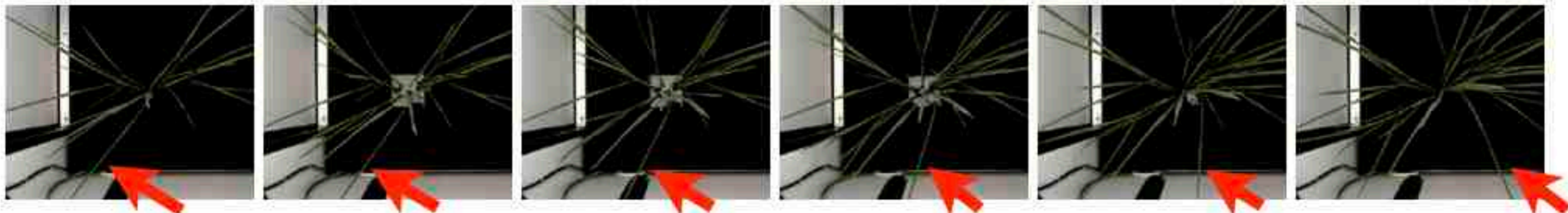
葉の回転方向の動きが横軸， 時間を縦軸に表現



反時計回りに75度回転



- ① ② ③ ④ ⑤ ⑥



# システム開発と研究成果をつなげる

## 1. 研究目的の明確化

新たな研究へと切り開く可能性を秘めているが、  
研究目的を明確化しシステム開発と同調して進めない  
と研究成果につながりにくい

## 2. 解析ソフトウェアの開発力

装置開発と同時に解析手法・ソフトウェア開発が重要  
画像解析技術に加えデータ管理・データハンドリング  
など周辺技術の開発整備が必要

# ハイスループット形質評価技術の 開発事例の紹介

1. 生育モニタリングシステムの開発

2. 形質計測ソフトウェアの開発

# 形質計測ソフトウェアの開発

研究者の研究活動とともに開発を進める

## 1. 専用ソフトウェアを開発

利用者と開発者で研究目的を共有

利用者の研究環境に応じた最適なソフトを開発

画面表示など可能な限り要望を実現

## 2. 作業全体を見渡し導入効果の高いソフトを提案

画像解析技術，情報デバイスの活用



# 開発ソフトの紹介

## 1. 画像解析による形状計測

器官等の形状計測の自動計測

## 2. 圃場における形質評価

携帯端末を使ったデータ入力作業の効率化

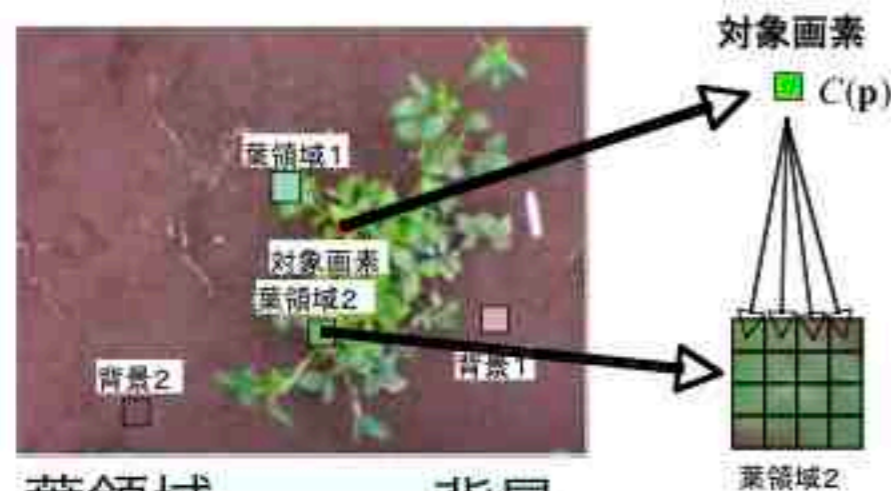
## 3. その他

タッチパネルを使った計測作業の効率化

# 1. 画像解析による形状計測

## (1) 葉面積計測手法の開発

背景が均一でない画像から葉の部分を認識する手法を開発  
圃場で撮影する画像でも安定して葉を認識



対象画素と判別領域  $(x, y)$  との色差:

$$d_n(\mathbf{p}, (x, y)) = \sqrt{\sum_{C \in \{R, G, B\}} (C(\mathbf{p}) - C_n(x, y))^2}$$

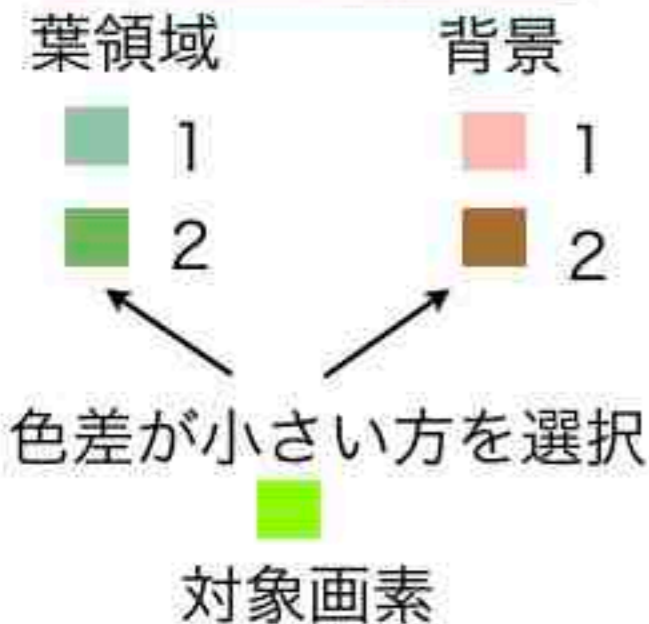
$C(\mathbf{p})$ : 原画像のピクセル  $\mathbf{p}$  の画素値

$C_n(x, y)$ : サンプル  $n$  の座標  $(x, y)$  における画素値

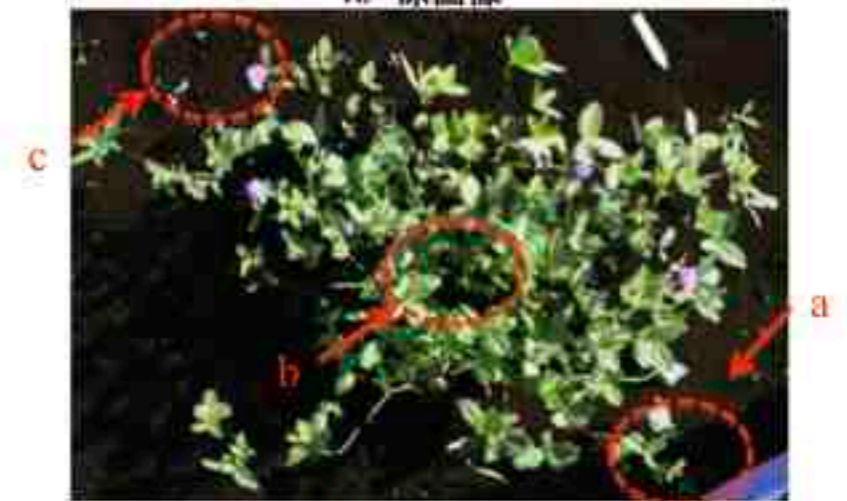


平均色差

$$\frac{1}{32 \times 32} \sum_{x=0}^{31} \sum_{y=0}^{31} d_n(\mathbf{p}, (x, y))$$



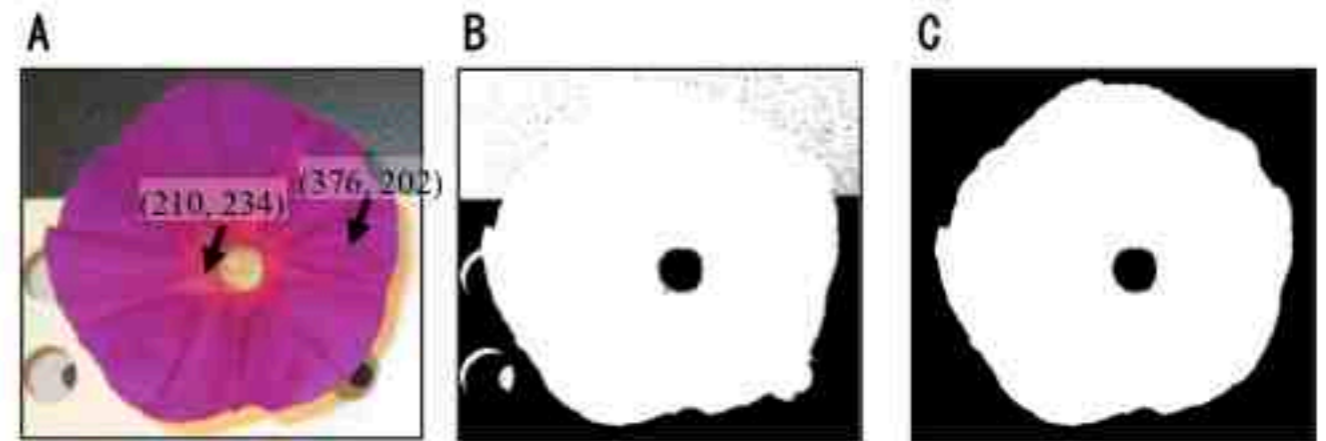
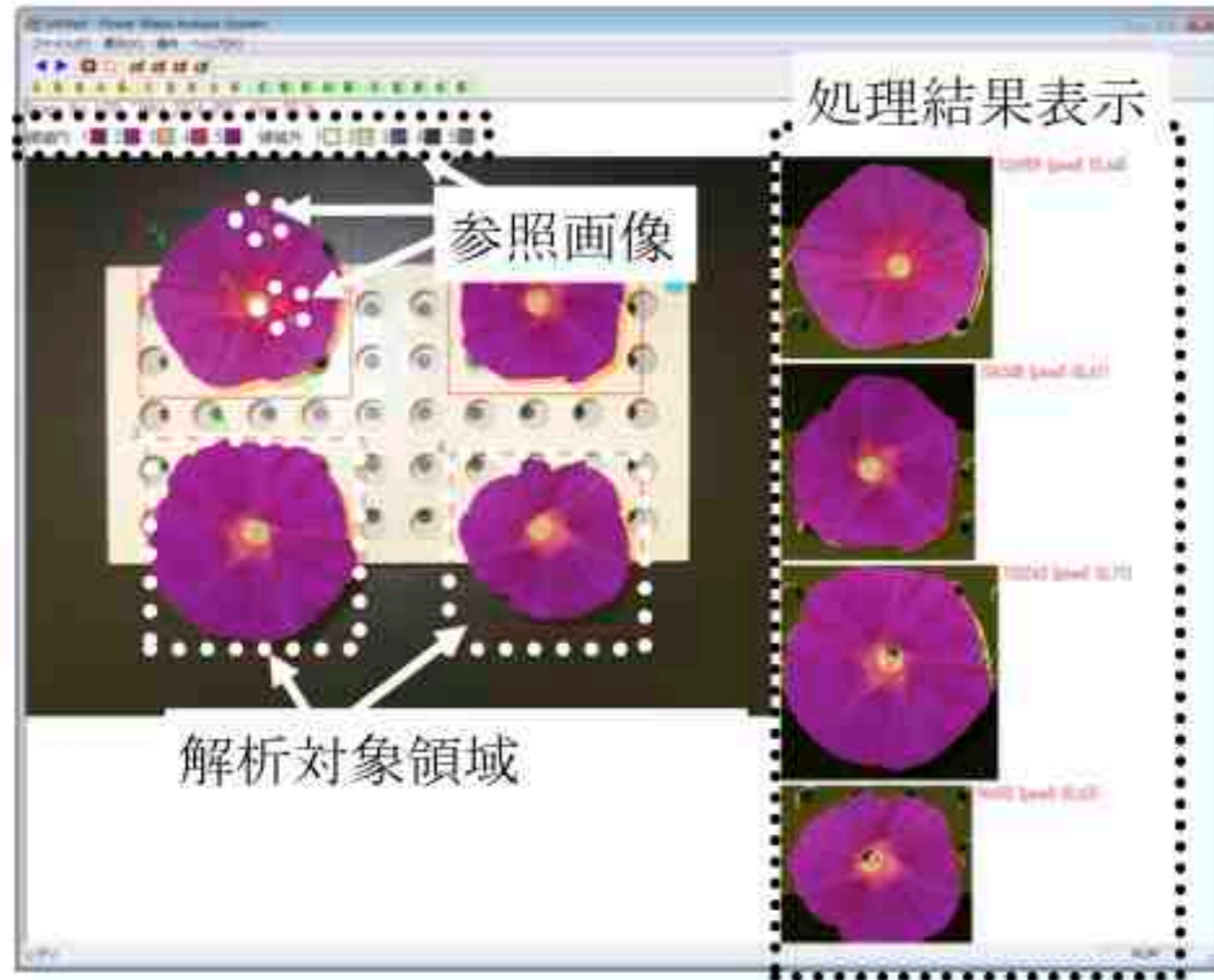
A. 原画像



C. 考案手法で処理した結果

## (2) 面積計測ソフト

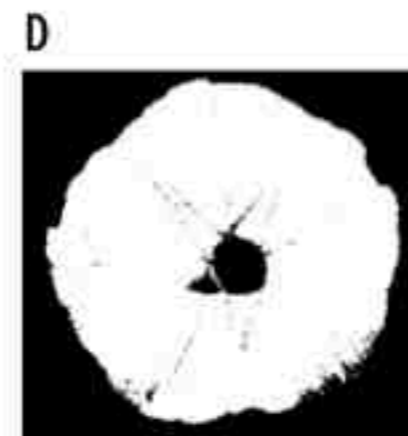
フォルダ内の画像を順次処理し，大量画像を手軽に解析  
画像処理のためのパラメータ設定が不要



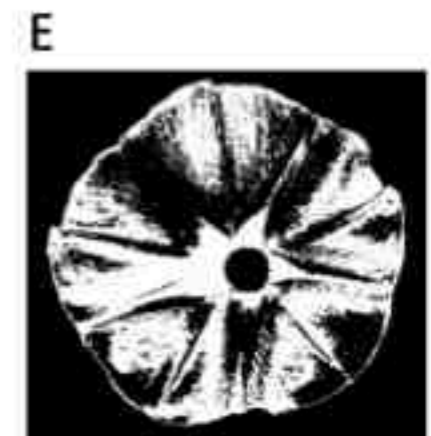
原画像

2値化処理による抽出  
(閾値140)

考案手法による抽出



座標(376, 202)の  
色(R169, G50, B144)で探索



座標(210, 234)の  
色(R220, G74, B111)で探索

LIA32の色探索機能による抽出

# (3) トマトの葉の形状値計測

面積計測ソフトで開発した領域抽出手法に形状解析機能を追加



The screenshot displays the 'LeafProfileAnalysisSystem' software interface. On the left, a grid of 14 original photographs of tomato leaves is shown, each labeled with a number from 1 to 14. On the right, the corresponding binary (black and white) images of the leaves are displayed, with their outlines highlighted in various colors (green, blue, red). To the right of these images is a table of measurement results. Below the table, the text '計測結果' (Measurement Results) is written. The software window title is 'LeafProfileAnalysisSystem - 画像' and the menu bar includes 'ファイル(F)', '編集(E)', '表示(V)', '印刷', and 'ヘルプ(H)'. The status bar at the bottom left shows 'Image No 1/3, "001.jpg", View 100 %'.

(pos)	面積	長辺の長さ	短辺の長さ
(1)	14680	242.32	125.72
(2)	9640	180.14	96.19
(3)	7551	102.96	80.05
(4)	13188	226.13	107.68
(5)	2654	99.85	37.49
(6)	7500	159.80	68.15
(7)	11016	207.60	106.67
(8)	2115	89.54	35.47
(9)	2978	107.52	40.18
(10)	7412	156.70	72.91
(11)	3214	109.66	39.27
(12)	1405	71.81	26.16
(13)	3540	116.43	42.48
(14)	1233	68.26	22.41

計測結果

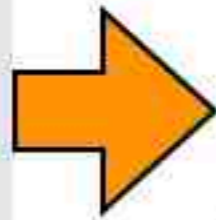
撮影画像

画像解析結果

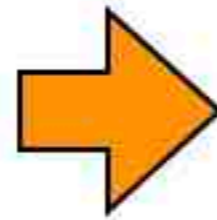
# 形状解析手法の開発



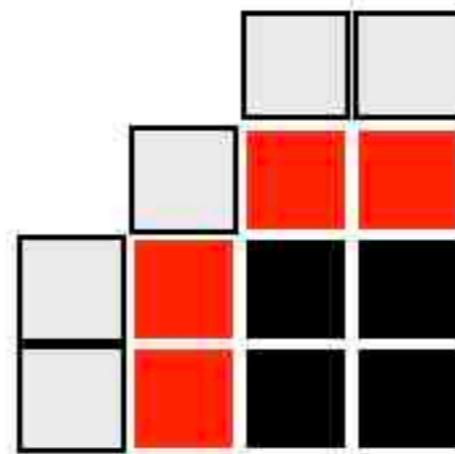
撮影画像



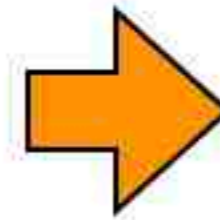
領域抽出  
葉面積の算出



輪郭線検出



背景と接している点を  
境界線として検出



長辺・短辺の  
自動計測

検出した境界点について  
すべての2点間の距離を求  
め、最も長い点の組み合  
わせを長辺として検出す  
る。

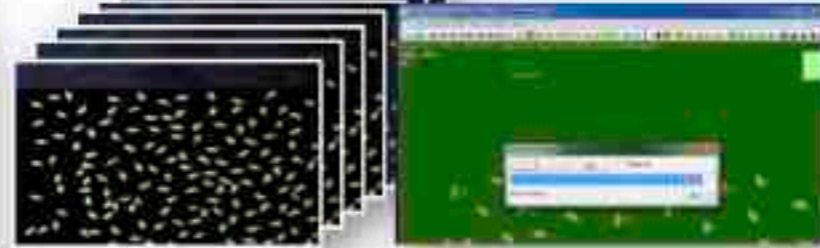
# (4) ハイスループット粒径計測

(1) ~ (3) に芒や埃除去の手法を追加

画像撮影から計測値を得るまでの効率化を実現



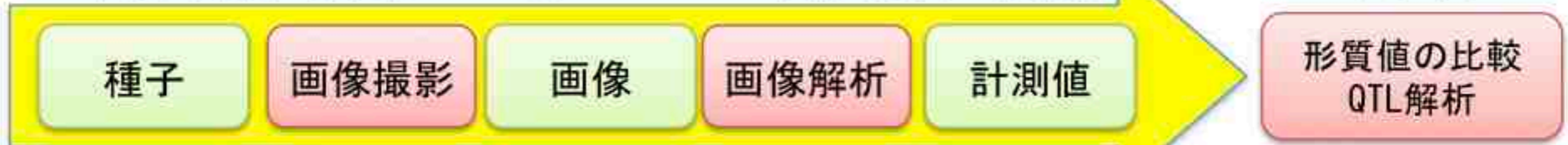
スキャナに種子を広げて撮影  
1画像(系統)あたり2~5分



撮影した画像の自動解析  
1画像あたり5分程度



結果出力  
CSVファイル



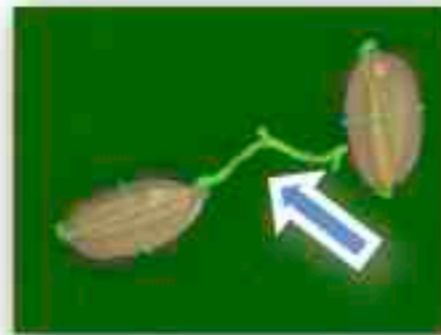
## 種子の自動認識

すべての種子を自動認識  
色差判別手法を使った認識精度の  
高い解析手法を考案



## 芒や埃の自動除去

画像処理の膨張・収縮処理を活用  
した芒や埃の自動除去機能を考案



## 計測項目



#	項目
1	面積 [mm <sup>2</sup> ]
2	周囲長 [mm]
3	長さ [mm]
4	幅 [mm]
5	長幅比
6	円形度
7	重心と交点の距離 [mm]
8	近似楕円の長辺 [mm]
9	近似楕円の短辺 [mm]
10	近似楕円の長幅比
11	近似楕円の扁平率
12	色 (L*a*b表色系)

## 2. 圃場での形質評価のハイスループット化

葉面積計測のための撮影装置と解析ソフトウェアを開発

2005年：アカクローバーの葉面積計測システム

屋外撮影システム



葉面積計測ソフトウェア

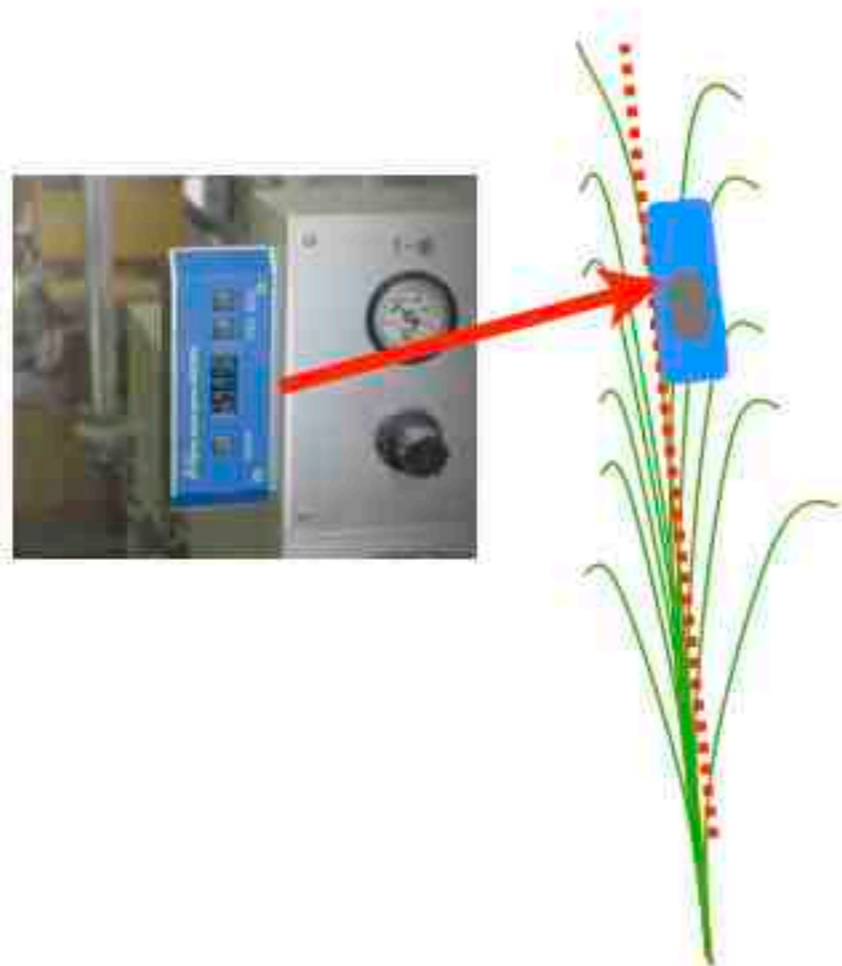


圃場で画像撮影

研究室で計測作業

# 圃場栽培のイネ葉身傾斜角度の計測

デジタルアングルメータを使ったイネの葉の角度計測  
計測データの記録作業とデータ整理の負担は大きい



デジタルアングルメータ  
を使った葉の角度計測\*

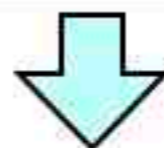
(1) メータを葉に当てる



(2) メモリを読み取る



(3) 野帳（紙）に記録



(4) 電子化（Excel等を使  
った入力作業）

計測作業における  
計測値の記録・整理  
にかかる負担

計測手順

\* 早田 一也, 大川 泰一郎, 本林 隆, 平沢 正, “葉身傾斜角度による水稻の個体群吸光係数の簡易評価法の検討”, 日本作物学会紀事, Vol. 79, pp.174-183 (2010)



# 画像を使った計測技術の検討

## 角度計測ソフトウェア

1. 画像から葉身の角度を効率よく計測するソフトを開発
2. 圃場でデジタルカメラを使い画像撮影
3. 従来法との比較で解析に十分な精度の計測値が得られることを確認
4. 画像撮影の作業負担が大きく計測に時間がかかる



# スマートフォンの活用

1. 計測に活用できるセンサを内蔵
2. 操作性・可搬性に優れている
3. 専用ソフトウェアを開発できる機能を搭載

## 計測 (センサ)



## 入力・記録



# イネ葉身傾斜角度の計測ソフト

- 本体内蔵の加速度センサを使った角度計測
- 画面のボタンを押すだけで角度値と計測時刻を記録

## 圃場で計測記録



端末を計測対象にあて画面のボタンを押すだけで計測と記録を実行

## 研究室でデータ解析

Individual ID      Angle      Measurement Time

ID	Angle	MTIMED
1	20.2	2011/9/22 20:58
2	23.5/43.7	2011/9/22 20:58
3	31.0/51.2	2011/9/23 10:06
4		2011/9/24 8:39
5		2011/9/24 8:39
6		2011/9/24 8:39
7		2011/9/28 15:54
8		2011/9/28 15:54
9		2011/9/28 15:54
10		2011/9/28 15:54
11		2011/9/28 15:55
12		2011/10/1 17:46
13		2011/10/1 17:46
14		2011/10/1 17:46
15		2011/10/1 17:46
16		2011/10/12 10:27
17		2011/10/12 10:27
18		2011/10/12 10:27
19		2011/10/12 10:27
20		2011/10/12 10:27
21		2011/10/12 10:27
22		2011/10/12 10:27
23		2011/10/12 10:27
24		2011/10/12 10:27
25		2011/10/12 10:27
26		2011/10/12 10:27
27		2011/10/12 10:27

端末をPCに接続すると即時に計測結果が表計算ソフトに読み込み可能

# 出穂調査への応用

- ・ 大規模系統群の出穂日の調査簿
- ・ 圃場での記録と研究室でのデータ入力を迅速に実行

## 圃場で記録

## 研究室でデータ解析

個体番号・品種名 平均日数 各個体の出穂日

個体番号	品種名	平均日数	各個体の出穂日
1001	コシヒカリ	107.5	109, 109, 100, 109, 110, 110
1002	コシヒカリ	107.2	109, 103, 105, 104, 107, 105
1003	コシヒカリ	108.8	104, 101, 100, 93, 104, 92
1004	コシヒカリ	107.2	105, 104, 105, 105, 102, 102
1005	コシヒカリ	107.2	103, 106, 110, 109, 107, 107
1006	コシヒカリ	108.3	108, 110, 107, 111, 110, 110
1007	コシヒカリ	106.3	112, 106, 106, 104, 107, 105, 104
1008	コシヒカリ	105.5	107, 102, 104, 109, 101, 105
1009	コシヒカリ	105.0	101, 104, 104, 100, 100, 104
1010	コシヒカリ	106.4	107, 102, 105, 104, 100, 105
1011	コシヒカリ	103.4	102, 100, 101, 104, 104, 104
1012	コシヒカリ	103.4	102, 100, 104, 104, 100, 101
1013	コシヒカリ	105.0	118, 104, 106, 107, 100, 104
1014	コシヒカリ	106.3	105, 109, 103, 109, 107, 104
1015	コシヒカリ	107.0	109, 106, 108, 105, 107, 100
1016	コシヒカリ	107.4	110, 100, 104, 109, 100, 105
1017	コシヒカリ	108.1	108, 107, 111, 107, 108, 100
1018	コシヒカリ	108.4	109, 107, 100, 103, 100, 100
1019	コシヒカリ	99.0	94, 102, 90, 91, 102, 110
1020	コシヒカリ	97.7	99, 91, 92, 101, 110, 93
1021	コシヒカリ	97.0	92, 90, 90, 103, 90, 99
1022	コシヒカリ	100.2	102, 100, 100, 94, 100, 103
1023	コシヒカリ	111.0	113, 112, 111, 113, 100, 113
1024	コシヒカリ	110.0	104, 110, 110, 115, 114, 103
1025	コシヒカリ	111.0	113, 114, 111, 113, 110, 110
1026	コシヒカリ	107.0	108, 100, 109, 109, 100, 105
1027	コシヒカリ	105.7	102, 106, 106, 105, 100, 100
1028	コシヒカリ	105.5	108, 105, 105, 104, 107, 104
1029	コシヒカリ	106.0	103, 104, 109, 104, 108, 105
1030	コシヒカリ	106.0	103, 105, 104, 107, 106, 104

日付を押すだけで  
出穂日の入力が完了

端末とPCを接続すると表計算ソフトで  
計測データの閲覧と集計が即時に完了

# 調査の様子

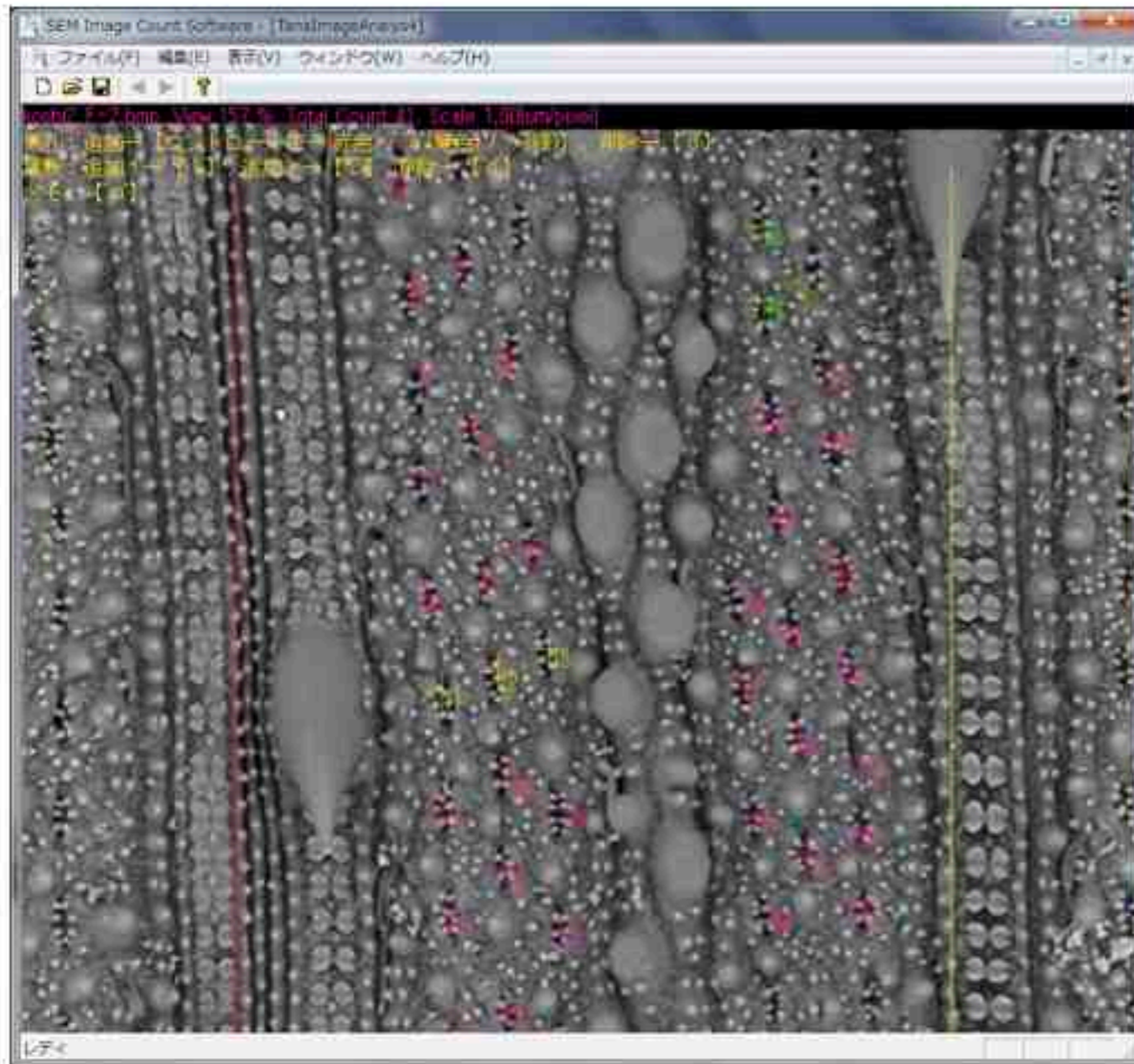
2011年夏10,000個体の  
出穂調査に活用



# タッチパネルモニタを活用した気孔数計測

電子顕微鏡で撮影した画像中の気孔数をカウント

自動認識技術にかわりタッチパネルを使ったシステムを提案



# 効率よくソフトウェアを開発する工夫

## 1. 開発リソースの再利用

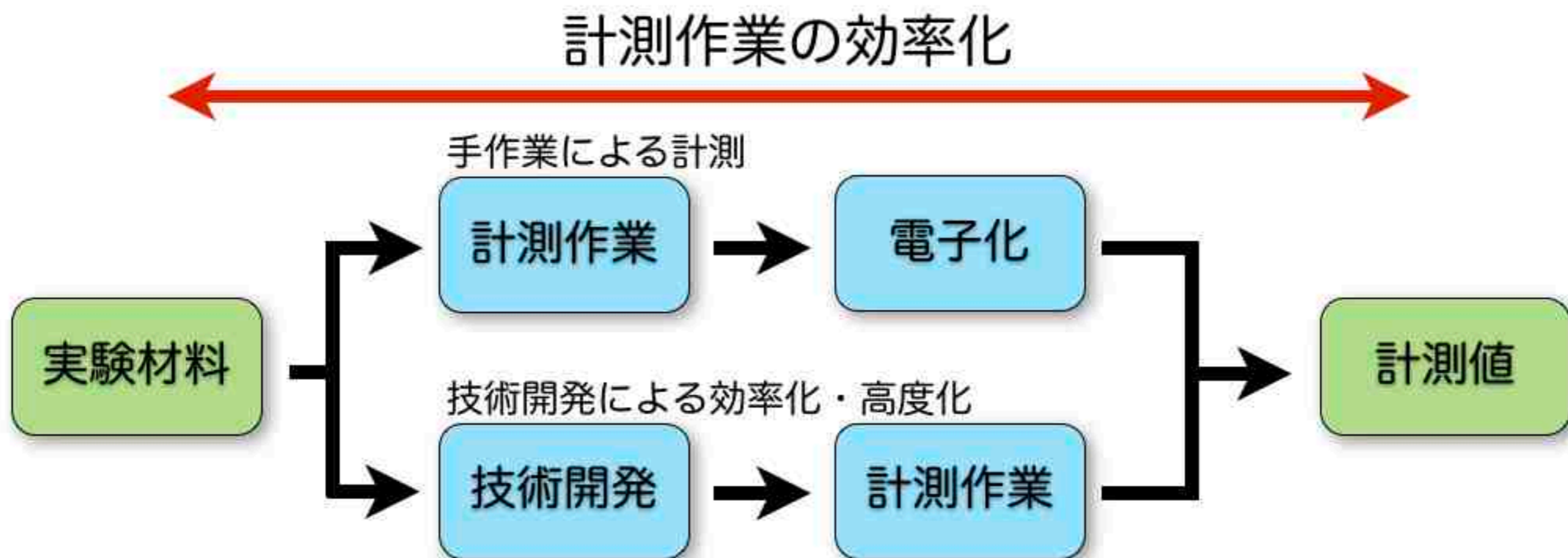
開発したソフトで共通的に使える機能は部品化（クラスライブラリ）し再利用

## 2. 汎用ライブラリなどの活用

OpenCV (Open Source Computer Vision) などフリーソフトウェアの活用による開発効率の向上と高機能化を実現

# 形質評価のハイスループット化技術の開発

- ・ 計測値を得るまでにかかる作業全体を見渡した技術開発が重要
- ・ 利用者と開発者が協調した共同開発を通じて実用的な計測技術につながる





問い合わせ

七夕 高也

[tanabata@computer.org](mailto:tanabata@computer.org)