

3D Gaussianの時間的対応関係に基づく植物器官の時系列追跡



IS3-038



大阪公立大学

今吉嶺太 内海ゆづ子 岩村雅一

大阪公立大学 工学部情報工学科

Neural ODE による Gaussian の時間的対応関係を用いた、器官セグメンテーションラベルの伝播

背景・目的

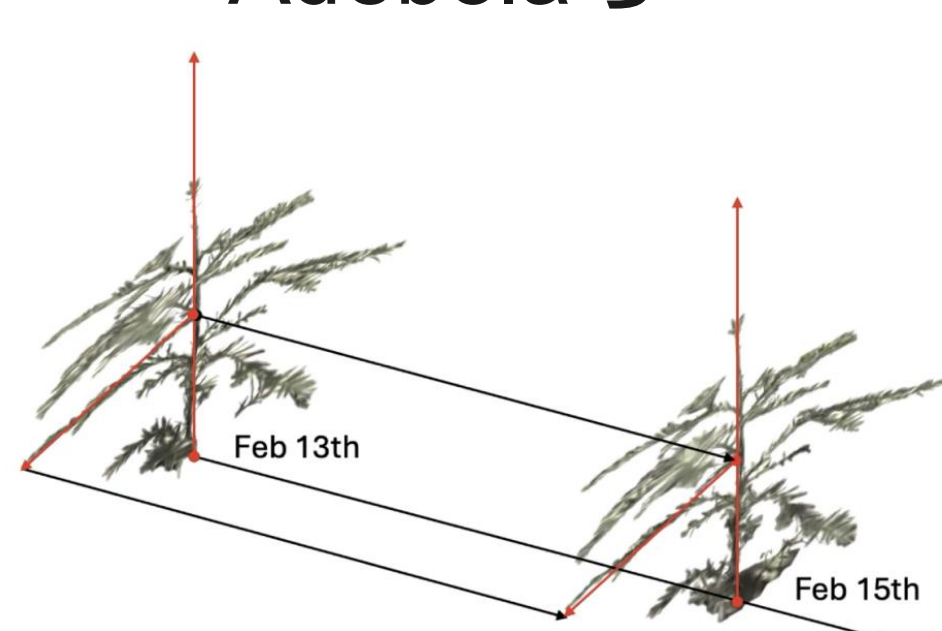
- 植物器官の成長追跡は、収量予測や生育診断で活用
- 人手では作業量が膨大で、非現実的

目的：器官ごとの時系列追跡の自動化

従来手法の課題

Juradoら^[1]

2次元画像における葉の追跡
→葉の重なりによる追跡破綻

Adebolaら^[2]

成長前後の3Dモデルの位置合わせ
→非剛体変形に非対応

植物の形状変化に対応できる3次元追跡手法が必要

提案手法

器官を Gaussian の集合で表し、その1つ1つを追跡する

基盤とする手法：GrowFlow^[3]

Neural ODE によってGaussian を逆向きに辿って、
成長した植物から過去の植物を再構成する手法

- 時刻 t の Gaussian i のパラメータ群を以下のように定義

$$\theta_i(t) = [\underbrace{\mu_i(t)}_{\text{位置}}, \underbrace{q_i(t)}_{\text{回転}}, \underbrace{s_i(t)}_{\text{大きさ}}]$$

$\mu_i(t)$: 時刻 t における Gaussian i の3次元位置
 $q_i(t)$: 時刻 t における Gaussian i の回転
 $s_i(t)$: 時刻 t における Gaussian i の大きさ

- Neural ODE により位置・回転・大きさの時間変化 $\dot{\theta}_i$ を推定

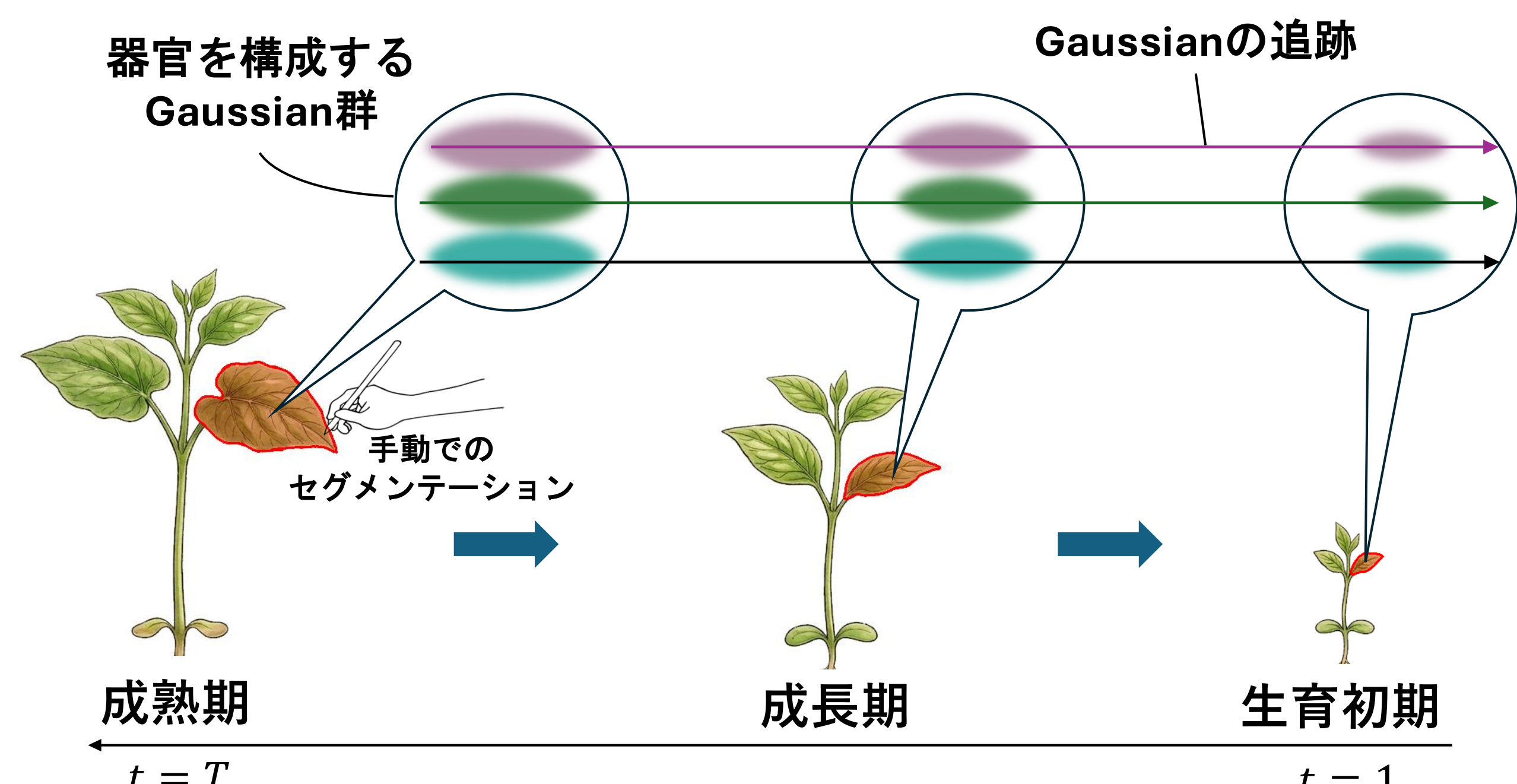
$$\dot{\theta}_i = \underbrace{F_\phi(\mu_i(t), t)}_{\text{時間変化}}$$

$\dot{\theta}_i$: 位置・回転・大きさの時間変化
 F_ϕ : 変化を推定するニューラルネットワーク
 ϕ : ネットワークの学習パラメータ

- 時間を逆向きに積分し、過去の植物の 3DGS モデルを再構成

$$\underbrace{\theta_i(t_0 - 1)}_{\text{過去の状態}} = \underbrace{\theta_i(t_0)}_{\text{現在の状態}} + \int_{t_0}^{t_0-1} \underbrace{F_\phi(\mu_i(t), t)}_{\text{時間変化}} dt$$

提案手法の概略図



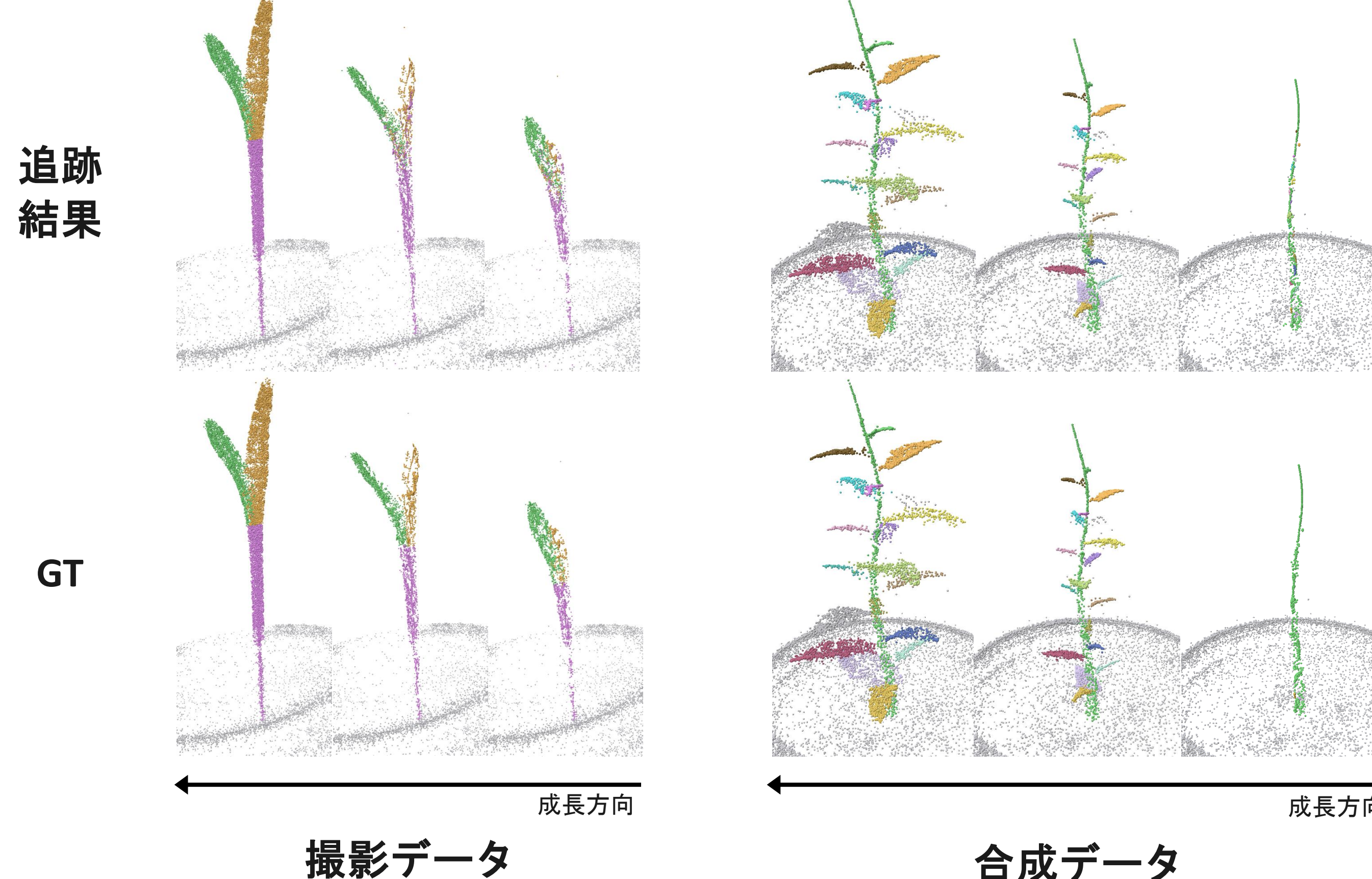
- 成熟期のモデルで器官ごとにセグメンテーションラベルを付与
- 器官を構成する Gaussian を時刻を遡って追跡

実験

器官の追跡可能性の調査

- 追跡結果とアノテーションによるGTを比較
- GrowFlow の公開コード・公開データセット^[4]から以下を使用
 - 撮影データ
実際に撮影されたトウモロコシの多視点タイムラプス画像（全71フレーム）
 - 合成データ
人工の植物3Dモデルから取得した多視点タイムラプス画像（全13フレーム）

追跡結果とGTの比較



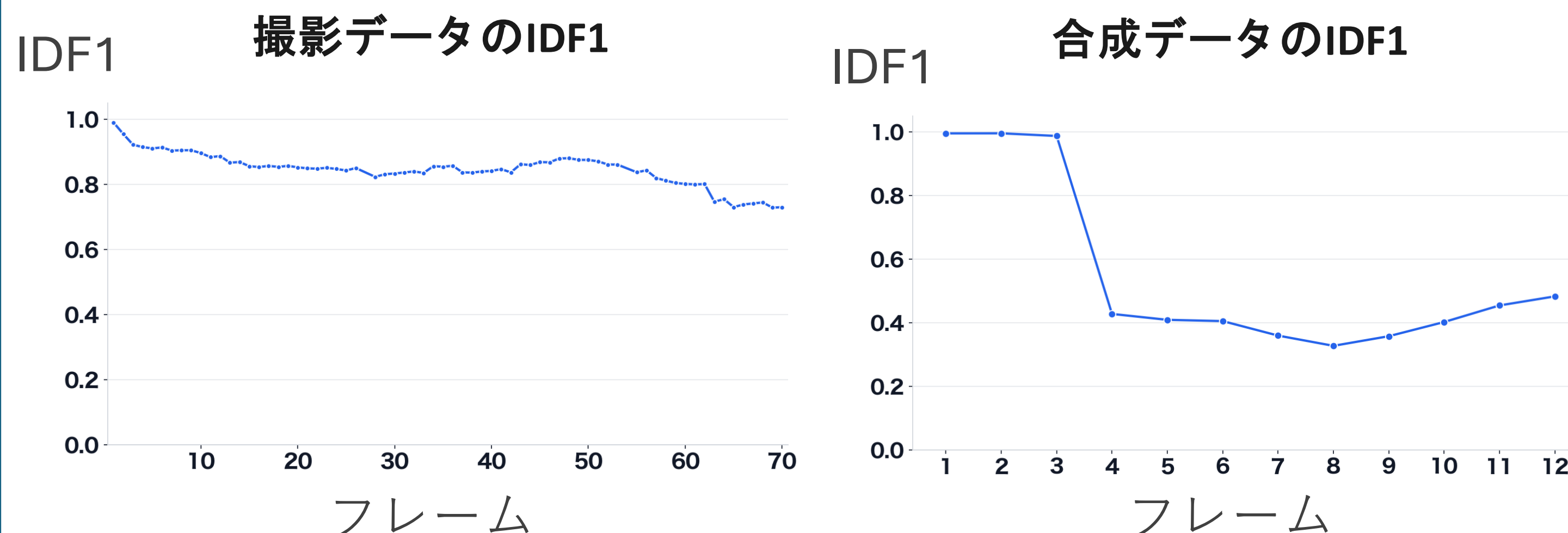
器官単位の追跡精度の検証

- フレームごとに、IDF1を算出

IDF1の計算方法

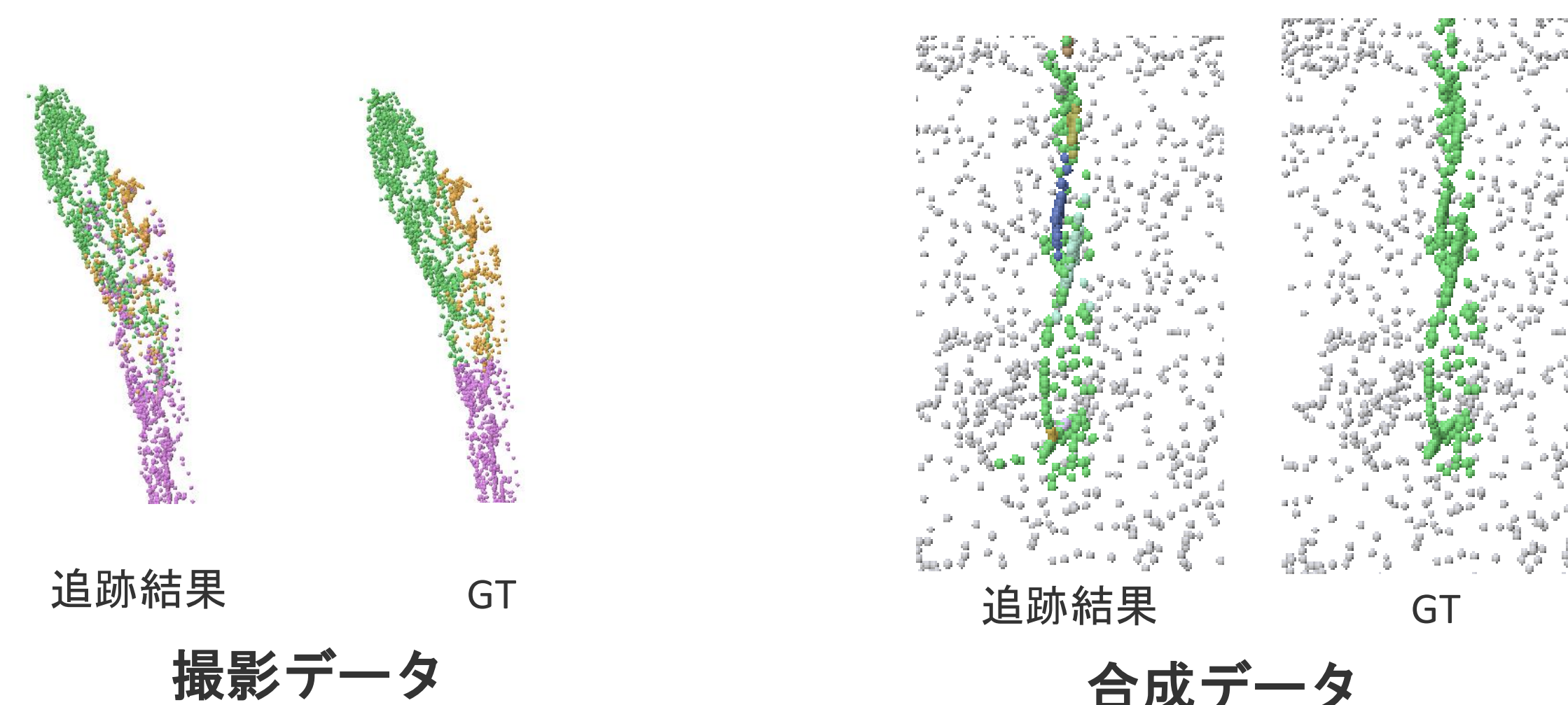
$$IDF1 = \frac{2 \times IDTP}{2 \times IDTP + IDFP + IDFN}$$

IDTP : 追跡結果とGTでラベルが一致した Gaussian の数
IDFP : 追跡結果のラベルの中で、GTと一致しなかった Gaussian の数
IDFN : GTのラベルの中で、追跡結果と一致しなかった Gaussian の数
→ 1に近いほどGTに近い



考察

- 2つの器官のラベルを持つ Gaussian が1つの器官に混入
→ 追跡精度の低下



追跡において、生物学的な制約の追加が課題

[1] Jurado Ruiz, F. et al. : LeTra: a leaf tracking workflow based on convolutional neural networks and intersection over union, *Plant Methods*, Vol. 20 (2024).

[2] Adebola, S. et al. : GrowSplat: Constructing Temporal Digital Twins of Plants with Gaussian Splats, *Procs. of CASE*, pp. 1766-1773 (2025).

[3] Luo, W. et al. : Grow with the Flow: 4D Reconstruction of Growing Plants with Gaussian Flow Fields, *arXiv preprint arXiv:2602.08958* (2026).

[4] <https://github.com/weihan1/growflow>