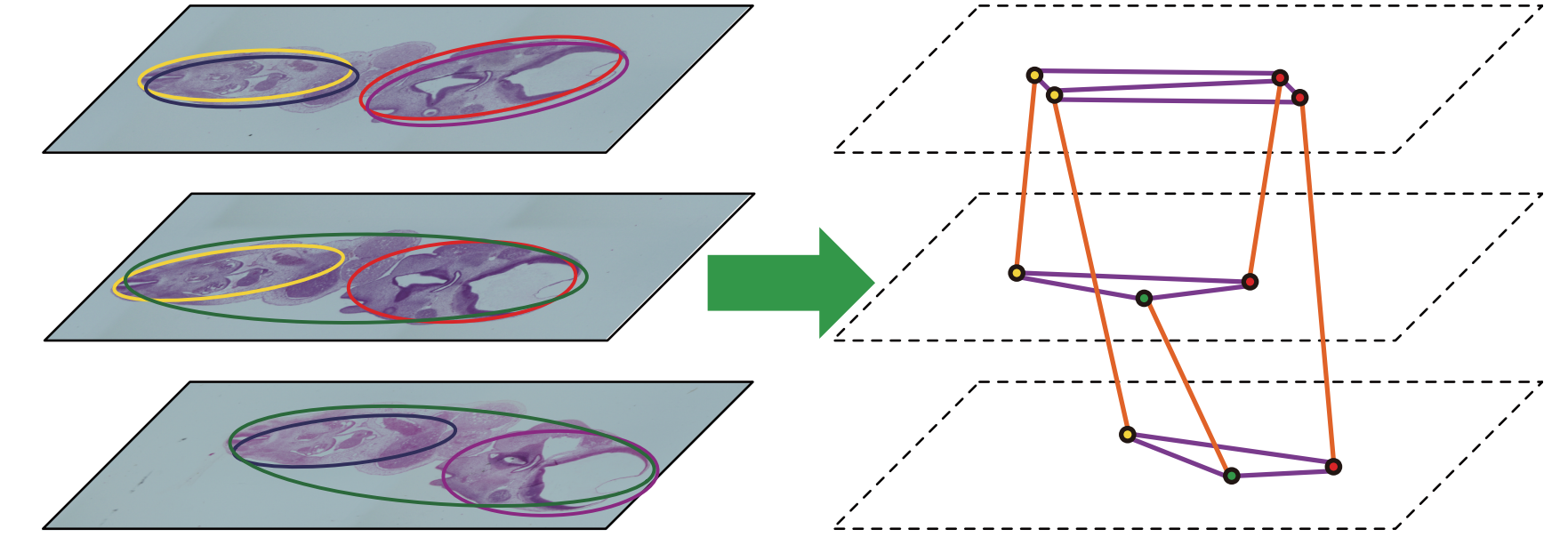


非剛体位置合わせの全体最適化による
連続組織切片からの3次元復元

船富卓哉, 山田重人, 宇都宮夏子, 藤村友貴, 榎田貴弘, 向川康博



グラフ上で最適化



解析の対象: 京都コレクション

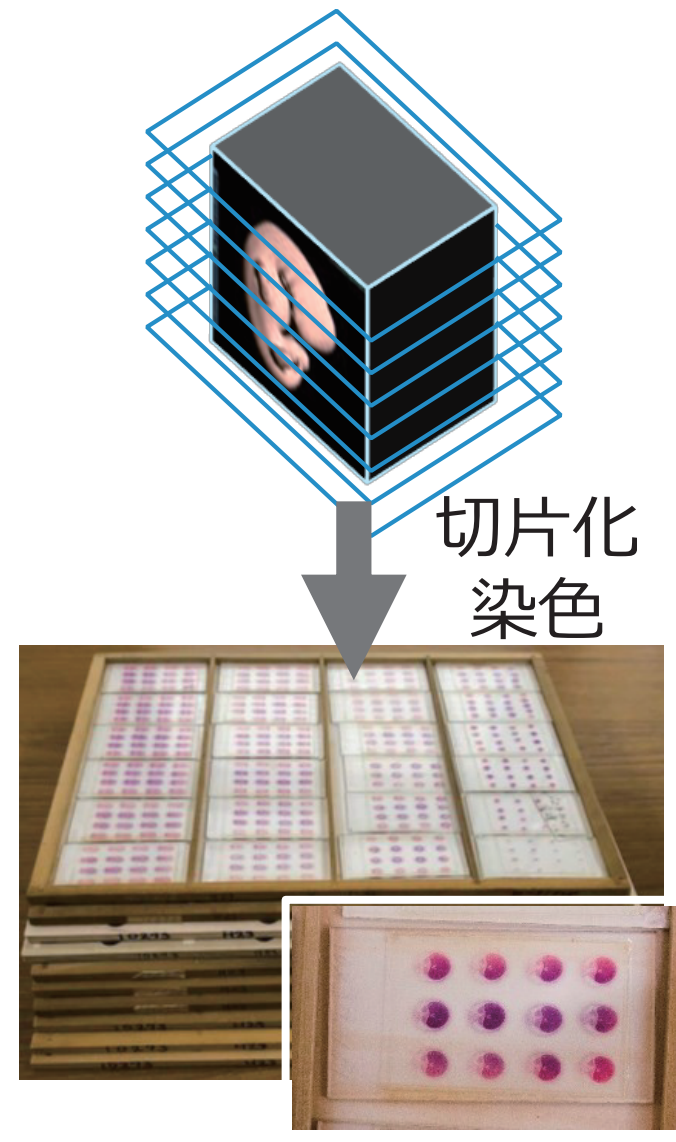
ヒト胚子約1,000例の連続組織切片

- 器官や組織の詳細な弁別が容易
3次元的な形態の把握が困難

連続切片からの3次元復元

- 1標本から数百枚の切片
切片製作時に物理的な歪みが発生

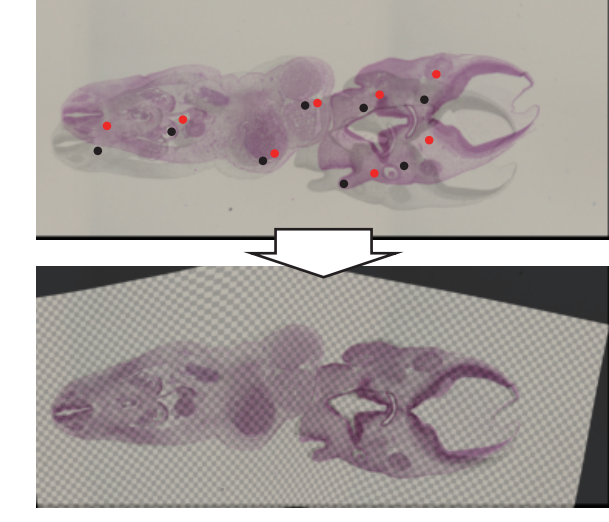
課題: 切片系列に対して逐次的に
位置合わせすると変形が蓄積



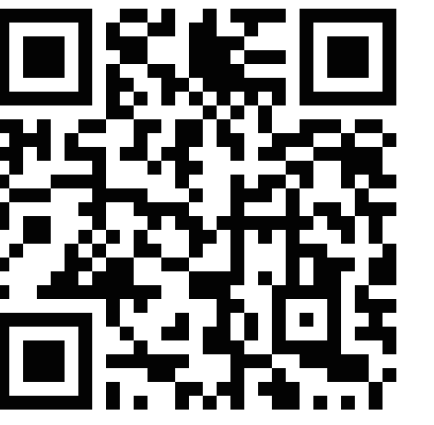
本研究のポイント

非剛体位置合わせの全体最適化

- 変形を幾何変換の場として表現
位置合わせグラフを用いた最適化
隣接切片だけでなく、近傍切片との非剛体位置合わせを考慮



復元結果

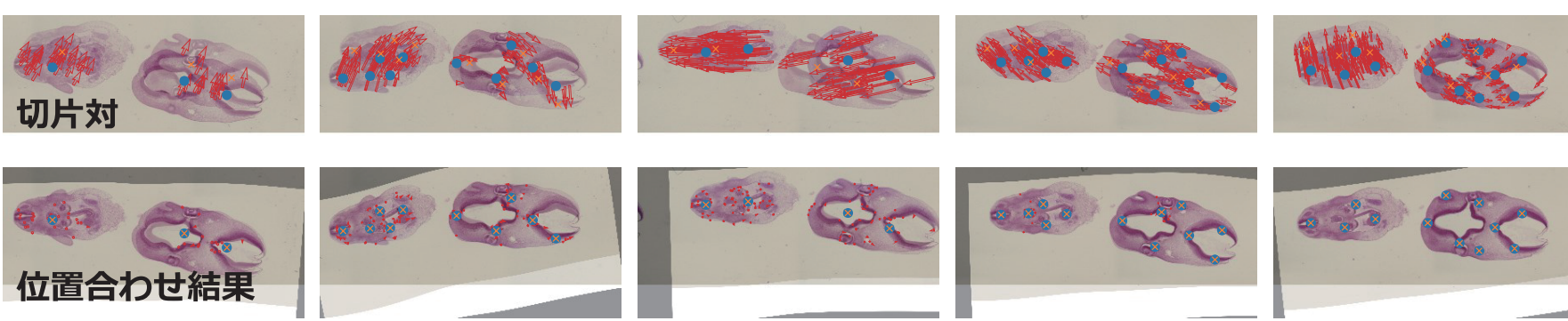


※ データ量が多いので
ご注意ください

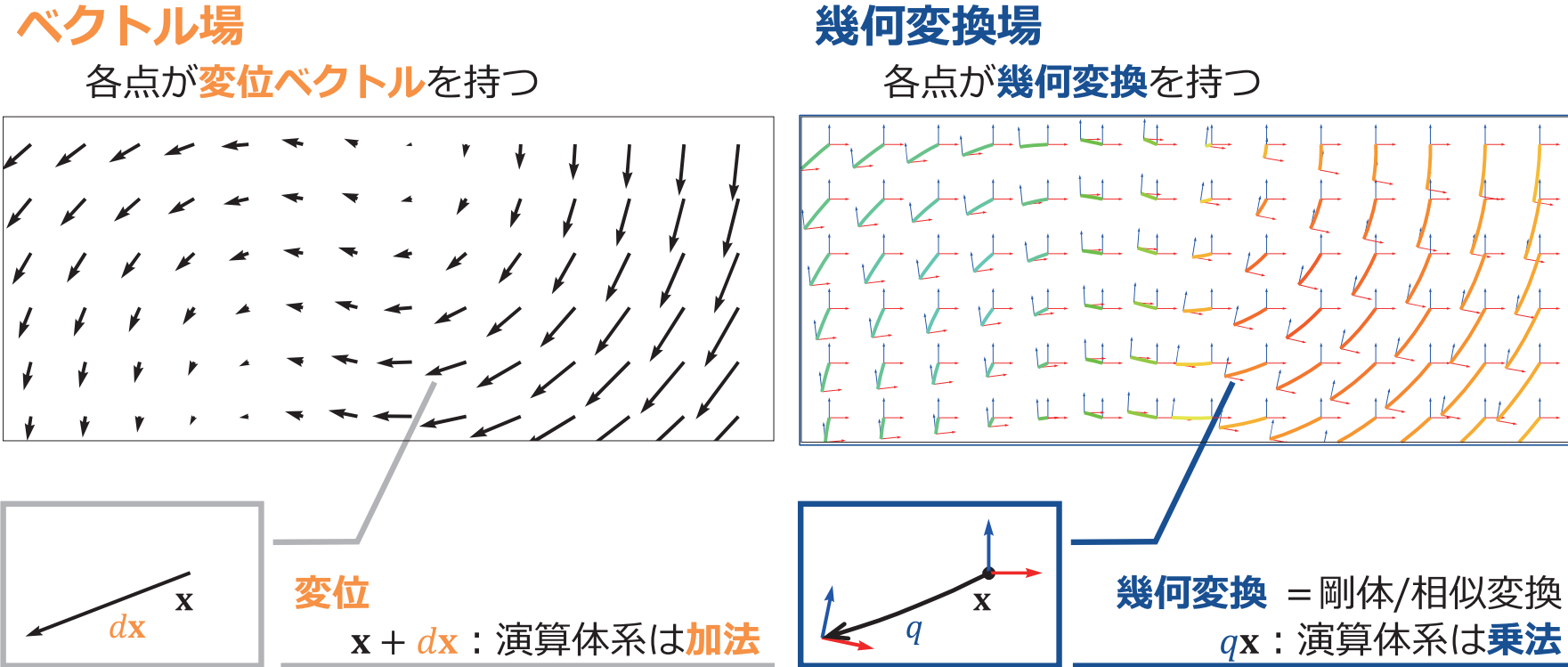
近傍切片との非剛体位置合わせ

- 画像の局所特徴量による疎な対応付け
Superglue (深層学習ベース)
対応付けクラスタ
最適なクラスタ数を探索

幾何変換場の回帰
y(x) = argmin_{q in SE(2)} || sum_i phi_i(x) Log_q(c_i) ||
x_n: 各クラスタ中心
y_n: 各クラスタの剛体変換SE(2)

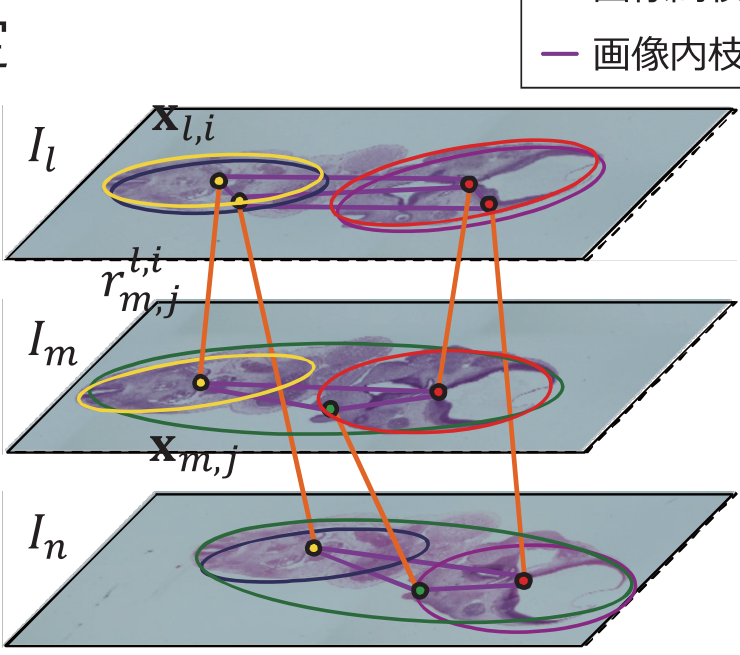


幾何変換場による変形のモデル化



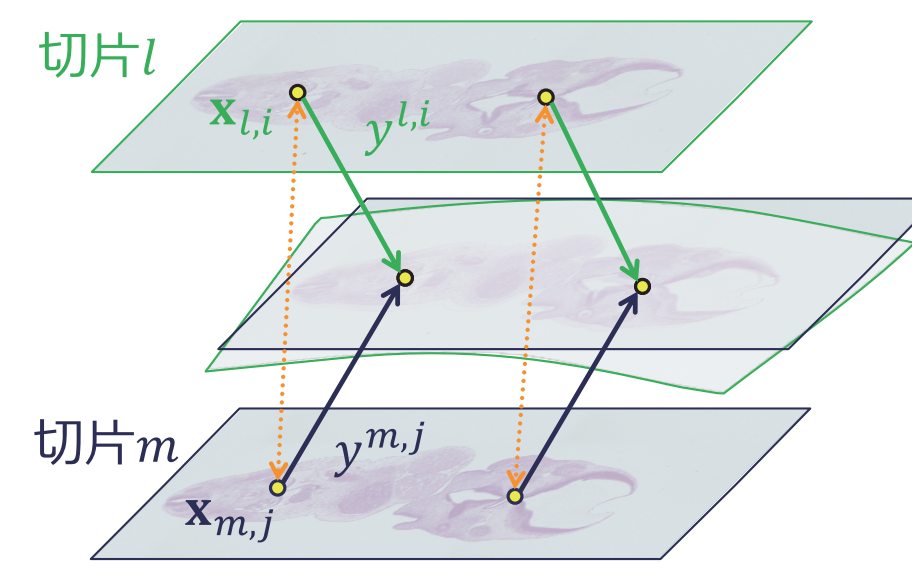
位置合わせを表すグラフ構造

- 幾何変換のペアに2種類の関係を想定
各切片の歪みによる幾何変換場は少数の幾何変換の合成としてモデル化
特徴点クラスタを節点とする
切片間(I_i, I_m)の関係
切片内(i, j)の関係



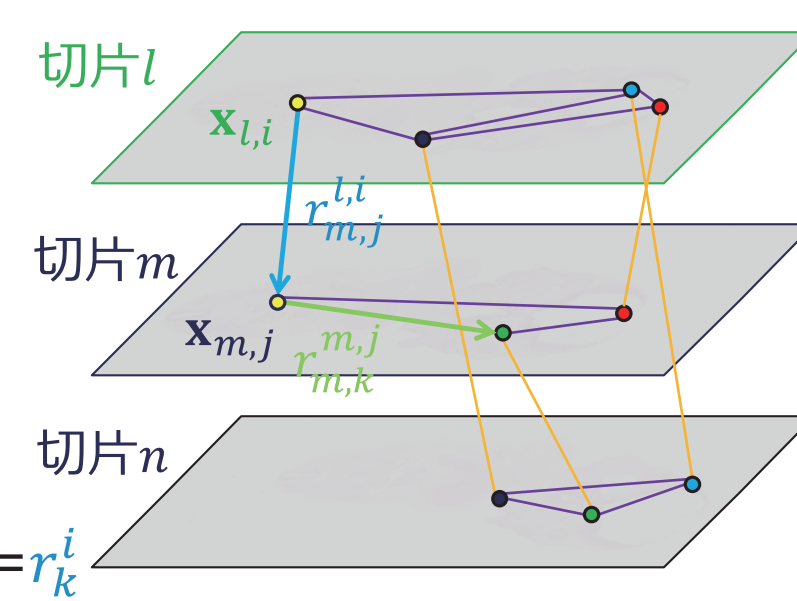
変換の定義@節点

- 節点に関連付けられた変換
絶対的な変換: y^{li} in SE(2)
位置合わせ: y^{mj} * x_{m,j} in R^2



変換の定義@枝

- 枝に関連付けられた変換
相対的な変換: r^{mj}
合成: r_k^{li} r_j^{li} = (y^k)^{-1} y^j (y^l)^{-1} y^i = r_k^{li}

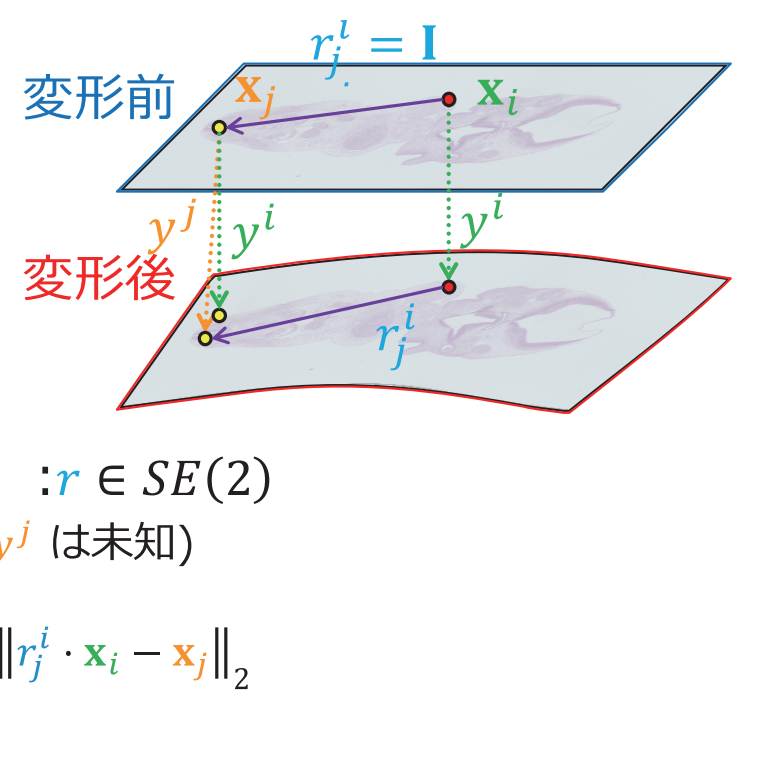


局所位置合わせへの忠実性

- 画像間の枝
変換の推定値: r^{mj} in SE(2)
枝に関連付けられた変換 (最適化変数): r in SE(2)
再投影誤差

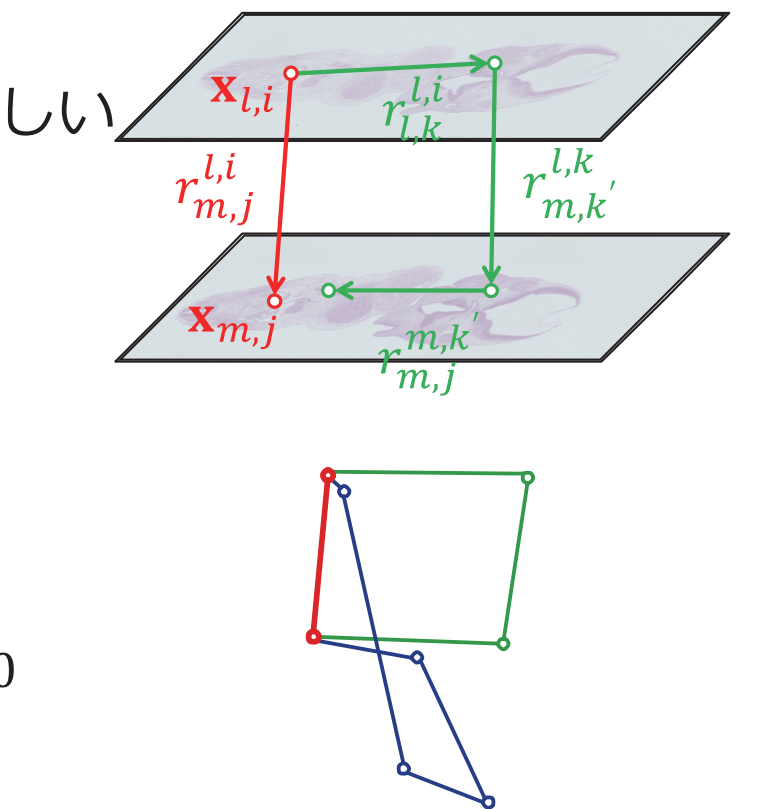
剛体性

- 画像内の枝
変換の推定値: l in SE(2)
絶対的な変換: y^i on x_i, y^j on x_j
再投影誤差



閉路に対する制約

- 異なる経路に依らず同じ変換になって欲しい
各閉路の枝について、変換を積算
再投影誤差



乗法に基づくカーネル回帰 (RBF補間)

一般のカーネル回帰
幾何変換のカーネル回帰
f(x) = sum_i c_i phi_i(x)
y(x) = argmin_{q in SE(2)} || sum_i phi_i(x) Log_q(c_i) ||

幾何変換を対象とした最適化

多標本上での最適化
勾配 dL/dv の計算
幾何変換の指数・対数写像、およびその微分は自前で実装
PyTorch Autograd Engine

グラフ最適化

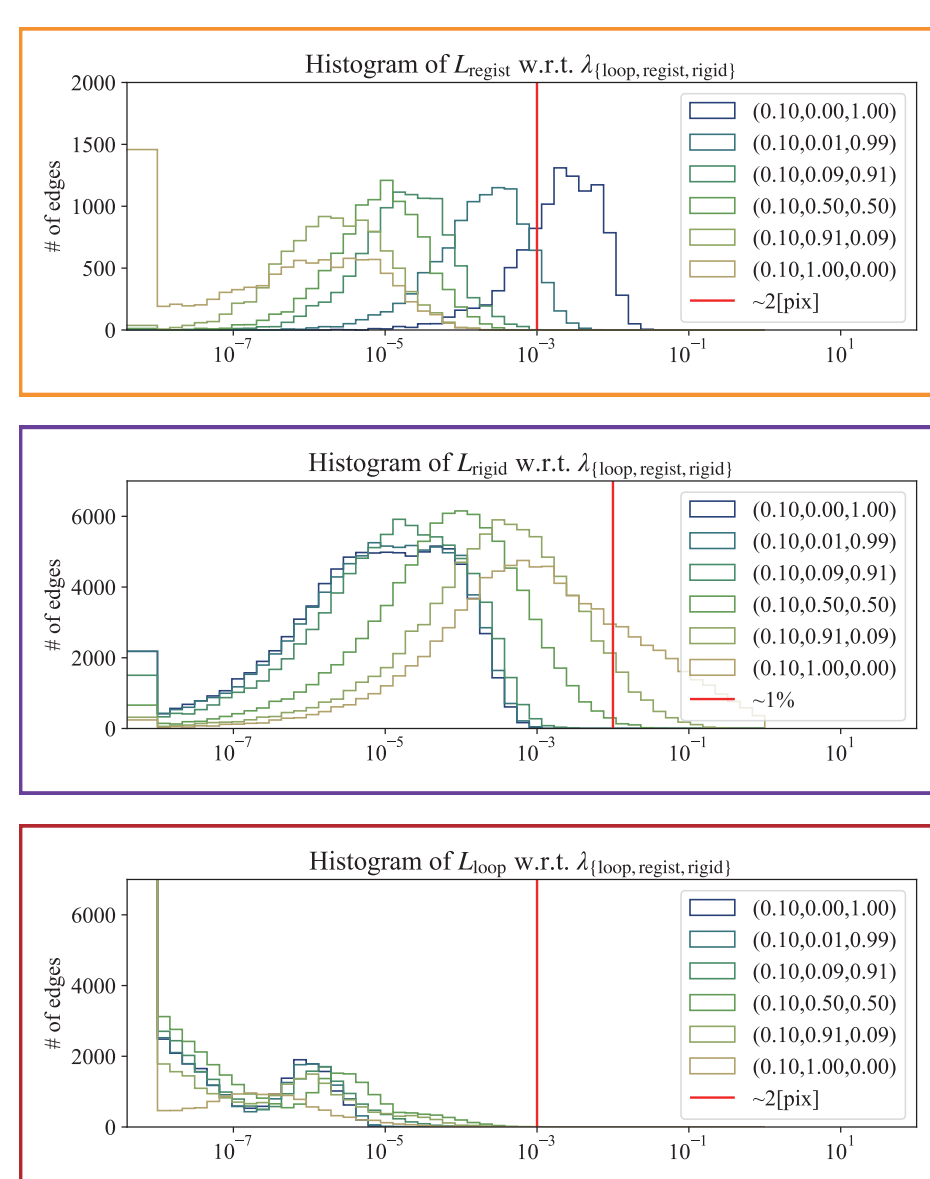
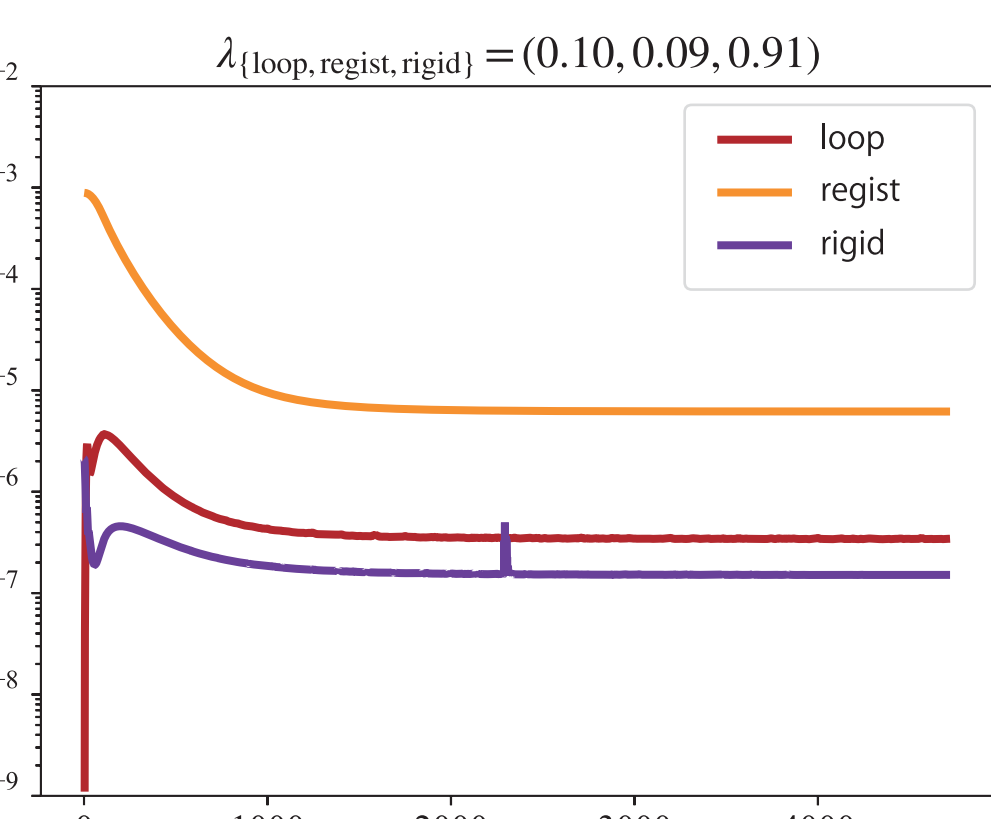
誤差の総和を最小化
L = W_regist L_regist + W_rigid L_rigid + W_loop L_loop
切片間の関係は推定された変換に近い
切片内の節点間の距離はあまり変わらない

実験結果

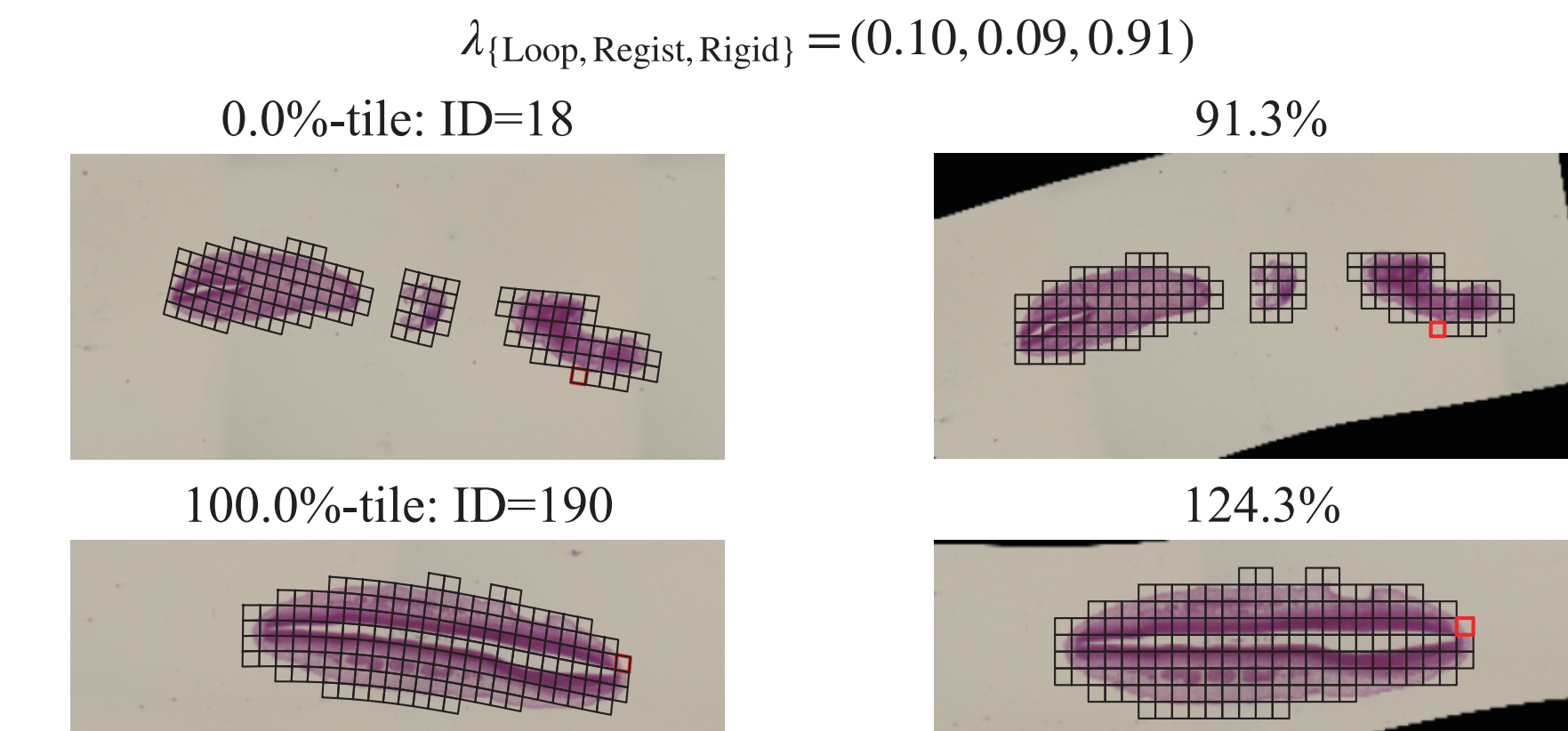
実際の連続切片に対応するグラフ

- 切片枚数: 190, 近傍5切片と位置合わせ
構築されたグラフ
10,098 節点
99,652 枝 (画像間枝: 89,554, 画像内枝: 10,098)
4,897,625 閉路

グラフ最適化結果



変形量の定量評価



積層結果の横断面

