

3Dボリリュームデータの定量的解析

野下 浩司

✉ noshita@morphometrics.jp

🏠 <http://koji.noshita.net>

東京大学 生物測定学研究室

かたちを測ってます

野下浩司

✉ noshita@morphometrics.jp

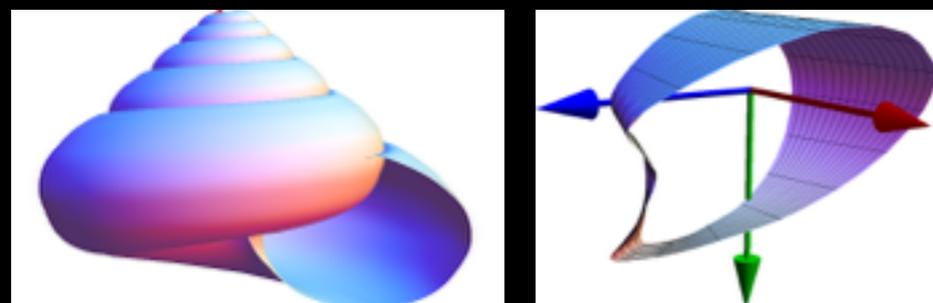
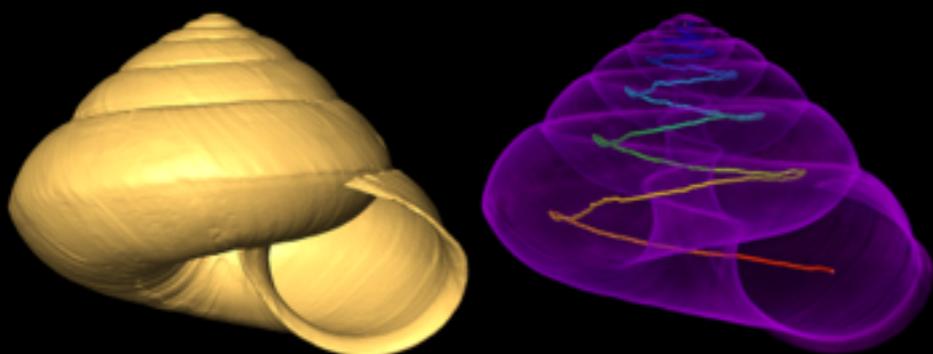
🏠 <http://koji.noshita.net>

東京大学 農学生命科学研究科 生物測定学研究室



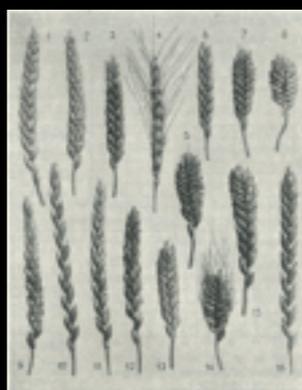
動物

e.g. 腹足類の殻

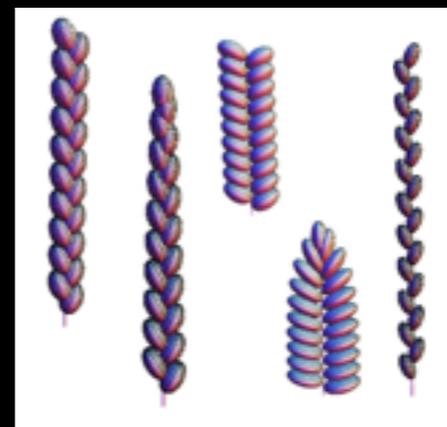


植物

e.g. コムギの穂形



from Kanjanus (1923)

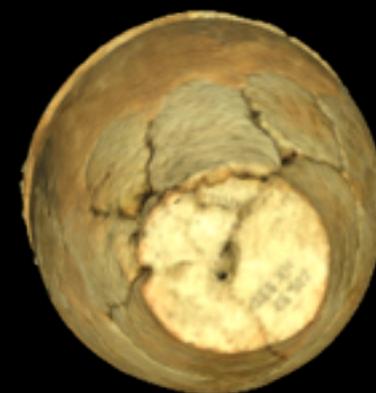


e.g. 葉面



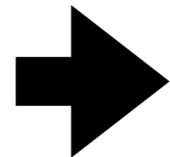
人工物

e.g. 土器

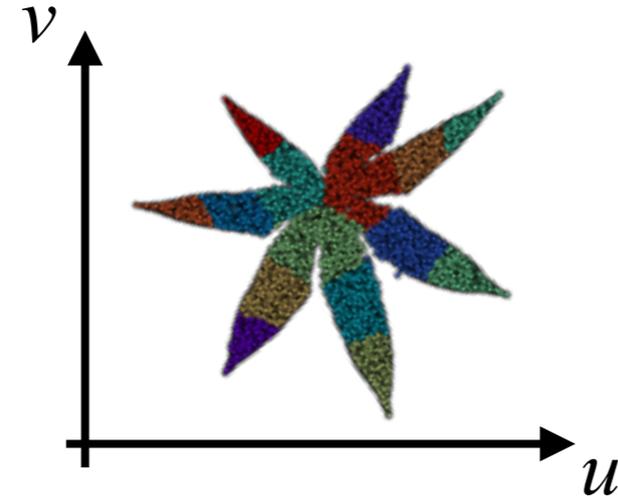
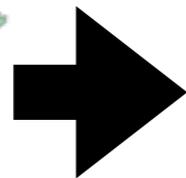


最近の研究

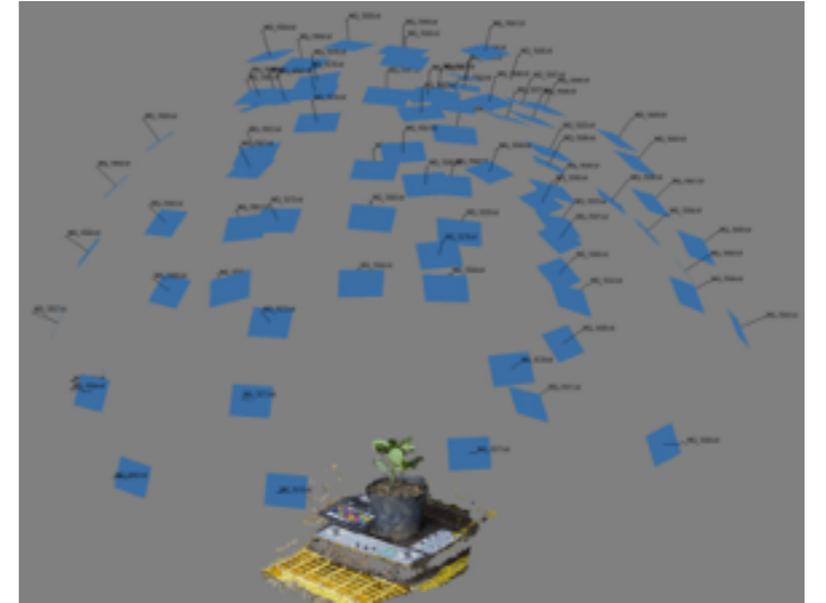
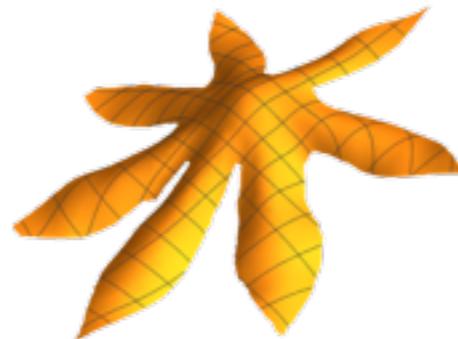
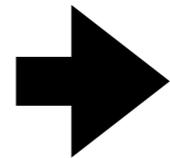
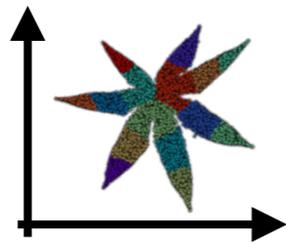
領域分割 全体から個葉を抜き出す



パラメタライゼーション



葉面再構築



ご興味がある方はお気軽に御相談下さい

Outline

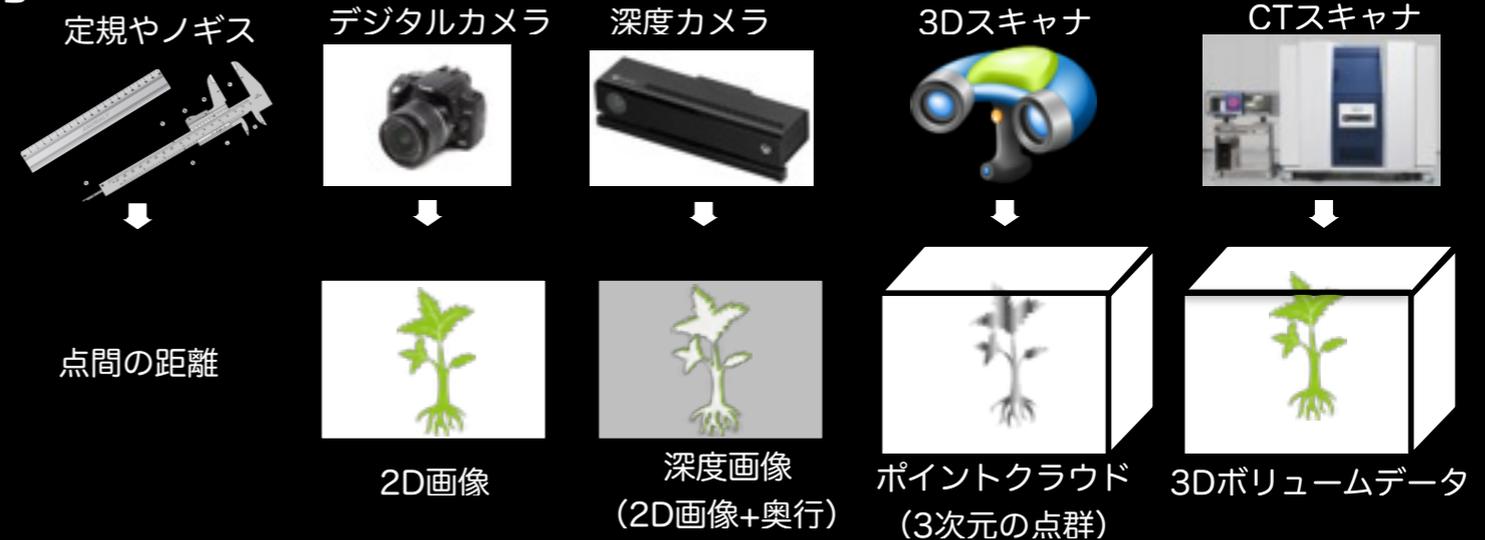
- ・ 画像解析
- ・ 2次元画像解析
 - ・ 平滑化
 - ・ 各種フィルタ
 - ・ スケールスペース
 - ・ 閾値
 - ・ 距離変換
 - ・ 細線化
 - ・ 領域分割・マスク
- ・ 3次元画像解析
 - ・ データの種類
 - ・ 領域分割
 - ・ 表面メッシュ生成
 - ・ 腹足類殻の例

画像処理

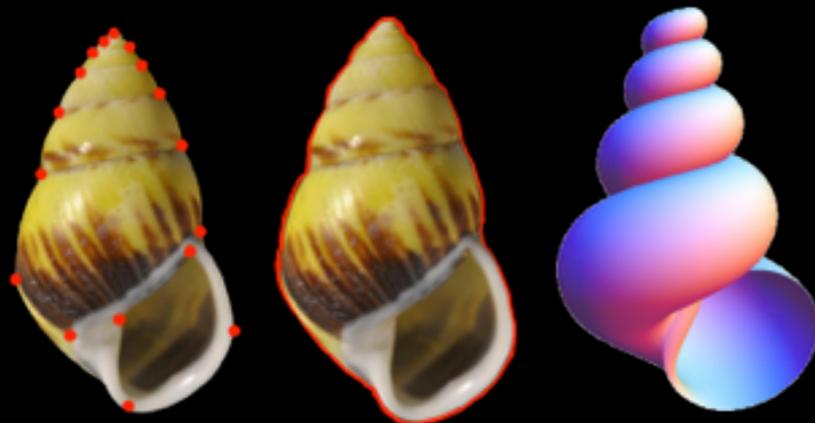
かたちを対象とする研究のワークフロー

かたちのデータの取得

- ・ 対象
- ・ 計測機器
- ・ データの種類



かたちの定量化



- ・ 対象・データの種類に応じた解析手法の選択
 - ・ 幾何学的形態測定学
 - ・ 標識点ベース
 - ・ 輪郭ベース
 - ・ 理論形態学
- ・ 計測データから形態データへの変換

生物学的意味の発見

e.g.

- ・ 多様性の評価
- ・ 遺伝率の推定
- ・ 適応度の推定
- ・ 祖先形質の復元
- ・ 進化速度・モードの推定
- ・ GWAS, QTLの発見
- ・ アロメトリー解析
- ・ 組織変形の解析
- ・ 病変部の識別

画像解析の利用

画像データの取得

- ・ 対象
- ・ 計測機器
- ・ データの種類

デジタルカメラ



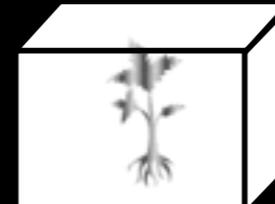
2D画像

深度カメラ



深度画像
(2D画像+奥行)

3Dスキャナ



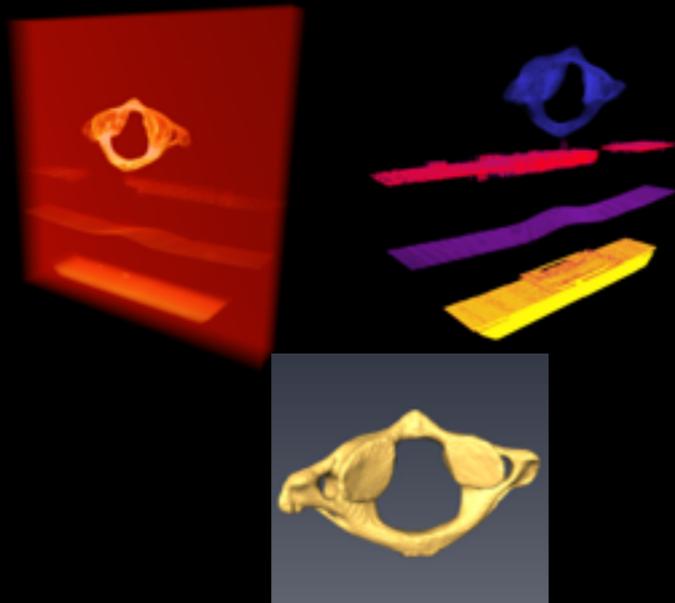
ポイントクラウド
(3次元の点群)

CTスキャナ



3Dボリュームデータ

画像処理



- ・ 前処理
 - ・ 領域分割
 - ・ ラベリング
- ・ 計測や解析
 - ・ 輝度
 - ・ 形状解析
 - ・ トラッキング
- ・ 画像データからその性質を抽出したり、物体を認識したりする

生物学的意味の発見

e.g.

- ・ 細胞数のカウント
- ・ 細胞形状の計測
- ・ 細胞のトラッキング
- ・ 細胞のラベリング
- ・ 組織の応力分布推定
- ・ 組織変形の解析
- ・ 形態パラメータの推定
- ・ 病変部の識別
- ・ 発現解析

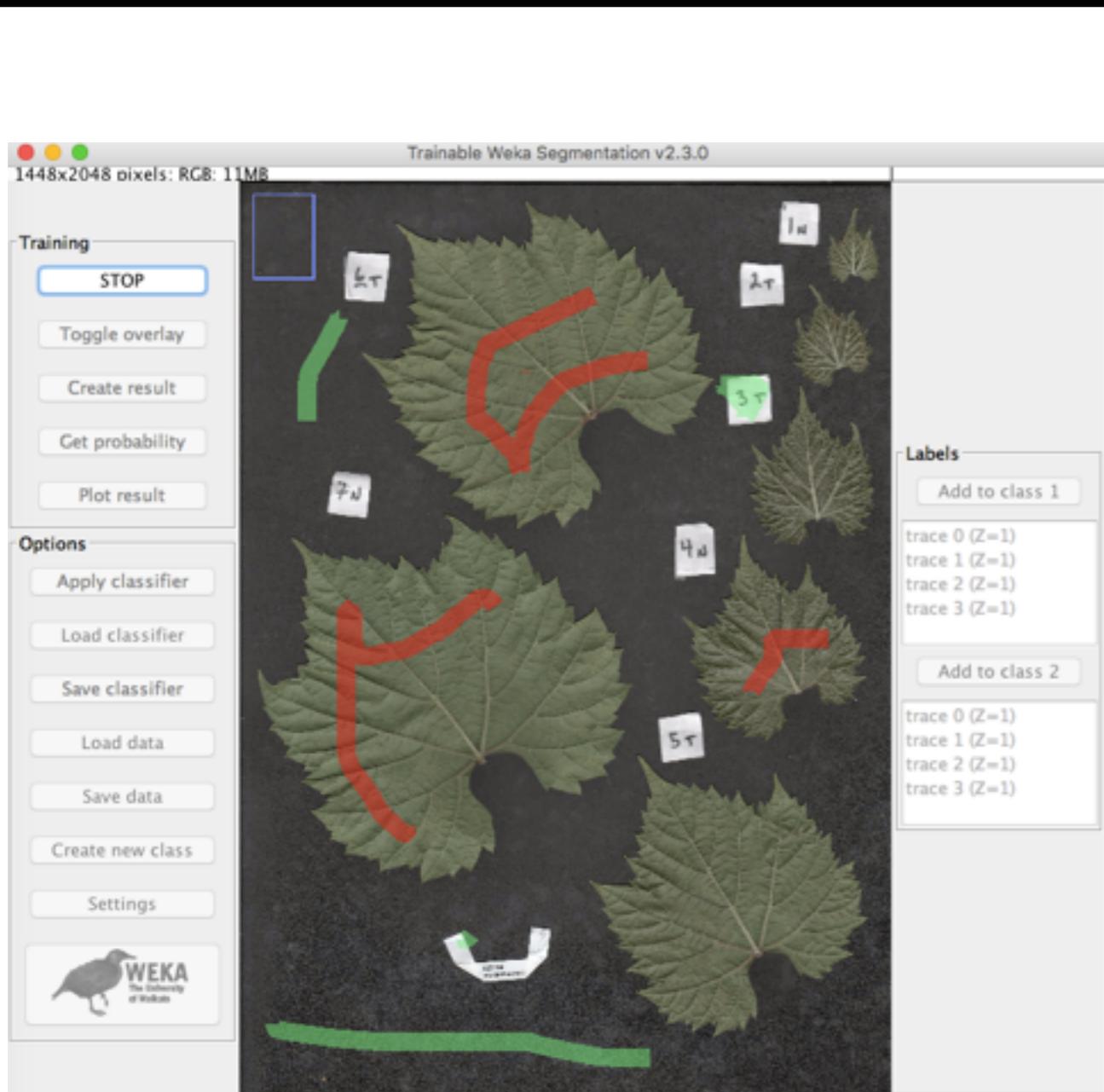
2次元画像処理

Jupyter Notebook^

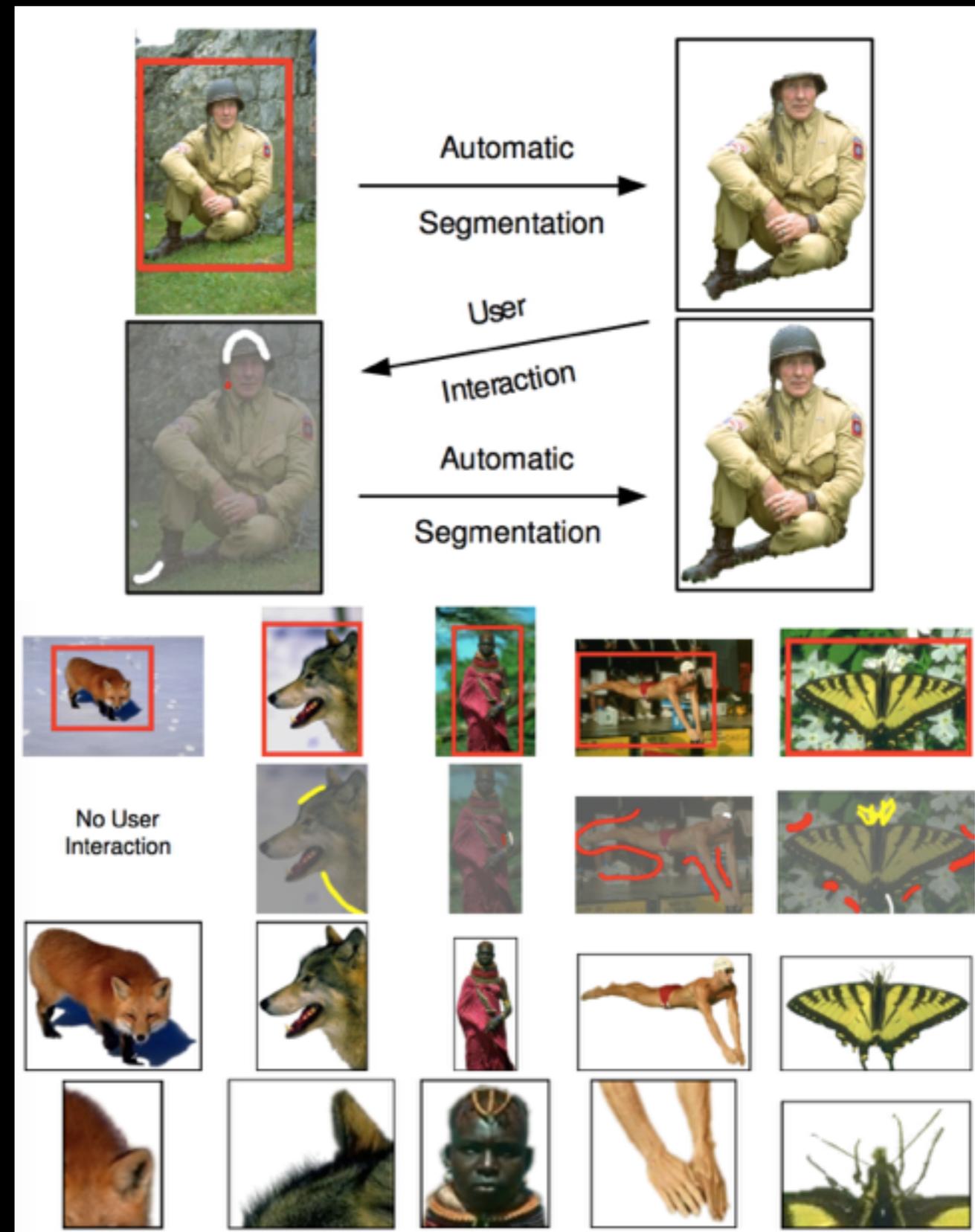
領域分割・マスク

機械学習 Grabcut

Rother et al. (2004)



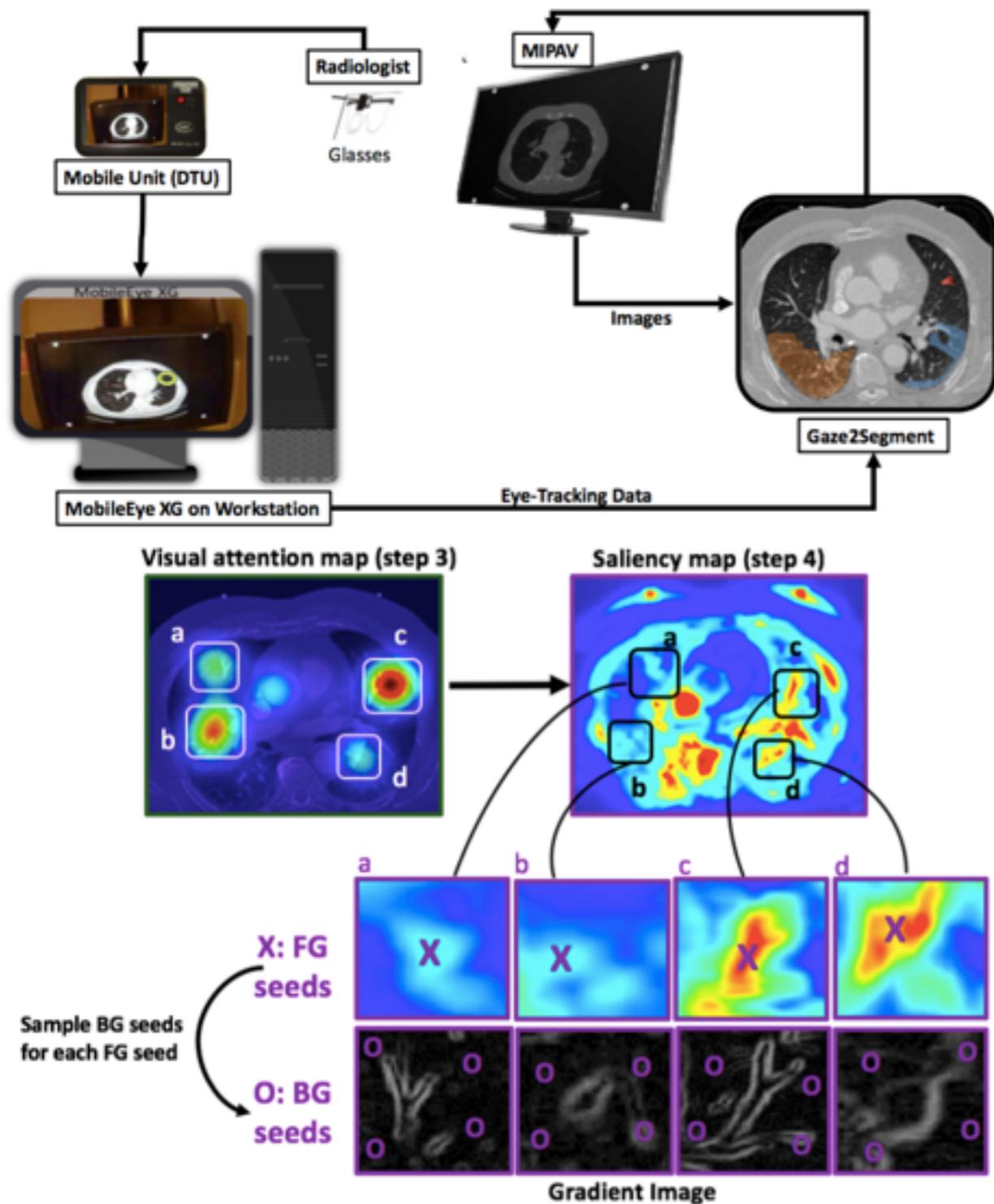
ImageJのプラグインが利用可能



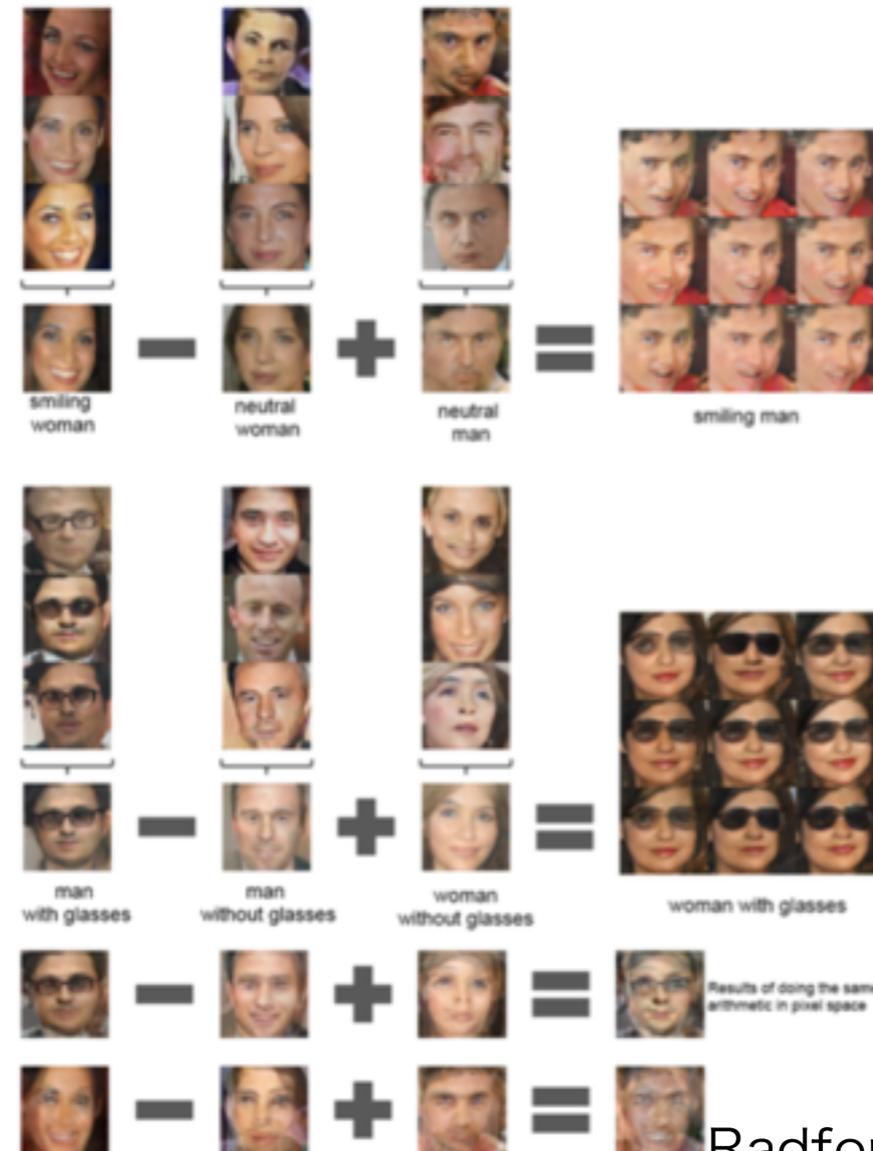
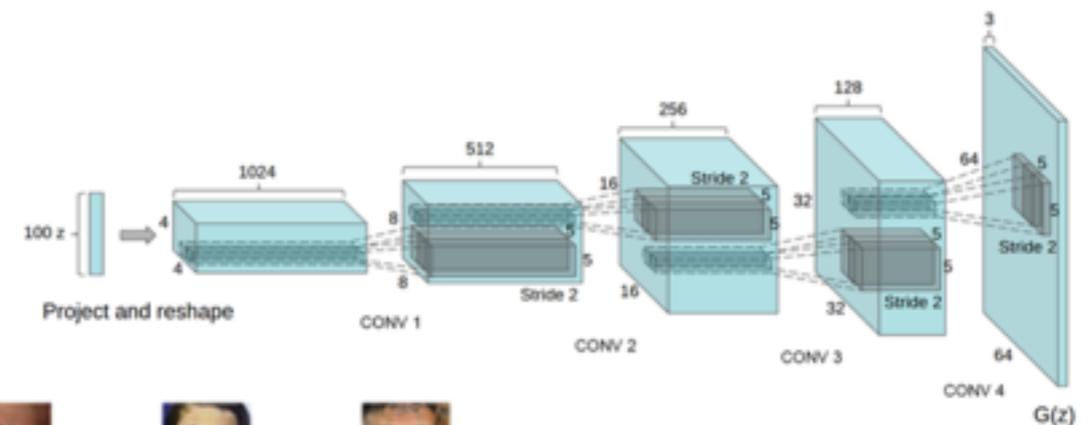
最近の研究や応用例

画像診断

深層学習による画像生成



Khosravan et al. (2016)



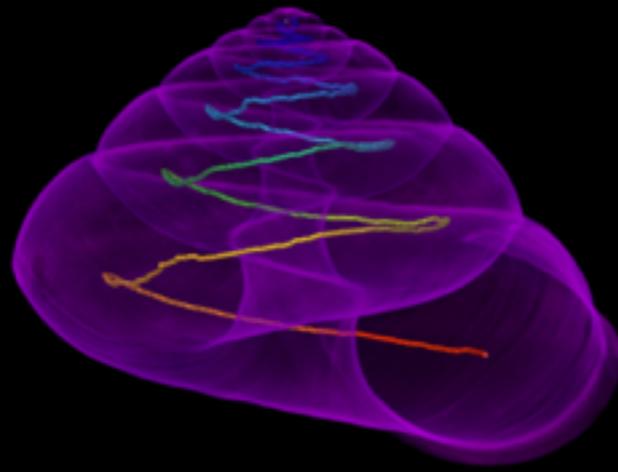
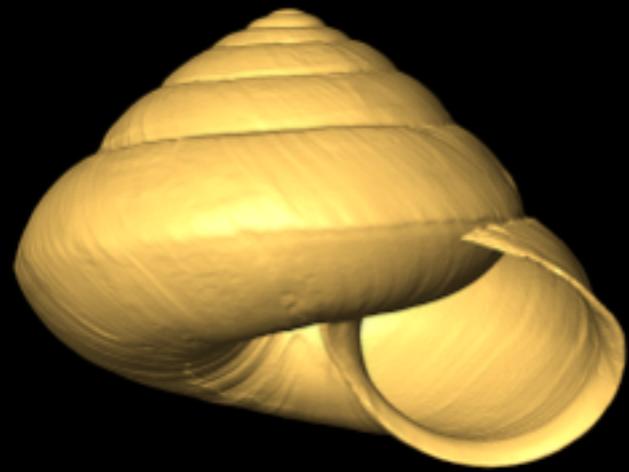
Radford et al. (2016)

3次元画像処理

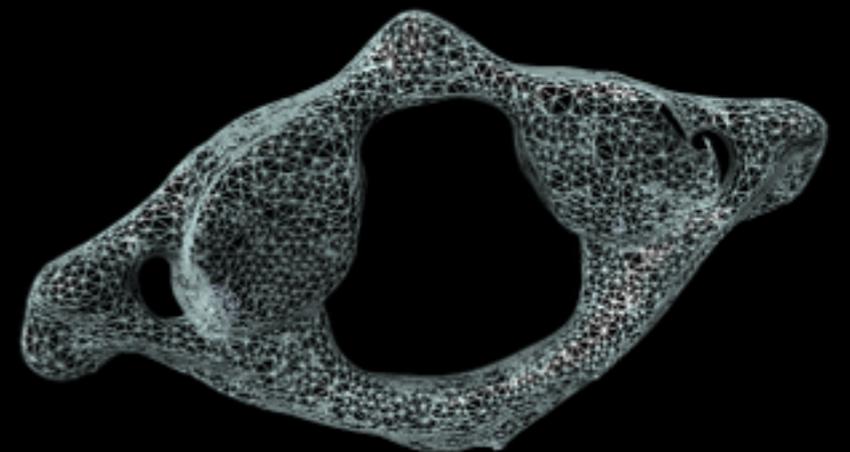
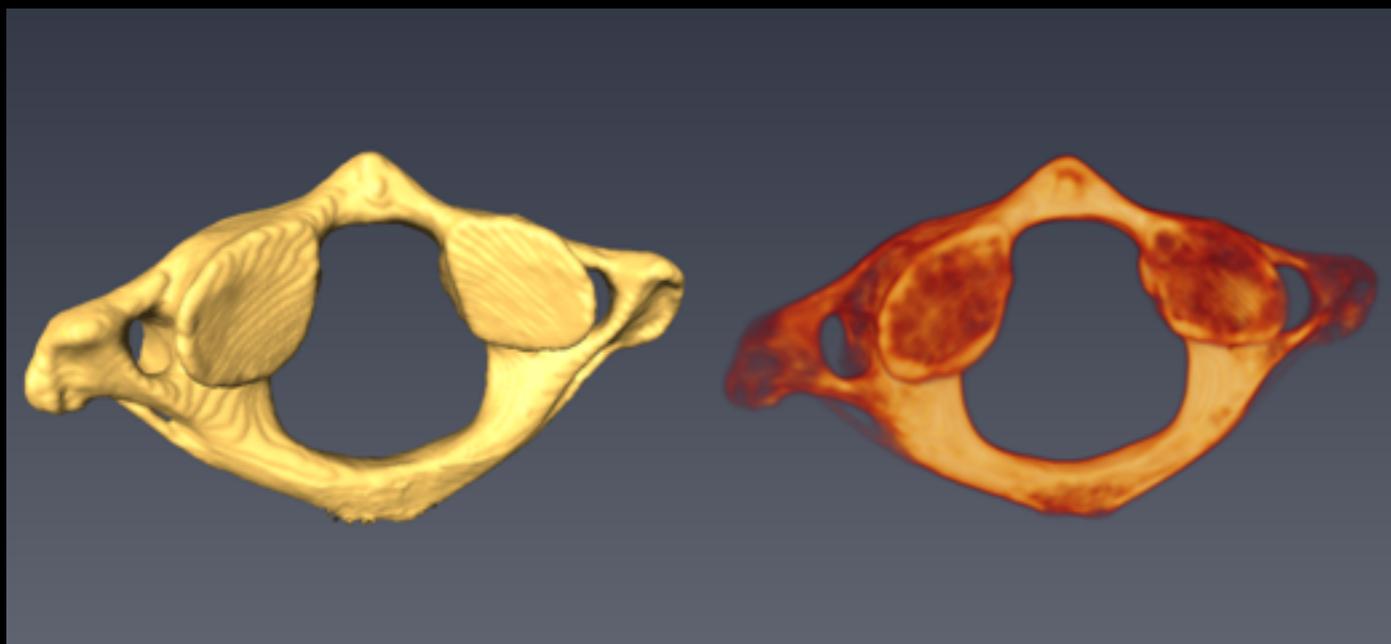
データの種類

点群

ボリューム

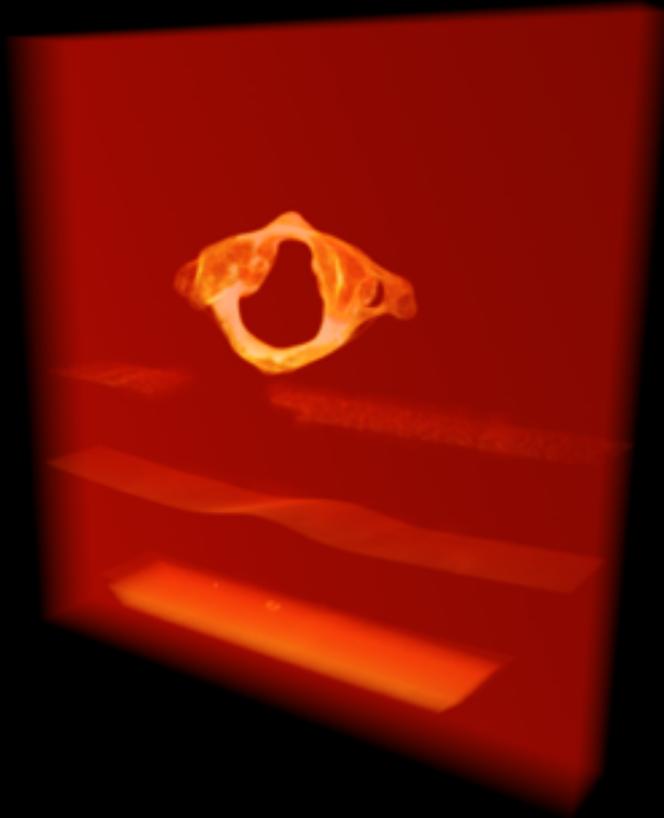


メッシュ

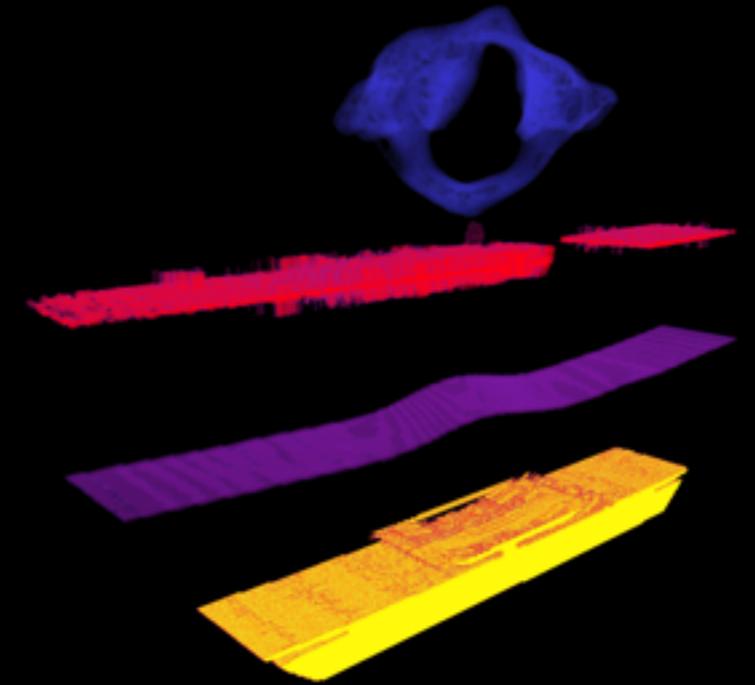


領域分割

CTデータ

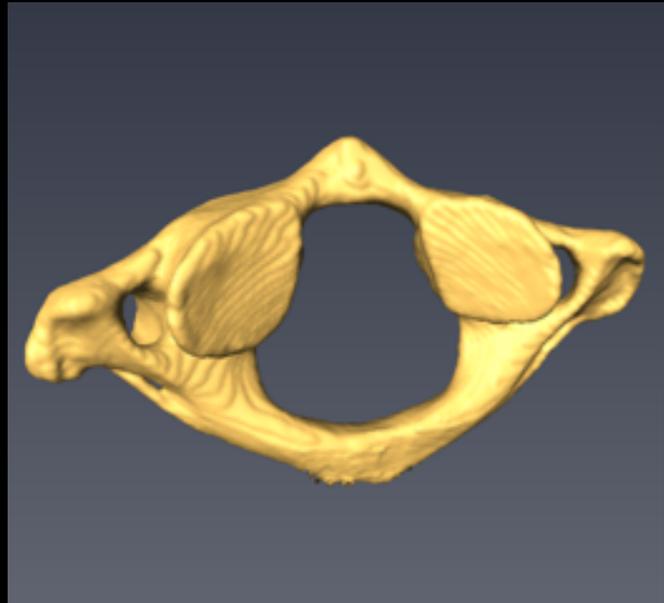


各部位に分割

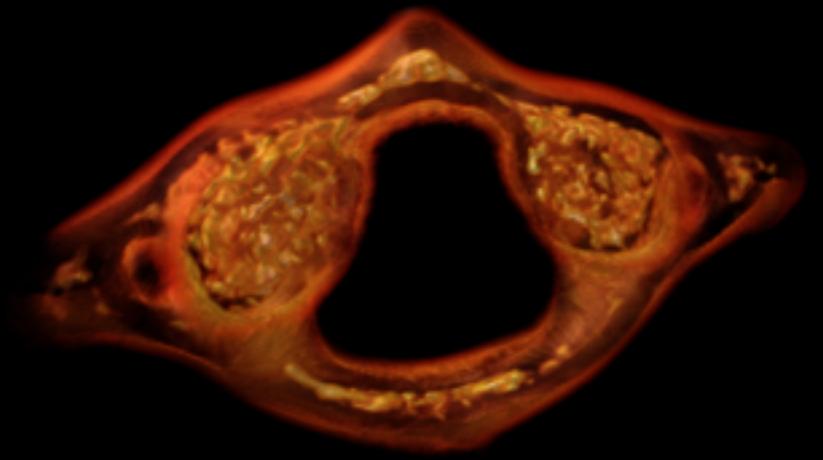


- ・ ガウシアンフィルタ
- ・ 閾値処理
- ・ 接続領域の抽出

個別の部位

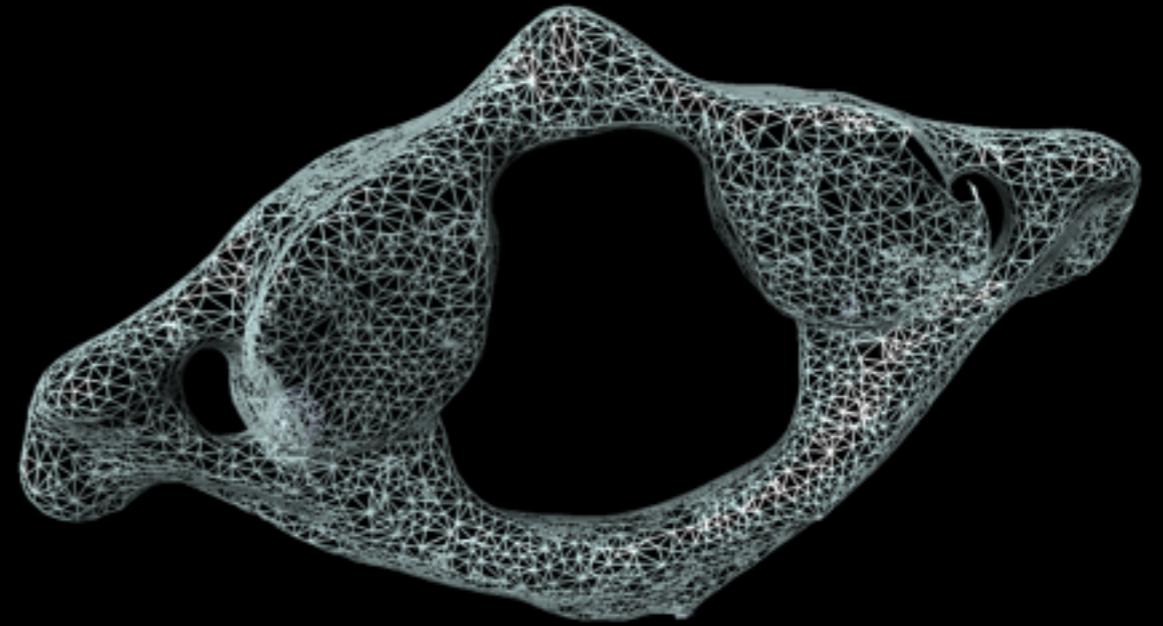
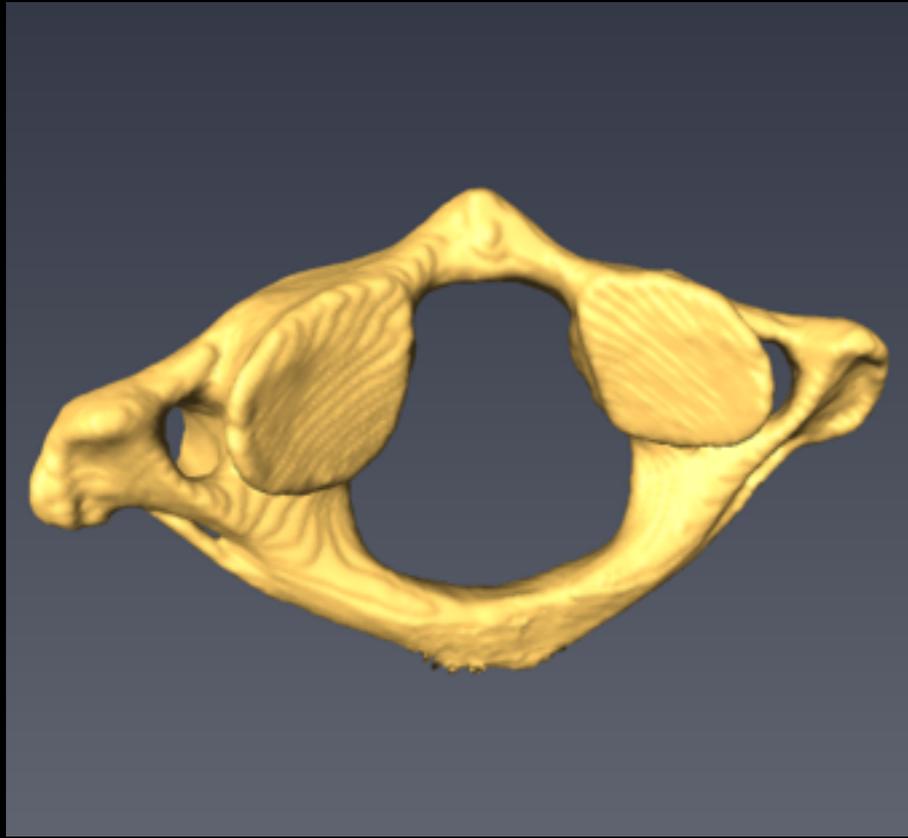


各構造に分割

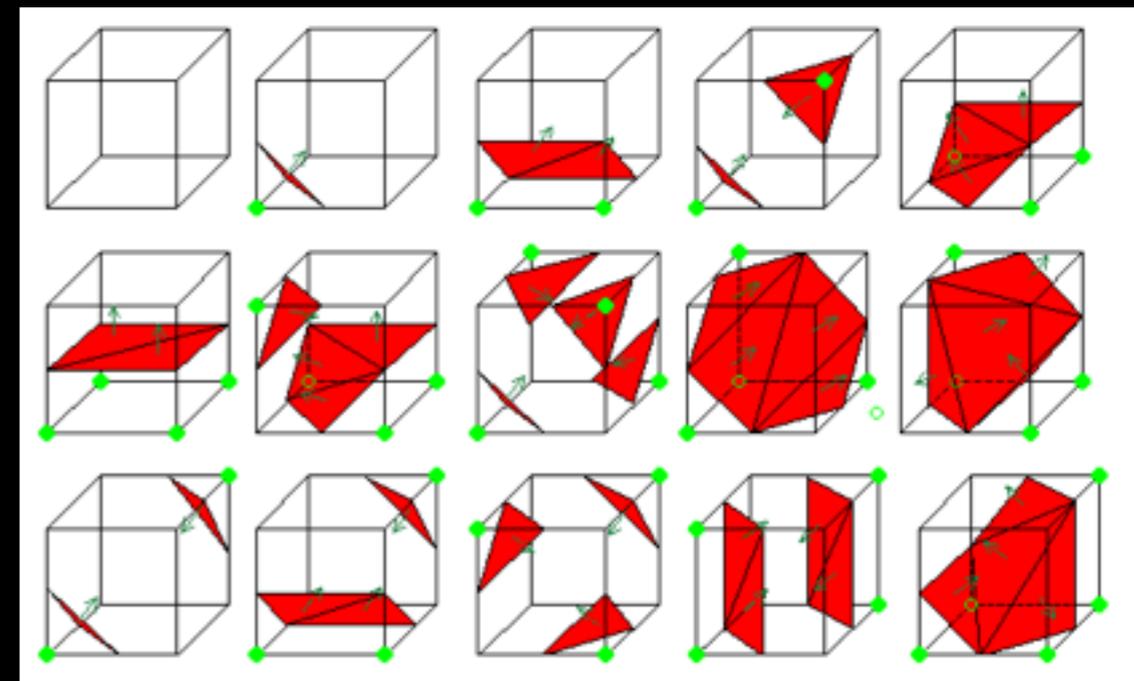


- ・ ガウシアンフィルタ
- ・ 画像間の差分

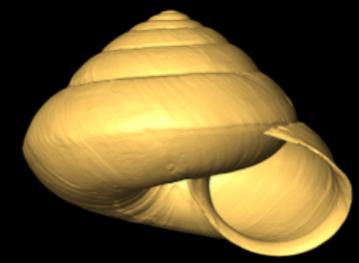
表面メッシュ生成



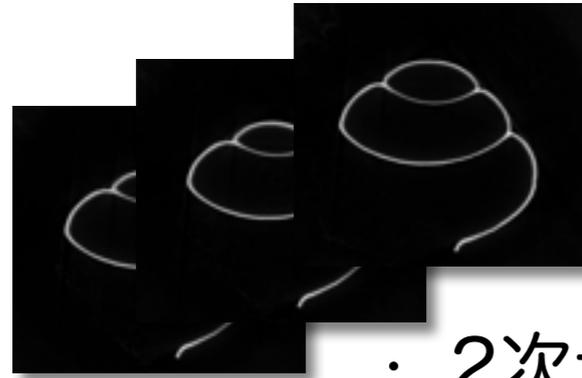
- ・マーチングキューブアルゴリズム
- ・ラッパーアルゴリズム



腹足類殻の例

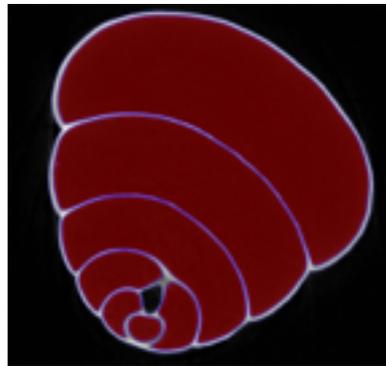


CTデータの取得



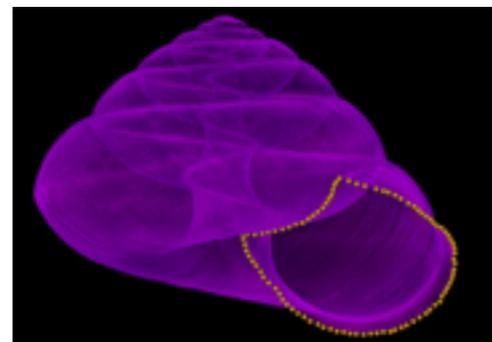
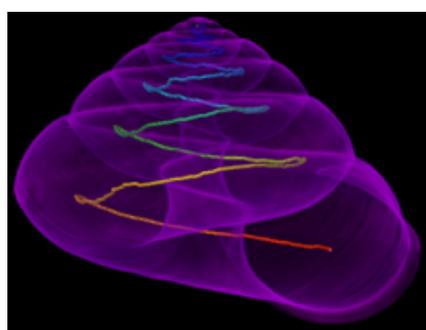
・ 2次元画像の集合

領域分割

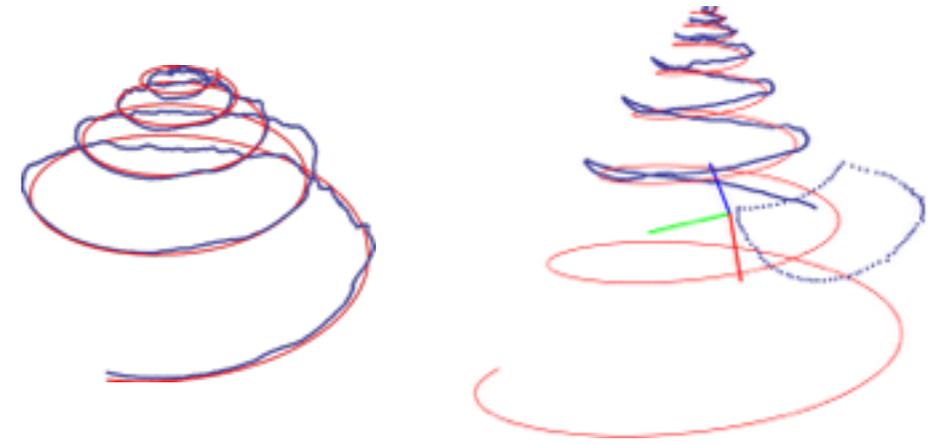


- ・ 殻
- ・ 殻口
- ・ 内部
- ・ その他

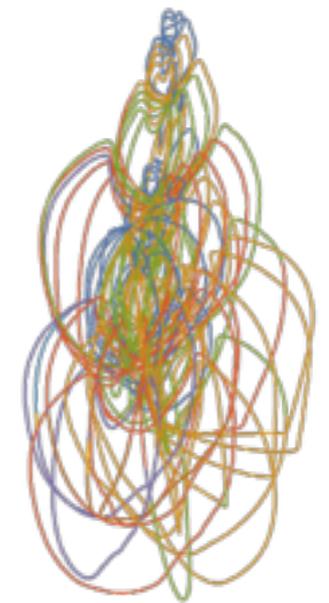
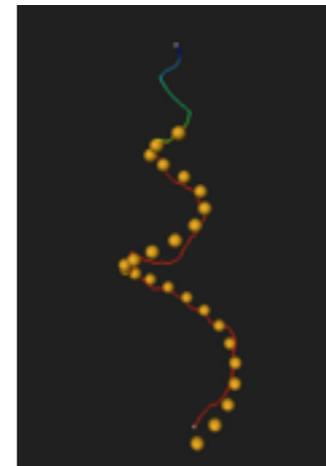
スケルトン化・殻口デジタイジング



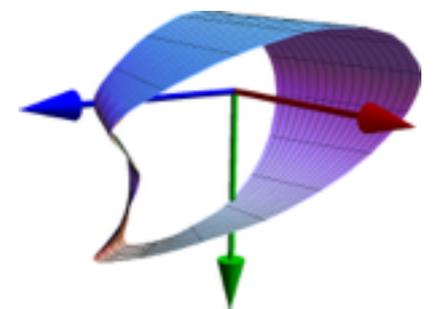
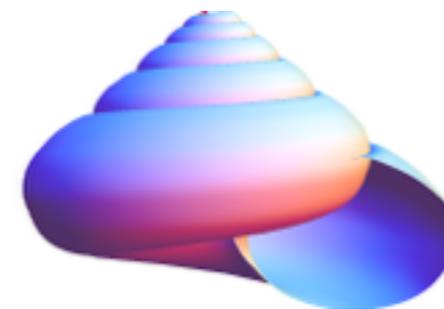
成長軌道と殻口位置の推定



殻口形状の自動計測

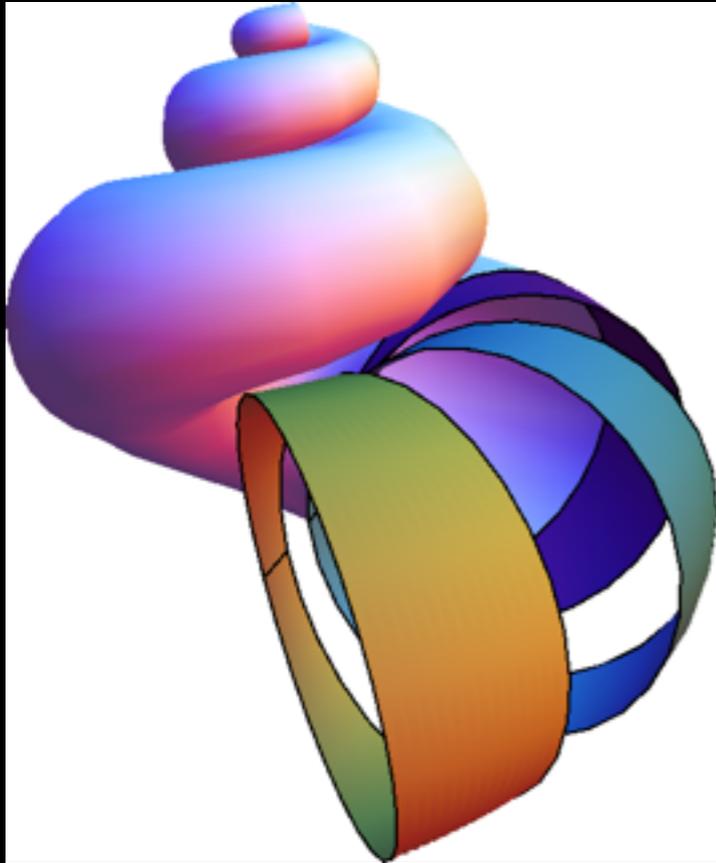


成長勾配の推定



腹足類の殻成長

付加成長



成長線



外套膜

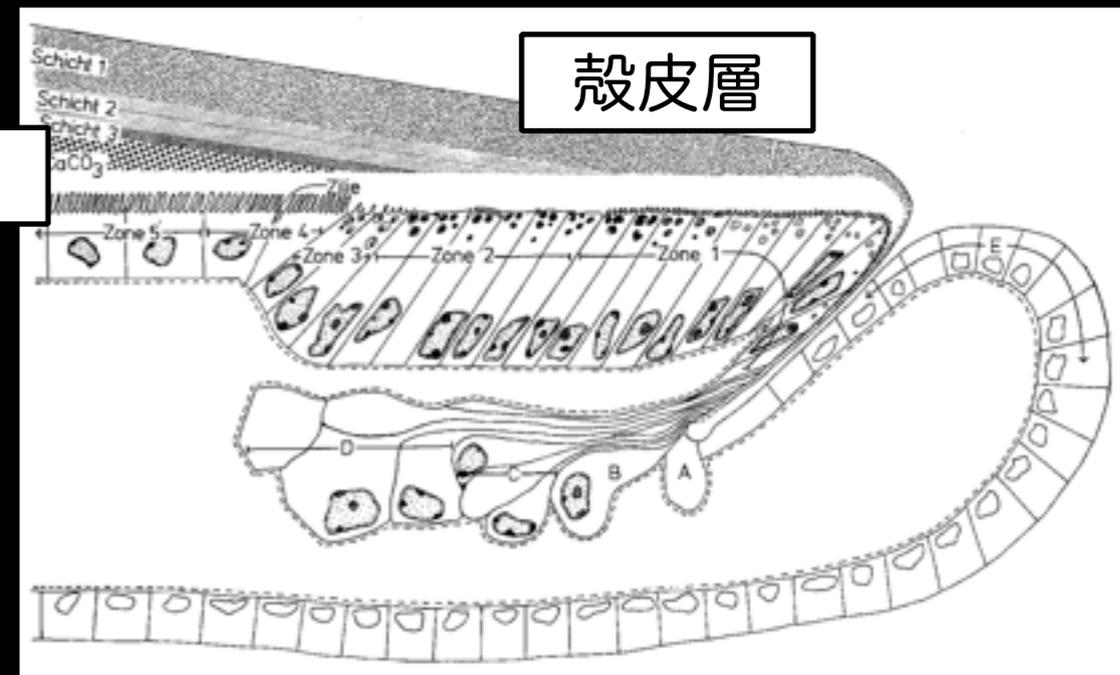


佐々木 (2010)

外套膜縁

外套膜縁で貝殻結晶を次々と付加することで殻が成長する

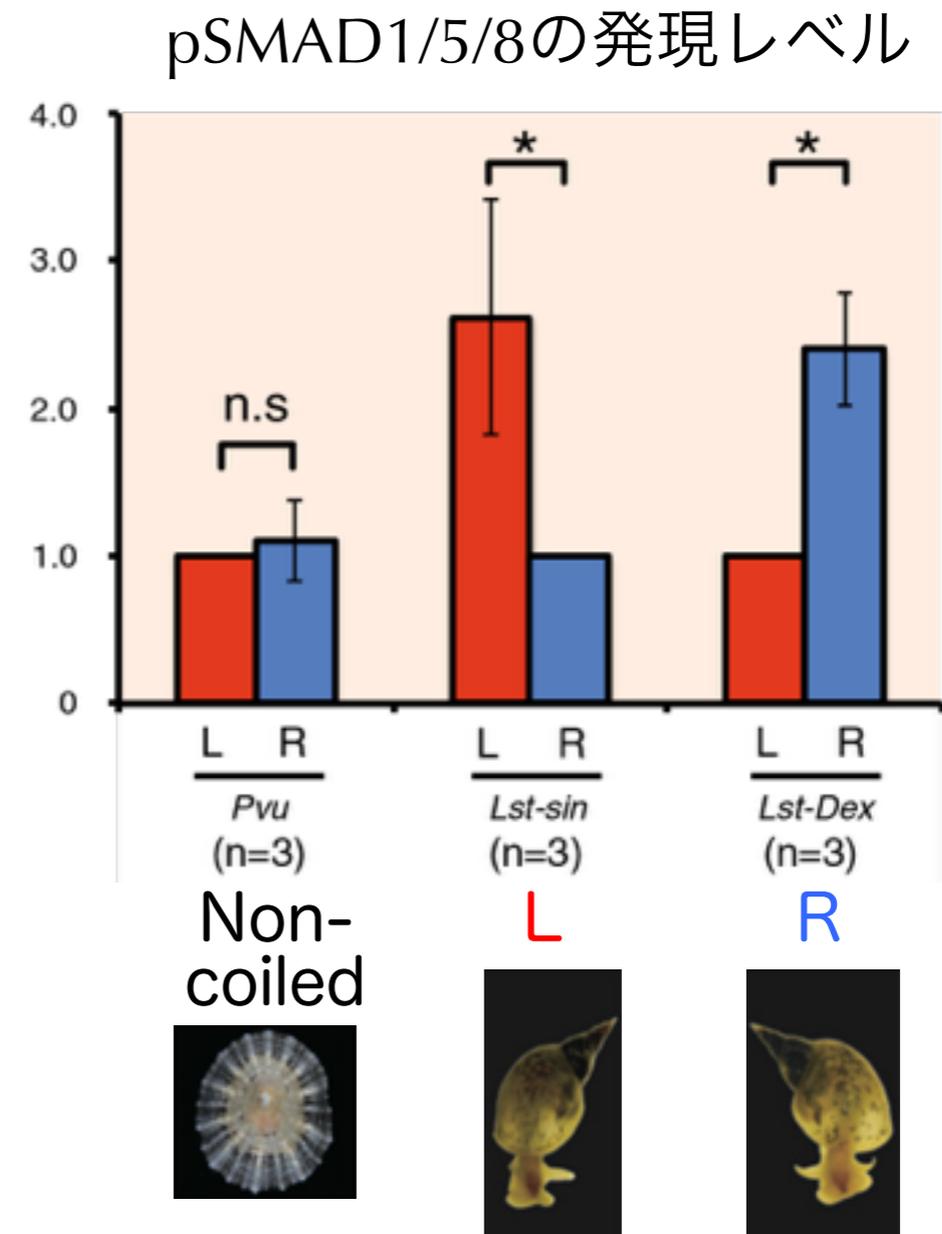
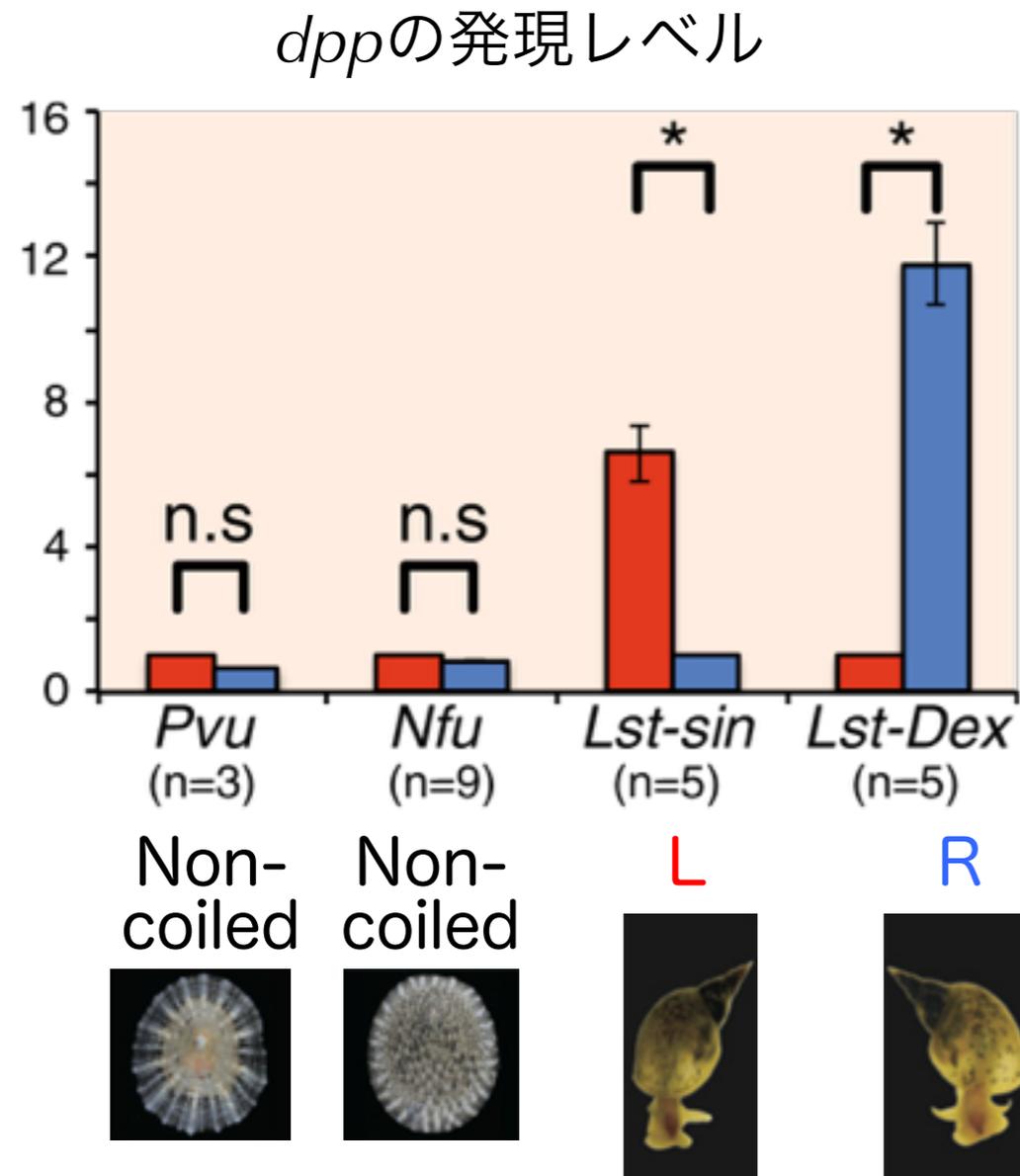
殻層



Kniprath (1972)

Dppが成長勾配を制御している？

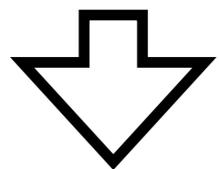
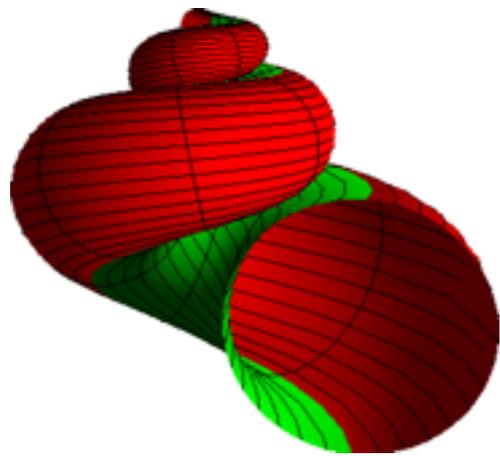
Shimizu *et al.* (2011, 2013)



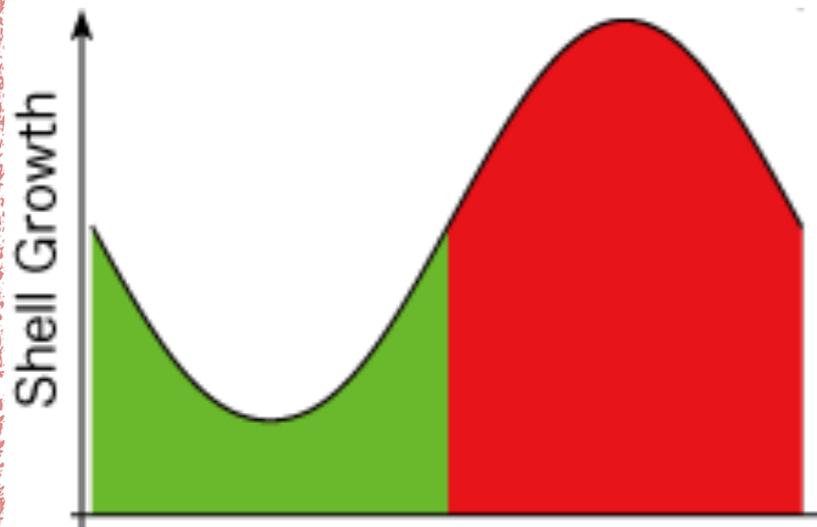
from Shimizu *et al.* (2013)

dpp と pSMAD1/5/8 の外套膜での発現パターンと巻き方向に対応関係がある

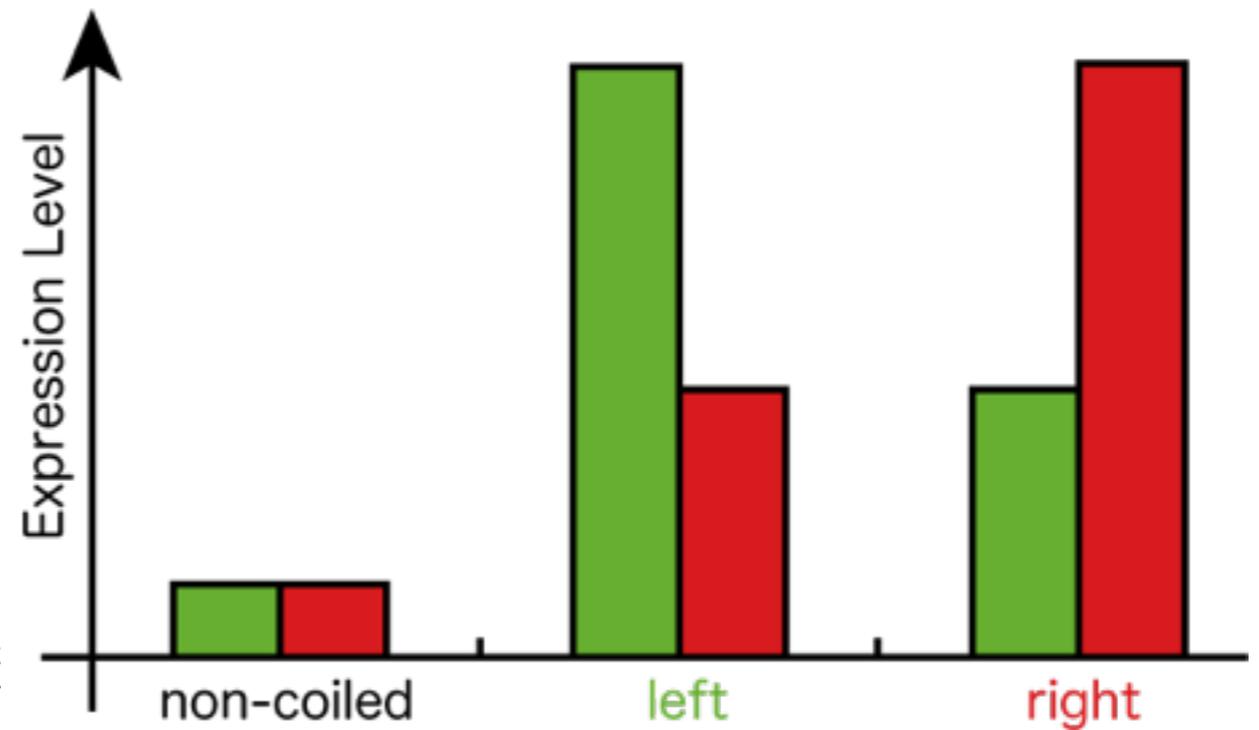
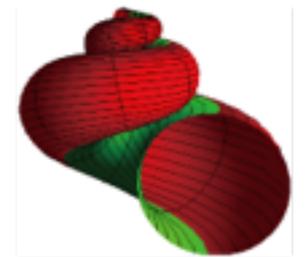
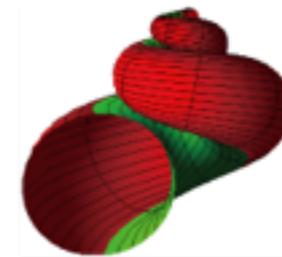
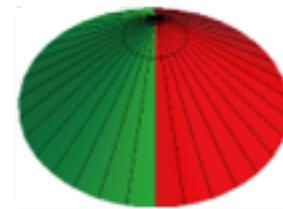
実験データとの比較



成長ベクトルマップの推定

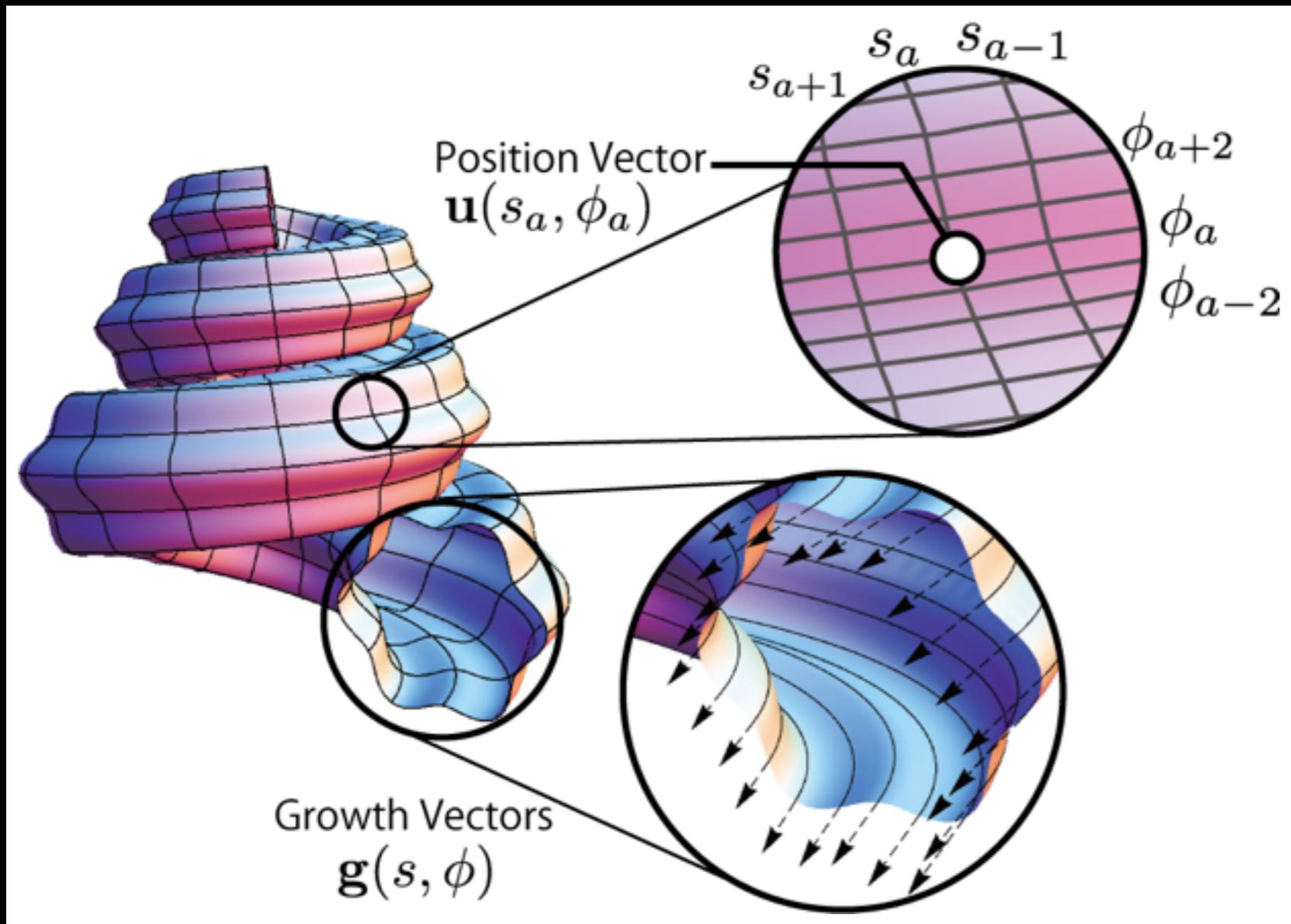


実験データとの比較



Growth Vector Model

Hammer & Bucher (2005)



Growth vector map

$$\mathbf{g}(s, \phi) = \frac{\partial \mathbf{u}(s, \phi)}{\partial s} / r(s)$$

s : "time"

ϕ : parameter of
aperture shape

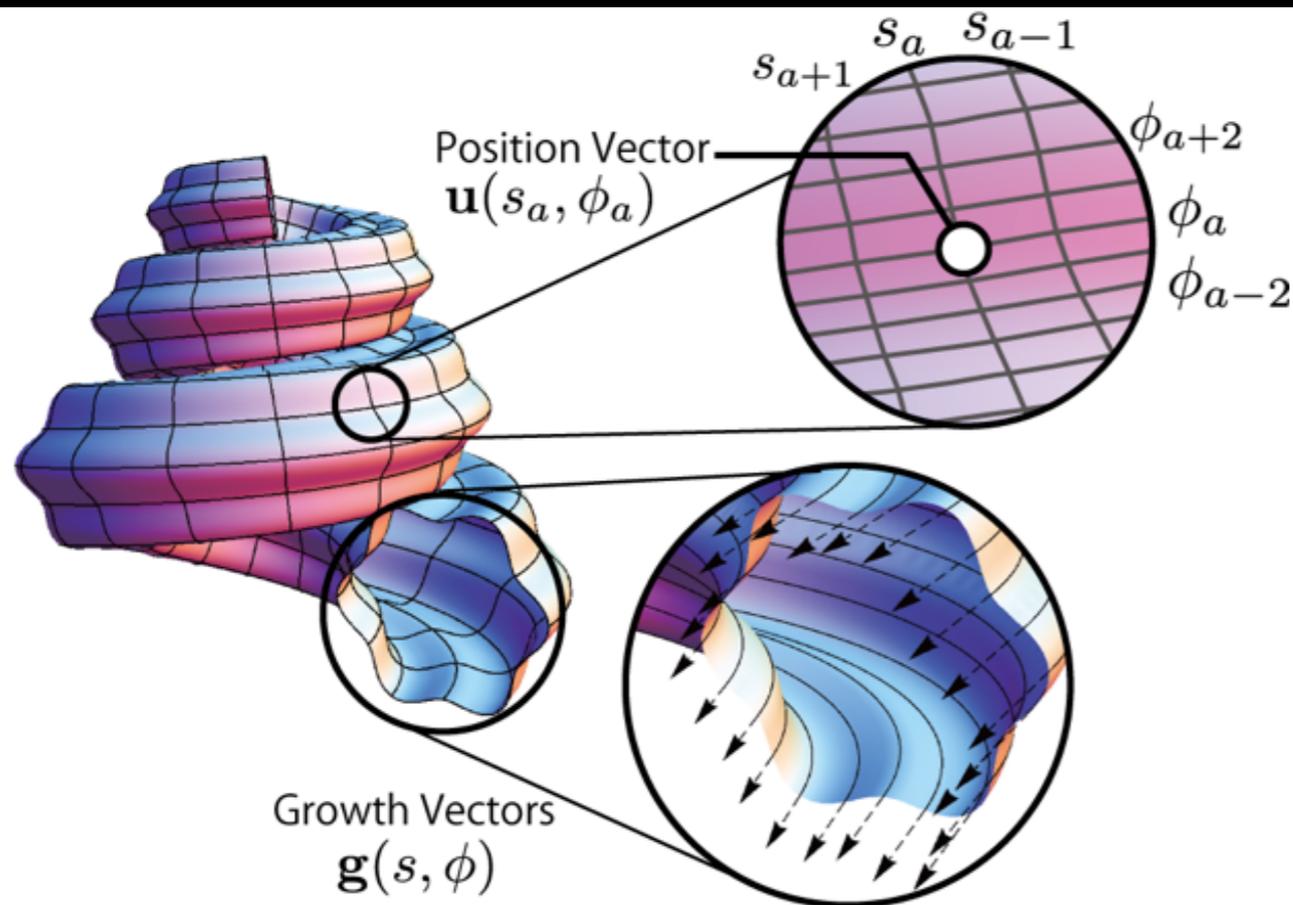
r : aperture size

A pro 付加成長の直接的な記述であるため、あらゆる殻形態（棘や肋なども含む）を表現できる

A con GVMの自由度が高すぎるため、推定が困難

GCVを通してGVMを推定する

Growth Vector Model



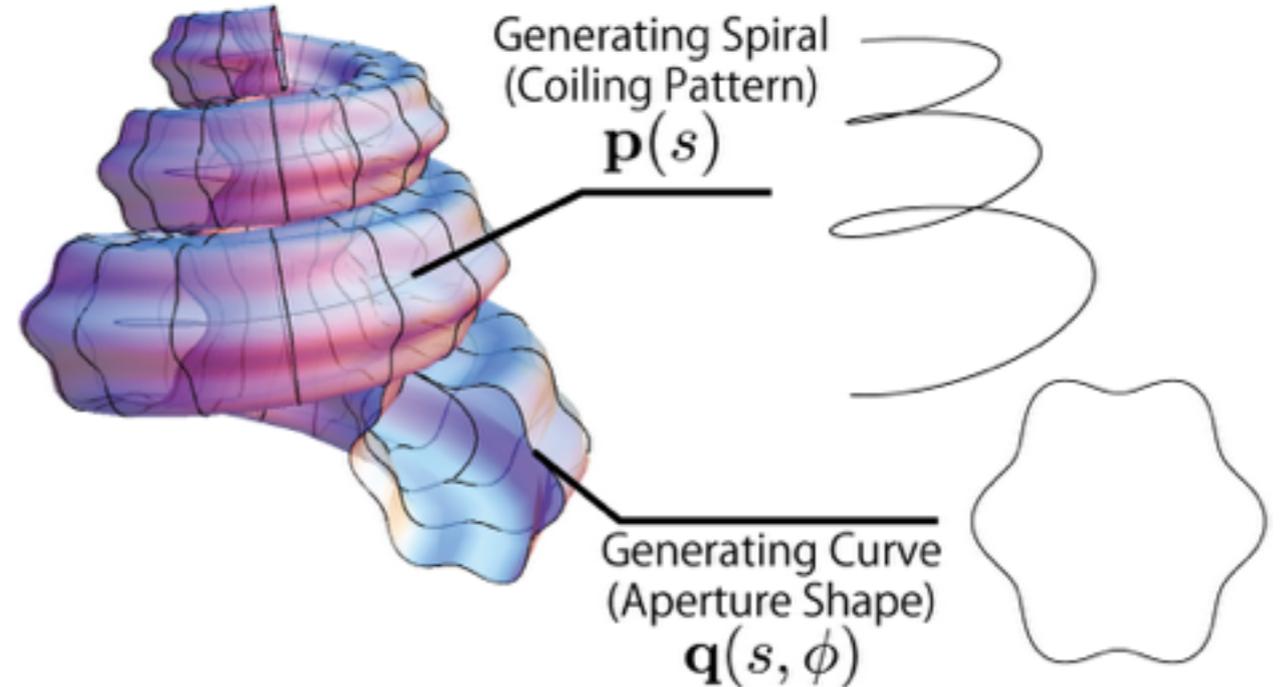
コンセプト

growth vectorの積分として形態を記述

用途

殻口周りでの成長勾配を記述

Generating Curve Model



コンセプト

殻形態はgenerating curveとgenerating spiralに分解できる

用途

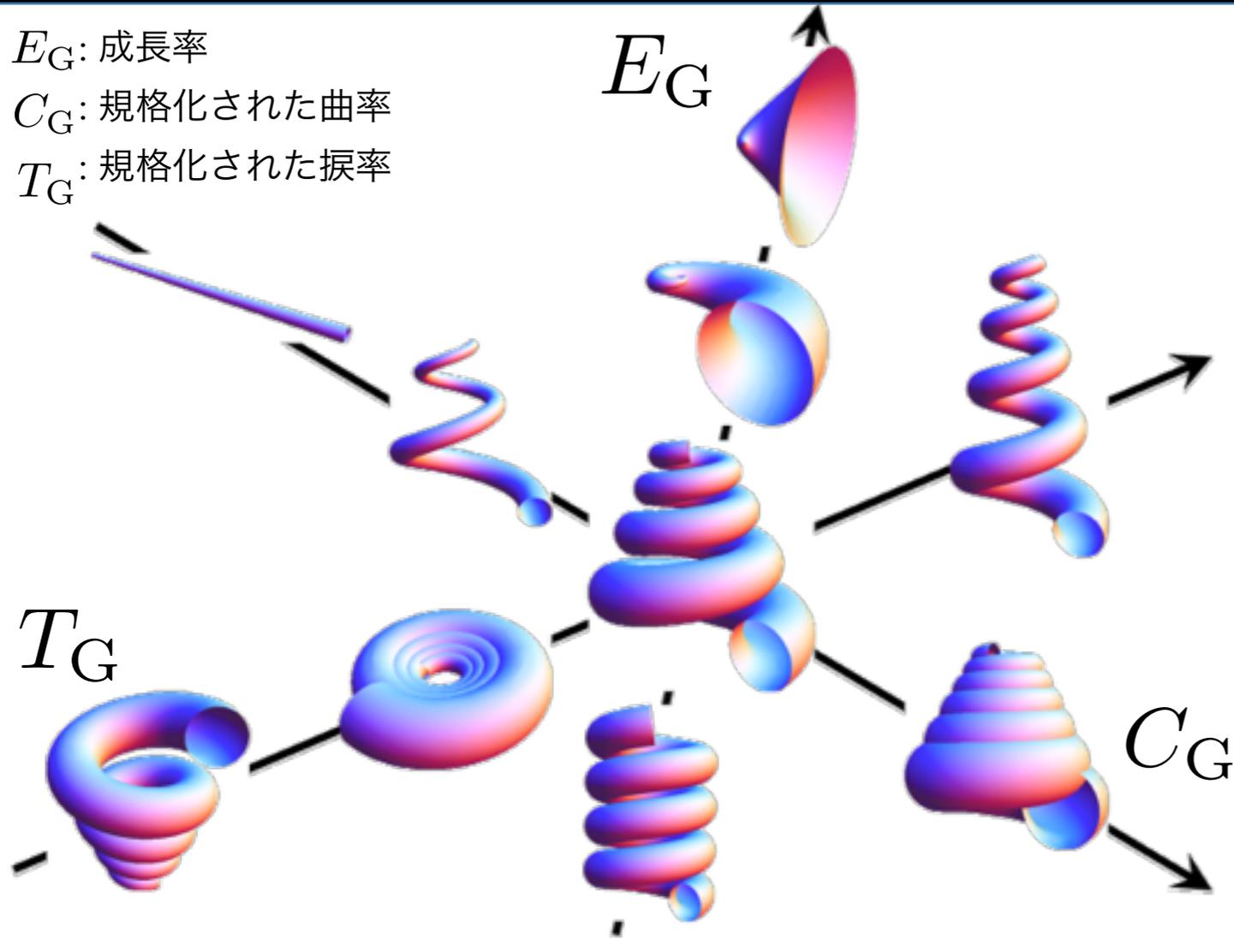
巻きパターンと殻口形状を定量化

GCVを通してGVMを推定する

成長管モデル

Okamoto (1988)

E_G : 成長率
 C_G : 規格化された曲率
 T_G : 規格化された捩率



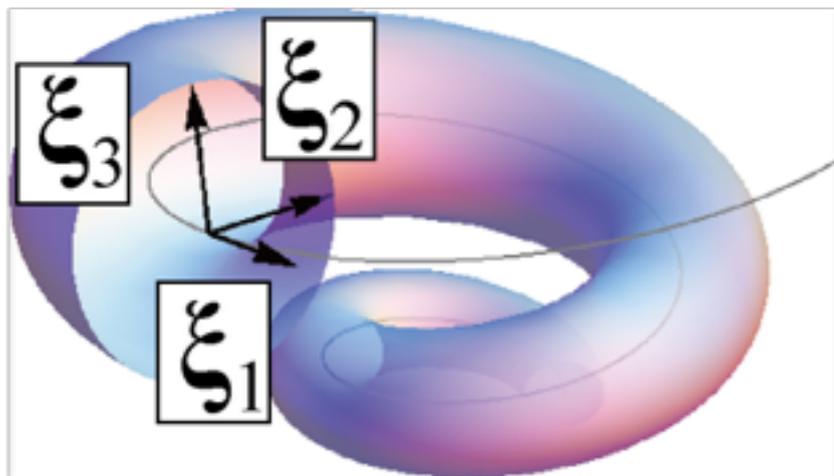
弧長パラメータと成長段階の関係

$$\frac{dl}{ds} = r$$

l : 弧長パラメータ
 r : 螺管の太さ
 s : 成長段階

螺管の成長

$$\frac{dr}{ds} = E_G(s)r(s)$$



$\{\xi_1, \xi_2, \xi_3\}$: Frenet 標構

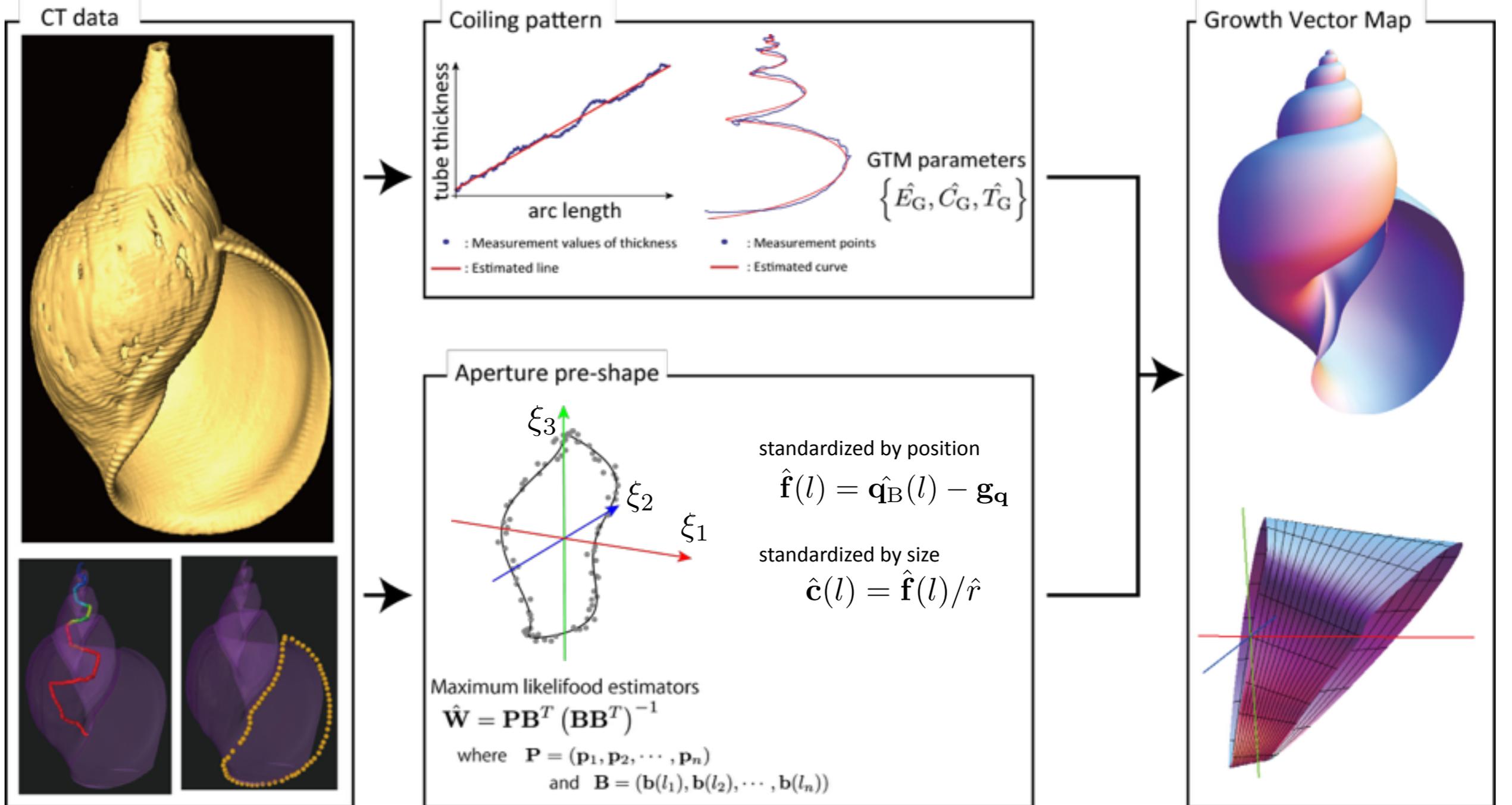
Frenet-Serretの公式

$$\frac{d}{ds} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & C_G(s) & 0 \\ -C_G(s) & 0 & T_G(s) \\ 0 & -T_G(s) & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix}$$

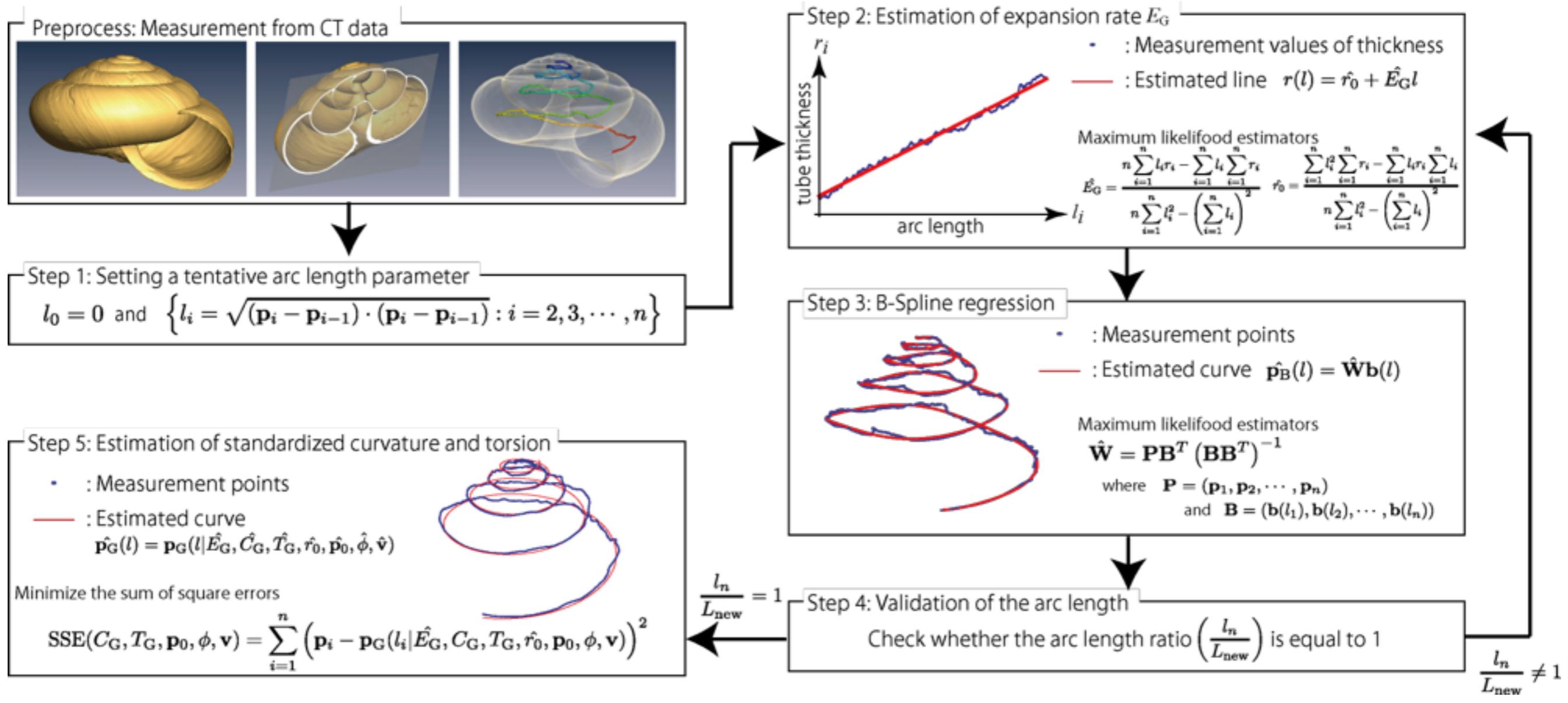
代表点の軌道

$$\mathbf{p}_G(s) = \mathbf{p}_0 + \int_0^s r(s') \xi_1(s') ds'$$

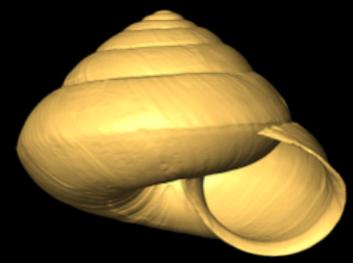
GVMの推定手順



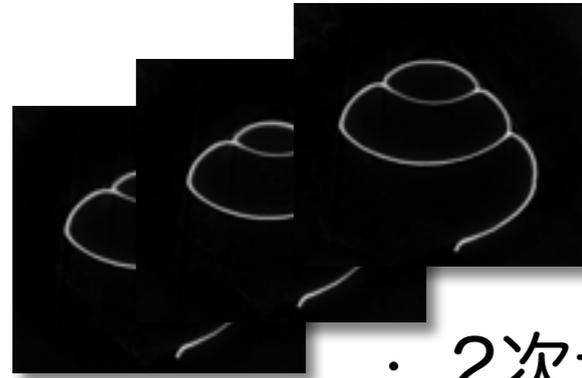
Scheme



腹足類殻の例

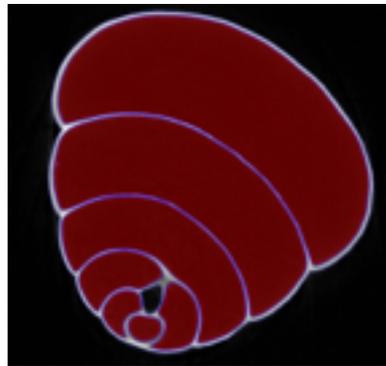


CTデータの取得



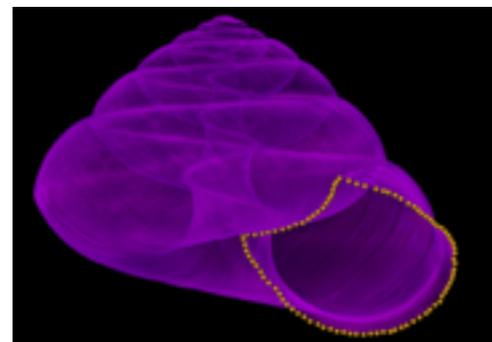
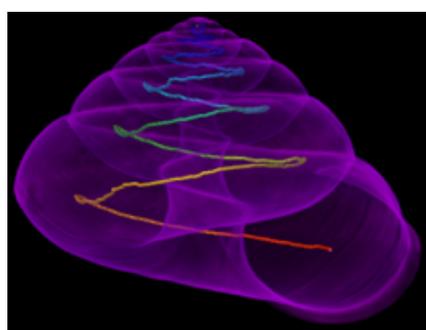
・ 2次元画像の集合

領域分割

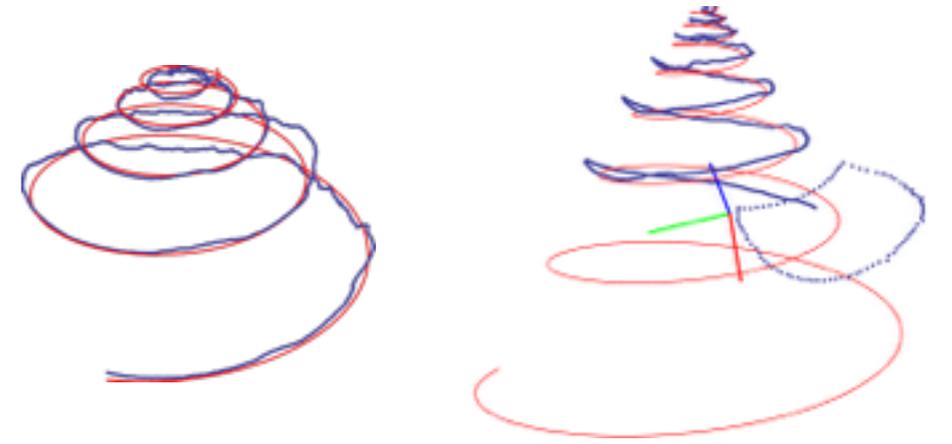


- ・ 殻
- ・ 殻口
- ・ 内部
- ・ その他

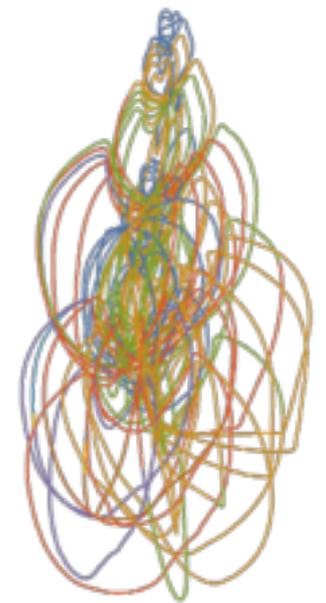
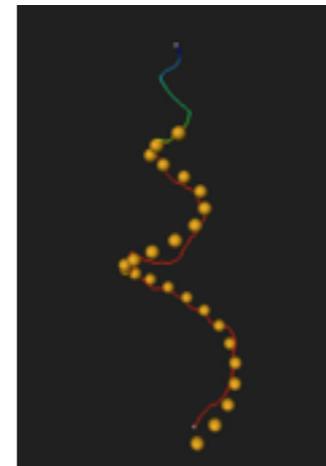
スケルトン化・殻口デジタイジング



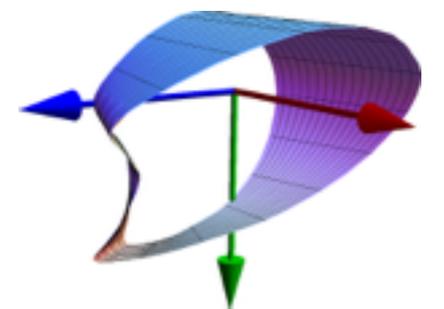
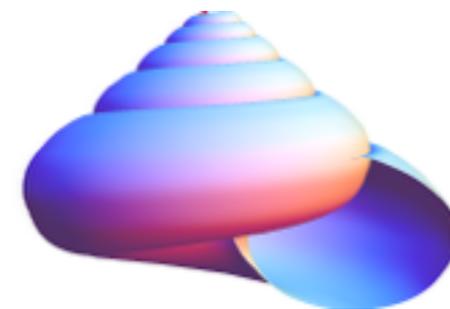
成長軌道と殻口位置の推定



殻口形状の自動計測



成長勾配の推定



成長管モデル + 殻口形状 → GVM

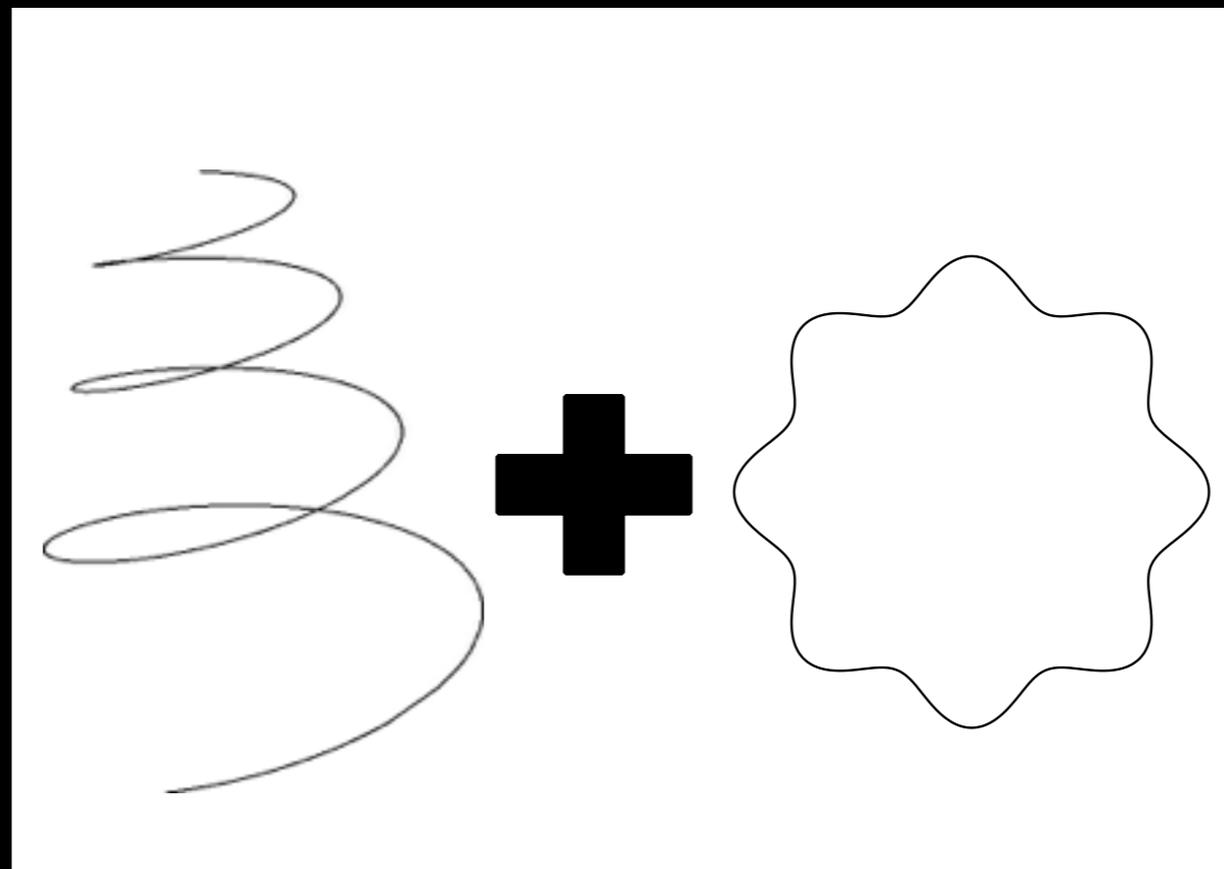
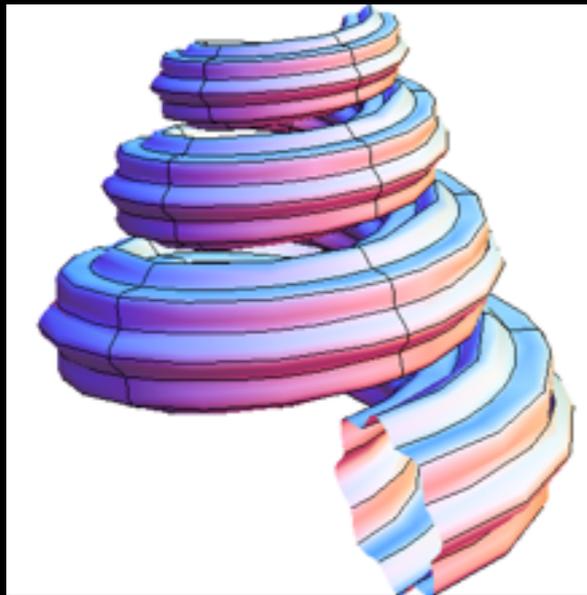
Growth vector map

$$\mathbf{g}(s, \phi) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{d}{ds} \begin{pmatrix} c_1(s, \phi) \\ c_2(s, \phi) \\ c_3(s, \phi) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_G(s) & -C_G(s) & 0 \\ C_G(s) & E_G(s) & -T_G(s) \\ 0 & T_G(s) & E_G(s) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1(s, \phi) \\ c_2(s, \phi) \\ c_3(s, \phi) \end{pmatrix}$$

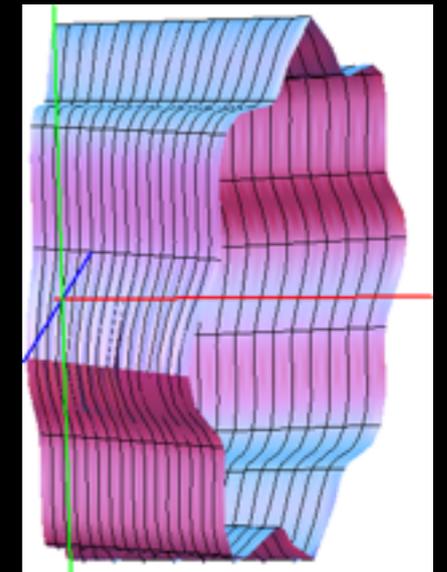
巻きパターン

殻口形状

殻形状



成長勾配



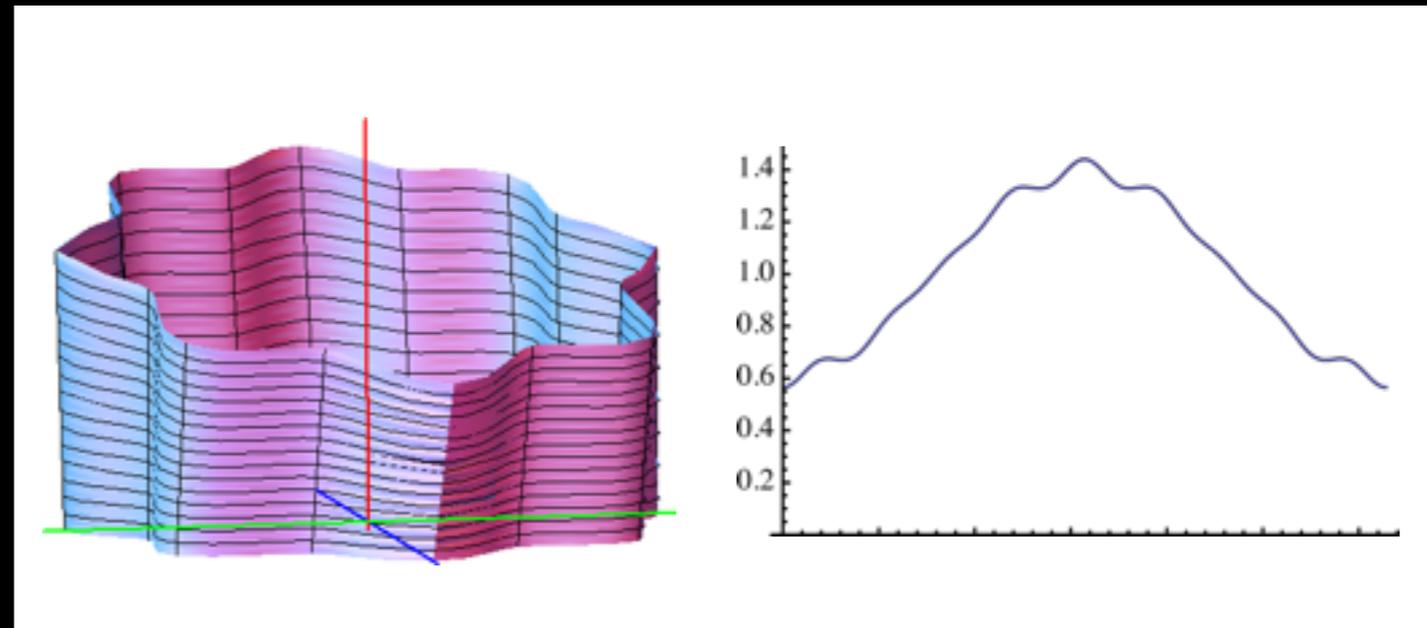
Aperture Map

Rice (1998)

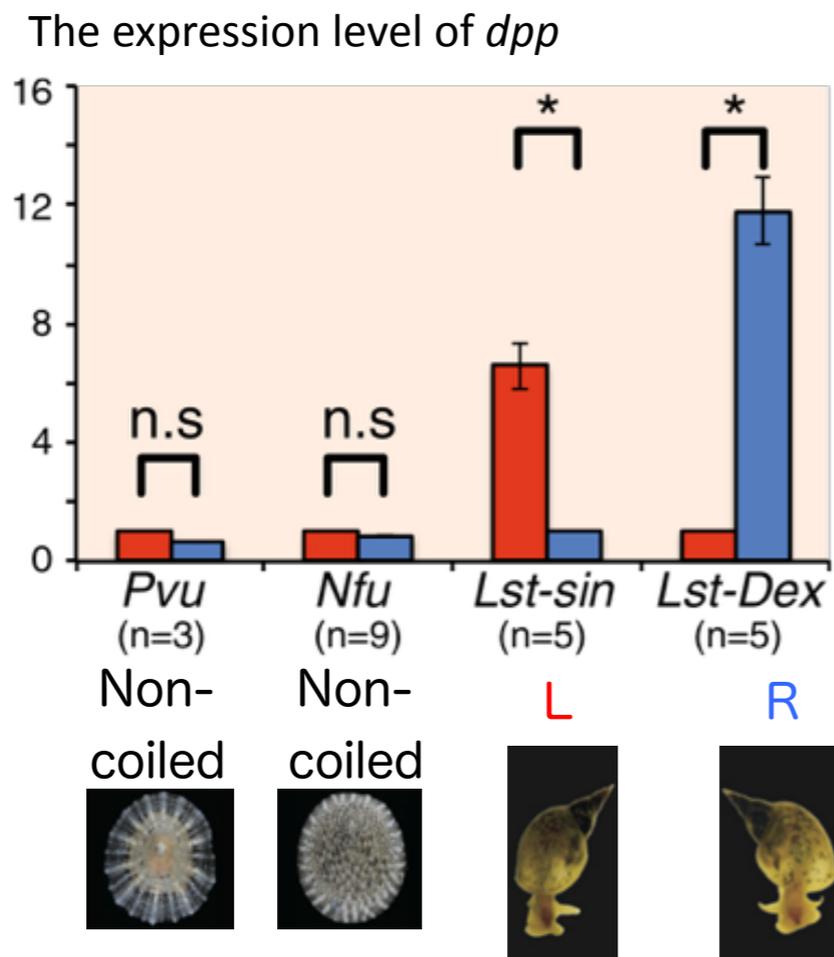
Aperture map

$$a(s, \phi) = |\mathbf{g}(s, \phi)|$$

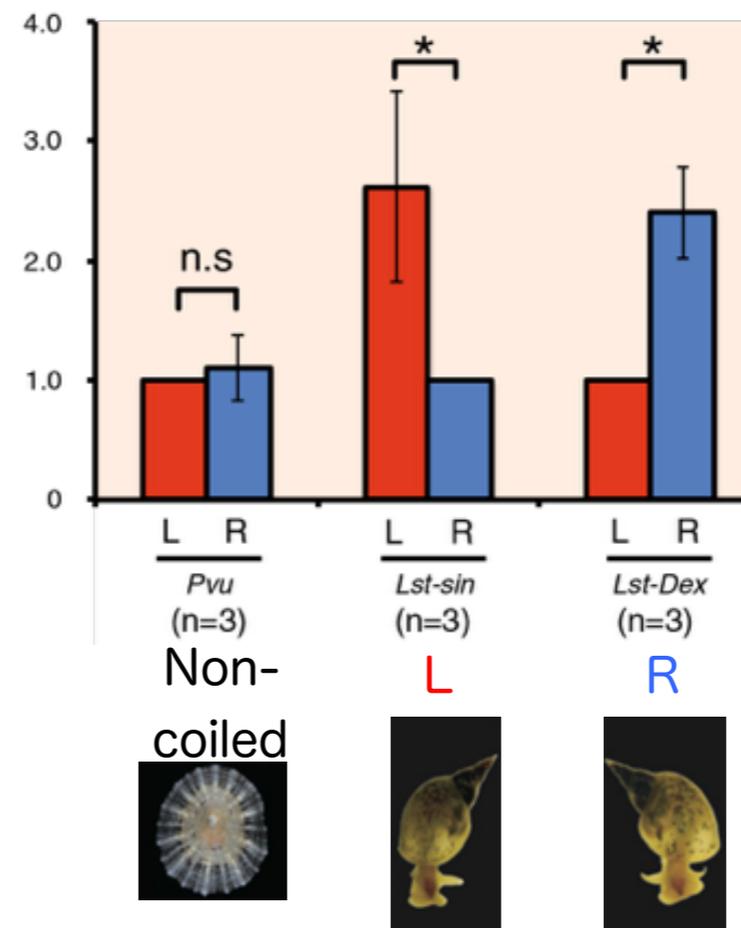
GVMのノルム



実験データとの比較



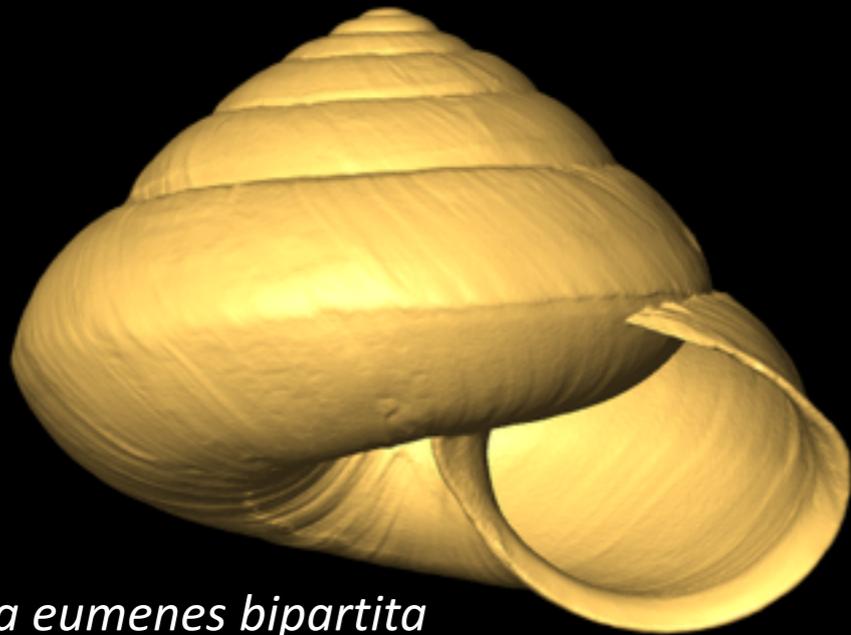
The expression level of pSMAD1/5/8



from Shimizu *et al.* (2013)

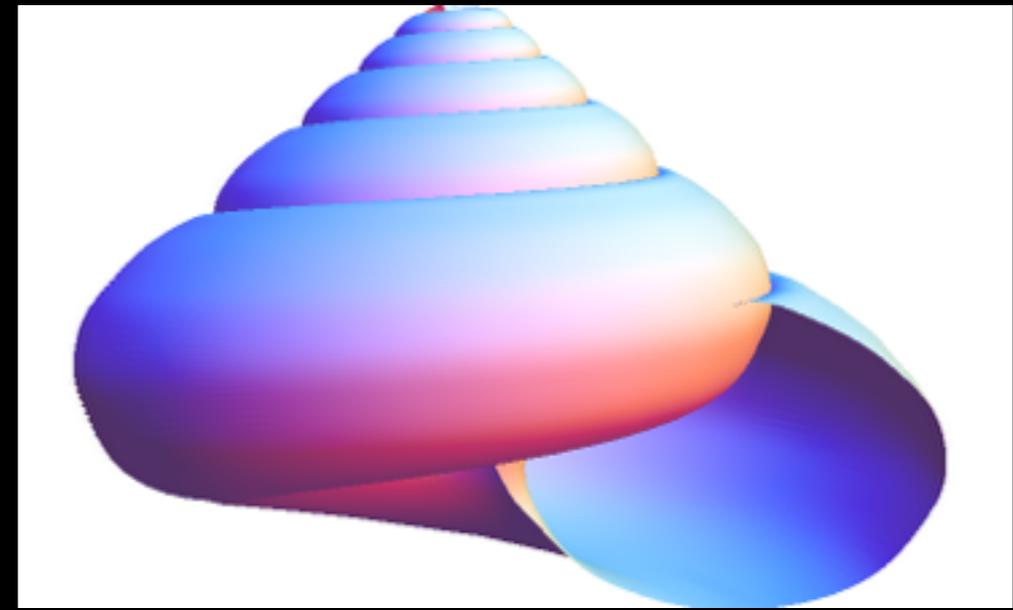
実際のデータを用いた推定結果

CT data

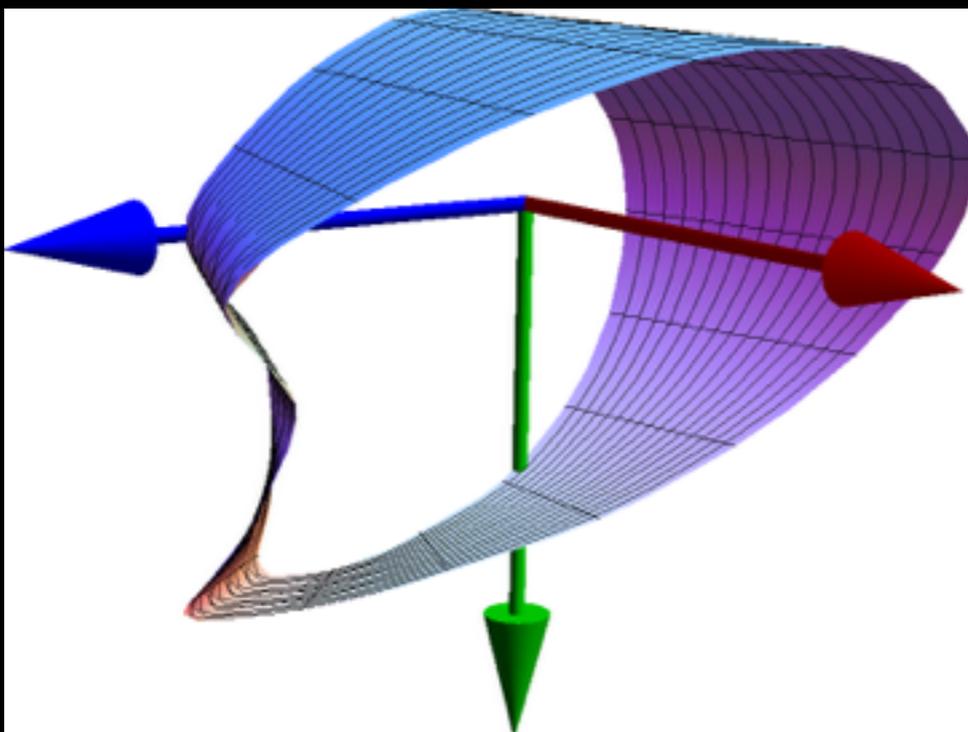


Trishoplita eumenes bipartita

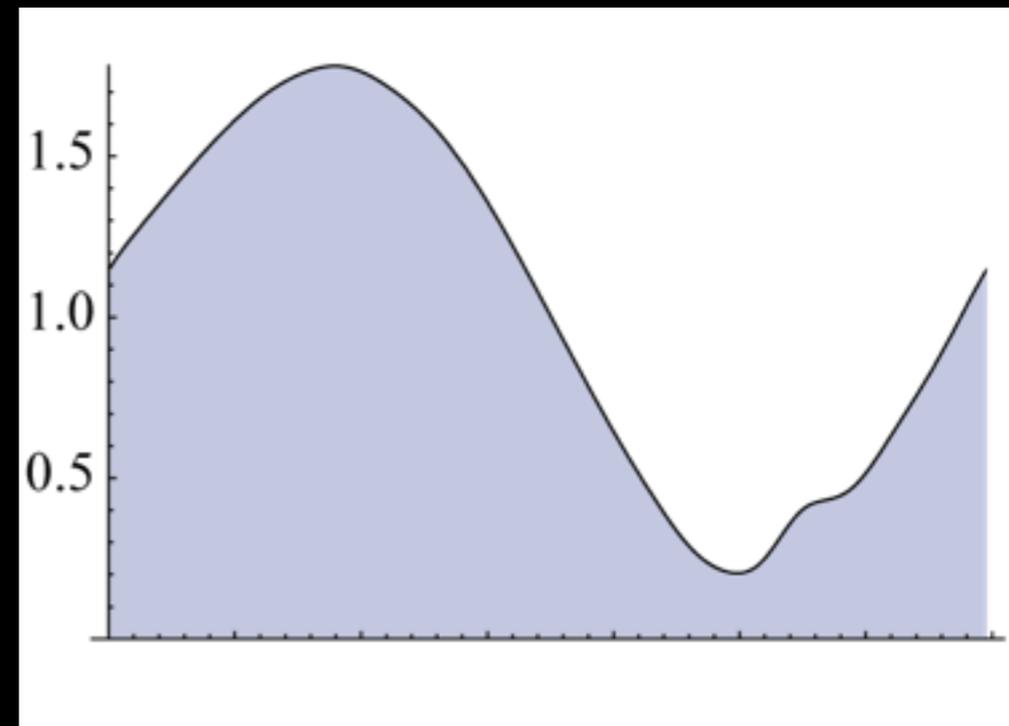
Estimated Shape



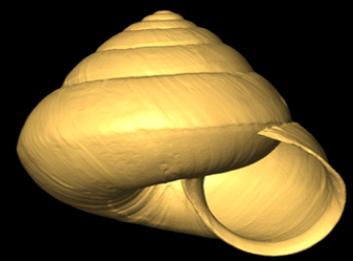
GVM



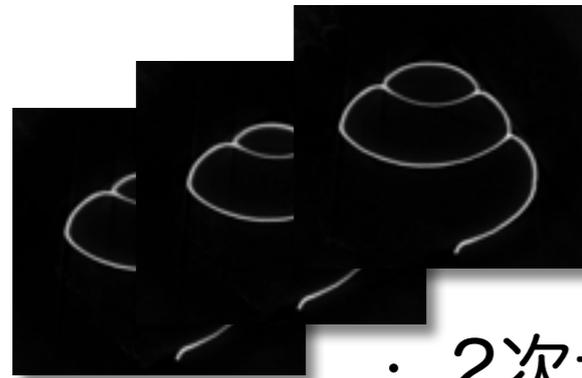
AM



腹足類殻の例

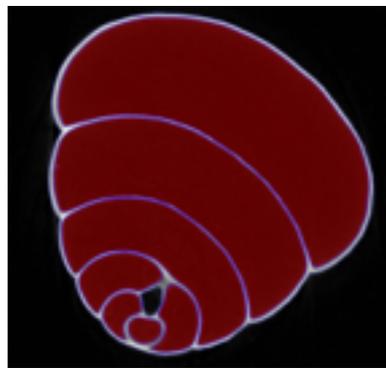


CTデータの取得



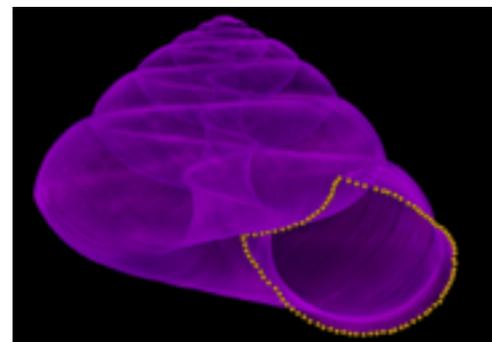
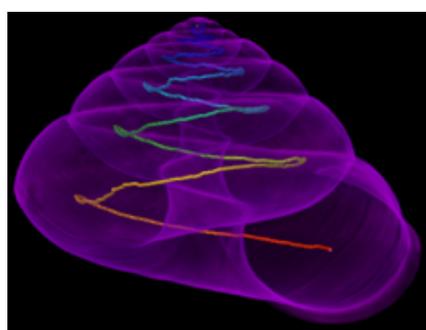
・ 2次元画像の集合

領域分割

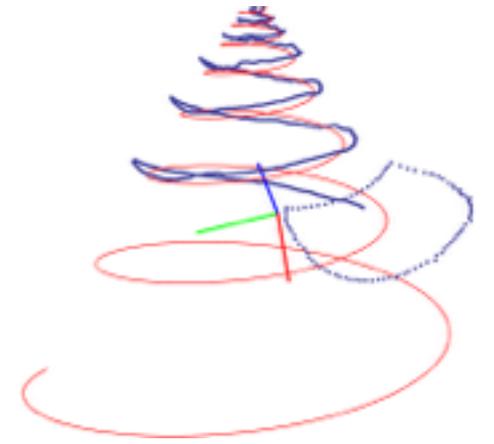
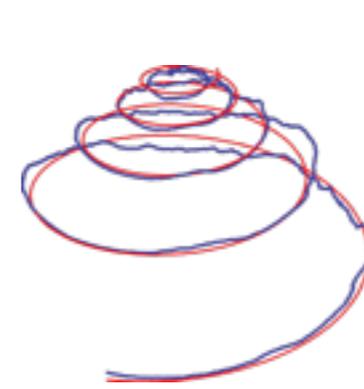


- ・ 殻
- ・ 殻口
- ・ 内部
- ・ その他

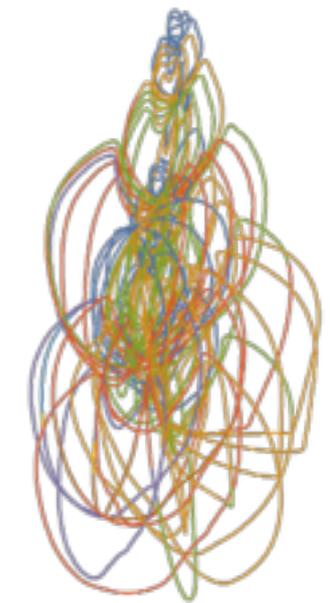
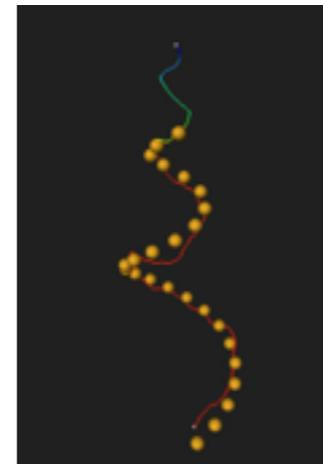
スケルトン化・殻口デジタイジング



成長軌道と殻口位置の推定



殻口形状の自動計測



成長勾配の推定

