

課題名 (タイトル) :

大変形と組織成長を伴う生体組織の連続体力学を用いた定式化と数値解析手法の開発

利用者氏名 : ○木田 直樹

所属 : 生命システム研究センター 生命モデリングコア 発生幾何研究ユニット

1. **本課題の研究の背景・目的・関係するプロジェクトとの関係** : 生体の成長や組織の形成などの生物の形づくりには、生体内部に生じる応力やひずみなどの力学場が影響していることが広く認められている。生体内の力学場を知るためには、構造物としての生体の数理モデルを構築し、数理モデルを用いた力学解析を行う必要がある。本研究は、力学の現象としてとらえた生体の成長にたいして、(i) 構成則を記述し、(ii) 有限要素法をもちいた数値解析をおこない、(iii) 現象を支配する力学法則を見出すこと、を目的とする。解析例として、嚢状構造をしたニワトリ肢芽の初期発生過程の有限要素シミュレーションを扱う。
2. **具体的な利用内容・計算方法** : 生体の成長を、質量変化をともなう物体の変形と仮定して、連続体力学の枠組みで、運動方程式および構成則を初期値境界値問題として数理モデル化した。構成則の記述には、有限ひずみ弾塑性論と類似の手法 (変形勾配テンソルの乗算分解) をもちいた。構成則の有限要素解析コードへの実装に際しては、従来の非線形構造解析のための有限要素解析のアルゴリズムを継続して利用可能となるように数理モデルの定式化を行った。
3. **結果** : Fig. 1 に示すニワトリ肢芽を形状モデルにもちいた。

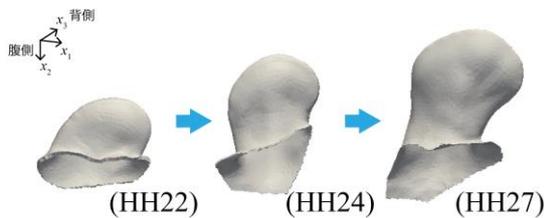


Fig. 1 : ニワトリ肢芽は、脊椎動物の四肢の成長および形成の機序を解明するための形状モデルとしてもちいられている。

的な成長、(c) 応力に依存する成長、をもちいた。ニワトリ肢芽の成長の有限要素解析によるシミュレーション結果を Fig. 2 に示す。(a) (b) では、質量の湧き出しが、肢芽の先端部に多くみられる。一方(c)では、(a) (b)に比べて先端部での質量の湧き出しが少ない。このことから、質量の湧き出しの空間分布、および、それにともなう物体の成長方向が、構成則によって大きく異なることが分かる。

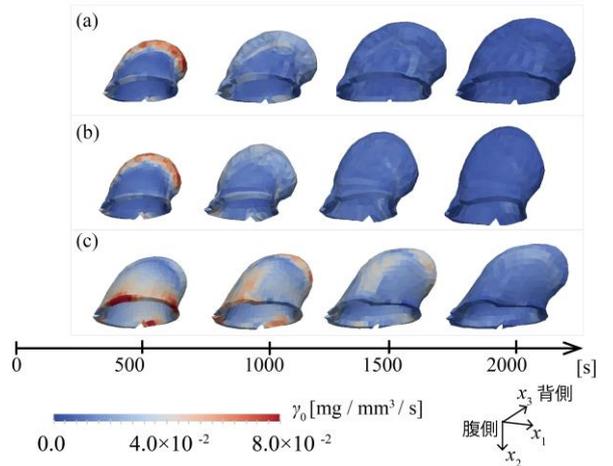


Fig. 2 :  $\gamma_0(t)$  は、質量の湧き出しをあらわす。

4. **まとめ** : 本研究では、連続体力学の枠組みで、生体の成長を初期値境界値問題として数理モデル化した。従来の非線形構造解析のためのアルゴリズムを継続して利用可能な形で、成長の構成則を有限要素解析コードに実装した。さまざまな成長の構成則を実形状モデル (ニワトリ肢芽) に適用し、成長の数値シミュレーションを行った。生体の成長を忠実に再現するには、実験事実と照合しながら構成則を記述する必要がある。
5. **今後の計画・展望** : 生体の成長をより忠実に再現するために、構成則として大変形を伴う粘弾性を有限要素解析コードに実装する予定である。

成長の構成則として、(a) 等方的な成長、(b) 異方

平成 28 年度 利用研究成果リスト

**【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】**

該当なし

**【国際会議などの予稿集、proceeding】**

該当なし

**【国際会議、学会などでの口頭発表】**

該当なし

**【国内学会での口頭発表】**

1. 木田直樹，森下喜弘，「異方的に成長する生体組織の構成則モデル化と有限要素法への実装」，第 29 回計算力学講演，2016.9.22 - 24，名古屋.
2. 木田直樹，森下喜弘，「成長する超弾性生体材料の有限要素定式化-形態形成への応用」，M&M2016 材料力学カンファレンス，2016.10.8 - 10，神戸.

**【その他（プレスリリース、学術会議以外の一般向けの講演など）】**

該当なし