

骨のマルチスケール・バイオメカニクスシミュレータ DoctorBQ の開発

1. はじめに

約1000万人といわれる骨粗鬆症患者数は今後さらに増加の傾向にある。現在、骨粗鬆症の診断は骨密度による診断が行なわれているが、治療のための投薬、患者に対する適切な運動量やリハビリの指示などには、骨密度だけでなく、骨の質 (Bone Quality) までを考慮した骨強度の評価が重要と考えられている。骨の質には、マクロからミクロに至る構造的な要素、コラーゲン線維、生体アパタイト (BAp) 結晶といったナノスケールでの材質的要素を考える必要がある。

最近では、X線 μ CTにより海綿骨のスケールにおける観察、モデル化が一般的になりつつある。しかし、骨のバイオメカニクスシミュレーションにおいて、上記の骨の質にかかわる要素を考慮し、高分解能に対応した環境を提供する専用ソフトウェアは現在存在しない。そこで、本稿では新たに開発した「DoctorBQ」について紹介する。BQはBone Qualityの意味である。

2. DoctorBQによるマルチスケールモデリングと解析

このシミュレータでは、長管骨を主たる対象とし、図1に示すように骨のナノ、ミクロ、マクロのスケールを繋ぐ高精度な解析を実現する。解析モデルの作成ではX線mCTにより撮影される画像から、イメージベースモデリング手法により海綿骨モデルを自動生成する。また、解析モデル作成時に、骨梁分布を定量的に高分解能で把握しながら解析対象領域を選択するためのモルフォロジー分析機能⁽¹⁾を実装している。

さらに、DoctorBQによる解析ではナノスケールの考慮を行う。X線回折などの豊富な測定結果による知見を基に、BAp結晶配向性を異方性材料特性として自動設定するアルゴリズムを

開発した⁽¹⁾。

ナノ、ミクロを繋いだ解析モデルに対する均質化法によりマクロ特性を求め、モルフォロジーの詳細な観察をあわせ、ナノ、ミクロ、マクロを繋いだ力学的な考察が可能となる。マクロ境界条件下でのミクロ応力解析には、独自の重合メッシュ法⁽²⁾⁽³⁾を用いる。

3. DoctorBQによる海綿骨のミクロ応力評価

海綿骨の複雑な三次元構造を観察するため独自の可視化処理⁽⁴⁾を実装している。内部の局所的な三次元表示と、骨梁内部の主応力ベクトル表示により効果的に応力と骨梁構造の関係を評価することができる (図2参照)。

ミクロ応力に基づく骨質診断ツールとしての用途を目指し、図3に示すヒストグラム表示を構築した。ミクロ応力による評価法は医学界でも確立されていないが、このヒストグラムでは、骨折危険度となりうる評価値をユーザたる医師らが式入力により自由に定義することができる。通常のヒストグラムと異なり視覚的、直感的に定量的評価が可能な機能を提供する。

4. おわりに

DoctorBQは、JST、CRESTにおける「生体骨医療を目指したマルチプロフェッショナル・シミュレータ」(立命館大学 高野教授、京都大学 安達泰治助教授、大阪大学 中野貴由助教授、馬越佑吉教授)による研究成果を実用化に向け開発してきたものである。今後、骨粗鬆症診断、骨質評価の研究ツールのみならず、歯科インプラントの分野においても啓蒙、普及を目指し、(社)日本機械学会のほかにも、(社)日本解剖学会(3月、大阪)、日本骨形態計測学会(5月、長崎)にて成果発表およびソフト展示を行う予定である。(原稿受付 2007年1月31日)
[河貝光寛 (株)ケイ・ジー・ティー]

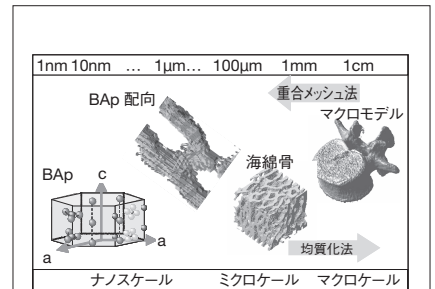


図1 マルチスケールシミュレータ

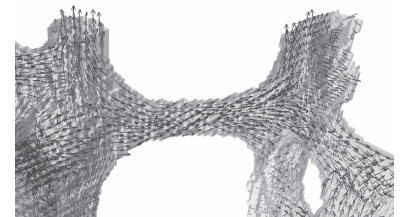


図2 海綿骨内の応力可視化

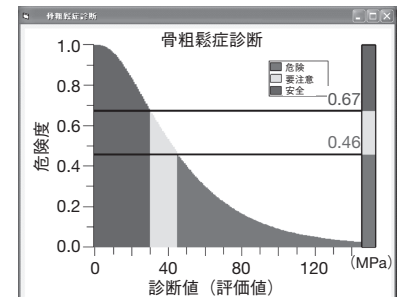


図3 ヒストグラムによる応力定量的評価

●文献

- (1) 河貝光寛・ほか, 海綿骨の骨梁モルフォロジーと生体アパタイト結晶配向性を考慮したマルチスケール応力解析, 材料, 55-9 (2006), 874-880.
- (2) Kawagai M., ほか, Image-Based Multi-Scale Modelling Strategy For Complex and Heterogeneous Porous Microstructures by Mesh Superposition Method, Modelling Simul. Mate. Sci. Eng., 14-1 (2006), 53-69.
- (3) 立命館大学 高野直樹, 特開 2006-318223 数値解析システム, その数値解析プログラム, 及びその数値解析方法, (2006-11-24).
- (4) 特願 2005-252086 3次元オブジェクト内で3次的に分布するテンソル量を表示するコンピュータプログラム及びテンソル量表示画像データ生成方法, 立命館大学, 高野直樹・ほか (2005-8-31).