

Title	外有毛細胞も出るの機能に着目した非線形蝸牛モデルの入出力特性の検討
Author(s)	村上, 泰樹
Citation	
Issue Date	2007-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/3622
Rights	
Description	Supervisor: 鷗木 祐史, 情報科学研究科, 修士

外有毛細胞モデルの機能に着目した非線形蝸牛モデルの入出力特性の検討

村上 泰樹 (510102)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2007 年 2 月 8 日

キーワード: 外有毛細胞モデル, 非線形蝸牛モデル, 入出力特性, 圧縮特性.

生理学的な実験や心理学的な実験より, 蝸牛の基底膜の入出力特性は低い音圧レベルと高い音圧レベルで線形になるが, 中程度の音圧レベルで傾きが 1 dB/dB 未満の圧縮的な応答を示すことが分かっている. 基底膜の非線形な入出力特性は外有毛細胞に障害をもつと消失する. そのため, 基底膜の非線形な入出力特性の原因は外有毛細胞の働きにあると考えられている. しかし, 生理学的手法を用いて蝸牛内の外有毛細胞の働きを調べるのが困難であるため, 外有毛細胞がどのように働くことで基底膜の非線形な入出力特性が得られるのか分からない.

本研究の目的は計算機モデルを用いて外有毛細胞がどのように基底膜の非線形な入出力特性を生み出すのか解明することである. そのために生理学的な機能を模擬した外有毛細胞モデルに着目し, これを組み込んだ非線形蝸牛モデルを提案する. 提案した非線形蝸牛モデルを用いてシミュレーションを行う. そして, 外有毛細胞モデルの働きにより基底膜モデルの入出力特性が非線形になることを示し, 外有毛細胞モデルがどのように基底膜モデルの振動に働いているか検討する. これにより基底膜の非線形な入出力特性に対する外有毛細胞の働きを示唆できる.

本研究は外有毛細胞の機能として外有毛細胞の伸縮運動を模擬する. 伸縮運動は外有毛細胞先端部にある不動毛束の傾きによって生じる. この運動をモデル化するために, まず基底膜の振動によって不動毛束がどのように傾くのか考察を行う. 次に不動毛束の傾きによって生じる伸縮運動をモデル化する.

まず, 外有毛細胞へどのように入力加わるのか考察を行う. 基底膜の上に支持細胞で支えられた外有毛細胞があり, その上を蓋膜が覆いかぶさる. 蓋膜表面に不動毛が刺さっている. したがって, 基底膜の振動は不動毛を通じて蓋膜に伝わる. 不動毛束の傾きは蓋膜と基底膜の振動によって生じる. これらの運動を 1 次元的に模擬した従来モデルを用いて考察を行う. 従来モデルのシミュレーションの結果, 不動毛束の傾きは特徴周波数近傍で基底膜の変位に対して 90° 遅れる. 従って, 不動毛束の傾きが特徴周波数近傍で基底膜の速度に対して逆位相である.

次に、不動毛束の傾きにより生じる外有毛細胞の伸縮運動を模擬する。伸縮運動により生じた力が基底膜へフィードバックする。このフィードバック系を5つの段階に分けて検討を行う。検討の結果、細胞体の伸縮は不動毛束の傾きによって生じる機械的チャンネルの開閉確率に依存していることが分かった。機械チャンネルの開閉確率は2次の Boltzmann 関数で近似される。したがって、外有毛細胞により生じる力は不動毛束の傾きを入力とし2次の Boltzmann 関数で近似される。先ほどの蓋膜と不動毛束モデルを用いた考察より、不動毛束の傾きの位相は基底膜の速度の逆位相である。伸縮運動により生じる力を模擬した外有毛細胞モデルを組み込んだ非線形蝸牛モデルを提案する。提案した蝸牛モデルを用いてシミュレーションを行う。

シミュレーションの結果、基底膜モデルから得られた入出力特性は基底膜の生理実験や心理実験から得られた非線形な入出力特性を模擬した。また、基底膜モデルの圧縮の割合を調べるために基底膜モデルの入出力特性の 30 dB SPL から 80 dB SPL の間で傾きを求める。基底膜モデルの入出力特性の傾きは 0.2 から 0.4 である。この結果は基底膜モデルの生理学実験および心理学実験から得られた傾きと同様な結果である。以上の結果は (a) 低い音圧レベルで外有毛細胞モデルにより生じる力は線形で、(b) 中程度の音圧レベルで機械チャンネルの開閉確率が圧縮的になったため外有毛細胞モデルにより生じる力が圧縮的になり、(c) 高い音圧レベルで外有毛細胞モデルにより生じる力が飽和し基底膜モデルへかかる力はリンパ液モデルにより生じる力が支配的になったためだと考える。

本研究は外有毛細胞が起こす基底膜の非線形な入出力特性を検討するために、外有毛細胞の伸縮運動により生じる力を模擬する外有毛細胞モデルに着目した非線形蝸牛モデルを提案した。そのために、基底膜と蓋膜の振動によって生じる外有毛細胞の不動毛束の傾きについて従来提案されている蓋膜モデルを用いて検討した。次に、不動毛束の傾きに応じた機械チャンネルの開閉確率に依存した外有毛細胞モデルを蝸牛モデルへ組み込み、外有毛細胞モデルを用いたシミュレーションを行った。その結果、外有毛細胞モデルの働きによって基底膜モデルの入出力特性は生理実験や心理実験から得られた入出力特性と同様であった。以上より、蝸牛の非線形な入出力特性は基底膜の振動により起こる不動毛の機械チャンネルの開閉確率が飽和し、外有毛細胞の伸縮運動が飽和することで起きることが示唆された。