

1 次元セルラーオートマタと声道モデル

One dimension Cellular Automata and vocal tract model

高 香滋
Taka Kouzi

金沢工業大学工学基礎教育センター
Kanazawa Institute of Technology Engineering Foundation Education Center

The role of the voice has been being an important thing as a communication. This researched much research of the formation model of the voice as a digital signal model. This research thinks about the formation model of the voice as one system. So, the purpose of this research is to check a character in each part dynamically. A voice way model by the dynamic model for that is being researched, too. So, Cellular Automata was used as one of the models in the formation process of the voice here. Report it about modeling of the formation process of this voice.

1. はじめに

コミュニケーションとして音声の果たす役割は、さらに重要なものとなってきている[本多 2001]。音声の生成モデルの研究は、デジタル信号モデルとしてこれまでに多く研究され、音声の出力波と声道断面情報について研究がされている。これらの研究は、主に声道全体を1つのシステムとしてその特性を見ている。この研究では、声道内における各部における音圧などの特性や断面情報が動的に変化する場合における各部位での特性を調べることを目的としている。そのための力学的なモデルによる声道モデルの研究もされている[Kakita 2004]。そこで、ここでは音声の生成過程におけるモデルの1つとして、セルラーオートマタを利用した。この音声の生成過程のモデル化について報告する。

2. セルラーオートマタ

セルラーオートマタは、空間と時間を離散化し、各セルにおける次の離散時間における状態量を決定するルールも持ち、各セルの近傍の状態量との相互作用により、全体のセルが同時に次の離散時間ステップへと変化する。近年、セルラーオートマトンを利用した波動の研究いくつか行われてきている[小松崎 1999]。

2.1 1次元セルラーオートマタ

実際の声道は、3次元の空間で構成されている。そこでそのまま、3次元のセルラーオートマタとして声道のモデルを考慮することも可能であるが、モデルの構成が複雑になるので、ここでは、3次元の声道をより簡単な1次元のセルラーオートマタへのモデル化する方法を提案した。

3. 声道のモデル化

声道は声門から唇の部分と、その途中から鼻腔部分に大きく分かれている。今回のモデル化では、鼻腔部分を省略し、声門から唇までを考慮するものとした。したがって図1では、そのモデル化の第1段階を示した。ここで、声道内部の波動は平面波として近似するものとして、さらに円筒管型の音響管としてモデル化した。

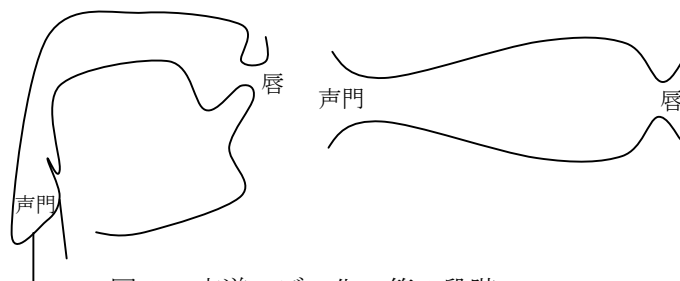


図1 声道モデル化の第1段階

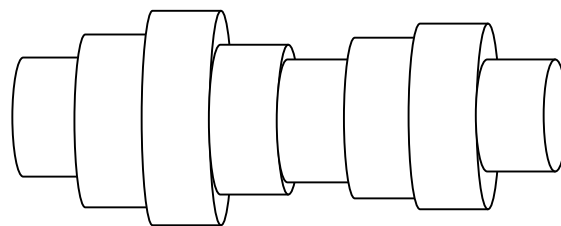


図2 声道モデル化の第2段階（離散化）

3.1 モデルの離散化

セルラーオートマタでは、空間的に離散化し、セルの集合体として、全体を構成するために、モデル化の第2段階としては図1の連続した音響管から、ある断面積の音響管を縦にいくつか接続したモデルへと変形する。図2では、空間的に離散化した声道モデルを示している。

3.2 モデルの離散化から1次元セルラーオートマタ

図2の離散化したモデルでは、まだ3次元の状態である。そこで、声道モデル化の第3段階として空間的に離散化した各音響管を各セルと対応させ、各音響管の断面積情報を各セル内部の状態量として含めることにする。これにより3次元の声道モデルから、1次元のセルラーオートマタにモデル化する。図3ではセルが1次元に接続した結果を示している。



図3 声道モデル化の第3段階（セル化）

3.3 セルの状態量, 近傍則, 状態遷移則

(1) セルの状態量

各セルには, 状態量として, 音圧, 音圧の変化量, 断面積の3つを内部に含むものとした。

(2) 近傍則

今回の1次元セルオートマトンの各セルにおいて, 自分とその両隣のセルの3つにおける状態量により, 次の離散時間ステップの状態量が決まる規則としての, 3近傍則を適用した。ただし, 状態量としては連続量を扱うものとした。

(3) 状態遷移則

セル番号を i として, 離散時間ステップを k としたときの次の離散時間ステップ $k+1$ における状態量の遷移規則を次式で示した。ここで, P は音圧を示し, ΔP は音圧の変化分を示し, A は断面積を示している。

$$\Delta P_{i,k+1} = (P_{i-1,k} - P_{i,k}) \left(\frac{1}{1 + \frac{A_{i,k}}{A_{i-1,k}}} \right) + (P_{i+1,k} - P_{i,k}) \left(\frac{1}{1 + \frac{A_{i,k}}{A_{i+1,k}}} \right) + \Delta P_{i,k}$$

$$P_{i,k+1} = P_{i,k} + \Delta P_{i,k+1}$$

4. シミュレーション

1次元セルオートマトンのモデルによる声道モデルを図3に示され, 3.3で状態遷移則が得られたので, モデルのシミュレーションについて考察した。

4.1 境界条件の追加

1次元セルオートマトンによって表現された声道モデルをシミュレーションするには, その近傍則, 状態遷移則の他に境界条件として, 声門への音圧入力と唇から外への放射を考慮する必要がある。そのために, 図3で示したモデルの両側にさらに音源用のセルと唇から外への空間へのセルを追加する必要がある。図4でシミュレーションに用いるモデルを示した。音源セルとしては, 音圧入力を外部から設定するものとして, セル相互作用はないものとした。また, 空間セルにおいては, その右隣はないので, 無限境界条件として以下の条件を状態遷移則に適用させた。

$$P_{i+1,k} = 0, \Delta P_{i,k} = 0, \frac{A_{i,k}}{A_{i+1,k}} = 0$$

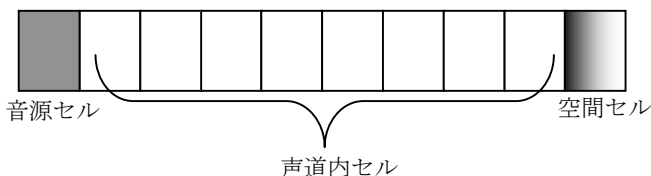


図4 声道モデル化の第4段階（境界条件付き）

5. まとめ

今回は, 声道モデルを1次元のセルオートマトンを用いて表現するまでのモデル化について, そして, そのモデル化に必要な, 状態量, 近傍則, 状態遷移則について報告した。簡単な断面積情報でのモデルの検証について行ったシミュレーション結果についてはすでに報告[米山 2004]した。現在は特に母音の動的な特性について検討を進めている。

6. 謝辞

この研究を進めるにあたり, この研究の機会を与えていただいた, 故垣田有紀教授, そして, ご協力をいただいた米山正宏氏, 大藪又茂教授に感謝を申し上げます。

参考文献

- [Kakita 2004] Yuki Kakita: Wave, resonance, and vowel formants: Application of physics software to education of language and speech science, 15th ICPHS, (2004).
- [本多 2001] 本多清志: 人間の生物学的機能の解明に基づいた音声コミュニケーション機構の研究, 通信総合研究所季報, Vol.47, No.3, pp.43-46, (2001).
- [小松崎 1999] 小松崎俊彦, 佐藤秀紀, 岩田佳雄, 森下信: セラオートマトンによる波動伝播解析, 日本計算工学会インターネット論文集, (1999).
- [米山 2004] 米山正宏, 高香滋, 大藪又茂: 声道モデルのためのセルオートマトンの応用について, 情報処理学会第66回全国大会講演論文集 CD-ROM, 情報処理学会, (2004).
- [米山 2004] 米山正宏: セラオートマトンを用いた音声物理現象のシミュレーションに関する研究, 修士論文, (2004).