

## メンフクロウの下丘ハードウェアモデルに対する検討

## A Study on the Inferior Colliculus Hardware Model in Barn Owl

渡邊美希<sup>1</sup>, 櫻井翼<sup>1</sup>, 関根好文<sup>2</sup>\*Miki Watanabe<sup>1</sup>, Tsubasa Sakurai<sup>1</sup>, Yoshifumi Sekine<sup>2</sup>

Abstract: The role of hearing is especially important in darkness where vision is extremely limited. The ability of sound source localization is very important for gaining an understanding of the surrounding environment. The barn owl's ear have excellent sound source localization and it can detect interaural time difference (ITD) and interaural level difference (ILD) with bilateral asymmetrical and directivity of ups and downs and right and left is good. In this paper, we propose the inferior colliculus model to integrate output information of ITD and ILD, and we examine the characteristics of the model in synchronous inputs. As a result, it is shown that can locate two-dimensional sound source.

## 1. まえがき

人間をはじめとして多くの生体にとって、周囲の状況を判断する手段のうち、暗闇の中等の環境においては、聴覚からの情報は重要な役割となっている。しかし、高齢者や聴覚障害者等、危険把握能力が劣る人々にとっては、危険な交通機関等での行動範囲に制限がかかってしまう。そのような人々にとっては、聴覚の状況把握能力のうち、音がどこから聞こえているのかを認識する音源定位を行う聴覚補助システムが特に必要である。音源定位を行う生体は様々であるが、中でも特に音源定位能力に優れた生体としてメンフクロウがあげられる。メンフクロウは対象が発する可聴音を聞いて音源の場所を特定する。また、左右の耳から得られる情報から、時間差、音圧差の情報を検出し、脳内で並列処理を行っている。メンフクロウの耳は左右非対称であり、上下左右の指向性が良く、正面付近では約 2deg の特定が出来る事から正確な音源の場所の定位が可能である<sup>[1-2]</sup>。

外界からの信号の情報処理を観点とし、生体の聴覚機構を考慮したシステムの構築として、ニューロンで処理するパルス波形をそのままモデル化したパルス形ハードウェアニューロンモデル (Pulse-type Hardware Neuron Model, 以下 P-HNM)<sup>[3]</sup>を用いたモデルが、脳型処理機能を取り入れたシステムとして有用である。

我々は、P-HNM を用いてメンフクロウの聴覚機構に基づいた 2 次元音源定位システムを構築し、聴覚補助システムへ応用する事を目的として研究を行っている。

本稿では、時間差、音圧差の情報を統合し、音源の位置を定位する事が可能な下丘ハードウェアモデル (以下、単に下丘モデルとする) について検討を行ったので、報告する。

## 2. 本論

メンフクロウの聴覚機構に基づいた 2 次元音源定位システムでは、両耳到達時間差 (interaural time difference, 以下 ITD) モデルは、Jeffress のモデル<sup>[4]</sup>を基に構成し、音源から左右の耳に入力する音の時間差を検出し左右の位置を特定する。また、両耳到達音圧差 (interaural level difference, 以下 ILD) モデルは、モデル内で Left, Right の 2 つの細胞体を設置し、上下の各位置で荷重値の異なる相互抑制性結合により、互いに抑制を行う事で、音源から左右の耳に入力する音の音圧差を検出する。したがって、互いに抑制がされパルスが停止した位置で上下の音源の位置を特定する事が可能である。最終的に、ITD, ILD の情報を統合し、一定の音源方向にしか反応しない細胞体を組織的に並べた下丘モデルで、音源の位置を定位し地図を形成する。

図 1 に、今回提案する下丘モデルの概略図を示す。同図(a)は立体図、(b)は z 軸上から見た xy 平面図を示している。同図は、ITD モデル、ILD モデル、下丘モデルの 3 層の 2 次元 map で構成した。まず、ITD, ILD モデルの各情報を符号化したパルスは、ITD, ILD モデルの各層で 相当する位置に棒線(-)に沿って出力する。更に、下丘モデルの層では、丸(○)で示した  $N \times N$  の細胞体を設置し、ITD モデルと ILD モデルよりそれぞれ出力したパルスをもつ棒線が交差した位置で、相当する細胞体へパルスを伝搬させ、音源の位置を特定する。今回、本モデルの検出範囲は、正面中心を 0 として上下左右に  $\pm 1/2$  の範囲で検出出来る構成とした。

図 2 に、下丘モデルの横軸の座標を  $x_i$ 、縦軸の座標を  $y_j$  (但し、 $(-N+1)/2 \leq i, j \leq (N-1)/2$ ) とした場合の  $(x_i, y_j)$  の位置でのモデルの構成図を示す。同図より、本モデルは、ITD, ILD モデルの各層から出力したパルスの交

異なる位置から下丘モデルの相当する細胞体 $(x_i, y_j)$ へのパルス伝搬を, シナプスモデルを用いて構成した. また, ITD モデルからは興奮性結合, ILD モデルからは抑制性結合とした. したがって, 下丘モデルでは, 左右の耳に入力した音源の位置に相当する細胞体の位置で, ITD モデルより出力したパルスに対して ILD モデルより出力したパルスによる抑制が無い為, 持続的なパルスを出力する. また, それ以外の位置にある細胞体では, ITD モデルより出力したパルスに対して ILD モデルより出力したパルスで抑制をする事で, パルスは停止する構成とした.

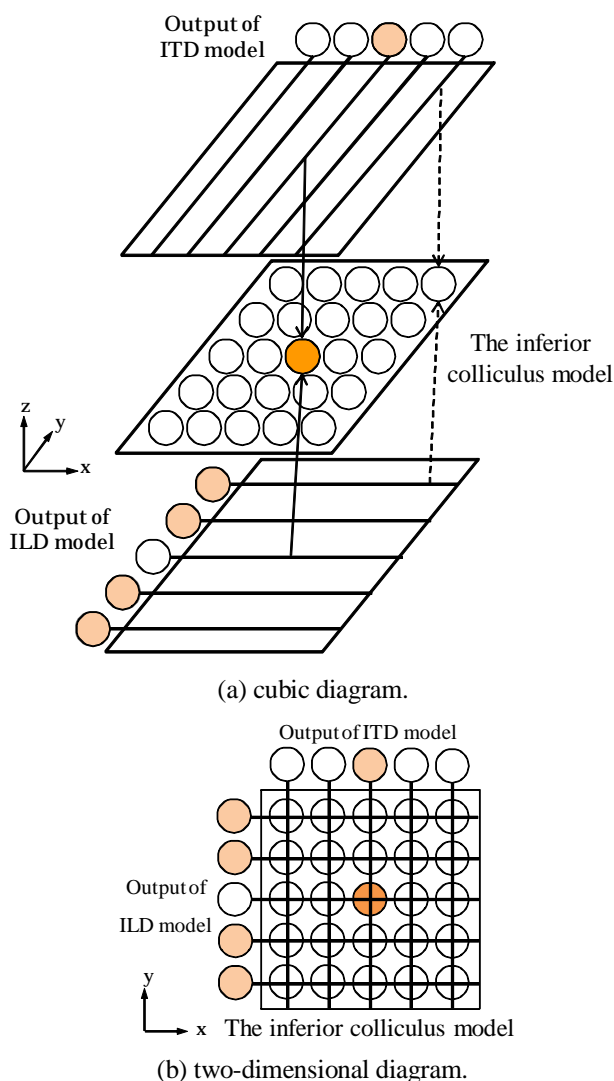


Figure 1. Schematic diagram of the inferior colliculus model.

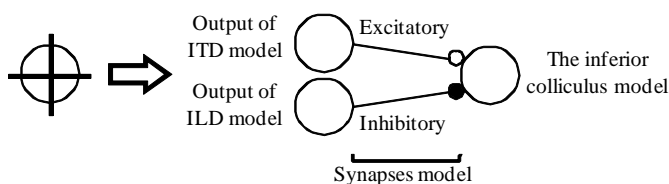


Figure 2. Configuration diagram of the inferior colliculus model at  $(x_i, y_j)$ .

図 3 に, P-HNM を用いた下丘モデルの出力特性を示す. 同図(a)は中心 $(x_0, y_0)$ の細胞体の出力波形を示し, 同図(b)は中心 $(x_0, y_0)$ の細胞体の周囲の細胞体の出力波形を示している. 今回, 音源は上下左右 0 の中心から入力した場合を一例とし, ITD, ILD モデルはそれぞれの検出過程で一箇所に特定し, 各出力は符号化より同位相, 同周波数, 同振幅としたパルスに変換したものとした. 同図より, 中心 $(x_0, y_0)$ の細胞体でのみ持続的なパルスを出力している事から, 音源は正面中心 $(x_0, y_0)$ にある事を検出した. したがって, 本モデルは 2 次元の音源の位置の特定が可能である事を示した.

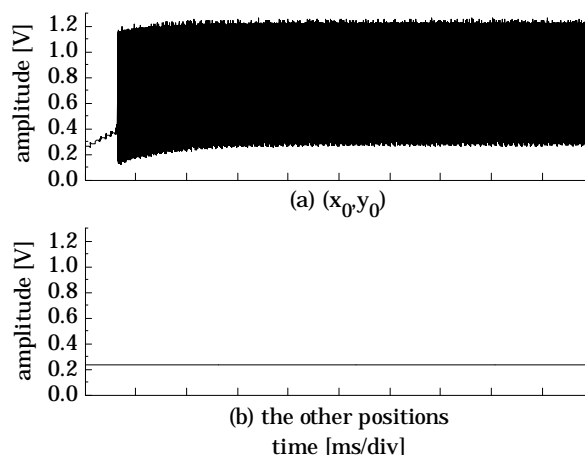


Figure 3. The characteristic of the inferior colliculus model.

### 3. まとめ

今回, メンフクロウの聴覚機構に基づいた音源の位置を定位可能な下丘ハードウェアモデルについて, P-HNM を用いて検討を行った. その結果, 2 次元 map を 3 層で構成し, ITD, ILD モデルの各情報が交差する位置でパルスを出力するモデルを構成する事で, 音源の位置の特定を可能とした.

今後は, パルス形 ITD, ILD モデルを融合させ, 2 次元音源定位システムとして構成する予定である.

### 4. 参考文献

- [1] 小西正一:「メンフクロウの両耳による聴覚情報処理」, 日経サイエンス, Vol.23, No.6, pp.90-99, 1993.
- [2] 森浩一:「フクロウの音環境解析と聴覚の可塑性」, 日本音響学会誌, Vol.52, No.7, pp.536-541, 1996.
- [3] 関根好文, 隅山正巳, 佐伯勝敏, 合原一幸:「エンハンスメント型 MOSFET による 形ニューロンモデル」, 信学論(C), Vol.J84-C, No.10, pp.988-994, 2001.
- [4] L. A. Jeffress: "A place theory of sound localization", J. Comp. Psychol., Vol.44, pp.35-39, 1948.