

ネコの聴診音信号に含まれる心音成分の強調*

◎ 岸本麗央, 矢田部浩平, 岩永朋子 (農工大)

1 はじめに

ネコの死因の一つに急性心不全による突然死がある。これを予防するための早期検査において、聴診で心臓の雑音や不整脈の有無を確認することが重要である。ただし、病院での聴診はネコの緊張による心拍数の上昇や凶暴化によって困難であることが多い。この課題を回避する手段として、ネコがリラックスできる在宅での聴診音を用いた検査が挙げられる。しかし、在宅での聴診において、図-1 のように心音成分は purring 音（喉鳴らし音、ゴロゴロ音）等に埋もれて聞き取りづらいことがある [1, 2]。そこで本稿では、在宅での聴診音に畳み込み非負値行列因子分解 (CNMF) を適用することで、心音成分の抽出を図る。

2 畳み込み非負値行列因子分解 (CNMF)

CNMF は任意の本数の基底で非負値行列を近似する技術であり、時間方向に繰り返し現れるスペクトルパターンの抽出に有効である。近似行列 $\mathbf{Y} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^{F \times T}$ は、スペクトルパターンを表す基底行列 $\mathbf{W} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^{F \times K \times L}$ と、その時間的な強度変化を表すアクティベーション行列 $\mathbf{H} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^{K \times T}$ の畳み込み演算によって、

$$\mathbf{Y} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \mathbf{W}[:, k, l] \cdot \mathcal{S}_{l-1}(\mathbf{H}[k, :])$$

$$\quad \quad \quad = \mathbf{Y}_k$$

のように得られる。ただし、 $k = 1, \dots, K$ は基底のインデックス、 $l = 1, \dots, L$ はシフト量を表し、 F を周波数ビン数、 T を時間フレーム数とする。さらに、 $\mathcal{S}_n(\cdot)$ は行列の要素を n 列分シフトし、要素が無くなった箇所にゼロ埋めを行う演算子である。例えば、

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix}, \quad \mathcal{S}_0(\mathbf{H}) = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix},$$

$$\mathcal{S}_{-1}(\mathbf{H}) = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 0 \\ 5 & 6 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathcal{S}_2(\mathbf{H}) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

のように、 $n = 0$ はシフト無し、 $n < 0$ と $n > 0$ はそれぞれ左シフトと右シフトに対応する。また、 $\mathbf{Y}$ は基底ごとに畳み込み演算をして得られる $\mathbf{Y}_k \in \mathbb{R}_{\geq 0}^{F \times T}$ の和として表すことができ、 $\mathbf{Y}_k$ は k 番目の基底が元の行列に含まれるどの成分を構成するかを示す。

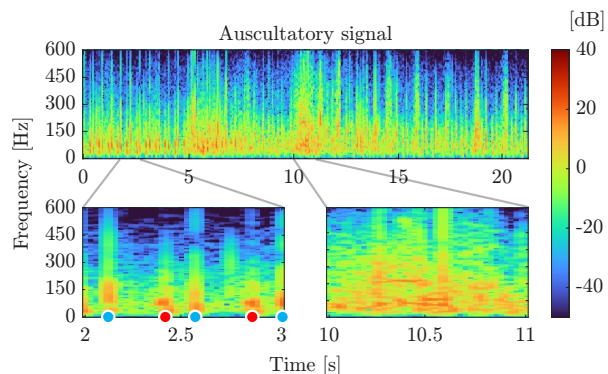


図-1 ネコの聴診音信号を可視化した例。全体（上段）のうち、2-3 秒（下段、左）のように鮮明な心音が現れる区間がある一方、10-11 秒（下段、右）のように purring 音によって心音が埋もれている区間も見られる。赤丸は第 1 心音、青丸は第 2 心音が鳴った時刻をそれぞれ示す。

3 提案法：CNMF による聴診音の分離

ネコの聴診音信号を短時間フーリエ変換 (STFT) して得られた振幅スペクトログラム $\mathbf{X} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^{F \times T}$ に CNMF を適用する。次に、 $\mathbf{Y}_k$ の可視化をもとに、各基底が心音成分と非心音成分のどちらを構成するかを目視でグループ分けする。すなわち、基底全体の集合を $\mathcal{K} = \{1, \dots, K\}$ としたとき、心音成分を構成する基底の集合 $\mathcal{K}^{(\text{Heart})}$ と非心音成分を構成する基底の集合 $\mathcal{K}^{(\text{Other})}$ に $\mathcal{K}$ の要素を分ける。ただし、 $\mathcal{K}^{(\text{Heart})}$ と $\mathcal{K}^{(\text{Other})}$ は、 $\mathcal{K} = \mathcal{K}^{(\text{Heart})} \cup \mathcal{K}^{(\text{Other})}$ 及び $\mathcal{K}^{(\text{Heart})} \cap \mathcal{K}^{(\text{Other})} = \emptyset$ を満たすものとする。この $\mathcal{K}^{(\text{Heart})}$ と $\mathcal{K}^{(\text{Other})}$ から、心音と非心音をそれぞれ

$$\mathbf{Y}^{(\text{Heart})} = \sum_{k \in \mathcal{K}^{(\text{Heart})}} \mathbf{Y}_k,$$

$$\mathbf{Y}^{(\text{Other})} = \sum_{k \in \mathcal{K}^{(\text{Other})}} \mathbf{Y}_k$$

のように推定する。最後に、 $\mathbf{Y}^{(\text{Heart})}$ と $\mathbf{Y}^{(\text{Other})}$ に位相を付与した $\mathbf{Y}^{(\text{Heart})} \odot \exp(i\Phi)$ と $\mathbf{Y}^{(\text{Other})} \odot \exp(i\Phi)$ を逆 STFT によって時間波形に戻す。ここで、 $\odot$ は要素ごとの積、 $\exp(\cdot)$ は要素ごとの指数関数、 i は虚数単位、 $\Phi \in [0, 2\pi)^{F \times T}$ は観測信号の位相である。

4 実験

4.1 実験条件

今回は、在宅で健康なネコから採取した聴診音信号を扱った。聴診音信号は、聴診した環境に由来す

*Enhancement of heart components in cat auscultatory signals. By Reo KISHIMOTO, Kohei YATABE and Tomoko IWANAGA (Tokyo University of Agriculture and Technology).

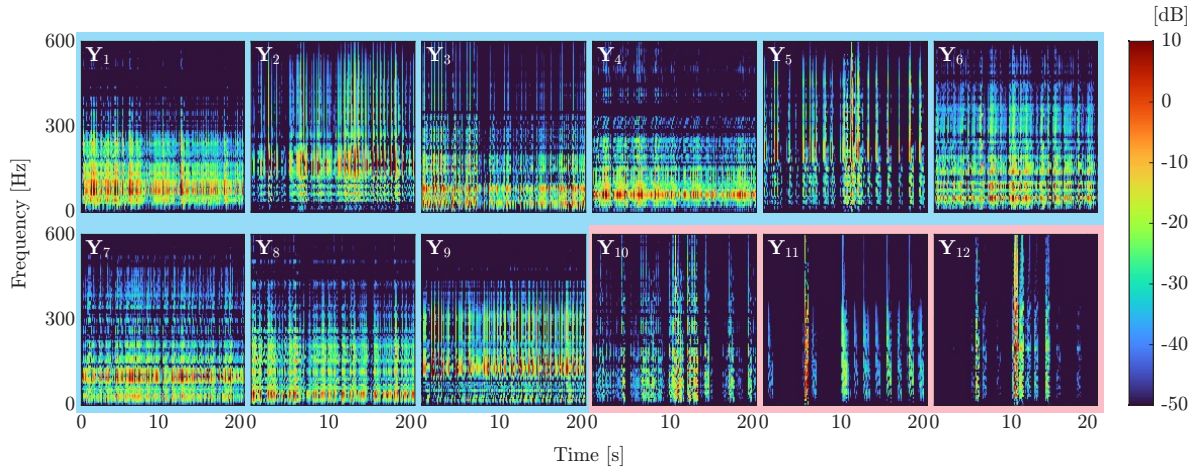


図-2 CNMFによって得られた基底ごとの $\mathbf{Y}_k$ の可視化. 枠が水色の $\mathbf{Y}_k$ が心音, ピンク色の $\mathbf{Y}_k$ が purring 音をそれぞれ構成するとしてグループ分けを行った. 枠が水色の $\mathbf{Y}_k$ には, 心音である縞模様が全時間にわたって現れたのに対し, ピンク色の $\mathbf{Y}_k$ には, purring 音が特定の時間帯にのみ現れた.

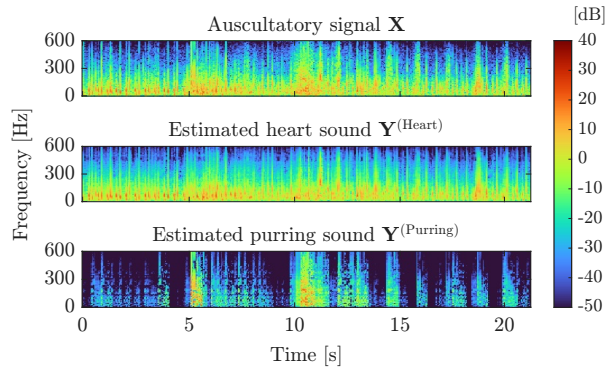


図-3 聴診音信号 $\mathbf{X}$ (上段) を分離した心音 $\mathbf{Y}^{(\text{Heart})}$ (中段) と purring 音 $\mathbf{Y}^{(\text{Purring})}$ (下段) のスペクトログラム.

るノイズを無視できる程度にしか含んでいないため, 心音と purring 音のみで構成されているものとみなした. よって, 以降は $\mathcal{K}^{(\text{Other})}$ を $\mathcal{K}^{(\text{Purring})}$, $\mathbf{Y}^{(\text{Other})}$ を $\mathbf{Y}^{(\text{Purring})}$ とする. 聴診音信号はサンプリング周波数 48 kHz で収録したが, 心音や purring 音が低周波数に集中することから, 1.2 kHz でリサンプリングした. また, STFT には窓長 256 サンプル (213 ms) の Hann 窓を用い, シフト長は 64 サンプル (53 ms) とした. CNMF の基底数は $K = 12$, 畳み込み長は $L = 10$ とし, 反復回数は 200 回とした.

4.2 実験結果

CNMFによって得られた全ての $\mathbf{Y}_k$ を図-2に示す. 図-2をもとに, 集合 $\mathcal{K} = \{1, \dots, 12\}$ を $\mathcal{K}^{(\text{Heart})} = \{1, \dots, 9\}$ 及び $\mathcal{K}^{(\text{Purring})} = \{10, \dots, 12\}$ とグループ分けした. この $\mathcal{K}^{(\text{Heart})}$ と $\mathcal{K}^{(\text{Purring})}$ からそれぞれ推定した $\mathbf{Y}^{(\text{Heart})}$ と $\mathbf{Y}^{(\text{Purring})}$ を図-3に示す. 図-3より, 聴診音信号 $\mathbf{X}$ が, 心音と purring 音におおよそ分離できたことが確認できる. 特に, $\mathbf{Y}^{(\text{Purring})}$ は $\mathbf{X}$ の 5, 10 秒付近に集中していた purring 音がよく抽出できており, $\mathbf{Y}^{(\text{Heart})}$ には $\mathbf{X}$ で purring 音に

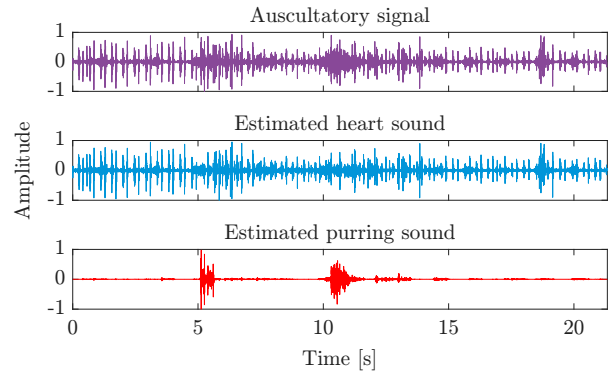


図-4 聴診音信号 (上段) と推定した心音と purring 音 (中段, 下段). 振幅の最大値が 1 となるように正規化した.

埋もれて見えなかった心音が可視化された. さらに, $\mathbf{Y}^{(\text{Heart})} \odot \exp(i\Phi)$ と $\mathbf{Y}^{(\text{Other})} \odot \exp(i\Phi)$ の時間波形を図-4に示す. 下段の波形に着目すると, purring 音が集中する 5, 10 秒付近以外の時間ではほとんど無音, すなわち心音が purring 音側に混ざっていないことが確認できる. これは, 心音と purring 音のグループ分けが適切にできたことを示唆する.

5 むすび

本稿では, 健康なネコの聴診音信号に CNMF を適用することで, 心音と purring 音の分離を図った. 今後は, 動物病院で計測した様々なデータに対して, CNMF の適用と有効性の検証を行う.

参考文献

- [1] C. Little, L. Ferasin, H. Ferasin and M. Holmes, "Purring in cats during auscultation: How common is it, and can we stop it?," *J. Small Anim. Pract.*, **55**(1), 33-38 (2014).
- [2] T. Vliegthart and V. Szatmári, "A new, easy-to-learn, fear-free method to stop purring during cardiac auscultation in cats," *Animals*, **15**(2), 236 (2025).