

採餌時に鶏が発する鳴き声の解析と合成に関する検討*

☆ 照沼卓磨, 矢田部浩平, 新村毅, 福田信二 (農工大)

1 まえがき

鶏は音声を発することで自分の状況の提示や、雛の誘導などを行う。鶏の雛が発する音声は主に Pleasure call, Distress call, Fear trill の3種に分類される [1]。また、母鶏が発する音声には Clucking, Food call, Roosting call などが挙げられる [1]。

鶏は母子間でこれらの音声を通じてコミュニケーションをとる。例えば、雛が空腹を感じて Distress call を発すると、母鶏が Food call により採餌を促し、それを聞いた雛が餌を食べ、快適さを感じて Pleasure call を発するという一連の音声コミュニケーションが確認されている [2]。こうした母子間の音声コミュニケーションは雛の不安を緩和し、ストレスを抑制する効果があることが分かっている [3]。また、母鶏不在下において音声コミュニケーションを擬似的に再現した場合であっても、雛の発達に良い効果をもたらす [2]。したがって、雛にとって快適な環境を提供するためには、母鶏の Food call が必要だといえる。

本研究では、鶏の雛の成長において重要な役割を果たす Food call に対して短時間フーリエ変換 (STFT) や変分的モード分解 (VMD: Variational Mode Decomposition) [4] を適用し、その音響的な特徴を調査した。また、解析により得られた知見をもとに Food call を構成する成分を検討し、合成音声を作成した。

2 Food call の音響的解析

まず、STFT により Food call の時間周波数領域における特徴を調査する。図-1 に Food call の時間波形と振幅スペクトログラムを示す。図-1 より、Food call は約 50 ms の音声であることが分かる。振幅スペクトログラムを見ると、赤色の鎖線と実線で示した成分のように、異なる周波数の変動をしている成分が混在しており、複雑な構造を持っていることが分かる。これは、鶏の声が2つに分岐した気管のそれぞれで作られることと、発声の際にそれぞれの気管が複雑に相互作用をすることに起因すると考えられる。

次に、詳細な特徴の解析をするために、Food call に VMD を適用して複数の成分に分解する。VMD では、信号 $x(t)$ を

$$x(t) = \sum_{n=1}^N u^{(n)}(t) \quad (1)$$

のように N 個の成分 $u^{(n)}(t)$ に分解する。ただし、 t

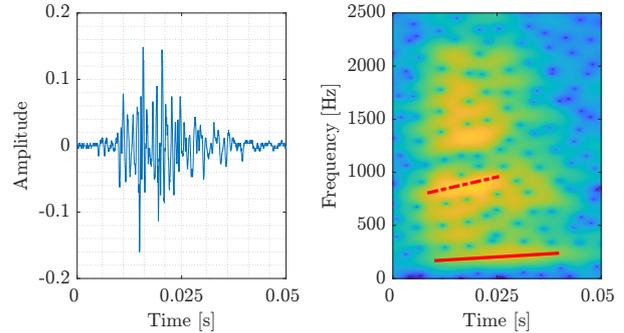


図-1 Food call の波形と振幅スペクトログラム。音声のサンプリング周波数は 44.1 kHz である。

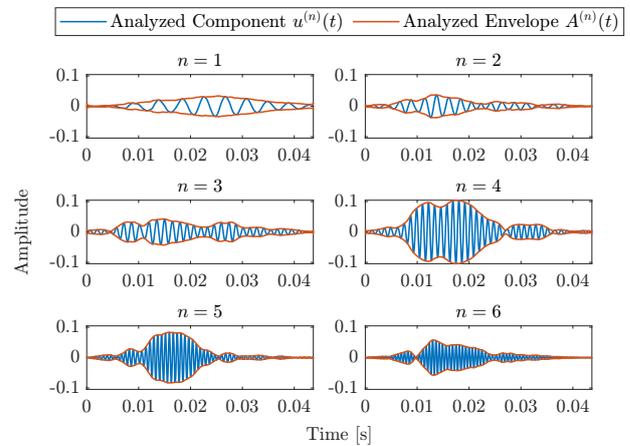


図-2 Food call に含まれる支配的な6つの成分。各成分を青線、その包絡線を赤線で示した。なお、分解数 N は 41 とした。

は時刻であり、各成分 $u^{(n)}(t)$ は、包絡線 $A^{(n)}(t)$ と位相 $\phi^{(n)}(t)$ を用いて、以下のように表せる。

$$u^{(n)}(t) = A^{(n)}(t) \cos(\phi^{(n)}(t)) \quad (2)$$

結果の解釈を容易にするため、各成分が正弦波的な成分となるように N の値を調整した。VMD によって得られた6つの支配的な成分を図-2の青線に示す。各成分をそれぞれフーリエ変換したところ、それぞれ 237 Hz, 403 Hz, 741 Hz, 868 Hz, 1334 Hz, 1545 Hz を主な周波数成分として持つことが分かった。また、各成分には振幅変調成分がみられ、単純な正弦波では表されないことが分かった。振幅変調を可視化するために、図-2の赤線に各成分の包絡線を示す。1つ目から6つ目の成分にかけて、包絡線の山が徐々に局所的になっていることが分かる。また、2つ目から6つ目の成分においては、包絡線自体にも約 5.6 ms 周期の振幅変調がみられる。

* Study on analysis and synthesis of sounds from chickens during foraging. By Takuma TERUNUMA, Kohei YATABE, Tsuyoshi SHIMMURA, Shinji FUKUDA (Tokyo University of Agriculture and Technology).

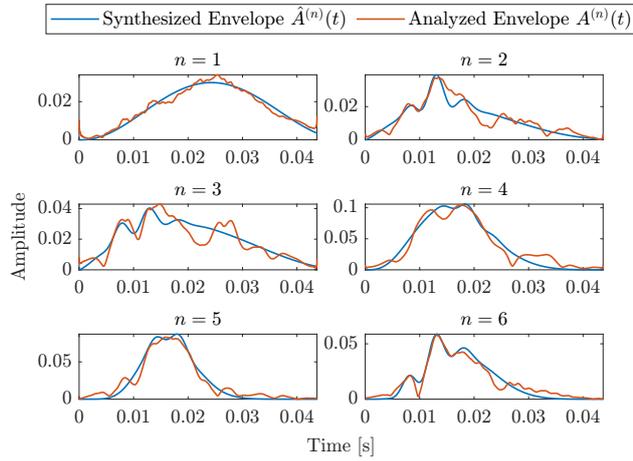


図-3 Food call の支配的な成分の包絡線と合成包絡線の比較. 支配的な成分の包絡線を赤線, 合成包絡線を青線で示した.

3 音声合成

Food call の音響的解析により得られた知見に基づき, Food call の合成音声を作成する. 前述の通り, Food call が約 50 ms の音声であることやそれが少数の成分の和で表されること, Food call の各成分が振幅変調成分や周波数変調成分を有していることが分かっている. そこで, 合成音声 $\hat{x}(t)$ を各成分の模擬信号 $\hat{u}^{(n)}(t)$ の和で以下のように表す.

$$\hat{x}(t) = \sum_{n=1}^{\hat{N}} \hat{u}^{(n)}(t) \quad (3)$$

$$\hat{u}^{(n)}(t) = \hat{A}^{(n)}(t) \cos(\hat{\phi}^{(n)}(t)) \quad (4)$$

ただし, \hat{N} は考慮する成分の数, $\hat{A}^{(n)}(t)$ は包絡線の変調を考慮した合成包絡線であり, 7つのパラメータ $a_A^{(n)}, a_P^{(n)}, b_A^{(n)}, b_P^{(n)}, C_A^{(n)}, C_P^{(n)}, f_P$ を用いて以下の式で定義する.

$$\hat{A}^{(n)}(t) = \tilde{\beta}(t, a_A^{(n)}, b_A^{(n)}) [C_A^{(n)} + C_P^{(n)} \tilde{\beta}(t, a_P^{(n)}, b_P^{(n)}) \{\sin(2\pi f_P t) + 1\}] \quad (5)$$

ただし, $\tilde{\beta}(t, a, b)$ は $t \in [0, T]$ における最大値が 1 となるように正規化したベータ分布であり, 信号長 T , 関数形を決めるパラメータ a, b および a, b に依存する正規化係数 $C_{a,b}$ を用い以下で表せる.

$$\tilde{\beta}(t, a, b) = C_{a,b} \beta(t/T, a, b) \quad (6)$$

また, $\hat{\phi}^{(n)}(t)$ は周波数の変動を考慮した位相で, パラメータ $C_F^{(n)}, f^{(n)}, f_F, \theta^{(n)}$ を用い以下で定める.

$$\hat{\phi}^{(n)}(t) = 2\pi(f^{(n)}t + C_F^{(n)} \sin(2\pi f_F t)) + \theta^{(n)} \quad (7)$$

本稿では, \hat{N} は 6 とし, 信号長 T の値は 50 ms とした. また, 各 n におけるパラメータの値は表-1 に示すように定めた. 式 (5) の大括弧内の第二項で 5.6 ms 周期の振幅変調を表現するために f_P は 172 とした. 初期位相 $\theta^{(n)}$ は各 n でランダムに設定した.

表-1 合成に用いた各成分の振幅変調パラメータ

n	$f^{(n)}$	Parameters						
		$C_F^{(n)}$	$C_A^{(n)}$	$C_P^{(n)}$	$a_A^{(n)}$	$b_A^{(n)}$	$a_P^{(n)}$	$b_P^{(n)}$
1	237	0	0.03	0	3.4	3.54	1	4.06
2	403	-5	0.02	0.01	2.34	4.18	10.6	30
3	741	-5	0.03	0.01	2.29	3.33	5.56	21.02
4	868	-5	0.1	0.01	4.45	8.94	19.67	30
5	1334	-7.5	0.08	0.01	8.59	17.22	16.10	30
6	1545	-7.5	0.04	0.05	6.79	11.93	3.45	17.24

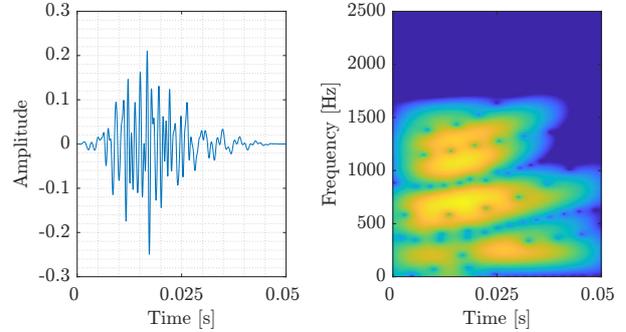


図-4 Food call の合成音声の波形と振幅スペクトログラム

以上により得られた合成包絡線を図-3 の青線, 合成音声の波形と振幅スペクトログラムを図-4 に示す. 図-3 より, 合成包絡線が, 赤線で示した実際の包絡線の形を模擬できていることが分かる. 図-4 と図-1 の波形を比較すると, 同様の概形を持つことが分かる. 図-4 と図-1 の振幅スペクトログラムを比較すると, 最も低い周波数成分は周波数の変化が起きないが, それ以外の周波数成分では周波数が緩やかに上昇するという特徴を再現できていることが分かる. 聴感上も Food call をおおむね再現できていると感じた. したがって, Food call を構成する要素として, 各成分の周波数とその変調成分および振幅変調成分が重要であると考えられる.

4 むすび

本研究では, 鶏の Food call に対する音響的解析と, Food call の合成音声の作成をした. 合成に用いる各成分の周波数とその変調成分および振幅変調成分を適切に定めることで, Food call をおおむね再現できた. 今後は Clucking や Roosting call についても収録と解析を進め, 母鶏の音声について詳細に調査する.

参考文献

- [1] N. Collias and M. Joos, "The spectrographic analysis of sound signals of the domestic fowl," *Behaviour*, **5**, 175–188 (1953).
- [2] T. Shimmura, K. Hayakawa, K. Ichishima, Y. Tategaki, N. Nozaki and R. O. Tachibana, "Chick-computer interaction using sounds," *11th Int. Symp. Adapt. Motion Anim. Mach.*, 134–135 (2023).
- [3] Y. Perré, A.-M. Wauters and M.-A. Richard-Yris, "Influence of mothering on emotional and social reactivity of domestic pullets," *Appl. Anim. Behav. Sci.*, **75**, 133–146 (2002).
- [4] K. Dragomiretskiy and D. Zosso, "Variational mode decomposition," *IEEE Trans. Signal Process.*, **62**, 531–544 (2014).