

円形マイクロホンアレイの周期性に基づく鶏の鳴き声の方向推定*

☆ 仁平善久, 照沼卓磨, 瀬口瑛子, 吉野夏樹, 矢田部浩平, 新村毅 (農工大)

1 はじめに

近年, 動物福祉に配慮した家禽飼育が注目を集めており, 特に鶏においては母子間のコミュニケーションを再現することで雛の健全な発育を促進できることが知られている [1]. このように母子間のやり取りに関する理解が進む一方で, それ以外の個体間における発声パターンや各個体が担う社会的役割の全容については未解明な点が残されている. これらの解明には継続的な行動観察が不可欠であるものの, 不定期かつ突発的に生じるコミュニケーションにおいて, 観察者の視覚及び聴覚に頼り, 発声個体と応答個体の関係を長時間にわたり直接追跡・記録し続けることには人的な限界がある. 従って, 録音・録画したデータから解析すべき場面のみを事後的に確認する手法が望ましい. しかしながら, 鶏は発声時に嘴の動きが非常に小さく視覚的な判別が困難であるため, 複数個体が密集する飼育環境下では収録データの映像や音声のみから発声個体及びその応答個体を正確に特定することは極めて困難である. そこで本稿では, 観察者の負担を軽減し, 個体間の発声パターンやコミュニケーションの効率的な解析を実現するため, 音源方向推定に基づいて発声個体を特定するシステムを提案する.

2 鶏のコミュニケーション

母鶏と雛の間には, 特徴的な音声コミュニケーションが存在することが先行研究により明らかになっている [1]. 具体的には, 雛が不快を示す distress call を発すると, 母鶏が摂食を促す food call を返し, それに応じて雛が快を示す pleasure call を発するという一連のやり取りを行う. こうしたやり取りは, 雛の健全な発育において重要である. 一方で, 父鶏が雛の発育や母鶏を含む群れ全体においてどのような役割を果たすかについては, 依然として未解明な点が多い.

こうした背景のもと, 我々の一連の研究では, 親子関係にある 3 個体を対象に, 音声及び映像によるコミュニケーション行動の記録・分析を行っている. その結果, 図-1 に示す応答パターンが観察された. 抽出された音声系列からは, 成鶏による food call の直後に雛の distress call が 3 回連続し, 再び成鶏の food call, 雛の distress call へと続く遷移が確認された. しかし, 成鶏が 2 羽存在する条件においては, 録

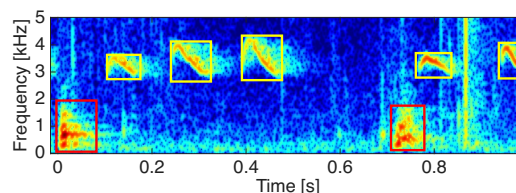


図-1 3 個体群でのコミュニケーションを記録したスペクトログラム. 赤枠は food call, 黄枠は distress call.

音・録画データの聴取及び目視による確認のみから, 「どの個体からどの個体へ向けられた発声か」という 3 個体間の具体的なコミュニケーションを解明することは困難である. そのため, こうした複数個体間における相互作用を解明するためには, 発声個体を正確に特定することが求められる.

3 方向推定に基づく発声個体推定

本稿では, 円形マイクロホンアレイを用いた音源方向推定に基づいて, 発声個体の特定を行う. 本手法では, 録音データから鶏の発声区間 (図-1 赤枠) を検出し, その区間の音響信号から方向を推定する. 得られた推定方向と同時刻の映像情報を組み合わせることで発声個体を特定する. 具体的には, まず観測信号を時間周波数領域へ変換し, 鶏の鳴き声が存在する周波数帯域のみに限定する. その上で, 周波数ビンごとに基準マイクに対する相対位相差を抽出する. 次に, 対象周波数帯域の位相を逆フーリエ変換により統合し, 時間領域における相対遅延量を算出する. 円形アレイのマイク配置によって, マイク間の遅延量は周方向に沿って正弦波状に変化するため, これに正弦波フィッティングを適用することで音源の到来方向を推定する. 最後に, 得られた到来方向を映像上の個体位置と対応づけることで, 発声個体を特定する.

4 実験

方向推定性能の評価及び実環境への適用性の検証を目的とし, スピーカを用いた基礎実験と実個体を用いた検証実験を行った. どちらも防音室で行っており, それぞれヤマハの AMDC35C, AMDB25H を利用した. まず, 基礎実験の模式図を図-2 に示す. 壁面反射が推定精度に及ぼす影響を検討するため, アレイスピーカ間の直線距離を 70 cm に固定した上で, 壁面からの距離を同図の 3 パターンに設定した. 音

* Direction of arrival estimation of chicken vocalizations based on periodicity of circular microphone array.
By Yoshihisa NIHEI, Takuma TERUNUMA, Akiko SEGUCHI, Natsuki YOSHINO, Kohei YATABE and
Tsuyoshi SHIMMURA (Tokyo University of Agriculture and Technology).

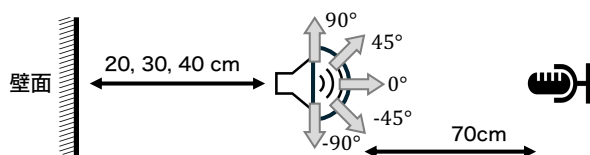


図-2 上から見た基礎実験の模式図。

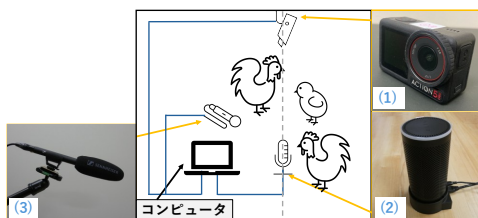


図-3 実個体を用いた実験環境の模式図。(1)はカメラ、(2)は円形アレイ、(3)は指向性マイク。

表-1 各条件における乖離角度の絶対値の中央値。括弧内は平均値を示す。

距離	方向	-90°	-45°	0°	45°	90°
20 cm		168.10	12.82	12.05	4.62	8.88
		(107.68)	(53.51)	(11.85)	(6.79)	(10.12)
30 cm		29.92	17.21	2.88	5.17	5.53
		(55.31)	(18.51)	(2.42)	(6.09)	(60.07)
40 cm		8.83	15.76	1.31	5.28	7.66
		(10.66)	(15.70)	(2.88)	(6.18)	(20.01)

源の提示については、アレイ正面方向を 0° とし、同図の 5 方向を設定し、個体の姿勢変化に対する追従性能を評価した。試行音源には、背景ノイズによる影響を排除するため、合成した 3 種類の鳴き声信号 [2] を用いて、各条件ごとに 5 回の試行を行い、その平均値を測定データとして取り扱った。次に、実個体を用いた実験環境の模式図を図-3 に示す。評価対象には、烏骨鶏の雄鶏、雌鶏、雛それぞれ 1 個体から構成される集団を用いた。本実験では、複数個体が存在する環境下での発声個体推定及びコミュニケーション解析に本手法が適用可能かを検証した。

4.1 基礎実験

防音室での基礎実験の結果を表-1 に示す。同表には、壁面からの距離及び音源の提示方向の各条件における推定誤差の統計量として全 15 試行の中央値及び平均値を掲載した。ここで推定誤差は、マイクアレイとスピーカを結ぶ直線を基準とした左右への乖離角度の絶対値を示している。推定誤差の中央値及び平均値が小さい条件は、突出した誤推定がなく全体として安定して高い精度で方向推定が達成されていることを意味する。これに対し、いずれかの統計量が增大する条件は著しい誤推定が含まれていることを示す。

表-1 より、壁面からの距離が大きくなるほど推定誤差が減少し、特に十分な距離がある条件では、安定した方向推定が可能であることが示唆された。また、

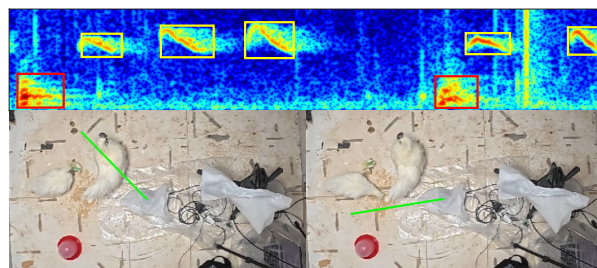


図-4 推定された発声個体とコミュニケーションの関係。

音源の提示方向が正面 0° の条件で最も誤差を抑えて推定できたのに対し、正面軸から傾くにつれて、誤差が増大した。なお、誤差が特に大きくなった音声に着目すると、全ての実験条件で共通の音源信号が誤推定されているわけではなく、特定の条件において同一の鳴き声信号が再現的に誤推定されていた。この結果は、周囲の幾何学的配置と音源信号自体の音響特性の組み合わせによって、方向推定性能が著しく低下する試行が存在することを示唆している。

4.2 実際の鶏を対象とした評価

実個体を用いた検証実験における方向推定結果を図-4 に示す。本結果は、図-1 に示した 2 回の food call を対象として推定を行った。図-4 より、1 回目の food call はマイクアレイに近接する個体、2 回目の food call は他方の個体から発せられたものであると推定された。2 個体はどちらも壁から 40 cm 以上離れた位置に存在した。基礎実験で明らかとなったマイクアレイに対する鶏の向きと推定精度との関係性を考慮すると、図-4 の結果は十分な妥当性を有していると考えられる。

さらに、本結果を個体間コミュニケーションの観点から考察すると、雌雄が共同で育雛を行っている可能性が示唆される。すなわち、雛の発声に対し雄鶏と雌鶏の双方が協調して注意を向け、摂食を促す行動を相補的に行っていることが推察できる。

5 むすび

本稿では、円形マイクロホンアレイを用いた音源方向推定手法の、鶏の発声個体推定への適用性を評価した。烏骨鶏を対象とした個体間コミュニケーション解析に発声個体推定を適用可能であることを確認した。今後は、本手法を実際の行動観察現場へ導入し、個体間コミュニケーションの解析に繋げたい。

参考文献

- [1] 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.*, pp. 134–135 (2023).
- [2] 鳥居美月, 吉野夏樹, 矢田部浩平, 新村毅, "波形の特徴に基づく鶏の鳴き声合成," 日本音響学会講演論文集 (2026.9).