

スナメリの採餌行動におけるインタラクションの解析

菅田 実希子^{†1,a)} 久保 孝富^{†1,b)} 森村 成樹^{†2,c)} 池田 和司^{†1,d)}

概要: スナメリ (*Neophocaena asiaeorientalis*) は通常、比較的少数の群れをつくる。採餌行動においても一つの魚群に対して複数のスナメリが採餌を行うが、そこでは一部のイルカで見られるような明示的な役割分担は見られない。しかし、それぞれの個体が無視し、完全に単独で採餌しているかどうかは明らかではない。本研究ではドローンによるスナメリの採餌行動の動画を用い、スナメリの採餌行動に集団性が見られるかどうかを検討した。

Interaction Analysis in Feeding Behavior of Finless Porpoises

Abstract: Finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis*) usually live in a relatively small group. Aggregated porpoises prey on fish simultaneously and they do not show explicit allotted roles like other dolphins. However, whether each individual hunt fish independently from others is not clear. In this study, we tried to find dependency in porpoises' hunting using movies of their feeding taken by a drone.

1. はじめに

ヒトは社会性動物と言われるが、ヒト以外にも社会性を持つ動物種は多い。たとえばチンパンジーは協力的な採餌を行いその餌を分け合い [1]、象は他個体の状況を理解し、必要に応じて仲間を助ける [2]。社会性にはさまざまなメリットがあるが、その一つが採餌の効率の向上であり [3]、鳥類 [4] や哺乳類 [5] の共同採餌が報告されている。共同採餌は鯨類にも見られ、ハシナガイルカ (*Stenella longirostris*) [6]、ハンドウイルカ (*Tursiops truncatus*) [7], [8]、シャチ (*Orcinus orca*) [9]、ザトウクジラ (*Megaptera novaeangliae*) [10] などの例がある。

鯨類は水中生活することから、そのコミュニケーションにはホイッスルと呼ばれる音波/超音波の通信を利用している。このホイッスルの解析により、シャチでは近距離通信が行われていること [11]、ハンドウイルカでは個体識別 [12] のみならず文脈も存在すること [13]、共同注意を行

うこと [14] などが明らかにされ、さらには同盟関係結ぶなど高度な社会性を持つこともわかってきた [15]。また集団採餌においては、魚群を囲い込む役割 (Barrier) と魚群に進入する役割 (Driver) を分担するなど、その戦略も高度である [8]。

同じ鯨類であっても、スナメリ (*Neophocaena asiaeorientalis sunameri*) は通常の生活では群れを形成しない (平均群れサイズ 1–2) [16], [17]。採餌時や繁殖時などの限定的な環境において群れを形成することがあるが、このような群れは単独個体もしくは小群が集まったものであるとされている [17]。しかし近年、スナメリが危険行動回避の際には協調行動が見られることが報告された [18]。これはスナメリも社会性を持つ可能性を示唆しており、採餌においても共同採餌をしている可能性がある。そこで本研究では、スナメリの採餌時の動画を用いてスナメリと魚群の位置関係を特定し、移動軌跡を定量的に解析することで、スナメリの採餌行動に協調性が見られるかを検討した。

2. データ収集および前処理

本研究では先行研究 [18] で収集された動画を利用している。ただし先行研究ではボート通過時の行動を解析しており、本研究では採餌時の行動を解析したことから、切り出された部分は異なる。

¹ 情報処理学会

IPSJ, Chiyoda, Tokyo 101-0062, Japan

^{†1} 現在、奈良先端科学技術大学院大学

Presently with Nara Institute of Science and Technology

^{†2} 現在、京都大学野生動物研究センター

Presently with Wildlife Research Center, Kyoto University

a) konda.mikiko.kc3@is.naist.jp

b) takatomi-k@is.naist.jp

c) morimura.naruki.5a@kyoto-u.ac.jp

d) kazushi@is.naist.jp

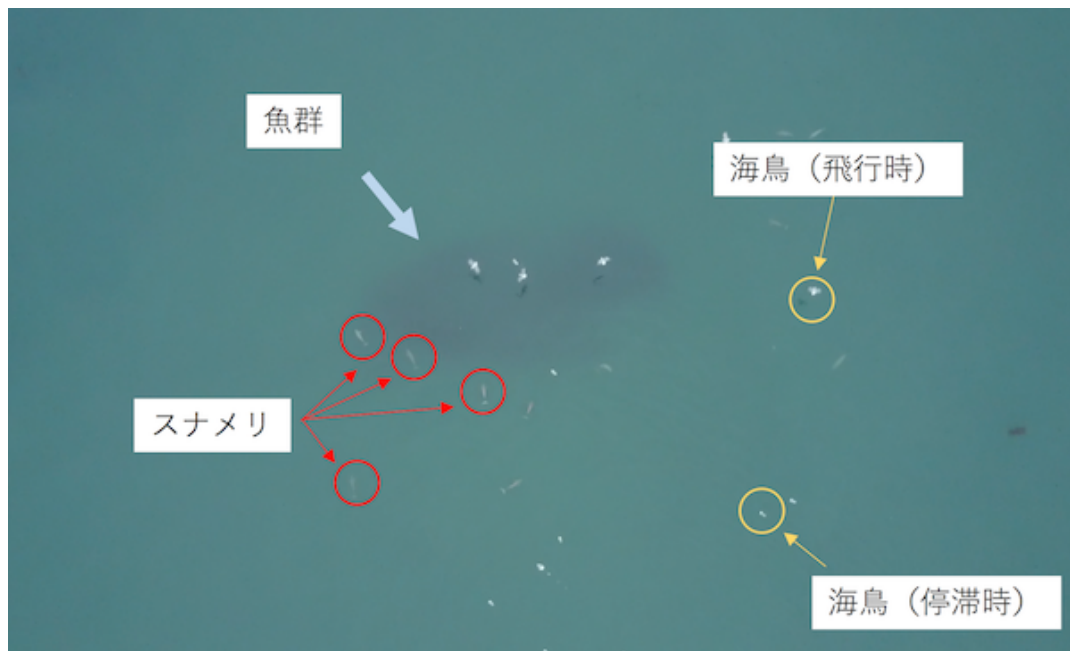


図 1 スナメリ動画のサンプル画像.

Fig. 1 A snapshot of a movie.

2.1 撮影場所

スナメリ属 (*Neophocaena*) は *Neophocaena asiaeorientalis* と *Neophocaena phocaenoides* に分類される [17], [19]. 本研究では熊本県三角西港 (32°37'7.4" N, 130°27'13.5" E) 沿岸の海域 (水深 50m 以下, 約 1.2 km²) に生息する *Neophocaena asiaeorientalis sunameri* を対象とし, 2017 年 3 月から 2018 年 5 月に動画を撮影した.

2.2 撮影方法

スナメリの行動はドローン (DJI Co. Ltd., Mavic Pro) で撮影した. ドローンはスナメリおよび魚群が写るように, 高度 40m から 149m で手動で操作した. 一度のフライトの撮影はおよそ 15 分であり, トータルでは午後 5 時頃から日没までの最大 3 時間である. なお, 気象条件が悪い時には撮影を行わなかった. 記録動画の画面サイズは 3840 × 2160px, フレームレートは 29.97 fps である. 実際の解析には, 5 フレームごとにダウンサンプリングしたものを使用した.

撮影対象はスナメリおよび魚群であるが, 海鳥も魚を捕食するため, 動画には海鳥も写り込んでいる (図 1). 海上で停滞している海鳥は, ドローンの移動時のランドマークとして利用した. すなわち, 本研究ではドローンの停止時およびドローンが平行移動時の動画のみを使用した.

2.3 採餌行動

スナメリの行動の中で, どこからが採餌行動かを切り分けるのは難しい. しかし採餌行動の中には, ゆっくり魚群に近づいた後, 急激に加速して魚群に突進することがしば

しばある. そこで本研究ではこれを採餌行動と定義し, 前者をアプローチング, 後者をチェイシングと呼び, 両者の切り替わる時点を時刻 $t = 0$ として切り分けることにした. スナメリは魚群に突進すると途中から潜行して動画中では見えなくなるため, $t = 0$ から判別不能になるまでを採餌行動として解析対象とした. 採餌行動は, 上記動画から 33 個体分抽出することができた.

2.4 画像処理

スナメリの位置特定にはトラッキングソフトウェア (Tracker v.5.0.5 [20]) を使用し, スナメリの両胸ビレの中心位置を抽出した. また, ドローンによる動画では位置の絶対座標が得られないことから, スナメリの体長 (頭部から尾部までの長さ) で正規化した.

魚群形状は, 魚群の暗い部分と海の明るい部分の境界を手作業により抽出して同定した.

2.5 単数・複数個体条件の分類

スナメリの採餌が他個体の影響を受けているかを調べるためには, 採餌が単独か複数個体かを区別する必要がある. 本研究では単独採餌は, 下記のいずれかの条件を満たすものとした.

- (1) $t = 0$ のフレーム上に対象以外のスナメリが存在しない.
 - (2) 対象のスナメリと他個体間の距離が十分である.
 - (3) 異なる方角から魚群へ接近している.
 - (4) $t = 0$ において他個体が魚群の方向を向いていない.
- これにより 33 個体の採餌行動は, 18 個体の単独採餌と 15

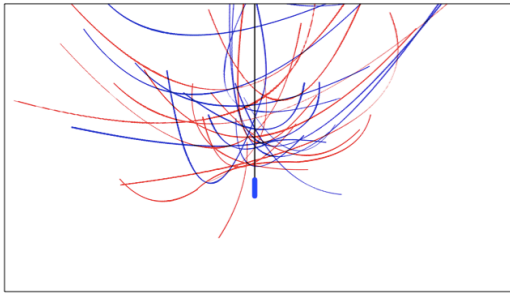


図 2 スナメリに対する魚群の位置.

Fig. 2 Fish school positions with respect to a porpoise.

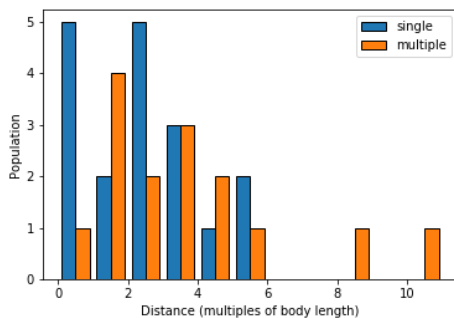


図 3 スナメリから “Closest” までの距離.

Fig. 3 Distance from porpoise to “Closest”.

個体の共同採餌に分類された。

3. チェイシング開始時のスナメリと魚群

3.1 魚群形状

スナメリがどのような時にどのようにチェイシングを行うかを調べるため、スナメリがチェイシングを開始した時 ($t = 0$) の魚群の形状を、いわゆる逆相関法によって調べた。具体的には、 $t = 0$ におけるスナメリの頭部と尾部が一致するように画像のスケールを調整し、 $0 \leq t \leq 1$ での進行方向が一致するように画像の向きを調整した上で、魚群形状を単独採餌は赤、共同採餌は青でプロットした。その結果、単独採餌と共同採餌とも、特定の位置からチェイシングを開始しているわけではなく、また両者にも違いは見られなかった (図 2)。

3.2 魚群との距離

チェイシングの方向に対して魚群形状は一定でなかったことから、より単純な魚群特徴量である魚群までの距離について検討を行った。スナメリの体長で正規化し、魚群のうち最も近い点 (Closest と表記) までの距離の分布を求めたところ、単独採餌と共同採餌のいずれも比較的裾の重い分布となり (図 3)、両者に統計的な差は見られなかった (Kolmogorov-Smirnov 検定, $p = 0.30$; Mann-Whitney U 検定, $p = 0.14$)。

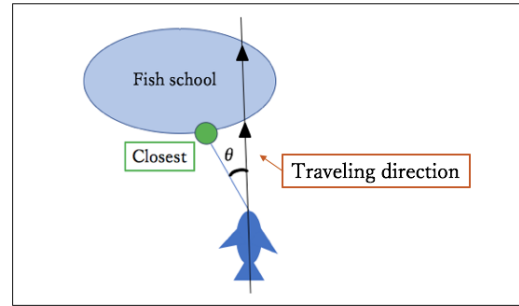


図 4 スナメリの進入角度の定義.

Fig. 4 Definition of the attacking angle.

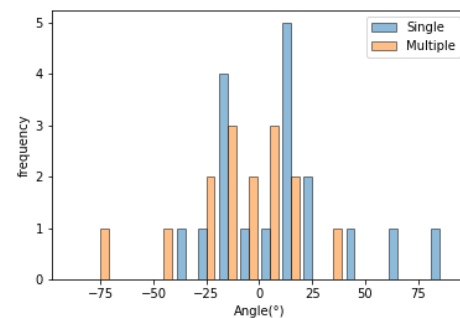


図 5 進入角度の分布.

Fig. 5 Distribution of the attacking angle.

3.3 魚群への進入角度

チェイシング開始時の魚群形状 (図 2) では、スナメリは魚群に対して垂直ではなく斜めに進入する傾向が見られる。単独採餌では自由に侵入できるが、共同採餌では隣接するスナメリと干渉する可能性があることから、もしスナメリが他個体を意識しているのなら、その進入角度に違いが見られる可能性がある。

魚群の最近点に対する角度をスナメリの進入角度と定義し (図 4) その分布を求めたところ、単独採餌と共同採餌のいずれも 0 付近が小さい双峰性の分布となり (図 5)、両者に統計的な差は見られなかった (t -検定, $p = 0.05$; Kolmogorov-Smirnov 検定, $p = 0.17$; Mann-Whitney U 検定, $p = 0.05$)。

3.4 進入角度のラテラリティ

進入角度の分布には統計的に有意な違いはなかったが、左右非対称性 (ラテラリティ) は異なるように見える。そこでスナメリの進入角度の政府の割り合いを調べたところ、単独採餌では 61% が正值をとる (右側に進入する) のに対し、共同採餌では 60% が負値をとった (表 1)。しかしこの違いは、統計的には有意ではなかった (χ^2 検定, $p = 0.74$; 単独採餌二項検定, $p = 0.24$; 共同採餌二項検定 $p = 0.30$)。

共同採餌時には他個体が近くにいるが、表 1 ではそれが混在している。そこで進入角度の正負ではなく、最も近く

表 1 進入角度のラテラリティ.

Table 1 Laterality of the attacking angle.

	Left	Right	Sum
Single	7	11	18
Multiple	9	6	15
Sum	16	17	33

にいる他個体に近づいたか離れたかという観点で共同採餌時の進入角度を調べた。その結果、他個体に近づく割合は 53% であり、他個体に影響を受けているとはいえなかった (表 2)。なおここでは、他個体が両側のほぼ等距離にいた 2 データを除いている。

表 2 進入角度の最近他個体への依存性.

Table 2 Dependency on the nearest individual.

	Closer	Opposite	Sum
Multiple	7	6	13

4. 考察

本研究での解析では、スナメリのチェイシング開始時の魚群の形状、距離、進入角度などにおいて、単独採餌と共同採餌で違いは見られず、スナメリの共同採餌が“協働”採餌である証拠は見つからなかった。しかし、以下のよう

にいくつかの発見があった。

まず、進入角度の分布が単峰性ではないことは明らかである (図 5)。これは、魚群の形状ではなく動きに影響を受けている可能性がある。たとえばメキシコ湾に生息しているクライメンイルカ (*Stenella clymene*) は採餌時に海面付近の多くの個体が魚群に対して反時計回りに遊泳する [21]。また鯨類ではないが、オオクチバス (*Micropterus salmoides*) も採餌時にラテラリティがある [22]。

採餌時に限らず、鯨類は反時計回りに遊泳する傾向がある [23]。ハンドウイルカではアメリカでもロシアでも反時計回りの方向性遊泳バイアスがある [24]。カリフォルニア・モンレー湾のカマイルカ (*Lagenorhynchus obliquidens*) は睡眠中に反時計回りのバイアスがある [25]。この原因を示唆する報告として、南アフリカのハンドウイルカは睡眠中/休息中に時計回りの遊泳が優位的であることが報告された [26]。すなわち、回遊の方向性は地球の自転や地磁気に影響を受けている可能性がある。

有明海に生息するスナメリについてはラテラリティの報告はないが、単独採餌時に反時計回りの優位性を持つ可能性がある。本研究を基礎として、より多くのデータとより精緻な解析により、スナメリのラテラリティと共同採餌時の変化を捉えることができる可能性はある。また、進入角度の分布で 0 付近が小さいということは、スナメリが最も近い魚を捕食しに行くわけではないことを示している。スナメリの行動を理解するには、水中カメラなどでスナメリ

の捕食行動を撮影し、その方法を探る必要もあると考えられる。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金 15H01620, 17H05863, NAIST ビッグデータプロジェクトの助成を受けた。

参考文献

- [1] Boesch, Christophe, and Hedwige Boesch. "Hunting behavior of wild chimpanzees in the Tai National Park." *American journal of physical anthropology* 78.4 (1989): 547-573.
- [2] Plotnik, J.M., et al.: Elephants know when they need a helping trunk in a cooperative task, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol.108, No.12, pp.5116–5121 (2011).
- [3] Kitchen, D.M. and Packer, C.: Complexity in vertebrate societies, In Keller, L. ed., *Levels of Selection in Evolution*, pp.176–196 (1999).
- [4] Ellis, D.H., et al.: Social foraging classes in raptorial birds, *Bioscience*, Vol.43, No.1, pp.14–20 (1993).
- [5] Creel, S. and Creel, N.M.: Communal hunting and pack size in African wild dogs, *Lycaon pictus*, *Animal Behaviour*, Vol.50, No.5, pp.1325–1339 (1995).
- [6] Benoit-Bird, K.J. and Au, W.W.: Cooperative prey herding by the pelagic dolphin, *Stenella longirostris*, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.125, No.1, pp.125–137 (2009).
- [7] Gazda, S.K., et al.: A division of labour with role specialization in group-hunting bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) off Cedar Key, Florida, *Proc. Royal Soc. B: Biological Sciences*, Vol.272, pp.135–140 (2005).
- [8] Gazda, S.K.: Driver-barrier feeding behavior in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): New insights from a longitudinal study, *Marine Mammal Science*, Vol.32, No.3, pp.1152–1160 (2016).
- [9] Similä, T. and Ugarte, F.: Surface and underwater observations of cooperatively feeding killer whales in northern Norway, *Canadian Journal of Zoology*, Vol.71, No.8, pp.1494–1499 (1993).
- [10] D'Vincent, C.G., Nilson, R.M. and Hanna, R.E.: Vocalization and coordinated feeding behavior of the humpback whale in southeastern Alaska, *Scientific Reports of the Whales Research Institute*, Vol.36, pp.41–47 (1985).
- [11] Thomsen, F., Franck, D. and Ford, J.K.B.: Characteristics of whistles from the acoustic repertoire of resident killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British Columbia, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.109, No.3, pp.1240–1246 (2001).
- [12] Janik, V.M.: Whistle matching in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), *Science*, Vol.289, pp.1355–1357 (2000).
- [13] Janik, V.M., Todt, D. and Dehnhardt, G.: Signature whistle variations in a bottlenosed dolphin, *Tursiops truncatus*, *Behavioral Ecology and Sociobiology*, Vol.35, No.4, pp.243–248 (1994).
- [14] Pack, A.A. and Herman, L.M.: Dolphin social cognition and joint attention: Our current understanding, *Aquatic Mammals*, Vol.32, No.4, p.443 (2006).
- [15] Wiszniewski, J., Brown, C. and Möller, L.M.: Complex patterns of male alliance formation in a dolphin social network, *Journal of Mammalogy*, Vol.93, No.1, pp.239–250 (2012).
- [16] Shirakihara, M., Shirakihara, K. and Takemura, A.: Distribution and seasonal density of the finless porpoise

- Neophocaena phocaenoides in the coastal waters of western Kyushu, Japan, *Fisheries Science*, Vol.60, No.1, pp.41–46 (1994).
- [17] 粕谷俊雄: イルカ—小型鯨類の保全生物学, 東京大学出版会 (2011).
- [18] Morimura, N. and Mori, Y.: Social responses of traveling finless porpoises to boat traffic risk in Misumi West Port, Ariake Sound, Japan, *PLoS ONE*, Vol.14, No.1, e0208754 (2019).
- [19] Jefferson, T.A. and Wang, J.Y.: Revision of the taxonomy of finless porpoises (genus *Neophocaena*): the existence of two species, *Journal of Marine Animals and Their Ecology*, Vol.4, No.1, pp.3–16 (2011).
- [20] Tracker—Video analysis and modeling tool, <http://physlets.org/tracker/>
- [21] Fertl, D., Schiro, A.J., and Peake, D.: Coordinated feeding by Clymene dolphins (*Stenella clymene*) in the Gulf of Mexico, *Aquatic Mammals*, Vol.23, pp.111–112 (1997).
- [22] Yasugi, M. and Hori, M.: Lateralized behavior in the attacks of largemouth bass on *Rhinogobius* gobies corresponding to their morphological antisymmetry, *Journal of Experimental Biology*, Vol.215, pp.2390–2398 (2012).
- [23] Lilly, J.C.: *Man and Dolphin*, Doubleday, Garden City (1961).
- [24] Ridgway, S.H.: The central nervous system of the bottlenose dolphin, In Leatherwood, S. and Reeve, S. ed., *The Bottlenose Dolphin*, Academic Press, New York, pp.69–97 (1990).
- [25] Goley, P.D.: Behavioral aspects of sleep in Pacific white - Sided Dolphins (*Lagenorhynchus Obliquidns*, Gill 1865) 1, *Marine Mammal Science*, Vol.15, No.4, pp.1054–1064 (1999).
- [26] Stafne, G.M. and Manger, P.R.: Predominance of clockwise swimming during rest in Southern Hemisphere dolphins, *Physiology & Behavior*, Vol.82, No.5, pp.919–926 (2004).