

2 個体のイルカの首振り動作の相互影響

Interactional Synchrony of Head Shaking Behavior in Dolphins

小森 政嗣[†], 小窪 久美子[†], Lira Yu[‡], 堂崎 正博[§], 友永 雅己[‡]
Masashi Komori, Kumiko Kokubo, Lira Yu, Masahiro Dozaki, Masaki Tomonaga

[†]大阪電気通信大学, [‡]京都大学, [§]名古屋港水族館
Osaka Electro-Communication University, Kyoto University, Port of Nagoya Public Aquarium
komori@oecu.jp

Abstract

In human social interactions, it is often observed that interactants move together in harmony. This phenomenon is referred to as “synchrony.” Like humans, bottlenose dolphins are known to show a highly synchronous movement in a social context. The present study examined the synchrony of paired dolphins’ head shaking behaviors using a circular statistics method. Eight 15-s sessions were recorded in which two dolphins were instructed to shake their heads. The phase synchronization of head movements in each pair was measured using a moving circular correlation. Moreover, temporal changes in the degree of influence of the other dolphin’s head shaking behavior were evaluated using a partial circular correlation controlling the effect of its own preceding movement. Results suggested that differences in the degree of synchrony were caused by individual differences in response to the other dolphin’s behavior.

Keywords — Synchrony, Bottlenose Dolphin

1. はじめに

ヒトの相互作用場面において相互作用者の非言語が時間的に同期して生じることしばしば観察され、このような現象はシンクロニー(synchrony)と呼ばれる。特に互いに協調しながら行進やダンスなどのリズムカルな活動を行うことは文化を超えて幅広く認められる[1]。また類人猿においてもこのような能力の萌芽が認められることが近年の研究で明らかになりつつある[2,3]。一方、霊長類以外の哺乳類においてリズムカルな協調動作を行う能力を持つと考えられているのがイルカである[4]。イルカは泳ぎや浮上の際にシンクロニーを示し、これらがイルカの社会的振る舞いと関係することが多くの観察から示されてきた。

ヒト以外の哺乳類における動作のシンクロニーの特性を明らかにすることは、シンクロニーが生起するプロセスの解明に寄与すると考えられる。

また、互いに協調しながらリズムカルな動作を行う能力は、我々の社会性の基盤となっている可能性があることから、他の哺乳類のシンクロニーの理解は、ヒトの社会性の進化を解明する上でも重要である。

本研究ではリズムカルな協調動作がどのような相互作用過程を経て生じるのかを検討するための手法を構築し、イルカが頭部を振る動作を行っている時のシンクロニーの生起・継続過程の詳細な検討を行うことを目的とする。

シンクロニーは相互作用者の一方が他方の動作を模倣する、もしくは互いが模倣しあうことによって生じる。しかし頭部を振る動作のように周期的な運動の場合、動作の初期段階で模倣が生じ、その後は全く独立して二者が動作を行ったとしても、見かけ上の「シンクロニー」は継続して現れる。そのため、各時点での動作の位相同期のみを評価しても相互作用の程度について検討することは出来ない。

そこで本研究では、ある時点での両方の相互作用者の動作が、一定時間経過後の一方の動作に及ぼす影響を検討する。これにより、自身の動作が一定時間後の自身の動作に及ぼす影響と、他者の動作が一定時間後の自身の動作に及ぼす影響を峻別することが可能となる。これにより周期的な運動を行っているときの動作の相互影響過程を検討する。

2. 方法

実験には名古屋港水族館の成熟オスのハンドウイルカ 4 個体(P, E, T, Q)が参加した。これらの各イルカはペアで協調しながら様々な演目を行

うことができるよう訓練されている。

本研究で解析対象とした演目は、水上に頭部を出した状態の 2 頭のイルカが隣り合って指示を出す飼育員の方向を向いて並び、飼育員のハンドシグナルによって左右に頭部を振る動作を開始し、その後約 15 秒間にわたり頭部を振る動作を継続するものである (図 1)。各試行が成功するとホイッスルによる二次強化子と魚の切り身がイルカに与えられる。すべての試行は同水族館内のプールで行われた。

4 個体をそれぞれペアにして上記の演目を行っている時の、飼育員の動作及び 2 頭のイルカの動作を解析した。全てのペアで演目は行われたが、このうち、飼育員のハンドシグナルから 15 秒間継続的に頭部を振る動作が継続した 8 試行のみを解析対象とし、15 秒に満たなかった試行は解析対象から外した (表 1)。開始から 15 秒未滿で首振りが停止した後、飼育員のハンドシグナルにより首振り動作を再開した場合は、再開時の飼育員のハンドシグナルを解析区間の開始とした。

演目が行われている際の様子はビデオカメラで撮影された。フレームレートは 29.97fps であった。

3. 首振り動作のシンクロニー

各試行のビデオをコマ送り再生し、3 名の評定者が目視により飼育員およびペアを構成する 2 頭のイルカそれぞれについて動作のコーディングを行った。頭部の詳細な動きをビデオ映像から評価することは困難なため、頭部が動く方向が左から右へ、および右から左へ変化するフレームを記録した。これを全てのペアを撮影した映像について行った。これにもとづいて各イルカが頭部を左右に振ったタイミングを求めた。

飼育員のハンドシグナルやイルカの首振り動作は反復運動であるため、これらの動作の位相を推定しこれをもとに首振り動作のシンクロニーの程度および影響関係を定量的に検討する。

まず、飼育員のハンドシグナルおよびイルカの頭部動作の各フレーム時点における位相角を求めするために、飼育員のハンドシグナルおよび頭部動



図 1 実験の様子

表 1 ペアになったイルカ

事例	イルカのペア
Case 1A	P, E
Case 1B	
Case 1C	
Case 2A	P, T
Case 3A	E, T
Case 4A	E, Q
Case 5A	T, Q
Case 5B	

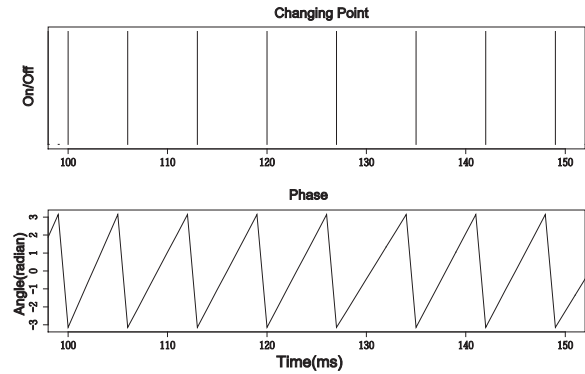


図 2 ハンドシグナルおよび首振り動作の位相への変換

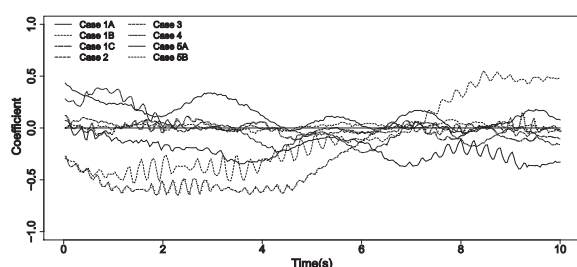
作の方向が変化した時点をもとに次の変換点をもとにその間の線形補間を行った (図 2)。この手続きを飼育員および 2 頭のイルカそれぞれについて行った。

飼育員と各イルカ、およびイルカ同士のシンクロニーの程度を求めるため、位相角同士の関係を方向統計学の一手法である角度相関 (circular-circular correlation[5])によって検討し

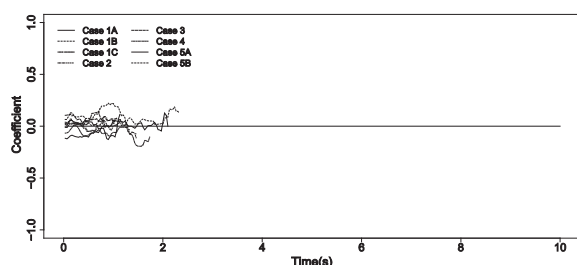
た。

角度相関は角度データの間を検討する手法であり、位相角同士の関係が常に一定である時に最も高い値を示す。適切な時間窓を設定することで、頭部を振る動作のシンクロニーの程度の変化を評価することが出来ると考えられる。

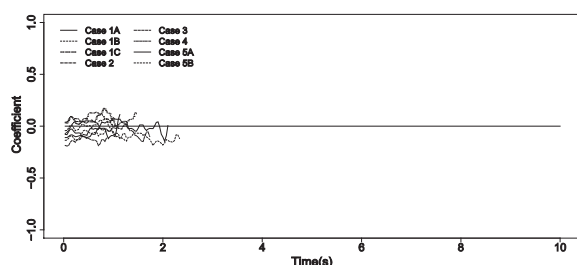
イルカ同士および飼育員とイルカの角度相関係数の時系列変化を図3に示す。窓長は150フレーム(5s)とした。またシフト長は動画の1フレームに相当する1/30sとした。試行開始時の飼育員のシグナルはどの試行においても数回しか出現しなかったため、イルカ同士の相関と比べて相関係数を算出できた区間が短くなっている。イルカ同士



(a) 各事例のイルカの動作間の角相関係数



(b) 左側のイルカと飼育員の動作間の角相関係数



(c) 右側のイルカと飼育員の動作間の角相関係数

図3 イルカ間および飼育員とイルカ間のシンクロニー

のシンクロニーはいくつかの事例 (Case 1A, 1B, 2 など) において認められるのに対して、飼育員とイルカの間には動作のシンクロニーはほとんど認められなかった。

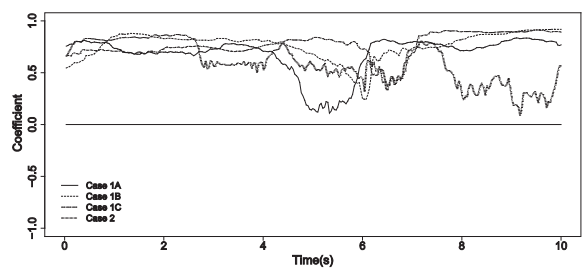
4. 首振り動作の相互影響関係の検討

次に、首振り動作の相互影響関係について検討する。ある個体の首振り運動が、直前の他個体の首振り運動にどの程度影響されているかを検討するためには、その個体と他個体の動作の関係だけでなく、直前の自らの運動にどの程度影響されているかについても評価する必要がある。ここでは角度偏相関に基づいて相互影響関係を検討する。

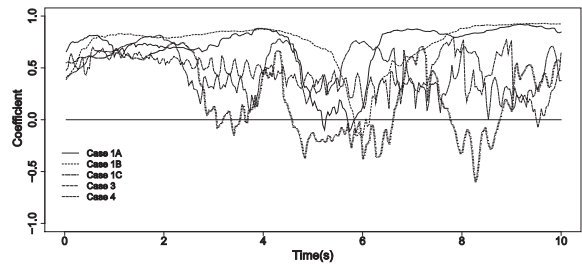
個体 A の時刻 t からある一定時間 (時間窓長) 内における位相データ \mathbf{a}_t と個体 B の位相データ \mathbf{b}_t とする。また時刻 $t+\tau$ から一定時間内における個体 A の位相データを $\mathbf{a}_{t+\tau}$ とする。 \mathbf{a}_t を制御変数として \mathbf{b}_t と $\mathbf{a}_{t+\tau}$ の角度偏相関を求めると、時刻 t の個体 B から時刻 $t+\tau$ での個体 A への影響の程度を検討することが出来る。また同様に、 \mathbf{b}_t を制御変数として求めた \mathbf{a}_t と $\mathbf{a}_{t+\tau}$ の偏相関係数は、時刻 t の個体 A から時刻 $t+\tau$ での個体 A 自身への影響を示している。したがって、適切な時間窓とタイムラグを設定することによって、イルカの各個体が自ら一定の周期でリズムを保とうとする働きによる影響と、他の個体から受ける影響の程度をそれぞれ評価することが可能となる。本研究ではこのタイムラグを $\tau=200\text{ms}$ としてイルカが自身から受けた影響、およびもう一方のイルカから受けた影響を検討した。

図4には時刻 $t+\tau$ の各イルカが時刻 t の自身の動作から受けた影響の程度を示す。多くの事例において試行開始から終了時点まで比較的高い偏相関が認められる。このことは、試行中のイルカが安定した周期で反復運動を維持し続けており、一定の速さで首振り動作を行っていたことを示している。

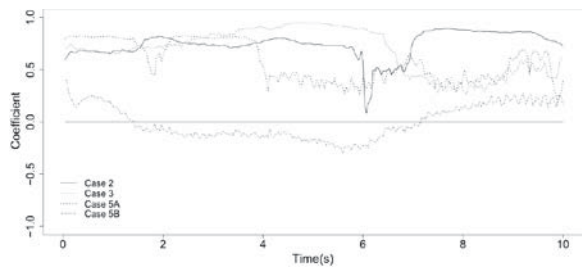
次に、時刻 $t+\tau$ でのある個体の動作と、時刻 t における他個体の動作の関係を時刻 t における当該個体の動作を制御変数として検討した (図5)。



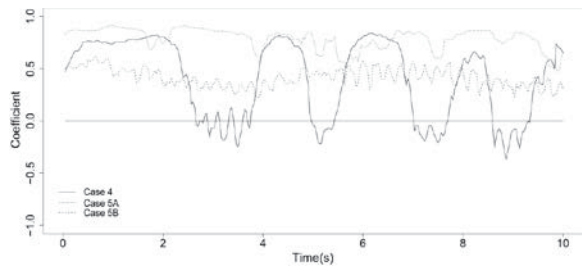
(a) 個体 P



(b) 個体 E



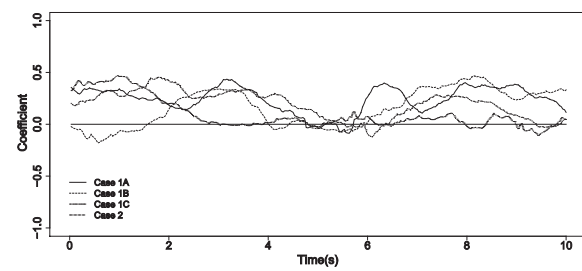
(c) 個体 T



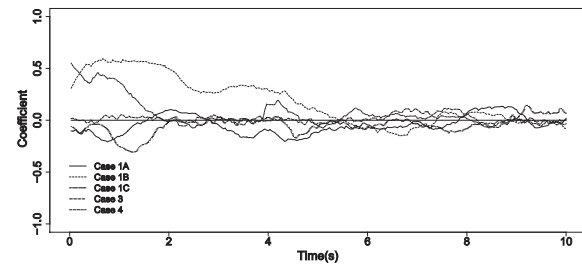
(d) 個体 Q

図 4 各イルカの時刻 t の自身から時刻 $t + \tau$ の自身への影響($\tau=200\text{ms}$)

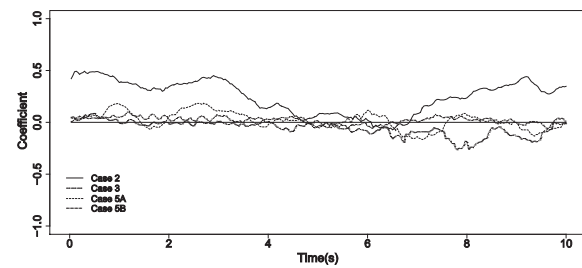
この値はある時点での動作が、その 200ms 前のもう一方の個体の動作にどの程度影響を受けていたかを示す値である。自身からの影響と比較すると、他個体からの影響は概ね小さいことが見て取れる。また 8 試行（すなわち延べ 16 個体）のうち約半数の 7 個体ではほぼ一貫して偏相関係数が 0 近辺の値を示していた。これらの事例では、イルカはもう一方のイルカの動作にほとんど影響されてい



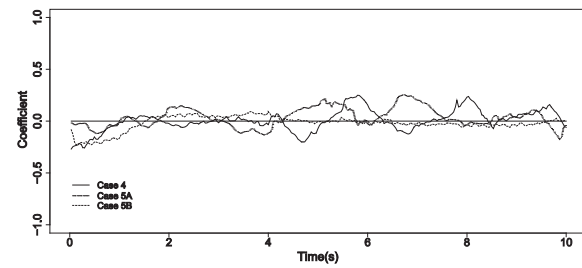
(a) 個体 P



(b) 個体 E



(c) 個体 T



(d) 個体 Q

図 5 時刻 t の他個体から時刻 $t + \tau$ の各個体への影響($\tau=200\text{ms}$)

なかったことがうかがえる。残りの半数の事例においても、試行中一貫して他個体の動作に影響を受け続けているものはなかった。

次に、他個体からの影響の受けやすさを個体間で比較する。4 事例に参加した個体 P は、15 秒間の試行中のいずれかの時点で比較的大きく他個体からの影響を受けている区間が認められた。また個体 E では参加した 5 試行中 4 試行で、試行の前

半において他個体から影響を受けていたことがうかがわれる。また試行後半ではどの事例においても他個体からの影響をほとんど受けていない。一方、個体 T および Q は他個体の動作の影響を受けた事例は少なかった。このことから、個体によって他個体の動作からの影響の受けやすさが異なることが示唆された。

5. 考察

二頭のイルカの首振り動作のシンクロニーを角度統計的アプローチにより検討した。さらに、周期的な動作の相互影響関係を検討する手法を提案しそれらの分析を行った。

首振り動作において相対的に高いシンクロニーが認められた事例では、イルカの双方が高い自己相関を示すとともに、少なくとも一方のイルカは他方からの影響を受けて動きのタイミングを変化させていた。このことは、イルカにおける周期的動作のシンクロニーには、自ら安定した周期運動を行い続ける能力と、他個体の動きを知覚しそれに応じて自らの動作を変化させる能力の両方が必要であることを示唆している。

また結果から、他個体からの影響のされやすさには個体差があることが示唆された。この違いが各個体の特性の違いから生じたものなのか、イルカ同士の社会的な関係の違いを反映したものなのか、検討していく必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19300091, 23220006, 15H05709, 25380989 の助成を受けた。

参考文献

- [1] McNeill, W. H. (1995). *Keeping together in time: Dance and drill in human history*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [2] Hattori, Y., Tomonaga, M., & Matsuzawa, T. (2013). Spontaneous synchronized tapping to an auditory rhythm in a chimpanzee. *Scientific reports*, 3.

- [3] Yu, L., Tomonaga, M. (2015). Interactional synchrony in chimpanzees: Examination through a finger-tapping experiment. *Scientific Reports*, 5.
- [4] Connor, R. C., Smolker, R., & Bejder, L. (2006). Synchrony, social behaviour and alliance affiliation in Indian Ocean bottlenose dolphins, *Tursiops aduncus*. *Animal Behaviour*, 72(6), 1371-1378.
- [5] Jammalamadaka, S. R., & Sengupta, A. (2001). *Topics in circular statistics* (Vol. 5). World Scientific.