

論文

音響観測門によるスナメリの地域的行動観察

木村 里子 (京都大学 大学院情報学研究科) *1

赤松 友成 (独立行政法人水産総合研究センター 水産工学研究所) *2

王 丁, 王 克雄, 李 松海 (中国科学院 水生生物研究所) *3

sk0130@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp

(2007年4月25日原稿受付)

Abstract :

Passive acoustical monitoring systems were used to monitor local migrations of Yangtze finless porpoises in China. We stationed 3 acoustic data loggers (W20-ASII) at 3 different places in the confluence area of Poyang Lake and the Yangtze River on 27-29 April 2006. Acoustic data loggers recorded ultrasonic signals from porpoises swimming in a 300m radius approximate range. Visual observations were conducted simultaneously at two stations. Acoustical and visual observation could detect the presence of porpoises at $73.9 \pm 20.9\%$ and $7.0 \pm 6.5\%$ at all observation times, respectively. Visually-counted group sizes were underestimated compared with acoustical observations for groups of up to 5 individuals, whereas the opposite was true when the group size was more than 6. In summary, a passive acoustical method was proved to be effective for the long term monitoring of finless porpoises swimming underwater. The limitation of group size estimations is thought to be caused by a less accurate measurement of sound source direction due to the short baseline of W20-ASII. It can be improved by employing longer baseline stereo hydrophones.

分 類：水産音響・バイオアコースティクス

キーワード：スナメリ, 音響調査, 目視調査, 群れサイズ

1. 背景および目的

スナメリ (*Neophocaena phocaenoides*) は、アジアの沿岸域に広く生息する、小型の鯨類である。主に50 m以浅の海水域に生息するが、揚子江の中流・下流域や、その付属湖には淡水性の亜種が存在する。近年揚子江流域では経済発展が進み、船舶航行

の増加、灌漑施設の建設、それに伴う底砂利採集、水質汚染等、環境が急激に悪化しつつある。揚子江に生息するスナメリの個体数は1991年には2700頭と推定されたが¹⁾、現在では著しく減少したと推測されている。人間の社会活動の影響による本種の個体数減少、生息域の縮小が懸念されるため、スナメ

Monitoring Local Migration of Yangtze Finless Porpoises by Acoustic Gate

*1 Satoko KIMURA (Graduate School of Informatics, Kyoto University)

*2 Tomonari AKAMATSU (National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency)

*3 Ding WANG, Kexiong WANG and Songhai LI (Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences)

りの生息個体数や回遊行動パターン、生息域等を解明し、生態情報に基づいた適切な保全策を策定することが喫緊の課題である。

従来、鯨類の野外行動観察は主に目視調査によってなされてきた。しかし、目視調査にはいくつか問題点がある。夜間や悪天候時に観察が行えないこと、発見率が個人の能力差に依存してしまうこと等である。加えて、揚子江のスナメリの場合、揚子江が全体的に濁っており、視程は1 m以下と非常に浅いことや、スナメリ自身に背びれがないことから、呼吸のため水面に浮上した時のみを目視観察を行なうには限界があるといえる。一方で、近年水中で鳴音を発する生物に関して、水中音を録音する音響データロガーを用いて受動的に水生生物の移動や個体数を確認する手法が開発されており^{2,3)}、揚子江に生息するスナメリについても音響的検出が有効であることが示されている⁴⁾。スナメリは、他のハクジラ類同様、パルス列のソーナー音を頻繁に発して、獲物の位置を捉えたり、周囲の環境を検知して航路決定をしたりするためにエコーロケーション(反響定位)をおこなう。したがって、音響観察手法によって24時間の連続観察も可能であり、目視観察より正確に個体数や遊泳行動パターンの推定が行なうことができると思われる。

本研究では、揚子江中流域と、その付属湖で中国最大の淡水湖であるポーヤン湖においてスナメリの回遊行動を確認する手法を確立することを目的とした。水中音を自動的に録音する、受動的音響観測システム(音響観測門)の設置を試み、1)目視調査と音響調査の検出確度比較、2)目視での観察空白水域における音響的確認、の2点に取り組んだ。目視調査と音響調査の検出確度比較として、検出時間、検出個体数の2項目について検討を行った。

2. 材料と方法

2006年4月27-29日、上述の中国中南部に位置する揚子江中流域と付属湖ポーヤン湖の接続域(**Fig. 1**)で調査を行った。調査期間は雨季前半であった。

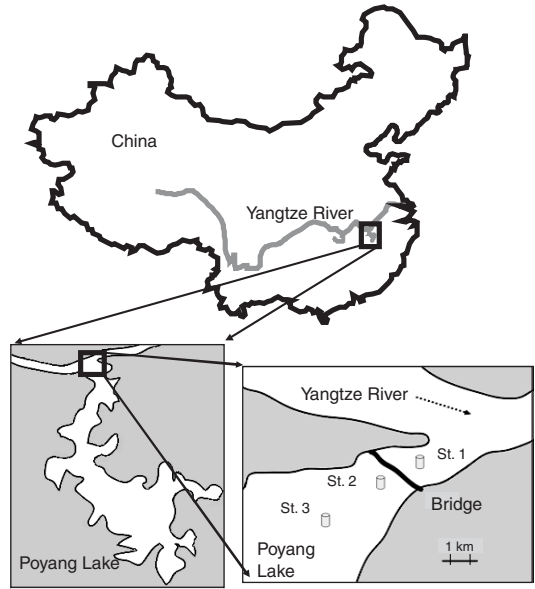


Fig. 1 Map of the study area. Both acoustical and visual observations were conducted at St. 1 and 2. A continuous acoustical monitoring was performed at St. 3.

2.1 目視調査と音響調査との検出確度比較

2.1.1 音響調査

St. 1 (29°44'34" N. 116°12'10" E.) および、St. 2 (29°44'02" N. 116°11'47" E.) において、2基の音響データロガー、W20-AS II (リトルレオナルド社製)を各調査ステーションに1基ずつ設置して録音を行なった。本ロガーの受信周波数帯域は70-300 kHzであり、スナメリのソーナー音の周波数ピーク87-145 kHz⁴⁾を録音できる。また、ロガーにはステレオ式の水中マイクロホンが2つついており、ソーナー音の音圧、パルスの発射間隔、同じ音波の2つの水中マイクロホンへの到達時間差を記録でき、ある時刻における独立な音源方位の数を計数することで、スナメリの個体数を計測することが可能である。

毎日日中約6時間、音響データロガーを調査船に固定し、受動的に水中音の録音を行った。2つのマイクロホンは一方を湖口(揚子江)側、もう一方を湖奥側の向きになるよう設置した。

2.1.2 目視調査

音響データロガーを固定した船上で、音響調査と同時に目視調査を行った。

4人の観察者は船上から1人90度の範囲を目視観察した。観察者の目線は水面上約2 mであった。精度の低下を防ぐため、目視観察を1時間行った後、30分の休息時間を取った。観察者はスナメリの個体群を確認したとき、その最小個体数、方位(調査船の船首方向を12時として時計方向に1~12時)、調査船からのおよその距離、遊泳方向を記録した。音響データロガーは調査船に固定してあるため、風等で調査船の船首の向きが変わっても、音響データロガーの記録方位と目視調査の観察方位は一致した。遊泳方向は、湖から揚子江への流れを考慮し、湖奥へ向かうことをup、湖口へ向かうことをdownとした。

2.1.3 データ解析

時系列データ解析ソフト Igor Pro5.03 (Wavemetrics社製)を用いて、記録された水中音の音源音圧、音源の相対方位、パルス間隔を表示した。相対方位は、同じ音波の2つの水中マイクロホンへの到達時間差から算出した。1分毎に時間窓を設け、独立した音源方位の数から、その間に確認されたスナメリの最低個体数を計測した。

Fig. 2は、音圧、音源方位、パルス間隔の時系列グラフである。中段の音源方位には、1頭のスナメリが上流から下流へ移動する様子が示されている。到達時間差が大きいほど、音の到来角度が大きい。Fig. 2aに示される動物の軌跡の数を1分間の時間窓の中で計数することで、ある時間の通過最低個体数を求めた。また、雑音の混入を排除するために、各パルスの音圧とパルス間隔がなめらかに変化している音源軌跡^①をスナメリのソーナー信号とみなした。Fig. 2bの例に示すように、軌跡が一本(1頭)でも、パルス間隔や音圧が二重周期的に変化している軌跡は2頭とみなした。

2.2 目視での観察空白水域における音響的確認

これまでにスナメリの目視観察例がない空白水域

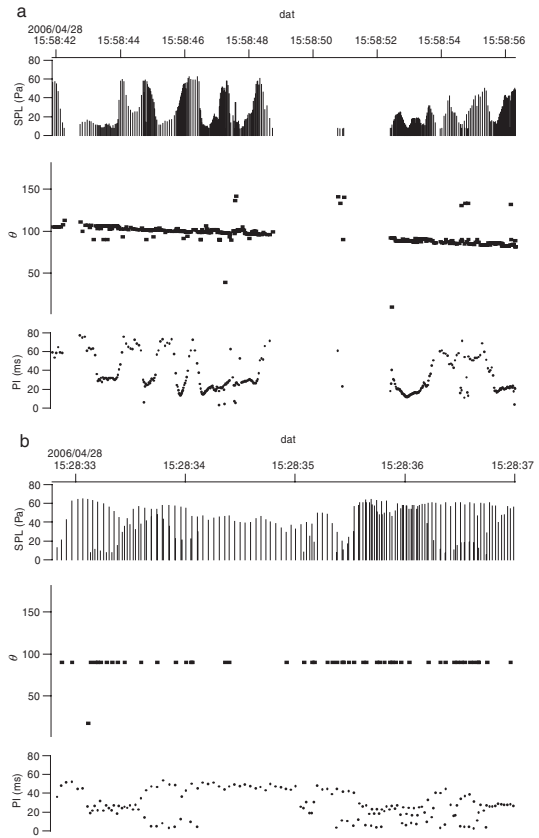


Fig. 2 Time serial change of finless porpoises' sonar sound. (a) From above, vertical axis is sound pressure (Pa), relative source direction of received pulse (degree), pulse interval (ms). This figure shows the locus in which a finless porpoise swam from upstream to downstream, (b) The minimum number of the animals within 1-minute time window was estimated as two, because the pulse intervals and the sound pressure levels showed dual pitch fluctuation.

(中国水生生物研究所カワイルカ研究グループによる未発表データ)のSt. 3 (29°43'03" N, 116°11'19" E)ではW20-AS IIを湖底に設置して、受動的に水中音を録音する音響観測門とし、連続32時間の水中音響データ録音を試みた。1)同様、2つのマイクロホンの一方を湖口(揚子江)側、もう一方を湖奥側の向きになるよう固定して設置した。データ解析は1)同様、Igor Pro5.03ソフト(Wavemetrics社製)を用いて1分の時間窓の間に確認されたスナメリの最低個体数を計測した。

3. 結果

3.1 目視調査と音響調査の検出確度比較

St. 1 および St. 2 において合計 1827 分の録音を行った。総目視観察時間は 1777 分であり、両調査が同時に実施された時間は 1720 分であった。Fig. 3 に、4 月 28 日 St. 1 の目視調査、音響調査によって検出された 1 分毎の時間窓で確認されたスナメリ個体の時系列グラフを示す。

3.1.1 検出時間比較

観察日ごとに全観察時間に対するスナメリが検出された時間の割合を求めたところ、目視観察では全観察時間に対して $7.0 \pm 6.5\%$ (平均 \pm S.D.) の割合でスナメリを検出し、音響的観測では全観察時間の $73.9 \pm 20.9\%$ (平均 \pm S.D.) でスナメリを検出した (Fig. 4)。

3.1.2 検出個体数比較

同じ時間窓で目視と音響の両手法で計数された

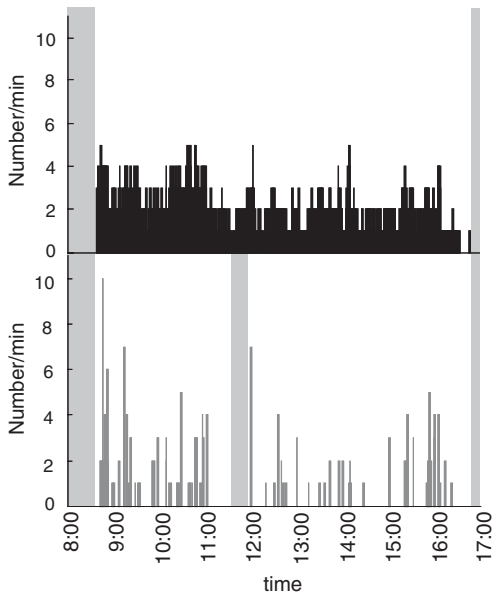


Fig. 3 Results of acoustic (upper) and visual (lower) observations at St.1 on 28 April, 2006. Vertical axis is porpoises' number/min. Horizontal axis is observation time. Light gray zones are the time duration with no observation either by visual or acoustics.

個体数を Table 1 で比較する。音響では 1 頭群が多く記録された (715 分) が、そのうち目視では何も記録されなかった時間窓が 680 分あった。一方、音響では 6 頭以上確認された例はなかったが、目視では最大 10 頭の計数が可能であった。

3.2 目視での観察空白水域における音響的確認

St. 3 では、4 月 28 日 9:19 ~ 4 月 29 日 17:22、合計 1922 分間 (約 32 時間) の連続録音を行った。平均 0.0473 ± 0.23 個体/分のスナメリが検出された (Fig. 5)。

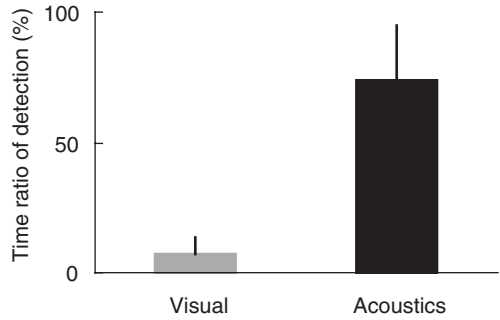


Fig. 4 The time ratio of porpoises detection. We could detect porpoises by the acoustical observation at $73.9 \pm 20.9\%$ of whole observation time, while only $7.0 \pm 6.5\%$ by the visual observation.

Table 1 Comparison of the number of finless porpoises detected by acoustic and visual observation.

The number of finless porpoises / minute detected by acoustic observation

	0	1	2	3	4	5	
0	410	680	352	83	25	3	1553
1	8	9	26	17	5	1	66
2	1	16	18	11	6	2	54
3		5	6	2	6	1	20
4	1	2	4	3	2		12
5		1	3	2			6
6		1		1	1		3
7				1	1		2
8	1	1					2
9				1			1
10					1		1
	414	720	411	121	47	7	1720

The number of finless porpoises / minute detected by visual observation

The units for all the numbers in the table 1 are minute.

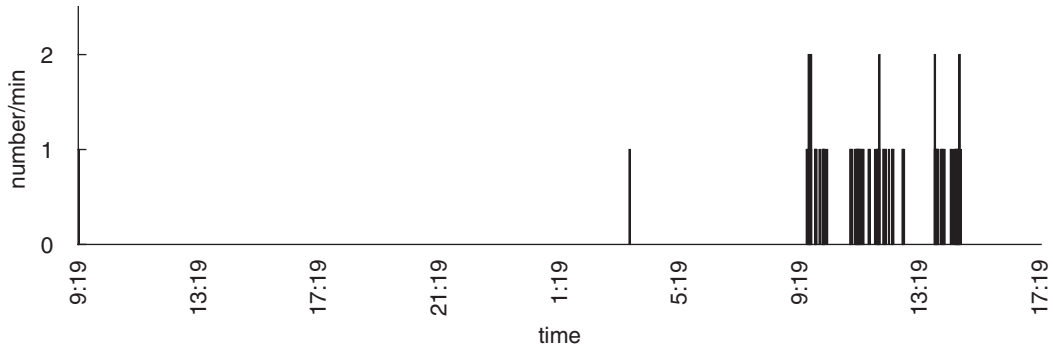


Fig. 5 Detection of the finless porpoise by the "Acoustic monitoring gate". Vertical axis is number of individuals / min, at St.3 on 28-29 April, 2006. We succeed in 32 hours of unmanned continuous monitoring of the finless porpoise signals.

4. 考察

これまで目視調査では遊泳するスナメリの一時点のみの位置、移動方向しか判別できなかったが、W20-AS IIによって最大半径約300 mの範囲内を通過するスナメリの最低個体数と、遊泳方向も計測できることも確認された。

4.1 目視調査と音響調査の検出確度比較

4.1.1 検出時間比較

音響観測のほうが継続的にスナメリを検出できることがわかった (Fig. 3, 4)。スナメリは5秒に1回はソーナー音を発するため⁵⁾、受動的音響観測装置を用いることで、通過する個体の大部分を検出することが可能であったと考えられる。

Fig. 3, 4から、音響による検出率が目視に比べて良い。目視は浮上時に確認することができ、音響では鳴音発生時に確認することができる。すなわちソーナー音の発生頻度は呼吸頻度よりはるかに大きく、水中においても連続的あるいはそれに近い観察が音響で可能であることを示している。Fig. 2で相対方位が軌跡として認められることも、スナメリの頻繁なソーナー音の発声を示している。したがって、スナメリにおいて、音響調査は目視調査より一定距離以内であれば動物の存在を検出する確率は高いと考えられる。

4.1.2 検出個体数比較

Table 1より、目視観察で推定個体数が音響観察より過小評価されている時間が1218分 (全観察時間の70.8%) がある。一方、Fig. 3, Table 1より、目視観察では同時に最大10頭まで計測可能であったのに対し、音響観察では5頭以上検出することは不可能であった。よって、5頭までならば頭数推定においても音響観察が有効であり、それ以上大きな群れになると目視観察が有効であるということが言える。

主な原因として、ハイドロホン間距離が短いため、方位分解能が劣っていることが挙げられる。スナメリはソーナー音の周波数やパルス幅が同種内で互いによく似ているため⁶⁾、個体間の区別ができない。よって、音響観察では、短い時間の間に全ての個体が鳴音を出さない場合、各個体を別々に認識することは不可能である。これを改善するには、複数のデータロガーを使用して異なった位置からの方位の組み合わせで個体分離を行うこと、ハイドロホン間距離を長くして方位分解能を上げること、などが必要となる。

一方、群れサイズが少ない場合は目視による見逃し率が高いと考えられる。とくに単独個体の場合、音響で確認され目視で見逃された時間が680分あり、これが全観察時間の約40%を占める (Table 1)。群れサイズの小さいスナメリのような観察対象においては、とくに小さい群れサイズの場合に目視観察結

果が過小評価あるいは見逃すことがあり、その解釈には注意を要する。

4.2 目視での観察空白水域における音響的確認

目視観察空白水域においても音響手法では一時間あたり平均2.8頭のスナメリを確認することができた。St. 3のようにスナメリ個体数が少ないと考えられる水域においては、音響観察手法が有効であると考えられる。スナメリは夜間にもソーナー音を発する⁷⁾。しかし、本調査では夜間にほとんど検出されなかった。

音響的な検知は150 mから300 mまでの範囲で可能である⁴⁾。従って、St. 3はSt. 1,2に比して湖幅が広い場合、スナメリの通過個体を調べるためには、より多くの録音機を設置して観察範囲を広げる必要がある。

音響観測装置の設置期間を延ばし、観察範囲を広げることで、スナメリの揚子江-ポーヤン湖間の数日単位の移動や、より明確な生息域特定が可能になると考えられる。

謝辞

本研究は、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構生物系特定産業技術研究支援センター「新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業」(若手研究者支援型)の援助を得て実施された。実験実施にあたっては、中国科学院水生生物研究所のカワイルカ研究グループの方々との協力で行なった。

This work was supported by National Natural Science Foundation of China (30570252, 30570233), the Chinese Academy of Sciences (Present Fund) and Ocean Park Conservation Foundation Hong Kong.

参考文献

- 1) X. Zhang, R. Liu, Q. Zhao, G. Zhang, Z. Wei, X. Wang, and J. Yang, "The population of finless porpoise in the middle and lower reaches of Yangtze River (in Chinese with English abstract)," *Acta. Therio. l Sin.*, **16**, 490-496 (1993).
- 2) Van Parijs, S. M., Smith, J., and Corkeron, P. J., "Using calls to estimate the abundance of inshore dolphins : A case study with Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis*," *J. Appl. Ecol.*, **39**, 853-864 (2002).
- 3) K. Ichikawa, C. Tsutsumi, N. Arai, T. Akamatsu, T. Shinke, T. Hara, and K. Adulyanukosol, "Dugong (*Dugong dugon*) vocalization patterns recorded by automatic underwater sound monitoring systems," *J. Acoust. Soc. Am.*, **119**(6), 3726-3733 (2006).
- 4) K. Wang, D. Wang, T. Akamatsu, S. Li and J. Xiao, "A passive acoustic monitoring method applied to observation and group size estimation of finless porpoises," *J. Acoust. Soc. Am.* **118**(2), 1180-1185 (2005).
- 5) T. Akamatsu, D. Wang, K. Wang, and Y. Naito, "Biosonar behavior of free-ranging porpoises," *Proc. R. Soc. Lond. B*, **272**, 797-801 (2005).
- 6) T. Akamatsu, D. Wang, K. Wang, and Y. Naito, "Echolocation range of captive and free-ranging baiji (*Lipotes vexillifer*), finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) and bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*)," *Proc. R. Soc. Lond. B*, **272**, 797-801 (2005).
- 7) D. Wang, "A preliminary study on sound and acoustic behavior of the Yangtze River finless porpoises, *Neophocaena phocaenoides*," *Acta. Hydrobiol. Sinica.*, **20**, 127-133 (2006).