

機関番号：82708

研究種目：基盤研究（B）海外

研究期間：2007～2010

課題番号：19405005

研究課題名（和文） ヨウスコウカワイルカ保全のための揚子江全域音響調査

研究課題名（英文） Acoustic survey of baiji in their historic habitat of the Yangtze River

研究代表者 赤松 友成 (AKAMATSU TOMONARI)

独立行政法人水産総合研究センター

水産工学研究所・漁業生産・情報工学部・生物音響技術研究チーム長

研究者番号：00344333

研究成果の概要（和文）：本研究では、最新の水中音響技術を危機的な状況にある淡水イルカに適用することで、揚子江全域でのマクロスケールな分布と生息密度の高い水域でのミクロスケールな分布が明らかになった。ヨウスコウカワイルカおよびヨウスコウスナメリの本来の歴史的な分布域である三峡ダム下流の宜昌市から上海市までの流域1500kmを、動物の発する声を受信する曳航式水中マイクロホンにより探査したところ、ヨウスコウカワイルカの絶滅宣言に至り、ヨウスコウスナメリの危機的な減少が明らかになった。揚子江中流域の生息密度の高いホットスポットにおいては、定点型観測機器を用いて長期観測を行い、音響検出を生息密度に換算する手法を編み出すとともに、重点的な曳航調査を行い精密な分布地図を明らかにした。現在では、揚子江の中下流域武漢市から上海市までの1100kmで貨物船を用いた自動音響調査を実施し、ローコストで広域分布データを定期的に取得している。これらの手法は、今日では世界各国の小型鯨類観測に応用され始めた。

研究成果の概要（英文）：Distribution of endangered freshwater cetaceans was revealed by cutting-edge underwater acoustic technology. Macro scale distribution of cetaceans in the entire Yangtze River and micro scale distribution in a high density area were provided. Historic habitat of baiji and Yangtze finless porpoises were surveyed from Yichang, nearby three gorges dam, to Shanghai, using towing type underwater microphone. Results suggested extinction of baiji and quick reduction of finless porpoises. Log-term stationary acoustic observation had been conducted at the hot spot, high density waters, in the middle of the Yangtze River. Using the outcomes, a model to convert acoustic detection rate to real density of existing number of animals was proposed. Extensive towing acoustic survey was conducted in the same section and provided detail map of distribution of porpoises. In the last year, periodical automatic surveys using a cargo ship as a platform of the acoustic device were conducted from Wuhan to Shanghai, 1100km stretch of the middle and lower reached of the Yangtze River. This method is cost effective and useful for range-wide monitoring of small odontocetes, which has been applied worldwide in these days.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
総計	12,900,000	3,870,000	16,770,000

研究分野：水中音響学、海産哺乳類学、水中音響工学

科研費の分科・細目：生物学・資源保全学

キーワード：(1) 稀少動物の保全 (2) 絶滅危惧種 (3) イルカ (4) スナメリ

(5) 個体数推定 (6) 受動的音響手法 (7) 生物ソナー

1. 研究開始当初の背景

中国では、加速する市場経済化と、日本の面積の10倍に及ぶ水土流出地域のため、国土環境が急速に悪化している。とくに揚子江は中国の淡水漁業生産量の60%を占めていたが、水産資源状態が急速に悪化し、その主要水域の13%が汚染基準をクリアできていない。揚子江の環境保全は、食糧供給問題も絡んで、今後の中国の環境と経済の趨勢を決める大きな問題となっている。

このような状況のなかで、揚子江生態系の最高次捕食者であるヨウスコウカワイルカは世界でもっとも絶滅が危惧される水棲哺乳類となった。現在の正確な生息頭数は不明であるがすでに揚子江全域で100頭以下と推測されている。ヨウスコウカワイルカの絶滅は、種レベルではなく属レベルでの消失であり、世界に5種類しかいないカワイルカ上科のなかでもっとも危機的な状況にある。重要保全対象種として、また揚子江の環境指標生物として、中国政府は本種を河のパンダと位置づけ、湖北省石首市にある揚子江の三日月湖にTian-e-Zhou国立イルカ自然保護区を設置しここでの繁殖体制を整えてきた。現在の喫緊の問題は、いかにして本種を発見し、捕獲し、この保護区に安全に移送するかということにある。さらに、同水域に生息する淡水性のスナメリも個体数の激減が予想されている。両種の保全のため、揚子江における広域的な生息数調査が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究では、ヨウスコウカワイルカが生息している可能性のある三峡ダム下流の宜昌市から上海市までの流域1500kmを、動物の発する声をたよりに曳航式水中マイクロホンにより探査し、本種を発見・捕獲して、絶滅の危機から救うことを目的とする(図1)。

さらに、生息密度の高いホットスポットにおいては、定点型観測機器を用いて数ヶ月に渡る重点的な調査を行い、ヨウスコウカワイルカの回遊行動や摂餌努力量を明らかにすることで、生息場所の利用状況を高い時空間精度で把握する。

ヨウスコウカワイルカは水の中で周辺を探索できる生物ソナー音と、通信用のホイッスルと呼ばれる比較的低い周波数の声を有している。濁った揚子江では、目視調査による動物の発見には限界がある。そこで本研究では、曳航式と定点型水中マイクロホンシステムを駆使し、声を受信することで広大な揚子江に生息するヨウスコウカワイルカを感知する。同じく揚子江に生息する貴重な淡水イルカであるスナメリも、同じ手法で全流

域の観測を行う。

最新の水中音響技術を淡水イルカに適用することで、マクロスケールでの揚子江全域分布地図とミクロスケールでの詳細な水中行動が明らかになる。危急種の基礎的な行動生態情報から保全を推進する捕獲作業支援への応用まで、幅広い知見を得ることができる。

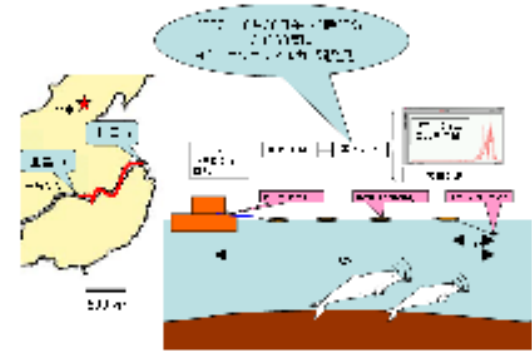


図1 小型鯨類の音響調査。広域を自動で天候に左右されず検出できるメリットがある。

3. 研究の方法

限られた期間と資源で広大な揚子江を効率的に探索するには、目視調査だけでは不十分である。揚子江のイルカは、その濁った水のため潜水中はまったく見ることができない。一方、音響調査は水中を泳いでいるイルカの自動検知と記録が可能な強力な手法である。また、天候や照度、観察者の能力に依存せず、霧や夜間でも動物を捉えることができ、ヨウスコウカワイルカの発見に大きく貢献する。本調査では、曳航式水中マイクロホンを用いて、リアルタイムで動物の存在を確認する。

水中マイクロホンはステレオ方式とし2本同時に曳航することで、イルカの方角も観測できる。数十メートルのケーブルの先につけた水中マイクロホンを雑音の多い船尾から流して曳航し、数百mの範囲で水中音をモニタすることで広域調査が可能である。

さらに捕食行動に関連したアプローチフェイズ(英王立協会誌, 272, 797-801)と回遊行動に関連した遠距離探索フェイズの2つの生物ソナー発信パターンに注目し、イルカのそれぞれの探索行動頻度が分布図に示される。イルカの方角変化率から、水中でのイルカの遊泳速度と方向を求めるとともに、ソナーによる個体ごとの探索努力量も明らかにする。さらに後年度は定点型音響調査機器を投入し、生息密度の高い水域での高密度観測を実施する。これらの手法により、細かい時空間精度での生息場所利用状況を把握できる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 揚子江全域での鯨類分布

平成19年度は、揚子江に生息する小型鯨類の分布域である三峡ダム下流の宜昌市から上海市までの流域1700kmを、動物の発する声をたよりに曳航式水中マイクロホンにより探査し、ヨウスコウカウイルカとスナメリの分布を明らかにした。中国揚子江の水位が下がりイルカの発見が容易になる乾期に、ステレオ式水中マイクロホンを曳航し、1kHzから150kHzまでの広い周波数帯域の音波をモニタしながらヨウスコウカウイルカとスナメリの声を探索した。同時に行った目視調査は、米海洋大気庁と中国科学院水生生物研究所の研究者・学生らによって実施された。3名が1チームを構成し、2名が左右両舷に浮上したイルカの種類、頭数、方位、距離を観察し、1名が現場でのデータ打ち込みを担当した。

全域調査の結果から、ヨウスコウカウイルカはほぼ絶滅の可能性が示唆された(Biology Letters 3(5), 537-540)。一方スナメリについては武漢から南京までの広い範囲でいくつかの密度が濃いホットスポットが同定された(Biological Conservation, 141, 3006-3018)。なかでも江西省湖口市付近の揚子江本流(八里江口地域)およびその上流側のポーヤン湖に非常に密度の高い水域が存在することを確認した。

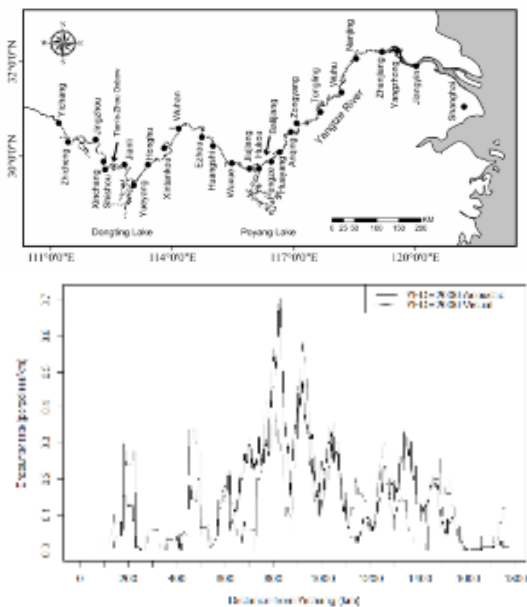


図2 揚子江の調査区域とスナメリの発見頭数の比較。目視と音響で、ほぼ同じ発見頭数が確認された。

##### (2) ホットスポットでの精密分布観測

平成20年度は、小型船にステレオ式曳航型水中マイクロホンを装備し、平成19年度に同定されたホットスポット周辺でのイルカの空間分布を1km区間毎の細かい空間精度で明らかにした。

さらに、定点型観測機器を用いることにより、長期間にわたる生息場所利用状況の観測を開始した(Kimura et al. 米音響学会誌, 125, 547-553, 2009)。A-tagと呼ばれるソナー音録音装置(ML-200AS2, マリンマイクロテクノロジー, 埼玉)の電源容量を増加させ、水中で最長1ヶ月の連続運転を可能とした。

一方、本研究で開発された調査手法が国内外で応用され始めた。ヨウスコウカウイルカの次に絶滅が危惧されているカリフォルニア湾のコガシラネズミイルカ(メキシコ)の探索に本装置を投入された(Nature 456, 431-431に紹介記事)。長崎県の大村湾に生息する日本で最小のスナメリ個体群では、東シナ海への出口である針尾瀬戸における季節的・日周期的な変動が定点型システムで確認された。

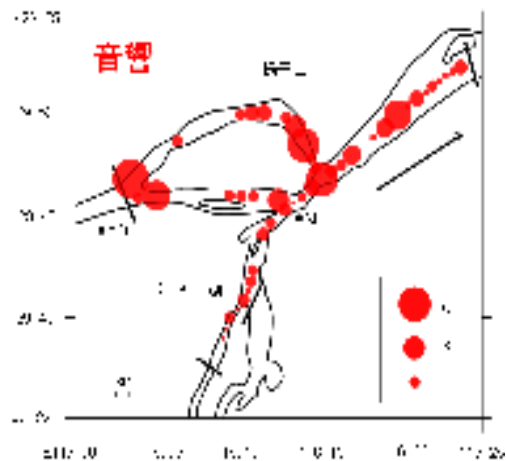


図3 スナメリの生息密度が大きいホットスポットにおける精密個体数観測結果。支流との合流点などで生息数が大きいことが示されている。

##### (3) 貨物船による広域自動観測

平成21年度は、武漢-上海間を運行する貨物船に本装置を装備することで、広域にわたるスナメリの分布を自動観察した。平成19年度に実施した目視音響併用調査は多額の費用と人手がかかるため、頻繁に行うことが難しい。そこで音響観測の特性を生かし、ほとんどの観測を自動化することを試みた。

その結果、これまで同一個体群と考えられていたヨウスコウスナメリの分布が南京市下流域で分断化される兆候が認められた。分子生物学的な指標では検出することが難し

い短期間で起こる分断化のモニタリングに、音響観測は有用と考えられた。

さらに新たに生物装着型記録装置を用いて、スナメリが摂餌中に体を回転させながらソナーのビームを振っている行動を初めて確認した (J. Exp. Biol. 213)。このデータは、次年度予定している定点音響観測手法による個体密度推定モデルに応用される。

一方、これらの成果は第五回生物ソナー国際シンポジウムで招待講演として発表された。平成21年度時点で、ヨウスコウスナメリのマクロスケールの分布からミクロスケールの行動まで明らかになり、当初目的は達せられたと判断された。

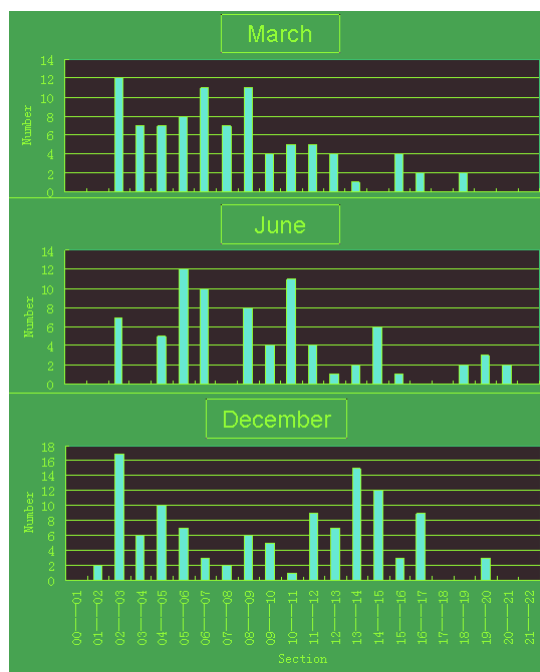


図4 貨物船によるスナメリ個体数の自動観測。武漢市から上海市までを22区間に区切り、それぞれの区間の観測頭数を示した。区間番号の大きい下流域に密度が小さいところが認められる。また分布には季節的な違いがあるようだ。

#### (4) 音響的密度推定手法の開発

平成22年度は、これまで定量化が難しかった定点音響観測結果を用いた個体密度推定モデルを構築した。貨物船などの移動型プラットフォームを用いる観測では、同一個体を二回観測することはない。一方、定点観測においては、同じ個体の二重カウントを原理的に防げない。2個体が一回ずつ観測されたか、同一個体が二回観測されたかを野外で判別することは、音響に限らず目視を含むあらゆる定点観測手法に共通の問題である。

そこで、これまでに蓄積した2年間にわたる定点観測データに加え、個体の発声頻度を

計測するための音響バイオリギング手法を組み合わせた。動物一個体が発する音声の頻度から検出確率を算定し、音響伝搬モデルから検出範囲を求め、定点観測での受信頻度を動物の生息密度に換算するモデルを構築した (米音響学会誌 128, 1435-1445)。

餌生物や環境水温は、鯨類の動態を決める大きな要因である。平成22年度は長期定点音響観測を行ってきた長崎県大村湾口におけるスナメリの出現状況と当該海域の主要漁獲種であるカタクチイワシの漁獲推移を比較し、スナメリの季節的な出現様式を決める要因を明らかにした (Marine Biology 157, 1879-1887)。

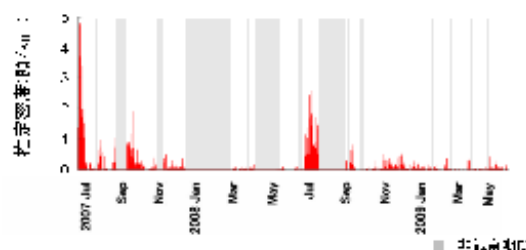


図5 ホットスポットにおける生息密度の長期間変動。1平方 km あたり最大 4.4 頭を記録した。夏に多くの個体が集まる傾向が認められた。

本研究で用いた音響データロガーは、現在、台湾西部海域、トルコのボスポラス海峡、ドイツの北海沿岸で連続稼働中であり、共同研究を継続する。さらに、調査協力要請があるインドのブラマプトラ川水系のガンジスカワイルカ、ブラジルのアマゾンカワイルカ、香港のシナウスイロイルカ、インドシナ諸国を流れるメコン川に生息するカワゴンドウなどの観測にも積極的に対応し、科研費で開発された手法を小型鯨類の保全に役立ててゆきたい。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計20件)

- ① Li, S., Akamatsu, T., Dong, L., Wang, K., Wang, D., Kimura, S. Widespread passive acoustic detection of Yangtze finless porpoise using miniature stereo acoustic data-loggers: A review. J. Acoust. Soc. Am. 査読有、Vol.128、2010、pp.1476-1482、
- ② Kimura, S., Akamatsu, T., Li, S. Dong, S., Dong, L., Wang, K., Wang, D., Arai, N. Density estimation of Yangtze finless porpoises using passive



- acoustic sensors and automated click train detection. *J. Acoust. Soc. Am.* 査読有、Vol.128、2010、pp.1435-1445、
- ③ Akamatsu, T., Nakamura, K., Kawabe, R., Furukawa, S., Murata, H., Kawakubo, A., Komaba, M., Seasonal and diurnal presence of finless porpoises at a corridor to the ocean from their habitat.、*Marine Biology*、査読有、Vol.157、2010、pp.1879-1887、
- ④ Akamatsu, T. Wang, D. Wang, K, Li, S., Dong, S.、Scanning sonar of rolling porpoises during prey capture dives.、*J. Exp. Biol.* 査読有、Vol.213、2010、pp.146-152、
- ⑤ Ichikawa, K., Akamatsu, T., Shinke, T., Sasamori, K., Miyauchi, Y., Abe, Y., Adulyanukosol, K., Arai, N.、Detection probability of vocalizing dugongs during playback of conspecific call.、*J. Acoust. Soc. Am.*、査読有、Vol.126、2009、pp.1954-1959、
- ⑥ Li, S., Akamatsu, T., Wang, D., and Wang, K.、Localization and tracking of phonating finless porpoises using towed stereo acoustic data-loggers. *J. Acoust. Soc. Am.* 査読有、Vol.126、2009、pp.468-475
- ⑦ Kimura, S., Akamatsu, T., Wang, K., Wang, D., Li, S., Dong, S., and Arai, N.、Comparison of stationary acoustic monitoring and visual observation of finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*).、*J. Acoust. Soc. Am.* 査読有、Vol.125、2009、pp.547-553、
- ⑧ Zhao, X., Barlow, J., Taylor, B., Pitman, R., Wang, K., Wei, Z., Stewart, B., Turvey, S., Akamatsu, T., Reeves, R., Wang, D.、Abundance and conservation status of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze River, China. *Biological Conservation*、査読有、Vol.141、2008、pp.3006-3018、
- ⑨ Li, S., Wang, K., Dong, S., Wang, D., & Akamatsu, T.、Simultaneous production of low- and high-frequency sounds in neonatal finless porpoises.、*J. Acoust. Soc. Am.* 査読有、Vol.124、No2、2008、pp.716-718
- ⑩ Akamatsu, T., Nakazawa, I., Tsuchiyama, T., Kimura, N.、Evidence of nighttime movement of finless porpoises through Kanmon Strait monitored using a stationary acoustic recording device.、*Fisheries Science*、査読有、Vol.74、2008、pp.970-976、
- ⑪ Akamatsu, T., Wang, D., Wang, K., Li, S., Dong, S., Zhao, X., Barlow, J., Stewart, B. S., Richlen, M.、Estimation of the detection probability for Yangtze finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides asiaorientalis*) with a passive acoustic method.、*J. Acoust. Soc. Am.* 査読有、Vol.123、No.6、2008、pp.4403-4411
- ⑫ Li, S. Akamatsu, T., Wang, D., Wang, K., Dong, S., Zhao, X., Wei, Z., Zhang, Z., Taylor, B., Barrett, L.A., Turvey, S.T., Reeves, R.R., Stewart, B.S., Richlen, M., and Brandon, J.R.、INDIRECT EVIDENCE OF BOAT AVOIDANCE BEHAVIOR OF YANGTZE FINLESS PORPOISE. *Bioacoustics The International Journal of Animal Sound and its Recording*、査読有、Vol.17、2008、pp.174-176、
- ⑬ Li, S., Wang, D., Wang, K., Akamatsu, T., Ma, Z., and Han, J.、Echolocation click sounds from wild inshore finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides sunameri*) with comparisons to the sonar of riverine *N. p. asiaorientalis*.、*J. Acoust. Soc. Am.* 査読有、Vol.121、No.6、2007、pp.3938-3946、
- ⑭ Turvey, S.T., Pitman, R.L. Taylor, B.L., Barlow, J., Akamatsu, T., Barrett, L.A., Zhao, X., Reeves, R.R., Stewart, B.S., Wang, K., Wei, Z., Zhang, X., Pusser, L.T., Richlen, M., Brandon, J.R., and Wang, D.、First human-caused extinction of a cetacean species?.、*Biology Letters*、査読有、Vol.3、No.5、2007、pp.537-540、
- ⑮ 木村里子、赤松友成、王丁、王克雄、李松海、音響観測門によるスナメリの地域的行動観測、*海洋音響学会誌* Vol.34、No.4、2007、pp.260-265、ほか5件
- [学会発表] (計43件)
- ① 木村里子、揚子江におけるスナメリの分布変化、平成23年度日本水産学会春季大会、2011.3.27-31、東京海洋大学品川キャンパス、
- ② 白木原国雄、スナメリの音響・目視発見確率の予備的推定、平成23年度日本水産学会春季大会、2011.3.27-31、東京海洋大学品川キャンパス、
- ③ Dede, A.、Long-term passive acoustic monitoring of the moving patterns of cetaceans in the istanbul strait.、*The 25th Annual Conference of the European Cetacean Society.*、March 21-23.2011、Cadiz Spain、
- ④ Akamatsu, T. Scanning sonar of rolling porpoises during prey capture dives.、

- Fourth International Science Symposium on Bio-logging 2011.、March 14-18, 2011., Hobart, Australia、
- ⑤ Lin, T. H.、 Seasonal behavior, and their influence on tidal behavior of Chinese white dolphins (*Sousa chinensis*) at Xinhway River Estuary.、 Symposium on Animal Behavior, Ecology and Environmental Education. Taiwan.、 January 2011, Tainan, Taiwan
- ⑥ Akamatsu, T.、 A review of passive acoustic monitoring methods for the detection of cetaceans in southeastern Asia region.、 The Fourth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society, AFAS 2010.、 2010.12.14-16.、 Eastin Hotel, Penang, Malaysia、
- ⑦ Akamatsu, T.、 Seasonal and diurnal presence of finless porpoises at the corridor to the ocean from a semi-closed bay habitat.、 159th Meeting of the Acoustical Society of America.、 April 19-23, 2010, Baltimore, Maryland、
- ⑧ Yamamoto Y.、 Diurnal behavior pattern of Ganges river dolphins (*Platanista gangetica gangetica*) observed by stationed stereo acoustic data loggers.、 The Society for Marine Mammalogy 18th Biennial Conference - Quebec, October 12-16. 2009、 Quebec City. QC. Canada、
- ⑨ Taylor B.L.、 Vaquita Expedition 2008: science for immediate management needs.、 The Society for Marine Mammalogy 18th Biennial Conference - Quebec, October 12-16. 2009、 Quebec City. QC. Canada、
- ⑩ Kimura S.、 Presence pattern of Yangtze finless porpoises at a geographical bottleneck area of the Yangtze River system.、 The Society for Marine Mammalogy 18th Biennial Conference - Quebec, October 12-16. 2009、 Quebec City. QC. Canada、
- ⑪ Ichikawa K.、 Vocal hot spots of dugongs (*Dugong dugon*) monitored using simultaneous passive acoustic methods and visual observations in Thai waters.、 The Society for Marine Mammalogy 18th Biennial Conference - Quebec, Quebec City. QC. Canada、 Quebec City. QC. Canada、
- ⑫ Li, S.、 Development of high frequency signals in neonatal finless porpoises、 The 5th Animal Sonar Symposium、 September 14-18. 2009、 Doshisha Univ.

- Kyoto. Japan、
- ⑬ Akamatsu, T.、 Scanning sonar of rolling porpoises during prey capture. Invited、 The 5th Animal Sonar Symposium、 September 14-18. 2009、 Doshisha Univ. Kyoto. Japan、  
ほか30件

〔図書〕 (計3件)

- ① Li, S., Dong, S., Kimura, Akamatsu, T., Kexiong Wang, Ding Wang, Nova Science Pub Inc.、 Detection of Yangtze finless porpoise in the Poyang Lake mouth area via passive acoustic data-loggers. In Biology, Evolution and Conservation of River Dolphins Within South America and Asia (Wild Protection, Destruction and Extinction) ISBN978-1-60876-633-82010、 pp.343-355
- ② Li, S., Wang, D., Wang, K., Akamatsu, T., Supin, A. Y. and Popov, V. V.、 Eds: A. Columbus and L. Kuznetsov, Nova Science Publishers, Inc、 Biosonar and auditory system of the yangtze finless porpoise, In: Endangered Species: New Research、 2009、 ISBN978-1-60692-241-5、 pp. 1-13、  
ほか1件

〔その他〕

ホームページ等

<http://cse.fra.affrc.go.jp/akamatsu/at/homepage.html>

研究代表者のホームページで成果を随時公開。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

赤松 友成 (AKAMATSU TOMONARI)  
独立行政法人水産総合研究センター  
水産工学研究所・漁業生産・情報工学部・  
生物音響技術研究チーム長  
研究者番号：00344333

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：