

第2回「理想の追求」研究報告

研究期間：2011年4月1日～2014年3月31日



ガンジスカワイルカ



マハカム河のカワゴンドウ



チリカ湖のカワゴンドウ

アジア域に棲息する小型歯クジラ類のリアルタイム音響観測ネットワークの構築

リーダー： 杉松治美 東京大学生産技術研究所

メンバー： 浦 環 九州工業大学
小島淳一 (株)KDDI 研究所
飛龍志津子 同志社大学



ガンジス河ナローラ地区のガンジスカワイルカ定点観測ステーションにて(2012年11月)：
①小島淳一氏、②杉松治美、③④WWF-India 現地スタッフ、⑤水野勝紀氏(東京大学)、
⑥Sandeep Behera 氏(WWF-India)、⑦WWF-India 現地スタッフ、⑧浦 環氏、
⑨⑩⑪WWF-India 現地スタッフ

1. 背景および目標

アジアの水圏には、複数種のイルカ類が棲息している。カワゴンドウは淡水域および沿岸域の双方に棲息し、ガンジスカワイルカは淡水域のみに棲息する。これらのイルカは、歯クジラ類に属し、高周波数の帯域のクリック音を利用したエコーロケーションにより棲息環境を把握する。しかし、アジア域の河川の多くは濁っており、棲息域の生態系の頂点にありながら、生態についてはほとんど知られておらず、近年の活発な人間活動の影響を受けて、棲息数が激減、絶滅の危機に瀕している。ガンジスカワイルカは主にガンジス河に棲息するが、カワゴンドウは、アジア域の河川や湖沼そして沿岸域と広い範囲に分布する。これらのイルカは異なる音響特性と水中行動を有すると推定される。また、同じ種であっても生息場所により自然環境や人間活動が異なるため、その音響特性と水中行動は異なると推定される。そこで、ガンジスカワイルカとカワゴンドウという2種類の絶滅危惧種のイルカを観測対象として、かれらがエコーロケーションのために発するクリック音を利用したパッシブな音響装置（イルカの3次元位置とクリックの音響パラメータを計測できる）を開発し、水中行動と音響特性観測を研究項目として、環境の異なる複数のフィールドで長期モニタリングを実施、一日、一月、一年、数年という時間スパンにおける行動のデータを取得し、視界のない水域でのイルカ行動の研究の基礎を作る。そのため、各観測ステーションをネットワーク化してデータ共有と発信を行い、総合的な解析を進めることで、同一種あるいは異なる種のイルカの音響特性や水中行動の地域的な側面とグローバルな側面を理解し、アジア域に棲息するイルカの棲息域の生物多様性の保全のための保護施策に益する知見を得る。

2. 主な研究成果

ガンジスカワイルカとカワゴンドウという異なる種のイルカを観測対象として、インド・ガンジス河（ガンジスカワイルカ）、ボルネオ・マハカム河およびインド・チリカ湖（カワゴンドウ）という異なる環境の3箇所を観測ステーションとして選択、開発した音響観測機器を現地実装して、2011年度から定期的に長期モニタリングを実施した。現地に滞在することなく観測装置を遠隔で管理・モニタリングできる共通GUIソフトウェアおよび1時間毎に自動的に計測データをアップロードできるデータベースを開発、これを活用した各ステーションからの大容量データ処理・解析を行うことで、効率的なデータ解析を進めた。イルカの行動と音響特性の観測に関して、イルカの3次元位置、クリック頻度、Inter-Click Interval(ICI: クリック発振間隔)および中心周波数等を主要パラメータとする解析を進め、下表に示す成果が得られた。今後は、地域性とグローバルな側面を鑑みながら、情報を補完することで、アジアに棲息する淡水棲イルカ類の現状と課題が浮き彫りになってきたと考える。

観測対象	観測ステーション	成果と今後の課題
ガンジスカワイルカ: Ganges river dolphin: <i>platanista gangetica</i>	ガンジス河 (定点)	成果: 同一種における行動の違いによる音響特性の違い: 生まれて間もない子供を連れたガンジスカワイルカのグループ (子連れ) の移動時は、単独行動時と異なり頻繁にバーストパルスと呼ばれる短い ICI のクリックを頻繁に発する (グループ行動時の相互測位と通信の可能性) 課題: 異なる種との比較: グループ行動を主とするカワゴンドウで発するバーストパルスの解析とガンジスカワイルカとの比較と統合解釈
カワゴンドウ: Irrawaddy dolphin: <i>Orcaella brevirostris</i>	マハカム河 (定点)	成果: チリカ湖と共通する環境下でのイルカ行動の解明: 増加する水上交通のイルカ行動への影響評価のため、イルカの出現率 (音響) トレンドと水上交通量を比較。イルカ出現率は交通量の少ない夕方から夜間、そして早朝にかけて高い 課題: チリカ湖 (イルカ観光船が増加) との比較のため、ボートタイプ別の識別方法を開発し、チリカ湖とマハカム河でタイプ別の影響評価を行う
	チリカ湖 (移動型)	成果: マハカム河と異なる環境でのイルカ行動の解明: ベンガル湾に面した湖口付近での観測によりイルカが湖口付近まで移動していることが判明 課題: 湖口付近およびマハカム河での長期観測を続け、イルカ出現率トレンドの変化からイルカ行動を解明する

3. 研究成果

ガンジスカワイルカとカワゴンドウという異なる種のイルカを観測対象として、異なる環境の 3 箇所を観測ステーションとして選択、既存のインド・ガンジス河の定点音響観測ステーション(ガンジスカワイルカ)、インド・チリカ湖の移動型音響観測ステーション(カワゴンドウ)の他に新たにボルネオ・マハカム河中流に水上家屋を利用した定点音響観測ステーションを開発し(図 1 参照)、2011 年度から定期的に長期モニタリングを実施した。機器メンテナンスの利便性とデータ転送のため、音響システムとデータ転送システムは各ステーション間で共通化している(図 2)。また、現地に滞在することなく観測装置を遠隔で管理・モニタリングできる共通 GUI ソフトウェアと 1 時間毎に自動的に計測データをアップロードできるデータベースを開発した。



図 1 左からガンジス河のボートを利用した定点観測ステーション (2012 年度より 2 箇所を観測実施)、マハカム河の水上家屋を利用した定点観測ステーション (2011 年 12 月運用開始)、広大なチリカ湖に点在するホットスポットでの観測用の移動型観測ステーション

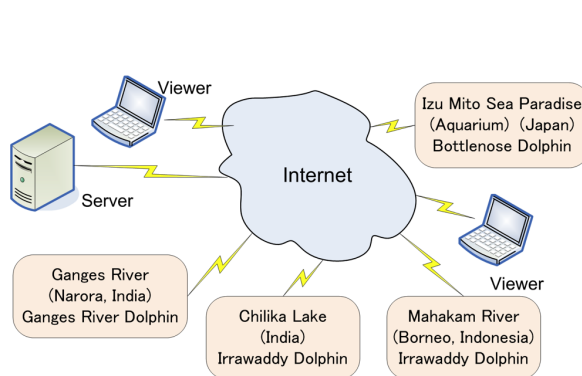
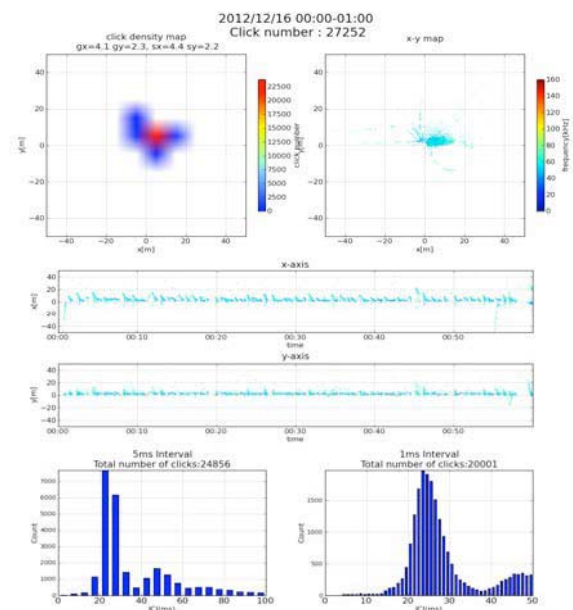


図 2. 左から各観測ステーションのネットワーク化、データベースにアップロードしたデータの一表示例(2012 年 12 月 16 日、ナローラ No.1 ステーション (ここでは、1 時間の XY 位置、密度、ICI ヒストグラムについて表示)



ガンジス河のナローラ付近では、約 10km の流域に棲息する 15~20 頭のガンジスカワイルカが上流から下流へとほぼ毎日のように往来する。これらのイルカを観測対象にパッシブな音響モニタリングを実施して行動観測と音響特性観測を行い、ガンジスカワイルカのエコーロケーション戦略の解明のため、イルカの 3 次元位置と Inter-Click Interval(ICI: クリック発振間隔)を主要パラメタとする解析を進めた。2012 年度の観測中には、目視との総合観測により、生まれて 6 ヶ月以内と推定される体長の子供のイルカを含むグループのクリック音を録音することに成功、図 3 は、子供を含むグループの成員の軌跡と ICI 分布を示すが、子供と一緒に移動しているイルカがバーストパルス(10ms 以下の短い ICI で構成されるクリックレイン)を発していることを示す。これまでの観測では、複数頭のイルカのクリックが重なる事を避けるため、単独で観測されたイルカのデータをエコーロケーション

行動の解析に用いており、その平均的な ICI の値は、10ms~100ms である。長期観測で取得した膨大な量のデータの統計的な処理でも同様な結果が出ており、解析に十分なバーストパルスはほとんど検出されていなかった。そこで、サーバー上に集積された膨大なデータから一頭のイルカが発するバーストパルス(ICI の値を指定できる)を自動検出できるソフトウェアアルゴリズムを開発した。子供が目視された時期のデータからは、高頻度でバーストパルスが検出されており、またそのバリエーションもさまざまである(図 4 参照)。おそらく、子供のいるグループの移動時には、相互測位(エコーロケーション)と通信を頻繁に行う必要があり、そのためバーストパルスを発していると推測される。単独で行動する際には見られないグループ行動時のガンジスカワイルカのクリックの音響特性が明らかになり、同一種であっても、行動の違いにより音響特性に違いがあることが判明した。捕食も含めて基本的に単独行動が中心とされるガンジスカワイルカにおいて、グループ(複数)行動の目的として考えられるのは、繁殖、子育てと考えられる。バーストパルスの統計的な処理と解析を進めることで、ガンジスカワイルカの生態解明に迫ることが期待される。

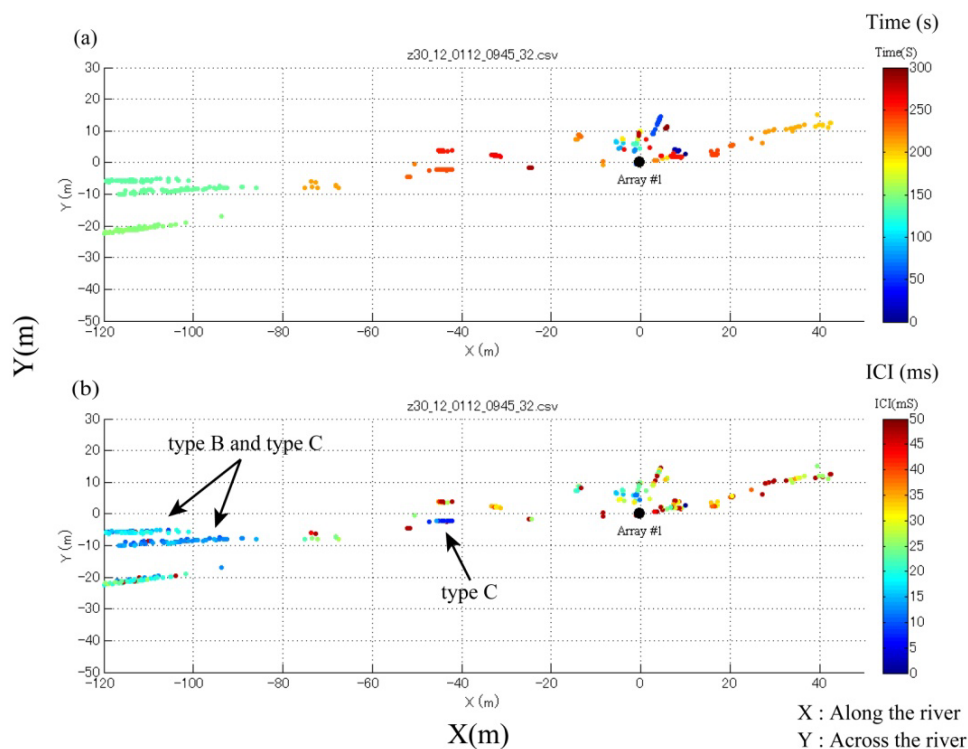


図 3. 2012 年 1 月 12 日、typeB と typeC から構成されるグループが目視された時の 5 分間の軌跡データ、(a)時間軸、(b)ICI。*イルカの体長から typeA:大人、typeB:子供、typeC:生後 6 ヶ月程度の子供と分類している。

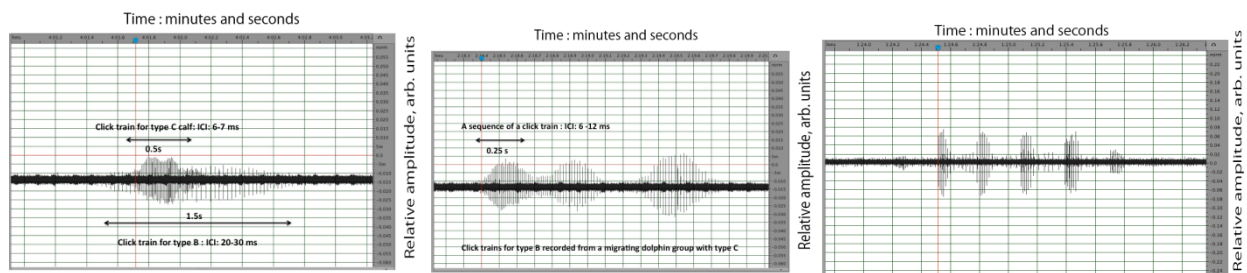


図 4. 生まれて 6 ヶ月程度の子供のイルカを含むガンジスカワイルカのグループから検出されたバーストパルスの例

イルカ行動観測の理解には広範囲におよぶイルカの移動のダイナミクスの理解が不可欠である。しかし、定点観測ステーションの観測範囲は限られる(200m程度)。10km程度の流域を行き来するガンジスカワイルカの日々の移動トレンドを理解するため、小型ボートの舷側から吊り降ろしてイルカの方位を計測できる音響計測装置を開発、GPSと無線LANによるリアルタイム方位表示機能を付加することで、目視情報などの現場情報をリアルタイムに取り組みことができるリアルタイムセンサシステムを開発した。2013年6月～7月にかけて発生した大洪水によりダムが水位が上昇、多くのイルカが下流に流された。棲息域に残るイルカの頭数確認のため、2013年11月に2日間、緊急センサを実施、結果、流域には6頭のイルカが残っていると判明した。定点観測ステーションのデータとの統合的解析により、センサ中の2日間の移動トレンド(朝、夕に移動ピークが見られる)が判明、定点観測と移動型観測ステーションを効率的に組み合わせた観測がイルカ行動のダイナミクス解明に有効であると実証された。

チリカ湖とマハカム河という異なる環境に棲息するカワゴンドウについては、インド・チリカ湖の既存の移動型音響観測ステーションを利用して広大な湖内の複数ホットスポットおよびベンガル湾に面した湖口付近を観測、そして、新たにボルネオ・マハカム河中流に水上家屋を利用した定点音響観測ステーションを開発し、定期的な観測を実施した。チリカ湖では、イルカ観光業が急速に成長、イルカオッチング船による異常接近等が問題となっている。河川が奥地への主要交通路となっているマハカム河では、石炭運搬船、フェリー、連絡船、スピードボートなど水上交通が増加の一途を辿っている。つまり、チリカ湖とマハカム河では、激減する棲息数に呼応するかのようにイルカ観光船と水上交通が増加、イルカ行動への影響が共通の問題となっている。水上交通のイルカ行動に与える影響(衝突、ボートノイズのイルカのエコーロケーション妨害等)評価のため、マハカム河の長期計測データを用いて、イルカの出現率(音響)トレンドと水上交通量との比較を行った。第1回目の長期モニタリング(2012.6.13～10.11)データの解析結果は、一日(24時間)のイルカの出現率は、交通量の少ない夕方から夜間、そして早朝にかけて増加することを示す(図5参照)。ここでは、ボートの種類は特定しておらず、ボートタイプ(エンジン/馬力)別の識別方法を開発して、チリカ湖とマハカム河では異なるボートタイプ別のイルカ行動への影響評価のための解析を行うことで、チリカ湖とマハカム河に共通なイルカ行動と人間活動(水上交通)の関係を明らかにし、イルカの棲息する流域での効果的な水上交通の運用について提言したいと考える。なお、同データではマハカム河流域を往来するカワゴンドウの定点観測ステーションでの出現率ピークは7月、多い時はほぼ24時間観測ステーション付近でイルカが観測されている(図5右図参照)。また、チリカ湖の湖口での観測からは、イルカが湖口付近を移動していることが分かってきた。イルカの出現率を利用した複数観測ステーションでの長期モニタリングにより、イルカ行動の謎が解明されると期待される。

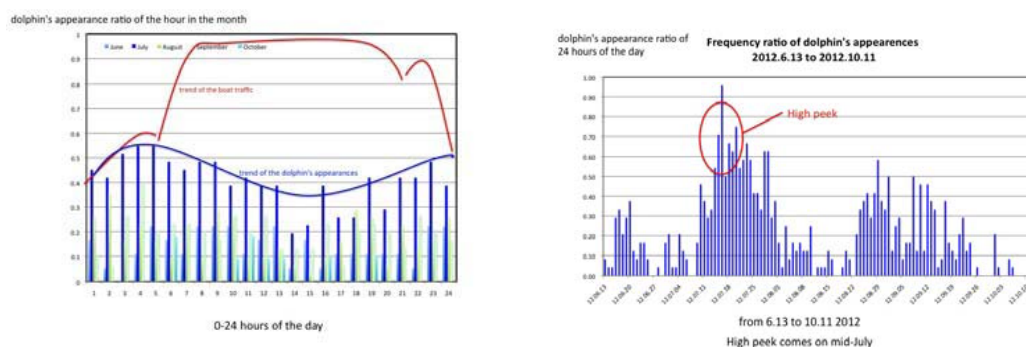


図5 左から1日(24時間単位)のカワゴンドウ出現率と交通量比較、観測期間中のカワゴンドウ出現率(2012年)

4. 今後の取り組み

「理想の追求研究」を推進することで、アジア域の濁った河川に棲息する淡水棲イルカ類について、水中行動と音響特性に関して、行動の違いによる音響特性の違い、人間環境の影響による行動評価のための基礎を構築することができた。今後、イルカの棲息域の生物多様性の保全のための保護施策に益するために観測活動をさらに展開していく。フィールド調査の実施には、現地の関係者/機関との信頼関係に裏付けられた協働作業が不可欠である。本研究推進のため、代表者の所属機関では、インドのインド工科大学デリー校、WWF-India およびチリカ湖管理局、そしてインドネシアの国立ムラワルマン大学、クタイカルタネグラ県およびインドネシア希少野生動物保護協会等との共同研究の枠組みを構築、人的ネットワークの繋がりを活かして、観測ステーションの実装・運用と各ステーション間のネットワーク化を進めてきた。アジア域では工業化が進み、イルカ達の棲息域環境はさらに悪化することが懸念される。人的ネットワークを中心としたこれまでの研究活動をベースに、今後、日本が中心となってアジア域のイルカの棲息域の生物多様性を保全するための新たな社会的な枠組みを構築し、イルカを環境指標とするアジア陸水圏の環境保全に益する研究活動を進め、より踏み込んだアジアとの交流の新しい時代を拓きたい。

5. 発表実績

ジャーナル論文

1. T. Akamatsu・T.Ura・H. Sugimatsu・R. Bahl・S. Behera・S. Panda・M. Khan・S.K. Kar・C.S. Kar・S. Kimura・Y. Sasaki-Yamamoto:” A multimodal detection model of dolphins estimate abundance validated by field experiments”, *Journal of Acoustic Society America*, Vol. 134, No. 3, (2013.9), pp. 2418-2426
2. Y. Sasaki-Yamamoto, T. Akamatsu, T. Ura, H. Sugimatsu, J. Kojima, R. Bahl, S. Beher, S. Kohshima:”Diel changes in the movement patterns of Ganges River dolphins monitored using stationed stereo acoustic data loggers,” *Marine Mammal Science*, published online, (2013.12)
3. 廣津良・浦環・小島淳一・杉松治美・Rajendar Bahl・柳澤政生:”2基のハイドロフォンアレイを用いたマッコウクジラの集団潜水行動への考察 “, *日本音響学会誌*, Vol. 67, No. 11, (2011.11), pp. 499-509

主要学会発表論文

1. 杉松治美・小島淳一・浦環・Rajendar Bahl・Sandeep Behera・Ajit Pattnaik・Sabro Tomuro・Danielle Kreb:” Long-term In-situ Monitoring of the Irrawaddy dolphins (*Orcaella brevirostris*) in Borneo”, *Proc. SYMPOL2013, Kochi, India*, (2013.10), pp. 147-153
2. 杉松治美・小島淳一・浦環・Rajendar Bahl・Sandeep Behera・Hari Singh・Vivek Sheel Sagar:” Automatic discrimination and detection of small calf Ganges river dolphin (*Platanista gangetica*) from other age groups based on bio-sonar inter-click interval characteristics”, *Proc. Oceans 13 San Diego, San Diego, USA*, (2013.9)
3. 小島淳一・杉松治美・浦環・Rajendar Bahl・Sandeep Behera・Hari Singh・Vivek Sheel Sagar:” Long-term real-time monitoring system for Ganges river dolphins using two sets of 6-hydrophone array systems”, *Proc. Oceans 13 Bergen, Bergen, Norway*, (2013.6)
4. T. Akamatsu・T.Ura・H. Sugimatsu・R. Bahl・S.Behera・S.Panda・M. Khan・S.K. Kar・C.S. Kar・S. Kimura・Y. Sasaki-Yamamoto:” Counting Animals Using Vocalizations; a Case Study in Dolphins” *Proc. UT13, Tokyo, Japan*, (2013.3)
5. 杉松治美・浦環・水野勝紀・浅田昭・小島淳一・Rajendar Bahl・Sandeep Behera・Hari Singh・Vivek Sheel Sagar:” Study of acoustic characteristics of Ganges river dolphin calf using echolocation clicks recorded during long-term in-situ observation”, *Proc. Oceans12 Hampton Roads, Virginia Beach, USA*, (2012.10)
6. 杉松治美・浦環・小島淳一・飛龍志津子・Rajendar Bahl・Sandeep Behera・Ajit Pattnaik・Idris Mandan・Sabro Tomuro・Danielle Kreb:アジア域に棲息する小型歯クジラ類のリアルタイム音響観測ネットワークの構築”, 第23回海洋工学シンポジウム講演論文集, 東京,(2012.8), OES23-035
7. 杉松治美・浦環・小島淳一・飛龍志津子・Rajendar Bahl・Sandeep Behera・Ajit Pattnaik・Idris Mandan・Sabro Tomuro・Danielle Kreb: "Asian Dolphin Observatories Real-time Networking-ADORN-", *Proc. Oceans 2012 Yeosu, Yeosu, South Korea*, (2012.5)
8. 杉松治美・小島淳一・浦環・Rajendar Bahl・Sandeep Behera・Vivek Sheel Sagar:” Annual Behavioral Changes of the Ganges River Dolphins (*platanista gangetica*) Based on the Three Long-Term Monitoring Seasons using 6-Hydrophone Array System”, *Proc. UT&SSC11, Tokyo, Japan*, (2011. 4)

招待講演

1. 杉松治美:”Asian Dolphin Observatories Real-time Networking –ADORN–“, *International workshop on collaborative research and conservation of the Mahakam freshwater dolphin, Samarinda, Borneo, Indonesia*, (2011.12.15)