

国際科学技術共同研究推進事業

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「地球規模の環境課題の解決に資する研究」

研究課題名「“フィールドミュージアム”構想によるアマゾンの生物多様性保全」

採択年度：平成 25 年度/研究期間：5 年/相手国名：ブラジル連邦共和国

終了報告書

国際共同研究期間^{*1}

平成 26 年 7 月 1 日 から 平成 31 年 6 月 30 日まで

JST 側研究期間^{*2}

平成 25 年 6 月 1 日 から 平成 31 年 3 月 31 日まで

（正式契約移行日 平成 26 年 4 月 1 日）

*1 R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日，終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者： 幸島司郎

京都大学 野生動物研究センター・教授

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

（1）研究の主なスケジュール

研究題目・活動	H25 年度 (10 ヶ月)	H26 年度	H27 年度	H28 年度	H29 年度	H30 年度 (12 ヶ月)
1. 生態系の解明と保全法の開発 (京大グループ) 1-1:水生生物の生態研究法開発 1-2:マナティー野生復帰プログラム 1-3:カワイルカ保全プログラム 1-4:水生生物と河川環境の理解 1-5:林冠動植物相互作用の解明 1-6:データベースの構築						
2. フィールドミュージアムの構築 (京大グループ) 2-1:グランドデザイン 2-2:水生生物展示法の開発と施設整備 2-3:大型水生哺乳類研究・展示施設整備 2-4:森林生態系研究・展示法の開発と施設整備 2-5:ビジターセンターの整備 2-6:各施設の試験的運用と改善						
3. フィールドミュージアム運営のための社会システム構築 (地球研, 京大グループ) 3-1:協議会の設立 3-2:人材育成基盤の整備 3-3:エコツーリズム・教育プログラム 3-4:ガイド養成プログラム開発 3-5:研究参加プログラム開発 3-6:各プログラムの運用と改善						

* 1 ; キックオフミーティングの遅れにより遅延 * 2, 3 ; 遅れを見込み着手前倒し * 4 ; 遅延

（2）プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

プロジェクトで建設予定であったキャノピーウォークについては、予算と安全上の懸念から設置を断念し、代わりにリサーチステーションと既存道路をつなぐ道路の整備を行うこととした。また、マナティー飼育槽の排水処理についてもプロジェクト予算内での設置が難しいため、外部資金による設置を目指すこととした。

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

本プロジェクトの主なねらいとして以下の3点が挙げられる。

1) アマゾンの生態系理解

これまで調査が困難だったアマゾンの代表的生物の生態と生態系を科学的に解明し、研究・保全法を確立する。その保全プログラムを策定する。研究・保全・環境教育に必要な生態・環境・ゲノム情報データベースを整備する。

2) フィールドミュージアムの整備

アマゾンの代表的生物と生態系の観察・展示技術を開発する。マナウスとその近郊に、マナティやカワイルカ等の水生哺乳類・魚類等の水生生物や熱帯雨林、特にその上層部（林冠）の生物を飼育下、半飼育下、野生下で観察・研究・保全できる施設と保護区のネットワーク「フィールドミュージアム」を整備する。

3) フィールドミュージアム活用のための社会システム整備

フィールドミュージアムを自立的に運営・活用する組織を確立する。その活用プログラムを策定する。環境教育とエコツーリズムのプログラムを開発する。その運営と活用に必要な人材育成のための社会的仕組みを整備する。

(2) 生態系の解明と保全法の開発 (京大)

1) 水生生物の生態研究法開発 (幸島・菊池・山本・赤松)

①ねらい

アマゾン川の水は濁っているため、水生生物の水中での行動や分布を調べることは非常に困難だった。そこで、動物装着型のデータロガーを利用した生態研究法（バイオリギング）や、水生動物の発する音を利用した音響解析による生態研究法などの開発を行ない、アマゾンマナティやアマゾンカワイルカなどの生態と行動の研究を行った。

新たな研究法によって明らかになった科学的研究成果の概要を以下に報告する。
詳しい方法などについては後節を参照のこと。

音響分析によるアマゾンマナティの行動研究 (菊池) :

保護・飼育されているアマゾンマナティを対象に、餌を食べる音（咀嚼音）を録音し、食べた餌の量や餌の種類との関係を分析した。その結果、食べる量と咀嚼回数の間には相関関係が認められ、食べる植物の種類によっても咀嚼速さが異なることが明らかとなった。つまり、咀嚼音を分析することによって、野生個体の分布や採食場所、採食時間、餌の種類などを明らかにできる可能性が開かれた。(投稿準備中)

飼育個体の幼体 10 頭を対象に様々な音や個体の鳴き声を聞かせるプレイバック実験を行なって、特定の音や個体の鳴き声を認識するか否かを調べた。その結果人工音と比べてマナティの鳴き声への反応が大きいことがわかった。さらに、同じ水槽で過ごす他個体の鳴き声への反応が一番大きく、次に、以前同じ水槽で過ごしたことがある他個体の鳴き声への反応が大きいことがわかった。つまり、アマゾンマナティの幼体は特定の個体の鳴き声を認識しており、以前聞いた鳴き声を記憶している可能性が示唆された。(投稿中)

音響分析とバイオリギングによるアマゾンカワイルカの行動研究 (山本・幸島・赤松) :

野生アマゾンカワイルカがエコロケーション（音響定位）のために発している超音波を記録・解析して、彼らの水中での動きや行動を推定した。その結果、アマゾンカワイルカは日中と夜間では異なる環境（日中は川岸の浸水林付近などの浅い場所、夜間は水深が深く流れの緩い場所）を利用していることが初めて明らかになった。（Yamamoto et. al, 2016）

マミラウア地区の野生アマゾンカワイルカを対象に、加速度計など生物装着型データロガーをイルカに装着して水中での行動を分析する研究を行った。水中で獲物を待ち伏せていると思われる行動や、獲物に静かに接近する行動など、従来手法では得ることができなかったカワイルカの生態を観察することができた（図 1）。また、船舶音があると潜水深度や潜水時間が長くなることなど、彼らの行動に船舶の影響があることが初めて示唆された。（投稿準備中）

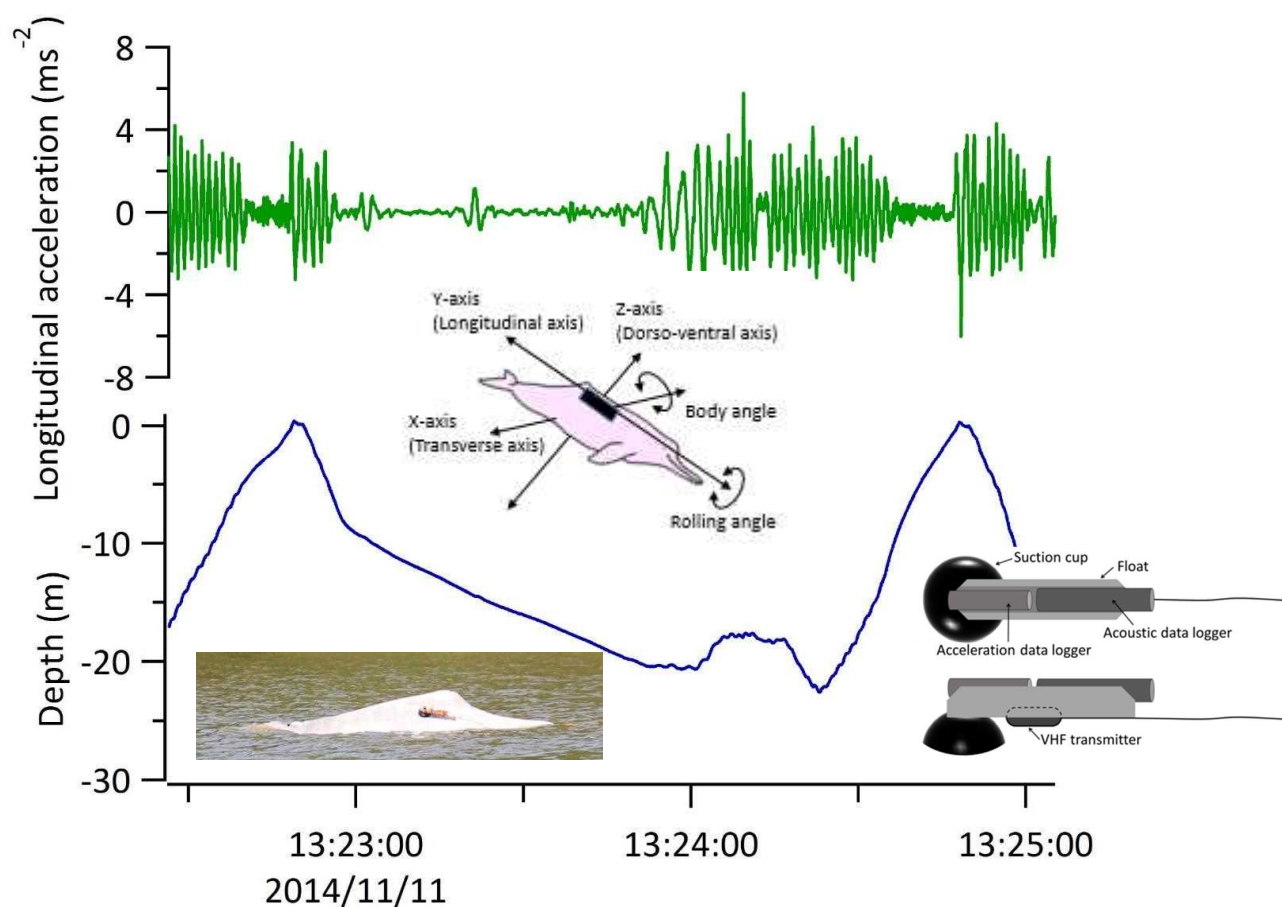


図 1 アマゾンカワイルカの水中行動。尾びれを振るのを止めグライド（滑空）する行動がよくみられた。直後の急激な加速度は体の回転を伴っており、摂餌が示唆される。グライドで静穏のまま餌に近づいていたと示唆される。

2）水生哺乳類保全プログラム開発（幸島・菊池）

①ねらい

アマゾンマナティーの主な減少要因は密漁であり、密漁に伴う負傷個体や母親を失ない孤児となった幼体が保護される数が増加している。本プロジェクトでは、アマゾンマナティーの保護・飼育個体を再びアマゾン川へと戻す野生復帰法を改善・確立することを目指した。野生復帰プログラムを改良、確立することで、アマゾンマナティー生息数の回復に貢献する。

②実施方法

本研究では飼育下から直接野生下へ放流するのではなく、半野生環境での馴化を経て野生放流するソフトリリースを行った。アマゾン川沿いにある湖に飼育マナティを放流し、野生に近い環境に慣れさせてから野生環境に放流した。まず、INPA の飼育水槽で飼育されているアマゾンマナティ保護個体をマナカプルにある半野生湖へと移動させる「半野生復帰」を行なった。INPA の飼育水槽には密漁で母親を失った孤児幼体が毎年 10 頭近く保護されてくる。人工飼育環境しか知らない個体を野生に返すには、半野生復帰によって、より自然に近い環境での飼育を行う必要がある。次に、半野生湖にてすでに飼育されている 24 頭を対象に定期的な健康診断を行い、健康状態の良好な個体を選別してアマゾン川へ放流する「野生復帰」を行なった。野生復帰は、川の水位が上昇して餌植物が豊富となる雨季に実施した。

野生復帰させるマナティには VHF 発信機やデータロガーを装着して放流し、放流後の行動を追跡調査する行動モニタリングを行った。動物装着型データロガーによる短期（数日-6 日間）の詳細な行動記録と発信機の電波を手掛かりにして半年以上追跡調査を行う長期モニタリングの 2 種類を行なった。VHF 発信機による長期モニタリングでは、生息地の利用状況と生存の確認を行った。研究者のみで長期間のモニタリングを行うことには限界があることから、地元漁師らの協力を得る体制を整えた。川に精通する漁師らの協力によって、モニタリング精度の向上、および地域住民のアマゾンマナティへの関心を高めて保全に対する意識の向上を図った。アマゾン川は濁っているため、目視で水中のマナティの様子を観察することは不可能である。そこで、本研究では、動物に直接装着して詳細な行動を記録する加速度ロガー、三次元の行動を記録する 3D ロガー、および水中音を記録する音響ロガーなど複数の機器を利用した。これにより、放流個体の摂餌を含む詳細な行動把握が初めて可能となった。

③成果目標の達成状況とインパクト

- ・半野生復帰 (Output:1-1, 1-2, Activity:1-1, 1-2)

プロジェクト期間中に、保護・飼育個体 37 頭を半野生湖へと放流した。また、毎年 1 回、半野生湖に滞在するマナティ全頭を対象に網での捕獲、健康診断を実施した。これまでの診断結果では、捕獲した全頭において健康状態が良好であることが分かっている。

- ・野生復帰 (Output:1-3, Activity:1-1, 1-2)

ソフトリリースの実施とその有効性の確認

半野生湖で約 1 年間のリハビリ期間を経たマナティのうち、健康状態が良好な個体を選んで、アマゾン川へと放流するソフトリリースが本事業で初めて実施された。2016 年から 2019 年までに、計 31 頭のマナティがブルス川へと放流された。2018 年までに放流された個体のうち 14 頭には発信機を装着して 203-638 日間（平均 413 日）追跡調査を行い、生存確認と行動モニタリングを行った。その結果、全個体が発信機の電池切れなどで追跡できなくなるまで、少なくとも放流から半年以上生存していることが確認された。また 2016 年 11 月と 2017 年 10 月に、放流個体のうちの 1 頭を再捕獲して健康診断を行なうことができた。その結果、体長と体重が共に増加しており、自然環境に順調に適応しているが確認された（表 1）。これらの結果から、半野生復帰から野生復帰へと段階を踏んだ放流（ソフトリリース）の有効性が示された。これらの成果を学術雑誌に発表した (Souza DA et. al, 2018)。

また、2018 年までに放流された個体の行動モニタリングから、放流したマナティたちが順調に野生へと適応していることがわかったため、それまでは 10 歳前後の若い個体を選んで放流していたが、2018 年 4 月以降の放流では 11 歳以上のマナティも放流した。飼育年数の長い個体が無事にアマゾン川へ適応できることが明らかになれば、今後、より多くの保護個体をアマゾン川へと放流することが可能となる。



放流前の計測

元密猟者らによる長期間の追跡調査の実施

野生復帰後のマナティの長期間追跡調査を実施するため、アマゾン川沿いの村の漁師4名の協力を得た。漁師らは、マナティの尾びれにベルトで装着した VHF 発信器からの電波を受信して、マナティの移動経路と生存確認を行なった。2名1チームで2チームを編成し、2名のうち1名が VHF 発信器からの電波を受信し、もう1名がボートを操舵することで調査を行う体制を整えた。うち2名は、元マナティの密猟者であり、当時の技術を調査のために生かしている。2チームが交代で毎日モニタリングを行い、1年以上の長期モニタリングを実施してきた。ブラジル側研究者の Diogo 氏が、毎月放流地へ向かい、漁師らが取得したデータの回収、およびモニタリング精度向上のためのトレーニングを実施してきた。

2018年にモニタリング調査を実施してきた漁師4名を対象にアンケートをとった結果、全員からマナティ保全への理解が深まったとの回答が得られた。特に、元密猟者らからは「調査に参加してマナティ保全の重要性を理解した。もう決してマナティを捕獲しようとは思わない。今後もマナティの密漁を防ぐために協力を続けていく」との回答を得た。本事業が保全への意識を高めている、と手応えを感じている。

バイオロギング手法を用いた短期間の詳細な行動調査

得られた行動データは最長6日間、放流後の摂餌音も確認された。雨期の雨量が多く、川の水位が例年より高い状況では、放流後のマナティの活動量が非常に高く、摂餌を開始するまでの時間が長くなる傾向がみられた。川の水位が高いと、水路が増えて、マナティの移動できる範囲が広がる。そのため、水位が高い時期に放流されたマナティは常に移動し続けて、落ち着く場所を見つけるまでの時間が長くなってしまったと考えられた。マナティが移動し続けるため、追跡調査も難しい。これらの結果から、放流時の川の水位はあまり高くない方が、放流後のマナティにとって良いことが示唆された。



データロガーと VHF 発信機を装着したマナティ



元マナティ猟師によるモニタリング

④技術移転の状況

上記のとおり、日本人研究者から相手国側研究者、現地スタッフへと VHF 発信器を用いたテレメトリによる調査手法の技術移転が行われた。そして、ブラジル側研究者が毎月放流地へ向かい、漁師らによって取得されたデータの回収、およびモニタリング精度向上のためのトレーニングを実施している。(>Output:1-5)。

表 1 放流後のマナティの健康診断結果

	半野生湖	アマゾン川	半野生湖	アマゾン川
計測日	2016/02/2	2016/11/29	2017/4/6	2017/10/18
体長 (cm)	184	190	190	197
体重 (kg)	87	100	115	169

⑤想定されていなかった新たな展開

ソフトリリースの成功により放流頭数を増加させた

当初、アマゾン川への野生復帰は 1 度に最大 4 頭ほどを予定していたが、半野生復帰—野生復帰を経て放流した個体が順調に川へ適応していることが確認できたため、放流頭数を増やし、さらに 10 歳以上の個体も放流することにした。

放流マナティへ装着する尾びれベルトの改良

川へ放流したマナティを再捕獲した結果、VHF 発信機の搭載された尾びれのベルトが、個体の成長によってきつくなっていることがわかった。マナティの寿命は 70 年以上と言われているが、本事業で放流した個体はいずれも、これから成長する青年期の個体である。そのため、川への放流時には余裕があつてちょうど良いフィット感であつたベルトが、数ヶ月後には成長によってきつくなってしまったと考えられる。そこで 2018 年 4 月の放流時には、尾びれのベルトをより余裕を持たせて装着すると同時に、万が一きつくなった際に自然に脱落しやすいように、ベルトの留め具部分を壊れやすい素材へと変更した。尾びれベルトを利用した調査は、他のマナティ種（フロリダマナティやアンティリアンマナティ）でも以前から実施されてきたが、再捕獲してベルトの装着具合を調べた例はなかった。本事業によって初めて、尾びれベルトを利用した調査は個体の成長による影響を考慮して行うべきであることが明確になった。

地元 NPO によってマナティ野生復帰事業がプロジェクト終了後も継続することになった

本プロジェクトが行ってきたマナティの野生復帰事業とそれに関連する環境教育は、伊藤忠商事株式会社の支援を受けて行われたものである。これらの事業は、本プロジェクトの野生復帰事業に協力してきた地元 NPO である AMPA (マナティ友の会) によって、ブラジルの石油会社ペトロブラスや日本の伊藤忠商事などの支援を受けて、プロジェクト終了後も継続されることとなった。2019 年 3 月に行われた 12 頭の野生復帰は、AMPA が主体となってペトロブラスと伊藤忠商事の支援を受けて実施されたものである。

(3) 水生生物と河川環境の理解 (赤松・亀崎・池田・石原・小坂・笹井)

1) 水中音環境の解明

①ねらい

これまでほとんど知られてこなかったネグロ川（アマゾン最大の支流）の水中音環境（サウンドスケープ）を明らかにし、水中生物の新しい解析方法を開発するとともに、展示コンテンツとしての応用を目指す。

②実施方法

INPA 専属の漁業者の協力を得て現地で魚類を採取し、5 種（総計 60 個体）の鳴音を記録すると同時に、その体長体重を測定し、種同定のための遺伝子サンプルを取得した。また、ノボ・アイラウ地区の水上調査小屋に定点型音響観測装置 (LIDO) を設置し、魚類とカワイルカ類の音声記録を行った。

超音波領域まで拡張した水中音記録装置を導入し、カワイルカのエコロケーション音（音響探索音）も記録できるようにした。またステレオ受信機を利用したカワイルカの音響探索音の方位変化分析から、カワイルカの水中での移動方向も遠隔的に確認した。カワイルカは魚類や甲殻類などの低次の生物に支えられている。同一点で複数の食物連鎖段階にある生物を同時連続で記録することで、生物種間の相互作用を記録する。

得られた生物音(biophony)・環境音(geophony)・人工音 (anthrophony)で構成されるサウンドスケープ（音の風景）から音声素材を切り出しアーカイブし、フィールドミュージアムにおける展示素材を供給した。最終成果となる科学の家における音響展示方法を検討し、上記のなかから適切な素材を選び、研究成果の普及に活用した。

③成果目標の達成状況とインパクト

音響分析による魚類研究法を開発するために、魚種ごとに音声を記録してデータベースを作成した。音による種同定の貴重なデータベースとなるだけでなく、音声による体長推定や分布推定への応用が期待される（図 2）。

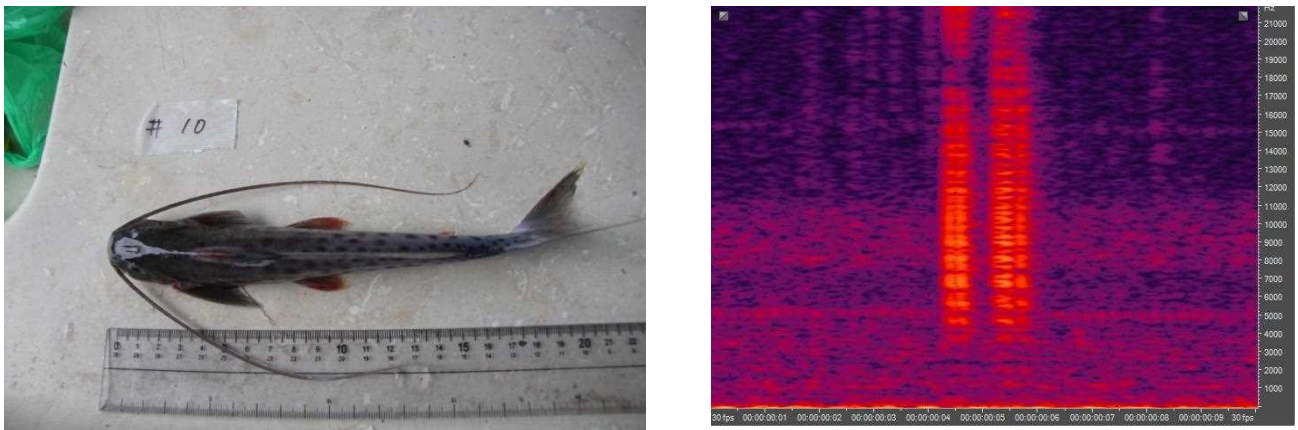


図 2 ギギの仲間と記録された音声のスペクトログラム。捕獲、飼育、録音、放流の作業により 5 種の魚類の音声を取得した。

JST の CREST で開発された生物音声抽出ソフトや自動判別アルゴリズムを用い、アマゾン川に生息する生物や雑音の検出を実施した。新規に適用した教師なしの機械学習アルゴリズムを用いて、2017 年 11 月から 12 月にかけて淡水のニベ科魚類(South American silver croaker)のコーラスが明瞭に捉えられた(図 3)。魚のコーラスは繁殖期に歌われると知られており、アマゾン川においても連日早朝 5 時前後と夕方 17 時前後に典型的なコーラスパターンが認められた。また、日中には船舶雑音が不定期に記録されており、夜と昼でサウンドスケープが異なる様子も認められた。また超音波領域の観測により、カワイルカの音響探索音を記録した。その結果、カワイルカは周辺水域に常在しており、彼らの音響探索音はとくに夜間に多く検出された。また、カワイルカが短距離ソナーと長距離ソナーを使い分けている様子も確認された(図 4)。つまり、捕食者であるイルカが夜間にコーラスを発する魚類を対象に活発に摂餌を行っていたことが示唆された。このような音響観測によって、生物種間の相互作用の一端が記録された。(投稿準備中)

得られた生物音(biophony)・環境音(geophony)・人工音 (anthrophony)で構成される音の風景から音声素材を切り出してアーカイブし、フィールドミュージアムにおける展示素材を作成した(図 5)。また、ステレオのマイクロホンアレイを投入したことにより、とくに船舶騒音については、船が高速で移動する様子がヒトの音源定位能力でも感じられる素材も取得することができた。

④技術移転の状況

音響モニタリングシステムとして現在使用している独立型録音機(AUSOMS-mini stereo と SoundTrap)については、使用方法についての研修を行い、現在は現地協力者によって継続稼働してお

り現地観測体制は整っている。プロジェクト終了後も現地観測と共同研究を継続し、解析方法を含めた技術移転をすすめる。

⑤想定されていなかった新たな展開

落雷などの電源関連トラブルにより、当初音響記録に利用していた LIDO 本体が損傷したため、現在は独立型録音機材を用いて音響記録を行っている。なお、LIDO が稼働していた 2016 年のデータを機械学習で分類すると、季節によって異なる音種（色分け）が認められた（図 6）。

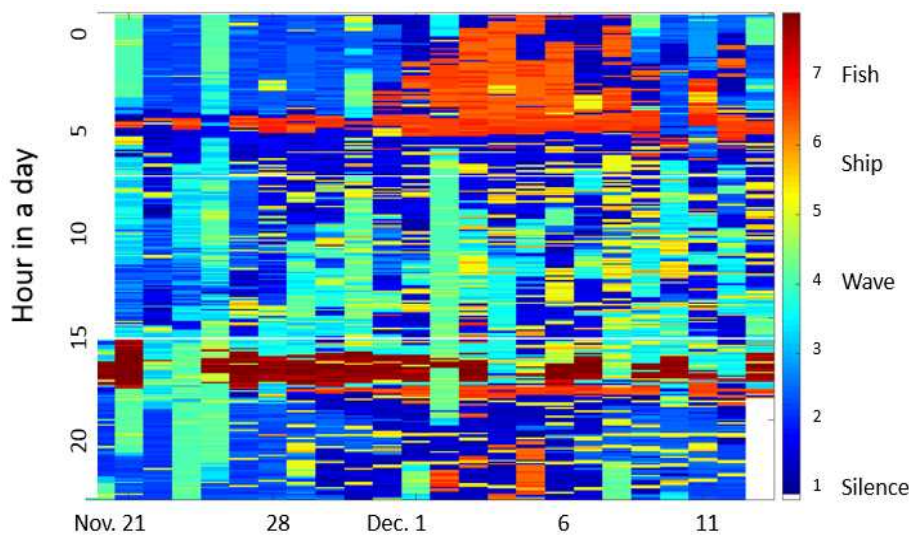


図 3 教師なし機械学習アルゴリズムにより可視化されたアマゾン川における 11 月から 12 月にかけてのサウンドスケープ。音の源は 1 から 7 番まで色別に分類した。手法の詳細は Lin et al., J. Acoust. Soc. Am., 143(4), EL278-EL284 参照。

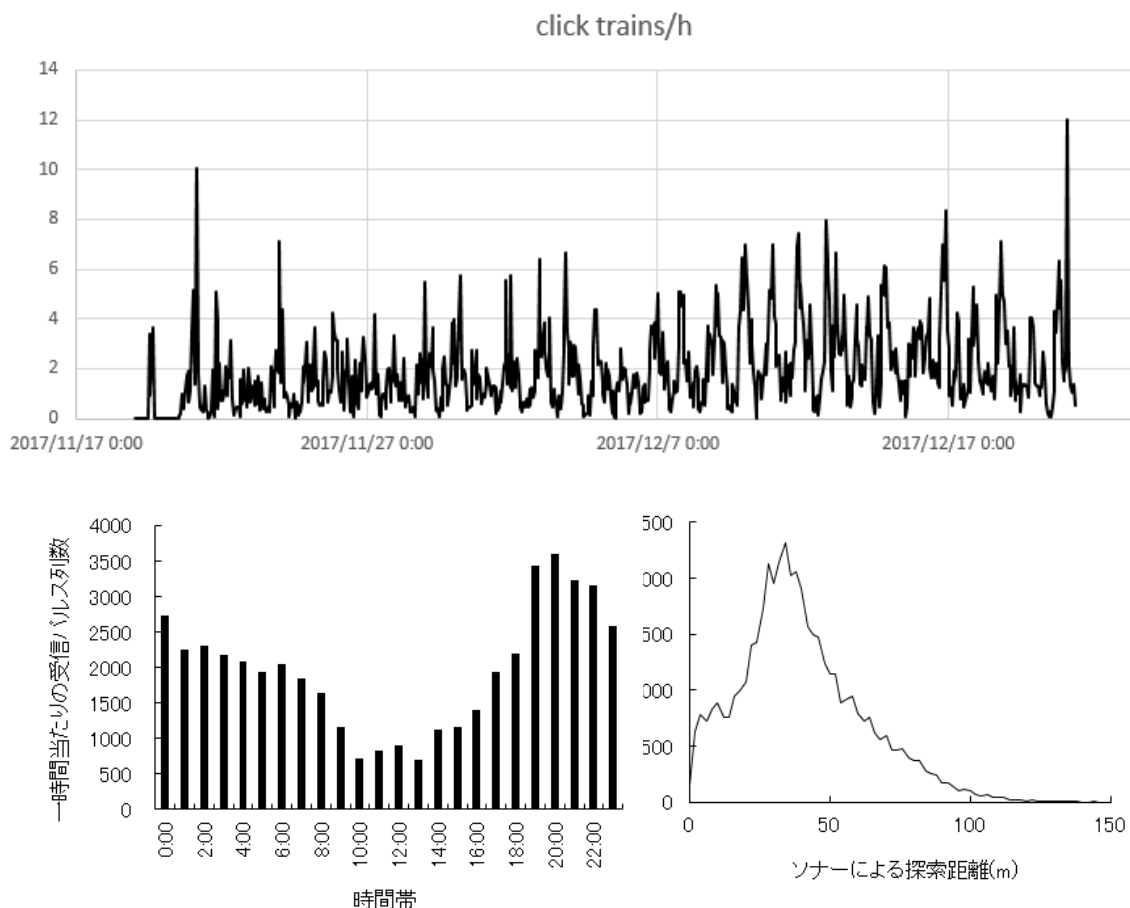


図4 カワイルカの出現状況。カワイルカは観測点の周辺に常在していた(上図)。出現は夜間に多い傾向があり(左図)、音の発射間隔から推定される音響探索距離は 10m 以下の摂餌用から数十 m に達するナビゲーション用まで、幅広い範囲を探索していた(右図)。

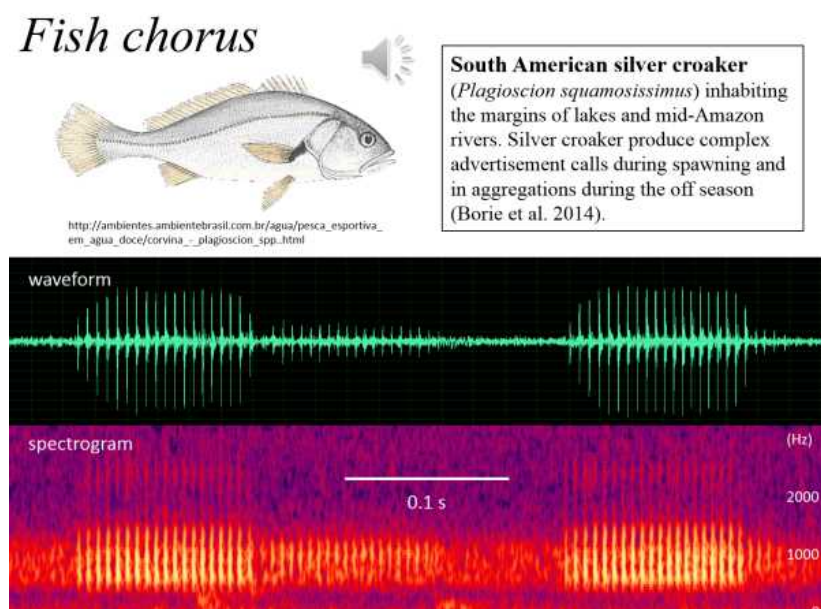


図5 水中生物音の展示素材例。コーラス中の魚の鳴音を分析し、波形とスペクトログラムを表示して解説をつけた。スピーカーアイコンをクリックすると音声再生されるプレゼンテーションファイルの形式となっており、フィールドミュージアムにおいて通常のPCを用いた展示に応用できる。(イラスト：田杭佳純)

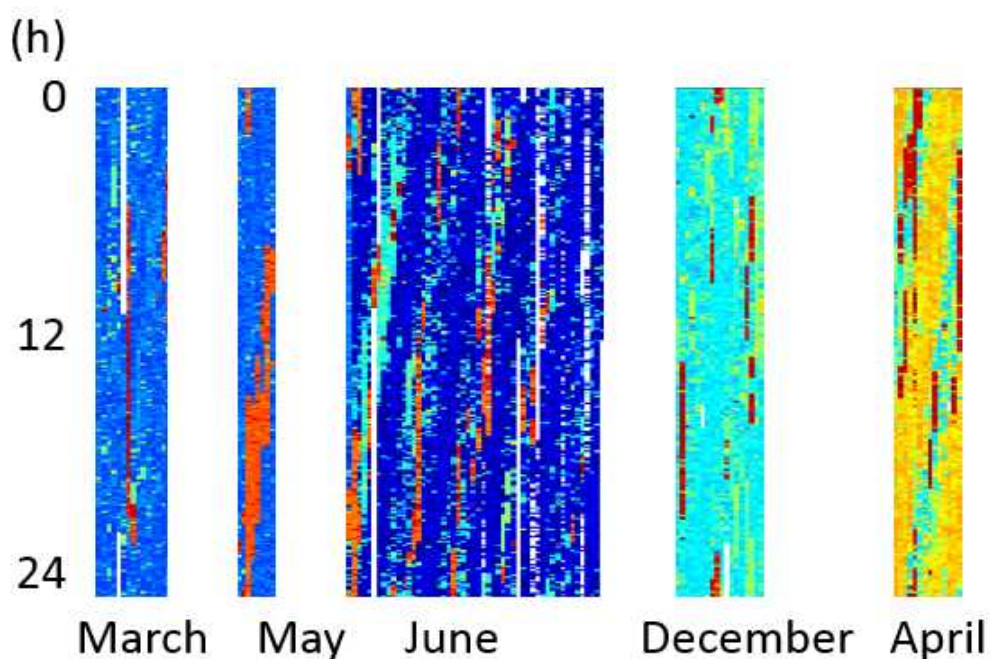


図6 LIDOで2016年に記録した水中音の季節変化。機械学習で分類された音種は季節によって異なっていた。

4) 小型魚類の生態解明

①ねらい

アマゾン川の魚類の多様性は流域による多様な水質と水位等の大きな季節変化によって生じ、また維持されていると考えられるが、魚類の生態と河川環境の関係に関する研究はまだ多くない。そこで、主に小型魚類に注目し、その形態や生態と河川環境との関わりを明らかにすることで、多様性保全に貢献することを目指す。

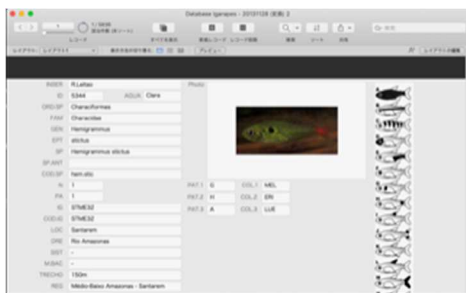
②実施方法：

- ・ 魚類の視覚・嗅覚と水質との関係に関する研究：アマゾンの多様な流域に生息するセルフィンテトラを用いた行動実験等により、彼らがどのように多様な水質に適応してきたかを明らかにする。
- ・ 水質と魚類の体色に関する研究：INPA の持つ生息水域データベースを利用して小型魚類の統合データベースを作成し、水の色による視覚コミュニケーションの差異について解析を行う。
- ・ 電気魚の生態に関する研究（主に繁殖）：電気魚の繁殖を目指した飼育法の開発。特に *Microsternarcus* 属における水質変化および性腺刺激ホルモンによる配偶行動の誘発。
- ・ ピラルクの鱗から全長を推定する方法の開発：水族館飼育個体および養殖個体のピラルクにおける鱗のサイズ分布を明らかにし、鱗のサイズから個体サイズを推定する方法を開発する。

③成果目標の達成状況とインパクト

2015 年 8 月に INPA 内ラボに整備した魚類の飼育施設と実験水槽で主にセルフィンテトラ *Crenuchus spilurus* の嗅覚刺激に対する反応、体長等による配偶相手の選好性に関する実験を行った。それらの結果や野外調査の結果をもとに、以下のようなことが新たに明らかになり、既に 3 本の論文として発表されている(>Output1-2)。セルフィンテトラはその広大な分布範囲にも関わらず、形態学的には非常に差異が少なく、性的二形とその繁殖形式が集団間の種分化を妨げている可能性があることが明らかになった (Pires, et, al. 2016)。しかし、ブラックウォーターおよびクリアーウォーター水域に生息する個体群の形態学的比較から、眼のサイズとヒレの着色が明らかに異なる（ブラックウォーターに生息する個体群は眼球が大きく、主に背鰭の着色が顕著）こと (Pires, et, al, 2019)。また、特に繁殖期においてセルフィンテトラが主流河川の水質よりも、典型的なイガラペ（支流河川）の水質を選択する傾向があること、同時に繁殖成功率もイガラペの水質で高くなること (Stefanelli-silva, et al. 2018) など、本種の種分化や多様性維持の理解にとって重要な多くの事実が明らかとなった。さらに、雌雄のサイズによる配偶者選好性や、生息水質による体色変化のスピードの違いなども明らかとなっており、これらの結果に関しても論文を投稿/投稿準備中である。

水質と小型魚類の体色に関するデータベース：INPA の project Igarapé がこれまでに取得した 8 科 430 種の小型魚類の採集地データ 5835 件を、各魚種の体色のデータとともに入力し、小型魚類の統合データベースを作成した。生息流域の水の色と魚類の体色の関係に関する解析など、各種の解析に利用できるほか、科学の家での新たな展示開発にも利用される予定である。



水質と小型魚類の体色に関するデータベースの画面

2017 年 3 月、電気魚の自然生息環境における水質の季節変化を調べるため、クイエイラス川に水位、温度、溶存酸素、および導電率の各種ロガーを設置、2018 年 3 月にこれを回収した。予想を上回る水位変動（年 10m 程度）のため乾季のデータは取得できなかったが、6 月初めに最高水位、9-10 月に最低水位となること、減水期には一気に水位が落ちていくが、逆に増水期の初期には 1m 程度の水位

変動が繰り返されることなどが明らかになった（図 3）。また低水位期は温度の日較差が高水位期より大きいことも明らかとなった。現在も継続してデータを取得しており、飼育下での野外環境の再現に利用する予定である。

飼育下の電気魚 *Microsternarcus* の電気シグナル解析によって、メスの発電パターンが性成熟によって変化する可能性が初めて示された。本件についてはプロジェクト期間後も継続して実験を行い、論文を投稿予定である。

電気魚 *Microsternarcu* の飼育下での配偶行動を性腺刺激ホルモン投与や水質変化などで誘発させる実験は現在のところまだ成功していない。今後も共同研究を継続し、電気魚の飼育下繁殖の実現と展示を目指す(>Activity2-3, 2-5, >Output2-2)。

神戸市立須磨水族園で死亡したピラルク成魚の鱗サイズを縦断的に測定し、カタログを作成した。同一個体内での鱗サイズの配置は特徴的であり、特に幅および厚さについては側線上で大きくなっていることがわかった。2018 年 3 月までに計 6 個体のピラルク幼魚を飼育し、成長と鱗サイズの間関係を継続測定した結果、鱗のサイズからある程度の全長を予測することが可能となった。

④技術移転の状況

2016 年 3 月から亀崎、小坂、池田が渡航し、電気魚の実験施設の見学と展示に関する協議を行うとともに、実験に用いる魚類の飼育についても技術移転を進めてきた。これまでの非常にシンプルな濾過システムの効率を上げるため、H29 年度には砂利を用いた濾過槽の一部をスポンジフィルターへ転換した。また、LED 照明と CO2 を用いた水草の育成技術を導入した。また、日本で広く行われている排卵誘発剤を用いたドジョウの人工繁殖法のデンキウオへの応用を試みた。セルフィンテトラの体色の測定に関し、小型分光器を用いた反射スペクトルの測定について池田がレクチャーを行なった。

⑤想定されていなかった新たな展開

これまでの共同研究はブラジル側各研究者と日本側共同研究者が個々に行っていたが、H29 年度にはセルフィンテトラや電気魚の行動に関する総合的な研究計画がブラジル側学生の主導で提案され、すでに予備実験の実施と SSC へのプロポーザル草案の作成が行われている。

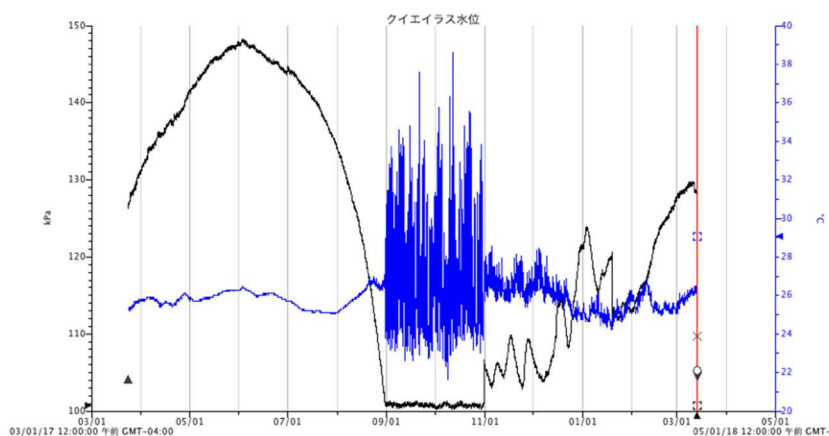


図 クイエイラス・ステーションにおける水位（黒線）と水温（青線）の変化（9-11 月は水位低下のため測定できず）

（４）林冠動植物相互作用の解明（湯本・矢部・鬼澤・村松・澤田）

①ねらい

カメラトラップやロガーを使用して、これまで観察が困難であった林冠部を中心とした動植物の生態を明らかにする。また、特にナマケモノにおいて最大の特徴である極端な低代謝のメカニズムを解

明する。

②実施方法

- ・ 林床と樹上の動物相の比較；クイエイラス地域の森林の林床および樹上に自動撮影カメラを設置し哺乳類の種構成や密度を比較する。
- ・ 増水期と減水期における動物相の比較；クイエイラス地域にグリットを設定し、テラフィルメ（増水期でも浸水しない台地）へ自動撮影カメラ 40 台を増水期である 8 月に設置する。同様にイガポ（浸水林）にも減水期である 10 月に自動撮影カメラ 40 台を設置し、動物相の比較を行う。
- ・ 野生ナマケモノを捕獲し、小型記録装置を装着して体温・心拍・GPS 位置情報の連続記録を行う。ミユビナマケモノ 22 個体、フタユビナマケモノ 4 個体に VHF 発信機を装着。うち、17 個体のミユビナマケモノと 1 個体のフタユビナマケモノに体温・心拍・GPS ロガーを、2 個体のミユビナマケモノと 3 個体のフタユビナマケモノに GPS ロガーを、2 個体のミユビナマケモノに心拍および体温ロガーを装着してデータを記録した。加えて、ナマケモノを放した樹にも温度ロガーを設置し、周辺環境温のデータも記録した。

③成果目標の達成状況とインパクト：

- ・ クイエイラス地域のテラフィルメ（非浸水林）において、0.25～1km の間隔で林床（14 台）および高さ 10～20m の樹上（8 台）に設置したカメラトラップで撮影された映像の解析を行い、延べ撮影日数に対する哺乳類の種数や撮影頻度を林床と樹上で比較した。その結果、調査地域では樹上よりも地上で種構成や体サイズ、食性タイプが多様であることが明らかになった。また、アマゾンの他地域における既存の研究結果と比べると、クイエイラス地域の方が種数が豊富であることが予測された。これらの結果を 2018 年 11 月にペルーで行われた国際学会「IV Congreso Peruano de Mastozoologia」において「Differences in mammal composition and richness among vertical strata in central Amazonia」として発表を行なった。
- ・ また、クイエイラス地域のテラフィルメと、減水期のイガポ（浸水林）に自動撮影カメラ 40 台を設置し、増水期・減水期のテラフィルメと減水期のイガポの地上性の動物相の比較を行なった。その結果、減水期のイガポ林床に出現する哺乳類の種数はテラフィルメにおける種数よりも少なく、種構成はブラジルバクのような水辺を好む種やアグーチのような普通種を主体とすることなどが明らかになりつつあり、プロジェクト終了後もブラジル側研究者によって調査が継続されている。
- ・ カメラトラップで撮影された映像から、クイエイラス地域における哺乳類と鳥類の簡易マルチメディアデータベースを作成した。本データベースを利用し、直感的な操作で各動物の動画や静止画、音声にアクセスできるタブレット端末 3 種（哺乳類、鳥類、魚類）を作成し Casa da Ciencia（科学の家）の展示リニューアルに合わせて公開した。



カメラトラップに映ったピューマとブラジルバク

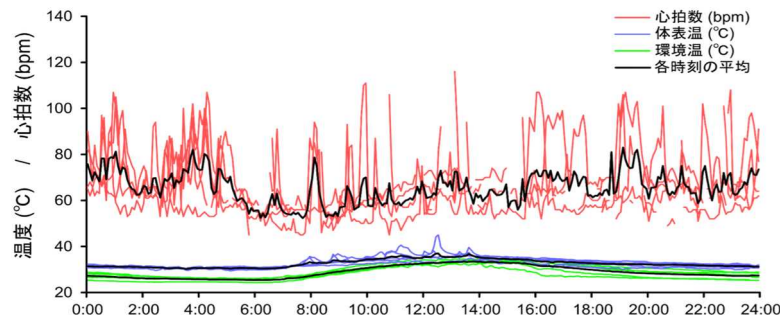
MAMÍFEROS

MUSEU DA FLORESTA



クイエイラス地域の哺乳類と鳥類の簡易マルチメディアデータベース画面

- 2018年7月と、2019年6月に、それぞれ2週間にわたってクイエイラス・フィールドステーションにおいて、この地域の動植物や自然環境を理解するための野外実習を開催した。マナウスの大学生、専門家、地元コミュニティの若者が参加し、自然史学（植物、菌類、鳥、動植物間相互作用の4つのテーマ）と科学的イラストレーション（動植物の学術的な描画法）の2つのコースが開催された。またフィールドコース中に観察された植物や菌類をまとめたフィールドガイドを作成した。
- ナマケモノ調査では、15個体のミユビナマケモノから合計3223日間の位置情報データ（最長343日間の連続データ）と10個体のミユビナマケモノから17セットの心拍・体表温データの回収に成功した。ミユビナマケモノに関して、野生ナマケモノの心拍数や体温を長期連続観測することに初めて成功した。その結果、ナマケモノが同サイズの他の哺乳類と比べて心拍数が非常に低いこと、環境温度の変化や運動量に応じて、体温が大きく変化することなどが明らかになった。GPS位置情報を使った活動域の分析に関しては十分なデータが蓄積されたため、結果をまとめて既にJournal of Zoologyへ投稿した。他の結果も投稿準備中である。



野生ナマケモノから得られたデータ

④技術移転の状況

2017-2019年の調査期間内は随時、UFAM 学生に対するナマケモノへのロガーを用いた調査法の指導を行った。UFAM の学生にとってデータロガーを利用した研究の実践は初めてであることが多く、捕獲、ロガー装着、データ回収、データの解析といった各プロセスにおける技術移転が行われている。

⑤想定されていなかった新たな展開

2017年3月の現地調査で建設候補地が選定済みであったキャノピーウォークが、プロジェクト予算での建設が困難となり、将来外部予算での建設を目指すこととなった。そこで、キャノピーウォークの代わりに、フィールドステーションからキャノピーウォーク候補地をつなぐトレイルを整備することで、浸水林からテラフィルメ（水没しない森林）までの植生移行帯を体験出来る自然観察路（ネイチャートレイル）を整備することになった（H28年度実施報告書）。さらに、クイエイラス・ステーションを活用した、ブラジルや日本の大学生・大学院生や地域住民（地域コミュニティの若者）を対象とした生物学や環境教育、エコツーリズムに関する人材育成のためのフィールドコース（実習）が実施されたことによって、プロジェクト終了後も、ネイチャートレイル周辺の動植物調査が定期的に行われ、この地域の生物に関するデータベースやフィールドガイドが継続的に拡充されることが期待できるようになった。

(5) ゲノムデータベースの構築 (阿形・岸田)

①ねらい

アマゾンマナティーやアマゾンカワイルカなどのゲノムを解読し、かれらのアマゾン川への適応進化の過程や生態を明らかにする。

②実施方法

これまでにマナティー2 個体およびカワイルカ 4 個体から血液を採集して DNA 抽出を行った。また、携帯式の小型一分子シーケンサーMinION (オックスフォード・ナノポア社) を導入し、本機器をブラジルに持ち込んでマナティー 1 個体の全ゲノム配列の解読を行った。

③成果目標の達成状況とインパクト

得られたマナティー 1 個体の DNA が、全ゲノムショットガンシーケンスを行うために十分な質量を保っていることを確認し、マナティー 1 個体のゲノム解読に成功した。解読した配列をもとに、PSMC(Pairwise Sequentially Markovian Coalescent)法によってアマゾンマナティーの集団サイズの歴史の変遷を推定した。加えて、既に配列が公表されているフロリダマナティーとの比較解析を行った。フロリダマナティーとアマゾンマナティーのゲノムは、母乳に関連する遺伝子群の配列に大きな差異があることが示唆された。例えば、哺乳類の母乳に多く含まれる乳糖を分解する酵素ラクターゼ遺伝子が、アマゾンマナティーのゲノム上では偽遺伝子になっており、遺伝子としての機能を失っていると考えられる。こうした結果は、どのような進化的理由に起因しているのか。また、こうしたゲノム進化はアマゾンマナティーの保護を考える上でどう考慮しなければならないのか。今後、こうした考察を進めて論文として出版する予定である。

(>Activity:1-1,1-2)

④技術移転の状況

DNA 抽出や MinION による全ゲノム解析など、全ての解析はブラジル側若手研究者および大学院生と共同で行った。また、ゲノム解析や環境 DNA 解析に関するレクチャーを INPA において適宜開催してきた。さらに別予算の先端拠点形成プログラムにて、相手国側ラボの大学院生を毎年 2 名ずつ日本に招聘し(5 年間で計 10 名)、京都大学においてゲノム分析に関する実習を実施してきた(>Activity:1-5)。この研修は今後少なくとも 2021 年度まで継続される予定である。したがって、ゲノム解析に関する技術移転は順調に行われたと考える。

⑤想定されていなかった新たな展開

ブラジル国内の法令の改正に伴い、DNA を日本に持ち帰ってシーケンスを行うことが困難となった。このため代替措置として、携帯式の小型次世代シーケンサーを新たに導入して、現地でシーケンスを行った。しかし、携帯式シーケンサーの出力データ量は、据え置き型の大型シーケンサーと比べると当然ながら非常に少ない。今後はサンプルの輸出も再開される予定とのことなので、他の個体に関しては今後サンプル輸入手続きをとり、日本国内でも解析を行う予定である。

(6) フィールドミュージアムの構築

1) 水生生物飼育・展示法の開発と施設整備(池田、小坂、石原、笹井、亀崎)

神戸市立須磨水族園の飼育・展示ノウハウを用いた魚類の生態展示水槽を 2018-19 年にかけて作成し、INPA 科学の森内に設置・公開した。合計 4 つの水槽から成り、それぞれの水槽が「アマゾン河の水位変動」、「魚の擬態」、「電気魚」、「ブラックウォーターのでき方」という展示テーマを持っており、それぞれの水槽で電磁弁による定期的な水位変動、落ち葉に擬態する魚(リーフフィッシュ)、電気を発する魚、ブラックウォーターのでき方とその深さによる色の違い、が実際に観察できる。プロジェクト終了後も INPA の魚類研究者によって展示の改善や変更が随時行われる予定である。



「科学の森」内水槽展示



電気魚

2) 大型水生哺乳類研究・展示施設整備（亀崎・池田）

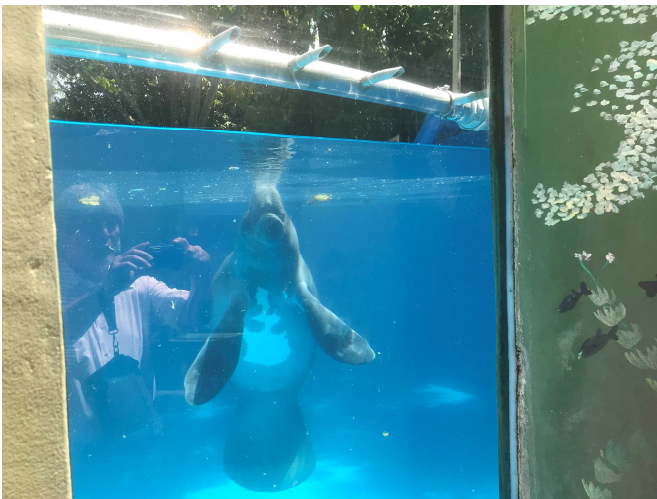
INPA 科学の森内にあるマナティー飼育水槽の水浄化・再循環システムの整備に関しては、追加工事、試験運用のため完成が遅れていたが、2018 年 5 月に検収および稼働が開始された。稼働の結果、地下水利用が従来の半分以下になり、水質も改善されて観察窓から数 m 以内のマナティーが観察可能となった。また、排水量や排水中の不純物も減少した。現在まで、INPA 職員によって滞りなく操作とメンテナンスが行われている。また、水浄化・再循環システムの大きな白いタンク（写真）が周囲の森に溶け込むように、ボランティアの画家によってタンクに動植物の絵が描かれた。



完成直後の水浄化・再循環システムのタンク（奥の白いタンク）



森に溶け込むように動植物の描かれたタンク



観察窓から見えるマナティー

3) 森林生態系研究・展示法の開発と施設整備

熱帯雨林上層部観察タワー（ZF-2 タワー）の補修は 2017 年 5 月に工事が完了し、2017 年 7 月に在マナウス総領事、INPA 所長ら関係者を招き完成記念式典を行った。40 年以上前に作られた老朽化した研究用のタワーを全面的に改修し、階段を緩やかで安全なものに付け替えるなど、安全性を高めて、研究者だけでなく、一般の人でも利用できるようにした。地上から 40m の高さから熱帯雨林の動植物を観察できる。既に、鳥や昆虫、樹木など生物研究だけでなく、大気研究や気象学など、様々な研究に利用されているほか、プロジェクトが 2019 年 6 月に企画したトライアルエコツアーやバードウォッチングなどにも利用されている。



ZF-2 タワー 最上階は高さ 40m



ZF-2 タワーから見える熱帯雨林の林冠

クイエイラスのフィールドステーションも 2018 年 3 月に完工し、2018 年 5 月にはステーションの開所式が執り行われ、山極京大総長、INPA 所長、日伯政府関係者ら総勢約 100 名が参加した。60 名がハンモックで宿泊できる宿泊棟と、キッチンを備え、食堂や各種集会、展示、サンプル処理、分析などに利用できる多目的棟の二つの建物がある。多目的棟は伊藤忠商事株式会社の支援によって建設されたものである。また、気象データ取得のための各種機器の設置も完了し、データの取得が開始された。陸路での輸送を可能とする ZF-2～ステーション間の道路も 2019 年 4 月に整備が完了し、2 週間交代でステーションに配属される INPA の警備要員の交代などに利用されている。

既にステーションを利用した多くの研究が始まっており、ステーション周辺の調査で新種の菌類も見つかっている。また、2018 年 7 月と、2019 年 6 月の 2 回、それぞれ 2 週間にわたって、マナウスの大学生と地元コミュニティーの若者を対象に、この地域の動植物や自然環境を理解するための野外実習が開催された。さらに、2019 年 6 月には研究拠点形成事業による日本、ブラジル、インド、マレーシア、インドネシアの研究者が参加した熱帯生物多様性保全に関する国際ワークショップがここで開催されたほか、2019 年 7 月には、日本から 9 名が参加したトライアル・エコツアー（エコツーリズムに関する利用者からの意見を得るための試験的なツアー）でも利用されている。



クイエイラス・フィールドステーション



多目的棟の内部



宿泊棟の内部

全く予想していなかった展開として、ステーション周辺に整備した自然観察路（ネイチャートレイル）沿いにある滝の岩上に先住民が石器を研いだ遺跡が発見されたことである。本遺跡はミュージアムのコンテンツとして、先住民文化を紹介する上で貴重な資料となりうるものである。

4) ビジターセンターの整備

Bosque da Ciência（科学の森）内にある Casa da Ciência（科学の家）の展示改修は、内装工事が2018年12月から開始され、2019年5月末に完工、6月4日にマナウス総領事、ブラジル科学技術省代表、INPA 所長などが参加して盛大な開所式が行われた。基本的に説明は全てポルトガル語であるが、QRコードによるネット上での英語解説の閲覧も可能となっている。また、Beacon を用いた屋外でのコンテンツ情報提供についても、設置の準備が進んでいる。



科学の家新展示

(7) 研究題目 3. フィールドミュージアム運営のための社会システム構築

1) 協議会システムの構築

本プロジェクトで整備したクイエイラス・フィールドステーションや熱帯雨林上層部観察タワー（ZF2タワー）、科学の家展示施設など、フィールドミュージアムの施設をプロジェクト終了後も自立的・持続的に維持管理し、フィールドミュージアムの活動を継続・発展させるための仕組みとして、フィールドミュージアム運営委員会が設立された。ブラジル側のプロジェクト副コーディネーターであるリタ・メスキータ博士が中心となって 2018 年 12 月にフィールドミュージアム運営委員会設立準備会を開催し、フィールドミュージアム運営委員会を発足させた。その後、委員会の設立文申請書が INPA に承認され、フィールドミュージアム運営委員会が正式に発足した。2019 年 4 月に第一回会議、7 月に第二回会議が行われ、クイエイラス・ステーションの利用方法について、また、科学の家の安全対策などについて議論が行われた。

フィールドミュージアム運営委員会の役割は以下の通りである。

- ・ 施設の維持管理
- ・ 施設を活用した活動の申請審査・承認・許可・モニタリング
- ・ 対外的な連携促進
- ・ 利用料徴収とその活用。

現在の懸案としては、現状では INPA 自身が施設利用料を受け取ることができないため、第三者に料金の徴収やその利用（たとえばメンテナンスコスト）を委託する必要があることである。現在、運営委員会が INPA 幹部と共に制度改革を進めているが、現時点では、まだ第三者委託（FUNDEP「フンデッピ」と呼ばれる基金の利用を想定）の実現には至っていない。なお、第三者に委託する場合、適切な料金体系や用途については同委員会が決定することになる。

2) 人材育成基盤の整備

SSC を主体として、定期的なクイエイラス・フィールドステーションでのフィールドコースの実施が決定され、2018 年 7 月と 2019 年 5-6 月に実施された。2018 年 7 月に INPA 研究者が直接指導する「自然史コース」、および科学的なイラスト技法について学ぶ「サイエンティフィック・イラストレーションコース」の 2 コースが実施され、それぞれ 16 人、8 人の地元コミュニティ住民を含む若者の参加があった。2019 年 5-6 月にも「自然史コース」が開催され、日本からの 2 名を含む 13 名の学生と 8 名の地元コミュニティ住民が参加した。今後も定期的にフィールドコースを開催し、大学生、専門家、地元コミュニティの若者の参加によって、研究や教育、エコツーリズムなどを担う人材育成を行うための基盤としていく。

3) エコツーリズム・教育プログラムの開発

エコツーリズムとして下記の4コースを開発した。

科学の森ガイドツアー；マナウス市内・科学の森への日帰りツアー（子供～一般）
科学の家の新展示と、既存の科学の森の森林トレイルを繋げたツアーの実施
サルやナマケモノの参加型調査研究
マナティの飼育施設の訪問を通じて、保全の必要性や方法を学ぶ

②フィールドステーション滞在ツアー；フィールドステーションに滞在し、自然史について学ぶツアー
2日～1週間程度

夜間観察（光る菌類、星観察、森の音）、滝見学（先住民の森林利用の痕跡）
研究活動の現場を観察（カメラトラップやデータロガーを利用した手法を学ぶ科学的ツアー）

2019年6月には、日本からの観光客を対象としたトライアルツアーを実施、観光客9名、京都大学より2名、INPAより1名、現地コミュニティより2名が参加した。日程は以下の通りである。

6/19;未明;ホテル着、午前中;INPA 科学の森、科学の家新展示の見学、午後;市内観光

6/20;朝;クイエイラスに移動、昼;ステーション到着、周辺散策、夜;発光菌類の観察

6/21;朝;滝までトレッキング、夕;ボートでの河岸観察

6/22;朝食後;出発、コミュニティ訪問、合流点観察、マナウスへ

6/23;早朝;日の出観察（オプションル）

③マナティ野生復帰ツアー；プルス川へのマナティ放流ツアーに同行。地域住民に対する環境教育活動への参加。

地域の子供や漁師が野生復帰事業への参加を通じて学んだことを、観光客にフィードバックする。研究活動の現場を観察（データロガーを利用した手法を学ぶ科学的ツアー）

④ZF2 タワーガイドツアー；森林上層部観察タワーを活用した植物観察（地上から樹冠部まで）、バードウォッチング、昆虫観察、カメラトラップ体験等

日帰りツアーのほか、前日から泊まり込みツアーも可能（ハンモックを吊るスペースあり）

タワーへのツアーに関しては、すでに INPA 鳥類研究者が一部の観光客の要望に応じて実施中である。バードセンサスの参加型研究としても実施予定である。

・環境教育プログラムの開発

①カメラトラップ画像などのプロジェクト成果を利用した環境教育プログラム

ボスケにおける環境教育イベント **Virada Sustentável**（持続可能性への転換）において 2016 年および 2017 年にそれぞれ 500 人に実施した。

②地域コミュニティ住民を対象としたアマゾンマナティの環境教育プログラム

NPO(AMPA)と協力して、2017 年と 2018 年、放流地コミュニティ（イタプルとクユアナにて、住民たちにてマナティ保全の重要性を伝える授業（301 名参加）や映画上映（179 名参加），放流前のマナティお披露目会（370 名参加）を実施した。

③都市部住民に対するマナティ放流事業やマナティ保全に関する啓発プログラム

2018 年 7 月 27 日の INPA64 周年記念のイベントにプロジェクトスタッフが参加し、ボスケで市民 80 人に対し実施した。

④プロジェクト成果である絵本を使用した環境教育プログラム

「セクロピアー一本の木、たくさんの命」（出版済、多言語表記ポルトガル語、日本語、英語）

2018 年 10 月に、科学の森で州立中学校の生徒（12 歳から 14 歳）45 名を対象にこの本を使った環境教育プログラムを実施した。

また、クイエイラスで採取した光るキノコの絵本 *Blilhos na floresta* を出版。動画版を先住民コミュニティで上映し、好評を博した。

・本邦研修

2018 年 4 月、INPA の哺乳類研究者である Andre Luis 氏が日本における博物館展示、環境教育およびエコツーリズムの研修のため日本を訪れた。彼の経験は今後、クイエイラスフィールドコース、科学の森での展示の拡充に生かされるものと考えている。

また 2019 年より、本プロジェクトの小型魚類に関する共同研究者の Elio Borghezan 氏が京都大学博士課程に入学している。

さらに、本プロジェクトと連動して行なっている JSPS の研究拠点形成事業（代表：幸島司郎）によって、7 年前から毎年 2 名の大学院生や若手研究者が日本を訪れて日本の大学院生と、フィールドワークやゲノム解析などの先進的研究技術の研修および共同研究を行なっている。

4) ガイド養成プログラム開発

・エコツーリズムガイド養成プログラム

2018 年 7 月と 2019 年 5-6 月に実施したクイエイラス・フィールドステーションでのフィールド実習は、エコツーリズム及び環境教育のための専門家育成プログラムも兼ねて実施された、クイエイラス川とプルス川流域の先住民コミュニティーの若者計 20 名が参加した。

2017 年に、プロジェクトのブラジル側コーディネーターであるヴェラ博士が、マナウス市内の旅行代理店 ATS のガイド 7 名（日系人）に対して、カワイルカの生態や適切なドルフィンスイムの方法について教授した

科学の家の新展示について説明できるインタープリターを育成する。研究者が学生ボランティアに対して新展示に合わせて実施する。現在も Monitor と呼ばれる学生ボランティアが科学の家の既存展示について来館者に説明している。

5) 研究参加プログラム開発

・クイエイラス・フィールドステーションを中心として、アマゾンで唯一の浸水林生態系における参加型研究プログラムを開発することが決定された。例えば、クイエイラス・フィールドステーションで、毎年定期的開催予定のフィールドコースやエコツーリズムプログラムに、長期調査プロットの毎木調査や開花結実情報などの植生調査、動物相調査、調査トレイル整備などを組み込む。これらの調査内容は、地域生物種データとして蓄積され、長期研究の貴重なデータとして活用される。

既存のスマートフォンアプリ（iNaturalist 等）の活用、技術系大学との連携による専用アプリケーションの開発が行われている。すでに成果の一部としてフィールドガイドが完成しており、今後の参加型研究の結果をフィードバックするとともに、環境教育、ガイド養成に利用する予定である。

・ラジオテレメトリーとバイオロギングを組み合わせた手法を使った住民参加型のマナティーのモニタリング（実施済）

プロジェクトスタッフから訓練を受けた地元漁師による参加型研究・保全プログラム。（参加型研究で得られた情報に基づいて保全プログラムを策定した）

・科学の森内での各種サル分布調査（実施済）

科学の森の訪問者が、目視にて各種サルの分布データを収集・登録する。結果は科学の家内での展示および長期研究データとして活用される。科学の森の環境教育イベントで実施済。

・心拍・体温・GPS ロガーを使ったナマケモノのバイオリギング手法およびデータ解析プログラムの
研修（開発済）

上記サルの場合と同様、科学の森内でのナマケモノの行動把握のための調査を行う。

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

遅れが懸念されていた Casa da Ciência（科学の家）の展示改修やフィールドステーションへの道路整備もプロジェクト期間内に無事完了したことにより、プロジェクトで予定されていた施設整備は全て完了した。また、クイエiras・フィールドステーションや森林上層部観察タワーなどを利用した実習やトライアル・エコツアーも予定通り実施することができた。また、フィールドミュージアム運営委員会も INPA の正式な委員会として発足し、既に2回開催されている。これらの成果により、本プロジェクトによって、フィールドミュージアムの自立的で持続的な活動を支える下地を作ることにはできたと考える。研究に関しても、施設整備の遅れや遺伝子資源の輸出入ルールの変更や停滞などによって、当初の予定より遅れた部分もあるが、目標をほぼ達成できたと考える。

今後も、プロジェクト終了後のフィールドミュージアムの自立的で持続的な活動に向け、ブラジル側、日本側ともに、マナウス市やアマゾナス州など行政機関との連携や、地元企業やマナウスの日本企業からの支援獲得などの努力を続けて行くつもりである。マナティーの野生復帰事業やそれに関連する環境教育に関しては、地元 NPO である AMPA（マナティー友の会）がブラジルの石油会社ペトロbras や伊藤忠商事の支援を受けて継続することが既に決まっており、Bosque da Ciência（科学の森）や Casa da Ciência（科学の家）の学生ボランティアの確保にマナウス市が一部協力を約束するなど、プロジェクト終了後の自立的発展のための下地はできつつあると考える。

III. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

（1）プロジェクト全体

- ・本プロジェクトで整備した、クイエiras・フィールドステーションや熱帯雨林上層部観察タワー（ZF2 タワー）、科学の家展示施設などをプロジェクト修理後も自立的で持続的に維持管理し、フィールドミュージアムの活動を継続・発展させるための社会的仕組みとして、フィールドミュージアム 運営委員会が設立され、既に2回開催された。しかし、現行の法律や規定では、INPA の管理施設となるフィールドミュージアム諸施設の維持管理のために、INPA が利用料や入園料を徴収して直接利用することができないため、利用料や入園料徴収を外部の財団に委託するなどの制度改革を行うことが早急に必要であり、現在準備を進めている。
- ・プロジェクト終了後の自立的発展のためには、INPA やブラジル側研究者がフィールドミュージアムの研究教育活動や施設維持管理に利用できる自前の資金をさらに獲得したり、マナウス市やアマゾナス州などの行政との協力関係を強化する必要がある。マナティーの野生復帰事業やそれに関連する環境教育に関しては、地元 NPO である AMPA（マナティー友の会）がブラジルの石油会社ペトロbras や伊藤忠商事の支援を受けて継続することが既に決まっているが、プロジェクト終了後にクイエiras・ステーションでの実習や研究の継続に利用できる外部資金の獲得努力がさらに必要である。現在も、主にブラジル側研究者が中心となって、外部資金獲得のための資料（ポートフォリオ）が作成され、地元企業へのプレゼンも随時行われている。

（2）生態系の解明と保全法の開発（京大グループ）

- ・水中音モニタリングシステムが現地の電気系統のトラブルにより停止しデータが取得できない期間があった。原因は、モニタリングシステムの設置場所近くへの落雷や町全体の長時間の停電であった。これらの原因に対し、設置施設全体への避雷針の設置や停電時のバックアップ電源の設置を行い、問題は解消された。このように、相手国特有の天候や電力事情について、相手国側研究者から十分に情報提供を受け、事前に十分な打ち合わせを行う必要があることを学んだ。
- ・放流後のマナティーの長期モニタリング要員として、アマゾン川に精通している漁師4名の雇用を行っている。この雇用費に加えて、マナティーを放流地まで移動させるための傭船代やガソリン代など、膨大な経費がかかる。幸いにも2016年4月、伊藤忠商事のCSR事業および三井物産環境基金の研究助成に採択された。これら企業からの支援・助成によりプロジェクト期間内の活動はカバーできたものの、今後も現在の規模で事業を継続するためには外部資金が不可欠である。
- ・森林分野のブラジル側研究者との共同研究活動は、国立アマゾン研究所に加え所管官庁の指示による膨大な許可手続が必要だったため開始までに予想以上の時間を要した。ブラジルとの共同研究には、可能な限り早期から準備や先方との打ち合わせを進めつつ個別の研究計画を策定する必要がある。

- ・ 初年度より日本側での CITES 輸入許可を取得しているにもかかわらず、相手国側からの輸出許可が下りずにサンプルの持ち出しが出来ていない問題がある。これは主に相手国側の手続き制度が頻繁に変更されたための許可書類発行遅延ということであった。加えてブラジル国内の法改正により、遺伝資源の扱いがより難しくなっている。そこで申請を継続するとともに、携帯式の小型シーケンサーを導入してブラジル国内で全ゲノム配列の解読を行った。

（3）フィールドミュージアムの構築

当初予定していたキャノピーウォークやマナティープールからの浄化排水を利用した魚類展示施設は、主に資金面の問題からプロジェクトでの整備を断念した。また、プロジェクト後半に整備したため、Casa da Ciência（科学の家）の展示改修に十分な資金が利用できなかった。本プロジェクトで整備した施設は、いずれも特殊な施設であるため設計や正確な見積もりが困難であったこともあり、当初計画より施設整備に多くの予算が必要となった。

（4）フィールドミュージアム運営のための社会システム構築

現行の法律や規定では、INPA の管理施設となるフィールドミュージアム諸施設の維持管理のために、INPA が利用料や入園料を利用することができないため、利用料や入園料を外部の財団に委託するなどの制度改革を進めつつある。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

（1）成果展開事例

- 本プロジェクトの成果であるクイエイラス・フィールドステーションを活用し、2018 年 7 月と、2019 年 6 月の 2 回、それぞれ 2 週間にわたって、マナウスの大学生と地元コミュニティーの若者を対象に、この地域の動植物や自然環境を理解するための野外実習を INPA の研究者が中心となって実施した。2018 年 7 月には、主に学部生を対象とした「自然史コース」および、一般向けの「科学イラストコース」の 2 コースが実施され、好評を博した。
- 2019 年 7 月には、地元の旅行会社と協力して、クイエイラス・フィールドステーションを活用したトライアル・エコツアー（エコツーリズム に関する利用者からの意見を得るための試験的なツアー）を実施した。日本から 9 名の観光客が参加した。ツアー開催の経験や参加者から得られた意見をもとにツアー内容を改善し、地域住民も参加して実施することで、フィールドミュージアムを利用したエコツーリズムを推進することで、施設の維持管理や、地域住民の現金収入に貢献する予定である。
- H29 年 7～8 月に群馬県立自然史博物館と特別展「アマゾンはいま」を共催し、本プロジェクトの成果を展示した。少なくとも 3 万人の入場者を記録した。その他、丸の内キッズジャンボリー、伊藤忠ギャラリーにおける写真展「アマゾンのいま」といったイベント、キッザニア伊藤忠ブースにおいても本プロジェクトとしての展示・解説を行った。

（2）社会実装に向けた取り組み

- マナティーの野生放流では、現地のスタッフ（元マナティー漁師）にマナティー追跡手法の指導と訓練が行われ、彼らによって放流マナティーの長期追跡モニタリングが行われている。この経験によって、かつてマナティーを捕獲していた漁師が、マナティーの保全や教育・啓発、マナティーに関連したエコツーリズム の担い手となることも期待されている。
- 2016 年に出版した絵本「セクロピア – 一本の木、たくさんの命（Embauba）」ノエミア・カズエ・イシカワ、湯本貴和、William E. Magnusson（ポルトガル語，日本語，英語併記）に続く，生物多様性についての絵本、**Blilhos na floresta**（クイエイラスで採取した光るキノコの絵本）を出版（先住民の共通言語であるニンガトゥも加えた 4 言語での出版）。また、この絵本の動画版を先住民コミュニティで上映し、好評を博した。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

- 2017/6/18 菊池研究員によるアマゾンマナティの研究活動が下記の国内メディアによって取り上げられた（TBS 情熱大陸；菊池夢美）。
- 菊池らによるアマゾンマナティの野生復帰事業および関連活動の様子が下記のブラジルメディアによって取り上げられた（新聞記事，TV 放送，ネット配信）。
- 2017/7 タワー開所式関連のニュースがブラジルの複数のメディアで取り上げられた。
- 2017/12/8 池田研究員による当プロジェクト紹介記事がブラジル日系メディアに取り上げられたサンパウロ新聞；アマゾンの多様性を保全 フィールドミュージアム構想で
- 伊藤忠商事の HP にて，FM プロジェクトおよびマナティ野生復帰事業への支援について紹介された（<http://www.Itochu.co.jp/ja/csr/news/2016/160421.html>）。
- 2018/5/3-9 クイエイラス・ステーションの開所式イベントが開催され、日本から山極京都大学総長も参加、日伯の複数メディアによって紹介された。
- 2018/8/15 雑誌「PEN」のアマゾン特集記事に、本プロジェクトが取り上げられた。
- 2018/7/26 秋篠宮眞子内親王殿下が INPA を訪問、本プロジェクトについても御紹介する機会をいただいた。ブラジル内の複数メディアによって取り上げられた。
- 2019/6/2 科学の家の展示リニューアルに伴うセレモニーがマナウス総領事も参加して行われた。

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VIII. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
27	Yamamoto, Y., Akamatsu, T., Silva, V. M., & Kohshima, S. Local habitat use by botos (Amazon river dolphins, <i>Inia geoffrensis</i>) using passive acoustic methods. <i>Marine Mammal Science</i> , 2016, 32(1), 220–240.	10.1111/mm	国際誌	発表済	
27	Yamamoto, Y., Akamatsu, T., da Silva, V. M., Yoshida, Y., & Kohshima, S. Acoustic characteristics of biosonar sounds of free-ranging botos (<i>Inia geoffrensis</i>) and tucuxis (<i>Sotalia fluviatilis</i>) in the Negro River, Amazon, Brazil. <i>The Journal of the Acoustical Society of America</i> , 2015, 138(2), 687–693.	10.1121/1.4	国際誌	発表済	
30	Diogo A. de Souza, Vera M. F. da Silva, Rodrigo S. Amaral, Mumi Kikuchi, José A. d' Affonseca Neto & Fernando C. W. Rosas, 2018. Re-introduction of captive-raised Amazonian manatees in Brazil, p. 187–191. In: Soorae, P. S. Global Re-introduction Perspectives: 2018. Case studies from around the globe. Gland, Switzerland: IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group and Abu Dhabi, UAE: Environment Agency– Abu Dhabi. 293 pp.		国際誌	発表済	

論文数 3 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 3 件
公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
28	Pires Tiago H. S, Farago Tathyla B, Campos Daniele F, Cardoso Gabriel M and Zuanon Jansen "Traits of a lineage with extraordinary geographical range: ecology, behavior and life-history of the sailfin tetra <i>Crenuchus spilurus</i> ", <i>Environmental Biol. Fishes</i> , 2016, Vol. 99, Issue 12, pp 925–937		国際誌	発表済	
30	Gabriel Stefanelli-Silva, Jansen Zuanon, Tiago Pires (2018), Revisiting Amazonian water types: experimental evidence highlights the importance of forest stream hydrochemistry in shaping adaptation in a fish species, <i>Hydrobiologia</i> , December 2018		国際誌	発表済	
30	Tiago H S Pires, Elío A Borghezán, Sergio L R Cunha, Rafael P Leitão, Kalebe S Pinto, Jansen Zuanon (2019), Sensory drive in colourful waters: morphological variation suggests combined natural and sexual selection in an Amazonian fish, <i>Biological Journal of the Linnean Society</i> , Volume 127, Issue 2, June 2019, Pages 351–360		国際誌	発表済	
30	Oliveira, J.J.S., Vargas-Isla, R., Cabral, T.S., Rodrigues, D. P. & Ishikawa, N. K. (2019), Progress on the phylogeny of the Omphalotaceae: <i>Gymnopus</i> s. str., <i>Marasmiellus</i> s. str., <i>Paragymnopus</i> gen. nov. and <i>Pusillomyces</i> gen. nov. <i>Mycological Research</i>		国際誌	発表済	

論文数 4 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 4 件
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年	DOIコード	出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
28	ノエミア・イシカワ・カズエ/湯本貴和/William E. Magnusson, EMBAUBA/セクロビア 1本の木、たくさんの命、		書籍	発表済	
30	PLANTAS de Igapó e Campinarana do alto Cuieiras Francisco Farroñay1,2 Alberto Vicentini1,2 Antonio Mello1 1 Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Laboratório de Ecologia e 2 Evolução de Plantas da Amazônia Fotos: Francisco Farroñay (FF), Alberto Vicentini (AV). Hábitat: Igapó (IG), Campinarana (CM). Agradecimentos pelo financiamento da excursão a JST/JICA, SATREPS.		書籍	発表済	
31	Ishikawa, N. K., Ikeda, T., Baniwa A., Bruno, A. C., Brilhos na Floresta Lights in the Forest ひかるもり Cenipuca caá upé, Editora INPA, 2019		書籍	発表済	

著作物数 3 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ—おわりのページ	DOIコード	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
26	菊池夢美,「保全の現場見聞録 vol18. アマゾンマナティの野生復帰を目指して」,2014, WWF会報誌9-10月号, 13-16		書籍	発表済	
27	山本友紀子,川にすむイルカたち, 続イルカ・クジラ学, 東海大学出版会, 2016, pp.136-147		書籍	発表済	
28	菊池夢美, バイオロギング2動物たちの知られざる世界を探る, 2016年, pp154-157		書籍	発表済	
30	菊池夢美,「アマゾンマナティの天敵は人間?!」野生動物—追いかけて、見つめて知りたいキミのこと. 京都大学野生動物研究センター編, 京都通信社, pp128-129, 2018年		書籍	発表済	
30	菊池夢美,「アマゾンマナティは水中でぐるぐる回っていた!」バイオロギングで新発見! 動物たちの謎を追え! 中野富美子構成, 佐藤克文監修, pp12-13, 2018年		書籍	発表済	
30	菊池夢美, フロリダマナティ, 旅する動物図鑑3海の生きもの, 筑摩書房, pp12 - 13, 2019年		書籍	発表済	

著作物数 6 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
30	クイエiras・自然史コース(目的:クイエiras地域の自然史についてのガイド育成と参加型研究、対象:大学学部生、コミュニティ住人)、18人	Ecologia e 2 Evolução de Plantas da Ama	
30	クイエiras・科学イラストコース(目的:科学的なイラストの作成、対象:一般、コミュニティ住人)、8人		

研究課題名	“フィールドミュージアム”構想によるアマゾンの生物多様性保全
研究代表者名 (所属機関)	幸島 司郎 (京都大学野生動物研究センター)
研究期間	H24採択(平成25年5月20日ー平成31年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	ブラジル連邦共和国／国立アマゾン研究所(INPA)

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	アマゾンの保全、地域活性化、日本のプレゼンス向上
科学技術の発展	アマゾン生態系解明
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	熱帯地域における動植物・微生物資源の発掘と利用
世界で活躍できる日本人人材の育成	共同研究による日本とブラジルの若手研究者育成
技術及び人的ネットワークの構築	音響解析、バイオロギング・ゲノム解析技術の共同開発
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	アマゾンの生物・生態系に関する論文、データベース、野生動物保全プログラム

上位目標

フィールドミュージアムを核とする都市型ヒトと自然の共生モデルが他地域(1カ所以上)にも普及し世界の生態系・生物多様性保全に貢献する

フィールドミュージアムが研究・保全・教育に活用されアマゾンの生態系・生物多様性が永続的に保全される

フィールドミュージアムが地域経済にも貢献し持続可能な社会システムが構築される

プロジェクト目標

