

# 研究報告書

## 「野生動物装着センサ用の時空間情報補正機構」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2015 年 10 月 ~ 2019 年 3 月

研究者: 小林 博樹

### 1. 研究のねらい

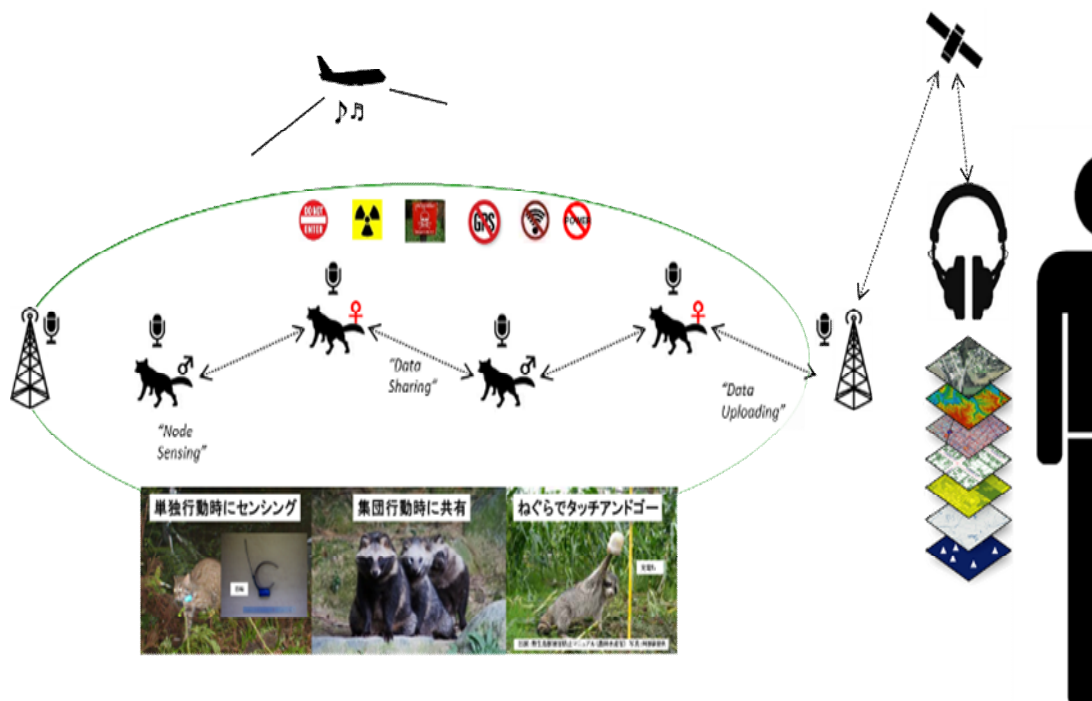


図1: 本研究のイメージ

本研究は「野生動物自身がウェアラブルセンサを持ち歩き、単独行動時に取得した空間情報を、集団行動時に省電力で共有し、シンクノードまで誘き出して非接触通信(充電)して回収する機構」の実現を目的としている。

都市部に近い環境(人間社会に近い環境)での調査においては、ユビキタスセンサネットワークや携帯電話等による調査が実現している。しかしながら、野生動物の生息環境では極めて限られた電源・情報インフラ網しか利用できない。具体的には、利用者が極めて少ない地域つまりこのような野生動物の生息環境(森林の地表付近)においては、インフラサービスの採算性が問題になる(国土総面積の約 7 割は携帯電話圏外、注: 人口カバー率ではない)。実環境要因の問題も発生する(衛星電波不感地帯)。また、ユビキタスセンサネットワーク設置のためには国立公園や所有者や行政等ステークホルダーとの調整に多大な労力が必要である。また屋外設置のセンサであり設置・運用・環境コストも莫大になる。その一方で停滞する経済活動の中、我が国で新たな生態調査用の基盤を構築し、数十年間の運用を行う余地はほとんどない。また、生息地の人工建築物は野生動物への脅威となる。つまりシンクノードやドローンを設置・運用すると周囲の野生動物が居なくなってしまう問題がある。そこで野生動物ウェアラ

ルセンサが注目される。小型軽量なセンサを装着して 2 年程度の調査を行うものであるが、装着可能な重量は体重の 2%程度に限られる。森林の地表に生息する動物は体重の軽い小型陸生哺乳類であり、位置情報を取得するための慣性航法記録装置等の装着・運用は困難である。またセンサで取得した記録を回収するには、野生動物を再捕獲するか、装着型テレメトリ送信機を用いるしかない。しかし再捕獲可能な野生動物の生息範囲やテレメトリの通信範囲は極めて限られる。従って調査範囲拡大も困難である。つまり、野生動物の調査を広範囲・長期間行うには、電源・情報インフラが存在しない生息地の空間情報を、最小限のコスト・最大限の効率で取得するシステムが求められる。

## 2. 研究成果

### (1)概要

本提案では、まず調査対象である野生動物の各個体が保有する縄張りや、個体の習性や思考力を逆利用したウェアラブルセンサによりセンシング可能範囲(研究テーマ A)の課題解決を目指した。そして野生動物装着型センサをシンクノードまで誘き出して非接触通信(充電)で記録情報を回収する機構によりセンシング時間(研究テーマ B)の課題解決を目指した。そして最小限のシンクノードと野生動物装着型センサを用いた時空間情報の補正機構によりセンシング精度(研究テーマ C)の解決を目指した。そして、本さがけ研究成果を活用して実際に社会課題(研究テーマ D)の解決を目指した。研究活動は研究者が所属する空間情報科学研究センターで実施した。動物を用いた評価実験を行うため、麻布大学獣医学部動物応用科学科介在動物学研究室(菊水教授)のもとで犬を実際に飼育し、評価実験を同研究室の獣医らと共同で実施した。また、フィールド評価としては東京大学秩父演習林の標高 1200m 付近にあるサイバーフォレストプロジェクト研究施設を活用して実施した。そして、社会課題の解決支援に向けたシステム有効性評価実験を福島第一原子力発電所周辺の立ち入り禁止区域(帰還困難区域)で実施した。実際にプロトタイプを開発し、それぞれのフィールドで有効性評価を行った。これらの成果から、研究者の所属機関とフランクフルト大学は国際協定を締結した。フランクフルト大学にはチェルノブイリ事故対応を行った情報学の研究者らが所属している。そして 2018 年からは東京大学国際展開事業として国際的な共同研究へ発展した。

### (2)詳細

#### 研究テーマ A「野生動物個体群の縄張り網と重量した動物装着センサ群(♀と♂等)による分散型センシング機構」

本機構では動物同士の接触時(すれ違い)に着目している。動物同士が接近した際に生じる習性行動の特徴量を 3 軸加速度センサーで解析し、通信機器の Wake の引き金として動物装着センサ間の間欠通信を実現させる。つまり動物個体間の遭遇時における特徴量を 3 軸加速度センサーで合成加速度として取得し、閾値により通信機器の Wake 制御を行なう事により省電力なデータ運搬を実現させる。予備研究では実際に獣医の許可を得てプロトタイプを開発し、連携研究室である麻布大学伴侶動物研究室の犬を対象とする実験に成功してい

る(図 4-6)。また 2017 年 2 月には牛を対象とする実験に成功している。以上により「野生動物  
個体群の縄張り網と重畳した動物装着センサ群(♀と♂等)による分散型センシング機構」を  
実現した。Multimodal Technologies and Interaction で成果を発表した。(図 2-3)

#### **研究テーマ B「動物装着型センサをシンクノードまで誘き出し、長時間の非接触通信(給電)を 実現する形状機構」**

タグ装着の動物を誘き出して情報を取得するユビキタス基盤である、物理的な刺激を用い  
て動物を「誘き出す機構」と、誘き出された動物に装着しているタグと「非接触通信(給電)す  
る機構」を開発した。そして、連携研究者が飼育する犬を用いて有効性の評価を行った。誘  
き出す機構に関してペットの犬を対象とし、犬小屋の内部形状をヒントに、非接触通信(給電)  
動作に必要な行動制限や行動停止が起こりやすい条件を明らかにした。具体的にはスチレ  
ンブロックを使用して、高さ方向や幅方向の内部形状変更による犬の姿勢評価を通じて、小  
屋への入場を阻害せず、かつある程度の姿勢制御が可能な条件を見つけることが出来た。  
この内部形状条件を利用して、床と両壁部 3 か所に非接触ステーション、犬体部には両肩、  
腹の計 3 か所に非接触コイルを貼りつけて非接触通信評価を行った。結果、肩部でかなり安  
定した非接触通信状態を作ることになり成功し、評価に使用した 2 匹の犬でコイルが非接触通信  
(給電)可能な位置に存在することが確認出来た。以上が「動物装着型センサをシンクノード  
まで誘き出し、長時間の非接触通信(給電)を実現する形状機構」の研究成果である。  
(図 4-5)

#### **研究テーマ C「環境音を用いて動物装着型センサでシンクノード上と同等の時刻・位置情報 取得を行う補正手法」**

この補正機構はインフラが制限されたような区域においても用いることが可能な航空音を  
利用した位置測位手法である。この手法は実際に手動計算で野生動物の位置を誤差 900m  
程度で位置同定を実現している。これを最終的には自動で位置同定を行えるようにする必  
要があるため、具体的には、位置同定を行う際に環境音に含まれる航空機音を用いている  
がその判定は調査員が手動でラベル付することにより行っている。この位置同定を行うま  
でに必要となる周辺環境音と航空音を自動で分類することが本研究の大枠となる。我々は、  
この課題に対し SVM および音声認識で MFCC を用いることにより環境音に含まれる航空  
機音の自動分類を試みる実験および評価を行った。分類の結果、今回は分類性能が最大  
95.0%と言う結果を得られた。また、単純処理と比較して MFCC 処理の分類精度が向上し  
ていることが判明した。その結果、今回用いた環境音であれば SVM と MFCC を用いた航空音  
分類が可能であることが判明した。(図 6-7)

#### **研究テーマ D「社会課題の解決支援に向けたユーザビリティとシステム高度化」**

国際原子力機関のチェルノブイリ原発事故報告書では、被曝した野生動物群の数世代に  
渡る被爆状況とその影響の調査は、学術的・社会的に非常に重要であると報告されている。  
東京大学の石田(生物と科学 2013)は、福島第一原子力発電所周辺の、特に高濃度の放射  
性物質が検出されている阿武隈山地北部地域において、野生動物の被曝モニタリングを行  
っている。本モニタリングでは、自動録音装置を設置し、500 地点以上を動物音声の取得を

目標しているが、長期に渡って継続的に情報取得を行うためには、研究者の労力だけでは困難と報告している。しかし、このような中山間では電源・情報インフラが存在しないため実現が難しい。そこでこうした空間で増加する動物(害獣)を用いた「AIを用いた動物装着型マイク網による高線量空間可視化」により目的を達成できると考えた。環境音情報可視化のためには「調査員の聞き取り」を「環境音自動判別 AI」に組みこむことが必要である。AIの要求する1/1000秒の精度で、非熟練の調査員が聞き取り結果を記録することは難しいが、熟練の調査員は少数であるため聞き取りできる時間数は限られる。調査員の熟練度を考慮しながら、調査員が能率良く判別を実施でき、かつAIにとって利用しやすい聞き取りデータの集積方法とその実現に適したユーザインターフェースを検討・実装する。環境音情報の解析と可視化については、Human Computation を利用するものと利用しないものの2種類に分かれる。Human Computation を利用しないものについては Farina らが周波数成分を用いて Biodiversity index を計算したことを嚆矢として数多く存在する。しかし、この方法では種構成がわからないという限界がある。Human Computation を利用するものでも、既存の方法では調査者の継続的な調査参加率は低いとされてる。本研究ではこの点を改善した。8層畳み込みニューラルネットワークを基礎として、調査員の聞き取りをヒント(図8右)とした機械学習(human computation)に適切なAIについて実装・評価した。成果を Multimedia Tools and Applications で発表した。(図8-9)



図2: 動物間ネットワーク端末を装着した帰還困難区域内の動物の様子

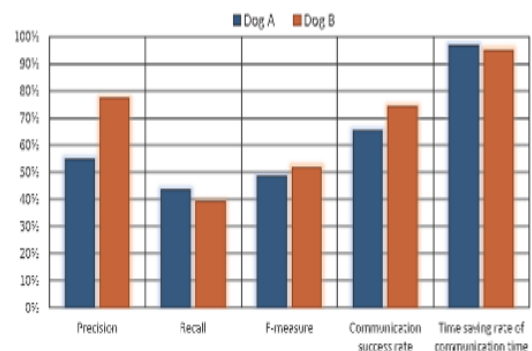


図3: 動物間ネットワーク端末を用いた場合の有効性評価結果 A B

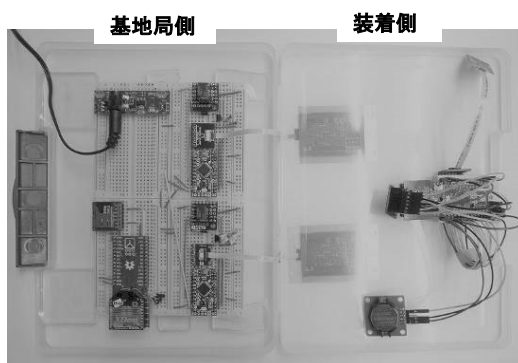


図4: 動物装着型センサまで誘き出し、長時



図5: 動物装着型センサまで誘き出し、長時



間の非接触通信(給電)を実現する形状機構  
の動作確認状況

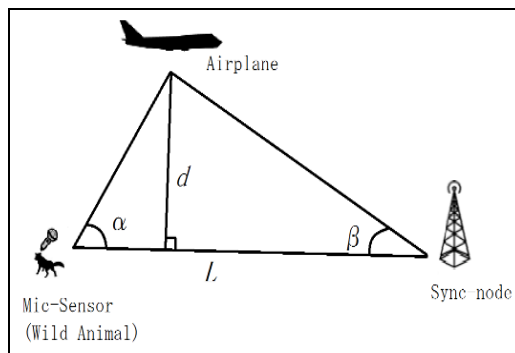


図 6: 環境音を用いて動物装着型センサでシンクノード上と同等の時刻・位置情報取得を行う補正手法

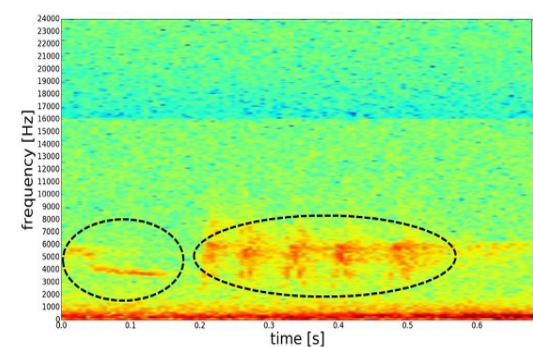


図 7: 環境音に含まれる航空音のスペクトラム

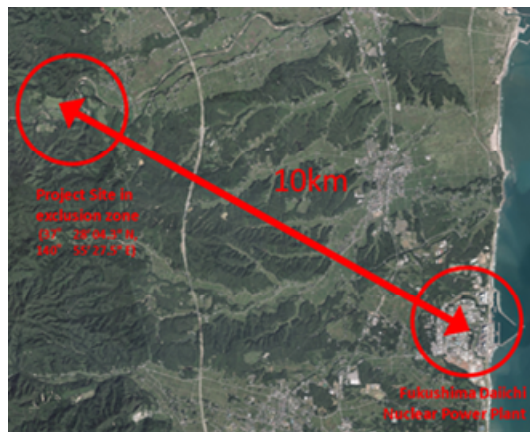


図 8: 評価実験を実施した帰還困難区域(福島第一原子力発電所から 10 キロ地点)

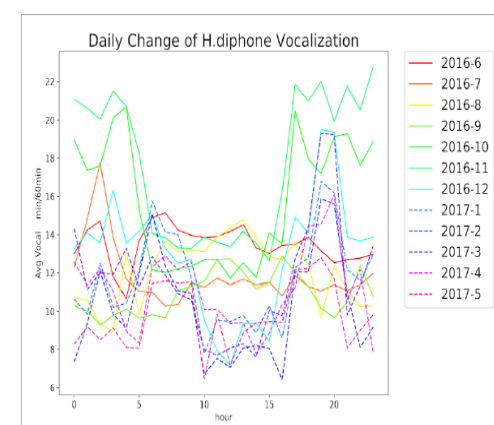


図 9: 帰還困難区域に生息するウグイスの鳴き声の 1 年間分を可視化した例

### 3. 今後の展開

都市環境においては電源供給可能な場所も多く固定型センサも存在する。また、携帯電話等の情報システムの利用による参加型センサ群により効率よい観察が実現できると考えられる。しかし、野生動物の生息地では極めて限られた電源・情報インフラしか利用できない。固定型センサ設置のためには電柱等の設置や行政等ステークホルダーとの調整に多大な労力が必要であり、また屋外設置のセンサであるため、設置・運用コストも莫大になる。このように、森林全体をセンシングするような大規模センシングを固定設置型センサのみで展開することは経済的に合理的ではない。昨今、人間社会による環境負荷の調査が世界各国で始まっているが、この動きを加速化するために、まず生態環境の様相を安価に高効率でセンシングするための技術体系の創出が必須である。本研究では、i)現実的に利用可能な最小限の固定型センサ、ii)生息する野生動物を用いた空間情報センシング、そしてiii)野生動物自身による取得情報のアップロードが有望な手法であると信じその実用化の探求を行う研究である。今

後、本研究成果が実用化されることで有害鳥獣対策や動物由来感染症対策に貢献する。

#### 4. 自己評価

研究テーマAと研究テーマB、研究テーマDについては達成度は100%である。一方、研究テーマCは70%である。研究実施体制や事務体制については問題がないが、天候不順や災害(落石・斜面崩壊)による計画遅延などが発生した。研究成果としては、本さがけで研究開発した情報技術を用いて福島原発事故対応を実現した。本シーズは有害鳥獣や感染症対策の応用が考えられるが、本計画においては事故対策を優先したため実施していない。ただし、今後の展開を考えて海外共同機関とのMOU締結を達成した。

元来から、動物の行動とヒトの行動に共通する点が多いために、ヒト以外の動物で明らかにされた事象がヒトの社会生活の解釈に応用されることが多い。このため、動物向けのシステムを解決すべく、ヒト向けに特化したシステムを再び動物に応用する本研究でのアプローチは、新しい流れだと言える。これはこの10年程度で急速に進展したウェアラブルコンピューティング技術の恩恵である。はヒトに適応したアルゴリズムやシステムの方が高精度となっているが、このようにヒトと他の動物の差を改めて数値的に表せた点で、本研究の果たした役目は大きい。

#### 5. 主な研究成果リスト

##### (1)論文(原著論文)発表

1. Hill Hiroki Kobayashi, Keijiro Nakagawa, Ko Makiyama, Yuta Sasaki, Hiromi Kudo, Baburam Niraula and Kaoru Sezaki. Animal-to-Animal Data Sharing Mechanism for Wildlife Monitoring in Fukushima Exclusion Zone, Multimodal Technologies Interact. 2018, 2(3), 40 doi: 10.3390/mti2030040 (Jul. 2018)
2. Hill Hiroki Kobayashi, Hiromi Kudo, Hervé Glotin, Vincent Roger, Marion Poupard, Daisuke Shimotoku, Akio Fujiwara, Kazuhiko Nakamura, Kaoru Saito, Kaoru Sezaki, A Real-Time Streaming and Identification System for Bio-acoustic Ecological Studies after the Fukushima Accident, Multimedia Tools and Applications for Environmental & Biodiversity Informatics, 2018 pp 53-66 doi: 10.1007/978-3-319-76445-0\_4 (Jun. 2018)
3. Hiroki Kobayashi, Hiromi Kudo, Vicki Moulder, Michael Heidt, and Lorna Boschman. 2017. Fukushima Audio Census. In Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '17). ACM, New York, NY, USA. doi:10.1145/3027063.3052546 (May 2017)
4. Hill Hiroki Kobayashi and Hiromi Kudo. Acoustic Ecology Data Transmitter in Exclusion Zone, 10km from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, LEONARDO / Journal of the International Society for the Arts, Sciences and Technology (MIT Press), 50(2), pp. 188-189, 2017. doi:10.1162/LEON\_a\_01416 (Apr. 2017)

(2)特許出願

研究期間累積件数:0 件

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

【受賞】

1. 公益財団法人日本デザイン振興会 グッドデザイン BEST100,  
日本, Radioactive Live Soundscape (2018 年 10 月)
2. A' DESIGN AWARD & COMPETITION, イタリア, Tele Echo Tube (2018 年 5 月)
3. ドイツ連邦デザイン賞「German Design Award」優勝,  
ドイツ, Radioactive Live Soundscape (2017 年 10 月)
4. 第 11 回アルテ・ラゲーナ国際美術賞,総合優勝  
イタリア, Radioactive Live Soundscape (2017 年 3 月)
5. 経済産業省及び IoT 推進ラボ IoT Lab Selection, 準グランプリ,  
日本,野生動物装着センサ網による時空間情報ネットワーク (2017 年 3 月)

以上