

# 生態相互作用を利用した省電力な野生動物装着型鳴き声センサ・ネットワーク機構 (142103015)

Monitoring Wildlife in Contaminated Environments via the Carrier Pigeon-like Sensing System

## 研究代表者

小林 博樹 国立大学法人東京大学  
Hiroki Kobayashi The University of Tokyo

研究期間 平成 26 年度～平成 28 年度

## 概要

本研究では、複数個体間の生態行動学的な相互作用を「検知」した場合にのみノード間通信をアクティブにし、それ以外の時は常にスリープ状態とするシステムを設計・開発した。本提案により「野生動物自身が鳴き声センサを持ち歩き、単独行動時に取得したデータを、集団行動時に省電力で共有・回収するシステム」を実現した。

## 1. まえがき



図 1: 本研究課題と事前研究成果のイメージ

チェルノブイリ原発事故報告書は、被曝した生態系への影響調査は学術・社会的に非常に重要と述べている。岩手大学の岡田（獣医）は、高濃度の放射性物質が検出されている帰還困難区域（立ち入り禁止区域）において、震災直後から定期的に野生動物の被曝モニタリングを行っている。東京大学の石田は長期数十年に渡って 24 時間 365 日の生態情報取得を行うためには、高齢化する研究者の労力だけでは習得・処理・分析は困難と報告している。このようなアプリケーションには、観測対象個体の生息環境・身体状況に合わせて適切なシステムを設計・構築する必要がある。都市部に近い環境（人間社会に近い環境）での野生動物調査においては、携帯電話等の情報システムの利用によるユビキタスセンサ群により効率よい観察が実現できる。しかしながら、帰還困難区域内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立ち入り禁止区域では、インフラサービスの採算性（国土総面積約 8 割は通信圏外、注：人口カバー率ではない）が問題になる。従来の野生動物調査用の装着型環境センサノードは、生息地特有の電源・情報インフラの制限やセンサ搭載可能重量の限界から、ノード間通信を長期的に行うことが困難であり、調査可能なエリアが極めて限られていた。本研究開発では、調査対象である野生動物群の生態相互作用に着目し、省電力なセンサ・ネットワーク機能を実現し、さらに鳴き声センシングまで踏み込んだ機構（図 1）の実現を目的とする。

具体的にフェーズ 1 では「動物間ネットワークシステムの構築」を行い、フェーズ 2 では「動物間ネットワークシステムのフィールド評価」を行った。これまでの研究成果と本研究提案により、生態調査を支援する「生態相互作用を利用した省電力な野生動物装着型鳴き声センサ・ネットワーク機構」が実現した。これらの結果より、福島第一原発周辺の避難指示区域に生息する被曝した野生動物の鳴き声モニタリングの支援基盤を実際に実現した。

## 2. 研究開発内容及び成果

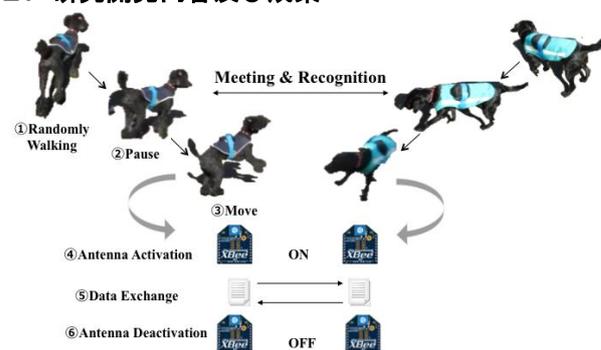


図 2: 動物同士の接触時(すれ違い)における、習性行動を利用したデータ転送の概要

**動物間ネットワークシステムの構築** 移動する人間や動物にセンサを装着し、行動や周辺環境をモニタリングする構想はセンサネットワーク研究の初期から見られる。しかし、野生動物を対象とした場合、自動車や人間のように定期的に充電する機会はない。また取得されたセンサ情報を得るためには、最終的にインターネット等の外部ネットワークと接続可能なシンクノードに動物が接触しなければならないが、その頻度は少ない。そこでセンサノードの長寿命化・省電力化が非常に重要な課題となる。無線センサノードの消費電力に着目した時、加速度センサの稼働とセンサ間通信では、後者の方が 100 倍も電力消費が大きい。一方、森林の地表付近に生息する陸生哺乳類は、異なる個体と遭遇した時には、単独行動を行っている場合とは異なる行動を示すことが動物行動学的に知られている。この、異なる個体と遭遇した場合、動物に装着したセンサノードがお互いの通信半径内に存在する確率が高い。そこで、このような複数の動物間の遭遇を「検知」した場合にのみセンサノードの通信をアクティブにし、それ以外のときは積極的にスリープ状態にすることにより、センサノードを格段に長寿命化・省電力化させる（図 2）。

Arduino UNO R3 を基盤機器として使用している（図 3a-b）。Arduino は世界的に普及していて価格面の購入ハードルが低いマイクロコントローラ（マイコン）であり、多種多様なセンサー（3 軸加速度センサーや温度センサー、



図 3a: フェーズ1で研究開発した動物間ネットワーク端末



図 3b: 犬用ポシェットに収容した動物間ネットワーク端末の様子



図 3c: 端末を装着した実験動物(ペット3个体 ABC)



図 3d: 端末を装着した実験動物(帰還困難区域の動物)

湿度センサー、マイクロフォンなど)に対する拡張性が高く、ZigBee規格であるXBeeが利用し易い観点から採用した。また加速度センサーはArduinoのシリーズであるLily Padの3軸加速度センサー(ADXL335)を使用している。通信機器は既に述べた通りZigBee規格のXBeeをArduinoの専用シールドに搭載して使用している。3軸加速度センサーのログデータ、動物間通信での送受信データは専用シールドに搭載されているMicro SDにてデータを保存している。また、動物間通信におけるデータ送受信と習性行動の正確な評価を行うために、時刻の誤差を減らし計測する事が可能なリアルタイムクロック(DS1307)を使用している。電源として、Sony製の9V角形アルカリ乾電池を使用している。これらの機器をそれぞれ5台ずつ用意しリュックに搭載した(図3c)。そしてこれらの機材を用いた実験を麻布大学の獣医らと共に、有効性を確認した。以上で目標・目的を達成した。

#### 動物間ネットワークシステムのフィールド評価

これまでの研究成果を用いて、福島第一原子力発電所から北西方向10キロ地点(帰還困難区域)の双葉郡浪江町小丸地区小丸共同牧場でまず評価に必要な固定センサシステム構築とそれを用いたフィールド評価を目標に掲げた。まず牧場主と共に他の避難民や行政機関への説明などから開始した。原子力災害対策特別措置法の管理区域内であり電源インフラが停止・崩壊していた。浪江町人口0人のため利用者不在から商用電源の再開予定は無かった。そこで地域電力会社(東電では無い)を訪ね研究の目的を説明して協力を相談した。超法規的措置として電源インフラ整備が実現した。そして研究代表者と正式な電気契約を結んだ。工事を請負う業者が風評被害にあう問題があった。手配が難航したが最終的には広島県の業者からの申し出があり実現した。H27年度後半には連携研究者(獣医師)によって同牧場の多くの家畜が病気にかかっていることが確認された。独り身の牧場主にとって牧場の家畜は家族以上の存在であり、精神的な苦勞から一時的に連絡が取りにくくなった。連携研究者らと緊密に連絡を取り合いつつ、牧場主の心への配慮から待つこととした。H27年度末に牧場主との打ち合わせ再開が実現し、工事に向けた最終許可を書面で確認した。実際にシンクノードを構築した。そして、H28年度にこの周囲に生息する被曝した牛を対象として動物間ネットワークシステムの評価実験を行い、その有効

性を実証した。以上で目標・目的を達成した。

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

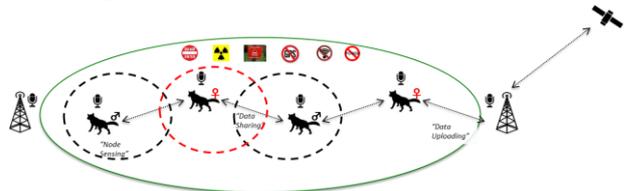


図4:野生動物装着型センサ・ネットワーク網のイメージ

#### 電源・情報インフラが利用できない地理空間において情報センシングを行う技術体系の創出

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、極めて限られた電源・情報インフラ網しか利用できない。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(図4)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信じ、その実用化の探求を行う研究である。これまでの十分な成果から実現性に問題は無い。

#### 4. むすび

原発事故からの復興事業という社会的課題に適用可能な技術的対策であると考えている。社会的課題を解決するための全体フレームワークの中における技術的対策の位置付けを明確にし、他の対策と整合性を図った上で全体最適を目指す様な進め方を行うことで、本テーマで取り上げる技術的対策の社会的意義が確立すると考える。

#### 【誌上发表リスト】

- [1]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)
- [2]Hill Hiroki Kobayashi, "Live Sound System with Social Media for Remotely Conducting Wildlife Monitoring", In Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI 2016), Toronto, 2016.(doi:10.1007/978-3-319-39862-4\_41)

#### 【受賞リスト】

- [1]小林博樹、経済産業省及びIoT推進ラボ 第3回先進的IoTプロジェクト選考会議「IoT Lab Selection」準グランプリ、「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13日
- [2]小林博樹、第11回アルテ・ラグーナ国際美術賞(バーチャル・デジタルアート部門)、「Radioactive Live Soundscape」、2017年3月25日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://radioactivelivesoundscape.net/>