

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12058

研究課題名(和文)生態相互作用と融合した省電力型な動物装着型センサ・ネットワーク機構

研究課題名(英文)Carrier Pigeon-like Sensing system: Animal-Computer Interface Design for Opportunistic Data Exchange Interaction for a Wildlife Monitoring Application

研究代表者

瀬崎 薫 (Sezaki, Kaoru)

東京大学・空間情報科学研究センター・教授

研究者番号：10216541

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：そこで本研究は「生態相互作用と融合した省電力型な動物装着型センサ・ネットワーク機構」の実現を目的とする。従来の動物装着型センサノードは、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、ノード間通信等を長期的に行うことが困難だった。そこで本研究では、動物の生態相互作用に着目した。具体的には、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・開発する。本提案により「野生動物自身がセンサを持ち歩き、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。

研究成果の概要(英文)：It is considered that it can be one of the methods to use the animal-to-animal communication for getting over the difficulties of field survey. Carrier Pigeon-like Sensing System (CPSS) is one of the systems to realize effective inter-animal communication using wearable devices, but still the data-sharing section of this system is not evaluated comprehensively. We have checked the accuracy of the data-sharing system of animal-to-animal communication with peripheral vision using video data, and our research could confirm that it was important to consider the individual difference of animals and upgrade the accuracy of the extraction of their behaviors for animal-to-animal communication.

研究分野：センサネットワーク

キーワード：スマートセンサ情報システム

## 1. 研究開始当初の背景

国際原子力機関(IAEA)のチェルノブイリ原発事故報告書では、被爆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。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、調査が非常に困難である。そのため、近年は野生動物装着型センサを用いた空間情報センシングの研究が盛んになされている。

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存在する。しかし野生動物を対象とした場合、装着可能なセンサ総重量は体重 2%以下に限られ、そして自動車や人間のように定期的に回収・充電する機会は無い。さらに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、動物自身が接触しなければならないが、その頻度は少ない。これによりセンサ情報の回収方法と省電力化が非常に重要な課題とされる。

## 2. 研究の目的

本研究は「生態相互作用と融合した省電力型な動物装着型センサ・ネットワーク機構」の実現を目的とする。従来の動物装着型センサノードは、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、ノード間通信等を長期的に行うことが困難だった。そこで本研究では、動物の生態相互作用に着目した。具体的には、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・開発する。本提案により「野生動物自身がセンサを持ち歩き、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」を実現する。これにより、高線量地域の計測空白域の生物多様性情報を長期・自律的に取得する基盤が実現する。

## 3. 研究の方法

### (H27) 「動物間ネットワークシステムの構築」

本年度では、野生動物の生態相互作用を利用してセンサノード間通信の省電力化を実現する。本年度では、野生動物装着型センサノードの長寿命化のために、センサノードがお互いの通信半径内に存在する「検出」の機構と「メッセージ配信」の機構、またこれらを用いた広域生態情報観測システムを設計・プロトタイプ開発する。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。

### (H28) 「動物間ネットワークシステムのフィ

## ールド評価」

本年度では、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(帰還困難区域)で、実際に生息する動物(牛)を対象とした動物間ネットワークシステムの評価を行った。そのため装着型センサノードと評価用シンクノードを開発した。当初はアライグマを対象としていたが牛に変更した。それは、帰還困難区域に住所を持つ避難住民の方々と話し合い、牛のほうがアライグマよりも社会的に優先度が高いと考えたからである。そして、実際に許可を得ることができた。

## 4. 研究成果

### (H27) 「動物間ネットワークシステムの構築」



図1 使用した各機器

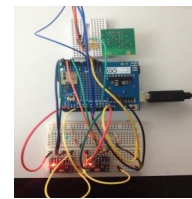


図2 改良型

森林地域で動物に機器を装着する場合の使用条件は、ヒトが利用する場合と条件が異なり特有の条件が存在する。特に森林地域での長期運用のために、機器の搭載容量に制限があるので、使用機器として低消費電力性を考慮して検討することが重要である。無線センサノードにおける加速度センサーの消費電力と、センサー間通信に必要な電力では後者の方が 10~100 倍も電力消費が大きい(発表文献 4)。そこで、動物間通信の消費電力を減らすために、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・開発するため 3 軸加速度センサーを用いた動物間通信を実現することとした。

Arduino UNO R3 を基盤機器として使用している(図 1) (図 2)。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、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なうために、時刻の誤差を減らし計測する事が可能なり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3)。これらのデバイス総重量は250gであり、各実験犬の体重の5%以下(引用文献1)なので規定内に収まっており、動物の習性行動に装着機器による影響を与えない。また、アライグマの体重は4~10キログラム程度と言われているので、今後のデバイスの小型化を含めれば十分に装着可能と言える。本研究の実験では、実際の習性行動との比較のために Canon Power Shot SX200 IS を使用してビデオ撮影を行うこととした。そしてこれらのデータを統合的に評価する多次元インタフェースソフトウェアを開発した(図4)。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を行い、有効性を確認した。これにより「動物間ネットワークシステムの構築」の目標を達成した。

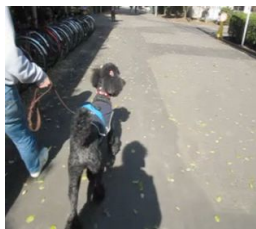


図3 リュックを装着したイヌ



図4 多次元評価インタフェース

### (H28) 「動物間ネットワークシステムのフィールド評価」

最終目標である「動物間ネットワークシステムのフィールド評価」の評価に必要不可欠であるため、これまでの研究成果を用いて、平成27年度内に数値目標「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

労から一時的に連絡が取りにくくなった(H27年度後半は打ち合わせキャンセルなどが相次いだ)。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。新年明けた1月8日に牧場主と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。(図5)そして、H28年度にこの周囲に生息する被爆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。(図8)

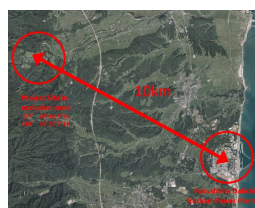


図5 本研究の実証フィールドの場所(福島県浪江町)



図6 自律運用・調査可能なシステムを収容するハウス



図7 電気工事の様子



図8 家畜を持った評価

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。

今後の技術的課題としては位置情報の精度が挙げられる。野生動物装着型センサノードから得られる記録に着目した場合、正確な時刻・位置情報は期待できない。装着可能な重量制限から、内部時計や慣性航法記録装置は無い。さらには森林環境の地表付近では衛星から測位信号・電波時計信号も入りにくい。障害物(植物や動物自身の体)が装着型アンテナを遮るからである。そこで時刻・位置情報の欠損時の補正手法やシステム全体の長寿命化が重要となる。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Yuya Kamma, Kaoru Sezaki, Hiroki Kobayashi, "Spatio-Temporal Information Correction Mechanism for Wild Animal Wearable Sensors", 1st Asian Students Symposium on Emerging Technologies (ASSET 2016), Singapore, June 2016

Ko Makiyama, Keijiro Nakagawa, Maki Katayama, Miho Nagasawa, Kaoru Sezaki, and Hiroki Kobayashi, "Synchronization of peripheral vision and wearable sensors for animal-to-animal interaction." The 16th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI 2015), Los Angeles, August 2-7, 2015.

〔学会発表〕(計 4 件)

合間優陽, 瀬崎薫, 小林博樹, "立ち入り制限された地域における航空音自動認識を用いた位置推定手法の提案", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 知的環境とセンサネットワーク, B-18-32, 2016年9月22日

牧山紘, 永澤美保, 瀬崎薫, 小林博樹, "個体差を考慮した省電力動物間通信用デバイスの構築", 電子情報通信学会総合大会, 知的環境とセンサネットワーク, B-18-23, 2016年3月16日

牧山紘, 瀬崎薫, 小林博樹, "動物の習性を用いた省電力環境センシングの研究", CSIS DAYS 2015, 千葉, 2015年11月

牧山紘, 瀬崎薫, 小林博樹, "効率的な動物間通信のための行動検知", マルチメディア, 分散協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム, 8E-2, 2015年7月

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

瀬崎薫 (KAORU SEZAKI)

東京大学・空間情報科学研究センター・教授  
研究者番号: 10216541

### (2) 研究分担者

小林博樹 (HIROKI KOBAYASHI)

東京大学・空間情報科学研究センター・講師  
研究者番号: 606110649

工藤宏美 (HIROMI KUDO)

東京大学・空間情報科学研究センター・特任  
研究員

研究者番号: 80649757