

動物装着型マイク網による高線量空間可視化

研究代表者	小林 博 樹	東京大学空間情報科学研究センター	准教授
共同研究者	下 徳 大 祐	東京大学空間情報科学研究センター	特任研究員
共同研究者	川 瀬 純 也	東京大学空間情報科学研究センター	特任研究員

1. 研究目的と背景

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、被曝した野生動物群の数世代に亘る被曝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。東京大学を退官した石田は、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(あぶくま)山地北部地域において、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。ここでは、500地点以上を目標として自動録音装置を設置して当該野生動物の鳴き声を取得・分析しているが、今後長期数10年に亘って24時間365日の生態情報取得を行うためには、研究者や関係者の労力だけでは極めて困難と報告している(石田、2012. 生物と科学.)。

都市部に近い環境(人間社会に近い環境)での動物健康情報の管理においては、固定型センサや携帯電話網を利用できる。しかしながら自然環境では極めて限られた電源・情報・道路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、つまり森林・山岳地帯においては、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、固定型センサ設置のためには土地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。センサ設置が可能となっても、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。その一方で停滞気味の経済状況の中、我が国で新たな環境モニタリングシステムを構築し、数十～百年の運用を行う余地はほとんどない。つまり、高線量空間である、帰還困難地域のモニタリングを広範囲・長期間行うには、電源・情報・道路インフラが存在しない環境の空間情報を、最小限のコスト・最大限の効率で取得するシステムとその長期の運用維持が求められる。本研究ではこれらの実現を目的としている。

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見られる。しかし、野生動物対象の場合は運用範囲・バッテリー制限・位置情報が課題となる。また、得られた大量の記録から動物の健康情報を分析するには専門家の判断が必要となる。しかし、専門家の数や作業時間は極めて限られる。福島大の高橋(ロボット工学)は、原発事故による放射能汚染や感染症の状況把握のため、野生のニホンザルに首輪形の測定器を付けて放射線量を測る実験を始めた。測定器は重さ350グラムで線量計とGPSを搭載した。サル首に付けて山林に放し、一定エリアの放射線量の分布を把握できると考えた。2011年秋より米国政府関係機関によって本格的な研究“Animal-borne Wireless Network”が開始された。2013年初めにインターネットの父(ヴィントン・グレイ・サーフ)によって本格的なInternet for Animals構想として研究が発表された。しかし、いずれの研究もデータ回収の観点から、2週間後に再捕獲の必要がある。また野生動物装着型GPSによる衛星信号測位成功率は20%と限られ、装着可能なデバイス(バッテリー)の重さも限られる。本研究はこれらの「動物装着センサの長寿命化・高信頼問題」を装着対象である野生動物自身の習性・縄張り行動を賢く利用して解決する。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。すなわち、異なる行動を示した場合、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・省電力化させる。本研究提案で行う、野生動物の複数個体の生態相互作用に踏み込んで、センサノードの長寿命化・省電力化を実現するアイデアは世界初の試みであり、極めて斬新な挑戦である。この様な方法を用いれば、従来アクセスが困難であったより深い森林の空間情報を取得することが可能になる。

以上を実証するために、本研究においてはアクセスが限られる、東日本大震災に伴う帰還困難地域(福島県浪江町)に研究拠点「被曝の森拠点」を設置し、そこに生息する被曝した動物を用いて生態相互作用と融合した省電力型動物装着型マイク・ネットワーク機構のプロタイプの有効性を実証した。そして生態相互

作用と融合した省電力型な動物装着型ネットワーク機構（2014年度電気通信普及財団研究助成採択課題）を用いて試験的に環境音データの取得を開始した。2017年6月には合計9000時間分の環境音の取得を実現した。そしてHuman Computationを利用したAI高速処理による環境評価手法を共同研究者らと確立した。

2. 音声収集と展示・AI作成

2-1 「被爆の森」拠点の設置

本研究で取り扱う高線量空間は、2011年の東日本大震災に伴う帰還困難地域に指定された、福島県双葉郡浪江町を研究地域として設定した。当該研究地域の空間線量は、2017年でおおよそ30 $\mu\text{Sv/h}$ であり、この値は周囲と比較しても非常に汚染されているといえる。

我々は、地権者や行政と交渉の結果、浪江町内の私有地（37° 28' N, 140° 55' E；福島第一原子力発電所の北西11 km）に、コンテナハウスを設置し、電源、通信設備を完備したシンクノード情報基盤を設置した（図1）。現地の高線量に伴い、頻繁な現地調査ができないことや、下記に述べる動物装着型センサからのデータ取得の必要から、このようなデータ収集基盤の設置・メンテナンスは必須である。

被爆の森拠点は、高線量の野外環境にあり（図1）、アクセスが著しく困難であるので、データの管理において学内のサーバールームとは異なり、データを安全に保護することが難しい。機器類が温度や湿度、砂ほこりでダメージを受けることや、RAIDからディスクがdetachされても、直ちには交換できないことなどが挙げられる。そのため、データをライブタイムで学内のサーバに転送する必要がある。本拠点には、2016年の設置当時よりNTT docomo系のLTE接続と衛星通信が導入されていたものの、2019年にSINET広域通信基盤により高速通信接続が提供された。これにより安定的にデータ通信が確保できた（図2）。

これらのライブタイム通信技術を利用することにより、データの完全性に寄与できたほか、ユーザにライブタイムで、帰還困難地域内の音声を提供できるようになった（<http://radioactivelivesoundscape.net/>, Kobayashi and Kudo, 2017）。



図1：被爆の森拠点の様子

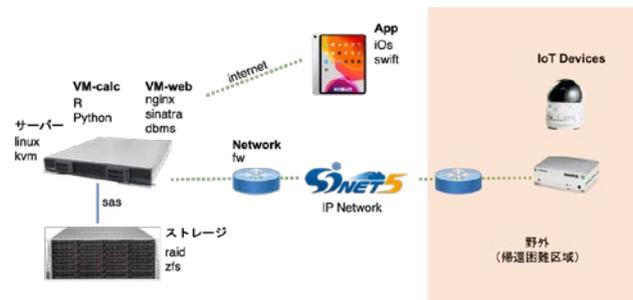


図2：被爆の森拠点から学内までの構成

2-2 収集音声の展示

収集された音声のなかにどのような情報が含まれているかということは、非常に重要な意味を持つ一方で、自然環境音声を聞き分けることができる専門家の数は限られる。このことから、一般の興味のある人々（例えば鳥類愛好家）に音声を聞いてもらいラベリングしてもらうことは、こういった問題に対する解決策となる。ここで、(1) 博物館のワークショップ的な形で、事前に準備した音声を提示してラベリングしてもらう方法と、(2) 自由な形式で音声とライブタイムリアクションをとってもらいユーザと自然音とのインタラクションから情報を入手する方法とが考えられる。

(1) ワークショップ形式によるラベリング

我々は2018年に、東京大学へ留学してきた学部レベルの外国人留学生、21名を対象として自然音聞き取りのワークショップを開催した。当該ワークショップでは、浪江町で収録された自然音から、毎月1時間ずつ（朝夕30分ずつ）、1年分をユーザに聞き取ってもらい、ウグイスの鳴き声がどれだけ含まれているか聞き取ってもらった。ウグイスを含む鳴禽類は、放射線影響のマーカとして使われているためである。

ユーザの疲労を考慮し、各30分の音声をさらに2分割し15分とした。さらに参加者の聞き間違いをなく

すために最低3回異なった参加者に音声を割り当てた。その結果、2225 イベントをサンプリングした(図3)。これを教師データとして、CNN を作成した(Stowell et al., 2016)。結果としてイベントの検出器が完成した(図4)。これにより、ウグイスが1時間あたりどれだけ鳴いているかを求め、この鳴き方の年変動が他の場所と異なる可能性を示した(図5)。

ここで、ユーザのパフォーマンスを確認するため、完成したCNN 検出器とユーザの回答した「イベント」と答えた領域の一致度について Sørensen- Dice coefficient を用いて評価した。すなわちユーザと検出器の一致が大きいほど、そのユーザは正しくイベントを認識しており、パフォーマンスが高いと見なした。反対に一致度が低ければランダムに回答しているものと見なし、パフォーマンスが低いとした。その結果、全21人の参加者中、すべての与えられた音声について高いパフォーマンスを示したのは5人だけであり、残り16人は音声ファイルによって高いパフォーマンスを示したり、中程度であったり、一致度が低かったりした。すべての音声ファイルについて、パフォーマンスが低い参加者はいなかった(図6)。以上からパレートの80:20の法則が示すとおり、こういった聞き取りワークショップにおいては、24%の参加者によって多くの成果が得られることが示された(Kobayashi and Shimotoku, 2019)。



図3：サンプリング時の様子

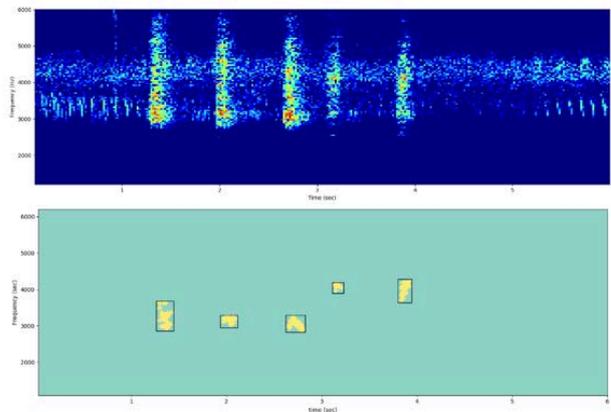


図4：検出器の実行結果

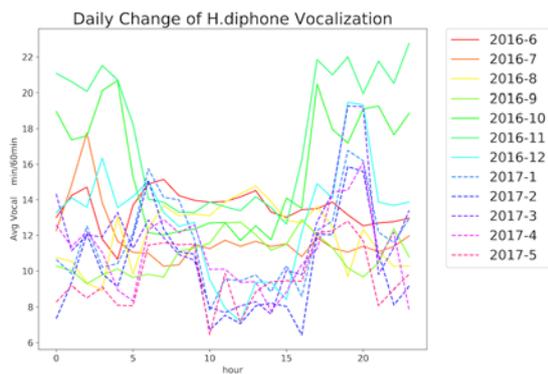


図5：ウグイスの鳴き声の月変動・日変動

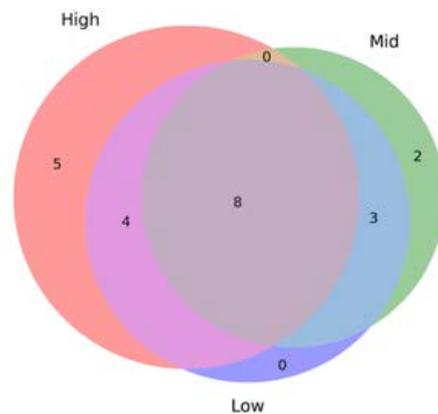


図6：CNN との一致度

3. 移動センサ（動物装着型センサ）網の構築

動物装着型センサの実装に当たっては以下の課題が存在する。省電性を保ちながら、お互いの通信を成立させねばならないという要請から、1) 通信プロトコルの最適化が求められる。さらに通信ユニットの消費電力が大きいことを踏まえる(Shimizu et al., 2013)と 2) 通信を wake するタイミングの最適化を行う必要がある。さらに 3) 過酷な外的環境に耐えるデバイスの開発が必須となる。また最後に 4) 通信で得られたデータの回収機構について検討する必要があるが生じる。

本研究では、動物同士が接近した際に生じる習性行動(Begon et al., 1990)の特徴量を 3 軸加速度センサで解析し、通信機器の Wake の引き金として使用することにより動物装着センサ間の間欠通信を実現させる。この Wake 制御を利用した間欠通信をシステムに取り込むことにより省電力なデータ運搬が可能となる。以上を目的として研究開発を行った (Kobayashi et al., 2018; Nakagawa et al. 2018)。

3- 1. 通信プロトコルの最適化

これまでの研究を精査した結果、動物同士の相互作用の検出機構（習性行動の特徴量検出）の改善と共に装着センサ間の通信プロトコルも再検討する必要があることが分かってきた。このため、まずは、加速度データと SVM を利用した犬の行動認識評価を進めるとともに、動物を用いることなく評価できる通信プロトコルの再検討を移動型ロボットで行う構想の検討を行った。

次に、構想及び準備の段階であった通信プロトコルの再検討に関して、移動型ロボットを用いたシミュレーション実験を実際に導入し評価を実施した。通信プロトコルの再検討は短時間に同じ評価実験を繰り返し行うことが必要であるが、動物を用いた評価実験では個体確保や評価時間の長期化といった多くの課題が存在する。しかし、移動型ロボットを用いた評価では、繰り返し評価を効率よく短期間で実施することが可能となる。これは通信プロトコルの評価が動物の習性といった固有の特性とは切り離して評価をできる項目であるためであり、移動型ロボットの利用に適した評価項目といえる。

実際の評価はバーチャルウォールを用いて構築した屋内エリアの評価フィールド（図 7）で行っている。移動型ロボットは iRobot Create2 を使用しており、通信機器（ZigBee）とセンサ機器（加速度計、電流電圧計等）を搭載し、Arduino UNO を用いてコントロールを行った（図 8）。



図 7. バーチャルウォールを用いた評価フィールド



図 8. iRobot Create2 と付属機器

移動型ロボット同士の衝突を動物同士の遭遇（相互作用）に見立て、相互通信を行いながら問題点を洗い出し改善を行った。評価の結果、通信プロトコルの改善により通信成功率を 70% から 90% に向上させることが出来た。今後も動物での評価を代替できる項目の場合は同様の評価が可能となり、評価時間の短縮につながると考えている。

3- 2. 他個体検出機構の最適化

動物同士の相互作用検出機構の改善に関しては、従来の加速度センサでの検知に加えて、焦電型赤外線センサ（人感センサ）の併用を検討しており、デバイスの基礎評価を行った。焦電型赤外線センサは PaPIRs (VZ) を使用し、Arduino UNO で検知状態の確認とデータ保存を行った（図 9）。また、周辺環境の温度分布確認にはサーモカメラ FLIR ONE PRO と iPad mini を組み合わせて使用した（図 10）。人感センサは検知範囲内の温度変化を検知する仕組みとなっており、通常は固定された場所で使用される。しかし、動物装着センサと

して使用する際には移動する個体に取り付け使用する必要がある。この際、検知を期待する他個体以外の対象物であっても、一定の温度差が存在する物体に対してセンサ自身が動くことによって生じる誤検知が多発してしまうという課題が発生した。この課題に関してサーモカメラを利用した調査を行った結果、日光の当たり具合や人工建造物の有無が大きな温度差が生まれる原因として分かってきており、牧場や草原など人口建造物が少ない環境かつ夜間のみを使用するといった運用制限を設ければ、検知改善に効果をもたらす可能性があることが分かってきた（図 11）。さらに、デバイスの検知角を狭めることで環境温度差への感度を鈍らせることも確認された。デバイスの基礎評価は一旦ここで終了し、今後は実際に評価対象となる動物自身に取り付けた状態での効果を確認する。

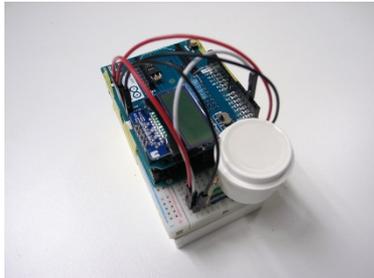


図 9. 人感センサ評価デバイス



図 10. サーモカメラとタブレット

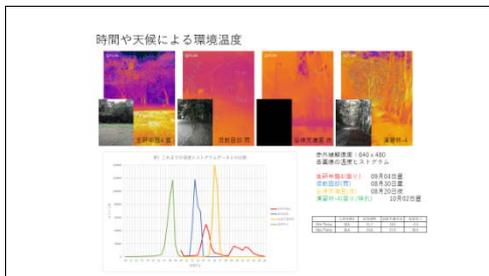


図 11. 場所や時間、天候による温度差評価結果

3-3. デバイスの開発

最後に、最終目標である高線量地帯（福島浪江の肉牛牧場）での実評価を踏まえ、対象個体として牛に特化した評価構想を作成し、初期評価を開始した。内容としては各評価項目に適した評価フィールドの選定、装着型センサデバイスや装着治具の作成、牛への装着評価といったものである。装着型センサデバイスは小型で多機能マイコンである Spresense にセンサを追加し、タカチ製のプラスチックケースに収めて使用した（図 12）。動物装着センサの形状や装着感の検証は、連携研究室である麻布大学伴侶動物研究室からの紹介により産業動物内科学研究室を通して麻布大の牛舎で行った（図 13）。ここでは、ベルトの素材やデバイスケースの位置等を実際に牛に装着して評価することが可能となり、現段階での最適装着形態（耐久性の高い布製ベルトを使用し、背骨の左右部にケースは配置する）を決定した。また、狭い檻内ではあるが、一定時間の行動データと加速度センサデータを実牛から取得できた。



図 12. Spresense とケース



図 13. デバイスを装着した牛

今後は牛の相互作用検知に適したフィールドでの評価を開始する。評価フィールドに関しては東大の実験牧場や岩手県久慈市の肉牛牧場などである。

3- 4. 記録回収機構の検討

動物に装着したデバイスからデータを吸い出す必要がある。ここで我々は装着動物特有の習性に注目し、適切な方法で誘引することを目指した。例えば猫が狭い場所に入りたがるといったようなことである。以下、この NFC タグ装着の野生動物を誘き出してピッと記録回収する機構のことを「どうぶつタッチ&ゴー」と称する。

本機構は生態行動学的な刺激により動物をシンクノードまで誘き寄せ、通信機器が通信可能範囲に入った時のみ通信機器を Wake させるものである。このため通信機器は必要な時以外スリープ状態にあり、低消費電力で稼働する動物装着センサの実現が可能となる。初年度は、連携研究室である麻布大学伴侶動物研究室の協力を得てペットの犬を用いた事前評価を行った。内容はペットの犬が使用している犬小屋を形状刺激構造物として利用し、内部形状を変化させた際の入場回数や姿勢評価である。この評価により、犬小屋への入場を阻害せず、姿勢制御が可能となる内部形状条件を確認した。また、犬小屋の内部形状を改善した状態で非接触充電用コイルを利用することにより NFC 通信開始時に必要となる通信機器同士の位置合わせ（タッチ動作）評価を行った。これにより、犬小屋滞在時間内に人の介在無しではコイル間でほとんどタッチできなかった状態から、半分程度の時間はタッチさせ続けることが出来ることを確認した。

翌年度は、NFC タグを実装した動物装着型デバイスと基地局側デバイスの両プロトタイプデバイスを作成し、昨年度同様にペットの犬と犬小屋を用いて通信評価を行った。装着側と基地局側のデバイス仕様を図 14 に、作成したプロトデバイスの外観を図 15 に示す。装着側は NFC タグとして Felica Plug を使用、通信デバイスとしては ZigBee、また情報収集センサとしては GPS を使用し、コントローラーの Arduino を介して取得した情報を SD カードに保存している。基地局側にも Felica デバイスと ZigBee を使用し、Arduino を介して SD カードに装着側から転送されたデータ保存を行う。これらプロトタイプデバイスを装着したペットの犬と犬小屋を用いることにより（図. 16）、NFC のタッチ動作を起点とした通信動作を実際に確認した。

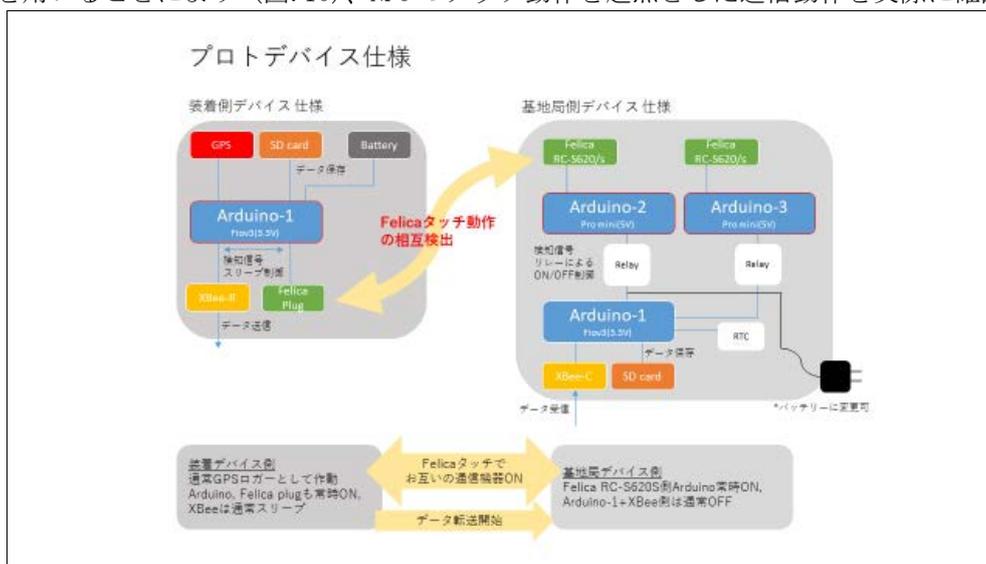


図 14. プロトデバイス仕様



図 15. プロトデバイス外観図

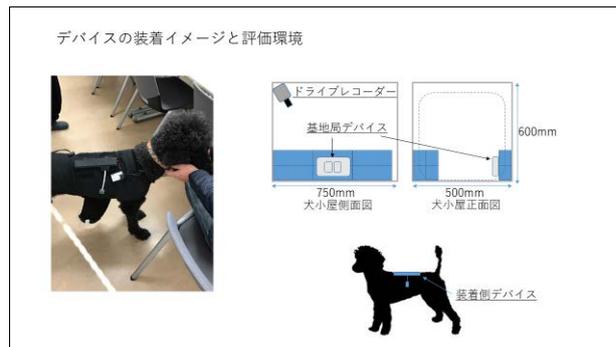


図 16. デバイス装着のイメージと評価環境

以下、高線量地帯（福島浪江の肉牛牧場）での実評価を踏まえ、対象個体として牛に特化した評価構想を述べる。

どうぶつタッチ&ゴーは、1) 刺激による誘き寄せと、2) データ通信システムの二つの要素から成り立っている。そこで、この二つの要素を 3-1 - 3-3 のシステムとの互換性も考慮しながら再考察した。

まず、1) 刺激による誘き寄せに関してだが、ペットの犬での評価と同様に現地にある牛小屋を形状刺激構造物として利用できる。さらに、より誘導性を高くする施策として音刺激の併用もありうつ。音刺激を利用した牛の誘導に関する研究例を調査すると、音刺激と報酬（餌等）を利用した誘導学習が一般的に行われている（図. 17）。福島浪江の牛はオーナーから給餌をされた記憶が残っている様子があり、人が発する音や車の音等に反応して集まる傾向が見られる（図. 18）。このため、これら音刺激に対して既学習の状態である可能性が高いと考えている。つまり、これらの既学習である音刺激を併用することで誘導性を高めることが期待できる。さらに音刺激に関しては、事前のフィールド評価で一般的な音刺激に対しても条件を変えて誘導性評価を行ってみる予定にしている。

次に 2) データ通信システムに関しては、これまで NFC タグのタッチ動作による通信機器の Wake を想定していた。しかし、現在 3-1 - 3-3 で作成中のデバイスにはすでに情報収集用 GPS が搭載されており、この位置情報を利用して通信機器を Wake させる方式もあり得る。これはデバイスの互換性やデバイス削減による低消費電力化といった面からも有利に働くものであり、評価機会を増やすという観点からも重要である。

方法	利用音	活用法
受信	発声音 咀嚼音 咳音 反芻音	発情モニター 個性の識別 病気（呼吸器疾患、反芻発作等）発見 牧草摂食率
送信	音楽/騒音 単波長音 警告音	搾乳量の改善/影響 仮想フェンス （効果は限定的）
送信+学習	音楽 条件音 笛、鈴、人声	誘導学習を経験した牛をリーダー牛として学習未経験牛群に編入することにより、牛群全体を餌場に誘導することが可能

図 17. 牛行動と音に関連する調査



図 18. 自動車に接近する牛の様子(福島浪江の評価牧場での撮影)

4. 議論とまとめ

本研究で高線量空間の可視化について、2つの方法から取り組んだ。

一つ目は「被爆の森」拠点をシンクノードとして用いることにより、高線量空間内の音声を取得した。これは動物装着型センサなど、より帯域の制限のある状況では、例えば動画と言った広帯域の空間情報は転送できないことを踏まえて、より低帯域での空間情報把握ができる音声に注目したものである。しかし音声を解釈することは難しい。専門家の数が限られること、また聞き取りにかかる労力が非常に大きいからである（15 回ほど聞き返すこともあるという）。本研究では、人間によるアノテーションから CNN を生成し、ウグイスの月変動・日変動を求めた。これらから高線量空間にいる生物の状況について可視化することができた。さらに、本研究への参加者のパフォーマンスについて調べた。その結果 2 割のユーザのみが高いパフォーマンス

ンスを出すことがわかった。このことから、必要なアノテーション数について、ワークショップベースのアノテーションを試みる際は、この数を割り引き、5 倍の参加者を集める必要があると考えられる。本研究で参加者の属性は、東大に留学してきた学部程度の学生という以外の管理を行わず、専門、国籍、自然体験などのバックグラウンドは不明である。今後これらについて議論を深めると、より効率の良い参加者ベースのアノテーションができるかもしれない。

二つ目は、動物装着型センサについて、ソフトウェア、ハードウェア的に検討を行い、実際に高線量地域において牛に装着した。ソフトウェア的には、通信プロトコルの改良や、デバイスの wake 制御を加速度によるのみならず、温度センサも利用することで精密化し省電性を高めた。デバイス本体の開発については、Spresense にセンサを追加したものを基本とした。装着感についても配慮し、麻布大学伴侶動物研究室の協力を得た。データの回収については、動物の習性を動物行動学的に利用することを基本として、誘引実験を犬に対して行った。本研究を通して、以上 4 つの手法において基礎技術が獲得できた。その一方で長期間帰還困難地域内において、小型デバイス（動物装着型デバイス）を運用するという点は今後の課題となる。そもそも動物を捕獲して、ロガーを装着することは非常に手間のかかることである。しかし、工学的見地からは迅速な開発が望まれる。ここで動物の行動を、実験室内でエミュレートする必要がある。本研究では、iRobot を用いて 2 次元的に、かつ小規模に模擬したが、将来的には 3 次元的に模擬する必要や、ある程度の距離を離して模擬する必要もあると考えられる。この方法としてはロボットアームを用いることや、研究者にセンサを装着して数日過ごさせる方法などがあるが、複数の手段を組み合わせる必要があるだろう。

5. 結論

低帯域で空間情報を把握できるため、動物装着型センサに利用可能な環境音の収録を行い、高線量空間の生物の月変動・日変動を可視化した。

動物装着型センサについて、基本技術を獲得し、実際に高線量空間の牛に装着した。

【参考文献】

- Begon M, Harper JL, and Townsend CR: Ecology: Individuals, Populations, and Communities. (2nd. edn.) Boston: Blackwell Scientific, 1990
- 石田健: 高線量地帯周辺における野生動物の生態・被曝モニタリング. 化学と生物 2012, 50 (11)
- Kobayashi HH and Kudo H: Acoustic Ecology Data Transmitter in Exclusion Zone, 10 km from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Leonardo, 2017
- Kobayashi, HH, Nakagawa, K, Makiyama, K, Sasaki, Y, Kudo, H, Niraula, B, Sezaki, K. Animal-to-Animal Data Sharing Mechanism for Wildlife Monitoring in Fukushima Exclusion Zone. Multimodal Technologies Interact. 2018, 2, 40.
- Kobayashi HH and Shimotoku D: Comparison of User Listening Attitude for Birdsongs Recorded in Fukushima Restricted Area to Prepare Training Data for AI, Ambient and Pervasive Interactions, 2019
- Nakagawa K, Makita A, Nagasawa M, Kikusui T, Sezaki K and Kobayashi H: Opportunistic Data Exchange Algorithm for Animal Wearable Device Through Active Behavior Against External Stimuli. In: Streitz N, Konomi S (eds) Distributed, Ambient and Pervasive Interactions: Understanding Humans. DAPI 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 10921. Springer, Cham, 2018
- Shimizu K, Iwai M, and Sezaki K: Social Link Analysis using Wireless Beaconing and Accelerometer, The 6th. International Workshop on Data Management for Wireless and Pervasive Communications (DMWPC 2013), Spain, 2013
- Stowell D, Wood M, Stylianou Y and Glotin H: Bird detection in audio: A survey and a challenge In: 2016 IEEE 26th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP), 2016

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Comparison of User Listening Attitude for Birdsongs Recorded in Fukushima Restricted Area to Prepare Training Data for AI	HCII 2019: Distributed, Ambient and Pervasive Interactions	2019
Opportunistic Data Exchange Algorithm for Animal Wearable Device through Active Behavior against External Stimuli	Asian CHI Symposium: Emerging HCI Research Collection in ACM Conference on Human Factors in Computing Systems	2019
Optimal Arrangement of Wearable Devices Based on Lifespan of Animals as Device Transporter Materials for Long-Term Monitoring of Wildlife Animal Sensor Network	Sensors and Materials	2020