

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 12 月 17 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510010

研究課題名(和文)人との共存を目指したGPSを利用したクマのリアルタイムハザードマップ

研究課題名(英文)Real-time hazard map of the black bear using a GPS with the aim of co-existence with people

研究代表者

山本 麻希 (Yamamoto, Maki)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90452086

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、携帯電話通信モジュールを利用し、ツキノワグマの位置情報をリアルタイムで回収する新しいクマ観測首輪の開発を目的とした。その結果、GPSに加えて加速度を計測し、取得データを3G通信経由でサーバへ送信するシステムを構築した。試作した3G首輪を飼育下のクマで実証実験を行い、問題無く、時刻・GPS・加速度を3G経由でサーバに送信できることを確認した。GPSと加速度を解析することで、捕食・移動・睡眠の活動に識別できた。今後、加速度データを用いた省電力化のための方式や人の生活圏に近づいたらメールで通知する機能について検討する。

研究成果の概要(英文)：Our study aimed at developing new bear GPS collar for recovering the position information of black bears in real time, using 3G communication module. As a result, we developed system that transmits to the server to retrieve GPS and acceleration data via 3G communications. Using prototype collar, the experiments in captive bear were performed and we confirmed that the collar can be sent to the server the time, GPS data and acceleration data via 3G communication. By analyzing the GPS and acceleration, it was possible to identify the activities of predation, movement, sleep. In the future, it will be discussed the function to be notified by mail when the bear approaching to people living area and that to energy save using the acceleration data.

研究分野：動物生態学

キーワード：安全 ネットワーク技術 GPS測位 ツキノワグマ

### 1. 研究開始当初の背景

生物多様性の保全という意識や理解が高まる中で、地球温暖化による種への影響など懸念材料も増えており、野生動物の生態観測にセンサーシステムやネットワークを活用する試みが広まっている。一方、堅果類が不作の年に人の生活圏へのツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の大量出没が発生しており(図1)、最近では、平成22年において有害捕獲数は3,516頭、人身被害も142件147人と最も大きな被害を記録した。

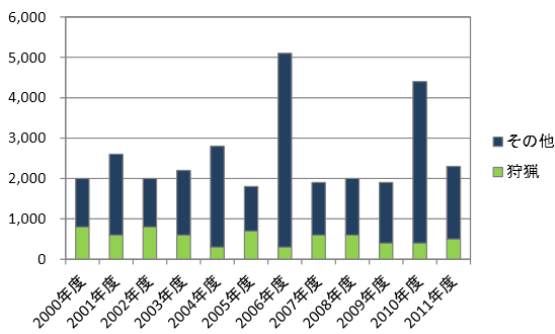


図1 罫の有害捕獲数(その他)と狩猟捕獲数

従来、動物生態学の研究者が利用してきたロガー(首輪)は、1) GPSとActivityを記録、2) VHF(三角測量)でクマの位置を探索し、データを回収する<sup>[3]</sup>。このようなロガーでは、1) 里に出現した時&人間が現地地で三角測量、というAND条件でないとデータを回収できない(回収率は30%を下回る)、2) Activityでは捕食・移動・睡眠などの詳細状態を把握できない、という課題がある。

一方、ツキノワグマはIUCNのレッドデータリストでも危急種に分類され、日本の個体群も環境省のレッドデータで絶滅の可能性のある地域個体群に指定されるなど希少な動物である。しかし、人身事故が発生することから、人里に大量出没したクマの多くは有害鳥獣捕獲によって殺されるケースが多く、クマの個体群の保全の観点からも心配されている。一方で、有害鳥獣捕獲されたクマを学習放獣する手法もあるが、放銃したクマが再び人里にやってくる可能性があることから地元住民の賛同を得られにくい。そこで、人に対する安心・安全という観点からは、リアルタイムでクマが里に出現したことを検知できる、あるいは通知できるシステムの出現が期待される。

### 2. 研究の目的

野生生物の生態を観測するために、バイオロギングと呼ばれるデータロガーを用いた手法が利用されている。しかし、野生生物は広大なフィールドを動き回るため、ロガーの回収は非常に困難である。一方、最近、クマが里山に出現して人身被害を起す件数が増大している。本研究では、携帯通信モジュールを利用することで、データをリアルタイム

に回収する新しいクマ観測首輪の開発を報告する。なお、本研究ではツキノワグマを対象に実証実験などを行っているが、首輪の対象は大型の野生動物(ヒグマやカモシカなど)にも適用可能である。

### 3. 研究の方法

#### (1) システムの全体構成

提案システムは、1) GPSに加えて加速度を計測、2) 携帯通信モジュール(3G)を搭載し、定期的にデータをサーバへ送信すること、を特徴とする。図2にシステムの構成を示す。本研究では、GPSの取得は、個別のモジュールを搭載するのではなく、3Gモジュールから取得する。

GPSの電力消費量が非常に高いため、GPS受信機の省電力動作についても同時に検討を行う。

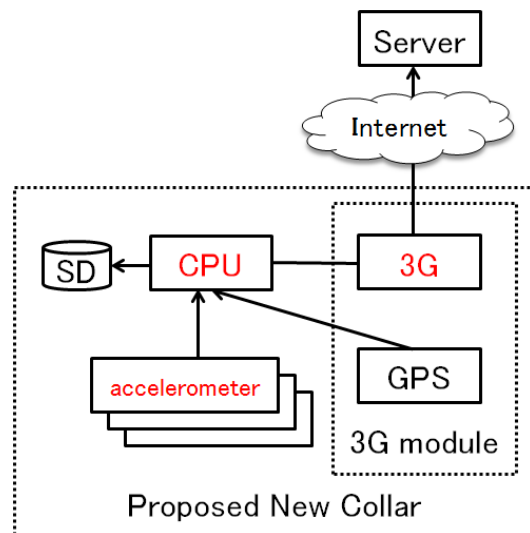


図2 提案システムの構成

#### (2) 予備実験 - 加速度計測

加速度計を装備した首輪を試作し、北秋田市阿仁クマ牧場で実験を行った。図3に捕食時の3軸加速度の様子を示す。Z軸が腹から背方向、X軸が喉から鼻方向である。X軸の動きが特徴的であることがわかる。捕食・移動・睡眠を識別するために、3軸の加速度を解析した結果、1) サンプル周期は500ms、2) 加速度は少なくとも2軸を取得(睡眠の識別ならZ軸だけで良いが、捕食・移動を識別するため) 3) 観測期間は10分程度(識別単位)とした。

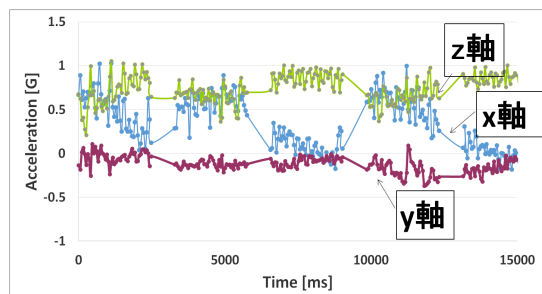


図3 捕食の加速度データ

(3) 処理方式

加速度計測方式の決定を受けて、全体の処理方式を図4とした。1) 加速度を500ms サンプリングで12min 取得、2) GPS を取得(タイムアウトを1min)、3) 3G モジュールから時刻データを取得(GPS が取得できない時もあるため)、4) 3G 通信がOKなら、時刻・GPS・加速度を3G 経由でサーバへ送信(タイムアウトを2min)。

この方式は非同期方式であり、「XX時XX分からYY分までの加速度」という時刻に同期した取得方法ではない。CPU がクロックを内蔵する必要がなく、低処理能力CPUの利用や省電力化に有効である。

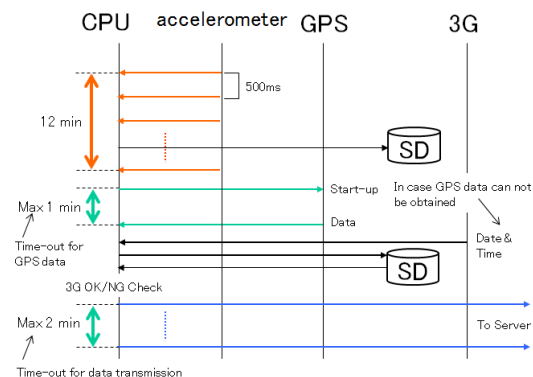


図4 処理方式

(4) 加速度データを利用した省エネのためのアルゴリズム作成

睡眠の間システムをスリープすることで省エネ化を図るため、(3)の実験で使用した3軸加速度センサー付の首輪を利用して、ツキノワグマの睡眠行動を判別するアルゴリズムの作成を行った。飼育下のツキノワグマ4個体に1日~2日装着し、同時にクマの行動をビデオで撮影した。4個体の内1個体については加速度センサーと活動量計測機能付きのGPS首輪(社名、Telius2D)を同時に装着した。取得した3軸加速度センサーデータの変動係数(CV)の値を用いて、(1)ロジスティック回帰分析並びに(2)直線回帰分析によって睡眠とその他の行動を判別する式を作成した。

$$P_1 = \frac{1}{1 + e^{(40.4336*x + 16.2065*y + 35.8613*z - 3.0102)}}$$

$$P_2 = -3.2890*x - 0.7264*y - 4.2911*z + 0.8086$$

図5 睡眠の判別式 (P<sub>1</sub>: (1), P<sub>2</sub>: (2))

飼育個体のデータから行動を判別した結果P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>式よりそれぞれ睡眠の誤判別率は20%以下となった。

加速度センサーと同時にGPS首輪を装着した2個体のデータ(測位間隔は15分)を用

いて、GPS首輪の活動量データから行動判別を行った。具体的には、GPS首輪の活動量の値を3軸加速度センサーで取得した加速度に変換し、そのデータを睡眠の判別式P<sub>1</sub>を用いて睡眠かその他の行動かを判別した。GPS首輪のデータを用いた行動判別の結果、睡眠を80%以上、その他の行動を60%以上の確率で判別できることが分かった。

(6) 野外個体の睡眠時間の算出

野外個体に首輪を装着した際、睡眠の間どのくらいシステムをスリープすることができるかを推定するため、2012年から2013年にかけてGPS首輪を野外に放獣したツキノワグマ4頭に装着し、内2個体のデータを回収した。このデータを用いて2.2と同様の方法で2.1の判別式を使用し行動を判別した。判別した行動からクマが連続で睡眠している時間を算出し、さらに睡眠中と判断された時間のGPSポイント間の距離を算出した。これらのデータより、首輪をスリープさせる時間の上限値と、首輪をスリープさせてから再起動させる間にクマが目覚めて集落にどの程度接近する危険があるかについて検討した。

野外個体の睡眠時間を算出した結果(図6上)、2頭とも15~30分という短い睡眠を多くとっていることが分かった。このため、データ取得時間のスリープは15~30分の範囲が最も適していると考えられる。また、睡眠中の移動距離は50~100mが最も多く、それ以上の移動は睡眠以外の行動を睡眠と誤判断したデータを含んでいるからだと考えられる。クマは季節によって生活環境を変化させ、個体差は存在するが、多くの個体が特定の季節に集落周辺で活動することが多く

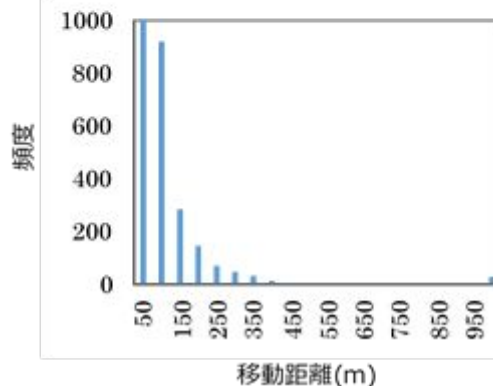
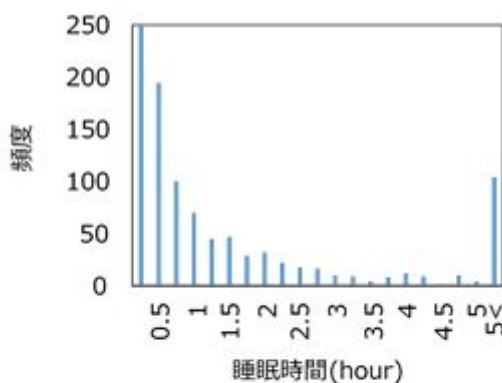


図 6 クマの睡眠時間のヒストグラム(上)と睡眠と判断された間の GPS ポイントの移動距離のヒストグラム(下)

なるということが確認されている。集落から 500m ほどの距離で主に活動している季節もあり、その場合図 3 の結果からでは集落に接近しないと必ずしも言えない結果となった。

(7)GPS の消費電力の省エネ化に関する研究  
省電力のために、動作電圧の低い受信機モジュールを使用して、連続受信動作時および間欠動作時の消費電力量を確認した。連続受信動作での GPS 測位精度の計測をオープンスカイ環境に設置した定点 GPS アンテナで実施し、測位結果の 50%平均誤差半径 (50%CEP; Circular Error Probability) が 3~5m 程度であることを確認した。間欠動作時は、ON-OFF の間欠動作のパターンを変えた場合において、測位精度の劣化と省電力の効果について調査した。衛星の軌道情報に欠損を生じることが精度低下の要因となるため、航法メッセージ中の軌道情報の取得を効率的に取得する動作パターンについて検討している。野生動物が活動している場合は、オープンスカイ環境であることは稀であるため、電波の遮蔽による影響についても考慮して、GPS シミュレータ環境を構築し、間欠動作パターンでの GPS 測位精度を確認した。

#### 4. 3G 首輪の試作と実証実験

図 5 に試作した 3G 首輪を示す[5]。試作首輪を用いて、阿仁クマ牧場などにおいて実証実験を実施した。図 6 に FRP による筐体(右)と 3G 首輪を装着したクマを示す。問題無く、時刻・GPS・加速度を 3G 経由でサーバに送信できることを確認した。

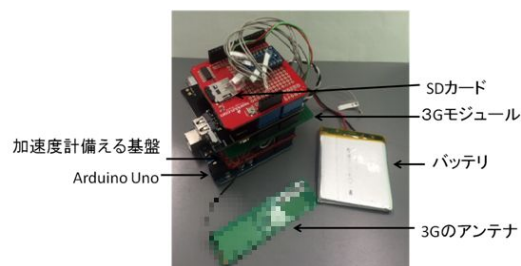


図 5 試作した 3G 首輪

筐体に用いた FRP は電波 (GPS と 3G) を透過する。従来の首輪では、天空側(肩側)に GPS 受信機を設け、下部(腹側)の計測装置(堅牢性確保のために金属製)との間をケーブルで接続する。FRP を用いることで、下部の筐体に全ての装置を内蔵することが可能となり、1) ケーブル断線がない、2) FRP は軽量のためバッテリーを増量できる、というメリットがある。



図 6 FRP による筐体(右)と 3G 首輪を装着したクマ

#### (8)省エネ化のための加速度データの取得方法の検討

加速度センサーからのデータを 500mm ごとに取得するが、この間隔を得るための方法を 4 通りためし、それぞれの電流を比較した。

- (1) loop 法：ループによって待つ方法
- (2) INT 法：加速度センサが持つ計測完了信号を用いて待つ方法
- (3) WDT 法：ウォッチドッグタイマによって待つ方法
- (4) FIFO 法：加速度センサが持つ FIFO バッファを利用する方法。

その結果、FIFO 法が最も省エネな方法であることがわかった。

#### (9)マイコン動作の省エネ化のための電圧クロックの調整

マイコンの動作を省エネ化するため、電圧とクロックを変化させ、動作中の電流を計測した。計測結果を図 7 に示す。

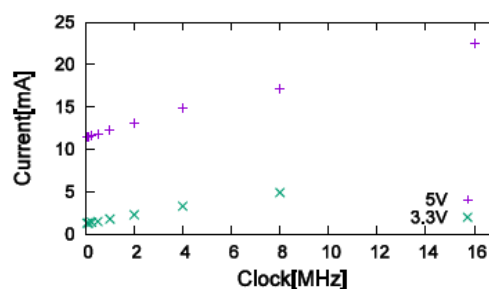


図 7 電圧・クロック対電流特性

この結果から、クロックを下げることによる省エネ化よりも電圧を下げることによる省エネ化の方が大きいことがわかったため、今後、本システムでは可能な限り動作電圧を下げる方法を採用することとした。

#### (10)SD カード書き込み量の最適化

SD カードの書き込みを省エネ化するため、SD カードに 1 度に書き込むデータ量の長さを変化させ、その時の書き込み時間を計測した(図 8)。

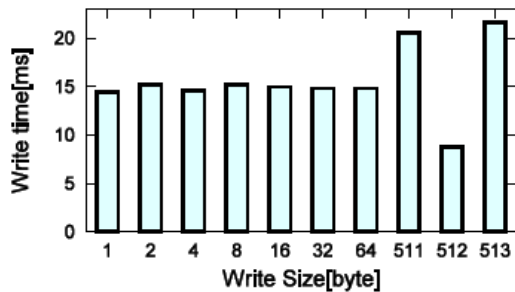


図8 SD書き込み量対電流特性

この結果、512byte を書き込む時間が最も短かった。これは、SD カードのアクセス単位が 512byte になっていることが理由と考えられる。よって、1 度に書き込む長さは 512byte とした。

#### 4. 研究成果

クマの詳細な生態観測を可能とする新しい首輪と処理方式を検討・考案した。GPS に加えて加速度を計測し、取得データを 3G 通信経由でサーバへ送信する。試作した 3G 首輪をクマ牧場などで実証実験し、問題無く、時刻・GPS・加速度を 3G 経由でサーバに送信できることを確認した。GPS と加速度を解析することで、捕食・移動・睡眠の活動に識別でき、例えば、捕食場所の特定と当該エリアの環境変化（堅果類の豊凶など）、人里への出現の関係、などの調査研究が可能となる。また、GPS 取得の省エネ化については、間欠動作による省電力効果を確認した。実用的な位置計測精度を確保しつつ、より効率的な省電力効果を確保する間欠動作パターンについて検討する。加速度計測取得法、CPU のクロックと電圧、及び、SD カード書き込み量における消費電力削減手法を検討し、所用電力を約 1/14 以下となる見込みを得た。

今後、さらなる省電力化と首輪の長時間運用化のための方式、例えば、加速度データの解析から睡眠状態を判別しシステムをスリープさせる、3G の不感地帯では 3G モジュールのスリープを多用する、などの検討を進める。また、GPS を解析し、人の生活圏に近づいたらメールで通知する、などの機能を検討する。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 13 件)

- 後藤明日香, 望月翔太, 山本麻希, 村上拓彦: “学習法獣後のツキノワグマの行動と利用環境について”, 日本生態学会, P1-345, (2013-03)
- 後藤明日香, 望月翔太, 山本麻希, 村上拓彦: “GPS 首輪を用いたツキノワグマの利用環境解析 ~FPT 分析から導いた最適スケールを用いて~”, 日本生態学会 PA2-207, (2014-03)

- An Nguyen, 山本寛, 山本麻希, 大山重樹, 吉原貴仁, 山崎克之: “加速度データと GPS を 3G で送信するクマの生態観測システムの検討”, 信学総大, iss-sp-373 (2014-03).
- 和田捺暉, 山本麻希, 山本寛, 山崎克之: “加速度センサーによるツキノワグマの行動分析”, 信学総大, iss-sp-176 (2015-03).
- 難波晃就, 吉原貴仁, 山本麻希, 山本寛, 山崎克之: “決定マップによる野生生物観測システム電力削減方法の提案”, 信学総大, B-16-8 (2015-03).
- 和田捺暉, 山本寛, 山崎克之, 山本麻希: “ツキノワグマの行動データを利用した GPS 首輪の省エネルギー機能の検討”, 日本生態学会, PB1-108, (2015-03)
- Natsuki Wada, Hiroshi Yamamoto, Katsuyuki Yamazaki, Maki Yamamoto: “Development of energy saving algorithm for GPS collar of Japanese black bear using activity data”, IWMC, (2015-07)
- 山崎克之: “3G 通信を活用する大型の野生動物用口ガーの開発”, 第 11 回日本バイオロギング研究会シンポジウム (招待講演), (2015-10)
- 和田捺暉, 山本寛, 山本麻希, 山崎克之: “RFID タグを利用したツキノワグマの個体識別の提案”, 電子情報通信学会信越支部大会, P-13 (2015-10).
- 古川貴仁, 山本麻希, 山本寛, 山崎克之: “サルを想定した半永久動作可能な接近検知システムの検討”, 電子情報通信学会信越支部大会, P-5 (2015-10).
- 早川宙也, 山本寛, 山本麻希, 山崎克之: “野生動物観測システムのための省エネ処理方式の検討”, 電子情報通信学会信越支部大会, P-11 (2015-10).
- 山本寛, 山本麻希, 山崎克之: “携帯通信モジュールを内蔵したクマ観測首輪の開発”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, BI-6-6 (2015-08).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 件)

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織 (1) 研究代表者

山本麻希

長岡技術科学大学 工学部 技学研究院  
生物機能工学専攻 准教授

研究者番号：90452086

(2)研究分担者

山崎克之

長岡技術科学大学 工学部 技学研究院  
電気電子情報工学専攻 教授

研究者番号：00432097

入江博之  
熊本高等専門学校 建築社会デザイン工学  
科 准教授

研究者番号：70249887