

## GPS 受信機と無線機器を用いた長寿命で高精度な野生動物追跡システムの構築

情報電気電子工学科 代表者：三田長久 実務担当者：森下功啓、濱 幸宣、岩田一樹

### Abstract

野生動物の生態調査でしばしば行われるラジオテレメトリでは、測位精度が悪くて詳細な生態が分からないことや、日本の電波法に抵触することが問題となっており、新たな装置の開発が望まれている。本研究では、最近開発された特定小電力無線機の一つである ZigBee と GPS を組み合わせ、安価で高精度な測位が可能で長期間稼動するシステムの開発を目標としている。森林中での無線通信試験結果からシステムの構築についての実現性を確認した。

### 1. はじめに

日本は広大な山間部を内包し、それからもたらされる自然の恵みにより農林業を営んで来た。近年、特に山間地では高齢化や化学肥料の普及による里山の荒廃、後継者不足等が問題となっている。また、狩猟人口の減少によって野生動物の生息数の増加や人慣れが進んでおり、彼らによる農林業への被害が増加する傾向にある。各地方自治体では、図 1 に示すように農林業へ被害を与えている動物の生態調査と駆除が毎年行われている[1]。

本研究では、ニホンザルを調査対象と位置付け、無線通信機の一つである ZigBee と GPS を組み合わせた長期間の高精度な測位が行える追跡システムについて研究を行っている。本稿では提案する追跡システムの概要とそのプロトタイプ的设计と試作結果について報告する。

## 2. ニホンザルと生態調査法

### 2.1. ニホンザルの特徴と駆除における問題

ニホンザルは本州・四国・九州の各地に生息する霊長類である。食性は雑食で、日中は遊動域と呼ばれる縄張りの中を移動し、夜は特定の場所をよく利用して寝るという特徴を持っている[2]。各地で人慣れをきっかけに様々な農作物への被害が深刻化しており、駆除が頻繁に行われている。しかし、ニホンザルの駆除には彼ら特有の社会性により問題が多い。例えば、群れのリーダー又はその近親にある者を駆除したために群れが分裂して反って被害を増大させたり、縄張りの圧力が減ることで被害を与える群れが入れ替わったり、過剰な駆除で局地的に絶滅する恐れがあるなどの問題がある。以上の問題点から、駆除対象がニホンザルの

場合は駆除対象と非対象の区別や詳細な群れの生態調査が必要とされている。

### 2.2. 生態調査方法

生態調査法には直接観察する方法と調査対象に VHF や UHF 帯を使用する発振器を装着させて行うラジオテレメトリがある。直接観察する方法はサルが人に慣れる必要があり、生態調査結果が正しいか明瞭でない。また、ラジオテレメトリは遠隔地で調査が行えるメリットがあるが、測位誤差が最大数百 m と大きいので生態を知るには精度が不足するという問題がある。また、何れの調査方法も調査期間中は毎月 1 週間程度連続して調査を行う必要があるなど調査の負担が大きい。

### 3. GPS を用いた一般的な追跡手法の問題点

VHF 等の無線発信器を用いたラジオテレメトリで測位精度が不足するという問題は、GPS を使用することで解決することができ、実際に GPS 首輪と呼ばれる製品が販売されている[3]。ただし、到来電波を利用するラジオテレメトリでは観測者が測位結果を直ちに知ることができるのに対して、GPS を使用した測位方法ではその測位結果は装置内部のメモリに蓄えられるのでデータの回収が必要である。既存のデータの回収方法には以下の方法がある。

- (1) 追跡装置を取り付けたニホンザルを再捕獲する
- (2) VHF 送信機を用いてリモートダウンロード
- (3) 指定の日時に首輪が外れるタイマー若しくはリモート操作によるドロップオフ機能を使う



図 1 ニホンザルの生態調査  
(山梨県北杜市 HP より)

ニホンザルを追跡装置の取り付け対象とした場合、学習能力が高いため2度目の罠にはかかり難く、(1)による手段は採り辛い。また、(2)や(3)の方法では通信機、発信器、分離装置、大容量バッテリーの重量が高み、体重の軽いニホンザルには適用し難い。何らかの追跡装置をニホンザルに取り付ける場合、被追跡動物の負担をできるだけ軽減するために追跡装置の重量は体重の20分の1以下が好ましいとされている。また、生態調査の観点から1年以上の期間で観測を行った方が望ましく、その分追跡装置は省電力性を非常に要求される。

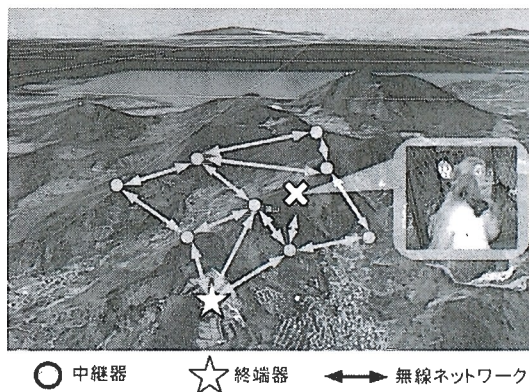


図2 提案手法のテレメトリシステム

#### 4. ZigBee と GPS を組み込んだ追跡システム

##### 4.1. 追跡システムの概要

本研究で提案する観測システムは、GPS と特定小電力無線機の一つである ZigBee を組み合わせたものである。ZigBee は通信距離が短い消費電流が少ないという特徴があり、双方向通信が可能である。ZigBee の通信距離は最大数百 m と短い、中継局を設置することでメッシュを形成し、延長することが可能である。このシステムのイメージを図2に示す。GPS 首輪を取り付けたニホンザルがメッシュの通信可能範囲に入るとそれまで測位してきたデータの回収を自動的に行う。観測者はニホンザルを捕獲後に追跡装置を取り付け、後は不定期で自動的に回収されるデータをチェックするだけで良い。

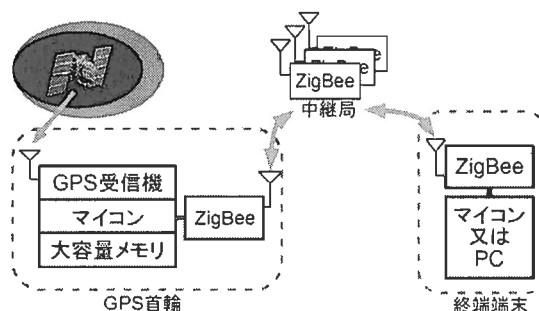


図3 システムの構成

##### 4.1.1. システムの構成とGPS首輪

システムの構成を図3に示す。このシステムはGPS首輪と中継局、終端端末から構成される。ZigBee によるメッシュには、その役割の違いからメッシュ内の調整を行うコーディネータやデータ中継のみを行うルータ、データを送受信するエンドデバイスが存在する。GPS首輪と終端端末はエンドデバイス、中継局はコーディネータとルータとなる。

GPS首輪は、GPS受信機やマイコン、大容量メモリ、ZigBee通信モジュールを含み、追跡対象となる動物へ取り付けられる。GPSによる測位情報は一旦大容量メモリへ保存され、マイコンにより通信可能と判断されると中継局を通じて終端端末へと転送される。この測位情報の転送は大きな電力消費を伴うため、その前にGPSの測位情報から中継局の作るメッシュ領域内に入っているかを判断する。そのため、中継局の設置情報を追跡対象へ取り付け前後に入力する必要がある。また、データの転送時には観測者がGPS首輪へ対して何らかの命令を送ることもでき、柔軟な観測を行うことができる。

##### 4.1.2. 中継局と終端端末

中継局は ZigBee 端末とその起動を管理するマイコ

ン、時刻を管理するリアルタイムクロック(以下RTC)、時刻同期用GPS受信機から構成される。マイコンは観測当初に設定されたスケジュールに従って各ハードウェアの電源を管理する。時刻管理は主にRTCにより行われるが、1カ月に1回程度GPSにより時刻の補正を行う。

実際の設置は、通信距離を延ばすためより高く見晴らしの良い場所が良い。森林中ではできるだけ樹冠近くに設置されるのが望ましい。

##### 4.2. バッテリーの持続時間延長

一般的なGPS付き首輪では固定された中継局が存在しないため実際に観測を行わなくてもVHF等の発信器は動作している。このため消費電力が増大し、結果としてバッテリーの重量増へとつながっている。したがって、低消費電力を実現するためには適切な無線機の使用が消費電力を低く抑えられと考えられる。

本システムでは、先ず追跡対象動物の測位位置から通信が可能かどうかを判断し、次に通信を試みて応答がなければZigBeeの電源を切断して消費電力を最小限へ抑える。この判断に用いる測位位置は日没後に測位したデータを用いる。夜の間はニホンザルが移動しないため測位は行わない。また、データ通信をニホンザルが寝静まった午後9時頃に限定することで確実にニホンザルの泊まり場を狙うことができ、通信に必要



な消費電力も低く抑えることができる。

GPS 首輪内部のマイコンが認識する時刻は GPS による時刻補正が行えるので、データの送受信を毎日の決まった時刻のみに限定できる。また、GPS 受信機などの他のデバイスも電源を必要とすのみ入れることにより低消費電力化を行う。

### 5. GPS 首輪端末の試作

本研究で提案する GPS を使ったテレメトリシステムの基本的な実験を行うため、先ず GPS 首輪端末の回路について設計と製作を行ったのでこれについて報告する。試作に当たっては、ニホンザルの生活リズムである1年を観測期間とできるように個々の素子の消費電流が小さくなるように設計し、また通信実験等を行うことを念頭にやや冗長を持たせて設計を行った。

GPS の測位データを記憶するメモリには大容量かつ安価で制御のやりやすい SD カードを使用した。シリアル制御 EEPROM と比較すると制御は複雑で消費電流量も多いが、メモリにアクセスする時間は全体の内僅かであるため観測期間には影響が無い。また、データ容量の面からすると一般的な GPS 首輪をはるかに上回っており、まだ電池容量が余っているのにメモリ容量が無くなったので観測できないという事態が発生しないメリットがある。

様々な電源で使用できるように電源回路に DC-DC コンバータを搭載し、電源電圧 2.5V から 7V まで対応した。最終的にはエネルギー密度の点から使用するバッテリーには塩化チオニルリチウム電池が最適だが、試作であるので多様なバッテリーに対応させた。バッテリーには CR123 型の電池を使用できる。

試作した GPS 首輪の電子回路を図 4 に示す。回路のサイズは W54×L44×H23[mm]、重量が 57[g]となり、これにケーシングを含めても 150[g]以下となる見込みである。これは標準的なメスニホンザルへの適用条件である 400[g]を十分に下回っており、実際にニホ

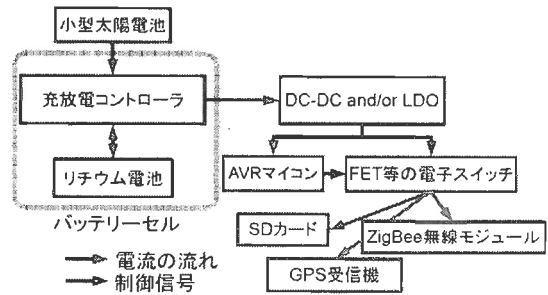


図 5 マイコンによる電源制御

ンザルへこの装置を取り付けても重量の面で問題はないと考えられる。

#### 5.1. マイクロコンピュータ

マイクロコンピュータはバッテリーをできるだけ持続させるため、図 5 に示すような電源制御によって定期的に各デバイスの電源の ON-OFF 制御を行う。消費電力と回路規模の削減のためにマイコンには、ZigBee 無線モジュールや GPS 受信機との通信のために必要な 2 チャンネルのシリアルポート、大容量メモリと通信するための SPI ポート、時刻認識のためのタイマー、バッテリー電圧や体温を検出する A/D 変換ポートを備えることが条件である。今回の試作では制御用マイコンに省電力性に優れた Atmel 社の ATmega644PV を使用した。

#### 5.2. GPS 受信機

GPS 受信機はある設定された時間ごとに起動され、省電力のため測位結果を出力すると電源を切断する。このインターバルは 30 分～2 時間、起動時間は 60 秒程度である。電源が切れている間はバックアップ電源を供給して GPS 受信機内部のアルマナック情報を保持させる。このため観測期間中は殆どウォームスタートである。我々が選んだ GPS 受信機は、市場に出ている GPS 受信機のうち最も消費電流量の少ない古野電気製 GH-81 とポジション社製 GUS-72D である。

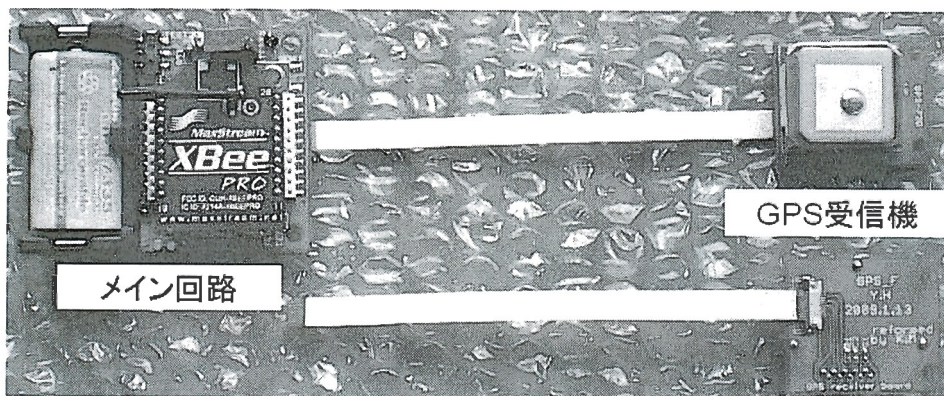


図 4 試作した GPS 首輪の回路

### 5.3. ZigBee

ZigBee 通信モジュールは測位情報の通報と追加命令の受信に用いられる。このモジュールには、通信距離が長いディジインターナショナル社製の XBee Pro を使用した。

この通信機の通信可能範囲について、図 6 に示す様に XBee Pro モジュール、ハンディ GPS 受信機、モバイルパソコンを使って移動局と固定局に分かれて実験を行った。固定局のアンテナ高は 3m である。この実験で ZigBee の通信が可能な距離を明らかにするために、通信の成功率を固定局と移動局との間の距離に応じて計測した。ここで、通信の成功率を式(1)で定義する。

$$\text{通信の成功率(\%)} = \frac{\text{通信に成功した回数}}{\text{通信回数}} \times 100 \quad (1)$$

実験は周囲環境の影響を見るため障害物のない平地、

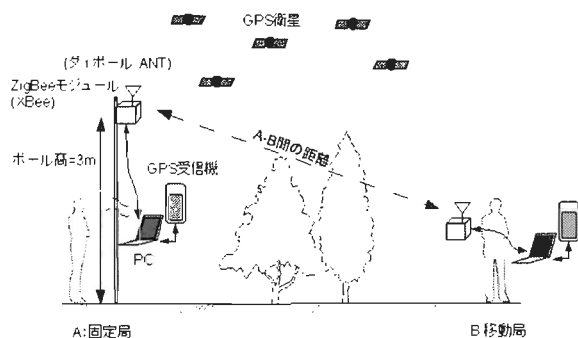


図 6 ZigBee の通信距離試験の模式図



図 8 ZigBee の通信試験の様子

立田山緑地にある樹木密度の低い林、照葉樹の覆い茂った立田山の山頂において行った。立田山は熊本県熊本市黒髪に位置する。通信内容は GPS が測位した位置情報とした。通信の頻度は 2 秒に 1 回、通信データ量は約 120[byte/回]である。平地での実験の様子を図 7 に示し、障害物のない平地、樹木密度の低い林、立田山での実験結果を図 8 に示す。この実験結果より、山林という環境では確実に通信を行うためには 120m 以内でなくてはならないことが分かった。このままでは通信距離が短いために中継局の設置数が増える可能性がある。

次に、XBee Pro とマイコン間の通信速度が通信の成功率へ及ぼす影響を調べた。その結果を図 9 に示す。この結果より通信速度が遅くなると明らかに通信の成功率が上がっていることが確認できた。XBee Pro モジュールがマイコンから受け取るデータの間隔に余裕があり、無線通信の確かさを確認するのに十分な時間ができたためだと考えられる。

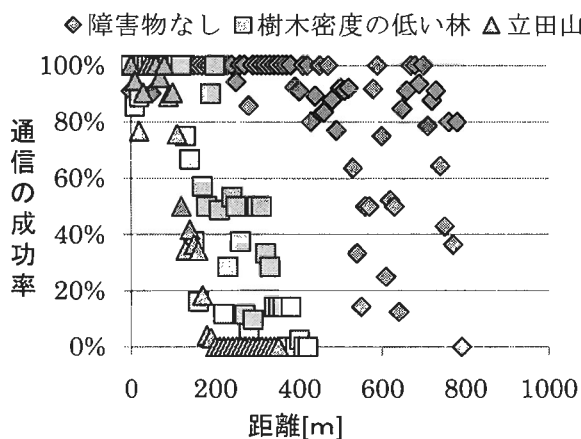


図 7 ZigBee の環境別通信成功率

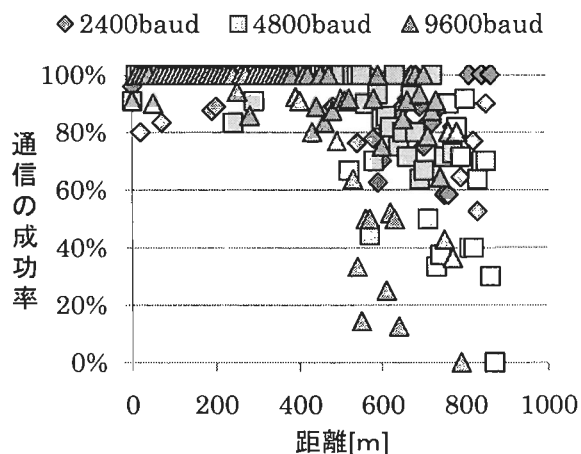


図 9 ZigBee の通信速度別通信成功率 (障害物無)

次に、予備実験としてアンテナ高を約 10m として障害物のない環境で同様の実験をしたところ、通信速度 2400baud において 1250m の距離でも通信が可能であることを確認した。このためニホンザルの多くが生息するような起伏のある山林では、固定局の向かいにある尾根や斜面ではアンテナ間の距離が長くても通信ができるのではないかと考え、熊本県八代市東町に位置する龍峰山において実験を行った。実験の結果を図 10 に示す。実験の結果より、予想した通り移動局が山頂より見下ろす位置にある場合は通信ができることが分かった。

以上の実験を通して次のことが言える。

- (1) 中継局をニホンザルの泊まり場周辺へ仕掛ける位置は、泊まり場を中心に 80~100[m]以内とする。
- (2) バルーン等を使用して中継局の位置を高くすることで飛躍的に通信距離を延ばせる可能性がある。

#### 5.4. 観測可能期間

GPS 受信機に古野電機製の GH-81 を使用し、観測設定を起動インターバル 30 分、起動時間 60 秒、電源に 1650mAh の塩化チオニルリチウム電池を使用した場合、推定稼働期間は 460 日と見込むことができた。これで稼働期間についてもニホンザルのライフスパンを見据えた長期の観測が行えると考えられる。

#### 6. GPS と ZigBee の最新動向

日本において、GPS 補強システムの MSAS が 2007 年より供用が開始され、2010 年には準天頂衛星が打ち上げられる。更に、新たな民間用周波数の割り当ても決定しており、GPS を取り巻く環境がさらに整備されつつある[4]。また、ZigBee についても 950MHz 帯の使用が総務省により許可されるなど GPS と ZigBee を組み合わせた GPS テレメトリの環境が整備されつつある。準天頂衛星が供用されれば現在 GPS 衛星の補足し難い山地の谷間でも高確率で補足が行え、初期位置算出時間も短縮されることが期待される。また、950MHz 帯の ZigBee 通信モジュールを使用すれば通

信距離が延びると期待される。

#### 7. おわりに

本研究では GPS と ZigBee を組み合わせた新たなタイプのテレメトリシステムについて検討と開発を行ってきた。稼働期間については、省電力な GPS 受信機と ZigBee 通信モジュールを使用し、適切な ON-OFF 制御を行うことで 1 年を超えることが明らかになった。また、ZigBee の通信実験の結果、森林を通過する電波は減衰が大きく 120m 以下でなければ通信ができないことが明らかになった。ただし、バルーンを用いるなどして中継局を高く上げることができれば通信距離が飛躍的に伸びる可能性があることも分かった。したがって、ニホンザルが特定の泊まり場をよく利用する性質を利用すればニホンザルの生態調査に十分な期間の間 GPS テレメトリは可能である。今後はこれらの点についてさらに検討していき、最終的にニホンザルに適用可能で実用的な GPS 首輪を開発したいと考えている。

#### 謝辞

本研究は熊本大学先進ものづくり研究教育実践プロジェクトの交付を受けている研究であることを付記し、謝意を表します。

#### 参考文献

- [1] 山梨県北杜市 ホームページ,  
[http://www.city.hokuto.yamanashi.jp/hokuto\\_wdm/html/forest-sec/index.html](http://www.city.hokuto.yamanashi.jp/hokuto_wdm/html/forest-sec/index.html), 2009.4.
- [2] 河合雅雄：ニホンザルの生態, pp.18-22, 1979.4.
- [3] 佐伯緑・早稲田宏一：ラジオテレメトリを用いた個体追跡技術とデータ, 日本哺乳類学会, 哺乳類科学, vol.46(2), pp.193-210, 2006.
- [4] 坂井丈泰：GPS/GNSS の基礎知識, GPS/GNSS シンポジウム 2007, pp.229-256, 2007.

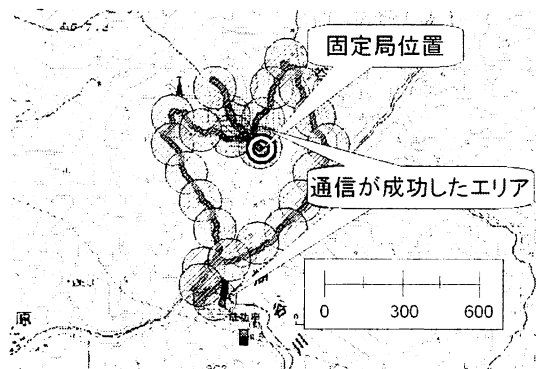


図 10 龍峰山での通信成功率