

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500083

研究課題名(和文)環境観測情報ネットワークシステムの研究開発

研究課題名(英文)A Study and Development of Information Network for Ecology Observations

研究代表者

山崎 克之(YAMAZAKI, KATSUYUKI)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：00432097

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：新潟県粟島におけるオオミズナギドリの営巣地をフィールドとし、環境観測情報ネットワークの研究開発を進めた。データ解析の結果、平成23年度と24年度ではメスの帰巣パターンが異なることから、日本海の海面温度の上昇がトリの生態に与える影響を実証できた。また、ZigBeeネットワークのノード間で2msの精度でクロック同期を実現する方式を研究開発し、これを利用して有害鳥の検知撃退システムを開発した。発表論文は電子情報通信学会通信ソサイエティ論文賞を受賞した。本研究は生態学の専門家とのコラボレーションによって実現したものであり、この受賞によって生態学への情報ネットワークの研究が広まることを期待している。

研究成果の概要(英文)： We have developed a ZigBee sensor network for ecology observation of seabirds, S treaked Shearwaters, listed in IUCN Red List. From the observed results of experiment at Awashima island, we have obtained the ecologically useful information. It has been confirmed by data that the increase of sea temperature affects the pattern of leaving or returning to the nest. Furthermore, with the use of RFID, it becomes evident that chicks are often training at night, which has not been proven so far. Timing synchronization is essential in case where multiple sensor nodes are deployed on the same place. GPS or NTP can not be easily used in some fields. We have explored a new timing synchronization method among nodes in ZigBee network. With this method, a system has been developed to detect and attack harmful birds in rivers. Predation of fishes by harmful birds induces economical deficit as well as ecological damage in rivers. So, the system will also be useful to maintain ecological environment.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ネットワーク運用技術

## 1. 研究開始当初の背景

情報ネットワークの分野では「ユビキタス」という耳慣れない言葉も昨今では日常的に新聞にできるようになった。最近では、特に、センサーをネットワークで接続してデータ収集と処理を行うセンサネットワークが、CPU などデバイスの小型化・低廉化、ブロードバンド接続による常時接続環境の整備、無線 LAN など屋外でのネットワーク機器の進展、などから、研究開発が活発になってきている。

「センサー」ネットワークは、元々は USA において提唱され研究開発が活発になった経緯がある、が、USA における主たる対象分野である軍事・農業の分野は、日本では研究開発の対象フィールドとしては非常に難しい。このため、日本では災害時のネットワークや自動車ネットワーク (ITS への適用) などが主なフィールドとして取り上げられている。

一方、最近では「環境」という分野へのセンサネットワークへの取組みが始められており、日本が取り組むべき対象・分野として極めて有望かつ期待される場所である。しかしながら、温度・気圧などの計測が主たるものであり、環境を構成する鳥獣、特にその生態学的研究への応用については、未だに微々たる取組みしか見ることがない。これは、主に、研究者間の連携、情報ネットワークと鳥獣生態学の研究者間を結ぶ学際的研究の難しさに起因していると思われる。

動物生態学の分野では、従来から鳥獣の活動を観測するために様々な手法・機器を使ってきた。が、その機器は、例えば、鳥に GPS 付移動記録装置を付ける、サル・クマに無線発信器を付けて電波で捕捉する、というようなレベルに留まっている。つまり、単体レベルでの IT 機器の活用のレベルであり、情報ネットワークによって、常時、生態観測を行う、さらには鳥獣の被害対策に応用するという取組みにはいたっていない。

## 2. 研究の目的

本研究は現場において実用可能な観測情報ネットワーク技術の確立を目的とする。

## 3. 研究の方法

研究代表者と共同研究者は、平成 21 年 4 月から新潟県粟島において天然記念物のオオミズナギドリ (IUCN の Red List に記載されている) の研究に着手した。その最初の成果として、オオミズナギドリの帰巣検出に赤外線センサーが使えることを確認し、これを用いた帰巣頻度検出に目途をつけていた。

本研究では、まずは、このオオミズナギドリを対象としてセンサネットワークの検討と開発を行うこととした。ここでの最初の課

題は、オオミズナギドリを検出したセンサデータの処理である。ノイズの大きいデータから有意義な知見を得るための処理方法を開発する必要がある。また、風雨などの影響が厳しい営巣地 (島) において信頼度の高い無線ネットワークを構築する方法を開発する必要がある。

一方、センサネットワークの応用として、有害鳥獣への対策も重要な課題である。有害鳥獣を検出し、これを撃退するにはセンサネットは有効である。本研究では、信濃川・魚野川水系で内水面漁業に深刻な被害をもたらしているカワウやサギの検出と、検出した場合の撃退手法の検討と開発を行う。ここでの課題は、撃退装置を効率よく動作させるために、ネットワーク内でノード間の連携・同期を行う方式の開発である。

## 4. 研究成果

### 4. 1 オオミズナギドリ観測センサネットワーク

新潟県粟島におけるオオミズナギドリの営巣地をフィールドとし、センサネットワーク技術を活用した環境観測情報ネットワークの構築と開発を行った。

センサノードの省エネ・耐用性などを検討し、最近低コスト化が進んでいる ZigBee 技術を用いてネットワークを設計した。オオミズナギドリの営巣地である新潟県粟島の日本海側は断崖となっており、電波の見通しが非常に悪い。このため、ZigBee のマルチホップネットワーク技術を適用することとした。具体的には、分散する 8 つの巣にセンサノードを配置し、これを 2 ホップで道路脇に設置したサーバと接続するネットワークとした。2 ホップに伴いセンサノード～サーバ間の通信帯域が減少するが、観測には問題ないレベルであることを確認した。

鳥獣生態学へのセンサの適用としては、本研究の着手以前に、巣の入口に設置した赤外線センサでトリの帰巣をとらえることに成功している。しかし、赤外線センサでは個体 (オス・メス) の識別ができない。オオミズナギドリは雛のために餌を取りに日本海を北海道沖まで飛行し、その帰巣には数日を要することがある。また、飛行先と帰巣までの期間はオスとメスでは異なる、と想定されているが、定量的なデータは得られていない。

そこで、RFID を用いてオス・メス識別を行い、その帰巣パターンの観測を行うこととした。具体的には、耐水性実験も実施した結果、HF 帯を使用することとし、コイン型の RFID タグをプラスチックケースに入れてトリの足に装着した。ループアンテナを巣の入り口に配置したが、ループの大きさを巣の入口と同等とし、トリがアンテナに気付かないようにした。RFID リーダをセンサノードに接続し、タグデータを安定かつ継続して収集するシステムを開発した。(図 1 および図 2)

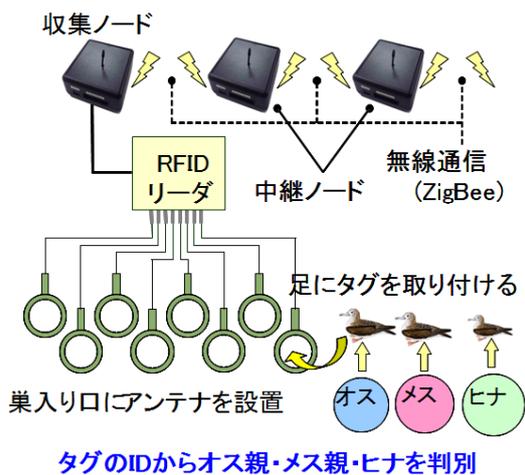


図1 オオミズナギドリ観測ネットワーク



図2 トリの足へRFIDタグ取付け(左)、および巣の入口へアンテナ配置(右)

本格的に新潟県粟島にネットワークを構築し、長期間のデータを取得するとともに、収集データの解析手法を開発した。特に、RFIDデータはトリがアンテナを通ったことは検出できるが、「内から外」か「外から内」は解らない。トリの生態学的知見も考慮して、RFIDデータから内巣・外巣状態を判定する方法を開発した。

これらのデータの解析から、以下の知見が得られた：平成23年と24年では、メスの帰巣パターンが異なる。メスは粟島近海で餌を取っているが、24年は日本海の海面温度が上昇し、餌のカタクチイワシが北上したため、メスが遠くまで餌を取りに行ったためと考えられる。日本海的环境変化がトリの生態にあたる影響を定量的に把握できたこととなる。(図3および図4)

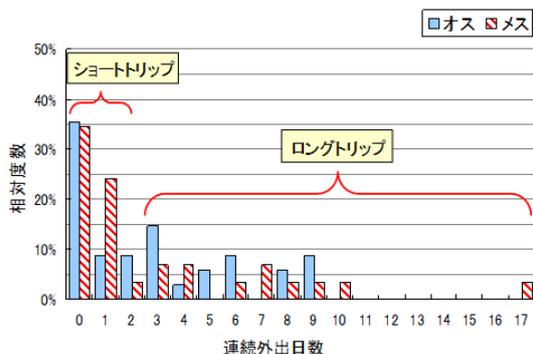


図3 平成23年の帰巣パターン

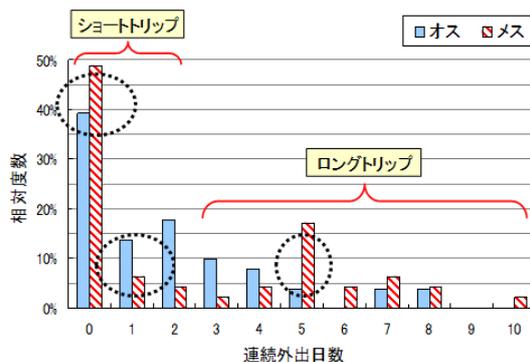


図3 平成24年の帰巣パターン

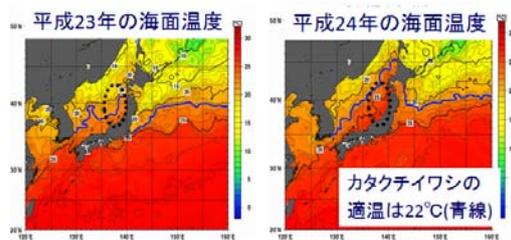


図4 海面温度の変化

海面温度に起因する帰巣パターンの変化は、餌の給仕パターンと量の変化となるため、雛の生育への影響、例えば個体数の減少へとつながる可能性がある。(オオミズナギドリは一つのつがいが一羽の雛しか生まない) 今後は、数年間にわたる観測が可能のようにセンサネットワークの堅牢性を高めるとともに、ITの専門家の補助なしに生態学の専門家のみで観測を運用できるシステムの研究開発を進める予定である。

#### 4.2 有害鳥の検知撃退センサネットワーク

環境観測では、センサによるデータ取得も重要であるが、取得データに基づいて何らかの制御を行うことで、有害鳥獣への対策などが期待できる。具体的なフィールドとして、信濃川水系のアユの漁場(築、と呼ばれる)や鮭が遡上する魚道で問題となっているカワウやサギによる捕食に対して、センサネットワークによる解決を図った。(図5)



図5 築(左)、および魚道(右)

これらのトリによる捕食は内水面漁業への経済的損失、河川の生態系への悪影響などから、近年特に問題が大きくなってきている。カワウやサギは賢く、単一の威嚇では慣れて

(慣化) しまって効果が長続きしない。そこで、プログラマブルなシステムによっていくつかの威嚇を行うことが有効であり、センサネットワークの応用として期待できる。

本研究では超音波センサを複数のアレイとして配置し、センサを1個ずつ駆動することでレーダのように走査する方式を考案した。この超音波センサアレイを用いて、トリを検出するシステムを開発した。超音波センサの検出によってトリのいる方向が把握できるので、そこに向けて音や光（および本学機械系研究室で開発中の氷銃など）で撃退する。（図6）

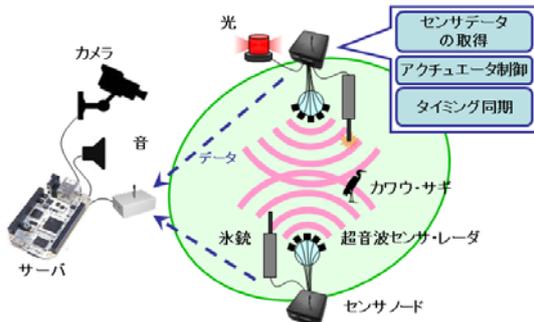


図6 有害鳥の検知撃退センサネットワーク

2 台のセンサノードから超音波センサを同時に使うとセンサ間で干渉を起こすため、正確にタイミングをあわせてセンシングを行う必要がある。そこで、ZigBee ネットワーク内の複数ノード間でタイミング同期を行う方式を考案した。同期方式がない場合は、ノード間のタイミングはドリフトしてしまうが、考案方式によって超音波センシングに十分な精度（2ms）の同期を実現した。（図7）

センサネットワークにおいて、複数のノード間でクロックを合わせるという利用例は少なくないと想定される。従来は各ノードにGPS を付ける、NTP を使うなどの方策であったが、本研究開発で実現した方式は、付加装置もインターネット接続も不要であり、また、ノードの処理能力も小さくて良いため、広く応用できると期待される。

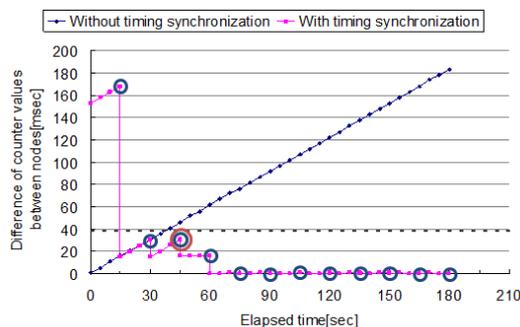


図7 センサノード間のタイミング同期

築や魚道の観測では、商用電源が利用できないことがほとんどである。そこで、ソーラ

パネルとバッテリーを用いて、商用電源なしで運用できるシステムを開発した。カワウやサギは人間がいるときは築や魚道に来ることはない。昼間にバッテリーを充電しつつ、センサノードをスリープして省電力運用を行えば、夜間や夕方・早朝にバッテリーのみでセンサネットワークは動作できる。（図8）

開発したシステムの実証実験を、平成 24 年に長岡市内の築で実施した。ソーラパネル・バッテリーを含めて、システムの動作を確認することができたが、豪雨による川の氾濫で築が崩壊し、実際のカワウやサギの検知と撃退の実験にはいたらなかった。平成 25 年以降、築の復旧あるいは魚道など他の実証実験の場所を得て、検知と撃退の実験を試みる予定である。



図8 ソーラパネルによるシステム

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

- ① 山本寛, 山本麻希, 山崎克之, “生態観測へのセンサネットワーク技術の応用,” 電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン, No. 26, pp. 102-110, 2013 年 09 月. (査読有) (電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン論文賞受賞)
- ② 山本寛, 倉園博樹, 山本麻希, 中村勝一, 山崎克之, “RFID によるオオミズナギドリ生態観測センサネットワークの開発と評価,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J96-B, No. 10, pp. 1186-1197, 2013 年 10 月. (査読有)

〔学会発表〕（計 10 件）

- ① 森川敦, 山本寛, 山本麻希, 山崎克之, “超音波センサと ZigBee による害鳥の検知・撃退システムの開発と評価,” 電子情

- 報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会, IA2013-80, 機械振興会館(東京都), 2014年02月28日。(査読無)
- ② A. Morikawa, H. Yamamoto, M. Yamamoto, K. Yamazaki, "Ultrasonic Sensor System for Ecology Observation and Timing Synchronization of ZigBee Network," Proc. IEEE ICACT2014, pp. 365-370, Phoenix Park, Pyeongchang, Korea, Feb. 2014. (査読有)
- ③ A. Morikawa, H. Yamamoto, K. Yamazaki, "Sensor Network System for Harmful Birds Attack," 電子情報通信学会信越支部大会 IEEE 信越セッション, 11B-3, 長岡技術科学大学(新潟県長岡市), 2013年10月5日。(査読無)
- ④ 高橋達也, 森川敦, 山本寛, 山崎克之, "Androidタブレットによるセンササーバの開発," 電子情報通信学会信越支部大会, P-7, 長岡技術科学大学(新潟県長岡市), 2013年10月5日。(査読無)
- ⑤ 倉園博樹, 山本寛, 山本麻希, 中村勝一, 山崎克之, "ZigBee と RFID によるオオミズナギドリ観測ネットワークの開発と評価," 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会, IA2012-73, 機械振興会館(東京都), 2013年02月14日。(査読無)
- ⑥ H. Kurazono, H. Yamamoto, M. Yamamoto, K. Nakamura, and K. Yamazaki, "RFID and ZigBee sensor network for ecology observation of seabirds," Proc. IEEE ICACT2013, pp.211-215, Phoenix Park, Pyeongchang, Korea, Jan. 2013. (査読有)
- ⑦ H. Kurazono, H. Yamamoto, M. Yamamoto, K. Nakamura, K. Yamazaki, "Proposal of RFID for Ecology Observation of Seabirds," 電子情報通信学会信越支部大会 IEEE 信越セッション, 10B-2, 新潟大学(新潟市), 2012年10月13日。(査読無)
- ⑧ H. Kurazono, H. Yamamoto, M. Yamamoto, K. Nakamura, K. Yamazaki, "A Study of ZigBee Sensor Network and RFID for Ecology Observation of Seabirds," Proc. AsiaFI2012, WS-05, 京都大学(京都市), 2012年08月20日。(査読有)
- ⑨ 倉園博樹, 山本寛, 山本麻希, 中村勝一, 山崎克之, "オオミズナギドリ観測のための ZigBee センサーネットワークの検討," 電子情報通信学会 2011 総合大会, 岡山大学(岡山県岡山市), 2012年3月22日。(査読無)
- ⑩ 倉園博樹, 山本寛, 山本麻希, 中村勝一, 山崎克之, "Arkas と ZigBee によるオオミズナギドリ観測システムの検討," 電子情報通信学会信越支部大会, 新潟工科大学(新潟県柏崎市), 2011年10月8日。(査読無)

[図書] (計0件)

[産業財産権]  
無し

[その他]  
無し

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山崎 克之 (YAMAZAKI, Katsuyuki)  
長岡技術科学大学・教授  
研究者番号: 00432097

### (2) 研究分担者

山本 麻希 (YAMAMOTO, Maki)  
長岡技術科学大学・准教授  
研究者番号: 90452086

### (3) 研究分担者

山本 寛 (YAMAMOTO, Hiroshi)  
長岡技術科学大学・助教  
研究者番号: 80451201