

侵入調査の遠隔化に向けた撮影・通信装置の開発

祐成 忍¹⁾

那覇植物防疫事務所

Study on Development of an Image-recording and Communication Device for Remote Pest Monitoring Surveys Shinobu Sukenari¹⁾ Naha Plant Protection Station, 2-11-1, Minato-machi, Naha city, Okinawa, 900-0001, Japan. ¹⁾Narita Sub-station, Yokohama Plant Protection Station

Abstract: The Plant Protection Station has been conducting surveillance to detect invasive pests harmful to agriculture and forestry, such as fruit flies, for about 50 years. However, most of the work is still done through field patrols and on-site approach to fieldwork.

In this study, we used IoT, which is already widely accepted as a “mature technology, “to develop a prototype device that uses a single-board computer to transmit images of the insides of traps. We then used the captured and transmitted images to test the accuracy in the identification of trapped individuals and whether it could reduce manual survey work. As a result, the performance of the device in terms of image clarity, operating time, and robustness was sufficient to contribute to the remote survey of traps. Hereafter, it was considered that maintaining the direction of this development and adding multifaceted studies and improvements would make it possible to introduce this technology in actual survey sites. The selection of the equipment, an overview of its mechanical and software operation, and its use are discussed.

Key Words: field patrol, IoT, remote survey of traps, single-board computer

緒 言

植物防疫所及び都道府県が実施する侵入警戒調査は、2023 年の改正植物防疫法の施行をもって「侵入調査事業」とされたが、本質は 1970 年代後半の調査の開始（山下、1985: 横浜植物防疫所、2017）から一貫しており、対象地域内に存在しない重要病害虫の侵入を早期に察知し、より詳細な調査や防除を講じるために実施されている。

侵入調査は、空海港など病害虫の侵入リスクが高いと考えられる地点において、ミカンコミバエ種群をはじめとするミバエ類、アリモドキゾウムシ、コドリंगा、火傷病菌などの有害動植物を対象として行われており、その代表的かつ効果的な手法として、トラップ（わな）の利用があげられる。国（植物防疫（事務）所及び小笠原総合事務所）による調査で用いられるトラップの種類は、スタイナー型、マクファイル型、ジャクソン型、漏斗型などであり、設置数はそれぞれ 954、85、177、100 となる（横浜植物防疫所、2017）。

トラップを用いた調査の手順は、設置したトラップに対し、

①設置地点までの移動、②トラップ内部の害虫等の回収及び識別、③誘引剤等の交換、④（必要であれば）内部の清掃、となる。このうち③は月に 1 回、それ以外は原則的に月に 2 回実施される。

トラップは、特異性の高いフェロモンなどの利用によって対象害虫種を効率よく捕獲できるが、侵入調査の場合は対象が未発生害虫となるため、捕獲は稀であり、ほとんどの場合、作業者は空、あるいは対象以外のものしか入っていないトラップを巡回することとなる。そして、例えばミカンコミバエ種群やウリミバエなどの誘殺剤であるユーゲルア D（サンケイ化学社製）には、外観が類似する在来種であるミスジミバエやサタミバエなども誘引されるため、これらの識別が必要となるほか、誘引される昆虫を摂食あるいは持ち去るアリやクモといった生物種もよく見られる。

しかし、調査自体は作業者の巡回抜きには成り立たず、Preti *et al.* (2021) や平藤・渡邊 (2009) が指摘するように、人間による巡回確認の手法は、多くの労力を必要としながら、調査の範囲及び単位時間あたりの効率は低いと考えられる。

¹⁾横浜植物防疫所成田支所

このような「現場や現物を直接確認するために作業者の移動が伴う業務」は、農業分野にとどまらず、他業種にも普遍的にみられ、その効率化は大きな命題となっているが、これを解決する概念のひとつに「Internet of Things (IoT)」がある。IoTは「モノのインターネット」の訳語のとおり、あらゆるモノがインターネットを通じてつながることによって実現するサービスやそれを可能とする要素技術の総称で、ここ数十年で着実に進展・浸透・成熟しており、スマートスピーカーのような製品が一般的になるなどの例があげられる。

今般、筆者はIoTを利用し、誘殺虫の撮影ならびに画像の送信を行うトラップ用の遠隔監視装置の作製と試用を行ったので、これについて得られた知見等を報告する。

材料及び方法

1. 遠隔装置 (ハードウェア)

遠隔装置は、藤澤ら (2017) 等を参考とし、市販パーツ等での試作を経たのち、メカトラックス株式会社に作製を依頼した。当該装置の機構部分は、Raspberry Pi 3B をメインに、カメラモジュールとして RASPBERRY Pi CAMERA MODULE V2 (ともにラズベリーパイ財団製)、通信機能と電源管理パーツは専用ボードである 4GPi 及び slee-Pi3 (ともにメカトラックス株式会社製) を組み合わせており、電源は単三アルカリ乾電池 (8 本) とし、これらを防水防塵ケース (PC-1060 Micro Cases、Perican 社製) 内に金属板で固定・格納したものである (Fig. 1-a)。カメラはケース底面を通して撮影するようになっており、一部の機体には撮影補助のために白色 LED 照明付き基板 (メカトラッ

クス株式会社製、オーダーメイド品) を装着した。装置外寸は 210×108×57mm、電源込み重量と価格は 900g・約 9 万円 (LED 付き 920g・約 10 万円) である。

このほか、動作に必要な SD カード (16 あるいは 32GB、OS : Raspberry Pi OS) 及びデータ通信用 SIM カード (NTT docomo 社、4G 回線) を使用した。

2. 遠隔装置 (ソフトウェア)

装置の動作プログラムは、Raspberry Pi OS に付随する Bash を用いたシェルスクリプト等で構築し、①指定日時に起動し、カメラ撮影を実施。②撮影画像を SD カードに保存するとともに、4G 回線を通じて指定されたメールアドレスに送信。③次の起動日時まで電源を遮断するサイクル (①～③の動作を以下「間欠駆動」という。) とし、これを電源電圧値が 9,000mV を下回るまで繰り返すものとした。なお、LED 基板を有する場合には、撮影時の照度に応じて LED が点灯する。

間欠駆動はいくつかのパターンを選択できるようにしたが、月に 2 回となっている侵入調査よりも頻度を上げ、くわえて屋外設置時の悪天候やトラップの揺れなどによる画像取得の不備に備え、「月・水・金曜日の週 3 回 (AM10:00)」を標準とした。

3. トラップ部分と装置への取り付け

遠隔装置はトラップに取り付けて利用することを想定していたものの、現在、植物防疫所で用いているスタイナー型トラップ (要元ら、2006) をそのまま用いた場合、誘殺剤の保持部分がカメラ正面に位置し、撮影の妨げになること、誘殺された虫体がカメラ画角に収まらない可能性があること、また、

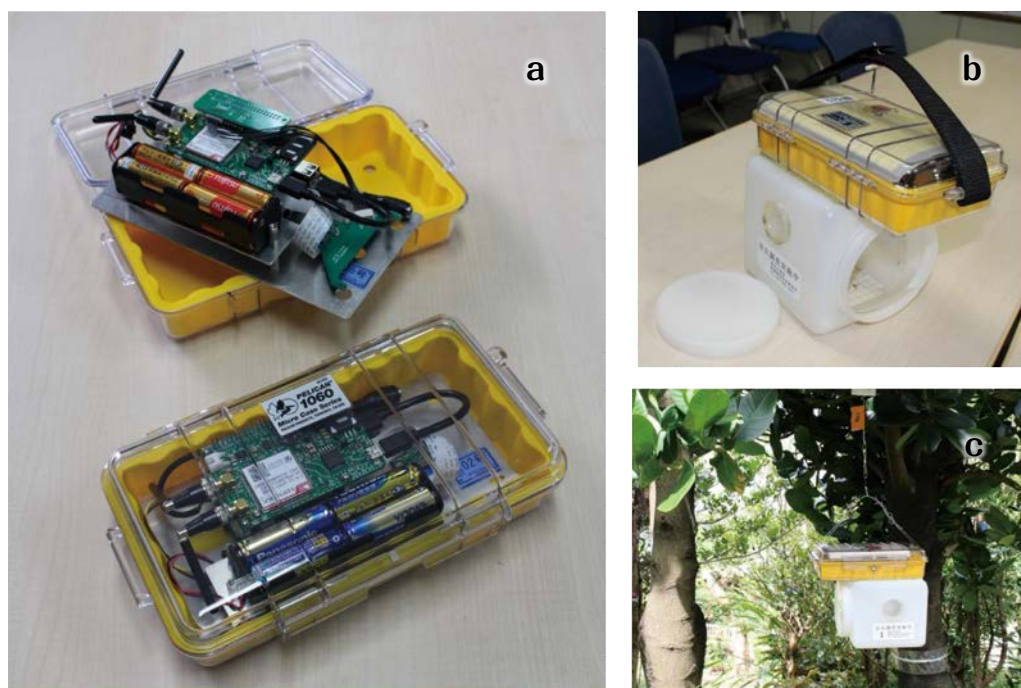


Fig.1 (a) Remote devices. (b) Trap attached to the device. (c) Devices and trap suspended from a tree.

円筒形のトラップに装置を固定することが難しいことなどから、装置の検証用として仮のトラップを作製した。当該トラップは白色ポリエチレン製の角型容器（近畿容器株式会社製、外寸 142×142×173mm）を用い、スタイナー型と同様にミバエ誘引通路となる 2 か所の開口部を側面に、撮影用の開口部を上部に設けた。また、内部には誘殺剤保持のためにコイル状にした $\Phi 1.2\text{mm}$ ステンレス針金（トラスコ中山株式会社）を有する構造とした。ミバエ誘引通路及びステンレス針金はカメラの画角に干渉しない位置とするとともに、底部分には、誘殺虫のサイズ等を判別しやすいように、1cm 方眼を印刷した紙をラミネート（Fllowes 社 A4・80 μ ・マットタイプ）したうえで加工したものを敷いた。

装置とトラップは、接着剤（ボンド G クリヤー、コニシ株式会社製）及びホットメルトスティック（イチネン MTM 社製）を用いて固定した（Fig. 1-b）。

4. 装置の動作確認・試用

遠隔装置の動作条件の検討を、上述のトラップに装着した状態で行った（Fig. 1-c）。主な確認項目は、①撮影画像によるミバエ類の識別の可否及びファイルサイズ、②動作・通信の安定性、③駆動可能回数、④耐久性とした。ミバエ類の識別は、侵入調査用の誘殺剤に反応する種のうち、那覇植物防疫事務所で利用可能なミカンコミバエ、ウリミバエ及びミスジミバエを対象とした。同事務所室内では、農林水産大臣の許可を得て飼育している前 2 種（許可指令番号：農林水産省指令 63 那植第 1286 号および 3 那植第 139 号）の死虫をトラップ内部に 10～15 頭程度置いた状態で撮影した画像を、野外ではウリミバエ（沖縄県が放飼している不妊虫）及びミスジミバエ（在来種）が誘殺された状態の画像を、ともに侵入調査の経験がある複数の職員が確認することで行った。野外での主な設置場所は那覇市内の公園及び小笠原諸島母島とし、ともに 3 台を約半年間設置した。

結果及び考察

1. 撮影画像

画像による昆虫の識別には、対象の色や大きさ・形態などに応じた解像度と鮮明さが必要であり、ミバエなどの小型の昆虫では高い画質が良いとされている（Preti *et al.*, 2021）。本装置では撮影時の設定を約 51 万画素（800×640 ピクセル）、画質 85 とし、ファイルサイズを 300kB 程度に抑えながらも、虫体の重なりなどがなければ、対象とした種の識別が可能であった（Fig. 2）。また、日没直後程度の明るさである 60lx でも十分な画質で撮影できたほか、LED 基板があれば、暗黒下でも同様の像が得られた。一方で、日光が直射した場合には、いわゆる白飛びが発生したが、これに対してはトラップが本来日陰に設置されること、また、撮影時刻の調整や、トラップの構造を考慮することなどで回避できるため、問題にはならないと考えられた。撮影に際しては、判別対象に焦点が合うことも重要である。今回、オートフォーカスのモジュールは採用していないが、これは対象以外へのフォーカスを避けるためである。粘着捕獲式や誘殺型のトラップでは、対象となる虫体は平面上に定位されるため、設置時の調整が適切であれば得られる像は鮮明となる。

なお、本装置の撮影可能距離は約 2cm～ ∞ 、画角は 62.2×48.8°（28mm）であり、レンズ前面からの距離 5cm の撮影範囲は約 6×7cm、距離 10cm で 10×13cm、距離 15cm で 15×18cm であった。

2. 動作・通信の安定性

本装置の稼働回数は LED を毎回点灯させた場合でも 250 回、点灯なしでは 300 回を上回った（Fig. 3）。これは週 3 回の画像送信であっても 1 年半～2 年近くは電池交換が不要であり、藤澤ら（2017）が示すとおり間欠駆動による節電効果は顕著であると考えられた。装置作製の構想初期には太陽電池パネルやリチウムイオン電池も電源の候補となったが、上述の稼働回数が

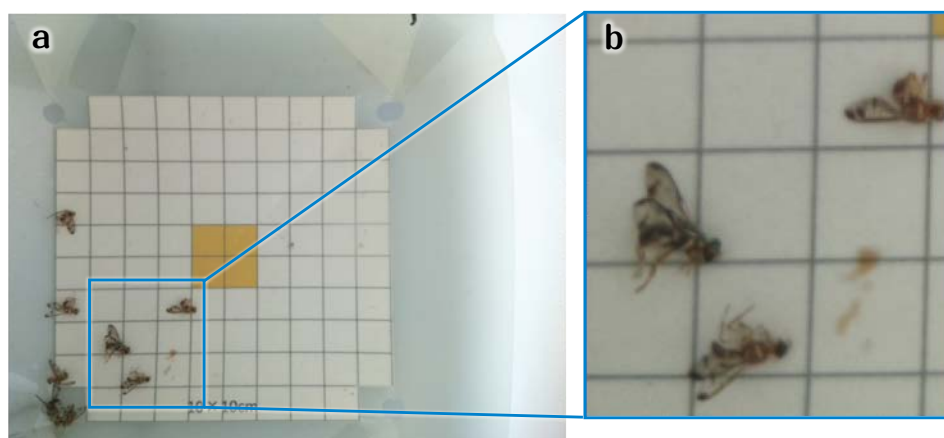


Fig.2 (a) Images in the trap captured and transmitted by the device (File size: 261 KB).
(b) Enlarged image. On the left is a *Bactrocera scutellata*, the two on the right are *B. cucurbitae*.

実用上十分であること、ともに単価が高く、前者は日陰に設置されるトラップに装着しても効率のよい給電が見込めず、受光のために分離式とした場合には装置外装にケーブル用の貫通孔を設けるなどをせざるを得ず、耐久性能が損なわれること、後者は衝撃や劣化などによる発熱や発火の懸念から除外した。

通信可能範囲は、使用する SIM の回線サービスに依存するが、今回は小笠原諸島母島の港周辺地域であっても、問題なく画像が取得できた。日本国内であれば、いずれの大手通信会社も人口カバー率が高いこと、侵入調査自体が道路や航路から大きく外れるような地点を想定していないことから、通信会社のサービスエリアや山影/島影といった要因に留意する必要があるものの、現在のほとんどの調査地点で運用が可能であると推測される。

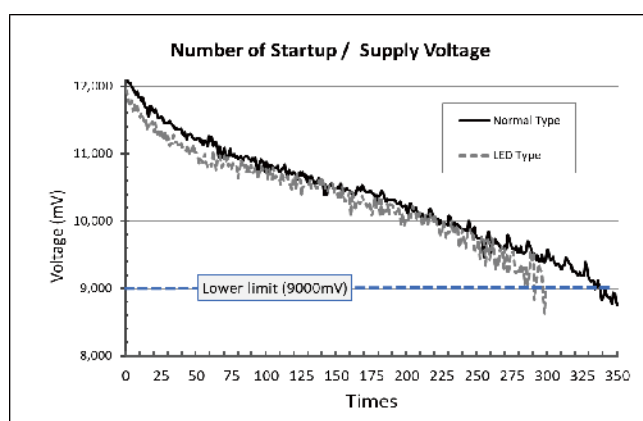


Fig.3 The relationship between number of startups and power consumption

なお、遠隔地からのデータ送信技術には今回のような携帯電話回線のほかに、より低コストの「LPWA (Low Power, Wide Area)」があるものの、その規格のほとんどが今回のような数百キロバイト程度のデータであっても送信に向かない低速通信であるため(総務省(2018))、現時点では不向きであると判断した。屋外での検証中、設置当初などに撮影・送信不良が3件、電池の液漏れ及び画像の明確なノイズが1件ずつ発生した。これらはそれぞれSDカードデータの不備、外装ふたの密閉が不適切及び撮影時に装置が揺れにより木の幹に当たることが原因と考えられたため、それぞれ対策をしたところ再発はなかった。

3. 耐久性

野外の設置では、通常の調査では好ましくない日当たりのよい場所も含まれていたが、装置に目立った損傷はなかった。本装置の外装ケースは、JIS規格(JISC0920)における防水防塵性能でIP67であり、穴あけ等の加工を施していないため、豪雨などの悪天候を経ても影響はなかった。実際の運用では台風の接近時には一時的に回収などを行っているため、仕様としてはIPX5もしくはIPX6でも十分と考えられる。

また、使用したすべてのパーツの動作可能温度域を確認した

結果、5℃～45℃であった。低温度域に関しては、侵入調査自体が5℃になるような期間には行われなため問題とならないが、高温環境での安定動作を考慮し、外装の色や設置場所の工夫など装置温度の上昇回避(Preti *et al.*, 2021)が必要になるかもしれない。

4. 調査の省力化及び効率化の可能性と今後の課題について

遠隔化による省力化は、設置現場が遠く、かつ、目的のミバエ類以外に誘引剤に反応する生物がいない場所が最も効果がある。上述の小笠原諸島母島はこの条件によく合致し、同諸島では1985年のミカンコミバエの根絶以降、ミバエ用トラップに誘殺される昆虫類がほぼいない。遠隔型への置き換えに際しては、装置本体、通信、電池の費用が新たに発生するが、装置の故障等がなければおよそ1年でこれら費用を相殺できる試算となる。また、これ以外の地点でも、①トラップになにも捕獲されない、あるいはミスジミバエなどが少数しか誘殺されない、②トラップまでの移動時間や費用が大きい、といった条件があれば、複数年の運用で十分に経費圧縮になると考えられる。また、現行の侵入調査よりも高い頻度でトラップ内部を確認することで、対象ミバエの可能性が高い虫体が映っていた場合、実際の誘殺日から初動までの時間が短縮され、さらに誘殺地点に防除資材を携えた状態で向かうなどの効率的な防除体制の構築につながるものといえる。

一方、遠隔装置の導入により、従来とは異なる懸念が浮上する。例えば、送信画像で対象となるミバエが確認されたものの、その後の巡回では虫体が回収できないケースなどである。これはアリなどによる虫体の持ち去りや、何らかの理由による虫体の逸出が考えられる。これまではこうした痕跡が確認できずに「誘殺なし」となっていた事象が認識されること自体は監視網の強化という捉え方ができる一方、画像のみ、すなわち現物である虫体の確保なしに、防除活動などの対策を講じるか否かの問題が生じる。想定される業務シナリオの洗い出しと十分な協議のうえで、意思決定の基準や手順等を定めておくべきである。

また、トラップを遠隔化できたとしても、現場巡回の頻度は誘引剤持続期間に左右されることになる。海外ですでに用いられているような長期間持続する誘引剤の導入が望まれる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、大阪府立環境農林水産総合研究所の金子修治博士(現在:静岡県立農林環境専門職大学教授)及び新潟県農業総合研究所作物研究センターの岩田大介主任研究員にはトラップや装置の要件、設置、その運用等に関する様々な知見をご教示いただいた。また、メカトラックス株式会社の皆様には、当該装置の開発ならび製造に関し、多大なるご尽力ときめ細やかなサポートをいただいた。くわえて、国土交通省小笠原総合事務所の職員には、装置の屋外設置にご協力をいただいた。この場をお借りして厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 藤澤功・Erick Chandra・出口利憲・田島孝治 (2017) Raspberry Pi を用いた環境モニタリングシステムとその長寿命化. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集: 1285-1290.
- 平藤雅之・渡邊朋也 (2009) 将来技術フィールドサーバ及び電撃殺虫器を用いた害虫発生予察システム. 生物機能を活用した病害虫・雑草管理と肥料削減. 最新技術集 農研機構茨城 日本: 129-132.
- Preti M., F. Verheggen, and S. Angeli (2021) Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations. *J Pest Sci.* **94**: 203-217.
- 総務省 (2018) LPWA に関する無線システムの動向について (オンライン), 入手先 < https://www.soumu.go.jp/main_content/000543715.pdf >, (参照 2025-01-22)
- 山下光生 (1985) 植物検疫 70 年年表. 植物防疫 39(5): 232-236.
- 要元伸夫・稲垣直・宮崎勲・大賀重幸・志岐康子・田中洋 (2006) 食品保存容器を使用したミバエ用トラップの誘引力比較試験. 植物防疫所調査研究報告 42: 67-68.
- 横浜植物防疫所 (2017) 植物防疫情報 24 号: 1-2.

