

農工連携によりカモのポテンシャルを引き出す新アイガモ農法の研究

カモの群れのモニタリング及び行動制御に向けた基礎的研究

山本聡史¹, 間所洋和², 渡邊貫治³, 西口正之³, 保田謙太郎⁴, 露崎浩¹

¹ 秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科

² 秋田県立大学システム科学技術学部知能メカトロニクス学科

³ 秋田県立大学システム科学技術学部情報工学科

⁴ 秋田県立大学生物資源科学部フィールド教育研究センター

アイガモ農法は水禽を水田に放飼することにより雑草抑制と害虫防除を図る有機農業のひとつである。同農法を導入した場合、コメの販売価格が高く経営の安定化が期待でき、カモが人間に代替して作業を行うという省力化の点で人口減少と高齢化が加速度的に進み労働力の確保が大きな課題となっている秋田県において極めて魅力的な農法といえる。しかし、放飼後のカモの行動範囲や移動経路はカモまかせであり、農薬に比べて均一かつ安定した効果が期待できない。そこで、農工連携による新たな切り口からのアプローチを試み、カモの潜在能力を引き出す新アイガモ農法の確立を目指した。雑草抑制や害虫防除をしてほしい任意の区域にカモを移動させるような先導ロボットによる群れ行動の制御手法を検討するとともに、区画内のカモの群れの位置や行動内容を把握するため、音声に着目したモニタリング手法に関する基礎的な調査を実施した。さらに、フィールド教育研究センターの水田 60a でアイガモ農法を行い、ドローンの空撮などにより踏み池の発生について調査した他、雑草抑制効果や収量などを評価した。

キーワード：有機農法, カモ, 音声, 刷り込み, 先導ロボット

わが国では 2018 年に減反政策が廃止され、コメの産地間競争が一層シビアになりつつある。全国有数のコメの産地の秋田県においても、食の安全・安心を確保するとともに、消費者ニーズに適合するコメ作りを行わなければならない。有機農業は、農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減するため、化学的に合成された肥料及び農薬を一切使用せず、自然が本来有する生産力を活かす農業であり、市場の一定の評価を受け、農産物の高付加価値化の有効な手法となっている。

アイガモ農法は、水禽を水田に放飼することにより雑草抑制と害虫防除を図る有機農業のひとつであり、同農法を導入した場合にコメの販売価格が 60kg 当たり 2 万円～3 万 5 千円と慣行の 1 万 2 千円/60kg を大きく上回る事例があるなど、経営の安定化が期

待される。一般に、有機農業は農薬を使用しない分、雑草の防除作業や栽培管理作業において慣行農作業よりも多くの労働力を要するが、アイガモ農法ではカモが人間に代替して作業を行う。この省力化の点で、人口減少と高齢化が加速度的に進み、労働力の確保が大きな課題となっている秋田県において、極めて魅力的な農法といえる。しかし、アイガモ農法の問題点として、群れが水田内の特定の場所に偏ることが多く、苗が踏み倒されてイネが生育しない「踏み池」が発生する一方、カモの行動範囲外の区域で雑草抑制効果が得られないことなどが挙げられる。また、カラスやトビなどの天敵によるカモの雛の損失も深刻な問題となっている。

本研究では、秋田県内のコメ生産者の経営安定化に資するため、省力的な有機農業であるアイガモ農

法の諸問題に対し、農工連携による新たな切り口からのアプローチを試み、カモの潜在能力を引き出す新アイガモ農法の確立を目指す。なお、大潟村の生産者はアイガモと比較して身体が小さく運動量が多いマガモを用いているので、今回マガモを研究対象とした。具体的な研究内容として、雑草抑制や害虫防除をしてほしい任意の区域にカモを移動させるような先導ロボットによる群れ行動の制御手法を検討するとともに、区画内のカモの群れの位置や行動内容を把握するため、音声に着目したモニタリング手法に関する基礎的な調査を実施した。さらにフィールド教育研究センターの水田 60a でマガモ農法を行い、ドローンの空撮などにより踏み池の発生について調査した他、雑草抑制効果や収量などを評価した。

ロボットを用いたカモの群れ行動制御

マガモ農法のカモの群れを観察した結果、餌の探索時に一定の範囲に広がることはあっても、不特定の一部のカモが行動を起こすと残りのカモが追従することが多く、群れが散逸することはなかった。こうしたカモの行動特徴を踏まえ、群れの先導手法を検討した。

マガモ先導ロボットの試作と走行実験

カモの先導に用いる自律走行ロボットの稼働環境は、水深5~20cmでイネの条間30cmの水田である。イネは茎が分げつして株が大きくなり、葉が前後左右に広がりながら成長する。ロボットが移動する際、本体とイネとの接触を最小限にするため、幅だけでなく、高さに対しても制約が生じる。走行する土壌がぬかるみ、不整地かつ水中であることから、防水性に優れ、本体サイズが A4 用紙に収まる程度の小型ロボットを構想した。最初に要求設計のサイズを満たすロボットを設計したが、駆動部に強度面などの問題があったため、タンクトラックサスペンションシステム (TS100-MT) をプラットフォームとして選定した。

ロボットの防水対策として、TS100-MT のクローラ部にあるモータ用と上部に積載するマイコンなどの電装系用の2種類の防水容器を設計した。電装系

の防水容器を支える4本の柱は上下にスライドする機構を備えている。このスライディング機構により、本体が水中に入っても防水容器は浮力で浮き上がり浸水しない。材料には ABS 樹脂を用いた。防水容器のサイズは全長 210mm, 全幅 163mm, 全高 120mm である。容積から求められる浮力は 50mm の喫水に対して 1.68kg 積載でき、マイコンやバッテリーを積載しても、十分に浮く。また、ロボット本体部となる防水容器が水田の水深に応じて浮力で上下する構造により、成長したイネの葉に接触する可能性を低減できる。モータは防水容器に格納して、グリスボックス及びシャフトを介してクローラの駆動輪と接続する。なお、本プラットフォームでは、プーリを介さずに、モータシャフトが駆動輪と直結で接続される。防水容器のサイズは全長 81mm, 全幅 38mm, 全高 43mm となる。

モータ制御システムとしてマイコン (Raspberry Pi 3 Model B) を使用し、モータドライバ (DC Motor driver 2× 15A) を経由して2機のモータをパルス幅変調の PWM を用いて制御する。今回マニュアル操作を行うための Web ページを作成し、ルータを介して走行実験を行ったが、将来的には自律移動を目指している (図 1)。

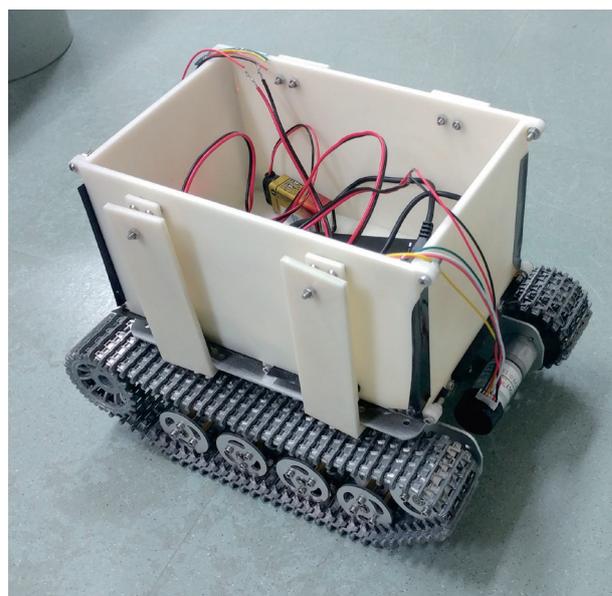


図1 試作したマガモ先導ロボットのプロトタイプ

砂利及び雪上で走行実験を行った結果、すべて命

令通りに走行でき、モータ制御プログラムの正確性を確認した。しかし、左右のモータに回転差が発生していた。そのため、直進しているにも関わらず、実際には左右にずれていた。このモータには回転数をフィードバックする機能がある。この機能を利用して、マイコンが補正量を計算すれば、回転差によるずれをなくせる。また、凹凸のある悪路走行では、5cmの段差をこえる際は時間を要したが、クローラベルトが停止するほどモータトルク不足はなかった。当初は、ロボットの重さに対しモータのトルク不足を懸念していたが、走行実験から交換の必要性はないことを確認した。

以上、30cmのイネ間を走行する小型ロボットのプラットフォームについて要求仕様や既存のパーツの利用を検討しつつ、設計変更を繰り返して、先導ロボットの最適化を行った。また、バッテリーやマイコンなどの電装系の防水容器を考案し、防水試験を通じて実使用の見通しが得られた。さらに、無線通信機能を装備して、遠隔操作による砂利道と雪上での不整地走行実験を実施し、走行可能な段差を含めて、走行性能を確認した。今後は、水中での走行実験や、自律移動のための制御や広域通信環境の装備に向けた検討を進める。

マガモの誘導技術の解明

カモを効果的に誘導する方法として、刷り込み、フェロモン、餌の利用の3種類を考えた。刷り込みとは、孵化後の短い期間に初めて受容した刺激（親鳥の姿や鳴き声）に対して、恒常的な接近・追従反応を示す現象のことである。この性質を利用して、孵化直後～1週間後のカモの雛に誘導ロボットを刷り込み、追従させることを試みた。次に、フェロモンによる誘導を検討した。フェロモンとは、生物内が体内で生成して体外に分泌後、同種他個体に一定の行動や発育の変化を促す化学物質の総称である。主に昆虫がコミュニケーションをする際に用いる。餌による誘導では、誘導ロボット上に餌箱を置き、餌に近寄るカモをそのまま誘導する。

刷り込み実験（図2）では、マガモの卵18個を孵化装置に入れ、孵化させた。1羽目が孵化した直後からカモの模型の刷り込みを始めた。模型を動かして

いると、歩けないながらも腹ばいで追いかけた。ゲージで模型と一緒に放置すると、30分置きに鳴き、その度に模型を動かすと鳴き止んだ。2羽目の雛が孵化した後、1羽目の雛と同じ刺激動作を与えた。1羽目のいるゲージへ移動した時、1羽目は2羽目の雛に興味を持ち、体を突いていた。模型を雛たちの前で動かすと、たまに見て、寄るなどしたが、2羽目の雛をそのまま突いていることが多かったことから、模型より2羽目の雛に関心を示していた。2羽目の雛の間に仕切りを作り、お互いを見えないようにすると、どちらも仕切りを越えようしていた。2羽目の雛は模型と一緒にいる時間が少なかったのか、1羽目の雛より刷り込みへの反応が少ないようであった。

孵化から3時間ほど経っている雛3羽に、ラジコンカーに搭載したカモの模型を見せて、追いかけるかどうかを観察した。ラジコンをゆっくり走らせていると雛たちは追いかけて来た。徐々に速く走らせても追いかけた。



図2 刷り込み実験の様子

孵化から1週間ほど経過した雛7羽にカモの模型を20秒程度見せた後、手を使って模型を動かした。雛たちは模型を見ると、鳴いて逃げた。マガモは孵化後15時間で感受期の頂点に達し、その後は刷り込みの習性獲得が低下する。孵化後1週間では完全に臨界期を越えており、刷り込みの無効化を確認した。

刷り込み実験の結果、孵化後1週間の臨界期を越えた雛は、孵化後数時間程度の雛に比べて、模型への関心が薄かった。孵化したばかりの雛たちを同じケージに入れて過ごす時、鳴いて動き回る雛は刷り込みやすいため、雛同士で刷り込みが発生する。雛

同士を引き離し、刷り込む物体と同じ空間で過ごす時間を多くした方が、強く刷り込まれると考えられた。また、雛がゲージに1羽でいた時に、大きな声で鳴き続けていたことから、1羽ずつ刷り込みを行うのが効果的と考えられた。

合成性フェロモン剤に誘引された虫を粘着版などで捕まえるフェロモントラップをマガモに応用できないか検討した。しかし、鳥類は主に視覚、聴覚を使ってコミュニケーションを行うため、嗅覚は比較的鈍感であることから、フェロモンを使った誘導は難しいと見込まれた。直接的にマガモにフェロモンを利用するのは難しいが、マガモの雑食である習性を利用して、誘導ロボットにフェロモントラップを取り付け、集まった昆虫を餌に誘導させる間接的な利用法について考えたが、雛は昆虫をすばやく追跡し、摂食を試みるが、成鳥は昆虫にほとんど興味を示さないことから、水田に放した直後の効果は期待されるものの、時間が経つにつれ効果が薄くなることが懸念された。

誘導ロボットに餌箱を置き、餌につられてカモを誘導する方法を検討した。刷り込みを行っていない生後6ヶ月の成鳥のマガモ9羽に対し、餌をUGVから与える餌学習を行い、マガモが餌を求めてUGVを追従する行動を示すかどうかの実験を行った。実験は、UGVや餌箱の位置、餌を好物に変更するなどして計10パターン行った。1~8回目の実験では警戒心が強くUGVに近づかなかったが、9回目の実験ではUGVに設置されている餌箱から餌を食べるようになった。当初の想定以上に成鳥のマガモは警戒心が強いことから、時間をかけて警戒を解かなければならないことが分かった。警戒を解き、慣れさせるには、最低でも2日かかることが分かった。また、カモはお腹が空いた時に近づいて食べていたため、餌を利用して常に追従させることは困難であると考えられる。また、カモが餌を食べている最中にUGVを動かすと、徐々に警戒が解けたことから、無害であると分かれば常時動かしても警戒しないと考えられる。

以上、カモの群れを効果的に誘導するため、刷り込み、フェロモン、餌の3つの要素について調査し、孵化後間もない雛に刷り込みを行うと早い段階で追

従するようになるが、孵化後1週間の雛は模型を警戒する様子が見られたことから、孵化直後から刷り込みを行うことの重要性を確認した。また、フェロモンによる誘導は、嗅覚が優れていないマガモには困難であるが、フェロモントラップに反応して近づいた昆虫を餌としてマガモを誘導する間接的な方法の可能性を考えた。刷り込みを行っていない成鳥のマガモは、警戒心が強いため、誘導ロボットを慣れさせる必要がある。誘導には至らなかったものの、慣れるための時間を置くことでカモに餌を誘導ロボットから食べさせることに成功した。誘導を行うには雛の時期に刷り込みを行う必要性を確認した。今後の課題として、孵化直後に雛に誘導ロボットの刷り込みを行い、飼育の際には、雛同士で過ごす時間よりも、誘導ロボットと過ごす時間を増やすことで、刷り込みの効果が強くなるのかを検証する必要がある。また、成鳥になったマガモを誘導することは容易でないことから、刷り込みを行ったマガモの雛に対し、再度、餌による誘導実験を行い、その有用性を検証する必要がある。

カモの音声モニタリング技術の開発

マガモ農法においてカモの群れを先導する技術とあわせて、群れの状況をモニタリングする技術が必要である。本研究では音声に着目し、位置の推定手法や音声の特徴の解明を試みた。

カモの群れの位置情報の推定手法

本研究ではマイクロフォンアレイと遅延和ビームフォーミングを用いてマガモの鳴き声による音声情報のみから位置推定を試みる。スピーカからマガモの鳴き声を再生することにより、実環境で擬似的な実験を実施し、提案手法による推定精度の評価を目的とする。

製作した実験装置(図3)は、全長・全幅・全高がともに1200mmのマウントを設計し、アルミフレームを使って組み立てるとともに、32本のマイクロフォンアレイを積載した。電源は12Vのディープサイクルバッテリーから供給する。実験装置は全て交流100Vのため、インバータを使用した。アンプの

Antelope MP32 と A/D コンバータの Antelope Orion32 は一体型となっている。Antelope MP32 は、マイクロフォンアレイからの録音音声を実アナログ信号で入力しその信号を増幅し出力する。入力は、32 チャンネルに対応している。Antelope MP32 と Antelope Orion32 の間はパラレル伝送である。Antelope Orion32 は録音音声を実アナログからデジタル信号に変換し、シリアル伝送で USB 接続された PC に音声データを保存する。

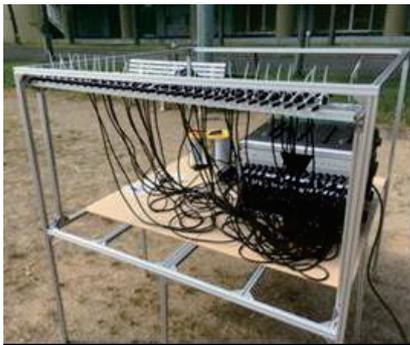


図3 マイクロフォンアレイ

2018年8月29日と11月1日の2回に分けてデータ取得を行った。場所は秋田県立大学本荘キャンパスの野球グラウンドである。天気は両日ともに曇りであった。マイクロフォンアレイの正面30m四方の矩形内にスピーカを設置し、マガモの鳴き声を再生した。スピーカは1台のため、再生と録音毎に移動させた。音圧は80dBとし、録音時間は22秒間とした。マイクロフォンアレイの設置数は1台とした。音源位置が19箇所存在するため、スピーカ設置から録音終了までは、同じ手順を繰り返した。

推定実験の結果、音源方向が0度(4箇所)、18度(1箇所)、45度(2箇所)、-63度(1箇所)、-41度(1箇所)、-18度(1箇所)の合計10箇所において誤差0度で音源方向を検出できたが、マイクロフォンアレイ1の死角になる範囲やマイクロフォンアレイ1より右側地点では検出精度が低減する傾向があった。

今後の課題として、マウントの小型化と実験装置全体の防水対策を検討し推定実験に基づき、マイクロフォンアレイ2台の実測による評価実験を行う。また音声情報と視覚情報の双方からマガモを検出す

るシステム構築も検討する。

カモの音声の特徴解析

マガモ農法において音声によるカモの群れのモニタリングを精度良く行うため、音声の特徴を把握する必要がある。そこで、マガモの0~10週齢までの音声の変化を解析した。5月4日に孵化した3羽のマガモを素手で拘束し、上下に振るなどの刺激を与えて強制的にディストレスコールを発声させ、5月8日~7月6日まで週1回スマートフォンを用いて30~50cmの距離で動画を撮影し、録音と同時に体重測定を行った。音声解析ソフトを用いて録音データから単位音のパワースペクトルとサウンドスペクトログラムを作成し、成長による単位音の変化について観察した。さらに、単位音のフォルマントを読み取り、体重の増加とフォルマントの値の変化の関係について解析を行った。その結果、1週齢と3週齢のパワースペクトルでは倍音構造を示す大きなピークがあるが7週齢と10週齢ではそのような構造がみられなくなった。サウンドスペクトログラム(図4)では、特に5週齢から7週齢にかけて単位音の構造に大きな変化があった。第1フォルマントと体重の関係について解析を行った結果、第1フォルマントの値が体重の増加とともに減少し、それぞれの決定係数がA個体では $R^2=0.87$ 、B個体では $R^2=0.85$ 、C個体では $R^2=0.91$ であった。第1フォルマントと体重の関係から「音声解析により給餌量を決める」といった新たな飼養管理技術の可能性も考えられた。これらの結果から、マガモの群れをモニタリングする際にはヒナの成長による声の変化に留意する必要があることが明らかとなった。

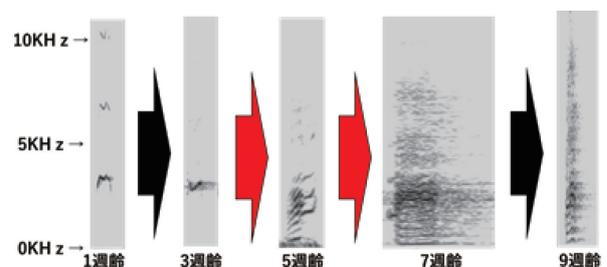


図4 週齢とスペクトログラムの変化

カモの音声を用いた行動制御

マガモがディストレスコールに対して忌避反応を示し、音源から逃げるようになれば、カモの群れの行動を先導ではなく追い立てるように制御できると考えられた。

9羽のマガモに、0～10週齢のマガモが発したディストレスコールをスピーカーから72.6～112.9dBのボリュームで聞かせた。3羽それぞれのディストレスコールを連続で流したものを1回とし、5分間隔で3回聞かせた様子をカメラで録画した。その後録画した映像を確認し、DCを聞いたマガモの行動を事前に作成したエングラムに基づく5秒間隔の瞬間サンプリングに則った定量化法にて警戒行動の割合を解析した。その結果、ディストレスコールを聞いた際の警戒行動は0.1%と、ほとんど反応を示さなかった。しかし、予備試験中にオオタカが襲来した際は100%であったことから、ディストレスコールのみでの行動制御は困難である事が示唆された。また、予備試験中に人の足音が入った音声を聞かせた際に逃避行動が観察されたため、ディストレスコール以外の聴覚的要因や視覚的要因を組み合わせる手法を検討する必要があると考えられた。

マガモ農法の評価

フィールド教育研究センターの水田6-3区北の60aの圃場に5月16日にイネを定植し、6月2日に約100羽のマガモを放飼し、8月4日に引き上げた。雑草の植生を調査した結果、湛水期間中の雑草の発生は皆無であった。カモが入り込まないように波板で区切った区画Aではスカシタゴボウ1個体、タマガヤツリ1個体、エノキグサ1個体、タネツケバナ3個体、ヒエ類1個体、キツネボタン類3個体、スズメノテッポウ類13個体の7草種23個体が確認された。乾物重は4.31gであった。同様に区切った区画Bではスカシタゴボウ3個体、タネツケバナ3個体、ヒエ類1個体、スズメノテッポウ類14個体の4草種21個体が確認された。乾物重は21gであった。

イネの草丈について秋田県の平均と比較してみると、6月下旬までは秋田県平均の草丈が大きく伸長していたが、6月29日から7月6日にかけてマガモ

水田の草丈が急速に大きくなり、最終的にマガモ水田が89.5cm、秋田県平均が76.7cmと約12cmの差がついた。茎数はマガモ水田内ではばらつきがほとんどなく、秋田県の平均と比較してみると、調査期間中を通してマガモ水田の茎数が多い傾向が見られた。最高分けつ数はマガモ水田が28本、秋田県平均が18本で、有効分けつ数がマガモ水田では20本、秋田県では17本で、有効茎歩合がマガモ水田では71.4%、秋田県平均では94.4%であった。葉齢は秋田県平均と比較してほとんど差はなかった。そのため葉齢はマガモによる影響を受けなかったと考えられる。葉色は、SPAD値を計測した結果、マガモ水田内でほぼ均一であった。秋田県平均と比較してみると葉色の変遷が大きかった。秋田県平均では調査期間中を通じて44～39と比較的変化の差が少なかったが、マガモ水田では6月22日から29日にかけて43から48と急激な葉色の増加が見られ、その後減少を続け7月27日には最も低く32になり、調査最終日である8月3日には34になった。

収量調査の結果、1穂粒数、千粒重、計算収量でフィールド教育研究センターの6-11区と比較し、有意に小さな値となった。穂数ではマガモ水田が6-11区より多かったが有意な差は見られなかった。この原因としてマガモ水田では調査株ごとにデータのバラつきが大きかったことがある。これはマガモによる効果の偏りが顕著に表れていると考えられる。

ドローンの空撮写真(図5)を解析した結果、踏み池は放飼後3週間付近で形成されることが明らかとなった。マガモ水田では6月4日から22日にかけて植被率の割合が30%から42%と推移したが、7月2日に踏み池が顕在化し、植被率が28%と前回と比

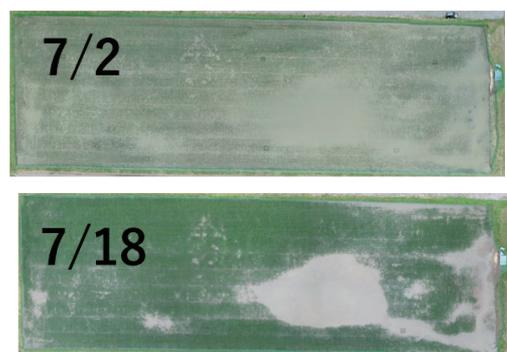


図5 踏み池の形成

較し 14%減少した。踏み池の発生防止には、放飼後 3 週間以内にマガモが群居する場所を発見して立ち退かせることが必要と考えられた。

〔 2019 年 6 月 30 日受付
2019 年 7 月 9 日受理 〕

総合考察と今後の展望

アイガモ農法は省力的な有機農業として 1990 年代より脚光を浴びてきたが、2019 年現在、国内で広く普及するまでには至っていない。この方法ではカモを役畜として除草作業や害虫駆除を行わせるが、その行動範囲や移動経路はカモまかせであり、農薬に比べて均一かつ安定した効果が期待できないという欠点がある。さらに、カラス、トビ、イタチなどの天敵により 1 羽約 650 円のカモの雛の個体数が減少し、10a に 10 羽以上確保できない場合、計画通りの雑草抑制・害虫防除効果が得られない。このため、機械除草や手作業による除草作業を補完的に行うことがあり、人件費の支出が大きな負担になる。本研究ではこうした農学分野の課題に対し、工学分野の視座からアプローチした。その結果、水田のような小型ロボットにとって極めて過酷な環境で動作するカモ先導ロボットが試作され、より効率的な誘導を行うための要素技術を明らかにした。また、カモの音声を手掛かりに、群れの位置を推定する見込みが得られた。カモが水田に放飼されてから引き揚げるまでの 2 か月間で大きく変化する音声の特徴についてデータを取得し、マガモ農法を実施する際の「踏み池」などの発生について知見を得た。

いずれの成果もすぐに生産者が活用できるレベルには至っていないが、今後も継続してマガモ農法の高精度化に取り組むことにより、加速度的な人口減少が予想される本県で省力的な有機農法を普及させ、付加価値が高いコメを生産、販売するような高い競争力の産地の維持発展の一助になれば幸いである。

謝辞

卒業研究に関連して本プロジェクトに協力いただきました黒澤瑞穂さん、橋本真澄君、渡邊拓磨君、大橋凌太郎君にこの場を借りて感謝いたします。

Innovative Approach to Maximum Utilization of Mallard in Rice Duck Farming: A Collaboration Between Agriculture and Industry

Basic Study on Monitoring and Controlling Technology for a Flock of Mallards

Satoshi Yamamoto¹, Hirokazu Madokoro², Kanji Watanabe³, Masayuki Nishiguchi³,
Kentaro Yasuda⁴, Hiroshi Tsuyuzaki¹

¹ *Department of Agribusiness, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University*

² *Department of Intelligent Mechatronics, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

³ *Department of Information and Computer Science, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

⁴ *Field Education and Research Center, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University*

In rice duck farming, mallards are utilized to control weeds and pests in a paddy field without chemical materials. This integrated farming can bring much profit to farmers because the market value of organic products is very high. However, it is difficult to make a flock of mallards move all over the field uniformly. As a result, the working accuracy of the birds tends to be worse than herbicides and pesticides. To cope with the problem, we developed an innovative approach to fully utilize mallards through a collaboration between agriculture and industry in our university. A prototype guidance robot for mallards was designed and an evaluation of moving performance was conducted on the bumpy surface of snow. A measurement system for locating the flock of mallards using acoustic sound was developed to monitor the birds. Acoustic characters were revealed by analyzing the spectrogram and formant structure. Finally, the rice yield and growth was measured.

Keywords: organic farming, mallard, bioacoustics, imprinting, guidance robot