

平成22年5月24日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19380145  
 研究課題名（和文）農業生態系ロボットの提案と開発  
 研究課題名（英文）Development of an Intelligent Robot for an Agricultural Production Eco-system

研究代表者  
 中司 敬（NAKAJI KEI）  
 九州大学・大学院農学研究院・教授  
 研究者番号：50128055

研究成果の概要（和文）：水田の生産生態系のもとで、雑草防除、スクミリンゴガイの食害回避、これらに関連する農作業労力の軽減化を図るために、農業生態系ロボットの概念を提案して、基礎実験システムを開発した。スクミリンゴガイの個体数変動モデルを、水田の耕耘、代掻き、田植え、灌漑の各作業に応じて構築した。さらに、スクミリンゴガイの動態を画像解析によって求めた。開発したロボットシステムによってスクミリンゴガイを容易に除去できることを実証した。

研究成果の概要（英文）：The experimental system based on the new concept of an intelligent robot for a rice production eco-system was developed in order to control weeds, prevent damage to rice plants by golden apple snails and reduce the farming workload. The models for the population dynamics of the snails were constructed according to such phases of farm work as tillage, paddling, rice planting and irrigation. The activity rate of snails was measured by an image processing analysis. It was proved that a lot of snails could be removed easily by the developed robot system.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	12,700,000	3,810,000	16,510,000

## 研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：環境調和型農林水産、知能ロボティクス、農業工学、農業生態系

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 農業生態系の保全の重要さが社会の共通認識となりつつある。研究の学術的背景として、国内外においてロボットに関する研究

は極めて盛んであるが、農業生態系の理解、自律的判断、系に対する相互作用及び系の遷移を主要な概念にもつロボットの研究は寡聞であり、独創性をもって究明する学術的価

値は大きい。耕耘ロボットを含む農業ロボット、産業ロボット、作業者代替ロボット、極限状態作業ロボット、ペットロボット、エンターテインメントロボット、福祉ロボットなどのハードウェアとソフトウェアに関する研究は膨大な数の論文があり、ロボットビジョンや逆運動学などのロボティクスでは著名な教科書やハンドブックも数多い。広義の農業ロボットの基礎及び開発研究は、我が国が世界を先導しており、農業機械学会誌をはじめとする論文や教科書、参考書も少なくない。我が国のロボットの各産業での実用もまた世界第一の水準にあることは言を待たない。しかし、ロボット研究者と開発企業にとって、現在、ロボットを応用する分野は出尽くした感が漂い、新たな展開方向が模索される状況にある。こうしたなかで、本研究は農業生態系のなかで自律的に行動する知能ロボット（以下、農業生態系ロボットと称する）を提案するもので、その概念はこれらと全く異なるものである。これまで、直接、研究課題として取り扱った文献は見当たらないので、研究アプローチは、まず、基礎を確立する必要がある。その際、ヒューマンインタフェースや植物生態に関する内外の諸学会の研究論文が数多くあり、これらは有用な資料となる。

(2) 研究の具体的背景として、近年、日本の暖地水田（関東以南）でスクミリングガイ（通称、ジャンボタニシ。農水省が有害動物に指定）が猛烈な勢いで繁殖し、水稲に甚大な食害を与えていること、さらに水田生態系を破壊し、生物多様性を貧困にしていることの極めて大きな問題がある。研究代表者の勤務する九州大学農学部附属農場をはじめ、九州の水田はもとより、海外でもタイ、インドネシア、台湾、韓国などの稲作水田で喫緊の問題として、スクミリングガイの環境調和型防除技術が切望されている。貝を駆除する農薬は魚に対しても強い毒性を示すので、使用することができない。

(3) スクミリングガイの除去については、九州沖縄農業研究センターや数県の試験場などで精力的に研究が行われ、ロータリ耕耘による殺貝方法や忌避剤が開発されたが、実用効果がいま一步である。これらの研究は生産生態学に立脚するものとは異なる。現状では、田畑輪換、侵入防止対策、人手による拾い取りが対策の中心であり、生産生態学に基づくスクミリングガイ除去技術の研究は少ない。

(4) 一方、水稲作を環境保全型栽培、あるいは代替農業で環境負荷を減じて行うには、雑草の防除が極めて大きな課題となる。スクミリングガイを稲ではなく、雑草だけを食するように制御して、さらにスクミリングガイをその行動を誘導して生息数を適正に制御できるならば、作業労力軽減化とともに生物多

様性も確保できる。これを多くの人手をかけて行うのではなく、新しくロボットを導入して行う方法を究明する。

(5) 研究代表者は、水稲の環境保全型機械化栽培の研究に12作にわたって取り組んでいる。有害動物としてのスクミリングガイを生態的な雑草防除に利用するとともに、天敵の少ない外来性のスクミリングガイの数的バランスを、ロボット自身に生態系を予測させながらとらせることが実現可能であることを着想した。また、これまでに携わったヒューマンインタフェースやロボットの音声制御等についての研究手法と成果を、本研究の開発研究に適用することが可能であることを考案した。

(6) 以上、本研究はロボティクスの新領域、農業生産生態学理論、スクミリングガイ除去と生物多様性保全技術を基礎から関連させて解明する研究として位置づけるものである。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、農業生態系のなかで自律的に行動する知能ロボットを新規に提案して基礎及び開発研究を行うことである。具体的課題として、水稲作の雑草防除と外来有害動物による生物多様性貧困化からの回復、さらに農作業労力の軽減を連携させて解決する新たなロボットを用いた方法を構築することである。

すなわち、農業生態系を自ら学習するとともに、作物や圃場の情報を取得して生産生態学に基づく判断を行い、必要な農作業を実行する知能ロボットの基礎を解明する。さらに、具体的課題として水田におけるスクミリングガイを防除するための環境調和型防除技術を、理論、室内実験、圃場実験を通して究明し、農業生態系に基づいて防除を行うロボットの実験実証システムを開発する。

(2) 最初に農業生態系ロボットの概念を明確にして、必要な条件と基礎特性を解明した後、水稲の環境保全型栽培において直面する以下の具体的課題に的を絞って、農業生態系ロボットの実験実証システムを開発し、水田での実験を通して評価を行う。ここで、本研究の開発研究は実験実証システムの構築とその評価までを行うものである。まず、提案するロボットが人為生態系である農業生態系を自ら理解し、学習するとともに、作物や圃場の情報を取得して、生産生態学に基づく判断を行い、さらに必要な農作業を行う知能ロボットの基礎研究に着手する。ついで、具体的課題として水田におけるスクミリングガイを防除するための環境調和型防除技術を、理論と実験室内実験、さらに圃場実験を通して究明し、農業生態系に基づいて防除を実行するロボットの実験実証システムを開

発する。ここで、重要な点は、ロボットの判断と作業自体が人為生態系に再び作用するものであり、動態を究明する視点（農業生態系の遷移を対象とする視点）から、開発したシステムの評価を行う。

(3) 上述したように、我が国のロボット研究と実用は世界のトップレベルにあり、農業ロボットの開発研究についても活発に展開されている。これまでの農業ロボットの特徴は、圃場条件や環境要因を取得しながらも耕耘、播種、接ぎ木、移植、農薬散布、収穫、運搬などの人—機械系の個別作業を行わせようとするものが主である。すなわち、知能化・自動化による作業者の代替（能力の向上を含む）を企図するものが多い。これに対して、本研究は、作物、雑草、水田小動物、圃場状態、環境等の情報を自律的に取得し、個別作業と作業体系を学習して、あるべき農業生態系と遷移する農業生態系を予測しつつ、生産生態学に基づく判断と農作業を行うロボットを新規に提案して、開発しようとするものである。現在、水田の水位を監視、制御する簡易ロボットが研究され、製品化されているが、生産生態系に基づく作業を行わせるものではない。

### 3. 研究の方法

研究の方法と計画は以下の通りである。研究期間は2007年度～2009年度の3年間とする。

#### (1) 初年度

- ①農業生態系ロボットの概念の構築
- ②農業生態系ロボットに必要な条件と基礎特性の解明
- ③実内実験システムの設計と試作  
（垂直多関節型6軸ロボット、インテリジェントI/Oシステムを導入して、室内実験システムを構築）
- ④スクミリンゴガイ、作物、雑草、小動物をめぐる水田生態系の動態調査及び実験と数理生物学によるモデル化（種の競争、離散時間モデル、空間分布と生物拡散など）
- ⑤スクミリンゴガイを利用する水稲の環境調和型防除体系の解明（密度効果、農業生態系の遷移）
- ⑥海外調査 ベトナムの水稲食害と生態的防除技術の現地調査（現行の生態的防除技術の分析は農業生態系の動的安定性を向上させる方法を得るために極めて有効である）

#### (2) 第2年度

- ①農業生態系ロボットアームの運動学
- ②スクミリンゴガイ、作物、雑草をめぐる水田生態系の動態解析とロトカ・ヴォルテラ競争モデルなど数理生物学手法による展開、農作業システムの攪乱による密度変動予測などの解明
- ③ビデオカメラ画像を含むフィールドサーバの信号処理方法の検討

④農業生態系ロボット作業プランニングの組み立て

⑤制御プログラムの開発と小面積区画水田における実験

⑥農業生態系ロボットとフィールドサーバの協調の検討

⑦海外調査 韓国のスクミリンゴガイ利用等の生態的防除技術の調査・分析（現行の生態的防除技術の分析）

#### (3) 最終年度

①農業生態系ロボットアームの最適軌道プランニングの解析と考察

②画像解析によるスクミリンゴガイの動態の究明と活動指標の開発

③制御プログラムの改良、統合プログラムの開発による実験実証システムの改良

④作業性の評価

⑤成果のとりまとめ

（農業生態系ロボットの今後の展開、国際会議における研究成果の発表）

(4) 以下の3氏を3年間の研究協力者とする。

①(株)東海ソフト・開発担当、劉 蛟竜（システムエンジニア資格所持者、日本在住中国籍、農学博士）；ソフトウェア、特に制御プログラムの開発支援。

②韓国農林水産情報センター・研究員、李康五（韓国、農学博士）；監視システムネットワークの開発支援。

③九州大学・農学研究院・助教、津田 みどり（個体群生態学、学術博士）；数理モデル化の支援。

### 4. 研究成果

農業生態系ロボットを「農業生態系のもとで自律的に行動する知能ロボット」として概念を構築し、必要な条件と基礎特性の解明を行った。持続的な水稲の環境保全型栽培を行うに際して、除草剤不使用の場合に雑草の繁茂とともに、暖地水田ではスクミリンゴガイによる甚大な食害と生物多様性の低下が問題となっており、さらに農作業労力の軽減化を統合的に解決するため、農業生態系ロボットを利用する新たな方法を究明した。

#### (1) 初年度の研究成果

農業生態学に基づいて、農業生産と環境保全の両者に寄与する農業生態系ロボットが革新的な農作業技術として展開可能なことを示した。

①イネ、雑草、スクミリンゴガイをめぐる水田生態系の調査を行うとともに、特に、スクミリンゴガイの動態について水深等をパラメータとして実験的に明らかにし、スクミリンゴガイをその生態を利用して収集し、軽便な作業で除去する方法を提示した。

②ベトナム、台湾、韓国における海外調査を行い、スクミリンゴガイの繁殖及び被害状況、特徴的な利活用の実態と問題点を整理した。

③ロトカ・ヴォルテラ競争モデルを導入して、イネ、雑草2種、スクミリンゴガイの競争モデルを提案し、安定性と生態系の遷移を求めた。また、水稲作における農作業システムの視点から、イネ、雑草、スクミリンゴガイ間の食う食われる関係と競合を明らかにした。  
④スクミリンゴガイを利用する水稲の環境調和型防除体系を解明し、農業生態系ロボットの作業方法を明らかにした。  
⑤これらを踏まえて、農業生態系ロボット室内実験システムの設計と一部の製作を行った。垂直多関節型6軸ロボットを導入して、スクミリンゴガイを合理的に管理、除去するためのハンド部ツールの試作を行い、農作業動作のプログラムを作成した。また、圃場環境や水田生態系に関する情報を取得するためにフィールドサーバを実験システムに導入した。

## (2) 第2年度の研究成果

①九州大学農学部附属農場水田において、スクミリンゴガイの動態を調査するとともに、水稲（ヒノヒカリ）、雑草優占種であるタマガヤツリ、その他の雑草間の競争をとまなう生長を測定し、ロジスティック方程式とロトカ・ヴォルテラ捕食モデルを用いて各々の生体量、現存量の推定を可能にした。

②水田における水稲、雑草の量とスクミリンゴガイの生息密度との関係の推移を求め、水温の影響を考慮したスクミリンゴガイの水稲に対する捕食率の推測を可能にした。

③水田の耕耘、代掻き、田植え、灌漑の各作業に応じたスクミリンゴガイの個体数変動モデルを構築した。

④水田におけるスクミリンゴガイの動態を画像処理によって測定する方法を検討し、MATLAB/Simulinkを使用した環境で、移植後の諸条件下における静止画を供して、スクミリンゴガイを交尾中の個体分離も可能な個体数計測アルゴリズムを開発した。

⑤動画を供して、スクミリンゴガイの移動速度を容易に得るアルゴリズムを考案した。

⑥これらに基づき、スクミリンゴガイの生息密度を考慮した水稲と雑草に対する単位面積当たり出会い率を推定することが可能になった。

⑦水稲の生産生態系における農作業体系を検討し、6軸垂直多関節形ロボットを用いて、水田実験槽での作溝作業、スクミリンゴガイの掬い取りによる除去作業を試みた結果、室内ロボットシステムは良好な作業性を示した。

## (3) 最終年度の研究成果

①水田生産生態系のイネ-雑草競争モデル、スクミリンゴガイ-被食者モデルを改良した。

②画像処理によるスクミリンゴガイ2個体同時測定による活性度の評価方法を明らかに

した。

③実験実証システムの開発・改良に関しては、農業生態系ロボットとビデオカメラ搭載フィールドサーバの協調システムの開発を試みた。

④6軸垂直多関節形ロボットを用いた水田実験槽での作溝やスクミリンゴガイの掬い取りによる除去等の作業を想定して、ロボットハンド部の最適軌道プランニングの解析を行った。

⑤農業生態系情報システムとして、フィールドサーバを基盤とする水田環境情報管理システム、画像遠隔制御システム、スクミリンゴガイ動態モニタリング等の情報を統合する管理サイトを構築した。

⑥農業生態系ロボット制御管理システムと水管理システムの統合プログラムの主要部を作成した。

⑦海外事情として、韓国におけるスクミリンゴガイの水田除草利用技術の実態と今後、懸念される外来動物による生態系への影響を考察した。

⑧以上、3年間の研究によって、農業生態系ロボットの概念を提案して、その有用性と基礎実験システムの開発による実証を行い、さらに、問題点と今後の研究の展開をまとめた。

## 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8件)

① Yusuke Yamaguchi, Alejandro I. Luna Maldonado and Kei Nakaji, Development of an Intelligent Robot for an Agricultural Production Eco-system (VIII) -Improvement of Predator-Prey Model and Analysis of the Activity of Snail in Paddy by Image Processing-, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無, Vol. 55, 2010, pp.101-105.

② Yusuke Yamaguchi, Alejandro I. Luna Maldonado and Kei Nakaji, Development of an Intelligent Robot for an Agricultural Production Eco-system (VII) -Image Processing and Analysis of the Activity of Snail in Paddy-, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無, Vol. 54, 2009, pp.247-250.

③ Alejandro I. Luna Maldonado, Yusuke Yamaguchi, Midori Tuda and Kei Nakaji, Development of an Intelligent Robot for an Agricultural Production Eco-system (II) -Modeling of the Competition between Rice Plants and Weeds-, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無, Vol. 53, 2008, pp.511-516.

④ Alejandro I. Luna Maldonado and Kei

Nakaji, Development of an Intelligent Robot for an Agricultural Production Eco-System -New Concept of Robot and Dynamics of a Golden Apple Snail in Paddy-, Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 査読無, Vol.53, 2008, pp.115-119.

〔学会発表〕(計8件)

①山口祐介, アレハンドロ・イザベル・ルナ・マルドナド, 中司敬, 水田生産生態系のイネ-雑草競争モデルとスクミリンゴガイ-被食者モデルの構築, 日本農作業学会平成21年度春季大会(第44回講演会), 2009.4.3, 前原市.

②Alejandro I. Luna Maldonado and Kei Nakaji, Development of the Intelligent Robot for an Ecosystem of Agricultural Production (Part 2), 農業機械学会第67回年次大会, 2008.3.29, 宮崎市.

③Alejandro I. Luna Maldonado and Kei Nakaji, Development of an Intelligent Robot for an Agricultural Production Eco-System -Experiments on the Dynamics of a Golden Apple Snail to Develop a New Conceptual Robot-, International Workshop on Agricultural and Bio-Systems Engineering, 2007.12.11, Ho Chi Minh City, Vietnam.

④Alejandro I. Luna Maldonado and Kei Nakaji, Conceptual Design of an Intelligent Robot for an Agricultural Production Ecosystem, International Seminar on Agricultural Structure and Agricultural Engineering 2007, 2007.12.8, Taipei, Taiwan.

〔その他〕

報道関連情報(計2件)

①2010年3月22日、RKBラジオ、「門馬良 今日も気分上々～上々ゼミナール」の番組で「農業生態系ロボットの開発研究」が紹介された。中司出演。

②2010年1月26日、西日本新聞朝刊、「『ジャンボタニシ ロボットが退治』知能で生態系管理、九大 中司教授」の記事が掲載された。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中司 敬 (NAKAJI KEI)

九州大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号：50128055

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：