

アクアポニックス用自動観測システムの構築

山岸 樹^{1,a)} 安部 泰雅¹ モハマド アナス ビン ノリザン¹ 斎藤 惲勇棋¹ 孔 祥博^{1,b)}
熊木 武志^{1,c)}

概要：近年、地球規模の問題の一つである食糧問題の解決策として植物工場の普及が挙げられる。植物工場は、屋内による栽培で気候による影響を受けず、人手の必要な労働作業を省くことができる。しかしながら、食糧の供給には、野菜によるビタミン類だけでなく、たんぱく質も必用となる。そこで本研究では、水産養殖と水耕栽培を掛け合わせた魚耕栽培（アクアポニックス）という技術に着目した。本研究では、循環的な生産で水を削減できるアクアポニックスシステムを構築し、肥料の代わりに餌を用いて有機栽培の実現を確認する。また、飼育・栽培を行う際に、Raspberry Pi とカメラを用いて、魚の様子を配信しつつ、植物を日々撮影しメールで送信する、自動観測システムを構築した。これにより、飼育・栽培作業の省略による効率化を図るシステムの構築も検討している。

Development of automatic remote record system for aquaponics

1. はじめに

現在、世界は人口増加、環境汚染、食糧不足など地球規模の問題を多く抱えている。特に食糧問題は、日本でも深刻であり、温暖化の影響もあって台風、地震、大雪、豪雨などの自然災害により、多くの農作物が被害を受けている。また、少子高齢化に伴う若者の農業離れや、食の安全性に関しても無視できない。これらを解決するための1つの手法が植物工場の普及であり、安心安全、かつ安定した食糧供給が実現できると期待されている。植物工場は都市部での食糧生産が可能であり、天候にも左右されない。しかしながら、食糧の供給には、野菜によるビタミン類だけでなく、タンパク質も必用となる。そこで本研究では水耕養殖と水産漁業を組合わせたアクアポニックスという技術に着目した。アクアポニックスは植物と養殖魚を同時に生産でき、大幅な水の節約にもなるため、より効率的な食の供給が期待できる技術である。

2. アクアポニックスの概要

アクアポニックスとは、水産養殖と水耕栽培を組合わ

せた循環型農業である [1]。魚の糞尿（排泄物）に含まれるアンモニアが微生物によって分解され、植物の栄養として吸収される。その後、浄化され綺麗になった水が水槽へと戻るという生物サイクルを繰り返して魚と野菜を同時に育てる事が可能となる。特徴として、高い生産性や、水を循環させて飼育・栽培を行うため水の節約になることや、屋内でも設置ができるといった点が挙げられる。

3. プロトタイプアクアポニックスシステムの構築

本稿では実験用に構築したアクアポニックスのプロトタイプシステム [2] を図 1 に示す。これはオーバーフローの仕組みを採用しており、図 1 右から、飼育水が水槽から汲み上げられ、貯水槽を介して最初の植物第一層に送られる。その後、一定量の水が溜まると植物の第二層に送られ、同様に、水は最終的に水槽に送り返される。また、バクテリアは魚の排泄物を栄養素に変換する。それを植物が吸収し、水がろ過されて水槽に戻る。今回の実験では図 1 に示す様に、植物はリーフレタス、魚はティラピアを採用している。リーフレタスは品種名 グランドピットを用いた。2 週間、播種を行い、正常に生育している苗を第一野菜層に 6 株、第二野菜層に 5 株それぞれ移し替えた。リーフレタスには LED を照射して、毎日 6 時半～21 時半までの 15 時間光を照射した。ティラピアは平均全長が 5 cm ほどの個体を 49

¹ 現在、立命館大学
Presently with Ritsumeikan University

a) ri0086ri@ed.ritsumei.ac.jp

b) kong@fc.ritsumei.ac.jp

c) kumaki@fc.ritsumei.ac.jp

匹水槽で養殖している。ヒーターによってティラピアの適正水温である約 27 度に設定している。飼料は日清丸紅飼料会社のおとひめ [3] を使用し、これを 6 時間ごとに自動給餌機で 3~5 g 与えている。



図 1 プロトタイプアクアポニックスシステム。

Fig. 1 Prototype aquaponics system.

4. アクアポニックス用自動観測システムについて

アクアポニックスシステムを運用していくにあたっては、水質、水温、成長度合い等、様々な情報を取得、分析する必要がある。今回開発した自動観測システムの構成は、小型コンピュータ (Raspberry Pi3 Modelb+ [4]) と Web カメラ (LogitechC270 [5]) を使用して、外部のネットワークから魚の様子をストリーミングで観察できる配信プログラムと、毎日決まった時間に植物の写真撮影し、メールで送信するプログラムで動作する。プログラムは cron とシェルスクリプトを用いて Ubuntu 上で実行している。自動観測システムの概略を図 2 に示す。

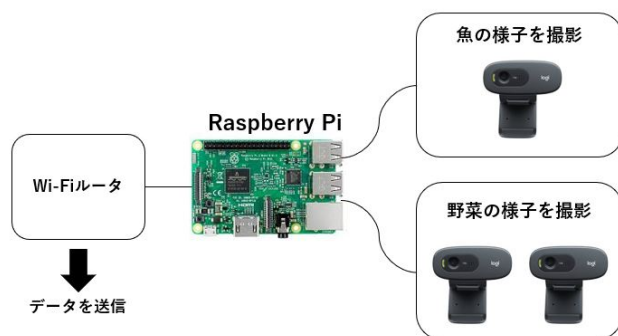


図 2 自動観測システムの概略。

Fig. 2 Outline of automatic observation system.

4.1 ストリーミング配信用シェルスクリプト

魚の様子を観察するために、1 台の Web カメラを用いた。Raspberry Pi からブラウザ上にシェルスクリプトを用いてストリーミングを行うため MJPG-streamer [6] というプログラムを使用した。MJPG は Motion JPEG の略であり、それぞれのフレームを JPEG 形式で圧縮して送信し、受信時に伸長して、これを連続で表示させることによって動画としている。プログラムを実行した後にブラウザ上に Raspberry Pi が使用しているネットワークの IP アドレスとポート番号をブラウザで打ち込むことで配信画面を閲覧することができる。実際に表示された配信を図 3 に示す。



図 3 MJPG による配信の様子。

Fig. 3 Image distribution by MJPG.

4.2 撮影・送信シェルスクリプト

2つの Web カメラを用いて、野菜層をそれぞれ撮影し、メールで送信するプログラムを作成した。crontab コマンドを用いることで定時で実行することができ、今回は毎日午前 10 時に実行している。図 4 は指定したメールアドレスの受信ボックスに実際に届いたメールの内容である。



図 4 野菜層の様子を知らせるメール。

Fig. 4 Email notifying the state of the vegetable layer.

5. システムの評価

レタスを野菜層に移し替えて 22 日後に収穫し、計測した結果を表 1, 2 に示す. 測定結果より, リーフレタスの葉平均重量が 35.2 g と, 全体的に問題なく成長しているが, 根の長さが極端に短いレタスも見られたため, 全体に安定した栄養素の供給ができていない可能性があると考えられる. 実際に試食したところ, 食感はずみずみしく, 味も通常のものとは大差なかった. また, 第一層よりも第二層のほうが成長率が高いことがみられる. この理由としては, 魚の糞や尿に含まれるアンモニアがバクテリアによって植物の栄養素である硝酸塩へと分解されるプロセス (硝化 [7]) が第一層では十分に行われず, 満足のいく養分が供給されなかったからであると考えられる.

ティラピアに関しては, 約 2 か月間の飼育期間で 49 匹の一匹も絶命することなく稚魚から成長している. 全体の平均長は 14 cm 程度で食べられる大きさまで成長した. 実際に刺身と素揚げにして食味したが, タイのような食感で身もしっかりしており, とても美味なものであった. 大きくなるにつれ, 水の黄ばみが増し富栄養化が進んでいったため, レタスが吸収できる栄養の量を考慮し, 野菜と魚のバランスを保つ必要があると考える.

本実験では, 魚の養殖と野菜の栽培の両方を行うため, 人手による情報の取得は手間のかかるものであったが, システムの導入後は実験室以外の場所からでも様子を確認することが可能になった. 撮影した写真は指定したフォルダ内に保存されているため, 野菜の発芽タイミングや成長速度などの比較が容易になると考えられる.

表 1 リーフレタスの計測結果.

Table 1 Measurement result of leaf lettuce.

レタス	第一層		第二層	
	葉の重さ(g)	根の長さ(cm)	葉の重さ(g)	根の長さ(cm)
1	25.8	51	48.5	50
2	37.9	21	34.8	58
3	39.5	31	47.8	32
4	32.6	29	35.0	28
5	26.7	24	35.5	26
6	24.0	6		

表 2 リーフレタスの計測結果 (平均).

Table 2 Measurement result of leaf lettuce (average).

第一層平均の葉の重さ(g)	第二層平均の葉の重さ(g)	全体平均の葉の重さ(g)	第一層平均の根の長さ(cm)	第二層平均の根の長さ(cm)	全体平均の根の長さ(cm)
31.1	40.1	35.2	27.0	38.8	32.5

6. まとめ

本研究では, プロトタイプアクアポニックスを構築し, 水質を安定させ, 有機栽培で野菜と魚を育成させることが実現できた. ティラピアとレタスを試食したが, 大変美味であった. また, カメラを用いた自動観測システムによって自ら実験室に訪れなくとも観察することが可能になり, 栽培, 飼育の負担を減らすことができた. 今後の展望としては, 新しいアクアポニックスシステムを構築し, プロトタイプによって発覚した問題点を改善すると同時に, より効率的に生産が可能なシステムの構築を目指す. また, カメラやセンサーの数を増やして機械学習による処理を行う等, 評価システムの強化も図ろうと考えている.

謝辞

本研究の一部は, 2021 年度増屋記念基礎研究振興財団助成金の支援と高知大学の熊木慧弥氏によるアドバイスにより行われた.

参考文献

- [1] 株式会社おうち菜園: 初めてのアクアポニックス 入門書, p. 1~7, 2017
- [2] T. Abe, T. Yamagishi, Kong Xiangbo and T. Kumaki, "Development of automatic monitoring system for prototype aquaponics system", International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications(ITC-CSCC), 2021.
- [3] 日清丸紅飼料「おとひめ」三卵養魚場 (online), 入手先 <<http://www.san-u74.com/order/suisan-01.html>>
- [4] Raspberry Pi 3 Model B+ (UD-RP3BP) 仕様 (online) 入手先 <<https://www.iodata.jp/product/pc/raspberrypi/ud-rp3bp/spec.htm>>
- [5] logicool C270n HD ウェブカメラ (online) 入手先 <<https://www.logicool.co.jp/ja-jp/product/hd-webcam-c270h>>
- [6] SystemKCamera ビデオ圧縮方式について (online) 入手先 <<https://systemk-camera.jp/camera-blog/knowledge/compression-lecture.php>>
- [7] 株式会社おうち菜園: 初めてのアクアポニックス 入門書, p. 39~41, 2017