

流れのある室内水路における魚群行動の観察

岡口真希¹・森 敬幸²・森井俊広^{3*}

(平成14年12月27日受付)

要約 水路や魚道などの構造物内における魚群行動の数理モデリングを検討するため、流れのある室内水路で魚群の遊泳行動を観察した。観察実験には5尾のタナゴを用いた。突起構造をもつ長さ100cm、幅30cmの水路区間に自由に遊泳させ、ビデオカメラで撮影した。流速は、公称値として、0(静水状態)、5、10および15cm/sを設定し、それぞれ、供試魚グループを変えて5回の繰返し観察を行った。5分間に観察した遊泳行動を1秒ごとに読取り、これをプロットして、流速にともなう遊泳行動の変化を調べた。遊泳観察区間をよどみや流水部に応じてブロック分けし、流速による魚群の選好行動を示した。次いで、魚群半径の時間変化をまとめ、流速が増すにつれ、魚群行動が成り立たなくなることを示した。

キーワード：魚群行動、タナゴ、室内水路実験

はじめに

魚類の生息環境は、物理的生息場シミュレーション(Physical Habitat Simulation: PHABSIM)¹⁾で評価することができ、多くの河川計画の事前評価などに使われるようになってきた。しかし、魚群が行動しやすい水路や遡上しやすい魚道を設計しようとする場合、あるいは出水時の魚類の安全性を確保するための避難構造を設計しようとする場合、ミクロな水理環境場での動きについては十分な予測ができない。このためには、個体魚ならびに魚群の遊泳行動そのものを予測する必要がある。これには個体ベースモデリングが有用であり、たとえばニュートン力学モデル²⁾や仮想生息場モデル³⁾などの魚群行動モデルが利用される。

魚群行動モデルにより魚類の生息環境と遊泳活動を定量的に予測できるようになれば、水利施設の計画立案に携わる関係者に対し、有用な合意形成ツールの提供が可能となる⁴⁾。また、水路や魚道の構造を魚の移動速度・量、遡上行動といった観点を考慮して効果的に設計する上で、あるいは出水時における魚類の安全な避難場所の構造設計を行なう際などに、より実務性のある情報が提供できると期待される。

本研究は、農業水路を、水田を含め散在する魚類生息池を連結するピオトープネットワークとして位置づけ、この中で魚群の行動と移動を予測するための数理モデルの開発を試みるものである。著者らは、既に、タナゴを用いた水槽実験により、静水中における魚群の行動を観察している。そして、この観察にもとづき、ニュートン力学モデルにより、魚群行動の予測がある程度可能であることを示した^{5,6)}。この静水条件における数理モデルを、流れのある状態に展開していくためには、魚群が流れに対してとる選好行動のパターンの特性を調べておく必要がある。本報告では、流れのある室内水路で実施したタナゴの魚群行動実験の観察結果をまとめる。これは、流水中の魚群行動モデリングに必要な魚群の行動パターンを調べ、具体的な数理モデルに組込んでいく方法を検討するために行なったものである⁷⁾。次の章で、試作した水路実験装置の概要と実験方法を説明する。次いで、水路を用いた魚群の遊泳観察実験の結果をまとめ、流れの大きさに対する魚群の選好行動、ならびに流速の増加にともなう魚群形成の崩壊の様子を示す。

¹株式会社システク(前新潟大学農学部生産環境科学科)

²飛鳥建設株式会社(前新潟大学大学院自然科学研究科)

³新潟大学農学部

*代表著者: morii@agr.niigata-u.ac.jp

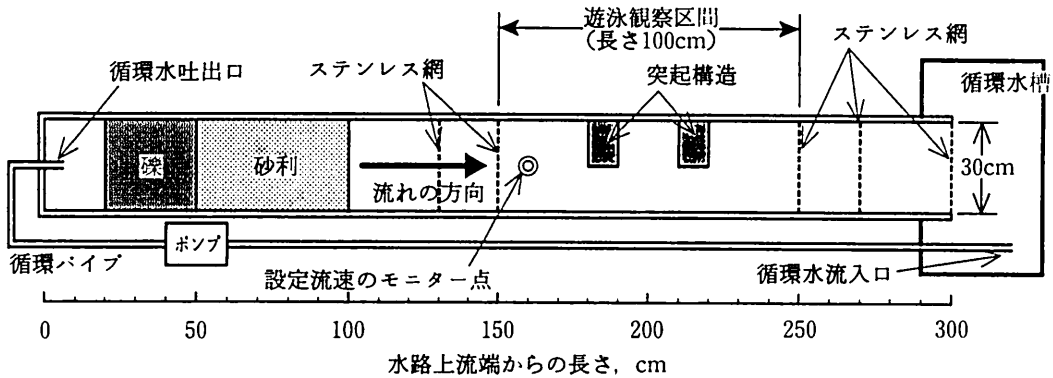


図1 室内水路実験装置の構造概要(平面図)

水路を用いた魚群の遊泳観察実験

図1に示すように、幅30cm、長さ300cmの循環式水路に、上下流端をステンレス網で区切った長さ100cmの遊泳観察区間を設けた。遊泳観察区間の左岸側には、区間上流端より30cmと60cmの2箇所に、幅10cm、長さ15cmの水路中央に張り出した突起構造物を取付けた。水路上流部の礫と砂利は、循環パイプからの流入水を整流するために設けた。遊泳観察の実験には体長約5cmのタナゴ(Bitterlings)を用いた。タナゴは、平野部の河川や水路、池沼に広く生息する魚種で、藻類や動物プランクトン、ミミズなどを食餌とする。魚群の個体数は5尾とした。これらを遊泳観察区間の上流端近傍に設置した直径10cmのアクリル円筒に放流し、数分間、流れに馴致させたのち、アクリル円筒を引き上げ、自由に遊泳させた。遊泳行動は、高さ3mの架台にセットしたビデオカメラで撮影した。図2に、静水条件で観察した様子を示す。ちょうど突起構造物でできた水路狭窄部を、下流側に向かって、群れをつかって遊泳しているところである。

遊泳観察では、水深を7cm程度、流速を0、5、10および15cm/sに設定し、それぞれ5分間の撮影を、供試魚グループを変えて5回繰り返した。ここで流速0cm/sは静水状態を表す。流速は、遊泳区間の上流端より10cm下流側、水路中央部の位置でモニターし、これを遊泳観察時の設定流速 V とした。ただし、実際には、突起構造にともなう乱波などによりかなり複雑な流況と大きな流速分布が生じている。図3は、その一例として、 $V=10$ cm/sにおける遊泳区間内の流速の測定結果を示したものである。特に突起構造物の設置によってできる水路狭窄部で、最大109cm/sと、設定流速の10倍以上に達する流れが生じているのがわかる。

タナゴは、市販水槽で水温を20℃にして飼育し、餌は毎日午前9時に与えるようにした。遊泳観察の実験は午後1時から開始した。実験には水道水を用いた。循環水槽に水を満たしたのち、一日以上放置して曝気するとともに、ヒータにより水温を20～22℃に調整した。実験は、実験室内の水銀灯と窓からの自然光のもとで進めた。

魚群の遊泳観察実験の結果

1. 流速にともなう選好行動

ビデオカメラで撮影した5分間にわたる動画を1秒間隔の静止画像に取り出し、魚群を構成する各個体の頭部先端の座標を読み取った。図4は、各設定流速で観察した固体魚の移動通過点の分布をまとめたものである。1回目から5回目の測定順序に特に意味はない。1回あたりの打点数は静止画300秒×5尾=1,500点である。静水条件では、観察区間の全面にわたって遊泳している。しかし、流れが生じ流速が大きくなってくると、突起構造でつくられる左岸側の避難場所に移動し、そこにとどまるようになる。特に $V=10$ および15cm/sでは、遊泳開始位置に最も近い、上流のよどみ部に集まる傾向があることを確認できる。

流速にともなうこのような遊泳行動の特徴を調べるため、遊泳観察区間内の通過・避難場所を、右岸側の流水部(A)、左岸側の突起構造上流部(B)、突起構造中間部(C)および突起構造下流部(D)の4つのブロックに分

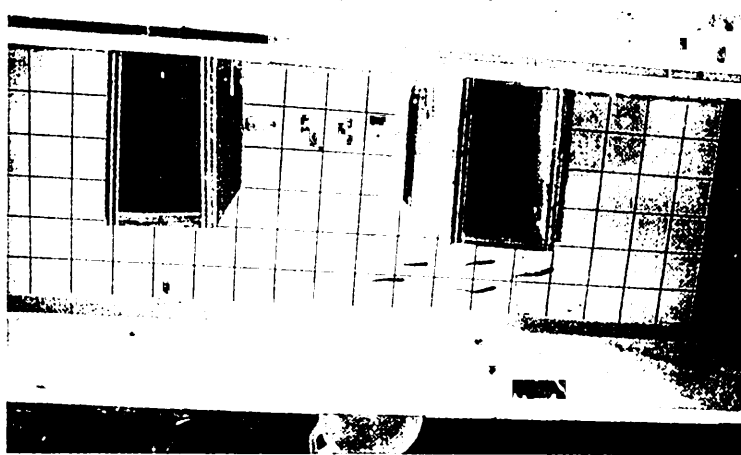


図2 設定流速 0 cm/s (静水状態) におけるタナゴの魚群行動の観察例

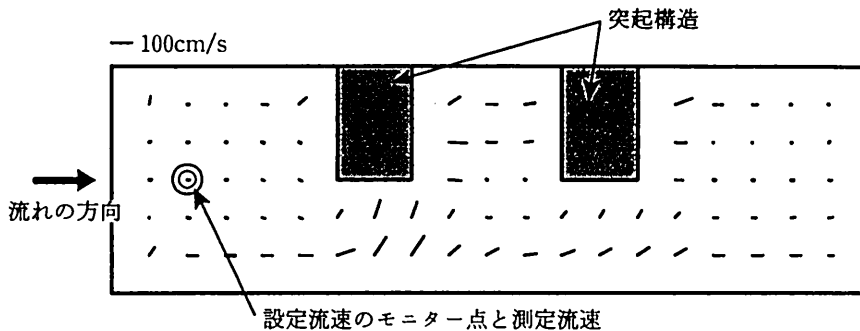


図3 遊泳観察区間内の流速分布 (設定流速 $V=10\text{cm/s}$ での測定例)

け、それぞれのブロックにおける通過頻度の比率 p を求めた。これを図5に示す。 p は、各ブロックの総通過回数を、5回の繰返し観察の平均で求め、これを、 $300\text{秒} \times 5\text{尾} = 1,500$ で割って算出した。図5より、ブロック A では、流れが生じ速くなると指数的に魚の通過が少なくなっていくこと、またブロック B では、それが流れの最上流に位置することからもともと通過あるいは滞在回数が多いわけであるが、流れが速くなるにつれ、このブロックを出ることが少なくなり、逆に、大きな流れを避けて流水部から入ってくる回数が増えること、などがわかる。ブロック C は、格好の避難場所とみることができ、実際には、図3に示したように、流速が局所的に大きくなるため、あまり利用されないようである。図5に示す折れ線は、PHABSIM の適性曲線¹⁾に相当するもので、これより、流況・流速に対応した魚群の選好行動をみることができる。

2. 魚群行動の成立

魚の群行動は、流速が増し、避難場所が複数ある場合には成り立たなくなる。図6は、各設定流速における、魚群半径 r の計測例をまとめたものである。ここで r は、5尾の体重が同じとして、重心位置から各固体魚までの距離の二乗平均根として算出し、これを遊泳時間の時系列で表した。静水条件では、体長に対応した $r = 5 \sim 7\text{ cm}$ の群行動をとるが、流速が大きくなると、たとえば、図6 (b) のように、エネルギーの消耗が大きくなって次第に離れていくケースや、図6 (c) のようにかなり早くから群行動が成り立たないケース、あるいは、図6 (d) のように、特定の避難区域に移動せざるをえないことにより魚群としてのまとまりをみせるケースなどがある。このような流れに対応した魚群行動を、個体魚間隔でまとめると、図7のようになる。同図は、5回の繰返しで観察された魚群遊泳中の個体間隔の最大値および最小値を、設定流速ごとに示したものである。

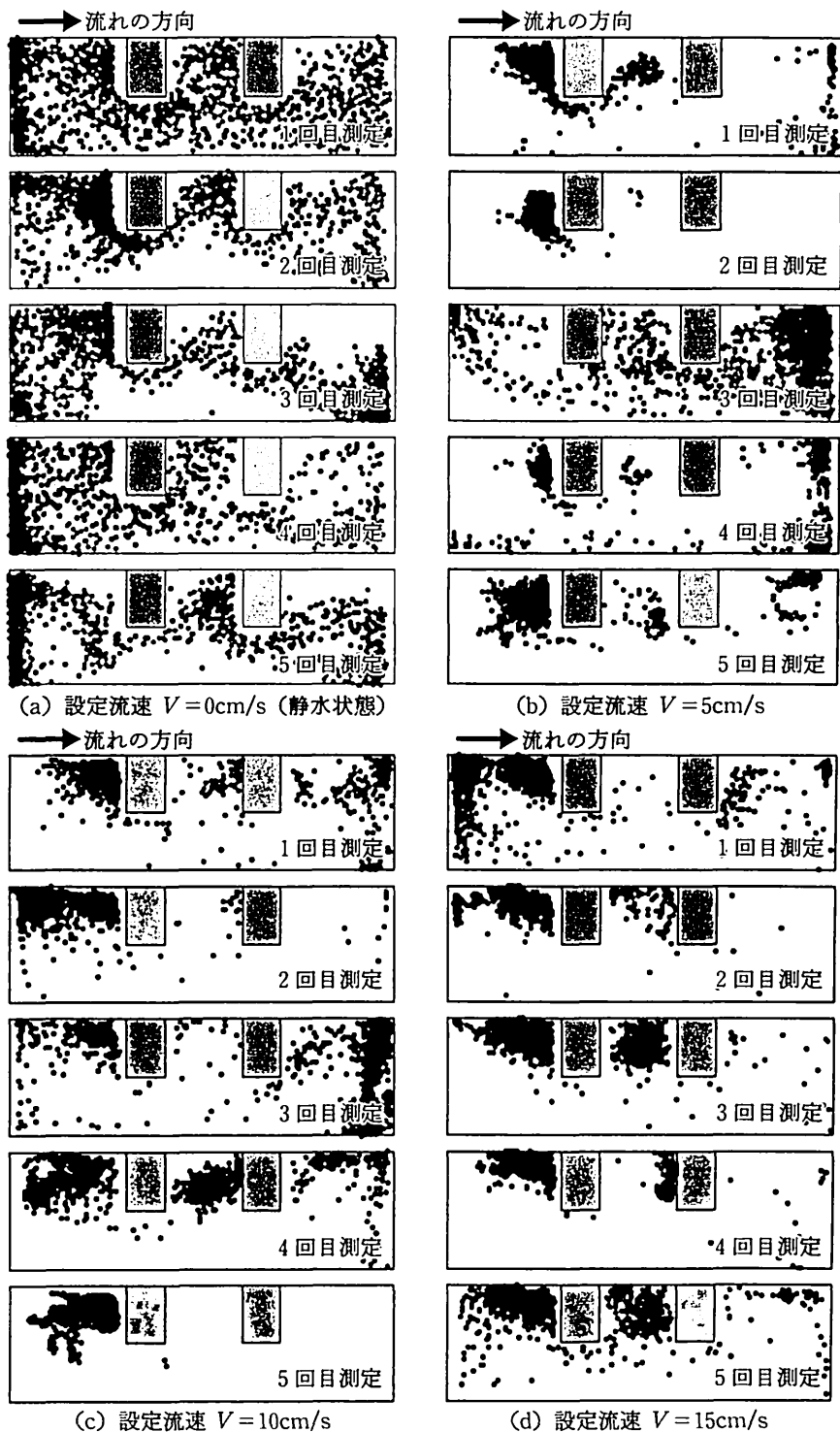


図4 5分間の遊泳で魚群個体群が通過した点の分布 (各設定流速で供試魚グループを変えて5回の繰返し測定を実施)

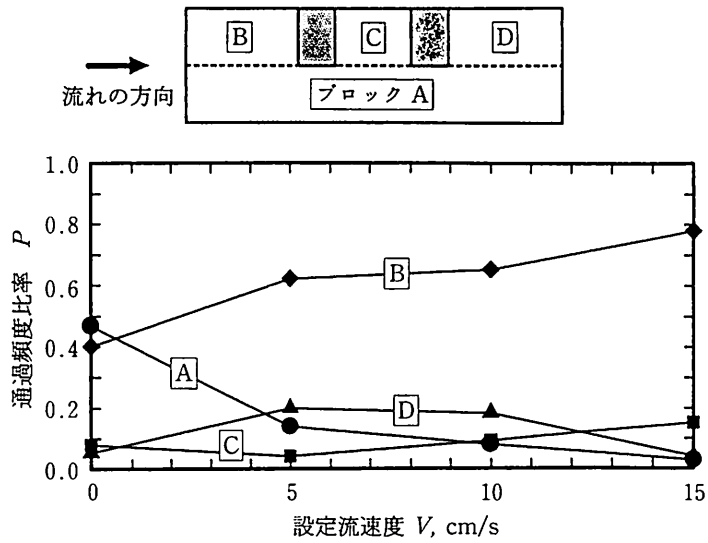


図5 流速にともなう遊泳観察区間内でのブロック別の通過頻度比率の変化

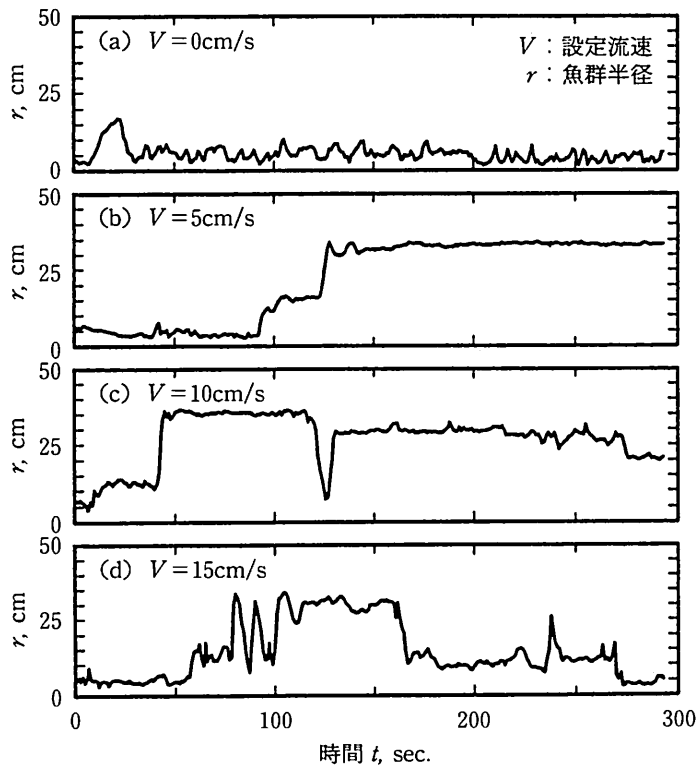


図6 各設定流速における魚群半径の測定例

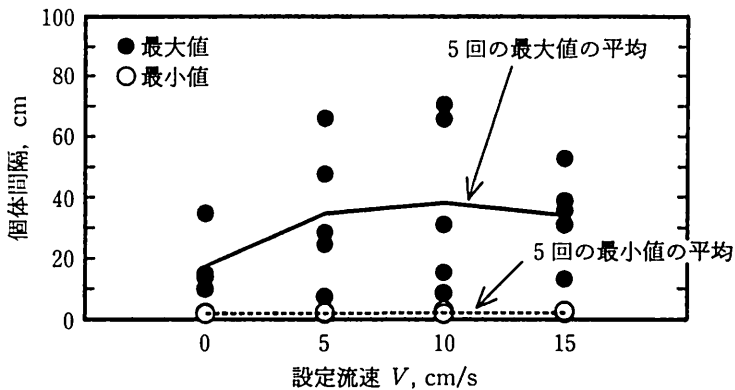


図7 流速にともなう魚群内の個体間間隔の変化

個体間隔の最小値は流速に関わらず2 cm程度であるが、最大値は平均して30~40cmとなり、魚群としての行動が成り立たなくなってくるケースが生じているのが分かる。

まとめ

水路や魚道などの構造物内における魚群行動の数理モデリングを検討するため、流れのある室内水路で魚群の遊泳行動を観察した。観察実験には5尾のタナゴを用いた。突起構造をもつ長さ100cm、幅30cmの水路区間に自由に遊泳させ、ビデオカメラで撮影した。流速は、公称値として、0(静水状態)、5、10および15cm/sを設定し、それぞれ、供試魚グループを変えて5回の繰返し観察を行った。5分間に観察した遊泳行動を1秒ごとに読取り、これをプロットして、流速にともなう遊泳行動の変化を調べた。遊泳観察区間をよどみや流水部に応じてブロック分けし、流速による魚群の選好行動を示した。次いで、魚群半径の時間変化をまとめ、流速が増すにつれ、魚群行動が成り立たなくなること示した。今後、これらの観察結果の定量化、定式化が個体ベースモデリングの展開に重要になってくる。室内およびフィールドの実験・調査データを積み重ねていくことにより、魚にやさしい水路づくりにつなげていきたいと考える。

遊泳観察実験の実施ならびに画像からの座標読取りに際し、2001年度新潟大学農学部生産環境科学科卒業の浅見大紀氏、池田忠氏および大懸重樹氏より多大なご協力をいただいた。静止画像からの座標の読取りには、新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程の崎岡健児氏の開発によるTwo Screen Digitizerを使用させていただいた。ここに記して、これらの方々へ深く感謝したい。

参考文献

1. 楠田哲也・巖佐庸(編). 2002. 生態系とシミュレーション, 朝倉書店, pp. 115-136.
2. SANNOMIYA, N. and K. MATSUDA. 1984. A mathematical model of fish behavior in a water tank. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-14 (1), pp. 157-162.
3. 石川雅朗・足立 恒・平野弘晃. 2001. 個体ベースモデルによる魚類生息環境評価手法の構築. 河川技術論文集, 7, pp. 315-320.
4. 石川雅朗. 2000. ウグイの魚群行動特性に関する実験的研究. 河川技術に関する論文集, 6, pp. 101-106.
5. 森 敬幸・岡口真希・森井俊広. 2002. 水槽実験による魚群行動の観察と数理モデル化. 新潟大学農学部研究報告, 55 (1), pp. 57-65.
6. 森 敬幸・岡口真希・森井俊広. 2002. 静水条件における魚群行動の観察と数理モデル化. 第59回農業土木学会京都支部研究発表会講演要旨集, pp. 32-33.
7. 岡口真希・森 敬幸・森井俊広・光尾 健. 2002. 水路中の魚群行動の数理モデリングに向けた基礎実験. 第59回農業土木学会京都支部研究発表会講演要旨集, pp. 34-35.

Fish Schooling Behavior Observed in Laboratory Water Flume

OKAGUCHI Maki¹, MORI Takayuki² and MORII Toshihiro^{3*}

(Received December 27, 2002)

Summary

A fish schooling behavior is observed in a laboratory water flume to investigate a mathematical model describing the fish swimming in flow in hydraulic structures such as a canal and a fish-way constructed in a diversion work. Bitterlings are employed in the observation test. A group of five bitterlings is placed in shallow water in a test section 30 cm in width and 100 cm in length prepared in the laboratory water flume 300 cm long, and is made to swim freely. Two obstacle structures are attached on a side of the test section of the water flume to form a stagnation of water and a flowing current. The fish schooling behavior is recorded by a video camera and analyzed to determine positions of an individual fish consisting the fish schooling. The flow velocity is monitored at an entrance of the test section of the water flume. 0, 5, 10 and 15 cm/s of the velocity are selected for the observation test of the fish schooling behavior, in which 0 cm/s means no flow in the water flume. Five observations are repeated with changing the group of five bitterlings at each level of the monitored velocity of flow. The positions of the individual fish are read and digitized by 1 second interval during five minutes observation. Then these positions are plotted on an area of the test section of the laboratory water flume to show some pattern of the fish's swimming behavior. It is found from this plot that a frequency which the individual fish passes on and enters into a block divided within the test section of the water flume according to the flow pattern changes with the velocity of flow in the water flume. It is also found that, from a plot of radius defining the distributed area of the fish schooling with time, the fish schooling behavior is destroyed with increasing velocity of flow in the water flume.

Key words: Fish schooling behavior, Bitterlings, Laboratory water flume test

¹SYSTECH Co., Ltd. Formerly, Faculty of Agriculture, Niigata University, Niigata.

²Tobishima Kensetsu Co., Ltd. Formerly, Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Niigata.

³Faculty of Agriculture, Niigata University, Niigata.

*Corresponding author: morii@agr.niigata-u.ac.jp