人と自然　Humans and Nature 19: 95–100 (2008)

報　告

太陽光発電と小型揚水ポンプを用いた簡易魚道内の水位維持の試み
― 設置方法と効果の紹介 ―

久加朋子[1)2)]・大澤剛士[1)3)]・石田裕子[1)4)]・佐々木宏展[1)5)]・
前田知己[1)6)]・三橋弘宗[1)7)]*

New attempt to maintain a water supply on simple fishway with photovoltalic power generation and small pump system
― Introduction of construction method and advantage ―

Tomoko KYUKA[1)2)], Takeshi OSAWA[1)3)], Yuko ISHIDA[1)4)], Hironobu SASAKI[1)5)],
Tomoki MAEDA[1)6)] and Hiromune MITSUHASHI[1)7)]*

要　旨

水田生態系は，魚類や水生昆虫をはじめ，高い生物多様性を有するが，近年では圃場整備などによる乾田化や水域ネットワークの分断化によって，季節的に水田を利用する生物の移動や生息が困難になりつつある．この課題を解決するために，簡易魚道による水域ネットワークの再生が各地で試みられているが，整備された水田，簡易魚道では渇水になりやすく，水位の維持が重要な課題となっている．これらを解決するために，ソーラーパネルによる太陽光発電で小型揚水ポンプを稼動させ，晴れた日のみ簡易魚道および水田など一時的水域に水を供給する方法を検討した．市民団体など小規模な事業主体による実施を想定し，比較的安価で入手できること，設置が簡便であること，十分な水位が確保できることの３点を満たすことを必須条件とした．その結果，太陽光発電を利用した小型揚水ポンプの設置は十分に条件を満たすものであった．材料費は約８万円で，作業は大人５人で約３時間であった．確保できた水量は晴天時に 4.5L/min.（1 日で 2.7m^3）で，簡易魚道および小規模な水田であれば，完全な干出を防ぐのに十分な量であった．今回検討した方法は，市民団体でも行える程度に安価で簡便であり，かつ高い成果を得られるものであることから，分断化された水域ネットワークの再生に広く活用可能だと考えられる．

キーワード： 一時的水域，簡易魚道，小型揚水ポンプ，自然再生，水域ネットワーク，ソーラーパネル

1) 水辺のフィールドミュージアム研究会　〒669-1546　兵庫県三田市弥生が丘 6.
Working team of field museum in wetland ecosystem,　Yayoigaoka 6, Sanda, 669-1546 Japan
2) 新日本環境調査株式会社　〒559-8519　大阪府大阪市住之江区南港北 1-24-22.
Shin-nihon Environmental investigation Co.Ltd.,　Suminoe-ku Nankokita 1-24-22, Osaka, 559-8519 Japan
3) 神戸大学大学院人間発達環境学研究科　〒657-8501　兵庫県神戸市灘区鶴甲 3-11.
Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University,　Nada-ku Tsurukabuto 3-11, Kobe, 657-8501 Japan
4) 摂南大学工学部都市環境システム工学科　〒572-8508　大阪府寝屋川市池田中町 17-8
Department of civil and environmental system engineering, faculty of technology, Setsunan University,　IkedaNaka-machi 17-8, Neyagawa, 572-8508 Japan
5) 摂津市立第三中学校　〒566-0033　大阪府摂津市学園町１丁目３番１号
Settsu Daisan junior high school,　Gakuen-cho 1-3-1, Settsu, 566-0033 Japan
6) 京都大学農学部資源生物科学科　〒606-8224　京都府京都市左京区北白川追分町
Department of Bioresource Science, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Sakyou-ku Kitashirakawa Oiwake-cho, Kyoto, 606-8224 Japan
7) * 兵庫県立人と自然の博物館　〒669-1546　兵庫県三田市弥生が丘６丁目
Museum of Nature and Human Activities, Hyogo,　Yayoigaoka 6, Sanda, 669-1546 Japan

はじめに

自然再生とは，規模の大小を問わず，失われた生態系機能を再生させる取り組みである．近年では，行政が主体となり，河川の再蛇行や河原の湿地再生などの自然再生事業が実施されている（環境省自然環境局・自然環境共生技術協会，2004）．しかし，行政主体の自然再生事業は実施の規模が大きく膨大な予算と労力が必要となるため，地域に数多く存在する小川や水路，個人所有のため池や耕作地などの比較的小規模な生態系のすべてを公共事業として対策することは困難である．実際，これらの生態系の再生は，地元の市民団体などが主体となった活動にゆだねるところが大きく，その効果も活動団体が持つノウハウに大きく左右される．したがって，簡便で効果的な方法論を確立し，市民団体へ普及することは，地域生態系の再生に大きく貢献すると考えられる．

地域生態系のなかでも，水田は国土に占める割合も高く，本来，高い生物多様性のポテンシャルを有する生息場所である．しかし，水田生態系では圃場整備などの土地改変による生態系機能の劣化が著しく（内山ほか，2007；森ほか，2007），特に水域間のネットワークの分断化と水田の乾燥化は，生物多様性を著しく低下させていると考えられている．例えば，淡水魚や水生昆虫は，生活史のなかで水田をはじめとした一時的水域を利用することが知られており，特にコイ科魚類やドジョウやナマズでは，これらの水域を春期から夏期にかけて産卵場所や稚魚の生息場所として利用する（斉藤ほか，1988；片野，1998，片野ほか，1998；藤崎ほか，2001；西原ほか，2006）．このような生物にとって，河川や水路と水田間の水域ネットワークの分断化と乾燥化は，個体群の存続に深刻な影響を及ぼすため，これらの課題を解決し，生態系機能を再生することが希求されている（日鷹，1998）．

水田のような比較的小規模な水域ネットワークの連続性を再生するための方法の一つとして，簡易魚道の設置が挙げられる．簡易魚道は，河川に設置する魚道に比べて簡便な構造であるが，実際に数多くの魚が水田と水路の間を移動することが報告されており，水域ネットワークの連続性を取り戻す方法として有効である（端，2000；日経コンストラクション，2005）．簡易魚道の設置は，比較的安価で簡便であるため（鈴木，2007），小規模な事業主体でも取り組むことが可能である．しかし，簡易魚道の流量を常に維持することは難しく，晴天時には十分な水が確保できない場合も多い．さらに圃場整備された水田は，晴天が続くと簡単に渇水状態となるため，遡上した魚の生息場所すら確保できない場合もある．簡易魚道による一時的水域の連続性の再生効果を高めるためには，晴天時においても，魚道と水域に安定して水を供給するシステムを確立することが必要である．

そこで本報では，水域および簡易魚道へと恒常的に水を供給する簡便な方法として，ソーラーパネルを用いて小型揚水ポンプ（以下ポンプとする）を稼働させる仕組みを提案する．渇水状態になりやすい晴れた日のみ魚道および一時的水域へと水を供給するシステムが稼働すれば，水域の連続性ならびに一時的水域自体を安定して維持することが可能となる．しかし，こうした仕組みを

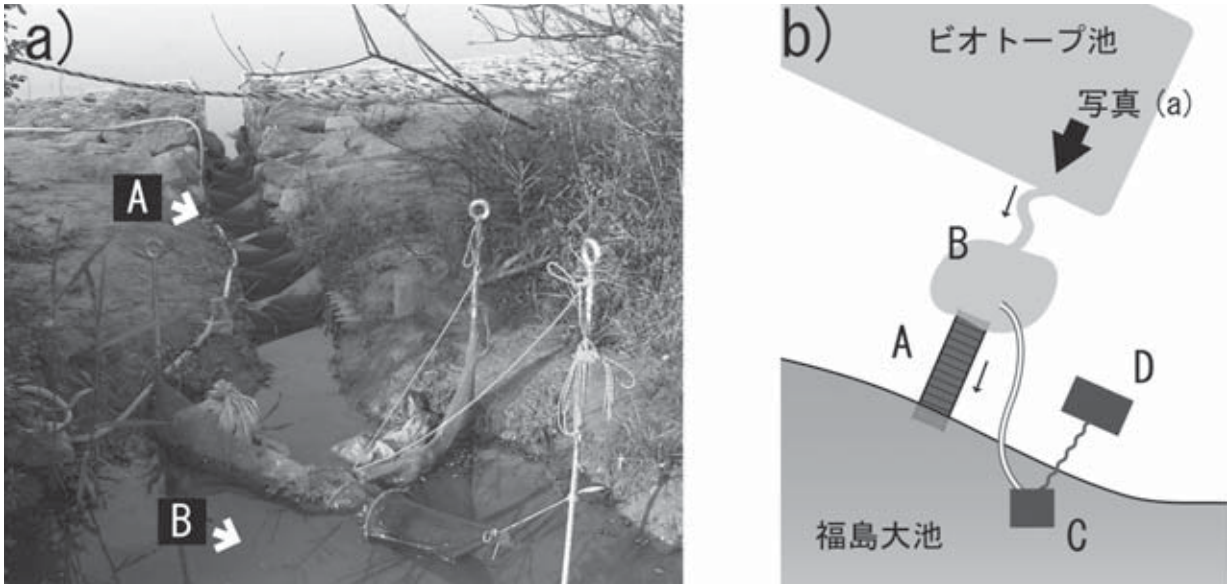

図 1　調査地（兵庫県三田市有馬富士公園内）の概要．
a) ビオトープ池から見た魚道および中間池の写真，b) 設置状況模式図，A：簡易魚道，B：中間池，C：小型揚水ポンプの設置場所，D：ソーラーパネルの設置場所を示す．

適用した水供給システムの事例研究は皆無であることから，設置方法の確立と，得られる成果の基礎情報を取得することが必要である．そこで今回の報告では，簡易魚道にソーラーパネルと小型揚水ポンプを設置する上での1）設置方法，2）設置のコスト，3）日射量と揚水量と魚道内の水位の関係，の3点について報告する．

方　法

調査地

実験は，兵庫県三田市に位置する有馬富士公園内の福島大池（以後より大池）および隣接する水田型ビオトープ，中間池において（図1），2007年7月から2008年6月にかけて実施した．大池と水田型ビオトープとの連続性を確保するために，一時的水域となる中間池を設けて，この中間池と大池とを簡易魚道によって接続させている．大池は面積3.5ha，灌漑面積33ha，池の周囲約4kmの人工池で，農業用水の確保およびヘラブナ養殖池を目的としている．隣接する中間池は直径約2m，平均水深約0.3 mの円型であり，2007年6月時点（ポンプ設置時）の堪水量は約1 m^3である．大池と中間池とをつなぐ簡易魚道は全長約2m，勾配1/7（距離7mで高低差1m）で，素材にはコルゲート管（ダイカ社，大阪府，プレスU字溝型番300，図2）が用いられている．実験のため，魚道内には水深を確保するための堰板（せきいた；魚道内の水位を上げるために差し込む間切り用の板）をはめ込んだ．堰板には直径30cmの木製の円板を半分にカットしたものを用いた．堰板を取り付ける間隔は任意とし，各々の堰板間の水位差が3cm程度になるようにした．

ソーラーパネルとポンプの設置

渇水時の簡易魚道内および一時的水域の水位確保を目的として，ソーラーパネル（プティオ社，愛知県，DSH43（45W））と直流式小型揚水ポンプ（プティオ社，愛知県，C4SP）を，試験的に2007年7月8日に取り付けた（図3）．

ポンプの選定には以下の2点に留意した．1点目は，ソーラーパネルからの直流電力を交流に変換することなく作動すること，2点目は野外で使用するため，水位センサーにより空転制御できることである．選定したポンプに付属する電源コードは1m程度と短かったため，コードの10m延長を依頼し，コード接続部が水につからないようにした．実際の野外における設置条件は，ポンプとホース先端の高低差が約2mであった．

（1）ソーラーパネルの設置方法

専用の設置台を作製し，その上にソーラーパネルを蝶番とネジを用いて固定した（図4）．設置台はパネルを斜め（傾き約5度）に設置でき，ソーラーパネルの取り外しが可能な構造とした．斜めに設置できるようにした理由は，発電効率の向上と，パネルの上に落ち葉などの堆積物がたまるのを防ぐためである．設置台の素材には，塩化ビニル製の単管（φ25.4mm）を用い，専用のアタッチメント（単管同士の接続部品）を使って組み合わせた．作製した設置台は，脚部を周辺の土壌が安定した場所に埋め込み固定した．

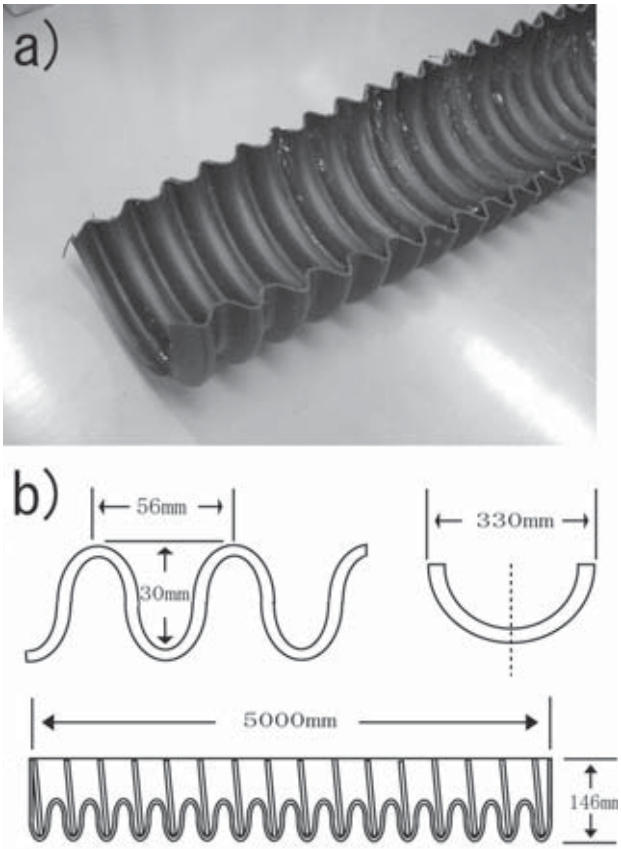

図2　簡易魚道の素材として用いたコルゲート管の規格．
a) コルゲート管の写真，b) コルゲート管の規格

（2）ポンプの設置方法

ソーラーパネルと同様，ポンプにも専用の設置台を作製した（図5）．設置台の素材には鉄製の足場用の単管（φ48.6mm）を用い，自在クランプ（単管用の鉄製の金具）でこれらを固定した．ポンプは，設置台の下部にプラスチック製の結束バンドを用いて取り付け，取り外しが可能なようにした．ポンプにはビニル製のホース（口径11mm，ホース長13m）を取り付けた．

ポンプがゴミや泥を吸い込むのを防ぐため，以下のように二重のストレーナー（ポンプの先につけるゴミよけ）を設置した．ポンプ本体に内蔵のストレーナー（スポンジ）に加え，口径の大きいホース用の外付けストレーナ

ー（樹脂製の囲い，網目の直径約 5mm）の中にポンプを設置した．さらに設置台の周囲に，農業用の防虫ネット（網目約 1mm）による覆いを取り付けた．

コードの接続部の防滴処理のため，接続部にホースを通し，その両側に隙間充填材（シールパテ）をつめこみ，その上をビニールテープで覆った．防滴処理を行った後，コード接続部をポンプ設置台の上部（増水時にも水につからない場所）に固定した．

以上の作業終了後，ソーラーパネルとポンプを接続し，実験を行った．

揚水量の測定

太陽光の日射量に対するポンプの揚水量を測定した．太陽光の測定には照度計（ミノルタ社 デジタル照度計 T-1）を用いた．ポンプによる揚水量の測定には，単位時間あたりにポンプに取り付けたホースから流れ出る水量を計量し，揚水量（L/min.）とした．

水位維持の効果

ポンプを稼動させることにより，簡易魚道であるコルゲート管内の水位を測定した．簡易魚道への水の供給は中間池のみからとし，中間池にはソーラーパネルで稼動させたポンプによる揚水のみを注いだ．水位維持の効果は，この状態におけるコルゲート管の凹部および凸部の水深を，堰板を取り付けた場合と，はずした場合を比較することで評価した．

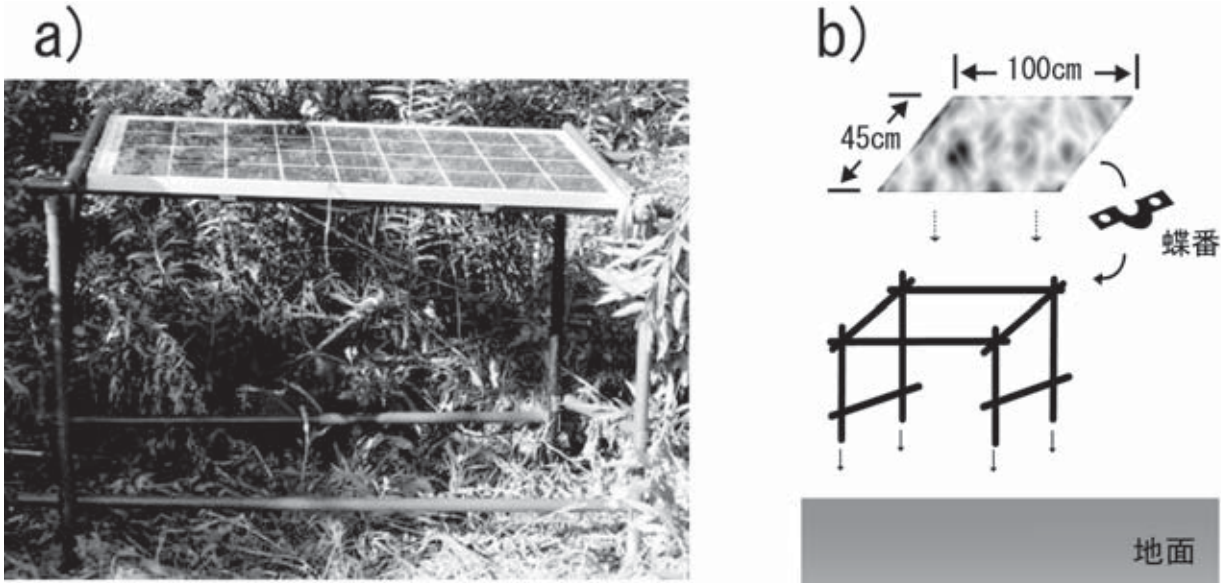

図 3　ソーラーパネルの設置台．　a) 設置台の写真，b) 設置状況模式図

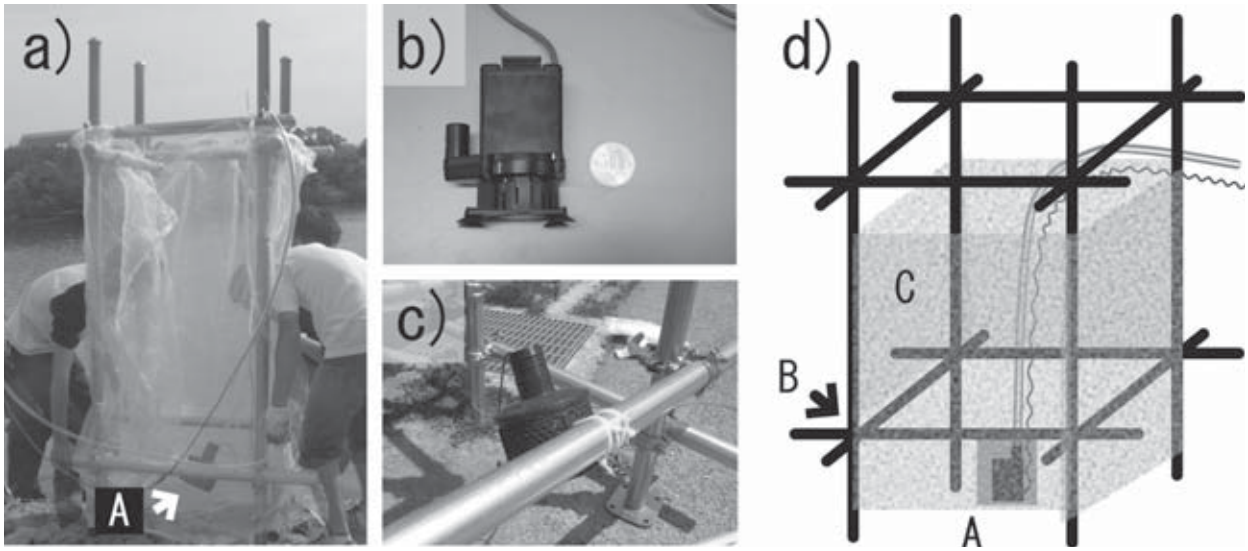

図 4　ポンプの設置台．
a) 設置台の写真，b) 小型揚水ポンプの写真（500 円玉はスケールを示す），c）ポンプ外付けストレーナーの写真（足場用単管に結束バンドで固定），d）設置状況模式図，A：ポンプと外付けストレーナー，B：足場用単管と自在クランプ，C：防虫ネットを示す

結　　果

入手のしやすさと価格および設置にかかる労力

ソーラーパネルとポンプはプティオ社に直接発注し，合わせて約 5 万円で購入した．ポンプは直流で稼動し，水位センサーがあり，少ない電力で高い揚水量を得られるものであった（仕様；定格電圧 12V または 24V，最大揚程 2.9m，最大流量 14L/min. 寸法幅 48 ×奥行 65.5 ×高さ 67，重量 260g）．その他の材料はすべて大型のホームセンターで揃えることができた．全てを合わせた材料費は，約 8 万円であった．ソーラーパネルおよびポンプの設置に要した時間は，5 人で約 3 時間であった．

揚水量

実験によって得られた照度と揚水量の関係を図 5 に示す．太陽の照度に対するポンプの揚水量は，約 20,000lx（ルクス）を前後して増加しはじめ，その後約 40,000lx を境に 4 ～ 5L/min. で安定した．揚水できる最低照度は 10,500lx で，揚水量は 0.07L/min. であった．太陽光の照度は晴天の場合には 100,000lx，曇天の場合には 30,000　50,000lx 程度であった．防水の照度計が用意できなかったために雨天時の測定は実施していないが，雨天時にはポンプが作動しないことが確認できた．また，野外において，このシステムを 5 月から 7 月にかけて 3 ヶ月間稼働させたが，その間のポンプやソーラーパネルのメンテナンスは不要であった．

水位維持の効果

ポンプから水路幅 30cm の簡易魚道へと約 4.5L/min. の水を供給した結果，コルゲート管内に堰板を設置した場合，コルゲート管の凸部で約 20mm，凹部で約 55mm の最大水深を確保でき，この時の堰板越流水深は約 10mm, 越流流速は約 30cm/min. であった．また，堰板がない場合でもコルゲート管の凸部で約 12mm，凹部で約 37mm の最大水深を確保できた．越流水深および越流流速の測定箇所は，財団法人 ダム水源地環境整備センター（1998）を参考とした．

考　　察

ソーラーパネルによってポンプを動かし，晴天時における水を確保する試みは，概ね期待した成果を得ることができた．検討した方法は，大人数名が数時間で設置できる程度に簡便であり，材料費は小規模な事業主体でも賄える程度に抑えることができた．さらに，晴天時に簡易魚道内と一時的水域である中間池にも十分量の水を供給することができたことより，市民団体などでも実施できる程度に簡便で，かつ効果的な方法を確立するという当初の条件を満足するものであった．

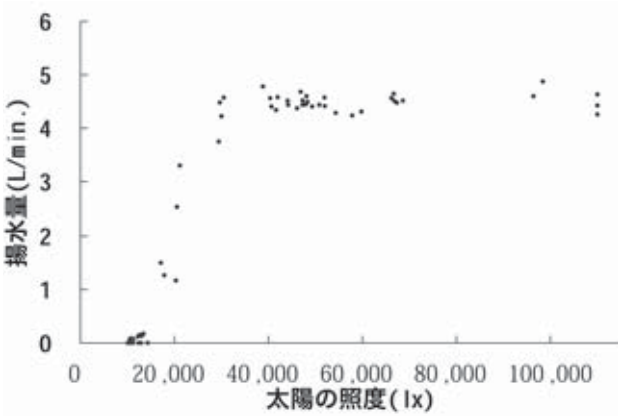

図 5　太陽の照度とポンプの揚水量の関係，ソーラーパネルによる太陽光発電によって稼動させたポンプの揚水量を示す．
ポンプには 13m のホースを接続し，揚程は約 2m である．揚水量は照度 10,500lx で 0.07L/min.，約 40,000lx を前後に 4 ～ 5L/min. で安定した．

今回の結果から，小規模なビオトープ池や水田程度であれば，ソーラーパネルとポンプを利用すれば，簡易魚道や一時的水域内の水位確保は十分達成可能といえる．実験に用いたソーラーパネルとポンプによる揚水量は約 4.5L/min. で（図 5），晴れた夏の日には早朝 7 時から夕方 17 時半まで 10 時間以上ポンプが稼動し，毎日約 2.7m^3 以上の水を汲み上げることができた．一時的水域に生息する生物は，水域内が渇水状態になりはじめると，排水路へ向かって逃避行動を取ることが知られている（端，2005）．ポンプを利用して簡易魚道内の水位を維持することは，渇水時における避難経路としての機能のほか，魚道内にとり残された魚類の干出を回避する役割も果たすと考えられる．さらに , 今回の結果によって得られた日最大揚水量（2.7m^3）は，例えば水田など一時的水域の排水口付近に小さなくぼみ(仮に約 3m 四方）を作った場合，1 日で水深 30cm 程度の堪水が可能であり，渇水時の水生生物の避難場所の確保にもつながると考えられる．

本報で紹介したソーラーパネルを利用した水量確保の利点は，降雨時には不必要な水の供給を行わないことである．晴天日や曇天日のみ水を供給することで渇水の心配がある時だけ水を供給し，増水による土手の崩壊などに拍車をかける心配はないと考えられる．しかし，今回の実験では課題も得られた．実験に用いたポンプの仕様は最大揚程 2.9m，最大流量 14L/min. あったが，高低差約 2m で長さ 13m のホースを取り付けた結果，最大流量は 4.5L/min. まで減少した．ポンプの機能をより高めて使用するには，高低差をできる限り減らすなど改善の余地がある．また，実験ではホースに透明のものを

用いたが，ホース内部に付着藻類が繁茂して揚水量が減少した．常に最大の揚水量を確保するためには，有色のホースを用いるなどの対策を施す必要がある．

小規模な生態系を再生する活動を普及するためには，安価で簡便，かつ効果の高い方法を確立し，情報公開することが非常に重要である．今回提示する方法は，比較的安価で簡便かつ高い効果が望める方法として，地域の市民団体などが行う自然再生のメニューの１つとして非常に有効だと考えられる．今回の実験では，ポンプの水源にため池を利用したが，小規模な河川や湧水水路を利用することも可能である．現在各地に設置済みの既存の簡易魚道と組み合わせることで，雨水と上流域からの水供給およびポンプからの揚水によって，水域ネットワークの連続性を維持することが可能であり，実用に耐える方法だと思われる．

謝　辞

本実験を行うにあたり，有馬富士公園パークセンターの小坂真也氏，櫻井康司氏および里山レンジャーの服部泰樹氏，森聡子氏には多大なご協力をいただいた．また，プティオ社の神谷宏氏にはソーラーパネルおよびポンプの機能や設置についての有益なアドバイスをいただいた．人と自然の博物館の服部保氏には実験に必要な照度計を長期にわたって借用させていただいた．水辺のフィールドルドミュージアム研究会の各メンバー，特に江口翔氏，恩地利実氏，近持崇嗣氏，近藤稔幸氏，澤邊久美子氏，清水洋平氏、末廣昭夫氏，田口勇輝氏，永井孝明氏，福永隆一氏、藤本亜子氏には本実験の随所で様々な協力をしていただき，ここに内容をまとめることができた．本稿をまとめるにあたり２名の査読者には有益なコメントをいただいた．以上の方々に心から感謝いたします．本実験は花王・コミュニティミュージアム・プログラム 2007 博物館・美術館等を拠点とした市民活動の応援―助成番号 16「簡単で効果あり！ニュータウンの自然を再生する方法教えます（水辺のフィールドミュージアム研究会）」の助成を受けた．

文　献

端　憲二（2000）田圃につける小さな魚道．応用生態工学会，3，231-234.

端　憲二（2005）メダカはどのように危機を乗りこえるか．農文協，東京，72-78.

日鷹一雅（1998）水辺環境の保全―生物群集の視点から―．江崎保男・田中哲夫（編），水田における生物多様性とその修復．朝倉書房，東京，125-148.

藤崎雅明・水谷正一（2001）淡水生物の保全生態学 - 復元生態学にむけて - 自然復元特集 5．森誠一（編），魚類の生息場所としての水田環境．信山社サイテック，東京，76-85.

環境省自然環境局・自然環境共生技術協会（2004）自然再生 釧路からはじまる．ぎょうせい，東京，279p.

片野　修（1998）水辺環境の保全 - 生物群集の視点から - ．江崎保男・田中哲夫（編），水田・農業水路の魚類群集．朝倉書房，東京，67-79.

片野　修・斉藤憲治・小泉顕雄（1998）ナマズ *Silurus asotus* のばらまき型産卵行動．魚類学会誌，35，203-211.

森　淳（2007）農村の生き物を大切にする 水田生態工学入門．水谷正一（編），水田生態系の変質．農山漁村文化協会，東京，25-28.

日経コンストラクション（2005）特集 自然再生の新潮流 琵琶湖のフナが遡上できる魚道を考案．水田 滋賀県の「魚のゆりかご水田プロジェクト」．日経 BP 書店，東京，42-44.

西原昇吾・苅部治紀・鷲谷いづみ（2006）水田に生息するゲンゴロウ類の現状と保全（<特集>水田生態系の危機）．保全生態学研究，11，143-157.

斉藤憲治・片野　修・小泉顕雄（1988）淡水魚の水田周辺における一時的水域への侵入と産卵．日本生態学会誌，38，35-47.

鈴木正貴（2007）農村の生き物を大切にする 水田生態工学入門．水谷正一（編），魚道の対策と効果．農山漁村文化協会，東京，100-106.

内山りゅう（編）（2007）今，絶滅の恐れがある水辺の生き物たち．山と渓谷社，東京．167p.

財団法人 ダム水源地環境整備センター（1998）最新 魚道の設計―魚道と関連施設―．信山社サイテック，東京，177-178.

（2008 年 7 月 31 日受付）
（2008 年 10 月 17 日受理）