原著論文 Original Paper

摩耗程度の異なるコンクリート壁面に対する カエル類 4 種の脱出能力の比較

田中 雄一¹⁾・河村 年広²⁾・佐伯 晶子¹⁾・加藤 久³⁾

1) 愛知県農業総合試験場 〒480-1193 愛知県長久手市岩作三ヶ峯 1-1

2) 愛知県尾張農林水産事務所 〒460-0001 名古屋市中区三の丸 2-6-1

3) 愛知県豊田加茂農林水産事務所 〒471-8566 豊田市元城町 4-45

Yuuichi TANAKA¹⁾, Toshihiro KAWAMURA²⁾, Akiko SAEKI¹⁾ and Hisashi KATO³⁾: Comparison of the escape capability of four frog species (*Pelophylax porosus brevipodus*, *P. nigromaculatus*, *Fejervarya kawamurai*, and *Glandirana rugosa*) from concrete wall surfaces with various abrasive characteristics. *Ecol. Civil Eng.* 21(1), 9-16, 2018

1) Aichi Agricultural Research Center, 1-1, Yazako Sagamine, Nagakute City, Aichi 480-1193, Japan

2) Aichi Owari Agriculture, Forestry, and Fisheries Office, 2-6-1, Sannomaru, Nakaku, Nagoya City, Aichi 460-0001, Japan

3) Aichi Toyota-Kamo Agriculture, Forestry, and Fisheries Office, 4-45, Motoshiro-cho, Toyota City, Aichi 471-8566, Japan

Abstract: The purpose of this study was assess the ability of frogs to escape from agricultural concrete channels. The escape capabilities of four frog species from vertical concrete wall surfaces of different abrasive characteristics (“abration degrees”) were examined in a laboratory. The arithmetical mean roughness index (Ra) was used as a criterion for measuring the abration degree of the wall surfaces. Walls with Ra values of 0.23, 0.28, 0.55, and 1.23 were used for laboratory tests. More than 7.5% of the individuals (comprising the Indian rice frog, *Fejervarya kawamurai* and the black spotted pond frog, *Pelophylax nigromaculatus*) escaped from the four experimental devices. The wrinkled frog, *Glandirana rugosa* escaped from the three experimental devices of abration degree values of Ra 0.28, 0.55, and 1.23. The daruma pond frog, *Pelophylax porosa brevipodus* only escaped from the device of abrasion degree value of Ra 1.23 at low rate (12.5% of the individuals). We proposed that *P. porosus brevipodus* should be regarded as an indicator for frog escape tendencies from concrete channels. If such a standard is adopted, it will be necessary to take coutermesasures in channel walls with Ra vaule 1.23. These criteria would be applicable to drainage basins with orthogonal walls or a type of channel in which channel branches project from the sides of the stream (referred to as Water Channel Fabricated I.). Because, every species showed a preference for routes containing “corners” (i.e., “surface where two walls come together at an angle”) it was assumed that climbing would be very difficult in a channel with a flat wall surface. These results suggested that measures should to be taken to create escapable conditions in such channels.

Key words: agricultural channel, amphibian, arithmetical mean roughness, escaping capability, *Pelophylax porosa brevipodus*

2017 年 12 月 12 日受付, 2018 年 5 月 12 日受理

*e-mail: yuuichi_1_tanaka@pref.aichi.lg.jp

はじめに

田園地域においても生物多様性をより重視した農業生産が求められている（農林水産省 2007）。カエル類の多くの種は、水田を繁殖場もしくは生息場として利用している（長谷川 1998；松田・松井 1999；林 2007）。これらの種は、成体への変態後に水田から樹林等へ移動する種と、変態後も水田に定住する種に分類される（前田・松井 1989；Osawa and Katsuno 2001；長谷川 1998；林 2007）。また、水田定住性の種でも水田間を移動することが知られている（戸金 2010）。したがって、カエル類の生息環境の保全には、水田域内および水田と他の生態系の間の移動経路が確保されることが重要と考えられる。ところが、ほ場整備に伴って水田の周囲にコンクリート製の用排水路が施工される場合、それらの壁面は垂直または急勾配で、表面が平滑である。そのため、特に四肢に吸盤を持たない種にとっては、コンクリート水路が移動における障壁であることが指摘されている（大河内ほか 2001；土井 2001；林・高橋 2007；Naito et al., 2012）。

コンクリート水路からのカエル類の脱出対策としては、スロープや凹凸のある壁面（川西・西原 1995；渡部ほか 2009）のほか、既設のコンクリート水路に着脱できる工法として脱出用のネット（土井 2001；渡部ほか 2011）、亀かえるスロープ（本多 2011）や築付肋木工（森ほか 2012）などが提案されている。土井（2001）、渡部ほか（2011）、本多（2011）や森ほか（2012）といった着脱式工法の必要性を検討する場合には、水路壁面の摩耗程度とカエル類の脱出の関係についての知見が必要となる。それは、実際のコンクリート水路は、供用直後のものから 40 年以上を経過したものまであり、それらの壁面の摩耗程度は多様（北村ほか 2008）だからである。このような摩耗現象は、流水・混入砂礫が主要な要因の一つとなって生じる（堀口 1993；長束ほか 2002）。供用期

間の長期化に伴い壁面の摩耗が進行し凹凸が増大（北村ほか 2008）すれば、カエル類の登はんは容易になると予想されるが（渡部 2014）、この点に関する知見はない。

また、脱出対策は脱出能力のより低い種を対象に講ずる必要があるため（渡部ほか 2011）、種間比較に関する知見は重要である（渡部 2014）。しかしながら、そのような知見は、コンクリート斜面に対する 4 種の登はん能力（土井 2009）、脱出装置に対するトウキョウダルマガエル *Pelophylax porosus porosus* とニホンアカガエル *Rana japonica* の脱出率（渡部ほか 2011）、ニホンアマガエル *Hyla japonica*、トノサマガエル *Pelophylax nigromaculatus*、ヤマアカガエル *Rana ornativentris* とツチガエル *Glandirana rugosa* の跳躍力（渡邊・加藤 2014）などと、限られている。

そこで、本研究では、愛知県の平野部の水田に生息する、四肢に吸盤を持たない在来種、ヌマガエル *Fejervarya kawamurai*、ツチガエル、ナゴヤダルマガエル *Pelophylax porosus brevipodus* およびトノサマガエルを用いて、摩耗程度の異なるコンクリート垂直壁に対する脱出能力を室内実験により種間比較した。その結果からこれら 4 種の分布域において脱出対策を講じる際に重要視すべき脱出能力の低い種について考察した。そして、その種に着目して着脱式の脱出対策が必要な水路の摩耗程度について検討した。

材料と方法

供試個体

2015 年 6 月 10 日から 6 月 24 日と 2016 年 5 月 17 日から 6 月 30 日に、愛知県内の隣接する 3 市町の水田において、タモ網で捕獲した成体を用いた。供試個体の体サイズがなるべく均等になるよう、捕獲個体の中から各 40 個体を選んだ。それらの頭胴長と体重については、

Table 1. Snout-vent length and body weight of test individuals.
供試個体の頭胴長と体重.

Scientific name	Japanese name	No. of test individuals	Snout-vent length (mm)		Body weight (g)	
			Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD	Range
Dicroglossidae						
<i>Fejervarya kawamurai</i>	Numagaeru	40	35.7 $\pm$ 4.8	24.7–45.6	3.7 $\pm$ 1.7	1.0–8.6
Ranidae						
<i>Glandirana rugosa</i>	Tsuchigaeru	40	31.6 $\pm$ 4.8	24.3–45.6	2.5 $\pm$ 1.3	0.9–7.6
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	Tonosamagaeru	40	55.0 $\pm$ 9.1	36.8–75.8	14.2 $\pm$ 8.7	3.3–44.8
<i>P. porosus brevipodus</i>	Nagoyadarumagaeru	40	42.2 $\pm$ 4.1	29.9–51.2	6.2 $\pm$ 2.0	2.1–11.1

Table 2. Characteristics of test concrete wall surfaces.
供試コンクリート壁の特性.

Type of concrete walls	The use years (Round numbers)		Conditions according to health index and visual observation	Arithmetical mean roughness (R_a , mm)
I	0	5	Cement paste still hasn't flow out. The surface is smooth.	0.23
II	10	4	Flowing out of cement paste is in progress. The surface is to be rough feeling.	0.28
III	20	3	Flowing out of fine aggregate is in progress. Coarse aggregate is to come within sight.	0.55
IV	40	2	Flowing out of fine aggregate is progressing. A half of grains of coarse aggregate is exposed.	1.23

ノギスと電子秤で測定した (Table 1). 捕獲後は、室内で飼育し、水田の畦畔等において採集した昆虫類 (バッタ目, ハエ目やコウチュウ目など) やクモ類を餌として与えた. 実験には捕獲後 1 週間以内の個体を用いた. 実験後の個体は捕獲した場所に戻した.

実験装置

供試したコンクリート壁は, Table 2 に示した摩耗の程度が異なる I ~ IV の 4 水準とした. I は新品の建築用コンクリートブロックで, II, III および IV は現地水路で約 10~40 年供用されていたコンクリートパネルである. 目視による水路壁の劣化度の判断指標である健全度 (土木学会 2001; 農業土木事業協会 2007; 本間ほか 2008; 北村ほか 2008) は, I ~ IV の順に 5, 4, 3, 2 である. これらの壁面の摩耗程度の定量的指標である算術平均粗さ (R_a) を, 本間ほか (2008) の方法で求めた (Table 2). R_a の算出方法は, 初めに, 幅 150 mm の型取りゲージの針 150 本 ($\phi 0.8$ mm) をコンクリートの壁面に押し当て, 凹凸形状を型取る. 次に, これを方眼紙上でデジタルカメラにより撮影する. そして, この画像の凹凸形状の面積を画像解析ソフト (エステック, AreaQ) により求め, これを型取りゲージ幅 150 mm で除する (本間ほか 2008; 加藤ほか 2008; 北村ほか 2008). この方法により求めた供試コンクリート壁の R_a (mm) は, I : 0.23, II : 0.28, III : 0.55, IV : 1.23 であった. なお, R_a が 1.23 のコンクリート壁は, 供用年数が標準耐用年数 40 年に達しており, 細骨材等の流出が進行し, 露出した粗骨材の摩耗が始まっている状態であった.

以上の特性を有するコンクリート壁 I ~ IV (Table 2) を用いて, 土井 (2001) を参考に室内実験装置 I ~ IV を恒温室内に構築した. 実験装置は, Fig. 1 のとおり底面 28×28 cm, 高さ 57 cm のコンクリート壁の囲いとした. 実験装置 I はコンクリートブロックを 3 段の横積みにし

Fig. 1. Diagram of experimental device.
実験装置の概要

て並べた. 実験装置 II ~ IV は 28×57 cm に切り出したコンクリート壁をコンクリートボンドで接着して制作した. コンクリート壁の周囲には, 脱出個体の逃亡防止用に 60×60×120 cm のアクリル壁を配置した. 実験装置内部の底には, 湿らせたペーパータオル (日本製紙クレシア, 61201) を敷いた. 実験装置内部の底から 1 cm 上部

は、気温 23–26°C、湿度 85–95%、照度 80–120 lx に保ち、実験中にこれら条件の大きな変動はなかった。

実験方法

脱出率

実験期間は、ヌマガエルとナゴヤダルマガエルの実験装置 I の実験（実験 I，以下同様）については、2015 年 6 月 17 日から 7 月 1 日、その他の実験については、2016 年 5 月 19 日から 7 月 6 日に実施した。実験は午前 9 時から午後 4 時の間に行った。4 種についてそれぞれ実験 I～IV に対する脱出率を調査した。脱出率は実験装置内に入れた 8 個体の 2 時間後の脱出個体数の割合とした。実験は供試個体を入れ替え 5 回行った。

脱出行動

実験 IV については、脱出率が最も高いと予想されるた

め、ビデオカメラ（SONY, HDR-CX590V）またはウェブカメラ（バッファロー, BSW50KM02）で内部を撮影した（Fig. 1）。撮影映像からは、脱出を試みた個体の割合、脱出に成功した個体の休息回数と脱出に要する時間、脱出ルートを求めた。壁に取り付いた個体は脱出を試みたとみなした。脱出に要する時間は、個体が壁を登り始めてから実験装置外に脱出するまでを計測した。休息とは、登はん途中に 5 秒以上静止した場合と定義した。

結果

脱出率

ヌマガエル、ツチガエル、トノサマガエルおよびナゴヤダルマガエルについて、実験 I～IV における脱出率を Fig. 2 に示す。脱出率には、種間（ANOVA, $F=9.75$, $p<0.001$ ）と Ra （ANOVA, $F=6.94$, $p<0.001$ ）で差が

Fig. 2. Proportions of individual from four frog species escaping from experimental devices associated with concrete wall surfaces with different abrasion degree values. Different letters indicate significant difference (Tukey, $p<0.01$). Statistical applications were performed after arc sine transformation.

ヌマガエル、ツチガエル、トノサマガエルおよびナゴヤダルマガエルの摩耗程度の異なるコンクリート壁に対する脱出率。異なるアルファベット間に有意差あり（Tukey, $p<0.01$ ）。脱出率を逆正弦変換後に統計処理。

Fig. 3. Distributions of snout-vent length and body weight of test individuals in the experiment IV. ●: Escaping individual, ○: Not escaping individual.
実験Ⅳの供試個体の頭胴長と体重の分布. ●: 脱出個体, ○: 非脱出個体

見られた。なお、種間と Ra の交互作用には、有意差が見られなかった (ANOVA, $F=0.99$, $p>0.05$)。ヌマガエルでは、実験Ⅰ～Ⅳと摩耗が進むと、脱出率が12.5～35%と高くなったが、統計的に有意な差はなかった (Tukey 法, $p>0.05$)。ツチガエルでは、実験Ⅰで脱出率が0%であったが、同Ⅱで5%, 同Ⅲで12.5%, 同Ⅳで27.5%と、摩耗が進むと脱出率が段階的に高くなる傾向があった (Tukey 法, $p<0.01$)。トノサマガエルでは、 Ra と脱出率の間に明瞭な傾向が見られず (Tukey 法, $p>0.05$)、脱出率は7.5～12.5%の範囲であった。ナゴヤダルマガエルでは、実験Ⅰ～Ⅲの脱出率が0%で、脱出個体は同Ⅳでのみ見られ、脱出率が12.5%であった。

脱出個体の頭胴長と体重

実験Ⅳにおける脱出個体と非脱出個体の頭胴長と体重の分布を Fig. 3 に示す。ナゴヤダルマガエルでは、脱出個体の分布は非脱出個体と重なるものの、頭胴長が大きく体重が重い傾向があり ($p<0.05$, t-test), 脱出個体は頭胴長42 mm 以上の中～大型個体であった。他の3種では、脱出個体と非脱出個体の間に有意な差は見られなかった。

脱出行動

実験Ⅳにおける脱出を試みた個体数の割合、脱出個体の脱出ルート、所要時間および休息回数を Table 3 に示す。4種とも、脱出を試みた個体数の割合は90%以上で、

最初に実験装置底から跳躍してコンクリート壁に取り付いた後、登はんを始めた。登はん途中には休息することが多かった。このような一連の行動は、全種に共通していた。

脱出ルートは、ヌマガエルでは94%, ツチガエルでは91%が、初めから実験装置の四隅に跳躍して取り付き、そこから垂直に登はんしコンクリート壁の上部に向かった。両種の残りの個体は、当初は平面部分に取り付いたものの、そこから四隅へ移動して脱出した。トノサマガエルとナゴヤダルマガエルでは、100%が四隅に登はんして脱出した。4種が四隅に登はんする際には、四肢を左右の2面に突っ張るようにして体を支えていた。

高さ57 cmの垂直壁を脱出するのに要した時間は、平均でヌマガエルでは354秒、ツチガエルでは358秒と同程度であった。これら2種と比較して、トノサマガエルでは63秒と有意に短かった (Tukey-Kramer 法, $p<0.05$)。ナゴヤダルマガエルでは114秒であった。登はん途中の平均休息回数は、ヌマガエルとツチガエルでは3.9回と同程度であった。一方、トノサマガエルでは1.0回、ナゴヤダルマガエルでは1.3回と前述の2種よりも有意に少なかった (Tukey-Kramer 法, $p<0.05$)。

Table 3. Route, duration time and resting frequency relating to climbing activities in the experiment IV.
実験Ⅳにおける脱出個体の脱出ルート、所要時間と休息回数.

Scientific name	Rate of trying to escape(%)	No. of escaping individuals	Escaping route(%)			Duration time(sec) Mean $\pm$ SD (Range)	No. of rest Mean $\pm$ SD
			Plane surface	Plane surface and corners	Corners		
<i>Fejervarya kawamurai</i>	92.5	14	0	7	93	354 $\pm$ 265 a (100–1185)	3.9 $\pm$ 1.5 a
<i>Glandirana rugosa</i>	90.0	11	0	9	91	358 $\pm$ 297 a (59–891)	3.9 $\pm$ 1.4 a
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	90.0	5	0	0	100	63 $\pm$ 76 b (1–190)	1.0 $\pm$ 1.0 b
<i>P. porosus brevipodus</i>	92.5	5	0	0	100	114 $\pm$ 70 ab (61–212)	1.3 $\pm$ 1.0 b

Different letters indicate significant difference (Tukey-Kramer, $p < 0.05$) 異なるアルファベット間に有意差あり (Tukey-Kramer, $p < 0.01$)

Statistical applications of duration times were performed after logarithmic conversion 所要時間は対数変換後に統計処理

考 察

摩耗程度の異なるコンクリートの垂直壁（高さ 57 cm）に対する、ヌマガエル、ツチガエル、トノサマガエルおよびナゴヤダルマガエルの 4 種の脱出行動を室内実験により種間比較した。松田・松井（1999）によれば、これら 4 種の最大頭胴長は、ヌマガエル 54 mm、ツチガエル 53 mm、トノサマガエル 94 mm、ナゴヤダルマガエル 73 mm とされる。いずれの種においても最大頭胴長に近い大型個体の現地での生息数は非常に少なかったため、本研究ではそれらを実験に供することができなかった（Table 1）。しかしながら、ヌマガエル、ツチガエルおよびトノサマガエルでは、脱出個体が大型である傾向を認めなかった（Fig. 3）。ナゴヤダルマガエルでは脱出が中～大型個体で見られたが（Fig. 3）、脱出率は低かった（Fig. 2）。以上を考慮すると、最大頭胴長に近い大型個体の欠如や体サイズのばらつきが脱出率の結果に与えた影響は大きくないと考えられた。また、実験Ⅳでは 4 種とも 90% 以上の個体が脱出行動を取っていたため（Table 3）、本研究で得られた脱出率の種間差は、体サイズや脱出行動の頻度ではなく、脱出能力の差を反映していると考えられた。

土井（2009）は、本研究と同じ 4 種を用いて野外の傾斜 45° コンクリート面での登はん距離を測定し、4 種が 255 cm の距離を登はんできることを示した。登はんがより難しい垂直壁を用いた本研究では、脱出行動の種間差がより明確となった（Fig. 2, Table 3）。摩耗程度の定量的指標である算術平均粗さ（ Ra , mm）（本間ほか

2008）が 0.23、0.28、0.55 および 1.23 の 4 水準のコンクリート壁（供用年数 0～約 40 年）に対して、ヌマガエルはすべてで脱出した（Fig. 2）。本種は、野外観察から登はん能力の高さを指摘されている（土井 2008）。本研究の結果もこれを支持するものとなった。ただし、垂直壁の脱出には平均約 6 分を要し、途中の休息回数は 3.9 回と多かった。ツチガエルは、 Ra が 0.23 で脱出しなかったが、摩耗程度が大きいほど脱出率が高くなる傾向があった。脱出に要した時間と途中の休息回数は、ヌマガエルと同等であった。トノサマガエルは、 Ra が 0.23～1.23 では脱出率が大きく変化せず、脱出に要した時間が 63 秒と最短であった。本種の垂直跳躍力は、最大 45 cm と優れることが知られる（渡邊・加藤 2014）。本研究でも跳躍により 20～30 cm の高さに取り付いた後、登はんしていた。このため、垂直跳躍力の高さが、脱出や脱出に要した時間の短縮につながったと考えられる。ナゴヤダルマガエルは、 Ra が 0.23～0.55 で脱出せず、1.23 でのみ脱出した。以上のように、コンクリート壁の摩耗程度（ Ra ）と脱出率の関係からは、摩耗程度が大きくなると脱出可能になるツチガエル、ナゴヤダルマガエルと、摩耗程度の影響が前 2 種と比較して少ないヌマガエル、トノサマガエルに分類できた（Fig. 2）。中でも、最も摩耗したコンクリート壁のみで脱出がみられたナゴヤダルマガエルは脱出能力が最も低いと考えられた。

水路からの脱出対策は、脱出能力のより低い種を対象に講ずる必要がある（渡部ほか 2011）。したがって、本研究で用いた 4 種が共通して生息する地域では、ナゴヤダルマガエルに着目することが有効と考えられる。その

地域とは、すなわち4種のうち最も分布域が限られるナゴヤダルマガエルの分布域、東海から近畿、瀬戸内、日本海側の一部および四国北部の一部（松田・松井 1999）である。

脱出能力の低いナゴヤダルマガエルに着目して、着脱式の脱出対策（土井 2001；渡部ほか 2011；本多 2011；森ほか 2012）が必要な水路の摩耗程度を検討すると、少なくとも Ra が 0.55 までのコンクリート壁に対しては必須と考えられた。なお、脱出率が 12.5% と低かった Ra が 1.23 の壁でも講じることが望ましいが、 Ra 1.23 と同等以上に劣化したコンクリート壁は、水路の維持管理や防災上、更新の対象になりうることに留意が必要である。

脱出行動の撮影映像からは、どの種も脱出個体は実験装置の四隅に登はんしていた（Table 3）。そのため、これまで述べてきた Ra による脱出対策の基準は、コンクリート面が直交する形状を有する柵や鉄筋コンクリート組立柵きよ・直壁型（例：組立水路Ⅰ型）に適用できる。コンクリート面が直交しない形状の水路（例：組立水路Ⅱ型）では、カエル類の脱出が著しく困難になると推測されるため、水路の摩耗程度に関わらず脱出対策が必要と考えられた。

今後は、流水環境での実験により、実際の水路における脱出能力を詳細に評価することも必要と考えられる。さらに、本研究とは異なる種構成の地域においても脱出能力の低い種を明らかにし、それらの種に着目して既存の脱出工法の評価を進めながら、カエル類全体に効果的な脱出対策の確立が望まれる。

謝 辞

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門の渡部恵司博士には、原稿に対して有益なご助言をいただいた。NPO カエルの分校の大内秀之氏と愛知教育大学の島田知彦准教授には、カエル類の生息地に関する情報をご教示いただいた。安城市榎前町環境保全会と愛知県豊田加茂農林水産事務所建設課には、コンクリートパネルの入手にあたりご協力をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げる。

摘 要

本研究では、コンクリート製の農業水路に転落したカエル類の脱出対策を検討する上で重要な、脱出能力の種

間差と脱出対策が必要な水路の摩耗程度を明らかにした。コンクリート製水路の摩耗程度の定量的指標である算術平均粗さ（ Ra , mm）が 0.23, 0.28, 0.55 および 1.23 の4水準のコンクリート壁（供用年数 0～約 40 年）に対する脱出行動を室内実験により調査した。ヌマガエルとトノサマガエルは全てのコンクリート壁で 7.5% 以上の個体が脱出したのに対して、ツチガエルは Ra が 0.23 では脱出がみられなかった。さらに、ナゴヤダルマガエルの脱出は Ra が 1.23 のコンクリート壁でのみでみられ、脱出率は 12.5% と低かった。したがって、これら4種の生息地域での水路からの脱出対策は、脱出能力が最も劣るナゴヤダルマガエルに着目すべきと考えられた。本種に着目する場合の脱出対策は、少なくとも Ra が 0.55 までは必要で、1.23 でも講じることが望ましいと推察された。なお、どの種も実験装置の四隅に登はんして脱出したため、本研究で示した Ra による基準は、コンクリート面が直交する形状を有する柵や鉄筋コンクリート組立柵きよ・直壁型（例：組立水路Ⅰ型）にのみ当てはまる。コンクリート面が直交しない形状の水路では、脱出が著しく困難になると推測されるため、水路の摩耗程度に関わらず脱出対策が必要ことが示唆された。

引用文献

- 土木学会（2001）コンクリート標準示方書「維持管理編」。
- 土井敏男（2001）ダルマガエルの登はん能力。両生類誌 **6**: 25-27。
- 土井敏男（2008）コンクリート水路に登はんしたヌマガエル。爬虫両生類学会報 **2008**: 4-6。
- 土井敏男（2009）水田に生息するカエル4種のコンクリート斜面に対する登はん能力。爬虫両生類学会報 **2009**: 23-28。
- 林光武（2007）水田で産卵する両生類の生態。「水田生態工学入門」（水谷正一編），pp. 57-64。農山漁村文化協会，東京。
- 林光武・高橋伸拓（2007）カエル類の水路への落下対策とその効果。「水田生態工学入門」（水谷正一編），pp. 134-140。農山漁村文化協会，東京。
- 長谷川雅美（1998）水田耕作に依存するカエル類群集。「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），pp. 53-66。朝倉書店，東京。
- 本多清（2011）生きもの田んぼの楽しみ方～滋賀県高島市の取り組みから～「シンポジウム小さな自然再生のすすめ part2」，pp. 17-21。
- 本間新哉・北村浩二・加藤敬（2008）水路摩耗における健全度評価と構造的機能に関する考察。農村工学研究所技報 **207**: 1-11。
- 堀口敬（1993）コンクリートの摩耗に関する研究の現状。コンクリート工学 **31** (10): 17-27。
- 加藤敬・本間新哉・北村浩二・今泉眞之（2008）開水路における壁面の凹凸から水路の粗度係数を求める試み。農村工学研究所技報 **207**: 183-193。

- 川西恵美子・西原正武 (1995) U字溝における小型動物に配慮した対策工について—小型動物の脱出実験—, 第8回環境情報科学論文集 57-62.
- 北村浩二・本間新哉・加藤敬 (2008) 農業用水路における壁面粗化による劣化予測の定量的評価, 農業農村工学会誌 **76**: 823-828.
- 松田憲男・松井正文 (1999) 改訂版日本カエル図鑑, p. 223, 文一総合出版, 東京.
- 森淳・渡部恵司・小出水規行 (2012) カエル類の保全に向けた築付き肋木式脱出工の開発, 農業農村工学会誌 **80**: 823-826.
- Naito R. Sakai M. & Morimoto Y. (2012) Negative effects of deep roadside ditches on *Pelophylax porosa brevipoda* dispersal and migration in comparison with *Hyla japonica* in a rice paddy area in Japan. Zoological science **29**: 599-603.
- 長束勇・甲本達也・青山咸康・野中資博・服部九二雄 (2002) 農業水利コンクリート構造物の更新と維持管理, 農業土木学会誌 **70**: 1081-1084.
- (社) 農業土木事業協会 (2007) 農業水利施設の機能保全の手引き, pp. 15 ~ 17.
- 農林水産省 (2007) 農林水産省生物多様性国家戦略, http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/s_senryaku/pdf/senryaku.pdf. (2018年4月19日確認)
- 大河内勇・大川畑修・倉品信子 (2001) 道路側溝での両生類の転落防止法, 日本林学会誌 **83**(2): 125-129.
- Osawa S. & Katsuno T. (2001) Dispersal of brown frogs *Rana japonica* and *R. ornativentris* in the forests of the Tama Hills. Current herpetology **20**: 1-10.
- 戸金大 (2010) 谷戸田におけるトウキョウダルマガエル *Rana porosa porosa* の生活史特性と個体群存続可能性, Landscape Ecology, Design and Engineering **5**: 1-151.
- 渡邊一哉・加藤布美子 (2014) カエルの跳躍能力からみた移動障害となる農業用水路規模, 環境情報科学論文集 **28**: 13-18.
- 渡部恵司・森淳・小出水規行・竹村武士 (2009) 農業水路に転落したカエル類の脱出対策に関する基礎的実験, 農業農村工学会論文集 **77**: 483-489.
- 渡部恵司・森淳・小出水規行・竹村武士・朴明洙 (2011) コンクリート水路に転落したカエル類の簡易な脱出工の試作と効果の検証, 農業農村工学会論文集 **79**: 215-221.
- 渡部恵司 (2014) コンクリート水路によるカエル類の移動障害と個体群保全に関する研究, 農村工学研究所報告 **53**: 63-104.