

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

— トウキョウダルマガエルが脱出しやすいスロープの傾斜角及び水路の水理条件 —

渡部恵司 森 淳 小出水規行 竹村武士

農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所, 〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

要 旨

圃場整備に伴いコンクリート化された水路において、転落後に脱出できずに死亡したカエルが頻繁に観察される。本研究では、コンクリート化の影響を受けやすいとされるトウキョウダルマガエルについて、水路への転落時の行動特性並びに脱出しやすいスロープの傾斜角及び水理条件（水深・流速）を明らかにした。本種が容易に登れるスロープ傾斜角は30°以下と考えられた。また、水深・流速が小さく個体が自由に移動できる時にはスロープに到達した個体は少なかったが、後脚が水路底に届かない水深または流速が大きいつまには個体が定位しにくく、スロープへの到達・脱出が促された。一方、本種の流れに対する遊泳能力は低かったことから、流速ではなく水深を調整して定位しにくい条件にするとともに、対策工周辺では流速を極力小さくする必要がある。

キーワード：農業水路，脱出対策，トウキョウダルマガエル，登攀能力，生態系保全

1. はじめに

水田の圃場整備は農業の土地生産性及び労働生産性の向上に貢献した一方、生物の生息環境に対してマイナスの影響を及ぼしてきた。その一例としてカエル類の減少が挙げられ (Fujioka and Lane, 1997; 東・武内, 1999), 圃場整備後にはニホンアカガエル *Rana japonica* やトウキョウダルマガエル *Rana porosa porosa* 等が減少し、ニホンアマガエル *Hyla japonica* が相対的に増加することが指摘されている (森, 2007)。この原因は乾田化 (早春に産卵するニホンアカガエル等の産卵適地が減少する) や水路のコンクリート化 (転落したカエルが脱出できない) が考えられている (森, 2001; 大澤・勝野, 2001, 2003)。カエル類はサギ類やイタチ等の大型捕食者の餌でもあり (小杉, 1960; Lane and Fujioka, 1998; 長谷川, 1995), 生息量の減少や種構成の変化はそれまでの食物網に影響を及ぼす可能性がある。

カエル類の生息場の保全に向け、水谷ら (2005) は水田と林地とを行き来するカエル類の移動経路を確保するためにU字溝にフタをすることの効果を検証している。しかし、このような対策ができない現場では、壁面の凹凸化や一部分にスロープを設置する等の脱出対策が必要である。一般に、これらの脱出対策の設計は経験に基づくことが多く、設計する上で不可欠なカエル類の遊泳・跳躍・登攀 (とうはん) 能力に関する知見は限られている (土井, 2001, 2002; 栢屋ら, 2000; 大河内ら, 2001)。しかも登攀能力の知見のうち、大河内ら (2001) は林道の側溝を想定して水が溜まらない実験装置を利用し、土井 (2001) は垂直壁のみを対

象に実験していることから、通水を前提とする農業水路での脱出対策の検討にこれらの結果を直接適用できない。

したがって、通水している水路に落下したカエルの挙動や斜面の登攀能力、部分的な脱出工への到達を促す水理条件といった、脱出対策の設計に資する基礎的情報を蓄積させる必要がある。そして栢屋ら (2000) は、カエル類のうち遊泳能力が高い種や樹上性で登攀能力が高い種は跳躍能力が低く、運動能力にトレードオフの関係があることを指摘している。このことは、脱出対策を設計する際には対象種それぞれの運動能力を把握、考慮する必要性を意味している。

本研究では水路のコンクリート化の影響を受けやすいとされる (Fujioka and Lane, 1997; 佐藤・東, 2004) トウキョウダルマガエルを対象とした。本種は仙台平野、関東平野、新潟県中・南部、長野県北・中部に自然分布し、平地にある水田・農業水路等の水辺に生息する (前田・松井, 1999)。指に吸盤を持たないため、U字溝に転落後、そこから脱出できず溺死する個体が現場で頻繁に観察される。2006年の環境省レッドリストの見直しにより「準絶滅危惧 (NT)」にも指定されている (環境省, 2006)。

実験では、部分的にスロープを設けた水路を使用し、水路に落下した直後の個体の行動特性を把握するとともに、スロープの傾斜角並びに水理条件のうち現場水路で操作しやすい水深及び流速と個体の脱出率との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 研究手法

2.1 供試個体

2007年8月下旬～10月上旬に栃木県市貝町の谷津田において、素手または手網により捕獲した85個体(体長38±10mm; 平均±標準偏差; 体長分布をFig.1に示す)を実験に使用した。捕獲後の個体は体長別に34～90L水槽3個に收容し、市販のミルワーム及びコオロギを餌として室内飼育した。

2.2 実験装置

実験装置の概要をFig.2に示す。ここでは実験条件の設定や行動観察の容易さ等を考慮して、幅20cm、深さ25cmのベニヤ製水路を室内に配置した。水路への通水は循環型とし、ポンプ(最大流量2.0L/s)によって貯水槽から汲み上げられた水は上流端の三角堰、水路、下流端の水位調節ゲートを順に通って貯水槽に帰還する。流路途中には100cm区間の脱出用スロープ(以下、「スロープ」)を両側に設置し、このスロープの傾斜角は5段階(30°, 45°, 60°, 75°, 90°)に調節可能とした。なお、事前にベニヤとコンクリートU字溝の壁をカエルに登攀させて比較したところ、登攀しやすさに大きな差はみられなかった。

2.3 実験条件の設定

当実験では、①スロープの傾斜角、②水理条件のうち現場水路で操作しやすい水深及び平均流速(以下、「流速」)について、段階的に変化させた際のカエルの脱出率を把握するため、以下のように実験条件を設定した。

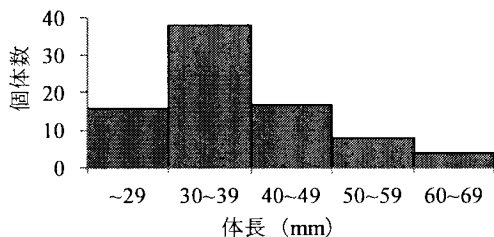


Fig.1 供試個体の体長分布
Body length distribution of test individuals

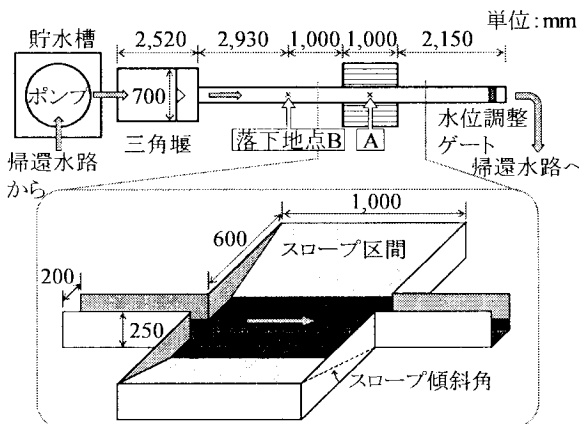


Fig.2 実験装置の概要
Diagram of experiment device

2.3.1 実験① スロープの傾斜角と脱出能力との関係

スロープの傾斜角がカエルの脱出に与える影響を検討するため、Table 1のCase1-1～1-15の実験条件を設定した。流量は捕獲地区での計測値等を参考に2L/sとし、水深は個体の水路への着地(底に後脚が届く)状況に応じて2段階(2cm, 水路底に全個体が着地可; 5cm, 全個体が着地不可)を設定した。また、コントロールとして流量0L/sを実験条件に加えた。スロープの傾斜角については30°, 45°, 60°, 75°, 90°とした。したがって当実験では流量、水深及び傾斜角の全組合せを実験条件とした(Table 1のCase1-1～1-15)。

なお傾斜角30°のCase1-6及びCase1-11を代表させて表面流速分布を画像解析(ライブラリー社Flow-PTVを使用)した結果、プラスチック製の浮き100個による流速分布はFig.3のように推定され、表面の水流は拡幅部でわずかにスロープに向かう傾向がみられた。

2.3.2 実験② 傾斜角30°のスロープにおける水深、

流速と脱出能力との関係

水深及び流速がカエルの脱出に与える影響を検討するため、スロープの傾斜角を実験①から個体が最も登攀しやすいと推察された30°に固定し、水深と流速を段階的に変えてTable 1のCase2-1～2-6の実験条件を設定した。水深は2段階(2cm, 5cm)とし、流速は実験①の20cm/s, 50cm/s及び更に遅い5cm/sの3段階を設定した。これらの水深及び流速を組み合わせた水理条件となるように流量及び水深を調節した。ただし、ポンプの最大流量を超える水深5cm・流速50cm/sの組み合わせは実験しなかった。なお、実験②は実験①と同じ実験方法及び解析方法を採用したことから、実験の長期化による個体の疲労や慣れを避けるため、水深・

Table 1 実験条件一覧
Experimental conditions

Case	流量 L/s	水深 cm	平均流速 ¹⁾ cm/s	スロープの傾斜角 °	落下地点 ²⁾
1-1	0 ³⁾	0 ³⁾	0	30	A
1-2				45	
1-3				60	
1-4				75	
1-5				90	
1-6	2	2	50	30	B
1-7				45	
1-8				60	
1-9				75	
1-10				90	
1-11	2	5	20	30	B
1-12				45	
1-13				60	
1-14				75	
1-15				90	
2-1 ⁴⁾	0 ³⁾	0 ³⁾	0	30	A
2-2	0.2	2	5		B
2-3	0.8	2	20		
2-4 ⁵⁾	2	2	50		
2-5	0.5	5	5		
2-6 ⁶⁾	2	5	20		

1) 平均流速は流量、水深、水路幅20cmから算出したもの
 2) A: スロープ区間の中央, B: スロープ区間の1m上流 (Fig.2参照)
 3) コントロール条件
 4) Case1-1のデータを使用
 5) Case1-6のデータを使用
 6) Case1-11のデータを使用

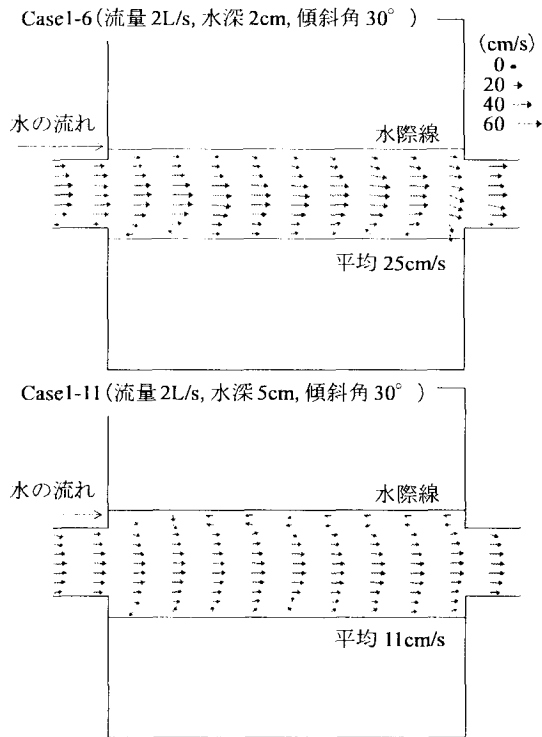


Fig.3 表面流速分布の例
Example of velocity at the water surface

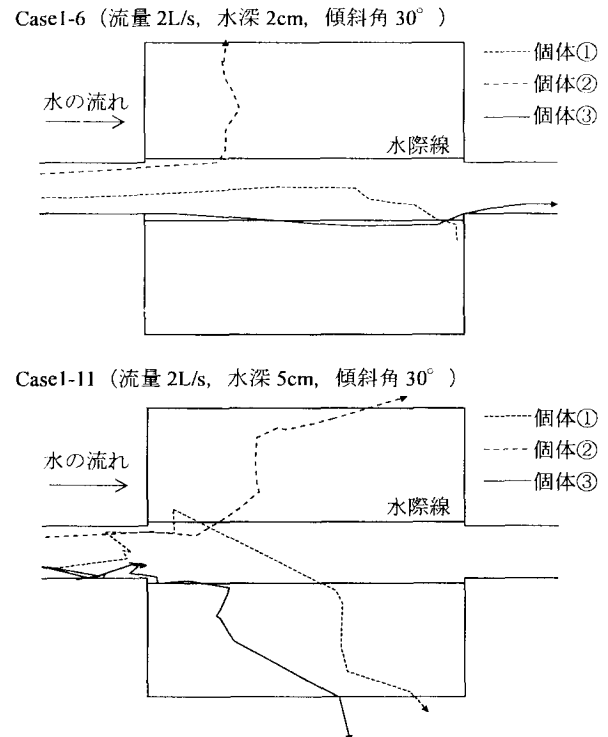


Fig.4 転落した個体の軌跡の例
Example of individual trajectories after dropping into the canal

流速・傾斜角が同一の条件 (Case2-1, 2-4 及び 2-6) については実験①のデータを使用した。

2.4 実験方法

各 Case の条件 (Table 1) を設定した後、飼育水槽から無作為に選んだ 45 個体を水路の落下地点 A (スロープ区間中央) または B (区間上流 1m) に同時に落下させた (Fig.2)。落下地点は Case1-1~1-5 及び Case2-1 (流量 0L/s) では地点 A とし、Case1-6~1-15 及び Case2-2~2-6 (0.2~2L/s) では個体の流下行動に配慮して地点 B とした (Table 1)。落下後は水路直上のビデオカメラにより、反応が落ち着くまでの個体の行動を 60 分間撮影した。実験途中で水路から脱出した個体については、その体長 (頭胴長) を計測した。終了後は個体を水路から取り除き、元の飼育水槽に戻した。

実験は 2007 年 8~10 月に原則として 1 日 1Case を 1~2 日間隔で行った。実験時の室温は $24.6 \pm 3.2^\circ\text{C}$ (平均 ± 標準偏差)、水温は $23.1 \pm 1.7^\circ\text{C}$ であった。どの Case も個体の重複使用を避けられないため、各 Case の繰り返し数は 1 回にとどめた。

2.5 VTR による個体の行動解析

解析ではまず各 Case の VTR から、落下後 60 分間における個体行動の動態を観察した。次にスロープの効果に関連する水路からの脱出指標として、落下した 45 個体のうちスロープに到達した個体の割合% (以下、「スロープ到達率」) を計数し、さらにスロープを登攀して水路外に脱出した個体の割合% (以下、「水路脱出率」) を体長別に計数した。

3. 結果

3.1 落下後の個体の行動

各 Case に共通して落下後の個体は徐々に落下地点から分散し、通水条件下のうちほとんどの Case では下流側に移動する傾向が強かった。

通水条件下では流れに逆らう個体の遊泳行動が観察された。この行動は主として 3 過程が繰り返され、①連続して両脚で蹴り出す、②蹴り出すタイミングがずれ、交互に脚を蹴り出す、③一旦脚を止めるから成っていた。

遊泳行動の休止中に定位行動が観察された。主として後脚が水路底に届く個体は着地し、届かない個体は前肢で水路壁につかまっていたが、総じて同じ位置に静止し続ける個体はいなかった。

水路から脱出した個体は、ほとんどの Case においてスロープを利用した。その割合は全体で 30% (全 Case 延べ 810 個体のうち 241 個体) であった。その他、跳躍して水路外に飛び出す個体 (2%, 13 個体) もわずかながらみられた。なお、Case1-6 (流量 2L/s, 水深 2cm, 傾斜角 30°) 及び Case1-11 (流量 2L/s, 水深 5cm, 傾斜角 30°) におけるそれぞれ 3 個体を代表させて、その軌跡を Fig.4 に示した。個体の軌跡は一概ではなく、スロープに到達しても登攀せず定位する個体 (Fig.4 Case1-6 の個体①) や再び泳ぎ出す個体 (Case1-6 の個体③) も中にはみられた。

3.2 実験① スロープ傾斜角による脱出能力への影響

3.2.1 Case1-1~1-5 (コントロール)

Case1-1~1-5 (流量 0L/s, 水深 0cm), Case1-6~1-10 (2L/s,

2cm), Case1-11~1-15 (2L/s, 5cm) のそれぞれについて, スロープ到達率と体長区別の水路脱出率を Fig.5 にまとめて示す. ここでの体長区分は便宜的に 30mm 未満を小型, 30mm 以上 40mm 未満を中型, 40mm 以上を大型として表した.

Case1-1~1-5 では傾斜角 30~60°のスロープ到達率は 49 (Case1-3) ~60% (Case1-1), 水路脱出率は 42 (Case1-3) ~58% (Case1-2) となった (Fig.5 の a). 傾斜角 45~90°では跳躍によって脱出する大型個体が計 9 個体みられた.

3.2.2 Case1-6~1-15 (通水条件下)

Case1-6~1-10 (水深 2cm) 及び Case1-11~1-15 (水深 5cm) では, 水路から脱出した個体はすべてスロープを使用し, 跳躍により脱出した個体はいなかった.

スロープの傾斜角に着目すると, Case1-6~1-10 のうち, スロープ到達率は傾斜角 30°で 92% (Case1-6) になったが, 傾斜角 90° (スロープなし) では 4% (Case1-10) まで低下した. 水路脱出率は傾斜角 30°で 62% (Case1-6) であったが, 傾斜角 75°以上 (Case1-6, 1-10) になると急激に 0% になった (Fig.5 の b). この傾向は Case1-11~1-15 でも同様であった (Fig.5 の c). スロープの傾斜角が大きくなるほど, スロープ到達率及び水路脱出率は低くなる傾向がみられた (ANOVA, スロープ到達率: $p < 0.01$, 水路脱出率: $p < 0.01$).

一方, 水深 (・流速) に着目すると, スロープ到達率は水深 2cm (流速 50cm/s) の時 2 (Case1-10) ~91% (Case1-6, 1-7), 水深 5cm (流速 20cm/s) の時 0 (Case1-15) ~84% (Case1-11, 1-12) であった. 水路脱出率は水深 2cm (流速 50cm/s) の時 0 (Case1-9, 1-10) ~62% (Case1-7), 水深 5cm (流速 20cm/s) の時 0 (Case1-14, Case1-15) ~56% (Case1-11) であった. スロープ到達率と水路脱出率ともに水深 (・流速) による違いは認められなかった (ANOVA, スロープ到達率: $p > 0.05$; 水路脱出率: $p > 0.05$).

また, 傾斜角 30~60° (Case 1-6~1-8 及び 1-11~1-13) では, 小型・中型・大型のいずれの体長区分の個体も脱出した. これらの Case について, 体長区別の個体数を VTR の静止画像から推定, 体長区別の水路脱出率を算出し, 体長区分, 傾斜角及び水深 (・流速) による水路脱出率の差を比較した. しかし, どの因子についても特徴的な傾向はみられず, 統計的に有意な差もなかった (ANOVA, $p > 0.05$). 水路脱出率と同様に傾斜角 30°と 45°のスロープ到達率はほぼ等しかったが (Fig.5 の b), c), 実際, 45°ではスロープに到達後, 上陸する過程で足を滑らせる大型個体が 8 個体みられた.

3.3 実験② 傾斜角 30° のスロープにおける水深・流速による脱出能力への影響

3.3.1 Case2-1 (コントロール)

Case2-1~2-6 について, 体長区別のスロープ到達率と水路脱出率を Fig.6 に示す. Case2-1 ではスロープ到達率は 60%, 水路脱出率は 53%であった.

3.3.2 Case2-2~2-6 (通水条件下)

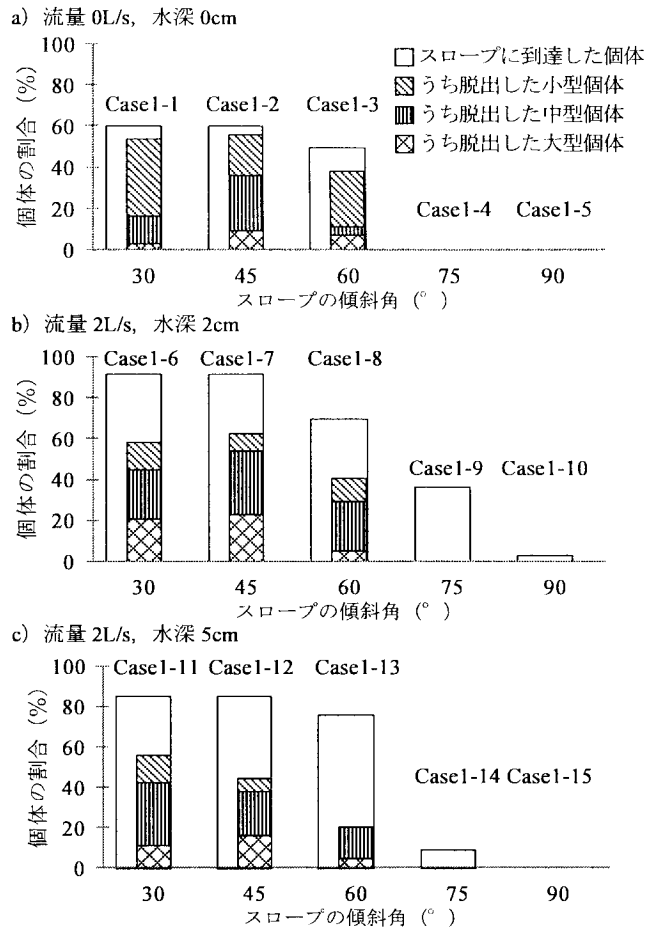


Fig.5 {流量 0L/s・水深 0cm}, {流量 2L/s・水深 2cm} 及び {流量 2L/s・水深 5cm} の Case におけるスロープ到達率と水路脱出率

Proportion of individuals reaching the sloped walls and escaping from the canal after falling into the canal with {flow rate of 0 L/s and depth of 0 cm}, {flow rate of 2 L/s and depth of 2 cm} and {flow rate of 2 L/s and depth of 5 cm}

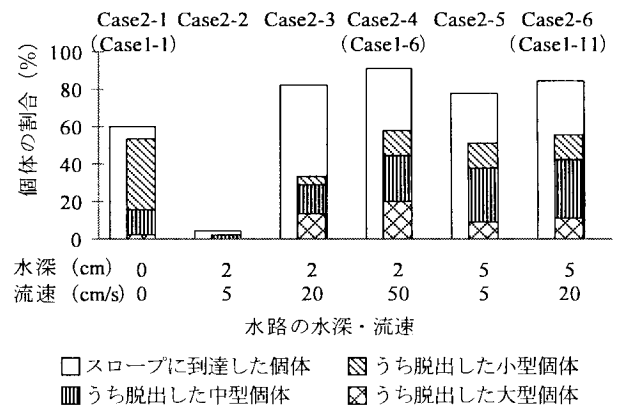


Fig.6 異なる水深 (0, 2, 5cm)・流速条件 (0, 5, 20, 50cm/s) の組み合わせにおけるスロープ到達率と水路脱出率

Proportion of individuals reaching the sloped walls and escaping from the canal after dropping into the canal with a combination of depths of {0, 2 and 5 cm} and average flow velocities of {0, 5, 20 and 50 cm/s}

Case 2-2 (水深 2cm・流速 5cm/s) のスロープ到達率は 4%, 水路脱出率は 2%であり, Case2-3~2-6 のスロープ到達率は 78 (Case2-5) ~91% (Case2-4), 水路脱出率は 33 (Case2-3) ~58% (Case2-4) であった (Fig.6). Case 2-2 でのスロープ

到達率及び水路脱出率は Case2-3~2-6 での値と比較して著しく低かった (χ^2 検定, Tukey 検定, $p<0.01$). なお, 大型 4 個体 (Case2-2 の 3 個体, Case2-5 の 1 個体) は水路内での跳躍により脱出した.

4. 考 察

コンクリート水路に転落したカエル類が脱出できずに死亡しており, 転落防止や脱出対策が求められている現状から, 本研究では登攀能力が低く, 圃場整備等の影響を受けやすいとされるトウキョウダルマガエルについて脱出能力を試験した. 以下では, 本種の遊泳能力, 登攀能力, 跳躍能力等に言及しつつ, 脱出しやすいスロープの傾斜角及びスロープへの到達を促す水理条件について考察する.

4.1 カエルの遊泳能力の推定

各 Case では落下後の個体に流れに逆らう遊泳行動がしばしば観察された. 個体の主な遊泳行動は 3 過程に分類され, このうち連続して両脚で蹴り出す行動を遊泳の基本 (以下, 「基本遊泳」) とみなした. そこで補足的に, 流れに対する基本遊泳の遊泳速度 (=移動距離 cm/時間) と遊泳時間を, その観察頻度が高かった Case1-10 及び Case1-15 について体長区分別に算出した.

その結果, 基本遊泳時の遊泳速度は平均 29 (流速 20cm/s, 小型個体) ~62cm/s (流速 50cm/s, 大型個体) であり, 体長の大きな個体ほど, また流速が大きいほど遊泳速度は大きかった. 一方で, 遊泳時間は体長や流速による違いは認められず, 平均 1.2~3.2s であった. なお, 流速 5cm/s 時でも, 流速 20cm/s 時と同程度の遊泳速度 [平均 21 (小型個体) ~32cm/s (大型個体)] 及び遊泳時間 (平均 1.3s) であった. すなわち, 緩い流速であっても 1 回の基本遊泳で上流へ移動できる距離は短く, 本種が遊泳して上流へ移動するのは困難であると考えられる. 現場の水路においても本種が下流に流される様子が頻繁に観察され, 本種は流水中での遊泳を得意としないと考えられる.

したがって, 水路の一部に脱出対策を講じる場合には, 流されて対策工を通過しないように対策工の周囲の流速を小さくすること, 及び更に下流へと流された個体が脱出する機会をつくるために複数箇所に対策工を設けることが必要だと考えられる. 対策工の効果に大きく影響するであろう設置数やその間隔に関する報告は見当たらないことから, 知見の蓄積が求められる.

4.2 脱出しやすいスロープの傾斜角

スロープの傾斜角を変えてスロープ到達率及び水路脱出率を試験した結果 (実験①), 傾斜角 30° と 45° では同程度に高いスロープ到達率及び水路脱出率を示した (Fig.5). しかし, 傾斜角 45° ではスロープに上陸する際に足を滑らせる, 登攀する際に滑落する行動が特に大型個体で観察され, 傾斜角 45° のスロープは大型個体にとって登攀しにく

かったと推察される.

一方で, 跳躍による水路からの脱出が体長 38~62mm の個体で観察されており, 大きな個体では跳躍による水路からの脱出も期待される. 本種の体長と水平方向の跳躍距離との間に正の相関が報告されており (柘屋ら, 2000), 本種と近縁のダルマガエル *Rana porosa brevipoda* 及びトノサマガエル *Rana nigromaculata* でも同様の傾向が報告されている (土井, 2002). 水路から脱出する際に必要となる垂直方向の跳躍能力をこれらから議論することはできないが, 大きな個体は垂直方向の跳躍能力も大きいと推察される. しかし, 水路壁がより高い水路やカエルの後脚が水路底に届かない大水深の水路では, 跳躍での脱出は困難になるだろう. したがって, 部分的な脱出対策としてのスロープや小動物の脱出を期待して V トラフを採用する場合には, 大きな個体の登攀能力にも配慮する必要があり, 傾斜角は 30° 以下が望ましい.

スロープの登攀能力について, 変態直後のアズマヒキガエル *Bufo japonicus formosus* 幼体でも同様の結果 (傾斜角 60° 以下で登攀でき, 傾斜角が小さいほど脱出率が高い) が報告されている (大河内ら, 2001). 吸盤をもたない他の種についても登攀能力を体長別に把握し, これらの種が脱出しやすいスロープの傾斜角を明らかにする必要がある.

4.3 スロープへの到達を促す水理条件

水路の水深と平均流速を変えてスロープ到達率と水路脱出率を試験した結果 (実験②), 水深 2cm・流速 5cm/s (Case2-2) でのスロープ到達率は他の条件 (Case2-3~2-6) と比べて著しく低かった (Fig.6, $p<0.01$). この条件では, 個体は自由に移動または定位でき, 下流への移動傾向が弱かったことから, スロープ区間にたどり着く個体が少なかったと考えられる. また水のない条件 (Case2-1) において, 個体はスロープ区間の中央に落下したにもかかわらず, スロープ到達率は流水条件下 (Case2-3~2-6) での値と比べて低く (Fig.6), 目の前にあるスロープを必ずしも利用しなかった. すなわち, 行動が阻害されない水理条件の場所に転落した個体は, 自由に移動するが故に対策工に到達できない可能性がある.

では, 水路を流下しスロープ区間に到達したカエルは, この区間を通過せずにスロープに到達するのだろうか. 筆者らは実験の観察から, カエルがスロープに到達する理由について, 後脚が水路底に届かない水深では岸辺を指すと仮定し, 補足的な試験を行った. 補足試験では, FRP 水槽 (116cm×77cm) を水深 10cm (カエルの後脚は底に届かない) に湛水し, カエル 20 個体を落下させた. 水槽に落下した個体は遊泳と定位を繰り返したが, 1 分間隔で水槽直上から写真撮影して個体の分布を確認したところ, 壁につかまっている個体数 (13±5; 平均±標準偏差) はつかまっていない個体数 (7±5) に比べて有意に多かった (ANOVA, $df=1$, $F=161$, $p<0.01$). 以上の結果により, 自由に遊泳できる静水条件ですら遊泳せずに壁につかまっていることが

多かったことから、遊泳行動が制限される流水条件下ではこの傾向が一層強まると考えられる。実際には、実験水路の水面の水流は拡幅部でわずかにスロープに向かっており(Fig.3)、流下してきた個体は一層スロープに到達しやすかったと推察される。したがって、対策工より上流において、下流への移動傾向を高める水利条件に設定すれば、本種は水路壁に沿って移動し、下流に配置されている対策工に到達できると考えられる。

ただし、前述のように本種の遊泳能力が高くないことを考慮すると、特に対策工の周辺では設計流量に対して流速をできるだけ小さくすることが、脱出対策の効果を高める上で重要だと考えられる。

5. おわりに

本研究の成果はカエル類や他の陸生小動物が農業水路に転落した際の脱出対策の設計や技術指針の策定に資するものであり、この観点から得られた情報を整理する。

- ①対策工のスロープや小動物の脱出を期待してVトラフを採用する場合、傾斜角は30°以下が望ましい。
- ②カエルが対策工に到達しやすい条件として、対策工より上流でカエルの後脚が水路底に届かない水深に設定することが挙げられる。
- ③対策工の周辺では、カエルが流されて対策工を通過しないよう、設計流量に対して流速をできるだけ小さくすることで脱出対策の効果を高められる。

水深・流速のコントロールが容易な現地では、上記のような水利条件の配慮が特に有効だと推測される。ただし、灌漑期の用・排水路のように本実験での水深・流速条件を上回る場合や遊泳能力・登攀能力がより低いと推察される変態直後の個体が転落した場合、別の種が転落した場合も想定され、汎用化に向けて更に知見を蓄積する必要がある。また、適用にあたっては現場水路での順応的管理に向けたモニタリングが不可欠である。

今後の研究課題として、傾斜角とともに登攀への影響が大きいと予想される水路壁面の凹凸について、更なる調査が必要である。コンクリート水路であっても、磨耗や地衣植物の定着等により凹凸が増大すれば、カエル類の登攀は容易になると予想される。圃場整備済みにもかかわらずカエル類が多く観察される地域もみられることから、このような水路では脱出対策を講じていなくても本結果以上にカエル類が脱出しているかもしれない。しかし、凹凸が小さいであろう施工後間もない水路ではこの効果は期待できないことから、事業自体のインパクトに追い打ちをかけている恐れがあり、この期間のカエル類の転落防止や脱出対策が特に重要だと考えられる。

また、対策工の設置密度や特に配慮すべき設置箇所等、設計の指針の策定が望まれており、そのために必要な諸条件を明らかにする必要がある。これらの知見が蓄積されることで、各転落防止工や脱出工を現場に設置する際の効果

を予測し、確保可能な用地や施工費用に応じて最適な工法を選定できると期待される。

謝辞：本研究を実施するにあたり、農村工学研究所の寺川淨司氏、篠崎潤一氏、石島正人氏には実験水路を製作・設置していただき、森 充広氏、中矢哲郎氏には実験水路材料の物理特性を測定していただきました。心より感謝いたします。

引用文献

- 東 淳樹, 武内和彦(1999): 谷津環境におけるカエル類の個体数密度と環境要因の関係, ランドスケープ研究, **62**(5), 573-576.
- 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(2002): トノサマガエルとダルマガエルの跳躍力の差はどれくらいか?, 両生類誌, **8**, 12-16.
- Fujioka, M. and Lane, S.J. (1997): The impact of changing irrigation practices in rice fields on frog populations of the Kanto Plain, central Japan, *Ecological Research*, **12**, 101-108.
- 長谷川雅美(1995): 生物-地球環境の科学-南関東の自然誌, 朝倉書店, 105-112.
- 環境省自然環境保全局(参照 2006.12.22): 鳥類, 爬虫類, 両生類及びその他無脊椎動物のレッドリストの見直しについて, (オンライン), 入手先 <<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=7849>>
- 小杉昭光(1960): 数種のサギ科の鳥類の食性について, 山科鳥研報, **2**(2), 23-32.
- Lane, S.J. and Fujioka, M. (1998): The impact of changing irrigation practices on the distribution of foraging egrets and herons(ARDEIDAE) in the rice fields of central Japan, *Biological Conservation*, **83**(2), 221-230.
- 前田憲男, 松井正文(1999): 改訂版日本カエル図鑑, p.90
- 樹屋安里, 廣田忠雄, 長谷川雅美(2000): カエルの跳躍力とその種間差, 日本動物行動学会第19回大会, 1-9.
- 水谷正一, 高橋伸拓, 林 光武(2005): U字溝に設置したフタがニホンアカガエルの生息に及ぼす効果, 農土論集, **73** (1), 77-78.
- 森 淳(2001): カエルをコンクリート水路から脱出させるには～生態系に配慮したは場整備を目指して～, 農業土木, **623**, 30-33.
- 森 淳(2007): 水田生態系の変質と保全のための研究・技術開発, 水環境学会誌, **30**(10), 556-560.
- 大河内 勇, 大川畑 修, 倉品伸子(2001): 道路側溝での両生類の転落死防止方法, 日本林学会誌, **83**(2), 125-129.
- 大澤啓志, 勝野武彦(2001): 扇状地水田地帯における水田の地形分類とカエル類の分布に関する研究, 農村計画学会誌, **19**(4), 280-288.
- 大澤啓志, 勝野武彦(2003): 岩手県胆沢地区の散居水田におけるカエル類の分布とその規定要因, ランドスケープ研究, **66**(5), 613-616.
- 佐藤太郎, 東 淳樹(2004): 扇状地水田におけるカエル類の生息量と畦畔環境との対応関係, ランドスケープ研究, **67**(5), 519-522.

[2008. 6. 9.受稿, 2009. 8. 24.閲読了]

(この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内, 農業農村工学会論文集編集委員会あて)は, 2010年4月24日まで受付けます。)

Fundamental Experiment to Determine Escape Countermeasures for Frogs Falling into Agricultural Canals

— Angle of wall slope and hydraulic conditions of agricultural canals from which Tokyo Daruma Pond Frogs (*Rana porosa porosa*) can escape easily —

WATABE Keiji, MORI Atsushi, KOIZUMI Noriyuki and TAKEMURA Takeshi

National Institute for Rural Engineering, 2-1-6 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, JAPAN

Abstract

Frogs often drown in agricultural canals with deep concrete walls, which are installed commonly in paddy fields after land improvement projects in Japan, because they cannot escape after falling into the canal. Therefore, countermeasures that enable frogs to escape from canals are required in some rural areas. An experimental canal with partially sloped walls was used as an escape countermeasure to investigate the preferable angle of slope for the walls, water depth and flow velocity that enables Tokyo Daruma Pond Frogs (*Rana porosa porosa*), which have no adhesive discs, to easily escape.

Walls with slopes of 30-45 degrees allowed 50-60% of frogs to escape from the experimental canals, frogs especially easily climbed the 30 degree sloped walls. When the water depth was 5 cm or flow velocity was greater than 20 cm/s, approximately 80% of the frogs moved downstream and reached the sloped walls because the frogs' toes did not reach the bottom of the canal. However, if the depth was 2 cm and the flow velocity was 5 cm/s, only 4% of the frogs climbed the sloped walls because they could move freely. The frogs appeared to not be good at long-distance swimming and could not remain a long-time under running water. Therefore, walls sloped less than 30 degrees and control of both water depth and flow velocity appears important for enabling frogs to easily escape from canals.

Key words : *Agricultural canal, Escape countermeasures, Tokyo Daruma Pond Frog, Rana porosa porosa, Climbing capability, Ecosystem conservation*