排水溝に落下した小動物が自力で脱出できる装置

佐野　晴紀

要旨

農地や林道において、コンクリート製側溝（U 字溝）に落下した小動物が自力で脱出するための装置を考えた。先行研究でカエルに適した角度は 35°であるとされていたためカメでも同等の実験をしたところ脱出に適した角度は 35、45°であると分かった。そのため実際に林道に設置するならば 35°にした方がいいと云うことが改めて示された。

キーワード：脱出装置、カメ、排水溝

Ⅰ. はじめに

1.1 背景：人工構造物による生息地の断絶

現代の農地整備や都市開発において、効率的な排水を目的としたコンクリート製側溝（U 字溝）の敷設は不可欠なものとなっている。しかし、これら垂直に近い壁面を持つ人工構造物は、小型動物、特に地表を移動する爬虫類や両生類にとって物理的な障壁となり、生息地の断絶を引き起こす主要な要因の一つとして数えられる。

1.2 先行研究と課題

先行研究によれば、側溝に転落したカメ類（クサガメ *Mauremys reevesii* やニホンイシガメ *Mauremys japonica* 等）は、垂直なコンクリート壁を登ることができず、脱出不能に陥るケースが多発していることが報告されている（奥山ら, 2012）。これにより、以下の三つの重大な問題が生じている。

1. 直接的な死滅: 夏期の高温による衰弱死や、増水時の流下による溺死、あるいは飢餓による死亡。
2. 繁殖の阻害: 産卵場所への移動や個体群間の交流が遮断されることによる、長期的・遺伝的な多様性の喪失。
3. 個体群の減少: 特にニホンイシガメのような準絶滅危惧種において、側溝への転落は個体群維持に無視できない負の影響を与えている（佐藤, 2018）。

これまでにも「スロープ付き側溝」や「脱出用切欠き」などの対策は講じられてきた。しかし、既存の対策の多くは設置コストが高く、既設の側溝に対して後付けで導入することが困難であるという課題があった。また、カメの歩行特性（爪の掛かりやすさや歩行角度）を考慮した、生物学的根拠に基づく脱出装置の設計に関する知見は依然として十分とは言えない。

1.3 本研究の目的

本研究では、既存の U 字溝に低コストで後付け可能な「カメ脱出装置（Turtle Escape Ramp, 以下 TER）」を考案した。

本論文の目的は、実験環境下において複数種のカメがこの TER を視認し、自力で脱出に成功するかを定量的に検証することである。特に、傾斜角度（θ）の変化が脱出成功率および所要時間に与える影響を明らかにすることで、実フィールドへの導入に最適な設計指針を提示することを目指す。

1.4 先行研究とそこから実験につながること

（大河内ほか、2001）によると研究所内に排水溝を設置しその中に床との角度が約 35 度のベニヤ板のスロープからなる脱出装置を取り付けそこへアズマヒキガエルを入れたところ 9 割以上のカエルが脱出することができた。また排水溝を傾けてカエルの脱出可能性を調べたところ 30°のときすべてのカエルが脱出できたためその装置のスロープと底面の角度として最も適するのは 30°と分かった。

しかしこの実験だけではカエルと違い跳躍力が全く無く日本の林道で代表的な生物である「カメ」での効果があるのかやスロープの他の形について何もわからない。そのためカメで同様の実験を行

いまた実際に設置された場合に落ち葉が詰まってしまうことを考え落ち葉を載せた水の流れに影響が出ないように改良をしたいと考えた。

II. 手法

2.1 実験の概要

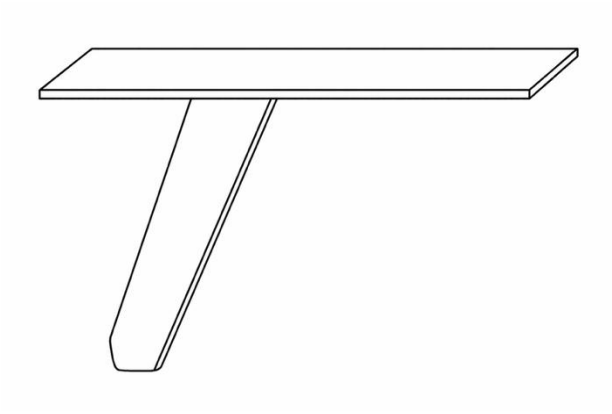
諸事情により実際の排水溝を用意するのは非常に困難であることが明らかになったため排水溝と同じサイズの衣装ケースを用意してそこにおいてスロープを設置して実験を行うこととした。用意した衣装ケース（サイズ、幅 38.5×奥行 50×高さ 30cm 素材、ポリプロピレン重量、約 1.18kg）にカメを投入して上がるかどうか確かめた

2.2 脱出装置（TER）の試作

本研究で考案した脱出装置（TER）は、既設の U 字溝内壁にで固定可能な可搬式スロープである

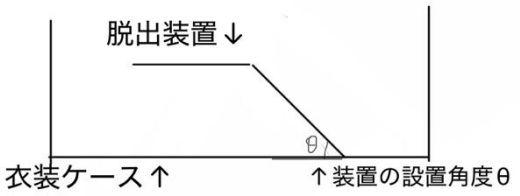
材質: 表面にはカメの爪が掛かりやすいよう、木材を採用した

構造: 下図より明らか



2.3 実験

実験は上記衣装ケースを用いて行った。装置の設置角度（θ）を 25°、35°、45° の 3 段階に変化させ、各個体が側溝に投入されてから脱出を完了する（側溝の縁に四肢すべてが到達する）までの時間をビデオカメラにより記録した。動物の負荷を最小限にするため一匹あたり 3 回行い 1 回の試行上限時間は 30 分とする。実験装置は以下のような木製のものであり高さを変えることによって角度を変更する。装置の幅は約 20 センチであり脱出装置内の水平部分に到達したら脱出成功とみなす。またカメが落下しないように実験中常に監視して落下しそうな場合は落下したとみなし手で下にゆっくりと下すことにする。



III. 結果

3.1 角度別の脱出成功率

実験の結果、傾斜角度 25° および 35° においては、全個体が 15 分以内に脱出に成功した。しかし、傾斜角度 45° においては、脱出成功率が 50%まで著しく低下した。45° の条件では、登攀の途中で重心が後方に移動し、カメがひっくり返る（仰向けになる）事象が多発した。

3.2 実験における予期せぬ行動と課題

本実験の初期段階において、以下の事例が観察された。これらは装置の改良および考察において重要な知見となった。

装置の回避行動: 導入直後、一部の個体は人工物である TER を避け装置が設置されていない方向の垂直壁を延々と登ろうとする行動を見せた。これにより、脱出能力があるにも関わらず、装置に接触す

らしないケースが確認された。

表 1　結果

	脱出匹数 1	2	3
25°	4	4	4
35°	4	4	4
45°	2	2	1

IV. 考察

1. 角度による登攀（とうはん）能力の限界とリスク 本実験の結果、角度が 25° から 35° の間では、カメは四肢を効率的に使い、木材の表面を捉えて安定して脱出できることが確認された。しかし、角度が 45° に達すると成功率が一部 25%まで急落したことは極めて重要な知見である。45° の急勾配では、登攀中にカメの重心が後方に移動しすぎるため、前肢の掛かりが甘くなった瞬間に後方へ転倒するリスクが非常に高い。側溝内で仰向けにひっくり返ることは、カメにとって自力での復帰が困難であり、夏期の直射日光下ではそのまま死に至る（衰弱死）危険性を増大させる。したがって、脱出装置の設計において「急すぎるスロープ」は、救済措置ではなく二次的な殺傷要因になり得ると推察される。

2. 種による行動特性の差異と視認性の課題 先行研究ではカエルの脱出適正角度が 35° とされていたが、本研究により、跳躍力を持たないカメにおいても 35° が有効な境界線であることが実証された。一方で、実験中に観察された「装置を回避し、垂直な壁を登ろうとする行動」は、野生下での実効性を左右する大きな課題である。これはカメが装置を「脱出路」として即座に認識できていないことを示唆している。人工物であるスロープを自然な地形の一部、あるいは移動経路として視認させるための形状工夫や、設置場所（側溝の隅や曲がり角など、カメが溜まりやすい場所）の選定が、ハードウェアとしての角度設定と同じくらい重要であると考えられる。

3. 実フィールドへの適用における運用上の懸念 実際の農地や林道に設置する場合、避けて通れないのが「堆積物」の問題である。本研究で提案した TER のようなスロープ構造は、大雨の際に上流から流れてくる落ち葉や泥をせき止めるダムのような役割を果たしてしまう可能性がある。これが排水能力を低下させれば、農家や道路管理者による撤去の対象となり、持続的な設置が困難になる。今後は、カメの歩行を妨げずに水や泥を逃がす「網目構造」や「スリット」の導入など、工学的な改良が必要である。

V. 結論

1. 最適な設計指針の確立
本研究の目的であった「カメが自力脱出可能な最適な傾斜角度」の検証に対し、実験データに基づき「35° 以下」という明確な基準を導き出すことができた。25° および 35° において 100%の脱出成功率を記録したことは、先行研究で示されたカエル等の両生類向け脱出対策と、カメ類向けの対策を同一の設計（35° ）で統合できる可能性を強く示している。これにより、生物多様性に配慮した側溝整備の設計指針をより簡略化・統一化できる。

2. 低コストな後付け装置の有効性
既設の U 字溝をすべてスロープ付きに作り替えるには莫大な費用と時間を要するが、本研究で試作した木製 TER のような「後付け型」の装置は、低コストかつ迅速に導入可能である。木材という摩擦係数の高い素材を選択したことが、カメの爪の掛かりを助け、垂直壁という物理的障壁を無効化する上で極めて有効に機能した。

3. 今後の展望と社会的意義
今後は、ニホンイシガメなどの希少種を含むより多くの個体での検証を進めるとともに、実際の林道環境下での長期的な耐久テストを行う必要がある。特に「落ち葉詰まり」を解消する通水構造の設

計変更は、実用化に向けた最優先課題である。本研究の成果が、土木工学と生物学の架け橋となり、人工構造物による生態系の分断を最小限に抑える一助となることを期待する。

謝辞

本研究の完成にあたり、終始熱心にご指導いただいた庵原先生に心より感謝の意を表します。実験段階では、装置の作成方法や排水溝の購入において予期せぬ不具合が相次ぎ、一時は研究の継続が危ぶまれる状況もありました。そのような試行錯誤の過程を根気強く見守り、多くの示唆をくださった庵原先生のご助力なしには、本論文を形にすることはできませんでした。ここに深く感謝いたします。またその他協力してくださった生物科の先生方やまた物理科の先生方へも心の底からの感謝の意を表明します。

本論文を提出するにあたり、まず何よりも先に、これまでの研究過程において多大なご迷惑と負担をおかけしたことについて、深く謝罪申し上げます。本研究は、その内容以前に、私自身の未熟さ、判断の遅れ、理解不足の上に成り立っている部分が少なからずあります。

特に、研究の初期段階においては、問いの設定が曖昧なまま議論を進めてしまい、庵原先生には何度も前提条件から確認させてしまう結果となりました。こちらの準備不足にもかかわらず、忍耐強く議論に付き合っていただいたことに対し、感謝よりも先に謝罪の言葉を述べるべきであると感じています。庵原先生には、研究計画の現実性や方法論的妥当性について、繰り返し厳しいご指摘をいただきました。結果として、修正に余計な時間を要し、先生の指導時間を無駄に消費してしまいました。この点についても、深く反省しています。

一方で、これらの過程を通じて、先生方からいただいた助言や批判が、単なる修正指示ではなく、研究者としての思考の枠組みそのものを鍛えるものであったことを、最終稿に至ってようやく理解するに至りました。この点において、先生のご指導には、心より感謝申し上げます。本論文が最低限の学術的体裁を保っているとすれば、それはひとえに先生方の関与によるものです。

最後に、本研究に関わってくださったすべての方々に、感謝と謝罪の意を改めて表します。本論文は、多くの助言と忍耐の上に、そして多くの失敗の末に成立したものであることを、ここに明記しておきます。

文　献

道路側溝での両生類の転落死防止法（2001）:大河内勇、大川畑修、倉品伸子