

## 河川の落葉堆積によるカエルの越冬地提供とカエルの河川定着プロセス

北海道大学大学院環境科学院 修士課程2年

三浦一輝

## はじめに

河床に堆積する落葉は河川の物理構造を変化させることで、物質循環や無脊椎動物の生息場創出に寄与するなど、河川生態系において重要な機能を持つ (Richardson 1992; Kochi et al. 2007; Argerich et al. 2008)。一方、落葉堆積による河川の物理構造の変化が陸上の生物や生態系に及ぼす影響についての理解は乏しい。

カエル類 (Order: Anura) は普段陸上で生活し、陸上生態系の食物網を介して植物の成長速度や有機物の分解速度に影響を及ぼす (例えば Beard et al. 2002, 2003)。一部のカエル類は冬季に河川流水中で越冬することが知られるが (例えば Cunjack et al. 1986)、その越冬環境条件に関する知見は極めて少ない。本研究では、落葉堆積物がカエルを介して陸上生態系に影響を及ぼす経路となり得るか明らかにするために、普段は陸上で生活するエゾアカガエル (*Rana pirica*, 以下カエル) が陸上と河川を季節的に行き来し、河床に堆積する落葉がカエルの越冬環境を提供するという仮説を検証することを目的とした。本研究は2015年を主に行ったが、カエルの越冬環境に関する結果は2014年に得られた結果も重要であったことから方法を含め合わせて報告をする。

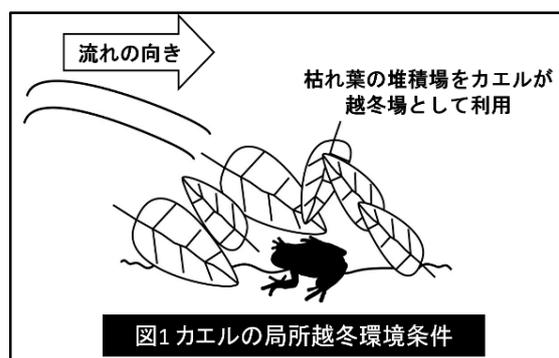


図1. カエルの越冬と落葉堆積物の関係

## 方法

調査は北海道東部の別寒辺牛川A支流の中流約 2.0 km 区間（保全の観点から名称や詳細な位置は示さない）とその河畔域で 2014 年 12 月と 2015 年 6～11 月に行った（別紙図 1a, b）。本支流の河畔には湿地環境が広く存在し、右岸側の湿地背後には連続した森林が広がっている（別紙図 1b）。本対象地は冬には-20 度まで気温が低下する。

カエルの河川定着プロセスを明らかにするために、支流の上流と下流の 2 つのサイトを設置し、その河畔域を対象にカエルの移動方向を調べた。2015 年 6・8・10 月に上、下流サイトに隣設する 3 つの景観タイプ（森林—湿地—川岸）の境界付近にドリフトフェンストラップを各境界で合計 15 m になるように設置した。ドリフトフェンストラップはカエルの移動を地面に垂直に立てたフェンスが阻害し、フェンス伝いに動く個体を両端に埋設したピットフォールに落として捕まえるトラップである（別紙図 2）。本トラップはカエルを殺さずに採集でき、設置したネットのどちら側で採捕された個体かで移動方向を定量化できる（Heyer et al. 1994）。ドリフトフェンストラップを各調査月で 5 日間仕掛け、24 時間あたりのカエルの採捕数を記録した。得られたデータを基に各季節のカエルの移動方向を、一般化線形混合モデル（GLMM）を用いて比較した。

2015 年冬季には、支流周辺でのカエルの越冬個体がどれだけいるか、計 16 地点で 1 人 20 分間（合計 320 分間）のタモ網による採捕を行った。

カエルの越冬環境の解明のために、2014 年に調査対象区間に上・中・下流の 3 つの区間に 50-m の調査区間を設定した。各区間に 10 個のコドラート（25 cm×25 cm<sup>2</sup>）を無作為に設定し、カエルの越冬個体数、落葉堆積物量、水深（cm）、流速（cm/s）を 8・10・12 月に定量化した。落葉堆積物は実験室に持ち帰った後に乾燥重量（g）を測定した。それぞれ得られた値を使用し、カエルの越冬環境の最適条件を説明する一般化線形モデル（GLM）を構築し AIC（赤池情報基準量）を基にモデル選択を行った。モデル選択は AIC が低いほどモデル説明力が高く、最も AIC が低いモデルからの差（ $\Delta$

AIC) が 2 以下のモデルが同等の説明力をもつと解釈できる。結果、落葉堆積物が多い場所でカエルの越冬個体数が増加することが示され (図 2)、モデル選択の結果からも最も AIC の低かったモデルに落葉堆積物量が重要であることが示された (別紙表 1)。カエルの越冬個体数に影響を与える要因の相対的な重要度を示す (IOV: Relative importance of variable) も落

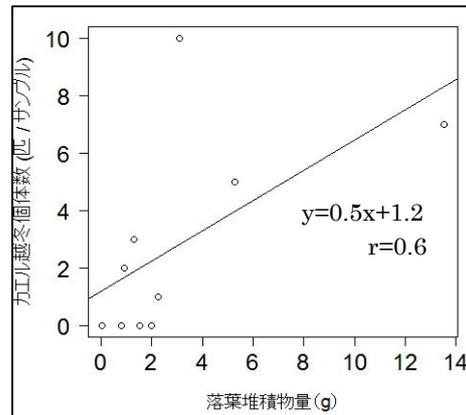


図 2. カエルの越冬と落葉堆積物の関係

葉堆積物量が最も高かった (別紙表 1)。これらのことから、カエルの越冬には落葉堆積物量が重要であることが明らかとなった。しかし、2014 年は河川表面の凍結や天候の崩れにより、カエルの十分な採集を行えたのは 1 サイトのみであった。このカエルの越冬個体数と落葉堆積物の関係をより詳細に把握するために、2015 年にはさらに多くの区間でスケールを変えて調査を実施した。

2015 年には、支流に 12 の調査区間 (1 区間 : 川幅  $\times$  10 m) を設定し、8・10・11 月末に各区間でカエルの越冬個体数、落葉堆積物量を採集し、水深 (cm)、流速 (cm/s) を計測した。カエルの越冬個体数は各区間で 10 分間のタモ網採捕により定量化し、落葉堆積物量は各区間でコドラート ( $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}^2$ ) を無作為に 5 個設定し、落葉堆積物を採集した。落葉堆積物は 2014 年と同様に実験室に持ち帰り、乾燥重量 (g) を計測し平均値を区間の値とした。それぞれの値を用いてカエルの各区間の越冬個体数と落葉堆積物量の関係を図示し、2014 年と同様に正の相関関係があるか確かめた。

## 結果・考察

ドリフトフェンストラップ調査の結果、6・8 月には各景観タイプ境界でカエルの移動方向に偏りは見られなかった (別紙図 3)。一方で、秋になるとカエルの移動方向は湿

地、河川方向へ大きく偏った (GLMMs  $p < 0.01$ )。これは、森林や湿地に分散したカエルが河川へ移動したためと考えられる。加えて、冬季に支流周辺の湿地環境から越冬カエルは 2 匹のみ確認され、どちらも緩やかな流れの影響を受ける流水環境から採捕された。そのため、カエルにとって河川周辺の湿地水域は重要な越冬場ではないと考えられる。これらのことから、カエルは夏から秋にかけて森林や湿地から越冬場である河川へ移動すると考えられる。カエルは生まれた湿地や越冬場所を季節的に行き来する習性をもつことから、本対象地ではカエルは河川で越冬し、成長のために森林や湿地へ分散して、また河川に戻るといった生活史を持つと考えられる。また、このようにカエルが河川を越冬環境として利用する理由として凍結が考えられる。道東のように冬季に雪が少なく、気温の低い地域では浅い湿地水域は水底まで凍結しやすくなる。一方で河川流水環境は、表面は凍結しても河床まで凍結することは非常に稀であると予想される。カエルは凍結を避けるために河川を越冬環境として利用していると考えられる。

2014年の河川調査の結果、カエルの越冬個体数には落葉堆積物量が重要であることが示されていた (図2および方法を参照)。2015年には、11月の河川からのみカエルの越冬が確認され、合計209個体のカエルが採捕された。また、各区間のカエルの越冬個体数と落葉堆積物量の間には強い正の相関関係が見られた (図3)。これは、2014年に行った調査結果と

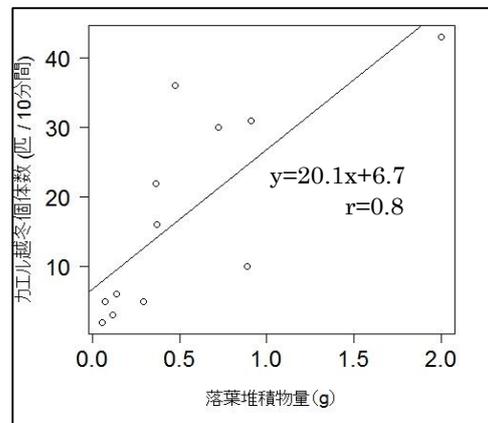


図 3. 区間スケールでのカエルの越冬と落葉堆積物の関係

一致しており、スケールが異なっても河床に堆積する落葉堆積物がカエルの越冬に重要であることが改めて確認されたと言える (図2)。冬季に河川で越冬する生物の多くは活動量の低下により、流れや捕食者から身を守るためのシェルターを必要とする (例えば Crayfish; Griffiths et al. 2004, Fish; Rimmer et al. 1984, Frog; Cunjack

1986)。本研究の結果も、河床に堆積した落葉堆積物がカエルの越冬のためのシェルターとして機能していると考えられる。ただし、2015年に行ったスケールにおいて、カエルの越冬個体数と他の物理環境との関係を精査できていない。今後、この点についても詳細に解析を行っていく予定である。

本研究より、カエルが森林や湿地と河川を季節的に行き来し、カエルは河川を主要な越冬環境としていることを明らかにした。また、カエルは河川の落葉堆積物量の多いところを好んで越冬していることを明らかにした。これらのことから、河川の落葉堆積物はカエルの機能を介して森林や湿地の陸上に影響を及ぼす可能性がある。今後、より詳細なカエルの移動・分散スケールや陸上で持つ機能（例えば節足動物の個体数の調節）を実証していく必要がある。

## 引用文献

Argerich A, Marti E, Sabater F, Ribot M, von Schiller D, Riera JL (2008)

Combined effects of leaf litter inputs and a flood on nutrient retention in a Mediterranean mountain stream during fall. *Limnology and Oceanography* 53: 631-641.

Beard KH, Vogt KA, Kulmatiski A (2002) Top-down effects of a terrestrial frog on forest nutrient dynamics. *Oecologia* 133: 583-593.

Beard KH, Eschtruth AK, Vogt KA, Vogt DJ, Scatena FN (2003) The effects of the frog *Eleutherodactylus coqui* on invertebrates and ecosystem processes at two scales in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Journal of Tropical Ecology* 19: 607-617.

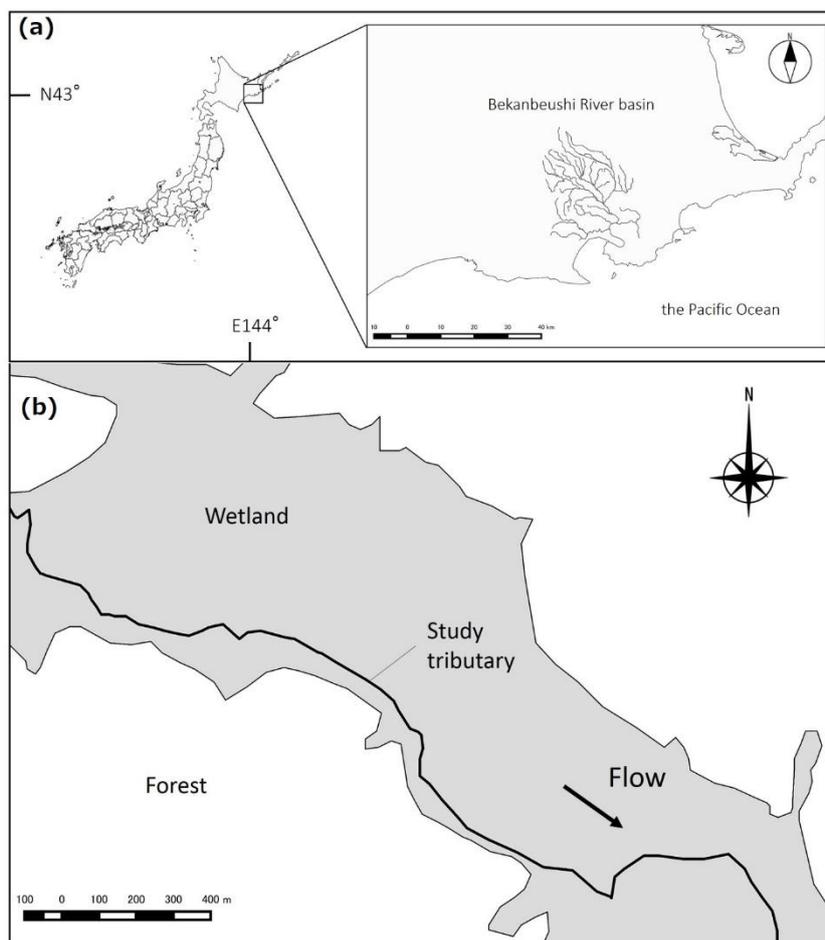
Cunjak RA (1986) Winter habitat of northern leopard frogs, *Rana pipiens*, in a southern Ontario stream. *Canadian Journal of Zoology*. 64:255-257.

Griffiths SW, Collen P, Armstrong JD (2004) Competition for shelter among over-wintering signal crayfish and juvenile Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 65: 436-447.

Heyer WR, Donnelly MA, McDiarmid RW, Hayek LC, Foster MS (1994) *Measuring and Monitoring Biological Diversity -Standard Methods for Amphibians-*. Smithsonian Institution Press Washington and London, pp364.

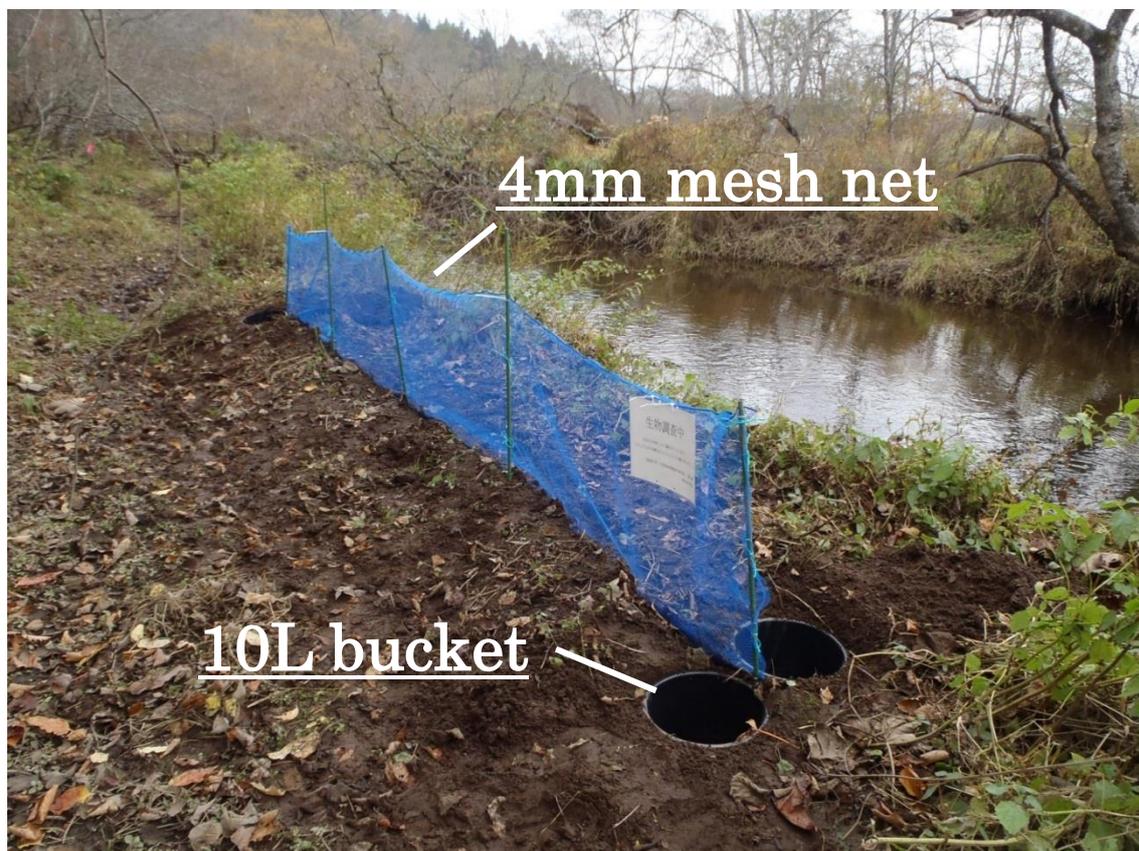
Rimmer DM, Paim U, Saunders RL (1984) Changes in the selection of microhabitat by juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the summer-autumn transition in a small river. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science* 41: 469-475.

別紙  
別紙図 1

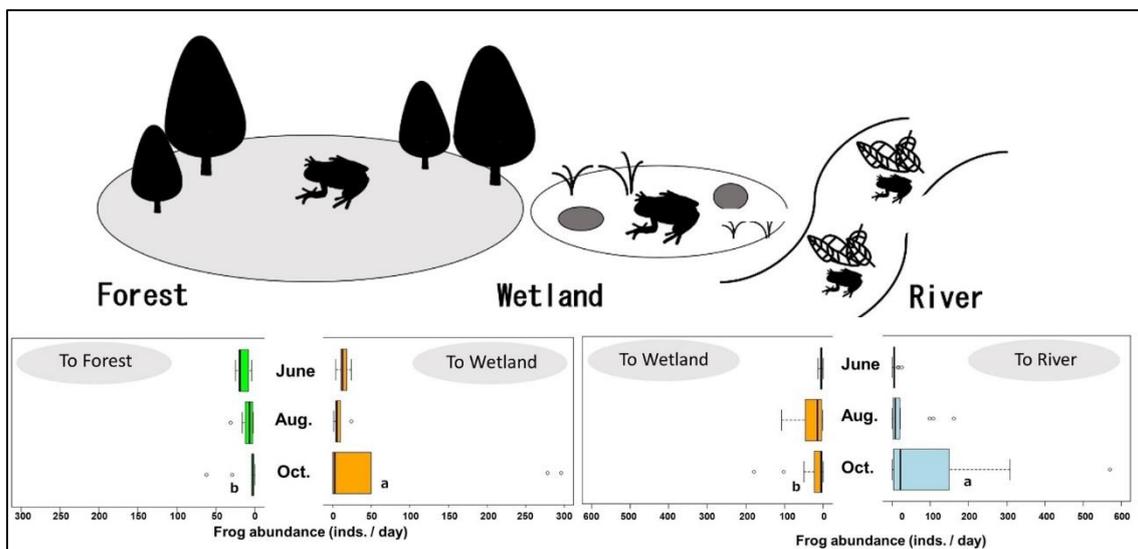


別紙図 1. 別寒辺牛川流域の地理的な位置 (a) と対象支流の景観構造 (b) . b の灰色部分は湿地を示し、白色は森林を示している。黒い線は対象とした支流、矢印は流れの方向を示している。

別紙図2



別紙図 3



別紙図 3. 2015 年の 6~10 月に仕掛けたドリフトフェンストラップ調査の結果. 縦軸に調査月を示し、横軸には採捕されたカエルの越冬個体数を示す。上部の景観タイプの配置の絵とグラフは一致しており、秋になると湿地、河川方向に移動しているのがわかる。アルファベットの記載がある場合、異なる 2 つアルファベットの間には差があることを示している (GLMMs  $P < 0.01$ )。

別紙表 1. (a) 2014 年冬季上流サイトにおける GLMs を用いたカエルの越冬個体数に関連する物理環境のモデル選択の結果。(b)カエル密度に影響する説明変数のモデルアベレージングしたパラメータ推定値 (Parameters) と標準誤差 (SE)、寄与率 (IOV: Relative importance of variable)。モデルの有意性 ( $P$ ) は尤度比検定による null モデルとの検定結果。

(a)

Model	$K$	AIC	$\Delta$ AIC	$w$	$P$
Leaf litter, Depth	2	33.96	0	0.62	<0.01
Leaf litter, Depth, Velocity	3	34.95	0.99	0.38	<0.01
Leaf litter	1	44.75	10.79	0.00	
Leaf litter, Velocity	2	45.67	11.71	0.00	
Velocity	1	46.63	12.67	0.00	
Depth, Velocity	2	46.86	12.9	0.00	
Null	0	47.11	13.15	0.00	
Depth	1	47.49	13.53	0.00	

(b)

Variables	Model averaging results		
	Parameters	SE	IOV
Leaf litter	1.10	0.28	1.00
Depth	0.08	0.02	0.99
Velocity	0.03	0.03	0.38

$K$ , number of parameters in the model; AIC, Akaike's information criterion;  $\Delta$ AIC, difference in AIC value for a particular model when compared with the top-ranked model;  $w$ , AIC model weight. IOV, Relative importance of variable.

