

新しい河川・流域生態系健全性評価法の開発

琉球大学

赤松 良久

1. はじめに

現在、広く用いられている生息場評価モデルや生態系モデルは河川環境を水質や生態系上位の魚類の生息環境という観点で評価する上では有効であるが、河川生態系をその健全性という観点で評価するには不十分である。

そこで、本研究では河川・流域の生態系健全性の指標としてエネルギーの効率に着目し、生態系内のエネルギーという量だけの推移ではなく、エネルギーの質と量の双方を示すエクセルギーに着目して、その効率に基づく新たな河川生態環境評価法を開発する。

2. エクセルギー効率に基づく河川生態環境評価法

河川をある区間で切り、その区間の生態系内での有機物・有機体エクセルギーの収支について考える。図-1 に生態系内のエクセルギーの収支の概念図を示す。河川における系内のエクセルギーの供給源は河床の付着藻類の光合成活動に使われる光エクセルギー Ex_s と出水時に河床に供給される有機物エクセルギー Ex_{id} である。平水時に上流から供給される有機物エクセルギー（流入 Ex_{in} - 流出 Ex_{out} ）があるものの、その量は他の要素に比べて小さく河川が安定した状態では無視できると考えられる（本評価法では出水後に河川生態系が十分に回復した際の河床堆積有機物 Ex_d に含まれる）。つまり、河川のある区間におけるエクセルギーの状態は出水ごとに完全に初期状態に戻り、出水時に河床に供給されたエクセルギーと太陽からの光エクセルギーを利用して、生態系が形成されていくと考えられる。ここでの出水とは対象域の河床の付着藻類がほぼ完全に剥離する規模のものを対象とする。出水後に河川生態系が十分に回復した際に河川内に存在する有機物・有機体エクセルギーは付着藻類 Ex_a 、底生生物 Ex_i 、魚類 Ex_f 、河床堆積有機物 Ex_d である（図-1）。河川における浮遊性の植物・動物プランクトンは湖沼や湾内のように系内に滞留することなく流下するためここでは無視する（現存量としても河床に生息する生物量に比べて圧倒的に少ない）。生態系の上位の者ほど高いエクセルギーを持つことから¹⁾、河川が出水後に十分回復した状態で魚類や底生生物が多数存在する場合には系内は高いエクセルギー状態にあり、付着藻類の異常繁茂や有機物の堆積が顕著である場合には系

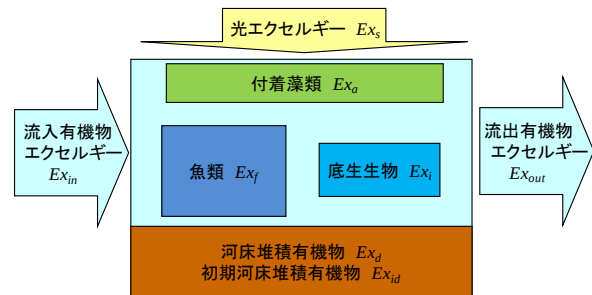


図-1 河川生態系内のエクセルギー収支の概念図

内が低いエクセルギー状態にあると考えられる。系内のエクセルギー状態を定量的に評価するためには系内でのエクセルギーの利用効率を考える必要がある。この利用効率が高ければ高いほど健全な生態系が形成されていると考えることができる。系内のエクセルギー利用効率は系外から供給されたエクセルギー（出水によって系内に供給された有機物エクセルギー Ex_{id} + 出水後から定常状態になるまでに供給された光エクセルギー Ex_s ）に対する系内に存在する有機物・有機体の総エクセルギー（付着藻類 Ex_a 、底生生物 Ex_i 、魚類 Ex_f 、河床堆積有機物 Ex_d ）として以下のような式で示される。

$$\eta = \frac{Ex_a + Ex_i + Ex_f + Ex_d}{Ex_{id} + Ex_s} \quad (1)$$

このエクセルギー効率 η は出水直後には 1 に近い値をとりその後減少していくと考えられる。しかし、健全な生態系では高いエクセルギーを持つ底生生物や魚類の成長によってその系内のエクセルギー効率の低下は鈍く、次の出水が起こることによって、エクセルギー効率は 1 に戻る。これに対して、出水による付着藻類の更新がなく、底生生物や魚類の少ない生態系ではエクセルギー効率が次第に低下していくと考えられる。

生態系内でのエクセルギーの収支を考えるにあたっては、有機物・有機体の持つエクセルギーを考える必要がある。有機物・有機体の持つ化学エクセルギーはある物質が周囲の環境と化学的に平衡状態になるまでになすことのできる最大の仕事量と定義できる。近年、有機物・有機体の持つエクセルギーの生態系内での流れについて検討することの有用性が Jorgensen¹⁾によって示されている。

表-1 各エクセルギーの総量とエクセルギー効率

		出水後の総エクセルギー	回復後の総エクセルギー	供給された光エクセルギー	エクセルギー効率
		Ex_{id} (MJ)	$Ex_a + Ex_i + Ex_d$ (MJ)	Ex_s (MJ)	η
自然区間の瀬	Stn.A	8	657	779	0.84
護岸区間の瀬	Stn.B	23	1097	8572	0.13

デトリタスの持つ単位重量当たりのエクセルギーは 18.5kJ/g であり、デトリタスを基準として、付着藻類(A)、底生生物(I)および魚類(F)からなる水界生態系におけるエクセルギー Ex は以下のように表わされる²⁾。

$$Ex / RT = A(3.4) + I(144) + F(344) + (D) \quad (2)$$

$$[g \text{ detritus} / l]$$

ここで、 R : 気体定数、 T : 絶対温度(K)であり、生態系上位の生物ほど大きいエクセルギーを持つこととなる。

3. 現地河川への適用

沖縄本島北部の源河川の上流部の自然区間(Stn.A)および中流部の護岸区間(Stn.B)を対象として現地観測を行った。観測対象域では、2007年7月13日から14日にかけての降雨による河川の増水で河床が攪乱され、付着藻類の剥離が確認されたことから、7月20日を出水後、8月8日を回復後と定義し、その間の19日間を対象期間として、有機物・有機体の採取を行った。Stn.AおよびStn.Bにおける出水・回復後の有機物・有機体エクセルギーおよび19日間に供給された光エクセルギーを算出した。出水後の総エクセルギー(Ex_{id})、回復後のエクセルギー($Ex_a + Ex_i + Ex_d$)および19日間に供給される光エクセルギー(Ex_s)とそれらから算出されたエクセルギー効率 η を表-1に示す。Stn.Aでは供給される光エクセルギーはStn.Bの1割程度であるが、回復後の総エクセルギーはStn.Bの6割程度であることがわかる。エクセルギー効率はStn.Aでは0.84と1に近い値であり、自然区間のStn.Aでは健全な生態系が保たれていることがわかる。それに対して、護岸区間のStn.Bにおいては側岸の植生を伐採し、護岸工事を行ったことにより、供給される日射量が増え、エネルギーのほとんどが付着藻類の増殖に使われるため、エクセルギー効率が0.13である不健全な生態系が形成されている。

4. まとめ

本研究において提案されたエクセルギー効率に基づく河川生態環境評価指標はこれまであいまいであ



図-2 観測地

った生態系の健全性を生態系内のエクセルギーの利用効率という形で定量的に評価する方法を提案した。また、本手法を現地河川に適用したところ、見た目には明らかな自然区間の瀬と護岸区間の瀬の生態系の健全性の違いを定量的に評価可能であることがわかった。しかし、エクセルギー効率は対象とする期間の設定によってその結果が大きく変わることが予測されその点をどのように扱うかが今後の課題である。また、ここでは河川のある区間を対象としたエクセルギー効率について検討したが、今後は流域単位の生態系内でのエネルギー・エクセルギー効率について検討する必要がある。

参考文献

- 1) Jørgensen, S. E.: Exergy and ecology, *Ecological Modelling*, vol.63, pp.185-214, 1992.
- 2) Jørgensen, S. E., Ladegaard, N., Debeljak, M. and Marques, J. C.: Calculation of exergy for organisms, *Ecological Modelling*, vol.185, pp.165-175, 2005.