

エクセルギー効率に基づく河川生態環境評価法の開発

琉球大学 正会員 ○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物質循環モデルは河川環境を水質や生態系上位の魚の生息環境という観点で評価する上ではある程度有効であるが、河川生態系の健全性(多様性)という意味で評価するには不十分である。したがって、河川生態系の健全性は詳細な生物・水質調査から総合的に判断するしかない。このような生物・水質調査の結果は専門の知識を持ったものには理解できるものの、万人に理解できるものはないため、より普遍的で理解しやすい生態系の健全性(多様性)の評価指標が望まれている。

そこで、本研究では生態系内のエネルギー効率に基づく定量的な河川生態環境評価法を開発する。生態学の方針で古くから考えられてきた生態系の中でのエネルギーの流れに着目して研究がなされてきた。生態系を理解するに当たって、生態系内のエネルギーの流れを捉えることは本質的であり、生態系の健全性を評価する上で最も有効であると考えられる。そこで、本研究では従来のエネルギーという量だけの考え方ではなくエネルギーの質と量を示すエクセルギーに着目し、河川生態系におけるエクセルギー収支の捉え方について検討するとともに、新たな河川生態系の評価指標の可能性について考察した。

2. エクセルギーの算出法

エクセルギーの流れで河川の生態系を捉えるためここではエクセルギーの計算方法を示す。河川生態系において考慮しなくていけないエクセルギーは有機物(生物を含む)が持つエクセルギー、光合成活動による光エクセルギーである。

(1) 物質の持つ化学エクセルギー

Jørgensen¹⁾はデトリタスの持つエクセルギーを基準として有機体の持つエクセルギーを大まかに見積もる方法を提案している。しかし、様々な種の有機体(藻類、水生昆虫、リター)の混在する河川生態系に適用するにこの方法は適切ではない。そこで、有機体内のさまざまな化学物質の割合によって、有機体内でのエクセルギー E_x は次式で表わされる。

$$E_x = 8177.79[C] + 5.25[N] + 27892.63[H] + 4364.33[S] - 3173.66[O] + 5763.41[F] + 2810.57[Cl] + 1204.3[Br] + 692.5[I] - 298.15S_{ash}TW_{ash} + 0.15[O] \times 7837.667[C] + 33888.889[H] - 4236.1[O] + 3828.75[S] + 4447.37[F] + 1790.9[Cl] + 681.97[Br] + 334.86[I] \quad (kcal/kg) \quad (1)$$

ここで、[C], [H], [O], [N], [S], [F], [Cl], [Br]および[I]はそれぞれ炭素、水素、酸素、窒素、硫黄、フッ素、塩素、臭素およびヨウ素の単位重量(kg)当たりの含有量、 W_{ash} は単位重量(kg)当たりの灰の重量、 S_{ash} は灰の比エントロピーである。 S_{ash} は12種の石炭の平均値から $0.17152kcal(kg\ ash \times K^{-1})$ とする。

(2) 光合成活動に使われる光エクセルギー

光合成活動に使われる光エクセルギー E_s は植物内の自由エネルギー増加をもたらす入射エクセルギーと定義され、以下の式²⁾で示される。

$$E_s = \int_{380}^{710} \varepsilon A(\lambda) f(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

ここで、 λ は光の波長、 $f(\lambda)$ は入射光のスペクトル分布関数、 $A(\lambda)$ は波長 λ の光エネルギーの植物体内への吸収率、 ε は吸収された光エネルギーの内の植物の自由エネルギーの増加に使われる割合である。 ε はエネルギー収率と呼ばれ、0.35~0.4の値をとる。

3. エクセルギー効率に基づく河川生態環境評価法

河川の生態系(環境)の評価法は古くはBODやCODといった水質指標によって行われてきた。BODやCOD

キーワード 河川生態環境評価, エクセルギー, エネルギー効率, 河川生態系

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原一番地 TEL 098-895-8667 FAX 098-895-8667

といった指標は河川環境を定量的に評価可能な指標であり、河川環境を管理していく上で便利であった。しかし、河川環境あるいは生態系に関する関心が高まり、今日では様々な指標を併用した河川環境の評価が行われている。ここではエクセルギーに基づく新たな河川生態系の定量的評価法の可能性について考察する。河川をあるセグメントで区切り、その系内でのエクセルギーの流れについて考える。図-1 にほぼ定常状態に達した際の系内のエクセルギーの流れを示す。河川におけるあ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 E_s と出水時に河床に供給される有機物エクセルギー E_{id} である。平水時に上流からの有機物エクセルギーの流入 E_{in} や流出 E_{out} があるものの、その量はほかの要素に比べて小さく河川が安定した状態ではゼロと考えられる。つまり、河川のあるセグメント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。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体エクセルギーは付着藻類 E_a 、水生昆虫 E_i 、魚類 E_f 、河床堆積有機物 E_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)。河川が出水後に十分回復した状態で系内のこれらの生物の持つエクセルギーを前節で示した方法により計測することによって、系内に存在するエクセルギーを算出することが可能である。そして、生物の現存量が多く、さらに質の高いエクセルギーを持つ魚類や水生昆虫が多いほど系内が高いエクセルギーの状態にあると考えられる。つまり、系内が高いエクセルギー状態にあるほど魚類や水性昆虫が多数存在する健全な生態系であると考えられ、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内が低いエクセルギー状態にあり、生態系が不健全であると考えられる。系内のエクセルギー状態を相対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り、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られる。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+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)に対する系内に存在する有機体の総エクセルギー(付着藻類 E_a 、水生昆虫 E_i 、魚類 E_f 、河床堆積有機物 E_d)として以下のような式で示される。

$$\eta = \frac{E_a + E_i + E_f + E_d}{E_{id} + E_s} \quad (3)$$

このエクセルギー利用効率 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水生昆虫や魚類によってその系内のエクセルギー利用効率の低下は鈍く、次の出水が起こることによって、またエクセルギーの利用効率は1に戻る。これに対して、出水がなく、水生昆虫や魚類の少ない生態系ではエクセルギーの利用効率はかなり低くなると考えられる。

4. 結論

本研究において提案されたエクセルギーに基づく新しい河川生態系の評価指標はこれまで曖昧であった生態系の多様性や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できる可能性がある。今後、様々な現地河川において調査を実施し、実河川における生態系内のエクセルギーの流れを詳細に把握し、本評価法の有効性について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) Jørgensen, S. E.: Exergy and ecology, Ecological Modelling, vol.63, pp.185-214, 1992.
- 2) Bell, L. N.: Energetics of the Photosynthesizing Plant Cell, Harwood Academic Publi., Chur., 1985.

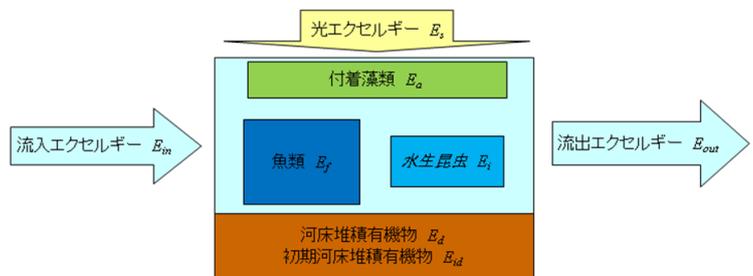


図-1 河川生態系内のエクセルギーの流れの模式図