

(VII-23) 流域環境容量評価のための生態系モデル(LES モデル)

環境エンジニアリング(株) 正会員 秋庭 潤
松山 秀明
千葉工業大学 正会員 瀧 和夫
村上 和仁

はじめに

現在、自然環境の保全、保護、そして持続可能な開発などが主な話題となり、自然環境の保全と開発を両立することが必要とされている。すなわち、流域環境の容量評価の手法の開発が望まれている。そこで本研究では、河川水質とその河川流域が抱える人工的環境要素が作り出す環境の周期性・再現性をもとに、流域の環境容量に関する生態系モデル(LES; Lemuniscatic Ecological System)を構築し、養老川流域(千葉県)の流域環境データを下に、そのモデルの適合性について検討した。

1. レムニスケートモデルの開発

環境の再生については、再生の可能な要素(可逆性要素)と、再生の不可能な要素(非可逆性要素)の二つの要素群に分ける事ができる。水質や気温など、季節性を伴うような要素は可逆性要素として、時間や絶滅した生物種などに代表される要素は非可逆性要素に分類される。この二つの要素が複雑に影響を与え合いながら、地域環境が造り出されるものと考えられる。これらの周期性、再現性などを知る事によって、環境の将来を予測する事が可能になると考えられる。

いま、環境の可逆性をレムニスケート(カッシーニの卵型)曲線で表すと、

$$V_s = \left\{ \frac{4}{\pi} \left(\sin V_q + \frac{\sin 3V_q}{3} + \dots + \frac{\sin nV_q}{n} \right) \right\} \cdot \left[\sqrt{(2aV_q)^2 + (a^2)^2} - (V_q^2 + a^2) \right] \dots (1)$$

ここで、(1)式の[]の項は生物生産および分解の過程を表し、{ }の項はそのカストロフィー性の係数項である。また、 V_q は環境の非可逆性(時間に関し、現象の再現性を持ち得ない)を内在している変数と考えると、

$$V_q = -\frac{4}{\pi^2} \left[\left\{ \cos \frac{t}{2} \right\} + \frac{1}{9} \left\{ \cos \left(\frac{3t}{2} \right) \right\} + \dots + \frac{1}{n^2} \left\{ \cos \left(\frac{nt}{2} \right) \right\} \right] \dots (2)$$

と書くことができる。ここで、 t はカストロフィー環境を作り出す環境要素の経時的な変数を表す。 V_s 軸は河川水質や人間の生活活動、気温や水温等の四季に伴う規則的な変動を表し、 V_q は V_s と同様な規則的な変動に加え、時間的(非可逆的)変化を伴う変数である。

いま、(1)、(2)式で表される環境予測モデルは図1に示されるようなものである。ここで、環境の変動を $V_q - V_s$ 軸のみで見た場合には、図に示すように、明確な ∞ ループを描くことになる。ここで、左右のループは夏季・冬季の相対峙する環境状態を表していると考えられる。一方、この現象に時間軸を重ねると、時間の経過と共に、非可逆性が増大する。

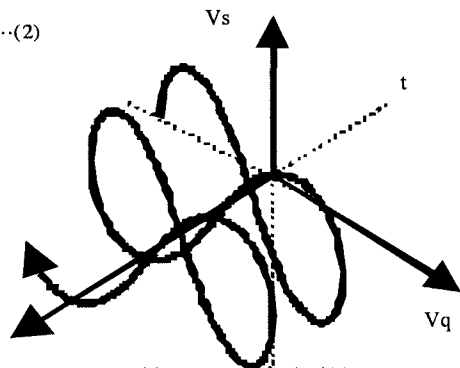


図1 LESモデル概略図

2. データ・項目の収集

解析に用いたデータは、一般に公開されている「公共用水域水質測定結果及び地下水の水質測定結果(千葉県環境部)」₃₎と「市原市統計書」₄₎のものである。また、データ項目は表1に示した21項目(水質10項目、土地の利用別面積9項目、その他の項目2項目)である。ちなみに、対象河川は千葉県の南側、南房総を北西に流れ、延長73.4km、流域面積245.9km²、平均河床勾配が約1/360の急峻な養老川で、この河川は飲料水をはじめ工業用水、農業用水に利用され、地域にとって重要な役割を果たしてきている。

表1 主成分負荷量による項目分類

第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
NH ₄	鶴舞利用数	DO	SS
住宅	商業	pH	T-N
工業	更地	BOD	T-P
森林	河川	COD	NO ₃
田	畑		
その他			

3. 解析結果

3.1 主成分分析

第1～第4までの主成分の現象への寄与率は82.5%であった。第1主成分を構成する主要素はアンモニア性窒素(NH₄)と土地利用区分の項目群である。第2主成分を構成する主要素は、pH、BOD、T-P、NO₃等

環境エンジニアリング(株) 千葉県木更津市畑沢1-1-51 TEL 0438-36-5911 FAX 0438-36-5914
千葉工業大学土木工学科 千葉県習志野市津田沼2-17-1 TEL 047-478-0452 FAX 047-478-0474
KEY WORDS; 流域環境容量, 環境の周期性, LESモデル, 主成分分析, 養老川流域,

の水質項目と鶴舞青年の家利用総数の項目群である。第3主成分を構成する主要素は溶存酸素濃度(DO)と全窒素(T-N)の項目群である。また、第4主成分を構成する主要素は浮遊物質質量(SS)と降水量の項目群である。

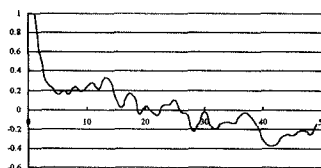


図2 自己相関分析結果 第1主成分

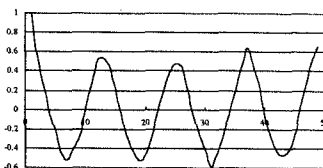


図3 自己相関分析結果 第2主成分

3.2 自己相関解析結果

各主成分の値について、自己相関解析を行った結果は図2～5の通りである。これらの図より第1主成分に対する自己相関性は、経時的に少しずつ低下していく傾向が認められる。これは、土地利用の変更等の長期的な、人為要因に基づく変動を表しているものと考えられる。

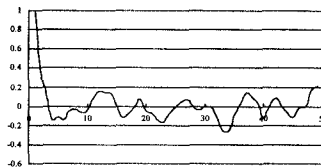


図4 自己相関分析結果 第3主成分

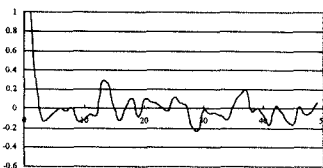


図5 自己相関分析結果 第4主成分

第2主成分の自己相関性は、12ヶ月を1周期とする明確な季節変動と考えられる。第3主成分に対する自己相関性は6ヶ月を1周期とする、周期的変動要素である。第4主成分の自己相関性は図5より、非常に弱いことがわかる。

以上、第1、4主成分は時間を軸とするトレンド成分の強い非可逆性を、また、第2、3主成分は12ヶ月及び6ヶ月を周期とする可逆性を有することが明らかとなった。

4. LESモデルへの当てはめ

自己相関解析の結果より、いま、その周期性の関数形を三角関数で表現すると次の式が得られる。

$$\text{第2主成分関数として;} \quad Vq = 4 \cdot \cos\left[\frac{(t-4.5)}{2}\right] - 0.8 \dots (3)$$

$$\text{第3主成分関数として;} \quad Vs = \sin(t+2.5) + 0.4 \dots (4)$$

ここで、(3)、(4)式を三次元表示すると図6の様に示すことができる。この図より、時系列変化により非可逆性を有した∞様曲線を表すことができた。

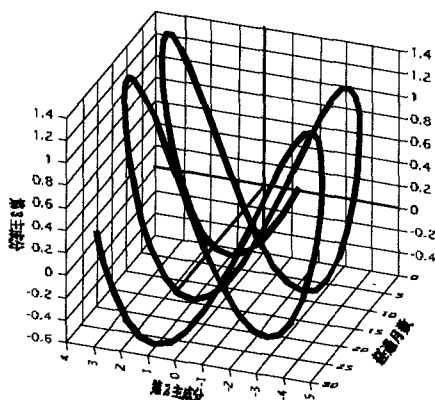


図6 養老川流域環境におけるLESモデルの適用例

おわりに

河川水質とその河川流域が抱える、人口動態・土地利用形態別面積などの環境要素が作り出す周期性について、養老川流域を対象に、河川流域環境容量に関する生態系(LES)モデルの検討を行った。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 流域環境には、時間を軸とするトレンド成分の強い非可逆性成分と、季節等の周期性を伴う可逆性成分とから成ることが明らかになった。
- 2) 主成分分析結果より、土地利用別面積を主とする人為的長期変動要素(第1主成分)、河川水質項目を主とする12ヶ月周期要素(第2主成分)、溶存酸素濃度と全窒素による6ヶ月周期要素(第3主成分)、浮遊物質質量と降水量による自然的要因長期変動要素(第4主成分)が認められた。
- 3) 第2、3主成分による主成分値の自己相関解析結果から、非可逆性を有した∞様曲線を表すことができ、地域環境容量評価のためのモデルとしての、利用可能性が確認された。
- 4) 今後は、他地域の河川流域を対象として、本モデルの再現性を検討し、より適用範囲の広いモデルにしてゆきたい。

参考文献

- 1) 河川総合診断要約と県内河川の特徴(1981)、千葉県水質保全研究所
- 2) 千葉県の河川(1984)、千葉県土木部管理課
- 3) 公共用水域水質測定結果及び地下水の水質測定結果(1989～98)、千葉県環境部編
- 4) 市原市統計書(1989～98)、市原市、市原市編
- 5) 天野耕二(1986) 水質汚濁現象の予測手法の現状と問題点、環境情報科学 15-1 1986, P13～21
- 6) 栗原康(1992) 汽水域のエコロジー、干潟の修復をめぐる、土木学会誌(別冊増刊)、Vol.77-9, pp.35-39
- 7) 二階健・中村雅胤(1987) 紀の川における水質環境容量解析調査、用水と廃水 Vol.29 No.6, P543～550
- 8) Donella H.Meadowset al., (1972) The Limits to Growth: 「成長の限界」、ダイヤモンド社
- 9) Donella H.Meadowset al., (1992) Beyond The Limits: 「限界をこえて」、ダイヤモンド社