

北川感潮域での3次元水理水質変動シミュレーション

九州大学 学生会員○伊豫岡宏樹
九州大学大学院 呉 一權
九州大学大学院 学生会員 日宇洋平
佐賀大学低平地研究センター 正会員 山西博幸
九州大学大学院 フェロー 楠田哲也

1. はじめに

生態系に好ましい河川を創り出すためには、そこに生息する生物の生態や最適な生息環境を把握する必要がある。本研究では、宮崎県五ヶ瀬川水系北川に生息するカワスナガニの生息環境を解明するために、流動モデルを作成し実測データと比較検証することによりモデルの有用性を示すことを目的とした。

2. 北川感潮域での水理水質変動特性に関する数値計算

2.1 流動モデルの基礎方程式 北川感潮域に適用する流動モデルでは、密度の非一様性や流れの三次元性を考慮する。基礎式は質量保存式・運動方程式・および塩分の保存式からなる。なお、これらの基礎式を導く際の仮定は次のとおりである。(1)水は非圧縮性である。(2)流れの鉛直方向加速度は重力加速度に比して小さく、鉛直方向の運動方程式は圧力の静水圧分布により近似できる。(3)重力項以外では密度の非一様性を無視するブーシネスク近似を適用する。

2.2 基礎式の差分化に関する概要 有限体積法により差分化する。各項の離散化に際し、時間項には原則的に中央差分(Leap-frog)を、移流項には一次精度の風上差分を、粘性・拡散項にはオイラーの前進差分を適用する。差分の際にはスタッガード格子を用いる。具体的には、ベクトル量を与える点はコントロールボリュームの各面での中央とし、スカラー量ではコントロールボリュームの中央とした。

3. 北川感潮区間への適応

3.1 計算方法 計算には平成9年度に北川感潮区間(0~7km)で実施した現地調査データ(山西ら, 2000, 2001)を用いた。河川横断面図を基に、0kmより400mごとに横断面を台形で近似したものを直線で補完して河川の河床形状を定めた。差分間隔は $\Delta x = \Delta y = 20m$, $\Delta z = 0.75m, 0.25m, 0.5m, 1m$, $\Delta t = 2.5sec$ とした。また、上流端境界条件として、河口7km断面にて淡水の流入量を与えた。実測データに基づき塩分0(-)と水温16°C、2000年10月10日の日平均流量 $4m^3/s$ を与えた。下流端境界条件として、河口0km断面で塩分分布をあるプロファイルで与え、潮汐変動を実測値の変動幅で与えた。塩分・温度依存する密度の計算は、Mamaev(1963)の式によった。式に含まれる係数値には、底面摩擦係数: $\gamma_b = 0.0026$ 、水平方向の渦動粘性係数の初期値: $A_{H0} = 10.0m^2/s$ 、鉛直方向の渦動粘性係数の初期値: $A_{V0} = 0.001m^2/s$ 、水平方向の渦拡散係数の初期値: $K_{H0} = 10.0m^2/s$ 、鉛直方向の渦拡散係数の初期値: $K_{V0} = 0.001m^2/s$ を与えた。式中の渦動粘性係数、渦動拡散係数には、スマゴリンスキー型(SGS)モデル、リチャードソン数の関数型モデル、リチャードソン数の相似則を用いて算出した値を用いた。

計算手順は以下のものである。まず、解析領域すべてが淡水という初期条件のもとで、前途の境界条件を与える。最初1潮汐の潮汐変動を式(1)のように与えることにより変動を緩和させるのち、式(2)のような潮汐変動を与え14潮汐の計算を行う。示した結果は計算の最後1潮汐を出力させたものである。

$$\zeta(i, jd) = \frac{n}{m} \cdot \zeta_{max} \cdot \cos\left(2\pi \frac{n}{m}\right) \quad (n \leq m) \quad \dots \text{式(1)}$$

$$\zeta(i, jd) = \zeta_{max} \cdot \cos\left(2\pi \frac{n}{m}\right) \quad (n > m) \quad \dots \text{式(2)}$$

ここに
 n : 計算のタイムステップ数
 m : 1潮汐の総タイムステップ数
 ζ_{max} : 潮汐変動幅(0.5m)
 i : 河川横断方向格子番号
 jd : 河口0kmにおける河川縦断方向格子番号

3.2 計算結果と実測データの比較検証 塩分分布の1999年10月10日の観測結果と今回のシミュレーションの結果を図1~図4に、また、シミュレーションによる流速の分布の状況を図5~図8に示す。塩分は、いずれも、30(-)程度の比較的濃い塩分が5km付近の河床がやや盛り上がっている河床部分まで達しているのが分かる。また、満潮時の結果から、1.5km付近で図1、図3ともにやや分布に乱れが生じているのが分かる。1kmから2kmの区間は、湾曲部の影響により河床の断面形状が劇的に変わる部分で、その河床の変化による流れの乱れがこのような結果をもたらすと推測される。図9、図10にカワスナガニの生息が比較的多く確認されている5.75km最右岸地点での塩分の時間変動のシミュレーション結果を示す。解析対象部は自由水面から鉛直方向に2層で、その両方の塩分の変動を示した。上層の塩分の変動幅は、4.1~9.7(-)で平均値が7.0(-)程度であり、下層は変動幅5.8~18.5(-)で平均値が12.2(-)程度である。現地での塩分の連続観測データの半月周期の平均値を使って求めたカワスナガニの塩分に関する生息選好曲線(山西ら, 2001)によると、塩分15(-)以上にカワスナガニの生息が確認されていないが、今回の計算結果によると5.75kmの水質はカワスナガニの生息に適したものになっている。また、今回のシミュレーションでは、観測結果にあるような明確な躍層を再現することは出来なかったが、これは最上層を層厚可変としているため躍層の部分が最上層に入り込む時間が生じるためである。この点は今後改善する予定である。

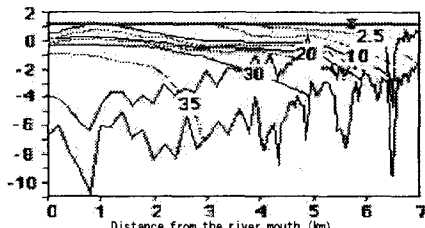


図1: 縦断塩分 実測値(満潮時)

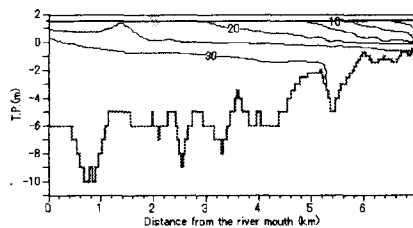


図3: 縦断塩分 計算結果(満潮時)

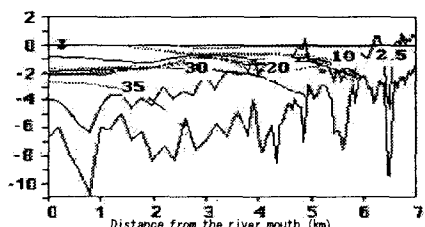


図2: 縦断塩分 実測値(干潮時)

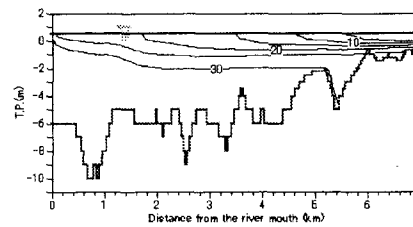


図4: 縦断塩分 計算結果(干潮時)

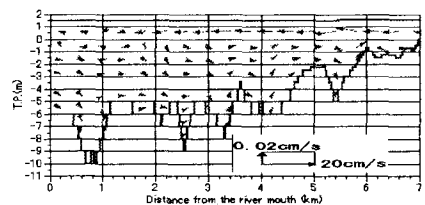


図5: 流速分布(満潮時)

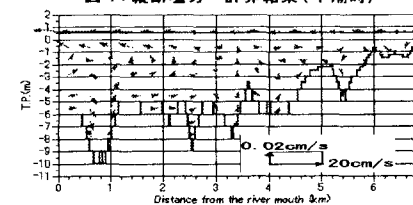


図7: 流速分布(干潮時)

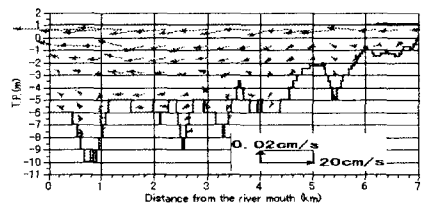


図6: 流速分布(下げ潮最強時)

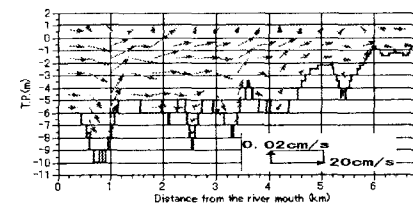


図8: 流速分布(上げ潮最強時)

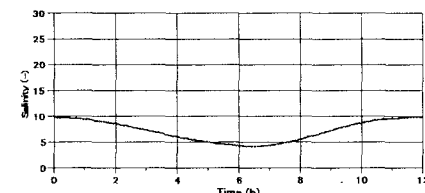


図9: 5.75km 右岸端塩分経時変化(上層)

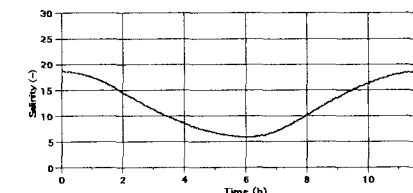


図10: 5.75km 右岸端塩分経時変化(下層)

4. おわりに

以上のように、計算結果と実測データを照らし合わせその適合性を見出すことにより、これまでの調査では断片的にしか分からなかった塩分、温度、流速などを、連続的に推定することが可能となった。今後は現地での諸現象の解明、予測のために、本モデルを用いたシミュレーション実験を行う予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり河川生態学術研究「北川研究」グループ(代表:小野勇一)および科学研究補助金・基盤研究B2(代表:楠田哲也)より補助を受けた。また、数値計算に関して九州大学・山城賢助手に適切なアドバイスをいただいた。深甚なる謝意を表す。

参考文献: 山西・楠田・李・原・村上(2000), 環境工学研究論文集, vol. 37, pp. 173-181.

山西・楠田・平田・呉・李(2001), 環境工学研究論文集, vol. 38, pp. 1-11.

伊豫岡・日字・呉・山西・楠田(2003), 土木学会西部支部研究発表講演概要集 第2分冊 pp. B498-B499

O. I. Mamaev, A Simplified Relationship between Density, Temperature and Salinity of Sea Water, Bull. of Sci. USSR Geophys. Ser. 2(1964), p180-181.