

河川の流体力学的観察

筑波大学大学院 学生員 福島雅紀

筑波大学 正会員 京藤敏達

1. はじめに

本研究は近年の整備された河川は魚にとって住み易いのだろうかというのを考えて、魚にやさしい川づくりの基礎研究として始められたものである。明らかに、人間以上に魚にとって河川空間は重要であり、河川内のミクロな出来事もそこに暮らす魚には無視し得ないはずである。一方で、建設省による「河川空間管理計画」の実行や「河川水辺の国勢調査」などは人間にとっても平水時の河川を河川空間としてより詳細に調査する必要があることを示している。そこで、まず流体力学的に自然河川の瀬や淵で起きている現象を観察、すなわち、水面変動や流れの形態などを調べ、特に瀬と淵を特徴づけることを目的とする。

2. 実測について

実測の対象河川としては関東でも動植物が比較的豊富に存在し清流として知られる久慈川を選んだ。測定場所は図-1のように平瀬・早瀬・淵が連続した区間である。実測にあたっては、おもに水面変動と水平面内の二方向流速を測定した。また、図-1の実測点の詳細を示すと表-1のようになる。表-1に示したレイノルズ数とフルード数については測定点での時間平均の流速を用いて計算した。ここで、実測において二方向の流速測定可能な電磁流速計を用いた。

3. 解析方法

実測データを解析する方法として、主に次の三つの方法を用いた。

● 乱れ特性値の比較

● フーリエ解析

● ウェーブレット解析

今回は次式で定義される一次元の連続ウェーブレット変換を用いた。

$$\Phi(a, b) = w(a) \int_{-\infty}^{+\infty} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) f(t) dt, \quad \psi(t) = (1-t^2) e^{-t^2/2}$$

ここで、 $f(t)$ は時系列データ、 $\psi(t)$ はアナライジングウェーブレットである。 $\psi(t)$ は種々の制限を受けるが、それらの条件をうまくクリアーしている Mexican hat wavelet を用いた。 $\Phi(a, b)$ は、ある信号 $f(t)$ の時刻 b まわりにおいてスケール a （振動数の逆数、つまり、周期）の運動がどの程度含まれているかを表す。この結果については、 $\Phi(a, b)$ を (a, b) 空間に等高線プロットした。

4. 解析結果

表-2に各箇所の乱れ特性値を計算した結果を示す。次にフーリエ変換した結果から瀬や淵で明ら

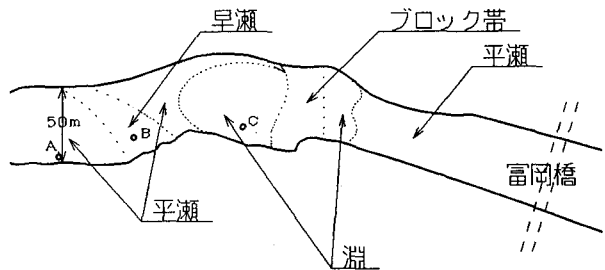


図-1. 測定場所の概要図(まる印は、実測点)

表-1 実測地点の詳細

データ名	分類	水深 (m)	岸からの距離 (m)	センサー深さ (m)	レイノルズ数	フルード数
No.1-1	平瀬	0.72	2.60	0.27	0.25×10^6	0.17
No.1-2	平瀬	0.72	2.60	0.27	0.27×10^6	0.19
No.1-3	平瀬	0.56	4.70	0.17	0.26×10^6	0.23
No.1-4	平瀬	0.56	4.70	0.17	0.27×10^6	0.27
No.2-1	早瀬	0.15	8.30	0.08	0.86×10^5	0.62
No.2-2	早瀬	0.15	8.30	0.08	0.89×10^5	0.64
No.2-3	早瀬	0.15	8.30	0.08	0.86×10^5	0.62
No.3-1	浅瀬	0.11	7.00	0.09	0.71×10^5	0.008
No.3-2	浅瀬	0.11	7.00	0.09	0.92×10^5	0.010
No.3-3	浅瀬	0.11	7.00	0.09	0.57×10^5	0.006

かに異なった特徴は見つからなかった。ウェーブレット解析による結果は図-2のようになりフラクタル的特性が現れていることが分かる。また、淵では大きなスケールの運動の上に小さいスケールの運動が乗っている様子が見られた。運動量輸送に関する量についてみると、平瀬では安定した運動量輸送の機構があると予想される。さらに、淵では早瀬で励起されたと考えられる3ヘルツ付近に卓越した振動数が現れた。

表-2 各箇所の乱れ特性値

実測 No	レイノルズストレス ($\times 10^2 Pa$)	$\frac{\sqrt{u'^2+v'^2}}{U}$	$\frac{\sqrt{u'^2}}{U}$	$\frac{\sqrt{v'^2}}{U}$
No.1-1	-11.1	0.172	0.140	0.101
No.1-2	-10.2	0.171	0.135	0.105
No.1-3	-4.33	0.144	0.095	0.107
No.1-4	-5.23	0.188	0.0068	0.093
No.2-1	-9.75	0.199	0.101	0.0639
No.2-2	-9.15	0.112	0.0094	0.0609
No.2-3	-11.5	0.121	0.101	0.0067
No.3-1	-0.210	2.932	1.336	2.61
No.3-2	-0.278	2.191	0.9638	1.97
No.3-3	-0.939	3.672	2.588	2.61

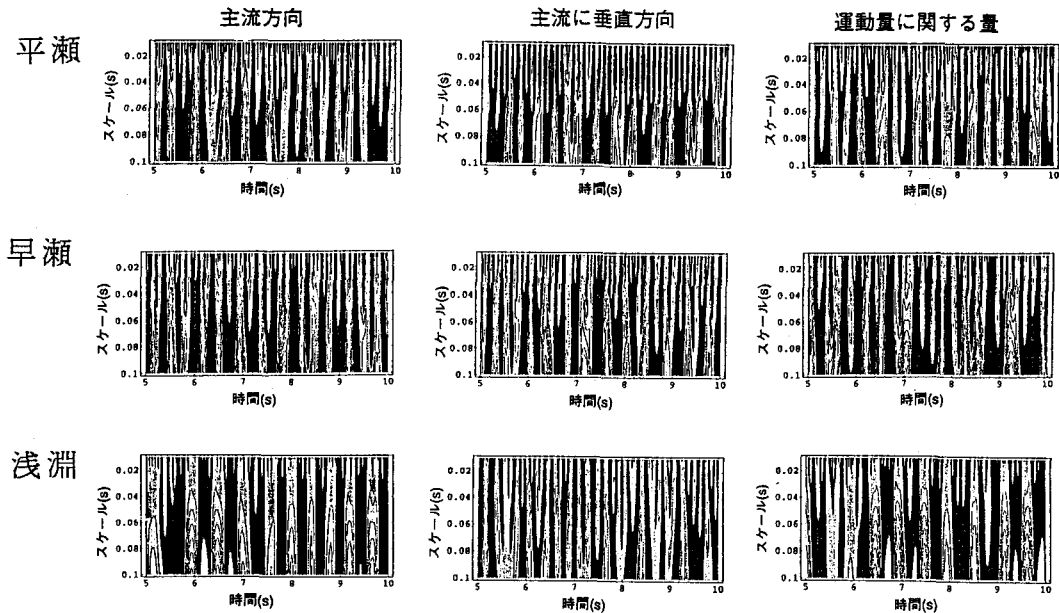


図-2. ウェーブレット係数プロット図(図の白い部分は、正の相関を表す。
左側の二つについては、流速についてである。)

5. 今後の展望

今回の実測により次の二つの問題点が明らかになった。

- 早瀬では卓越していなかった振動数が淵でどの様にして卓越したか。
- 平均流速を用いたフルード数で流れを射流と常流に分けるが、今回の実測データからはフルード数が1を越えなかった。早瀬の状態は下流の擾乱が上流に伝わらないものであり、物理的意味を考慮した分類が必要である。

今後の課題としては、淵に現れた3ヘルツの振動数の発生機構の解明、魚についての基礎的研究、そして、もっと有効なデータ解析方法を見つけだすことなど多くの課題が残されている。この研究は、「魚にやさしい川づくり」(河川環境管理財団)の研究助成を受けたことを付記します。