

河川乱流のエンストロフィー

信州大・工 余越 正一郎

1. 2次元流れの特徴は、2次のインバリアントとして運動エネルギーの他に、エンストロフィー（うず度の2乗の半分）が考えられることである。そうして、2次元乱流理論によると、2種類の間渦子領域の存在が示される。1つは3次元乱流と同様にエネルギー伝達を行う領域で、そのエネルギースペクトル $E(k)$ は $k^{-5/3}$ に比例するものである。しかし、エネルギーは3次元乱流の場合と逆に低波数域へ向って伝達され、エンストロフィーのやりとりはおこなわれない。もう1つはエンストロフィーカスケードリングをおこなう領域で、そのエネルギースペクトルは、

$$(1) \quad E(k) = C \eta^{2/3} k^{-3}, \quad \begin{array}{l} \eta: \text{エンストロフィー伝達率} \\ C: \text{ユニバーサル定数} \end{array}$$

である（対数補正は省略）。この領域では波数間のエネルギー伝達はゼロである。

2. 河川乱流について考えると、一般に河中は水深に比して著しく大きいために、エネルギースペクトルにはメソスケールのギャップが存在して、2次元水平乱流場と3次元鉛直乱流場の分離が可能である。理想的な広中貝南水路とみなした水平乱流場のエネルギー源スケールは河中のみであり、しかもそれ以上のスケールの乱子は存在しないことから考えて、エネルギースペクトルの形はエンストロフィーカスケードリングで説明できそうである。このことを現地観測結果から考察する。

3. 流速観測は千曲川の東電照岡測水所で実施した。河中は130 m、水深は一律に1.7 m、観測時間は4時間、流速計は直至13 cmのフロベラ式である。測点は河川中央部の水面下30 cm、流路は測点上流約700 mで90度のゆるい曲をしている。観測中の水位変化（Fig.1）から明らかなように、トレンドはわずかである。データ処理は、水平乱流域と鉛直乱流域を分離しておこなった。

4. 鉛直乱流場スペクトルに見られる $-5/3$ 乗則成立はもはやめずらしくない。ここのエネルギー伝達率を算定してみると、 $0.77 \text{ (cm}^2/\text{s}^3)$ である。低周波域に -3 乗の直線をいれるとFig.2のようになる。(1)式の2次元波数スペクトルを、凍結乱流仮定で1次元周波数スペクトルに変換すると、

$$(2) \quad F(n) = \frac{C}{4} \left(\frac{U}{2\pi} \right)^2 \eta^{2/3} n^{-3}, \quad U: \text{平均流速}$$

となる。Kraichnanの理論値 $C = 2.6$ を用いて、Fig.2と(2)式からエンストロフィー伝達率を評価してみると、 $\eta = 1.1 \times 10^{-11} \text{ (1/s}^3)$ がえられる。

5. Fig.2の低周波域スペクトルにおいて、エンストロフィーカスケードリングに共存して、河道ゆるい曲にもとづくエネルギー源からの低周波へ向うエネルギー伝達が存在しているかに関しましては、残りのデータを解析するまで、まだはつきりしない。

