

京都大学防災研究所 田石原 亨雄, O(田)余越 正一郎

京都大学大学院 (学)工野 鉄男

1. 河川乱流のスペクトルは、一般に河中を特徴的スケールとする2次元的な水平乱流領域と、水深を特徴的スケールとする乱流境界層的な鉛直乱流領域、および、両者の中間の領域とに分けて考えることができる¹⁾。平均流から水平乱流場の最大乱子に供給された乱れのエネルギーは水平乱流場のエネルギー-逸散密度 E_H とエネルギーフラックスとするカスケード過程を経た後に、乱流粘性 $E_H \Lambda^{2/3}$ で遷移領域を通り、さらに鉛直乱流領域に移行するものと考えられる。 Λ は鉛直乱流場の最大乱子の寸法である。鉛直乱流領域でもまた、鉛直乱流場のエネルギー-逸散密度 E_V によるカスケードの後、最後には最小乱子のスケールにおいて分子粘性により熱エネルギーに変換され系外へ逸散してしまう。このようなエネルギープロセスを考えると、まず問題になるのは遷移領域、すなわち2次元的な水平乱流場のエネルギーから3次元的な鉛直乱流場のエネルギーに移行するところの乱れの構造である。河の表面にみられる卓越した斑紋、流氷方向に軸を持つ水深と同程度の直径の回転、木下博士の言うboilと称する現象などがこの寸法に相当しているのであろう。このような寸法、すなわち鉛直乱流場の最大乱子の寸法、およびそれ以下の階級の乱子の特性を調べる目的でおこなった観測の結果を以下に示す。

2. 観測は巾 $B=100\text{ m}$ 、水深 $H=2.7\text{ m}$ の矩形に近い断面を有するほぼ直線の河川で、横断方向に離れた2点の水面下 30 cm に2つの流速計を設置し、縦速度の同時測定を行なった。用いた流速計は直径 14 cm 、時定数約 0.5 秒のプロベラ式である。河中の中央に1つの流速計を固定し、そこから左岸に向かってもう1つの流速計を $d=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0\text{ m}$ の間隔に順次設置し、おのおのの場合、平均5分間の観測をした。流氷の1時間平均流速は $\bar{u}=1.3\text{ m/sec}$ 、レイノルズ数は河中を用いれば 1.3×10^6 、水深を用いれば 3.5×10^6 であった。得られた結果を次に示す。

3. まず力学的な特性について述べる。

縦方向の乱れの強さ 9組の測定から得られる18系列について平均すると 0.057 が得られる。水深に対する測点の高度は 0.85 である。エネルギー-逸散密度 18系列のエネルギー-スペクトル密度の分布を周波数で表示したものがFig.1で、Kolmogorovの $-5/3$ 乗則の成立がみられる。普遍定数の値を 0.47 を選んでエネルギー-逸散密度を求めると $E_V=0.74\text{ cm}^3/\text{sec}^3$ となる²⁾。

次に、幾何学的特性について述べる。平均渦の寸法 18系列の自己相関係数から縦のintegral time scaleを計算し、凍結乱流の仮定を用いて縦のintegral scaleを求めると $L_x=4.8\text{ m}$ 、すなわち測点の高度のちょうど2倍の値となっている。スペクトルの遷移領域の中あまり広くないために、水平乱流領域の影響が入りやすくなり、相関がなかなかOKならぬ場合もあり、そのときには鉛直乱流場のintegral time scaleを求めるのが困難である。横断方向の9点に対する空間相関係数(Fig.2)から横のintegral scaleを求めると $L_y=0.95\text{ m}$ となる。最大乱子の寸法 Fig.1からみて、スペクトル分布が $-5/3$ の傾きをもつ直線からはずれ始めるのはほぼ $n \approx 0.05\text{ cps}$ で、これは

水深の約10倍の長さの乱子の通過にともなう周波数に相当している。 Fig. 3にコヒーレンスと位相のずれを示す。 コヒーレンスが急に0になる周波数を n_0 として、測定点間距離と波長の比を表わすパラメーター $dn_0/\bar{u}$ を計算すると、 $d=0.5\text{ m}$, 1.5 m の場合にはともに 0.077 となる。 これから最大乱子の中は、長さの $1/10$ 弱であることがわかる。 最小乱子の直径は、たとえば Kolmogorov の micro-scale で表わせば $\epsilon_0=0.74\text{ cm}^2/\text{sec}^3$ を用いて 0.4 mm となる。

最後に、クロススペクトルや位相のずれなどから見て感じられることは、河川流れには、空間的にかなり安定した回転が存在していて、横断方向の測定位置によって、得られる結果がかなり違うように思える。

- 1) 余越：河川の大規模乱れ，
京大防災研究所年報 10
- 2) 水平乱流場では $\epsilon_H \sim 10^2\text{ cm}^2/\text{sec}^3$ である。

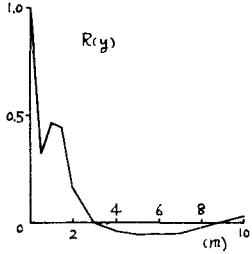


Fig.2 空間相関係数

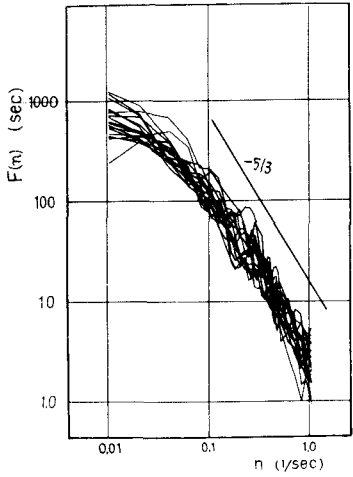


Fig.1 一次元エネルギースペクトル密度

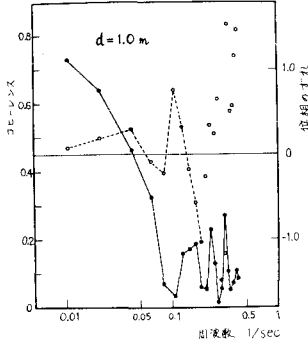
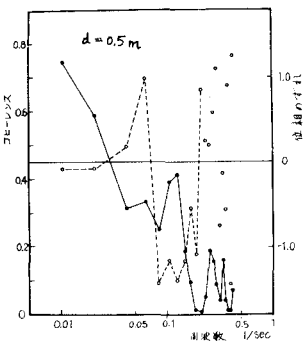


Fig.3 コヒーレンスと位相のずれ

コヒーレンス (●—●)
位相のずれ (○---○)

