

サウンドスケープの視点からみた河川流水音のゆらぎについて

The Characteristics of Fluctuation of Sound of Flowing Water in the River from the Viewpoint of Soundscape

長谷部正彦*・福村寿敬**・桑川高德***

Masahiko HASEBE, Hisataka FUKUMURA and Takanori KUMEKAWA

ABSTRACT ; The purpose of this study is to find the characteristics of sound environment from point of view of (1/f) fluctuations in the river space, that is, the physiological effect of environmental sound on man. In the area of river improvement and river conservation work have tended to put importance to landscape from visual approach. But, in the future, it is necessary that the basic idea of acoustic approached called soundscape compared with visual approach is discussed in the river design.

Keywords ; Sound environment, Fluctuation, Soundscape, Fast Fourier Transform, Spectral Analysis

1. はしがき

河川計画には洪水対策における治水計画、渇水対策や水資源の確保における利水計画および河川の親水のための水環境や景観における親水計画等が上げられる。この中の親水計画では、河川の高水敷を利用した河川公園等の整備があるが、この河川整備の時に、現在、取り上げられているのが、河川景観のような視覚的なことが主要な要素として考えられている。しかし、河川計画においては、視覚的な景観すなわち「ランドスケープ」のみならず音の水環境をも考慮した聴覚的な景観すなわち「サウンドスケープ」の要素をも、今後、取り上げるていくことが必要であると考えられる。水環境における音としては、降雨が水面や地面を叩く音、海岸・海洋における海鳴、沖鳴や波の音(1)、(2)、湖沼における岸辺の音、滝からの落ちる水の音そして河川を流れる流水では、川音、湫音および小川のせせらぎの音等(3)、(4)、(5)が上げられる。本研究では、自然の音である河川水域での音環境の第一段階の基礎的研究として、栃木県内の河川(鬼怒川、田川、釜川)の各地点を対象とし、河川の河床材料及護岸材料(コンクリート、多自然型、蛇かご等)の違いによる河川の流水音の音環境のゆらぎ特性に注目して調査を行って、その水環境の流水音が人間に与える音響評価の手掛かりとして、人間の感情、感覚による心理的評価(6)、(7)を検討して、河川流水音のゆらぎ特性を明らかにすることを目的とする。また、将来は、音に関する水環境の特性が河川改修や河川公園整備事業等のゆとりある河川計画に配慮され、より良い河川空間の創造への一助になることをも目的とする。

* 工博 宇都宮大学教授 工学部建設学科

(Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Utsunomiya)

** 学生員 宇都宮大学工学部 建設学科

(Ditto.)

*** 工修 宇都宮大学大学院 建設学専攻後期課程

(Ditto.)

(〒321 宇都宮市石井町2753)

2. ゆらぎ（スペクトルの周波数特性）と自己相関関数

先ず、波の不規則現象を解析するためのFFT法（Fast Fourier Transform Method）によるスペクトル解析（周波数特性を求める方法）とゆらぎ特性との関係を示す。パワースペクトル（後にのべる）と式（1）で示される自己相関関数は、ゆらぎの時間的変化の様子を表現したものである。

$$C(\tau) = \overline{x(t)x(t+\tau)}$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t)x(t+\tau) dt \quad (1)$$

ここに、 $\overline{\quad}$ は時間平均を意味し、 $x(t)$ は不規則変量、 τ は遅れ時間である。

スペクトル解析により得られた結果のパワースペクトル（ $P(f)$ ）を縦軸に、横軸に周波数（ f ）をとり、その勾配（ $1/f^n$ ）からゆらぎ特性が推察される。一般に、自然界に存在するゆらぎ現象は、白色ゆらぎ（ $1/f^0$ ； $n=0$ ）、 $1/f$ ゆらぎ（ $n=1$ ）および $1/f^2$ ゆらぎ（ $n=2$ ）に分類される。これらのうち、白色ゆらぎと $1/f^2$ ゆらぎは、ブラウン運動の理論などによってその発生メカニズムは明確にされているが、 $1/f$ ゆらぎのメカニズムはよく分かっていない。このゆらぎ現象を自己相関関数（ $C(\tau)$ ）とパワースペクトルとの関係から概念的にみると図-1のようになる。

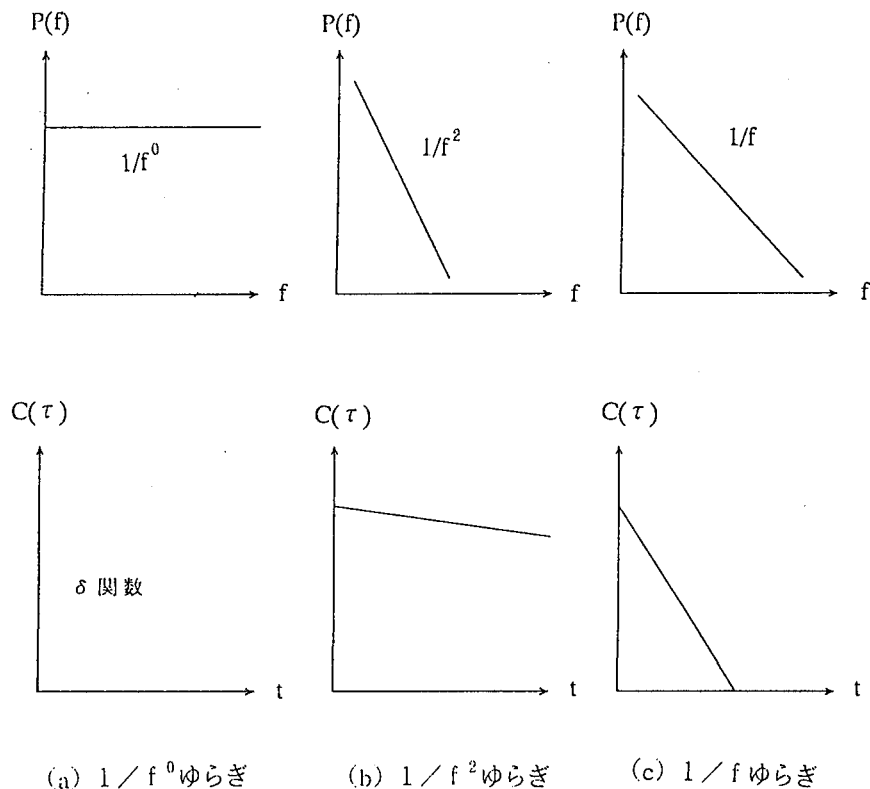


図-1

図-1 (a) から、白色ゆらぎのパワースペクトルは周波数にかかわらず一定であり、自己相関関数は、 δ -関数となり、もとの時系列の波は白色雑音と呼ばれる。

この型は、例えば、ピアノの鍵盤をでたらめにたたいてるような場合である (8)、(9)。

図-1 (b) は、自己相関関数の低減の仕方が緩く、逆に、パワースペクトルの勾配の低減の仕方は急である。この場合は、ゆらぎの相関が長く続いていることを意味している。この型は、意外性が少なく、退屈あるいは冥想的である。

図-1 (c) が $1/f$ のゆらぎ (ピンク雑音とも呼ばれている) の場合であり、このゆらぎの現象は、意外性及期待性がまじあって、例えば、自然界では、暴風時の流速、クラシック音楽の音響の例 (図-2) (9) 等がある。

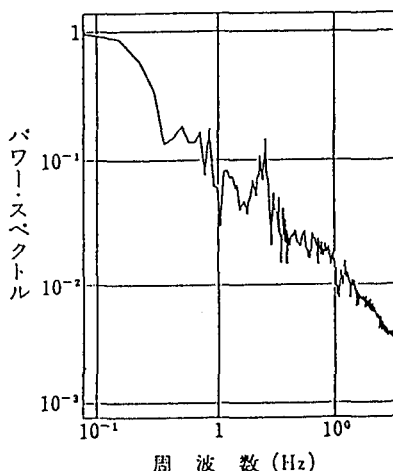


図-2 ビバルディの「四季」の周波数変動のスペクトル (武者利光、ゆらぎの世界、p p 148)

3. 測定方法

現地に F F T アナライザーにより測定 (10) を行う。測定では他の影響する音が入らないように注意し (観測は深夜に行う)、マイクロホンにて水面上 20 cm の地点で流水面に向けて行う。流水形態の違い等で選んだ鬼怒川 5 地点、田川 4 地点および釜川 2 地点の計 11 地点で測定し、1 地点につき 20 回測定する。測定された音圧の波形の時系列を F F T (高速フーリエ変換) により時間領域から周波数領域のパワースペクトルに式 (2) により変換する。

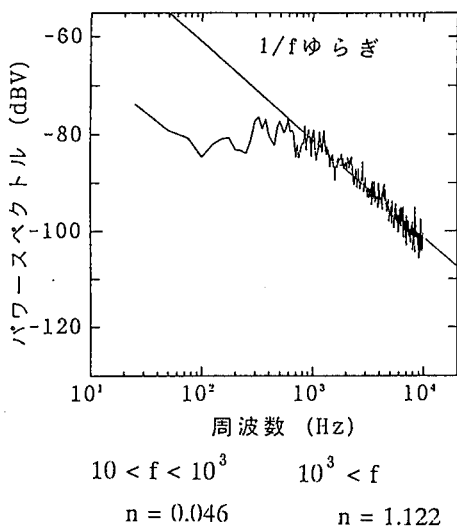
$$\left. \begin{aligned} P(f) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\langle F(f) F^*(f) \rangle}{T} \\ F(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi f t} dt \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 $P(f)$; パワースペクトル、 $F(f)$; $x(t)$ の複素フーリエ成分

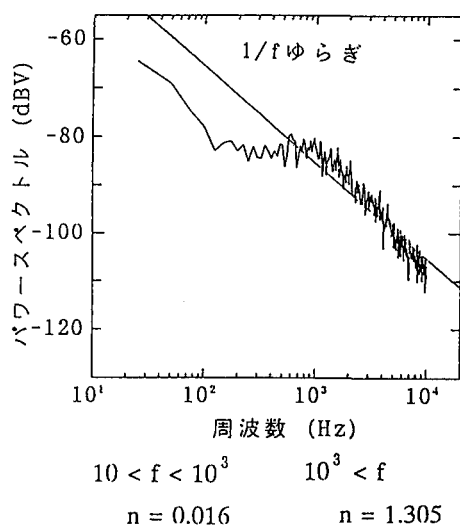
測定の処理方法は、まず流水音を測定し、その結果をメモリーカードに記憶させる。次に現地にこのメモリーカードからパソコンを用いて処理する。分析は、音圧レベルの周波数に対応させてエネルギー分布の時間平均値を算出する。ウィンドウ関数はハニングを用いる。

4. 河川の流水音のパワースペクトル

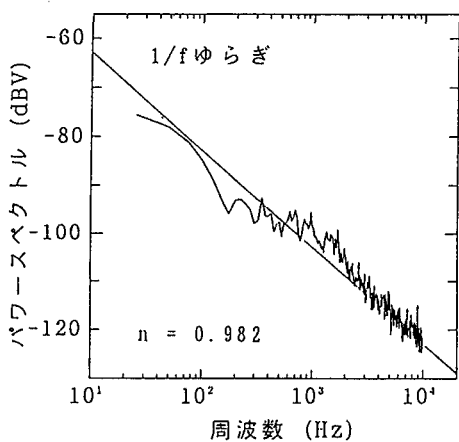
代表的な測定結果を図 3、4、5、6、7 に示す。図 3 は鬼怒川での早瀬で河床材料は径 1 m 程度の岩敷き、図 4 は田川の早瀬で河床材料は径 20 から 30 cm 程度の玉石混じり砂利、図 5 は田川のせせらぎで河床は手の拳程度の石で護岸がコンクリート、図 6 は釜川の垂直落下流で河床がコンクリート、



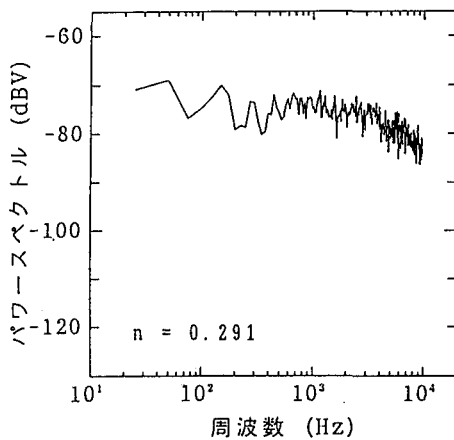
図一 3 鬼怒川・早瀬



図一 4 田川・早瀬



図一 5 田川・せせらぎ



図一 6 釜川・垂直落下地点

護岸もコンクリート、図7は釜川で河床が勾配を持つ地点で、河床材料は石畳、護岸はコンクリートという、それぞれの特徴を持つ地点での流水音のゆらぎ特性の結果である。

これらの結果により、早瀬に限らずほとんどの地点における流水音の「ゆらぎ」が、図3、4のような結果となった。つまり、 10^3 Hz を境にしてその前後でゆらぎの特性が変わっているのが分かる。各々の結果を詳細に検討すると、図3では 10^3 Hz までの傾きが、 $1/f^n$ ($n=0.046$)で、それ以降が ($n=1.122$)である。

図4の場合には、それぞれ $n=0.016$ 、 1.305 である。図5は、せせらぎ音の揺らぎで、ほぼ一定の傾きを持っていることが分かり、全周波数領域に渡っての傾きが $n=0.982$ で、 $1/f$ ゆらぎである。図6は、宇都宮市内を流れる都市河川の釜川の落差約2.5mの垂直落下地点の流水音のゆらぎであり、ゆらぎの傾き $n=0.291$ となり、白色ゆらぎに近い。他に数地点で垂直落下流を測定してみたが、どこでも河床材料などに違いはあるものの、どれも白色ゆらぎに近い値となった。またおなじように、落差のある流れでも河床勾配が垂直でなく傾斜している場合が図7である。ここでの傾きは、 $n=0.789$ となり $1/f$ に近い値となっている。

今後、河床の傾きとゆらぎとの関係は、測定値を増やして検討する必要があると思われる。

5. 結論

本研究での観測結果から得られた河川流水音のゆらぎの特性の結論を以下に、簡単にまとめる。

- 1) 河川の流水音のゆらぎの多くのものが 10^3 Hz を境に低周波領域で白色ゆらぎに近く、高周波領域では $1/f$ に近い、ゆらぎの音特性の結果が得られ、流水音の多くがこのように2種類のゆらぎ成分からなっている。
- 2) 河川の河床に段差があり流水音が垂直に落下している地点では、白色ゆらぎかそれに近い結果が得られた。
- 3) 河川のせせらぎ地点では、 $1/f$ ゆらぎの音特性を持つことが分かった。このようにして、河川の河床材料や護岸の形態等を考慮することによって、音環境の特性を河川計画に取り込んでいくことの必要性があることがわかった。

あとがき

今後の課題としては、サンプリングの仕方や、河川の水理量と f のべき上(n)の関係等をも検討、河川空間内の音環境に関してのアンケート調査も行い、いかなる音環境が河川計画に好ましいかを周波数分析(ゆらぎ特性)のみならず他の解析等でも検討し、さらに、他の音環境の音と河川流水音とを比較し、周波数解析により得られた音の物理的意味、例えば、周波数が 10^3 Hz の境でゆらぎ特性が変わること等をも検討していきたい。最後に、親切な助言をいただいた東京工業大学の難岡和夫教授に感謝の意を表します。

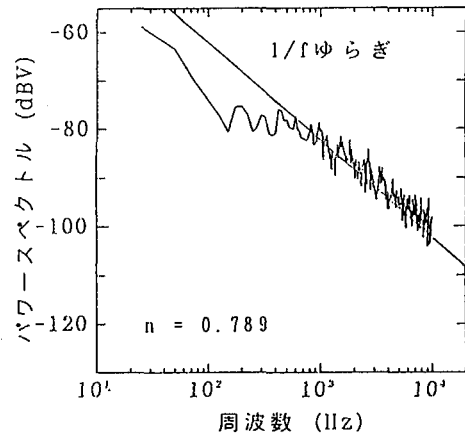


図-7 釜川・急勾配地点

参考文献

- (1) 難岡和夫、北村真一他；多摩川の環境音の季節変動と場特性、土木計画学研究・論文集、No. 11、pp175-182、1993
- (2) 上野成三、難岡和夫他；海岸における波の音の音響特性と快適性の評価に関する研究、土木計画学研究・講演集、No. 15(1)、pp185-190、1992
- (3) 藤原俊男、北村真一他；多摩川の環境音の季節変動と場特性、土木計画学研究・論文集、No. 11、pp175-182、1993
- (4) 奥田孝史、金城巖、厚井弘志；音環境に視点を置いた空間計画；土木計画学研究・講演集、No. 16(1)、pp381-386、1993
- (5) 土屋十國、中村良夫；親水水路にみる流水形態と音環境の特性、造園雑誌、56(5)、pp229-234、1993
- (6) 小柳武和、山形耕一他；サウンドスケープに関する基礎的研究 -音響景観の認識構造-、環境システム研究、Vol. 21、pp242-248、1993
- (7) 筒井義富(聞き手、小泉健)；五感に訴える環境整備(現代フォーラム)、土木学会誌、Vol. 79、pp54-59、1994、5月
- (8) 武者利光；ゆらぎの世界、講談社、1980
- (9) 武者利光編(井上昌次郎他著)；ゆらぎの科学1、森北出版、1991
- (10) 仁科エミ、大橋力；情報遮蔽性居住空間における音環境の生理的影響に関する基礎的研究、第26回日本都市計画学会学術研究論文集、pp367-372、1991