

# 溪流及び落差工周辺の水流音環境について

鳥取大学 農学部 生存環境科学大講座 ○久保田 哲也

## 1 はじめに

近年のアウトドア・レジャーブームにより、人々が自然の中で余暇を過ごす機会が増し、自然環境に対する関心が高まってきている。そのような状況下、国立公園など良好な自然の中に立地することの多い治山・砂防施設が人目に触れる機会も増し、これらの施設と周辺の景観や生態系など自然環境との調和に配慮がなされるようになってきた。この周辺自然環境には、「視覚中心の西洋文明に対する反省」あるいは「風景を“全身感覚”でトータルにとらえる日本の伝統的な風景概念の見直し」（鳥越 1990）といった視点からも、景観の一部としてのサウンドスケープ（音環境）が含まれるべきであり、道路・堤防などの公共施設にはサウンドスケープの考え方に基づいた計画（サウンドスケープ・デザイン）が必要である（鳥越 1990）と言われている。従って、将来、治山・砂防施設にもサウンドスケープ・デザインが求められるケースが生じる可能性があるが、この場合に問題となるのは日常の流水音あるいは落水音などの水流音であると考えられる。さて、溪流・滝などにおける水流音が、洪水時の例外を除けば、人間の心を和ませるさわやかな音として認識されている点に異論が唱えられることは少ないと思われる。しかし、砂防施設の内、落差工から発生する水流音については時として不快であると言った意見が聞かれる場合がある。従来の研究によれば、心理的に快適なサウンドスケープとは、音の大きさ（音圧）がほぼ等しい場合、高い周波数で変化に富み、特定の周波数に偏らない音により成るとされる（Pocockら 1992、大橋 1992）。故に、本研究では、上記サウンドスケープ・デザインの基礎知識を得る目的で、溪流に存在する自然の落差と床固工など人工落差における水流音の周波数特性を計測し、比較検討したので報告する。

## 2 研究手法及び研究の対象箇所

自然及び人工落差の水流音を指向性マイクにより集音、高性能テープレコーダーに録音した。音の大きさに影響されないよう収録時の録音ピークレベルはどの箇所でも同一に設定した。解析の参考とするため、録音と同時に流れの落差、幅、落差上流の河床勾配、落差上流の水深を計測し、騒音計による騒音レベル測定や風向・風速測定も行った。録音信号（音圧変動）はA/D変換ボードによりデジタル信号化し、計算機を用いてパワースペクトル（以下、PSと略す）解析を実行した。PS解析は自己相関関数を使用する直接法とし、平滑化はHanning過程を使用した（Bendatら 1976）。また、レコーダの周波数特性は20~15kHzであるので、解析の切断周波数は15kHzとした。本研究では音の周波数特性全体の特徴に主眼を置くため、詳細な周波数毎の検討は必要ないこと、並びに計算時間の短縮を考え、周波数分解能は1kHzとした。用いた計算機の計算速度の上限と切断周波数より、A/D変換のサンプリング間隔は3.1 $\mu$ secを採用し、サンプリングに伴う標準許容誤差0.1以上を満足するために1サンプルのデータ数3300を計算の対象とした。一か所での録音長さは90秒以上として、この中から当間隔で5サンプルを取り、その周波数毎の平均によりPS特性をパワー比Rpとして検討した。その際の周

波数バンドはオクターブ分析法(太田 1990)を参考とし、次の5音域に分けて整理した。

低音域：0～1、中低音域：1～2、中音域：2～4、中高音域：4～8、高音域：8～15kHz  
パワー比とは、一サンプルのP(下記)中に占める上記5音域のスペクトル密度の割合を指す。

計測の対象箇所については、愛知・鳥取・岡山県において、常に水量のある人工落差(落差工)を17カ所、自然落差を11カ所(例えば、写真1)選び計測を行った。自然落差については人工落差とほぼ同じ落差のものを選定した。さらに、参考として地下鉄車内と船舶機関室の騒音も調査した。

### 3 水流音発生理論

ある音響PSのスペクトル密度関数 $G(f)$ と音圧実効値(音の大きさ)Pとの関係は次式となる。

$$P^2 = p^2 = \int G(f)df \quad \dots (1)$$

ここで、 $p$ ：時間的に変動する実際の音圧、 $f$ ：周波数(Hz)。ところで、水流音は、主として、空気の混入またはキャビテーションにより生じる気泡の振動や破裂により生じるとされる。従って、水流音の大きさPは、気泡の量に比例して大きくなり、その周波数特性は含まれる気泡の大きさやその振動の振幅に影響されると考えられる。この水面より取り込まれる気泡の量やその振動の大きさは、水面変動と流れ自体の乱れの大きさに左右され、水路形状が複雑で水理学的粗度が大きくなれば、水面変動・乱流強度ともに大きくなり、そのPS卓越周波数も高くなってくる(久保田ら 1980、高橋ら 1977)ことが知られている。このことから、気泡の大きさには水の表面張力により上限があることを考え合わせれば、乱れの大きい程、水中の気泡の量が増えると同時に気泡の振動も高周波となり、Pが大きいかつPS特性は高音域が卓越するようになると推測できる。故に、自然の流水音は人工水路のそれよりも高音域の変化に富んだものと思われる。

さらに、気泡の混入について検討すると、開水路の落差工における空気混入量比(混入空気量/水流量)は次式で表される(水理公式集 1977)。

$$m \leq K \sqrt{2(H/h_0 + 1)} - 1 \quad \dots (2)$$

ここに、 $H$ ：落差、 $h_0$ ：落差直上流の圧力水頭+接近速度水頭、 $K$ ：粗度に関する定数。一方、落水が下流の淵または滝壺やウォータークッションに突入する時の空気混入量は水脈の突入による下流水面の乱れにより生じると思われるが、この乱れは突入動水圧 $F_d$ に比例すると考えられる。 $F_d$ は定常流では流体力の理論より、近似的に次式のように表される。

$$F_d \leq \rho c g (H + h_0) \quad \dots (3)$$

ここに、 $\rho$ ：水の密度、 $c$ ：突入する水面における水脈の断面形状や水面の性質に関する定数、 $g$ ：重力加速度。これらの式より、水流音の発生と密接な関係にある空気混入量は $h_0$ の増加に伴って(2)式では減少し(3)式では増加するため、 $h_0$ と空気混入量の関係は水脈自身の空気混入量と落下後のそれとのバランスで異なり一義的ではない、しかし、 $H$ と空気混入量の関係は正比例関係に近いものと考えられる。故に、本研究では $H$ が水流音(落水音)の特性と明確な関係を持つと考え、主として $H$ に着目して計測や解析を行った。

#### 4 解析結果と考察

計測した落水音の解析結果は、図1に落差H別に示した。また、図の最上段には不快とされる地下鉄騒音などの周波数特性が示されている。この結果、次の事が考えられる。

1) 地下鉄の騒音など不快とされる音では低音域のパワー比 $R_p$ が大きく、中低音～中高音のそれが小さい。落水音については、上記の騒音ほどに低音域の $R_p$ は大きくない。

2) 落差Hが小さければ、自然と人工の落差における落水音の周波数特性の差は小さい。

3) 自然・人工落水音ともにHの増加に対し、低音域の $R_p$ が増すが、特に人工の落水音で増加が顕著である。(図2：H=1mの時の $R_p$ を0として基準化したパワー比と落差の関係。)

4) 自然の落水音はHが増しても中低音～中高音域の $R_p$ は減少しないのに、人工のものはかなり減少する。(図3、図4：H=1mの時の $R_p$ を0として基準化したパワー比と落差の関係。)

5) 従って、人工落差における落水音はHの増加とともに、地下鉄の騒音などより不快とされる音に近づく傾向が見られると思われる。

#### 5 結 語

本研究においては、砂防構造物(落差工)の落水音に着目、自然の落水音との比較を試みたが、音の大きさすなわち音圧実効値がほぼ等しければ、その相違は周波数特性に現れると考えた。そして、落差が2m以上と大きくなるに従い、人工構造物である落差工の落水音周波数特性は地下鉄の騒音など不快とされる音の特徴に相似して行くことが見いだされた。それに反して、自然の落水音の特性はそのような傾向がはるかに少ないものであった。従って、景観上のみならず音環境の観点からも、人工の落差工においては、必要に応じて、自然の落水に近い流れを再現させることが望ましいと考える。

最後に、本研究に当たりご協力いただいた鳥取県砂防利水課と愛知県砂防課の皆様、並びにデータ収集・解析に尽力してくれた鳥取大学水土保持学研究室専攻生の石川将之君に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) J. S. Bendat et. al. 得丸英勝ら訳：ランダムデータの統計的処理、培風館 1976、pp308～328
- 2) 土木学会編：水理公式集、1977、pp294～295
- 3) 久保田哲也ら：急勾配粗面流れの乱流特性—河床圧力の変動特性、昭和55年砂防学会研究発表会概要集 1980、pp102～103
- 4) 大橋 力ら：聞く、高周波音が安らぎの源、朝日新聞 日曜版 10月4日 1992、p2
- 5) 太田光雄：基礎 音響物理学、朝倉書店 1990、pp164～165
- 6) D. C. Pocock et. al. 米田巖ら訳編：心のなかの景観、古今書院 1992、pp45～74
- 7) 高橋迪男ら：粗粒子境界面上の急勾配流れにおける乱れ特性に関する基礎実験、土木学会第32回年次講演会概要集2部 1977、pp275～276
- 8) 鳥越けい子：サウンドスケープとはなにか、環境技術 vol.19 No.7 1990、pp1～3
- 9) 鳥越けい子：思想としてのサウンドスケープ・デザイン、環境技術 “ ” 1990、pp17～22



写真1

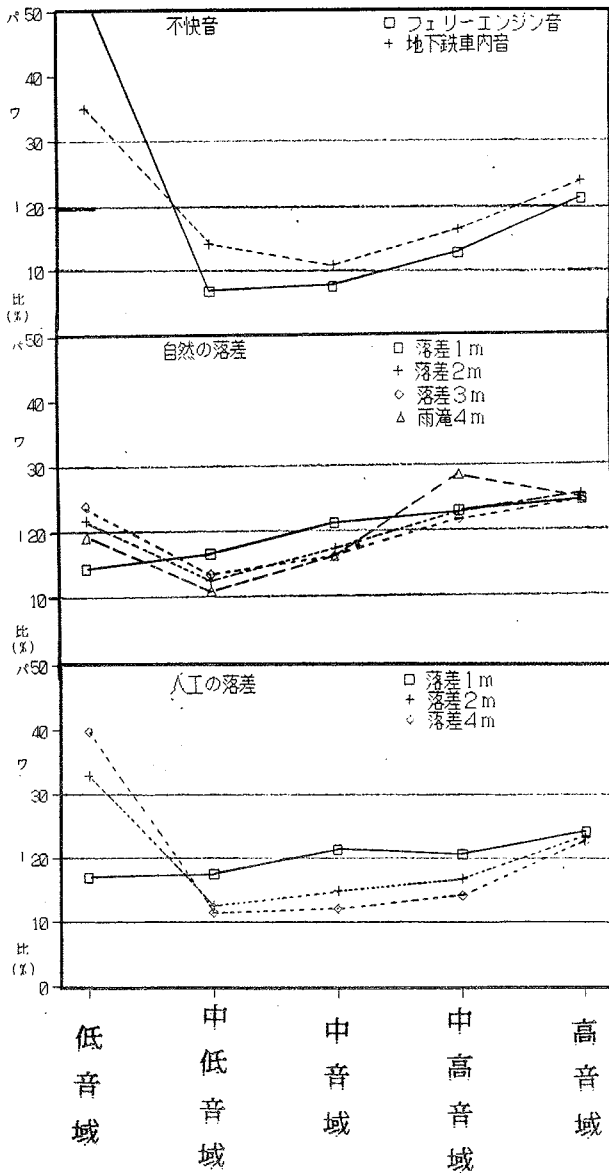


図1 落差別落水音周波数特性の変化

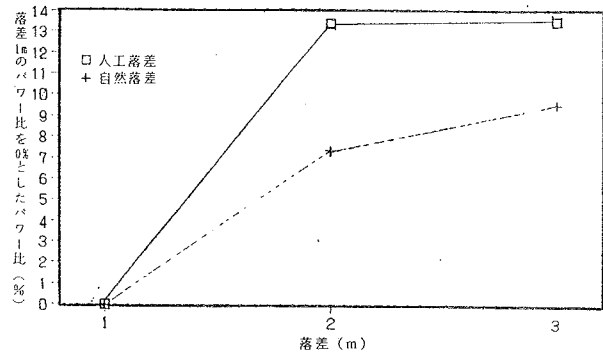


図2 低音域のパワー比の増加

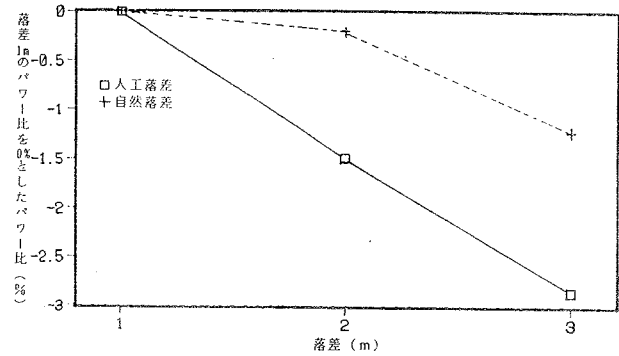


図3 中高音域のパワー比の減少

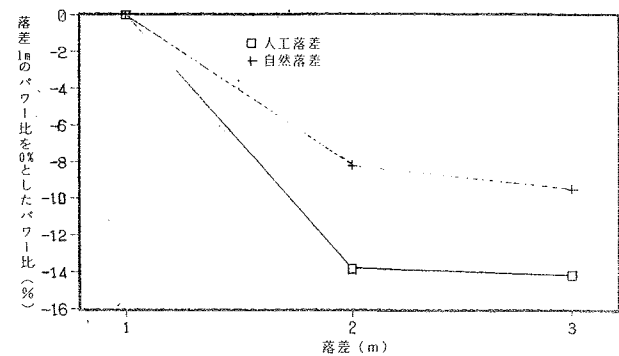


図4 中低音域～中音域のパワー比の減少