

河川環境音による河川音場空間の表現

岡林 隆敏*・花原 正基**・足立圭太郎*

Comfort-Evaluation of River Environmental Sound Field by Water Stream

by

Takatoshi OKABAYASHI*, Masaki HANAHARA**
and Keitarou ADACHI*

In the field of civil engineering, many sound-related researches have been done for removing or decreasing discomfort noises that are generated by traffic or construction. although, there are few researches about “positive sound”, which makes us feel good. In this study, the authors try to evaluate the environmental sound field created by river stream or waves washed against the shore. The authors recorded the sound at the upper, the middle, and the lower reaches of the stream of the Honmyo-gawa River, Isahaya city, Nagasaki. Based on the recorded data, the 1/f-fluctuations was simulated and the comfort at each location was evaluated. Furthermore, a psychological test was conducted to verify the comfort.

1. はじめに

土木工学の分野では、騒音低減の技術の努力がなされてきたが、これまで、音の質が問題になることはあまりなかった。環境の中における音の要素は、快適な環境の要素として重要な要因である。本研究は、特に音の質に関係する、河川周辺の音環境、自然海岸周辺の音環境を収録・分析し、環境指標としての評価を確定しようとするものである。そこで、まず本論文では、土木環境の分野における環境音として、河川環境音の快適音の分析と評価を行った。長崎県内の中小河川の流域を対象にして、上流から下流にかけての音を収録する。空間的な音場の変化と、季節的な音環境の変動、さらに、川のせせらぎや波の音だけでなく、鳥の声や虫の声なども録音する。

河川環境音の音響学的分析の方法として、集録した川の音を音響工学的に分析する。音響スペクトルを求め、スペクトルの形状と、快適音の関係を明らかにする。これらの結果に基づいて、土木騒音工学に対応し

た土木快適音環境を明らかにして、収録方法、心理学的試験、分析方法を提案する。また、自然環境の河川の音環境を可視化し、音の質の把握をする基礎を土木工学分野に定着させることが、本研究の最終的な目的である。

研究の目的は、音響機器の操作と収録技術の確立と、環境音の収録である。まず、音響機材の調整、雑音特性、音響機材の周波数特性を調べる。購入した音響機材 DAT カセットデッキ式、ステレオマイクの周波数特性の分析をおこなう。音響解析コンピュータ、A/D 変換ボード、音響解析ソフトによる、音響特性を調べる環境を整える。次に、河川環境の環境音を収集する。流域の空間的な変化と音特性の変化、四季を通じての季節の変動を調べる。視覚的環境と音環境の関係をのべる。購入した DAT カセットデッキ式、ステレオマイクを使用する。長崎県諫早市の本明川を対象にして、河川環境音の収録を行う。

平成14年10月25日受理

* 社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

** 九州芸術工科大学研究生 (Reserch Student, Kyushu Institute of Design University)

2. 河川環境音の収録及び編集・保存方法について

収録はすべてデジタル録音器 (DAT) を使用し、これにマイクと三脚を接続したものを取り付けて行った。マイクの高さや向きに関しては、様々な高さと向きの組み合わせで収録実験を幾度も行った結果、地形が特徴的である場合を除いて、収録音に差がないことが事前に確認できていたので、上・中・下流すべて、マイクの高さは三脚を一杯に伸ばした状態 (地上より 1.0m) で音源からの距離は 3 m という同一の状態で行った。音源からの距離を 3 m にしたのは種々の環境音と河川の流水音が適度に混在しているからである。さらに、本研究では河川環境音を虫の声や鳥の声も含めた河川流域の自然環境音と捉えているので、自動車の走行音は含んでいない。そこで、収録を行う時間は、自動車の交通量が一日のうちで最も少ないと思われる早朝を選んだ。以下の図-1 に環境音の収録状態を示す。



図-1 環境音の収録状態

次に、収録した河川環境音はすべて、180秒ずつポケットレコーダーにより Windows 標準の音声ファイル形式である wav ファイル形式でデジタル化保存した。ここでは 44100kHz, 8 bit, モノラルを選択した。ここで 8 bit を選択したのは、後に河川環境音を解析する上で 8 bit の情報量でも十分であり、反対に 16bit では情報量が多いために音のファイル容量が大きくなるためである。

最後に、収録した河川環境音は emgic 社の Micro Logic を使用し、編集を行った。図-2 に Micro Logic 編集画面を示す。まず、Micro Logic を起動させ、Audioトラックにポケットレコーダーにより作成した wav ファイルを貼り付ける。次に、貼り付けた wav ファイルをトランスポート・ウィンドウの再生ボタンによ

り再生する。さらに、メニューの Windows をクリックし、Open Mixer を選択、ミキサー画面を表示させる。最後に、音量調節のスライダーで音量を調節し、Bounce ボタンにより保存し、完了する。以下で行う印象評価実験では、CD ラジカセにより音を出力したのだが、収録音を CD-R にそのまま焼いたのでは、音量が小さかったために、Micro Logic により音量レベルを調節した。表-1 に環境音の収録に使用した機材の主な仕様を示す。さらに、図-3 に河川環境音を収録及び編集・保存するための環境を示す。

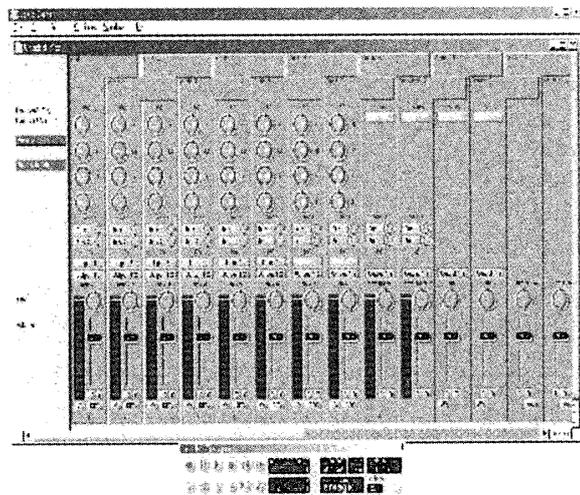


図-2 Micro Logic の編集画面

表-1 使用した機材の主な仕様

DAT レコーダー	
量子化ビット数	16ビットリニア
サンプリング周波数	48kHz
チャンネル数	2チャンネル
周波数特性	20~20000Hz±0.5dB
S/N 比	90dB 以上
ダイナミックレンジ	90dB 以上
マイクロフォン	
ステレオアングル	110°
サンプリング周波数	40~18000Hz
感度	47dB
最大入力音圧レベル	126dB・SPL
S/N 比	67dB 以上

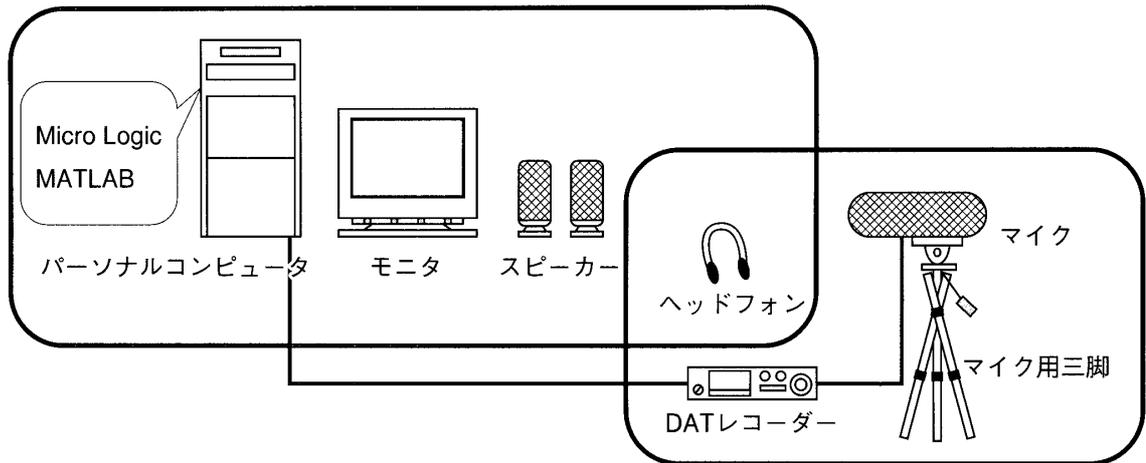


図-3 河川環境音を収録・編集・保存のための環境

3. 河川流域における収録音点の選定

本研究において、河川環境音の収録は長崎県の一級河川である本明川で行った。その流域は、長崎県諫早市に属し、県中部の社会・経済・文化の基盤をなしている。また、市民の貴重な水辺空間として広く親しまれていることから、本明川は本水系における治水・利水・環境についての意義は極めて大きい。これより、本明川は今後の自然環境音や河川環境音を検討する際の参考資料になりうると考えられる。本研究では、本明川を対象にして、河川環境音を上流・中流・下流という地形の違いと音源からの距離(1m, 5m, 15m)の違いに分類し、収録を行った。ここで、図-4に本明川の地理的位置及び収録場所を示す。

4. 河川環境音に対するゆらぎ解析と物理的評価

(1) ゆらぎについて¹⁾

ゆらぎとは予測できない時間的・空間的なものの変化や、その不規則な変化の仕方の総称をいう。電気的導体に電流を流すと、その抵抗値が一定ではなく不安定にゆらいでいることが発見されたことに始まり、そのパワースペクトル密度が周波数 f に反比例することから「 $1/f$ ゆらぎ」と名づけられた。その発生機構は未だに分かっていないが、その後ろうそくの炎、そよ風、小川のせせらぎなどの様々な自然現象の中に、「 $1/f$ ゆらぎ」が発見された。次に、ゆらぎ解析においてよく現れる、ゆらぎの型について説明する。それらは大別して3つに分かれ、それぞれスペクトル分布の傾きが0, -1 , -2 のものである。以下の図-5にゆらぎの型の概形を示す。

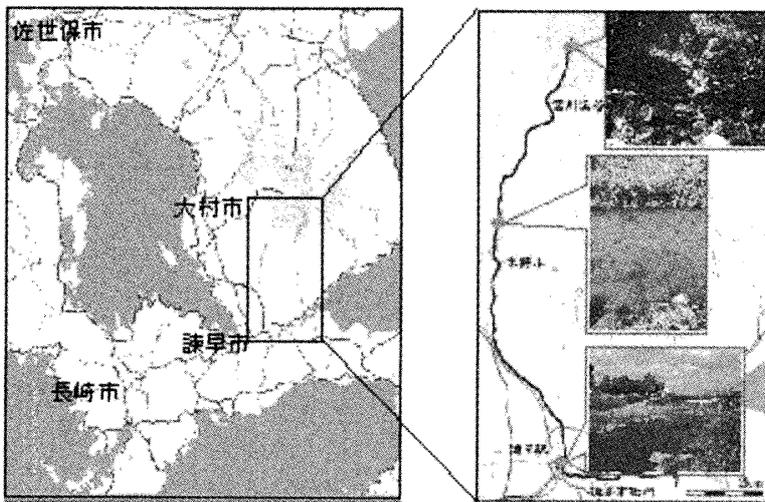


図-4 本明川の地理的位置及び収録場所

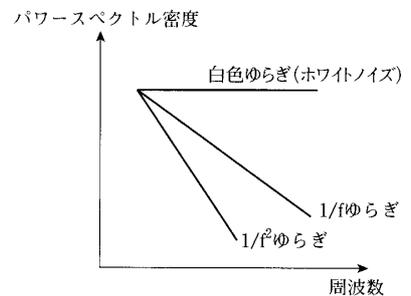


図-5 ゆらぎの型の概形

第1は、傾き0の「白色ゆらぎ（ホワイトノイズ）」と呼ばれるものである。これは、どの周波数の波も同じ程度に入っており、結果として変化が唐突で、意外性の高い波形であるといえる。白色ゆらぎを持つ波形をオーディオ機器に入力して再生すると、「ザーザー」という雑音になる。

第2は傾きが -2 の「 $1/f^2$ ゆらぎ」と呼ばれるものである。このゆらぎは、相関関係が時間とともに指数関数的に減衰する性質を示し、低周波の度合いが比較的高く、結果として波形の全体的な変化の様子がはっきりとして、これにより変化が単調で、予測性の高い波形であるといえる。

第3は、「 $1/f$ ゆらぎ」または「ピンクゆらぎ」と呼ばれるもので、低周波と高周波が適度に混在しているため、変化の様子がある程度予測できるものの、詳細なところまでは正確にはつかめないという特性を持っているといえる。白色ゆらぎは、変化の様子が全く予測できない。一方、 $1/f^2$ ゆらぎは変化の単調さ故にその様子が予測可能である。 $1/f$ ゆらぎは、近年、人の感覚、つまり、心地よさや快適さなどとの関連性が注目され、大脳生理学的、精神生理学的見地から、研究が各方面で進められているゆらぎの型でもある。

(2) ゆらぎ解析について

本研究では、ゆらぎ解析をMATLABソフトウェアを使用し実行する。まず、波形を高速フーリエ変換(FFT)により変換する。この変換の結果、波形の各周波数あたりのパワースペクトルが得られる。このパワースペクトルの傾きが、含まれている周波数分布の全般的な特徴を統合的に表している。すなわち、この傾きは含まれている低周波と高周波のバランスを表現しているのであり、このような低周波と高周波のバランスのことを「ゆらぎ」という。傾きを求めるにはスペクトル分布を最小2乗法を用いて直線に近似させ、その直線の傾きを求めればよい。図-6にMATLABで作成したプログラムを示す。

(3) 河川環境音の物理的評価

1) 地形の違いによる河川環境音の変化

上流、中流、下流の河川環境音においてスペクトル波形の形状に大きな差はなく、いずれも1000Hz付近のパワーが最も大きくなっているのが特徴である。ゆらぎの指数として、 f^n の n を用いる。ゆらぎの値をみても上流から1.461、1.306、1.445と、0.9~1.5の間の比較的狭い範囲に集中した。これより河川環境音は、特に特徴的な地形を除けば、地形の違いによる物理的な変化はみられず、全てにおいて心地よい音だといえることができる。以下の写真-1、写真-2、写真-3

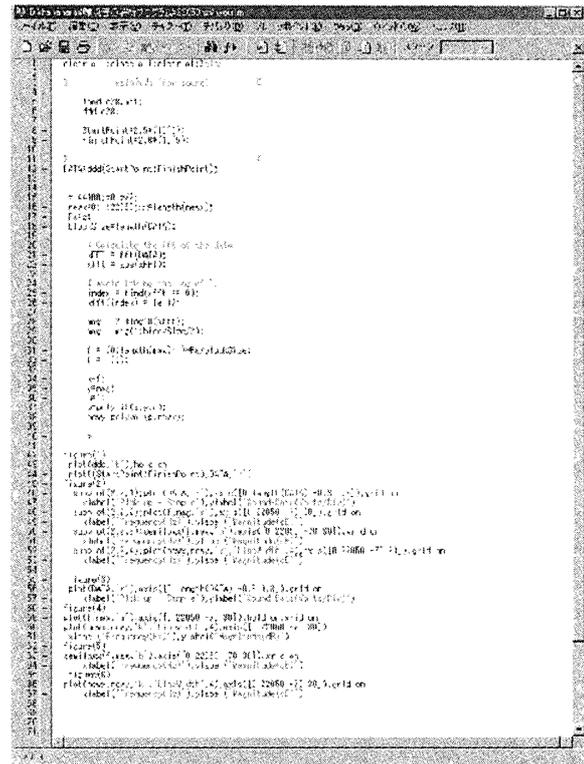


図-6 MATLABで作成したプログラム

に上流、中流、下流の水面状態を示す。さらに、図-7、8、9は、この個所の音のパワースペクトルを表したものである。縦軸はdB表示したパワースペクトル密度であり、横軸は0~20kHzまでの周波数である。

2) 音源からの距離の違いによる河川環境音の変化

河川環境音は音源から離れるにつれて、スペクトルは $1/f^2$ から $1/f$ に近づく平坦な形状を示し、さらにホワイトノイズに近づくことが分かった。ゆらぎ指数を計算すると、1m、5m、15mに対応して、1.875、1.313、0.849と音源から離れるにつれて、傾きが緩やかになることが分かった。

河川の流水音がよく聞こえる、1m、5mの場所ではゆらぎ指数は1.875、1.313となり、必ずしも流水音が全てゆらぎ指数が1に近い訳ではないことが分かる。上流、中流、下流の流速に関係して、河川環境音のスペクトルは変化する。この場所のデータからは、流水音が直接聞こえる河川の近くより、少し離れた5m程度が、快適な音に近づくようである。

写真-4に集録状態を示し、図-10、図-11、図-12に音源からの距離が1m、5m、15mのときのスペクトル分布を示す。



写真-1 上流の水面状態

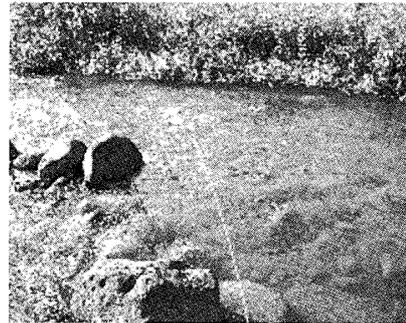


写真-2 中流の水面状態

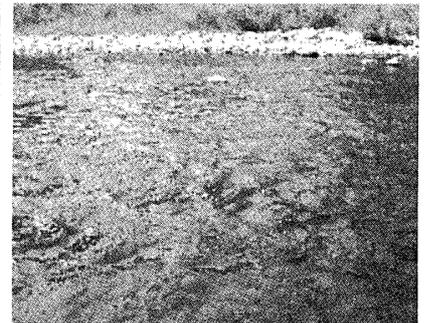


写真-3 下流の水面状態

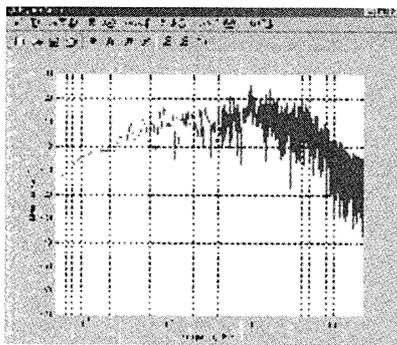


図-7 上流のスペクトル波形

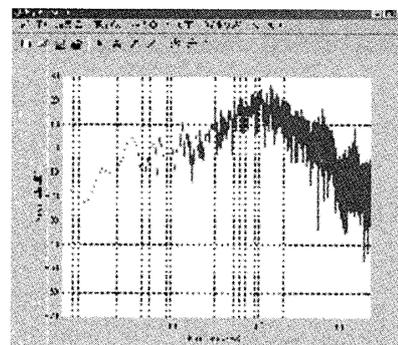


図-8 中流のスペクトル波形

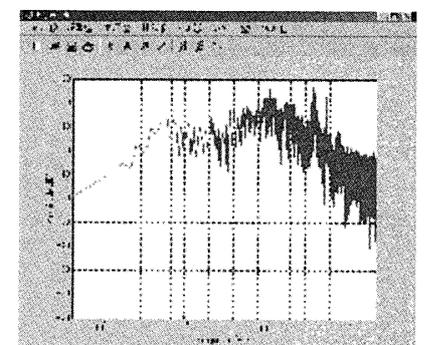


図-9 下流のスペクトル波形

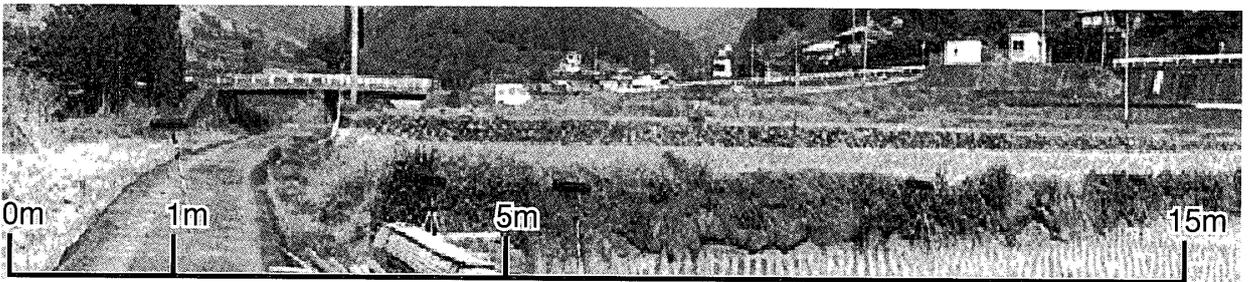


写真-4 音源からの距離の違いによる収録状態

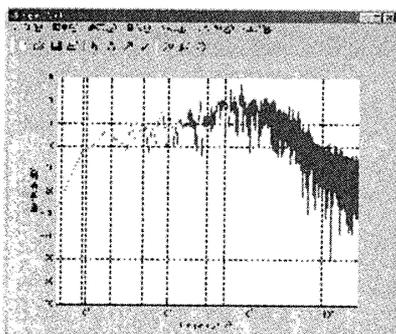


図-10 音源から1m地点の
スペクトル波形

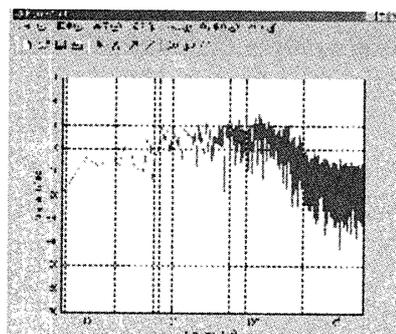


図-11 音源から5m地点の
スペクトル波形

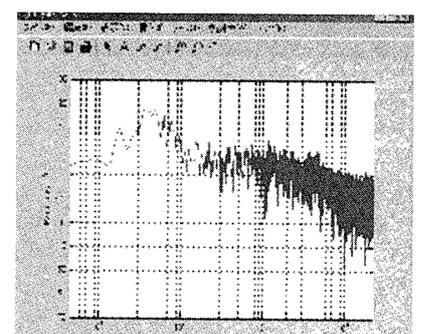


図-12 音源から15m地点の
スペクトル波形

5. 印象評価実験と心理的解析

(1) 実験を行う環境

1) 評定用紙の作成²⁾

一般的にSD法 (semantic differential) はオズグッド (C.E.Osgood) により、各次元 (すなわち、美的、迫力、金属性) について純粋尺度を3つずつ選択することが勧められているので、各次元を代表する形容詞対を全部で9個準備した。それらはさらに、以下の条件を留意して選定した。評定用紙は図-13に示す。

- ①河川環境音を表現するのに適切な形容詞であること。
- ②その次元に対する因子負荷量が大きく、他の次元に対する負荷量が少ないこと。
- ③抽象的な言葉は避け、直感的、感覚的なものを用いること。
- ④意味の似かよったものは1つにまとめること。
- ⑤専門的な用語は避けること。
- ⑥受け取り方に個人差が出るとされる言葉は避けること。

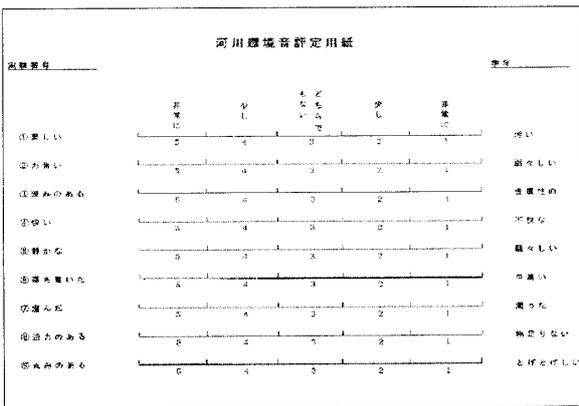


図-13 実験に使用した評定用紙

2) 被験者の選定

被験者として、22~25歳までの正常聴力の学生35名を対象とした。

3) 実験場所の環境

実験場所は長崎大学工学部1号館7番講義室を使用した。実験音はCDラジカセにインテグレートステレオアンプを接続し、スピーカーシステム、アクティブスーパーウーファーにより出力した。ここでは、アクティブスーパーウーファーを用い、20Hz近くからの低音域も出力可能にした。以下の図-14に実験場所の環境を示す。

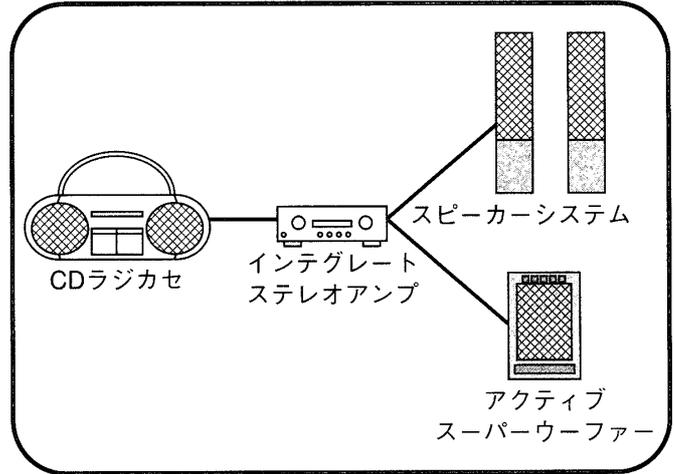


図-14 実験場所の環境

表-2 印象評価実験に使用した機材の仕様

インテグレートステレオアンプ	
実用最大出力	100W+100W
入力感度	200mV
周波数特性	7 Hz~70kHz
スピーカーシステム	
周波数特性	50~50kHz
最大入力レベル	100W
出力音圧レベル	89dB
アクティブスーパーウーファー	
実用最大出力	50W
再生周波数帯域	28~200Hz
ハイカット周波数	50~200Hz

(2) 因子分析³⁾

1) 因子分析の概要とその手順

因子分析の手順として、まず最初に決めなければならないのが、共通性の推定値である。共通性というのは、変数の分散のうち因子によって説明される部分の比率のことをいう。

次に決めなければならないのが、抽出する因子数の決定である。抽出する因子の数が多ければ多いほど、変数間の相関関係を適切に説明できるが、あまり多くの因子を抽出したのでは情報を圧縮したことになる。そのため、最もよい結果をもたらした時の因子数を適当だと判断する。

抽出する因子数を決定すると、次は因子軸の回転を行う必要がある。因子の意味の解釈を容易にするための作業が、因子軸の回転である。最も一般的なものは、基準化バリマックス法である。

最後に、因子の解釈・命名を行わなければならない。ここでは、それぞれの因子に大きな因子負荷を持つ変

数、また、その因子に所属する変数から、因子の意味を解釈する。

2) 因子分析結果

本研究では因子分析において、共通性の推定値を1、抽出する因子数を3、回転はバリマックス回転を選択したとき、すべての変数の因子所属が明瞭であり、因子負荷が全体として単純構造になっていたため、これを結果とした。

それぞれの因子の寄与率及び累積寄与率を表-3に示し、因子負荷量の一覧表を表-4に示す。これらの表から、まず第1因子は「力強い」、「迫力のある」の因子負荷量がそれぞれ-0.9556、-0.9237と非常に高かったため、『力強く迫力のある環境音因子』と命名した。次に第2因子は「美しい」、「快い」、「澄んだ」の因子負荷量がそれぞれ0.8689、0.8569、0.8336と、これも非常に高い値を示したため『美しく澄んだ環境音因子』と命名した。最後に第3因子は「金属性の」の因子負荷量が一つだけ圧倒的に高く0.9648を示していたため、『金属性のある環境音因子』と命名した。また、これら3因子で、変数の分散のうちの91.48%を説明できることになる。

表-3 それぞれの因子の寄与率及び累積寄与率

因子 No.	寄与率 (%)	累積寄与率 (%)
1	48.33	48.33
2	30.10	78.44
3	13.04	91.48

表-4 因子負荷量の一覧表

	因子 1	因子 2	因子 3
力強い	-0.9556	-0.2169	0.0376
迫力のある	-0.9237	-0.2860	0.0623
美しい	0.1996	0.8689	0.2156
快い	0.3785	0.8569	0.2118
澄んだ	0.4244	0.8336	0.0668
深みのある	0.0867	0.2454	0.9648
丸みのある	0.7896	0.3424	0.2607
落ち着いた	0.8738	0.3326	0.2393
静かな	0.9088	0.3292	0.1281

3) 河川環境音の心理的評価

ここでは、前述の『力強く迫力のある環境音因子』、『美しく澄んだ環境音因子』、『金属性のある環境音因子』の因子得点から心理的な解析を行う。まず、地形の違いに関して言えば、河川環境音は中流が最も『美

しく澄んだ環境音因子』の得点が高いことが分かる。しかし、上流と下流においても、この因子得点は比較的高く、すなわち、河川環境音は地形の違いに関わらず、心地よい音だと判断できる。

次に音源からの距離の違いに関して言えば、河川環境音は音源からの距離に係わりなく「力強く迫力のある環境因子」は、余り変化を示していない。流水音から離れると、逆に僅かに「力強く迫力のある環境因子」が増加し、矛盾した結果を示している。一方、心地よさの観点から述べると、10mでは比較的「快適でない」の評価となっている。5mから3mの地点では安らぎを感じる評価が高くなっている。しかし、15mになるとまた、安らぎを感じる指標が高くなっている。15mになると、流水音が聞こえ難くなり、そのような点から混乱が発生していると思われる。図-15に因子得点表を示す。

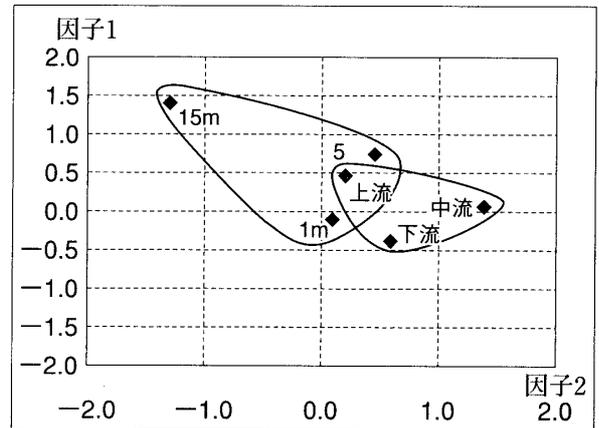


図-15 因子得点表

6. まとめ

河川環境音を物理的な側面と心理的な側面から総合的に評価する。まず、河川環境音は上流、中流、下流において、物理的なゆらぎの値は、0.9~1.5の間の比較的狭い範囲に集中していた。また、印象評価実験の結果をみても、それぞれに心地よいという印象を受けていた。これらのことから、河川環境音は特に特徴的な地形を除けば、地形に関わらず、人間に心地よい印象を与えることが分かる。また、音源からの距離の違いに関して言えば、河岸から1m、5m、15mと変化させると、ゆらぎ指標は1.875、1.313、0.849のように変化し、河岸から若干離れると流水音の鋭さが取れて、ゆらぎ指標が1に近づく。また、印象評価実験の結果から見ても、10m、5m、3mに近づくにつれて、『美しく澄んだ環境音因子』の得点が高くなり、河川環境音は人間に安らぎを与えているようである。

本研究の成果と今後の課題について述べる。まず本

研究では、河川景観をより全環境的に捉えるために、河川環境音を総合的に分析した。これにより、土木分野で発生する音の中にも、騒音のような負のイメージの音ばかりでなく、“やすらぎ”を与える音が存在することが分かった。すなわち、土木分野においても聴覚情報を考慮して景観設計を行う必要があると考えられる。また、本研究では河川の音場空間を視覚的に表現するために、河川環境音の収録方法、物理的分析方法、心理的分析方法が有効であることを示した。これらの手法が今後の新しい時代の要求に対応した景観設計を行っていくための音質的研究の基礎になると考えている。今後の課題としては、自然海岸の波・風の音など、種々の環境音の収録・分析を行うことが挙げら

れる。さらには、土木環境音に関わる環境評価指標を確立し、土木音環境学を構築することが今後の課題である。

本研究は、『平成13年度・平成14年度科学研究費補助金【萌芽的研究】』を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 木下栄蔵・亀井栄治：癒しの音楽，久美出版社，2000. 12
- 2) 難波精一郎・桑野園子：音の評価のための心理学的測定法，コロナ社，1996.7
- 3) 古谷野亘：多変量解析ガイド，川島書店，1988. 8