海岸環境音の快適性

鈴木 崇之¹・金子 洋樹²・太田 篤史³・中村 由行⁴

¹ 正会員 横浜国立大学准教授 大学院都市イノベーション研究院
(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)
E-mail: suzuki-t@ynu.ac.jp

² 横浜市水道局中部工事課中部設計係 (〒232-0033 神奈川県横浜市南区中村町4-305)
E-mail: kaneko-hiroki-fv@ynu.jp

³ 横浜国立大学特別研究教員 大学院都市イノベーション研究院
(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)
E-mail: atota@ynu.ac.jp

⁴ 正会員 横浜国立大学教授 大学院都市イノベーション研究院
(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)
E-mail: nakamura-y@ynu.ac.jp

神奈川県相模灘に位置する小田原海岸、大磯海岸、藤沢海岸にて海岸環境音を計測した。これらの収録音に対して音質評価を実施すると共に、官能試験による主観評価を行い快適感との関係を検討した。その結果、音質評価指標は風の影響が特徴づけられており、ラウドネスについては風速4 m/s以下では汀線からの距離による相関が見られたが、それ以上の風速では風の影響が支配的であった。また、シャープネスについては風速の増加と共に減少する傾向が見られた。さらに、官能試験の結果、海岸環境音に関する2因子、迫力因子と明瞭感因子が得られた。これらと物理量との関連性を検討した結果、海岸環境音の快適性はラウドネスをパラメータとした迫力因子、シャープネスと碎波指標をパラメータとした明瞭感因子を用いて評価できることが示唆された。

Key Words : coastal environmental sound, comfortableness, Sagami-nada coast

1. はじめに

海岸環境の創造は、人工渚の造成や海浜公園の整備、養浜による保全などが取り組まれており、景観や物理的現象への対処に重点を置いたものがそのほとんどである。しかし、人々が空間を認識する行為は視覚のみではなく、聴覚や嗅覚などの総合的な認識行為であり、多面的な捉え方が必要不可欠である。海岸環境を考えて見ると、波の来襲により絶えず音が発生している。これに加えて、風音が海岸環境の形成に重要な役割を担っていると考えられる。

これまで海岸工学における音の研究では、波の砕ける音を直近にて収録し、波の音の物理的特性や発生機構、心理的な観点から見た快さの構成要因などについての研究成果が報告されている（例えば、灘岡・徳見¹⁾、灘岡・玉嶋²⁾、村上ら^{3), 4)}）。山本ら⁵⁾は波浪による振動や騒音の被害について調査を実施し、それらの特性を検討している。また、片山⁶⁾は、北部九州の4つの海岸において住民に対しアンケートを実施し、波の音、海風の音等に関する快適性について検討を行っている。一方、

Suzukiら⁷⁾は碎波音や波の遡上音や風切り音などが重なり合い、海岸全体に響き渡る音を汀線位置から陸側に離れた地点で観測し、この音圧レベルを変数とした波高の推定式を提案している。加えて、波の音はリラクゼーション効果があるとされており、村上ら⁸⁾は脳波の α 波を用いた快適性の検討も実施している。人々が海岸において感じる音に着目した場合、耳にするその音は波や風をはじめとした様々な音を総合したものであり、波浪の音のみを用いた評価では海岸環境音を評価するには不十分であると言える。

そこで本研究では、風音や遡上音等も含めた海岸に響き渡る音を海岸環境音と定義し、この音を騒音計を用いて収録し音質評価指標を算出するとともに、その空間的特性について考察する。また、収録音を用いた音の印象を官能試験により主観評価し、快適感（心地よさ）との相関を検討し音の定量評価を試みる。さらに、官能試験の結果と音質評価指標、海岸環境の物理量を用いて快適感を評価することを試みる。

2. 現地観測

(1) 現地観測地の概要

海岸環境音の観測は、神奈川県相模灘に位置する3つの海岸、小田原海岸、大磯海岸、藤沢海岸にて行った。これらの海岸の位置を図-1に示す。各海岸は底質の中央粒径が異なり、前浜において採取したそれぞれの中央粒径は小田原海岸、大磯海岸、藤沢海岸の順にそれぞれ、13.25 mm, 1.18 mm, 0.065 mmであり、東に向うほど細くなる傾向であった。

各海岸において2013年11月18日に地形測量を実施した。測量日時平均汀線位置より陸向きに5 m間隔で60 mまで、沿岸方向に20 m間隔で3測線において測量を行った。汀線位置から陸側5 mにかけての平均地形勾配は、小田原海岸、大磯海岸、藤沢海岸の順にそれぞれ1/10, 1/15, 1/19であり、東に向うにつれて低くなっていた。これは、底質粒径の大小に対応している。大磯海岸については、遡上帯よりもやや陸側までが急勾配であり、それよりも岸側は緩勾配であった。

(2) 現地観測の概要

観測位置は、各観測日観測時刻における平均汀線位置より陸向きに8 mの地点を第1測点とし、この地点から15 m間隔で陸側に第2測点、第3測点とした(図-2)。また、各測点において、測量スタッフの1 m, 3 m, 5 m位置に

録音機(DR-07MK II, TASCAM)を固定し、海岸環境音の収録を5分間行った(写真-1)。この際、収録機のマイクは海側に向け、風防キャップ(WS-11, TASCAM)を取り付けた。

風速については、風速計(Kestrel4800, Kestrel)を第1測点と第2測点の間に設置し、地面より鉛直方向1 mの地点に固定し測定を行った。観測を行った周囲は、この地点での風速で代表できると仮定し、解析を行うこととした。

波浪データに関しては、それぞれの観測地点の沖約4~10 kmにおける推算波浪を用いることとした。

現地観測は、各海岸において2013年10月9日、21日、30日、11月11日、18日、27日、12月9日の計7回実施した。観測時刻は各観測日、観測地点により異なるが、全て11:00から17:00の間に実施した。計測期間中、平均汀線位置から観測第3測点までの地形は、ほぼ変化していなかった。また、風向については陸側からの風はなく、すべての観測日において海風または海岸線に対して平行方向であった。ただし、本解析においては風向は考慮しないこととした。

計測した観測データのうち、計測器エラーや天候等により欠測値が存在する。欠測データをまとめたものを表-1に示す。

図-1 現地観測地点

写真-1 小田原海岸での観測

図-2 観測模式図

表-1 欠測の概要

観測日	場所	測点, 観測高	要因
10月9日	藤沢	第1測点, 3m	計測器エラー
11月11日	藤沢	第1測点, 1m以外	計測器エラー, 降雨
11月18日	全地点	全測点, 3m	計測器エラー
11月27日	藤沢	第1測点, 1m以外	計測器エラー, 海岸保全工事
12月9日	藤沢	全地点, 1,3,5m	海岸保全工事

3. 官能試験

(1) 音質の心理学的評価

人間が感じる「快適」、「不快」は主観的な判断であり、計測器等で測定したデータから予測することは困難である。したがって、ここではこれまで心理学の分野で用いられてきた心理学的測定法であるSemantic Differential法（以下、SD法）を用いた因子分析を行い、因子空間によって海岸環境音の快適性を評価することを試みる。

(2) SD法による官能試験

各観測地点において収録された海岸環境音のうち、第1測点（汀線位置より8m）、観測高1mの収録音を官能試験に用いた。官能試験では、それぞれの海岸における収録音の再生時間を1分とした計20のサンプル音を使用した。ただし、12月9日の藤沢海岸については観測が行えなかったため含まれていない。使用する形容詞対は、アンケート用紙に記載する左右、および掲載順を無作為に配置し、配列による影響を小さくした。

始めに、適切な形容詞対を絞り込むための予備実験を行い、34種類から17種類に絞り込む作業を行った。本実験では、この17種類の形容詞対を用いて実施した。表-2に17種類の形容詞対を示す。

官能試験本実験の被験者は、10代から30代の学生、および教職員の計20名である。被験者は講義室において、スピーカー（MS60S, YAMAHA）により20のサンプル音を1つずつ聴き、各サンプル音についてアンケート用紙に記してある形容詞対に対し印象に近い数字（7段階）を選定し評価することとした。ここで、サンプル音

表-2 本実験に用いた形容詞対（7段階評定）

No.	形容詞対
1	1: 鋭い-7: 鈍い
2	1: 力強い-7: 弱々しい
3	1: 綺麗な-7: 汚い
4	1: 大きい-7: 小さい
5	1: 迫力のある-7: 物足りない
6	1: まとまりのある-7: 散らばっている
7	1: 軽い-7: 重い
8	1: のびのびとした-7: 窮屈な
9	1: 優雅な-7: 雑な
10	1: かたい-7: 柔らかい
11	1: 静かな-7: にぎやかな
12	1: 不快な-7: 心地よい
13	1: 激しい-7: 穏やかな
14	1: 動きのある-7: 平坦な
15	1: 濁った-7: 澄んだ
16	1: メリハリのある-7: ボケた
17	1: 重厚な-7: 軽快な

に含まれる風音を雑音と認識されないように、サンプル音を再生する前に風音を再生し、被験者に風音を認識してもらった。1つのサンプル音に対し、1分間全体を通して音を評価してもらうため、評価はそのサンプル音の再生が終わってから実施してもらうこととした。

(3) 因子分析

SD法によって得られたデータを基に統計解析ソフトEZR[®]を用いて因子分析を行った。これより因子負荷量を算出した。また、因子得点の算出にはバートレット法を用い、因子の回転にはバリマックス回転を用いた。官能試験結果より算出した因子負荷量を表-3に示す。

解析の結果、第1因子では「大きい-小さい」、「迫力のある-物足りない」等の形容詞対が高い因子負荷量の絶対値を示しており、これは音の迫力因子であると言える。迫力因子は、音が小さいと判断されると正、大きいと判断されると負の値を取る。

第2因子では「鋭い-鈍い」、「濁った-澄んだ」の形容詞対が高い因子負荷量の絶対値を示しており、これは音の明瞭感因子であると言える。明瞭感因子は鋭い、澄んだと判断されると正、鈍い、濁ったと判断されると負の値を取る。

また、「不快な-心地よい」の因子負荷量は、第1因子、第2因子共に比較的高い値をとり、これは評価性の

表-3 因子負荷量

No.	形容詞対	第1因子	第2因子
1	鋭い-鈍い	-0.18	-0.72
2	力強い-弱々しい	0.95	0.25
4	大きい-小さい	0.96	0.21
5	迫力のある-物足りない	0.97	0.17
11	静かな-にぎやかな	-0.76	-0.47
12	不快な-心地よい	0.59	0.77
15	濁った-澄んだ	0.48	0.85
16	メリハリのある-ボケた	-0.90	<0.1

図-3 因子空間

因子が中間因子として現れたと考えられ、第1因子、および第2因子で音の快適性を説明することができる。ここで、「不快な—心地よい」の評定得点が5点以上のものを「心地よい」、3点未満のものを「不快な」とし、さらに3点以上4点未満、4点以上5点未満の4段階に分類し、因子空間上にプロットしたものを図-3に示す。それぞれのプロット右の数字と文字は、観測日および観測場所の頭文字を示している。右上に行くほど心地よく、左下に行くほど不快に感じており、快適感迫力因子と明瞭感因子に正の相関があると考えられる。

4. 音質評価指標と海岸環境音物理量

(1) 音質の評価

本研究では海岸環境音を心地よいかどうかを評価するため、心地よさに関係している音質評価指標であるラウドネス、シャープネスを使用することとした。ラウドネスは人が感じる音の大きさを表す量であり、シャープネスは人が感じる音の甲高さを表すパラメータである。シャープネスは、特に耳障り感と相関が強いと言われている評価量である。音質評価指標の算出は、音響解析ソフトウェア (LabVIEW 2013, National Instruments) を用いた。

(2) 音質評価指標と海岸環境音構成要因の関係

ここで、音質評価指標と海岸環境音の構成要因の1つである風速との関係を検討する。風速が大きくなると風切り音が増加し、小さくなると波浪の砕波音などが支配的になると考えられる。

始めに、小田原海岸におけるラウドネスと風速の関係を観測点別 (観測点—観測高) にプロットしたものを図-4に示す。風速が増加するにつれラウドネスも増加する傾向が見られるが、風速4 m/sを境として傾向に違いが見られる。風速4 m/s以下では、第1測点を除き観測高が低いほどラウドネスも小さな値を取る傾向が見られる。ラ

図-4 小田原海岸における風速とラウドネスの関係

ウドネスは音圧や音の周波数構成に依存しており、灘岡ら²⁾が示したように砂による吸音効果も要因の1つであると考えられる。第1測点が高い理由は砕波や遡上音等の影響と考えられる。また、汀線位置からの距離によるラウドネスの減衰も見られる。一方、風速4 m/s以上の領域では、この傾向は見られない。これは風音の影響が支配的であるためと考えられる。

大磯、藤沢海岸におけるラウドネスと風速の関係を観測点別に示したものをそれぞれ図-5, 6に示す。多少のばらつきは見られるものの、概ね小田原で見られた傾向と同様の傾向が見られた。また、それぞれの観測地点沖における推算波高とラウドネスとの関係についても検討を行ったが、両者に明瞭な関係はみられなかった。

次に、小田原におけるシャープネスと風速の関係を観測高別 (観測点—観測高) にプロットしたものを図-7に示す。全体を俯瞰すると、風速4 m/s以下では観測高が低い方がシャープネスも小さくなる傾向が見られた。これもラウドネスと同様に、砂による吸音効果もその要因の1つであると考えられる。風速4 m/s以上ではシャープネスは収束傾向がみられた。

図-8に小田原海岸、第1測点、観測高1 mにて録音された海岸環境音の周波数スペクトルを示す。図より、300 Hz以下では2つの傾向が見られる。風音は100 Hz周辺の

図-5 大磯海岸における風速とラウドネスの関係

図-6 藤沢海岸における風速とラウドネスの関係

図-7 小田原海岸における風速とシャープネスの関係

図-9 大磯海岸における風速とシャープネスの関係

図-8 小田原海岸における音圧周波数スペクトル

図-10 藤沢海岸における風速とシャープネスの関係

低周波数帯であるため、風速が大きくなり低周波数帯のパワーが大きくなると相対的に高周波数帯のパワーが小さくなりシャープネスは小さくなる。一方、風が弱いときには相対的に高周波数帯のパワーが大きくなるため値は大きくなる。ただし、10月21日のデータは、風速が小さいにも関わらず低周波数帯で大きな値を示している。同日は波高が比較的高く、また、小田原海岸の遡上域の海底勾配が大きいことから汀線近傍において巻き波が発生し、この時の碎波音が強く影響したと考えられる。

大磯、藤沢海岸におけるシャープネスと風速の関係を観測点別に示したものをそれぞれ図-9、10に示す。大磯、藤沢海岸にて取得したデータについても、概ね小田原と同様の傾向が見られた。加えて、推算波高とシャープネスとの関係についても検討を行ったが、こちらも両者に明瞭な関係はみられなかった。

5. 快適感式の導出

第3章での検討により、快適感とは迫力因子と明瞭感因子により説明できることがわかった。ここで、快適感を被説明変数、迫力因子と明瞭感因子を説明変数として重

回帰分析を行った。その結果、以下の式を得た。

$$\text{快適感} = 0.62 \times \text{迫力因子} + 0.81 \times \text{明瞭感因子} + 4.42 \quad (1)$$

ここで、相関係数は $R = 0.98$ (1%有意)であった。各係数の95%信頼区間は、迫力因子 $r = 0.51 \sim 0.73$ 、明瞭感因子 $r = 0.70 \sim 0.92$ 、切片 $r = 4.32 \sim 4.53$ であった。式(1)は実施した3つの海岸における観測データ、および限られた被験者の回答から導出されたものであり、ある程度の誤差が含まれてしまっていると考えられる。よって、今回の解析において不快な心地よいの評定得点には十分な差が見られたものの、そのまま快適感を導出する式として利用することはやや困難である。ゆえに、他の海岸等での利用の際にはキャリブレーション等が必要であると考えられる。

次に、各因子と音質評価指標、および物理量との関係について検討を行った。音質評価指標についてはラウドネス、シャープネス、フラクチュエーションストレングス、物理量については、風速、推算沖波波高、底質粒径、サーフシミュラリティーパラメータ、新碎波指標 ($\gamma = H_b / h_b$: H_b = 碎波波高, h_b = 碎波水深)¹⁰⁾を用いた。海底勾配については20万分の1の海図より算出し、碎波波高、碎波水深については合田¹⁰⁾を用いて算出した。

始めに、迫力因子について検討を行う。迫力因子と上

記の音質評価指標, および各物理量との相関関係を検討したところ, ラウドネスと高い相関が見られ, ラウドネスが小さくなるほど迫力因子は大きくなる傾向であった ($R = 0.78$). 迫力因子は, 音の大きさの感覚を表すラウドネスとよく対応していると言える. 単回帰分析の結果, 以下の式を得た.

$$\text{迫力因子} = -0.19 \times \text{ラウドネス} + 1.16 \quad (2)$$

ここで, 各係数の95%信頼区間は, ラウドネス $r = -0.27 \sim -0.11$, 切片 $r = 0.60 \sim 1.72$ であった.

次に, 明瞭感因子について検討を行う. 明瞭感因子は「鋭い-鈍い」, 「濁った-澄んだ」の評価で表されており, 音の甲高さの感覚量シャープネスと対応していた ($R = 0.56$). また, 図-8に示したように, 砕波の音も甲高さに関連すると考えられ, 新砕波指標との相関を検討したところ $R = 0.70$ であった. 以上より, 明瞭感因子を被説明変数とするシャープネスと新砕波指標 (γ) の重回帰分析の結果より以下の式を得た ($R = 0.76$).

$$\text{明瞭感因子} = 0.96 \times \text{シャープネス} + 2.75 \gamma - 4.17 \quad (3)$$

ここで, 各係数の95%信頼区間は, シャープネス $r = 0.94 \sim 4.57$, 新砕波指標 $r = -6.05 \sim -2.30$, 切片 $r = -0.13 \sim 2.04$ であり, 迫力因子に比べ区間が広がっていた.

6. 結論

神奈川県相模灘に位置する小田原海岸, 大磯海岸, 藤沢海岸において収録した海岸環境音をもとに音質評価を実施すると共に, 官能試験による主観評価を行い快適感との関係を検討した. 以下に主な結論を示す. (1) 音質評価指標は風の影響が特徴づけられており, ラウドネスについては風速4 m/s以下では汀線からの距離による相関が見られたが, それ以上の風速では風の影響が支配的であった. また, シャープネスについては概ね風速4 m/sを境にそれ以上では一定値に収束する傾向が見られた.

(2) 官能試験の結果, 海岸環境音に関する2因子 (迫力

因子, 明瞭感因子) が得られた. また, 物理量との関連性の検討の結果, 海岸環境音の快適性はラウドネスをパラメータとした迫力因子, シャープネスと砕波指標をパラメータとした明瞭感因子を用いて評価できることが示唆された.

謝辞: 本研究で使用した波浪データに関しては, 株式会社サーフジェンドより提供いただいた. ここに記して謝意を表する. 本研究の一部は, 一般財団法人カワイサウンド技術・音楽振興財団, および公益財団法人前田記念工学振興財団の研究助成によるものである.

参考文献

- 1) 灘岡和夫, 徳見敏夫: 海岸の音環境に関する基礎的研究, 第35回海岸工学講演会論文, pp.757-761, 1989.
- 2) 灘岡和夫, 玉嶋克彦: 海岸環境要素としての波の音の特性について, 海岸工学論文集, Vol.36, pp.869-873, 1989.
- 3) 村上仁士, 細井由彦, 上月康則, 木下保: 海岸環境における快適性の要因 - 波の音に関する一考察, 海洋開発論文集, Vol.7, pp.377-380, 1991.
- 4) 村上仁士, 伊藤禎彦, 細井由彦, 荒木秀夫, 小川慶樹, 小藪剛史: 音環境としての波の音の発生機構に関する考察, 海岸工学論文集, Vol.41, pp.1041-1045, 1994.
- 5) 山本泰司, 笹島隆彦, 水野雄三, 長内戦治: 波浪による海岸居住地の振動・騒音被害について, 海岸工学論文集, Vol.42, pp.1151-1155, 1995.
- 6) 片山正敏: 北部九州の沿岸域における海洋環境の快適性に関する住民意識調査, 海洋開発論文集, Vol.14, pp.507-512, 1998.
- 7) Suzuki, T., Hosoya, T. and Sasaki, J.: Estimating wave height using the difference in percentile coastal sound level, *Coastal Engineering*, 99, pp.73-81, 2015.
- 8) 村上仁士, 伊藤禎彦, 細井由彦, 荒木秀夫, 小藪剛史: 脳波の変動特性を加味した波の音の快適性に関する基礎的考察, 海岸工学論文集, Vol.42, pp.1156-1160, 1995.
- 9) Kaneda, Y.: Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics, *Bone Marr Transplantation*, 48, 452-458, 2013.
- 10) 合田良実: 砕波指標の整理について, 土木学会論文報告集, 第180号, pp.39-49, 1970.

COMFORTABLENESS OF COASTAL ENVIRONMENTAL SOUND

Takayuki SUZUKI, Hiroki KANEKO, Atsushi OTA and Yoshiyuki NAKAMURA

Coastal environmental sound was measured at three locations, the Sagami-nada Coast, Odawara; Oiso; and Fujisawa. The loudness of the sound was correlated with distance from the shoreline at a wind speed of less than 4 m/s. The sharpness of the sound had a negative correlation with wind speed. Moreover, organoleptic examination was conducted to investigate the comfort level of the sound. From the results, we found that the coastal environmental sound consist of two factors, a power factor and a clarity factor. The power factor can be estimated from loudness, and the clarity factor can be estimated from sharpness and the wave breaker index.