

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

村上 仁士* ・ 伊藤 禎彦** ・ 細井 由彦***

荒木 秀夫**** ・ 小薮 剛史*****

1. 緒 言

心の豊かさが求められている近年、さまざまな分野で魅力ある、より快適な環境を創造する試みがなされている。快適な海岸環境を設計、創造してゆくには、われわれをとりまく快適環境要素を把握し、それらの特性を明らかにする必要がある。著者ら(1992, 1993, 1994)は、環境要素としての波の音をとりあげ、その発生機構および発生特性について検討してきた。またアンケート調査により波の音の快適性について心理面から若干の考察を行ってきた。

波の音の快適性を考察するには、心理面からの検討だけでは不十分である。なぜなら快適感などの感覚量は個人的な価値観およびそのときの精神的あるいは肉体的状況に左右されやすい。したがって心理面のみならず、波の音に対する人体の生理的変化特性をも加味した快適性の評価が必要であろう(大橋ら, 1993)。

波の音は、図-1に示すような波の音の強さ $P(P_{av}$; 平均音圧レベル, P_{max} ; 平均最大音圧レベル), 波の音の周期 T , 波の音の変動幅 $dP(P_{max} - P_{av})$ および波の音の音色で表現できる。したがって、これらの波の音の要素に対する心理的・生理的変化を調べれば波の音の快適性が把握できると考えられる。

本研究では、快適性の生理的評価指標として脳波の α 波を用い、波の音の強さ、周期、波の音の変動幅および

音色などの諸要素の変化に伴う、 α 波の変化特性を詳細に考察することを試みた。

同時に、脳波の被験者について用いた波の音に対してアンケートによる心理調査も行い、すでに行っている従来の結果も合わせて波の音の快適性に関する考察を行った。

2. 実験装置・方法および解析方法

脳波に及ぼす波の音の影響をみるために波の音を聞かせない場合と、波の音の強さ、周期、変動幅および音色を変化させた波の音を聞かせた場合について開眼状態で約3～6分間脳波を測定した。脳波測定の実験装置の概要を図-2に示す。

また、表-1に脳波実験および心理テストに用いた波の音の実験諸元を示す。なお、各条件で脳波を測定するにあたり、各測定のに5分間の休息を与え、被験者ごとに聞かせる波の音の条件についてはその順序をランダムにして行った。

実験において、頭皮に電極を装着する作業などの設定に長時間被験者は拘束される。また脳波は生物電気のうちで数 μV ～数百 μV という最も微弱な電気現象の一つであり、それを誤差なく増幅し収録するには細心の注意を要し、一つの実験に多くの時間を要するために、多くの被験者について実験を行うことは事実上困難である。

なお図-3には、音色に関する実験で用いた2種類の引き波時の波の音のパワースペクトル形状の違いを示

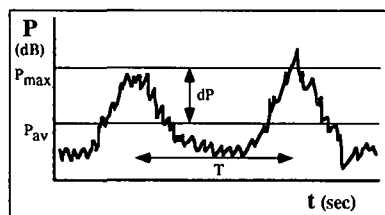


図-1 波の音を表現する指標

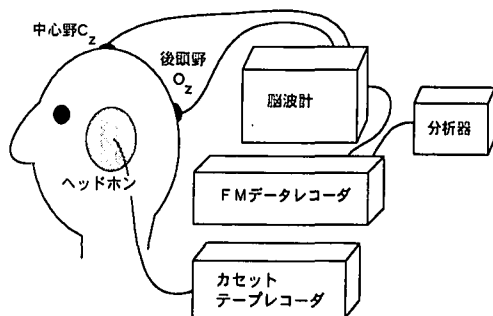
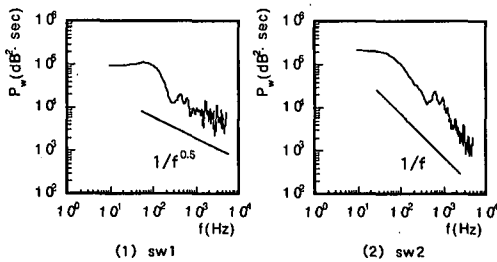


図-2 脳波測定実験の概要

* 正会員 工 博 徳島大学教授 工学部建設工学科
 ** 正会員 工 博 徳島大学助教授 工学部建設工学科
 *** 正会員 工 博 鳥取大学教授 工学部社会開発システム工学科
 **** 学術博 徳島大学助教授 総合科学部人間社会学科
 ***** 正会員 工 修 日本建設コンサルタント(株)

表—1 実験諸元

実験名	波の音		被験者
	種類	条件	
強さ	現地音 (市販テープ)	P_{av} 54, 62, 74	健康な大学生 男4, 女1
周期	人工音 (FMラジオのホワイトノイズ)	T (sec) 4, 6, 8, 10, 12	男7
変動幅	人工音 (FMラジオのホワイトノイズ)	dP (dB) 7, 10, 5, 14, 17, 5, 21	男8
音色	現地音 (徳島県現地収録)	高周波の減衰特性 $1/f^{0.5}, 1/f^1$	男8



図—3 音色に関する実験に用いた波の音色の相違

す。

脳波は、国際式 10-20 法に基づき中心野 C_2 と後頭野 O_2 に皿型電極を固定し、両耳朶連結を基準電極として、時定数 0.3 sec, 周波数帯域 30 Hz 以下で脳波計を用いて連続記録すると同時に FM データレコーダにて磁気記録された。一方、波の音の変化に対する被験者の心理的影響を同時に考察するため、脳波実験終了後にアンケート調査も行った。

脳波の解析には、磁気記録された 2 部位の脳波を分析器により FFT 分析を行い、脳波のパワースペクトルを得た。これらを 30~60 回加算することにより脳波の代表パワースペクトルを算出して 4 および 8 つの帯域に分けて分析した。表—2 に分析を行った脳波変動の帯域を示す。

また、 α 波は訓練によって増大すること、 α 波の出現量およびパワー値に個人差があることから、本実験結果が有為な差であるかどうかを判断するため条件間の α 波のパワーの差について対応のある t 検定 (paired t -test) および二元配置分散分析を用いた。

表—2 脳波の帯域

脳波の種類	δ_1	δ_2	θ_1	θ_2	α_1	α_2	β_1	β_2
f (Hz)	1-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-13	13-18	18-30

3. 人間心理に及ぼす波の音の各指標の影響

脳波の変化特性を考える前に、アンケート調査による心理面に及ぼす波の音の影響からみておこう。

まず波の音の強さの違いに対する心理的变化について検討する。図—4 は、本脳波測定実験の際に行った波の音の強さに関するアンケート調査の結果を示したもので、縦軸に心地よいと感じた人数 N 、横軸に 6 分間の平均音圧レベル値 SP_{av} をとっている。調査方法は、強さの異なる 3 種類の波の音のなかから一番心地よいと感じる音を選択させた。

その結果より、平均音圧レベルが 54 dB および 62 dB の波の音には心地よさを感じるが、一番強い波の音 74 dB には全被験者とも心地よさを感じていないことがわかる。さらに、実験終了後の各実験音に対する感想によると被験者のほとんどが一番強い波の音には荒れた海のイメージや恐怖感を抱くことがわかった。

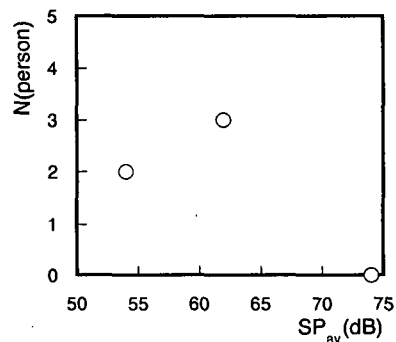
今回の実験の被験者は限られているが、平均音圧レベルがある値を超えると不快になる限界値が存在することが示唆される。

つぎに心理面に及ぼす波の音の周期の影響について検討しよう。調査方法は、平均音圧レベル ($P_{av}=76$ dB)、音圧の変動幅 ($dP=12$ dB) および音色が一定で周期を 5 種類に変化させた人工音を聴かせ、被験者が「大変心地よい」と感じる波の音には 5 点、「心地よい」と感じる波の音には 4 点、以下順に「普通」は 3 点、「不快」と「大変不快」はそれぞれ 2 点および 1 点と点数をつけるというものである (評定尺度法)。

図—5 は、その結果で、縦軸はそれぞれの波の音の周期に対する得点 points、横軸は波の音の周期 T である。

図をみると周期が 10 sec でやや得点が低くなっているものの、周期が長くなるほど得点も増大する傾向があることがわかる。

著者ら (1991) は、呼吸の周期に近い 6~8 sec でもつ



図—4 波の音の強さと心地よさとの関係

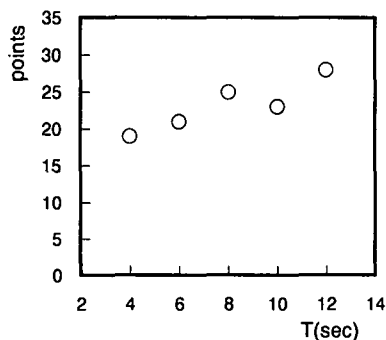


図-5 波の音の周期と心地よさとの関係

とも心地よさを感じ、それより長い周期ではそれほど心地よさは変わらないがそれより短い周期の場合にはきわめて心地よさを失うことを報告した。上述のような明確な傾向は現れなかったものの、今回の実験でもそうした考察がほぼ妥当であることを裏付けている。

ついで心理面に及ぼす平均最大音圧レベル値 $P_{\max}$ と平均音圧レベル P_{av} との差である変動幅 dP の影響をみよう。

この変動幅は、灘岡ら (1988) が定義した「リズム性」の指標の分子部分にあたるものである。村上ら (1993) では、リズム性の値が約 0.02~0.11、変動幅に換算すると約 2~8 dB と非常に小さな範囲しか検討が行えていなかった。そこで、あらためて変動幅が 21 dB までの範囲にわたり、変動幅と快適性との関係をみる。調査方法は、周期 ($T=6$ sec) および平均音圧 ($P_{av}=70$ dB) が一定で音圧の変動幅の異なる 5 種類の人工音を聴かせ、周期に関する調査と同様の評定尺度法を用い、快適性を評価したのが図-6 である。

これを見ると dP の値が 17.5 dB の波の音でもっとも得点が高く、その値以下でも以上でも快適性は悪くなる傾向がみられる。

心理面に及ぼす音色の影響を最後にみておこう。図-3 に示した波の音の音色が異なる音の心地よさを調べた

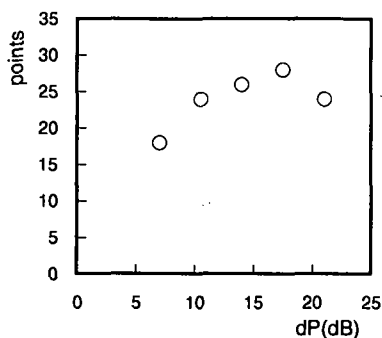


図-6 波の音の変動幅と心地よさとの関係

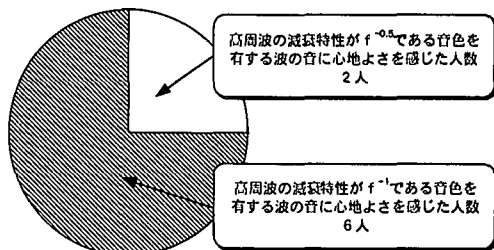


図-7 波の音の音色と心地よさとの関係

ものが図-7 である。調査方法は、周期 ($T=7$ sec)、平均音圧レベル ($P_{av}=65$ dB) および音圧の変動幅 ($dP=20$ dB) がほぼ等しく引き波時の音色の異なる 2 種類の現地音を聴かせ、どちらが心地よいと感じるか判断させた (一対比較法)。

図から、高周波の減衰特性が $1/f^{0.5}$ である音色を有する波の音よりもそれが $1/f^1$ である音色を有する波の音に心地よいと感じる人が多いことがわかる。村上ら (1993) でも同様の音色の異なる現地音を用いたアンケート調査を行っており、35 人中 26 人がれき浜で収録した波の音 (高周波の減衰特性が $1/f^1$ である音色を有する) に心地よさを感じるという結果を得ている。

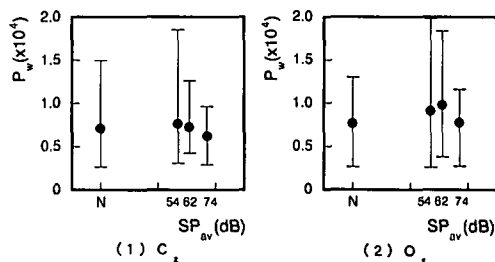
このことから音色構造の高周波の減衰特性が心地よさの重要な指標となることがあらためて確認された。

4. 脳波に及ぼす波の音の各指標の影響

まず、脳波の α 波に及ぼす波の音の強さの影響をみよう。

図-8 は、縦軸に全被験者の α 波のパワーの平均値 P_{α} 、横軸に 6 分間の平均音圧レベル SP_{av} をとっている。なお、図中の横軸に示す N は、被験者が安楽椅子に腰掛け、目を開け波の音の刺激を与えていない状態での脳波のパワー値をとっている。

図の (1) の中心野 C_x についてみると平均音圧レベル SP_{av} が大きくなるほど、 α 波のパワーの平均値は減少している。また、図の (2) の後頭野 O_x については SP_{av} の

図-8 C_x および O_x における α 波のパワーと波の音の強さとの関係

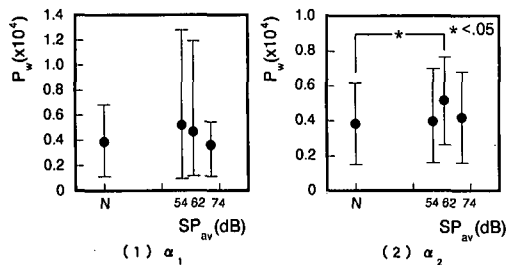


図-9 O_z における α_1 および α_2 波のパワーと波の音の強さとの関係

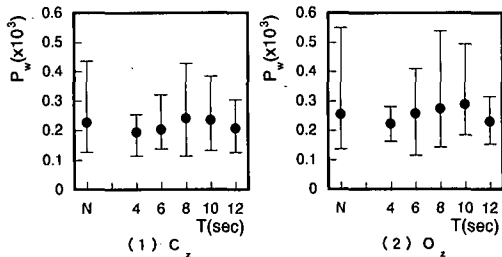


図-10 C_z および O_z における α 波のパワーと波の音の周期との関係

値が 62 dB でやや α 波のパワーの平均値が増大しているが、それよりも大きくなると P_w は減少する傾向がある。 SP_{av} が小さいほど α 波の P_w 値の変動幅が大きくなり、かなりの個人差が現れているが、74 dB では α 波のパワーが最小値になっており、心理面で考察した傾向と一致している。しかしながら、それぞれの条件間で t 値を求めたが、自由度 4 の t 分布 t の 5% 点である 2.132 を越えることはなかった。また二元配置分散分析の結果においても有為な差とは認められないと言う結果となった。

そこで、 α 波 (8~13 Hz) を低帯域 α_1 波 (8~10 Hz) と高帯域 α_2 波 (10~13 Hz) に分けて検討を行った。図-9 に、全被験者の後頭野 O_z における α_1 および α_2 波のパワーの平均値 P_w と波の音の強さ SP_{av} の関係を示した。

まず、図の (1) の後頭野 O_z における α 波の低帯域 α_1 についてみると SP_{av} が大きくなるほど P_w は減少している。また、図の (2) の α 波の高帯域 α_2 についてみると、6 分間の平均音圧値が 62 dB のときにややピークがみられる。中心野 C_z についても検討した結果、同様な傾向を示した。

前で述べたようにそれぞれの条件間で t 値を求めた結果、図の (2) に示す後頭野 O_z における α_2 波については、波の音を与えない場合に比べて、6 分間の平均音圧値が 62 dB のときにだけ、5% の危険率 ($t > 2.132$) で有為な α 波のパワーの増大と認められた。

近年、 α 波は低帯域 α_1 と高帯域 α_2 で生理・心理的、特に情緒的な反応に差があるといわれつつあり、 α_2 波のみに違いが現れたのは、その意味で興味深い。

つぎに α 波に及ぼす波の音の周期 T の影響をみよう。

図-10 は、全被験者の中心野 C_z および後頭野 O_z における α 波のパワーの平均値と波の音の周期 T の関係を示したものである。

図をみると、 C_z および O_z ともに α 波のパワーの平均値 P_w は周期が 8 sec 付近に極値をもつようである。また、 α_1 波および α_2 波に分けて検討した結果についても同様の傾向がみられた。さらに、 α 波と周期との関係に関し

て 8 sec 付近で α 波のパワー値が増大する傾向を明確に示す被験者もみられ、波の音の周期は、脳波の α 波に影響を及ぼす要因の一つといえよう。しかし、 t 検定および二元配置分散分析を行った結果、これらの傾向は有意な差は認められないという結果となった。

ついで波の音の平均最大音圧レベル P_{max} と平均音圧レベル P_{av} との差である変動幅が α 波にどのような影響を与えるかについて検討しよう。

図-11 は、変動幅 dP と α 波のパワーの平均値 P_w との関係を示したものである。これをみると C_z および O_z のどちらの部位においても α 波のパワー値と音圧の変動幅 dP とに一定の関係は認められない。また被験者ごとに α 波に及ぼす変動幅の変化について検討を行ったが一定の関係は認められなかった。さらに α_1 波および α_2 波についても同様の結果を示した。

α 波に及ぼす波の音の音色の影響を最後にみておこう。

図-12 は、高周波の減衰特性が $1/f^{0.5}$ を示す音色を有する波の音 sw_1 、高周波の減衰特性が $1/f^1$ を示す音色を有する波の音 sw_2 (2.参照) および波の音を聞かない場合 N について、 α 波の変化を示している。

これをみると、引き波時の音色が異なっても α 波の変化はほとんどないことがわかる。

さらに詳細な検討を行うため、 α_1 波および α_2 波について調べたが同様の結果が得られた。

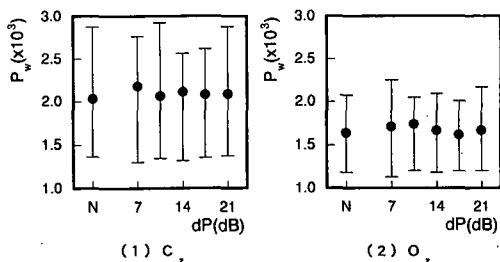


図-11 C_z および O_z における α 波のパワーと波の音の変動幅との関係

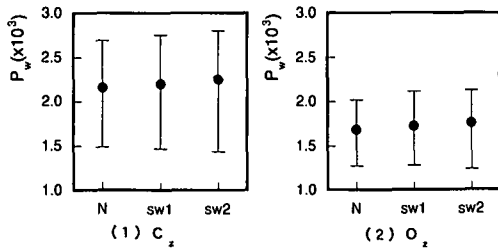


図-12 C_x および O_x における α 波のパワーと波の音の音色との関係

こうした結果となった原因を考えると本実験で用いた2種類の現地音は、波の「引き」状態時におのみ高周波の減衰特性が異なり、「砕け」、「突っ込み」および「遡上」の状態では両者ともほぼ同じホワイトノイズの音色構造をもっている。さらにこれらを数周期分についてスペクトル解析すると両者とも周波数特性に差はなく、ピンクノイズの形状を示す。したがって、微少時間ごとに化する波の音色では心理的には反応が生ずるものの α 波という生理的には大きな影響を及ぼさないと解釈できる。一方、 $1/f^0$ 音刺激よりも $1/f^1$ 音刺激で α 波が増大するという報告もあり(長町, 1992), そうした音色が異なる波の音では α 波に変化がみられるのかもしれない。

5. 結 言

本研究は、波の音の快適性を心理面から考察するだけでなく脳波の α 波を快適性の生理的評価指標として用い α 波に及ぼす波の音の各指標の影響についても調べた。

得られた主要な結果を以下に示す。

- 1) 波の音の強さがある値を越えると快適感心地よさから不快に変わること、音の強さにより脳波の α 波に変化がみられ、心理および生理的な心地よさに影響を及ぼす。
- 2) 波の音の周期が短いほど快適感は減少する。また、

8~10 sec の音に α 波のパワーが増大する傾向が認められ、本実験の範囲内では有為な差ではなかったものの音の周期も快適性の有用な要因といえる。

- 3) 平均音圧と最大音圧との変動幅も心理的な快適性の指標となるが、脳波に及ぼす影響は大きくない。
- 4) 波の音の音色については、高周波の減衰特性が $1/f^{0.5}$ より $1/f^1$ 特性を示す音に心地よさを感じずる結果を得たが、 α 波の変化はほとんどない。

脳波測定および実験音の作成の困難さなどで多数の被験者について実験を行うことはできなかったが、波の周期、変動幅、音色などの違いに対してアンケート調査結果など脳波の α 波に明確な変化がみられなかったこのことは、今後、時間を要するこの種の方法よりもアンケートなど心理面からの調査で快適性を評価してもよいのかもしれない。

最後に、本研究の実験や資料整理に御協力を得た徳島大学大学院佐藤充寛氏に深く感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- 大橋 力・二科エミ・河合徳枝・不破本義孝 (1993): 都市人工空間における視聴覚情報環境の最適化と制御, 都市人工空間における健康影響サーベイランスシステム研究報告, pp. 120-134.
- 長町三生 編 (1992): 快適科学—人間側からみた商品作りへ, 海文堂出版, pp. 107-130.
- 磯岡和夫・徳見敏夫 (1988): 海岸の環境に関する基礎的研究, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 757-761.
- 村上仁士・細井由彦・上月康則・木下 保 (1991): 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.
- 村上仁士・細井由彦・上月康則・小川慶樹 (1992): 砕波による波の音に関する二、三の実験的考察, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 1081-1085.
- 村上仁士・細井由彦・伊藤禎彦・小川慶樹・小薮剛史 (1993): 砕波による波の音の発生特性に関する考察, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 1116-1120.
- 村上仁士・伊藤禎彦・細井由彦・荒木秀夫・小川慶樹・小薮剛史 (1994): 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, 第41巻, pp. 1041-1045.