

「脳にやさしいメディア」を探る

仁科エミ

総合研究大学院大学メディア社会文化専攻/メディア教育開発センター

音としては聞こえない自然の超高周波成分を含む音が、脳幹や視床といった脳の深奥部を活性化するとともに、 α 波を増強することが明らかになった。可聴域を超える高周波音によって生じる人体へのプラスの効果「ハイパーソニック・エフェクト」の発見経過を、メディア教育研究用に再開発された先端の実験システムと合わせて紹介する。

脳科学は人間に関する 諸科学の様相をかえる

近年のめざましい脳科学の発達は、“脳”という未知の巨大システムの構造や機能を次々に明らかにしつつある。同時に、その研究手法が洗練・高度化をとげるにしがたい、人間のさまざまな知的・感性的活動について、これまで研究手法が未整備であるがゆえに推測の域をでることができなかった仮説や、ごく間接的にしか検証しえなかった側面について、少なからぬ制約があるとはいえ、脳の機能・構造に関する知見と対応をとりながらアプローチする方が、徐々に開かれつつある。

特殊性の高い病理現象の研究から、健康人を対象とした人間の知的・感性的活動の解明へ、そして医学研究者専用の手法から一般研究者も利用可能な研究手法へという劇的な展開が今後加速していくならば、ライフサイエンス研究のみならず人文社会科学にとっても大きなブレイクスルーの有効な第一着手となりうると期待される。

メディア教育開発センターを基盤機関として平成13年4月に発足した文化科学研究科メディア社会文化専攻の私たちの研究グループでは、メディアに関する幅広い研究テーマに分野を超えて学際的に取り組む試みの一環として、こうした脳科学の研究動向を踏まえ、メディア情報が

脳に及ぼす影響を評価する研究を行っている。そのなかから、可聴域上限を超える超高周波成分が人間に及ぼす影響「ハイパーソニック・エフェクト」と、その発見を可能にした実験システムの研究・開発をとりあげ、紹介したい。

よく知られているように、人間は、周波数20kHzを超える空気振動を音としては感知できない。事実、従来の実験システムによる心理学的音質評価法では、15kHz以上の高周波成分の有無は、音質の違いとして識別されないという結果が多数報告されている(文献1)。CD(コンパ

クトディスク)のサンプリング周波数が44.1kHz(理論的には22.05kHzまで録音再生可能)と設定されているのは、こうした実験を根拠としている。

しかし、可聴域を超える高周波成分の有無は、私たちが聞く音の質や音への反応にまったく影響を与えないのだろうか。近年、豊かな自然環境中の音や、ある種の楽器音には、20kHz以上、ときに100kHzを超える超高周波成分が含まれている例が少なくないことが明らかになっている(文献2)。とくに、人類の発祥環境といわれ人間の脳にとってもっとも適合する情



①脳波計測中の被験者。脳波計測用の電極を取り付けたキャップを着けている。



②メディア教育開発センター内のメディア機能分析室。さまざまな視聴覚情報呈示機能、脳波をはじめとする生体情報計測機能を内蔵している。

報環境の最有力候補とされている熱帯雨林の環境音には、20kHzはもとより、瞬間的に100kHzを超える高周波成分が豊富に含まれている。それらの発生源としては、鳥の鳴き声、木々の発する音、虫の声、水音などがあげられる。これに対して、動植物起源の自然音が少ない都市部の環境音には、このような超高周波成分はほとんど含まれていないこともわかってきた。

また、こうした可聴域上限を超える高周波成分の可聴音中の存在状態が、音質に影響を及ぼすという有力な経験論が、商業的メディア制作の現場には、以前から根強く存在している（文献3）。

やはり、人間は聞こえない高周波成分を、なんらかの形で「感じている」のではないだろうか。この疑問に科学的に答えるために、私たちは、可聴域を超える高周波成分を豊富に含む音が人間に及ぼす影響を、被験者の内観に依存する心理学的・認知科学的な方法だけではなく、被

験者の心身の状態を、意識・無意識を問わず定量的にとらえることが可能な生理学的手法、とりわけ、脳の機能をより直接的に計測できるような計測手法によって明らかにする試みに取り組んだ。

なお、20Hz以下の空気振動も音としては聞こえないが、これら低周波は「低周波公害」として社会問題になっているように、マイナスの生理的影響があることが知られている。

“病院生まれ”の計測法をつくりかえる

脳の活動状態を、生体を傷つけることなく外部から観測する非侵襲的脳機能計測手法やその結果の画像化技術は、近年、著しい進展を遂げている。なかでも、脳内血流量や脳内代謝活性を、放射性同位元素をトレーサとして断層撮影するポジトロン断層法、脳内血流量を近赤外線を使って画像化する光トポグラフィ、脳の神経細胞の接点で起こるシナプス放電の包括的な情報を、脳の表面電位から推計

する脳波計測、同様の情報を磁場の変化から推定する脳磁気計測などは、この研究に必要な有力な知見をもたらしてくれるのではないかと期待された。

ところが、研究に着手して間もなく、こうした脳機能計測手法をはじめとする既存の実験方法や実験材料が、ほとんど全面的に、そのままでは適用困難であることが明らかになった。たとえば、広く応用可能と思われたさまざまな脳機能計測手法は、基本的には医学研究や医療のために開発されてきたものであり、しばしば莫大な設備投資を必要とするうえ、その計測機器も、メディア情報を被験者に呈示・視聴させるうえで障害となるような構造をもつものが多い。しかもほとんどすべての手法が、測定時に、被験者に無視できない心理的圧迫感を与え、感性的に強いマイナスの影響を及ぼすおそれを内在させている。

したがって、こうした既存の方法は、病気や生理的異常の発見などの用途に有

効であっても、メディア研究や感性情報の評価のためにそのまま使用することは難しく、いわば「換骨奪胎」をはかる必要があった。また実験場所、実験機会、内容、頻度なども著しく限定される場合が多く、多数の実験を行なって統計処理をほどこすうえでは現実的とはいえない。

一方、これは見方を変えれば、既成技術の根本的見直しや計測上の問題点を克服するならば、これまでよりも画期的に前進した結果を導く可能性があることを意味する。こうした観点から私たちは、さまざまな手法について模索を行なった。そして、それらの方法論と研究目的との不適合を高い水準で解消することを前提とすれば、脳活動のよく知られた指標である脳波を利用する方法の再開発を行なうことが、研究の第一ステップとしてもっとも現実的であろうという結論に達した。

以後私たちは、被験者に負の影響を及ぼさない計測環境の再構築、被験者の行動を制約しない小型軽量で拘束性の低い計測用センサの開発、評価実験の内容に合わせた計測・分析プログラムの刷新などを実現することによって、脳波を指標とするメディア情報評価の新技术を開発してきた(写真①、②)。

ただし、脳の全体的な状態を鋭敏に反映する脳波は、時間解像度、つまり時間的経過に対応した変化の計測には優れた特性を発揮するが、脳波の変化が生じたときに脳

内のどの部位が活性化あるいは活性低下しているか、といった空間的な解像度は高くない。このような場合には、計測原理や対象の異なる複数の生理指標を計測し、それらの相関を検討することによって、有効な情報が得られる可能性がある。そこで私たちは、脳内の活性部位についての空間的な情報が得られる計測手法としてポジトロン断層法に注目し、脳波計測手法に対して行なったと同様の方法論的な見直しをしたうえで計測実験を実施し、複数の指標の組み合わせによる計測の有効性を確認することができた。

聞こえない超高周波が脳深部を活性化する

この一連の研究を実現するうえで、被験者への提示用音源の信号特性は、決定的な役割を果たす。そこで、有効・適切な音源を確保するために、3.072MHzサンプリング1ビット量子化による超高速のデジタルレコーダを特別に開発し、100kHzまでほぼ平坦で120kHzくらいまで良好な周波数特性を持ち、しかもポータブルという前例のないシステムを構築した。

そして、自然性が高く、しかも100kHzを超えるほどの高周波成分を豊富に含む音源を世界中から探索し、アジアや南米の熱帯雨林の自然環境音や、インドネシア・バリ島のガムラン音楽などを現地で発見して録音した(③)。とりわけ、超高周波という点では世界の数ある音楽のな

かでも最強といえるガムラン音楽については、その信号構造を損なうことなく編集して(④)、瞬間的には100kHzにおよぶ豊富な超高周波成分を含む実験用音源を得ることができた。

ついで、こうした音源の再生のために、物理的特性および評価実験上の厳密性を高めた新しい装置系(バイ・チャンネル再生系など)を開発した。実験上必須だった100kHzまで再生可能なスピーカーシステムが研究開始時には存在していなかったため、超高帯域用スピーカの振動板として工業用ダイヤモンドを気化させて型に蒸着させ、軽く固いドーム型振動板をオリジナルにつくり、目的を達成することができた。

私たちは、このシステムを用いて、超高周波を豊富に含む音と、そこから22kHz以上の高周波を除外した音とをランダムに提示し、その間の被験者の脳活性をポジトロン断層法PETと多チャンネル脳波テレメトリによって生理学的に計測分析するとともに、これまでとは立脚点を変えた認知・心理学的手法、さらに人間の行動にあらわれる反応をとらえる行動学的手法という大きく3つの次元で方法論を整備した。そして、具体的には可聴域上限をこえる高周波成分が人間に与える影響について学際的なアプローチを行なった(文献4~6)。

その結果、可聴域上限をこえる自然の



③ 熱帯雨林(ユネスコ世界遺産に指定されているインドネシア・ウジュンクロン自然公園)での音響収録。

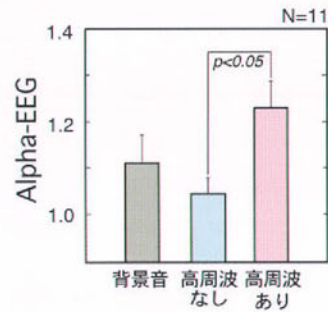
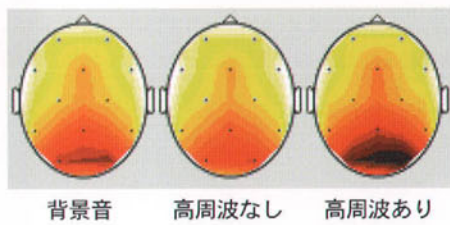
超高周波成分を豊富に含む音は、それを除外した音にくらべて、脳幹や視床といった脳深部の神経活動を活性化する(⑤b)とともに、脳波 α 波を増強することが見出された(⑤a)。ただしその効果は少なくとも音を10数秒以上聞いていないと発生しないうえ、100秒前後残留する(⑤c)。また高周波成分単独では発生しない。さらに、視床においては、領域血流量と α 波ポテンシャルの増大とが高い相関を示した。加えて、CDと同じく22kHz以上の高周波成分をとりのぞいた音を聞いているときには、音を呈示していないときよりも脳幹や視床の活性が低下することが見出された(文献5)。これらのことから、この現象は、既知の聴覚神経系の反応とは異なるものであろうと推定される。

これまでの心理的な音質評価法では、16kHz程度を超える高周波成分の有り無しは音質に影響を及ぼさないとする実験結果しか得られていない。こうした結果を導いた方法では、数秒から10秒程度の音素材を頻繁に切り替えて聞き比べ、違いを判断している。ところが私たちの生理学的実験によって明らかになったように、脳活性の変化を引き起こすためには10数秒、その残留が消えるまでには100秒以上の長さの音が必要となる。このことを考慮して行なった私たちの実験では、高周波の有り無しが音質変化としてはっきり検知されるようになった。さらに、200秒



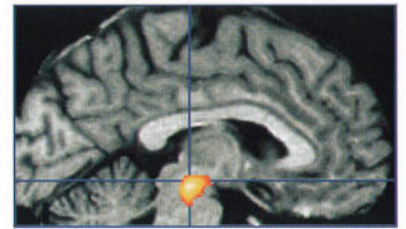
④ 超広帯域音響編集システム。100kHzに及ぶ高周波成分を損なうことなく編集し、呈示用音源を編集することができる。

5

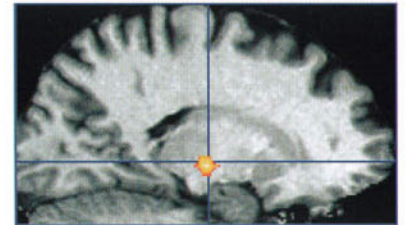
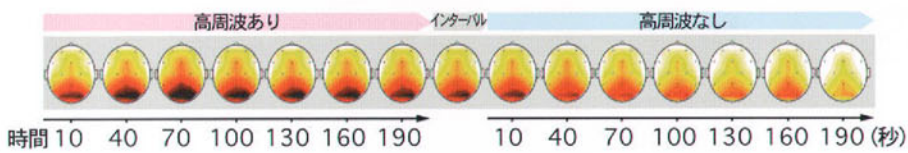
a. 聞こえない高周波成分による脳波 α 波の増強

b. 脳深部の活性化

上部脳幹



視床

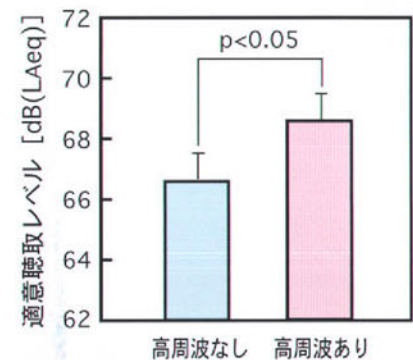
c. 脳波 α 波の経時的変化

6

a. 聞こえない高周波成分による音質の変化

高周波あり	高周波なし	p値
やわらかい	かたい	<0.01
余韻型	アタック型	<0.01
各楽器が付きあっている	特定の楽器がめだつ	<0.01
耳あたりがよく響く	刺激的に響く	<0.01
ニュアンスの変化が大きい	ニュアンスの変化が小さい	<0.05
低音がめだつ	高音がめだつ	—
厚い	薄い	—
好き	嫌い	—
きめがこまかい	きめがあら	—

b. 高周波成分による音受容の促進



仁科エミ (にしな・えみ)

人間と情報環境との適合性に関する研究に従事。研究対象は、都市計画からマルチメディア情報環境やバーチャルリアリティへ、方法論は、フィールドワークから脳科学へと広がっている。最近のテーマは、超広帯域音響・高精細映像が脳活性に及ぼす影響の評価、それらに応用したメディア学習環境の最適化など。当専攻の詳細については <http://www.nime.ac.jp/sokendai/> を参照されたい。



以上の音楽をたっぷり聞かせて音質評価を行なうと、超高周波成分を含むことにより音が快適に聞こえることが複数の評価尺度において示された (6a. pは統計的有意性を示す値)。

また、行動学的手法による検討では、被験者にボリュームコントローラを与えて最適音量を自分で調整させると、超高周波成分を含む音を、含まない音に比べて0.5~2dBほど大きな音量で聴くように振舞うという行動をとることが明らかになった (文献6) (6b)。

このように、単独では音として聴こえない超高周波成分によって生じる、生理的、心理的、行動的効果をまとめて、私たちはハイパーソニック・エフェクトと名付けている。

[脳にやさしいメディア]実現に向けて

聴こえない超高周波成分は、熱帯雨林などの自然環境音には豊富に含まれている一方、都市環境音にはわずかしこ含まれないことがわかってきた。その効果発現の舞台となる脳深部の活性異常が、生活習慣病や精神疾患などを含む現代病と密接な関係をもっていることはほぼ確実とみられている。こうしたことから、ハ

イパーソニック・エフェクトの発見は、メディア技術と健康福祉の観点からも、きわめて重大な意義をもつと考えられる。

さらに、私たちが構築した評価手法は、視覚メディア情報の評価にも有効性を示している。たとえば、ハイビジョン映像のマスターテープをそのままハイビジョンテープにコピーしたものと、通常のテレビ映像のNTSC方式にダウンコンバートしたものとを比べると、ハイビジョン映像を視聴しているときのほうが脳波α波が増強された (文献7)。ただし、もともと精細度の低い人工性の高い映像の場合は、映像の精細度の違いは結果に影響を及ぼさなかった。異なる精細度をもつ静止画同士を比較すると、精細度が高い画像ほど、見ている人のα波を増大させるとともに、画像を見ていて疲れなといった主観的にプラスの評価結果を得ている。しかも、被験者の視力限界を超える画像の細かさがα波の増大に影響を及ぼしていることも示唆されている (文献8)。これらの知見は、より精細度が高い画像の方が脳に負担が少ないことを示している。

最近の脳科学の飛躍的な前進によって、精神活動の実体になっている脳内神経伝達系と、人体を制御している物質代謝系

とが直接関連し、心とからだとがきわめて鋭敏に連動していることが明らかになりつつある。とりわけ、視聴覚情報のターミナルになっている脳幹や視床などの脳深部構造は、そうした物質代謝系と関連が深い。人工性・新規性の高いメディア情報への接触時間・密度が増大しつつある現在、メディア情報の受容にともなう人間の内部状態の変化、とりわけ脳活性の変化については、さらに詳細な研究が強力に推進される必要があるだろう。すでに、ハイパーソニック・エフェクトという新規性の高い現象の発生メカニズムについては、総研大・大学共同利用機関ならではの特性を生かして、他専攻や他大学との共同で学際的な検証をすすめている。

私たちのささやかな研究例が示すように、脳科学が、さまざまな領域にわたる知的・感性的現象の解明に今後一層大きな貢献をなすことは確実といえよう。専門分野の壁をこえてこうした新しい試みにチャレンジする学生諸君の積極的な参画を期待してやまない。

[参考文献]

- 1 Muraoka T., et al.: Sampling Frequency Consideration in Digital Audio, Journal of the Audio Engineering Society 26, 252-256 (1978).
- 2 仁科エミほか: ハイパーソニック・サウンドの構造について、日本音響学会春季研究発表会講演論文集、493-494 (2001).
- 3 Neve, R.: Letters, Rupert Neve of Amek replies. Studio Sound and Broadcasting Engineer Soc. 26, pp. 252-256 (1978).
- 4 Oohashi T., Nishina E. et al.: High Frequency Sound Above the Audible Range Affects Brain Electric Activity and Sound Perception, AES 91st Convention Preprint 3207, 1-25, New York (1991).
- 5 Oohashi T., Nishina E. et al.: Inaudible high-frequency sounds affect brain activity, A hypersonic effect, Journal of Neurophysiology 83, 3548-3558 (2000).
- 6 八木玲子ほか: ハイパーソニック・サウンドの刺激受容行動について、日本音響学会春季研究発表会講演論文集、497-498 (2001).
- 7 大橋力・仁科エミほか: 脳波を指標とする映像情報の生体計測、テレビジョン学会誌 Vol.50 No.12, 1921-1934 (1996).
- 8 前川督雄ほか: メディア視覚像の精細度感性評価、映像情報メディア学会誌、Vol.55, No.8, 1186-1197(2001).