

# ハイパーソニック・エフェクト応用による音響療法の展望

Perspective of “sound therapy” as an application of hypersonic effect.

○仁科エミ<sup>1</sup>、八木玲子<sup>2</sup>、河合徳枝<sup>2</sup>、森本雅子<sup>3</sup>、本田 学<sup>3,4</sup>、大橋 力<sup>2</sup>

<sup>1</sup>放送大学／総合研究大学院大学、<sup>2</sup>国際科学振興財団

<sup>3</sup>国立精神・神経医療研究センター神経研究所、<sup>4</sup>科学技術振興機構 CREST

NISHINA Emi<sup>1</sup>, YAGI Reiko<sup>2</sup>, KAWAI Norie<sup>2</sup>, MORIMOTO Masako<sup>3</sup>,

HONDA Manabu<sup>3,4</sup> & OOHASHI Tsutomu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Open University of Japan / SOKENDAI, <sup>2</sup>Foundation for Advancement of International Science,

<sup>3</sup>National Center of Neurology and Psychiatry, <sup>4</sup>CREST, JST

知覚限界をこえる高周波を豊かに含む音は、環境適応、生体防御、美と快の感覚などを一括して制御する基幹脳ネットワークの血流を増大させることを私たちは見出した。このハイパーソニック・エフェクトについて、とくに脳機能に及ぼす影響に重点をおいて紹介するとともに、その応用について報告する。

Key Words: Hypersonic effect, Sound therapy, high frequency components, fundamental brain

## 1 はじめに

私たちの研究リーダー大橋は、作曲家山城洋二として音楽スタジオでレコード制作を手掛けるなかで、人間の可聴域上限をこえる高複雑性の超高周波成分を強調すると、音の味わいが玄妙に高まることを見出した<sup>1)</sup>。そしてこの音楽家としての主観的一人称的体験に基づく内視的認識を、脳科学を中心とする実験科学によって、客観的実証的に解明することに取り組んだ。その結果、私たちは、知覚限界をこえる超高密度複雑性の音が基幹脳ネットワークを活性化させ、それによって生理・心理・行動に及ぶ多様でポジティブな効果（ハイパーソニック・エフェクト）が導かれることを見出した。

超高周波によって活性化される基幹脳ネットワークは、環境適応、生体防御、美と快の感覚などを一括して制御する中枢であり、体と心の健やかさを保つ上できわめて重要な働きをしている。そこで私たちは、このハイパーソニック・エフェクトを応用した音響療法を構想し、予備的な検討に着手している。

本稿では、この取り組みの基礎となる現象・ハイパーソニック・エフェクトを、とくに脳機能に及ぼす影響に重点をおいて紹介するとともに、その応用について報告する。

## 2 ハイパーソニック・エフェクトとは何か

### 2.1 ハイパーソニック・サウンドとは

よく知られているように人間の可聴域の上限は一般的に20kHzを超えない。一方、最先端の超広帯域音響収録分析システムをもちいて改めて調べてみると、人類の進化の揺籠となった熱帯雨林の環境音や、伝統に磨かれた民族音楽のなかには、複雑なゆらぎをもった人間には音として聴こえない超高周波成分を豊かに含むものが少なからず存在している<sup>2)</sup>。その周波数帯域は20kHzを大幅に上まわり、時として100kHz以上に及ぶ。このような自然音を、私たちは<ハイパーソニック・サウンド>と名付けた。なお、ハイパーソニック・サウンドは、都市環境音やピアノなどの近代楽器音、CD、携帯プレーヤー、デジタル放送の音には含まれていないことに注意を要する (Fig.1)。

### 2.2 脳波を指標として現象の動的特性を捉える

このようなハイパーソニック・サウンドに囲まれているときの人間の状態を把握するために、私たちは、近年の著しい脳科学研究手法に注目した。脳の活動は、原理的に二つの側面からの非侵襲計測が可能になっている。第一は神経放電を捉えるもので、

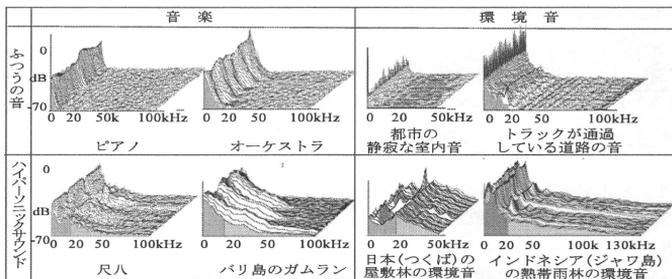


Fig.1 ハイパーソニック・サウンドとは

脳電位がその対象となり、頭皮表面に伝わる電位そのものを計測する脳波(BEG)、電気現象に伴って発生する磁気計測する脳磁図(MEG)が実用水準にある。脳電位という指標は脳活性の時々刻々の遷移を直接に反映し、正確な時間情報を得るのに適している。第二は、神経活動の実体が生化学反応であるため、物質代謝を支える血流の変化としてこれを捉えるものである。ラジオアイソトープでトレースするポジトロン断層撮像法(PET)や、血液成分固有の分子の磁気的挙動に注目する機能的磁気共鳴画像法(MRM)があり、いずれも活性化する脳領域について精密な空間情報を与えてくれる。私たちは、この両側面からアプローチした。

超高周波の共存によって音の趣きが増す、というレコード制作過程での大橋の体験を当時の先端的な脳科学の知見に照らし、それが脳の報酬系の活性化を反映して脳波α波を増強するであろう可能性を想定した。つまり、超高周波を含む音と含まない音とで、脳波α波の発現状態に差が認められるかどうかを検討することを構想した。この場合、報酬系の活性化を妨げるような計測環境下では、その負の影響に感性反応が埋没して結果が現れにくくなる恐れがある。ところがこの研究に着手した段階では、医療現場の脳波計測にはこうした感性反応に関わる配慮がほとんど認められず、緊張や恐怖などのネガティブな情動反応が報酬系の活性化を妨げる可能性が濃厚だった。そこで、こうした影響を排除し、快適な環境で音楽を楽しむことができる脳波計測実験環境を特別に構築した。さらに、従来の医療用脳波計測手法を抜本的に見直し、FM多重送信によってワイアレスでデータを送信するテレメトリー・システムの導入・改良により、ノイズ発生を避けるとともに被験者の行動を計測時の拘束から解放するなど、実

験条件に細かい工夫を重ねた<sup>3)</sup>。

この系を用い、高周波を豊富に含むインドネシア・バリ島のガムラン音楽(200秒)を呈示音源として、バイチャンネル再生系<sup>4)</sup>により、①26kHz以上の超高周波成分と可聴音を主とする26kHz以下の成分とが共存するフルレンジ音(FRS)、②26kHz以下のハイカット音(HCS)、③暗騒音(環境雑音)のみのベースラインの3条件を構成し、それぞれの条件下の脳波を連続して記録し、α波帯域パワーについて頭皮上の脳電位図を描き統計検定を行った。被験者位置での呈示音のスペクトルをFig.2に示す。

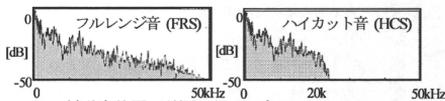


Fig.2 被験者位置で計測した呈示音のパワースペクトル(200秒平均)

その結果、Fig.3に示すように、α波のパワーはフルレンジ音呈示開始から20~30秒間かけて顕著に増加し、その活性水準が保たれる。ハイカット音に切りかえると約100秒近くその活性が残留し一種の「脳活性の残像」を構成したのち減少する、という特異な経過が認められた。そこで、この残像が消え尽きる音呈示後半の時間領域においてα波パワーを数量化して比較したところ、フルレンジ音すなわちハイパーソニック・サウンドによってα波パワーが統計的に有意に増強されるという事実を初めて見出すことができた<sup>3)</sup>。

### 2.3 ポジトロン断層撮像法による検討

脳波が時間分解能にきわめて優れているのに対して、領域脳血流(rCBF)は、脳内活性化領域において高度に精緻な空間的情報を与えてくれる。私たちは、ハイパーソニック・エフェクトの発現に関与す

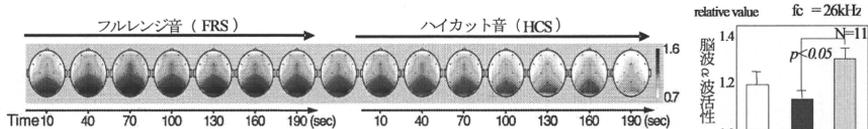


Fig.3 ハイパーソニック・サウンドは時差を伴って脳波 $\alpha$ 波を増大させる

る脳領域を、PETを用いた脳血流計測により検討した<sup>5)</sup>。トレーサーには $H_2^{18}O$ を用い、脳波の場合に準じてPET測定室の環境を細部にわたり改造・快適化し、音源にも同じガムラン音楽を採用して、一連の実験を3ヶ年にわたって行った。被験者は健康な日本人男女12名であり、京都大学医学部倫理委員会の承認に基づいて実験を実施した。呈示音は、実験室の暗騒音に加えてハイカット音、超高周波成分のみ、フルレンジ音を呈示、各条件間のrCBFを詳細に比較検討した。まず、SPMソフトウェア<sup>6)</sup>をもちいて条件間の血流の差を統計的に検出し画像として描出した。その結果、フルレンジ音を呈示したときには、ハイカット音を呈示したときに比べて脳深部にある脳幹と視床の血流が統計的に有意に増大するという注目すべき事実が見出された。しかも、それらの部位は、聴覚神経系の中継点となる下丘や内側膝状体とは一致しない。つまり、聴覚系に属する領域では、超高周波成分があるかないかによって神経活動に変化は認められない。この特異な脳深部の活性増大は、超高周波単独の呈示では観察されなかっただけでなく可聴音単独の呈示では、この部位の活性は逆に下降し、ベースライン条件に比較しても有意に抑制されることが判明した<sup>6)</sup>。

SPMによる解析は、活性部位の頂上をいわばピンポイント的に厳密に描出する。それに対して頂上から視野として山脈のつながりを包括的に捉えるには、主成分分析法が適している。これによって、呈示される音の違いに対応して互いに関連し合いながらまとまって活動する神経回路の全体像を描出した<sup>7)</sup>。その結果、最大の活性変化を示す第一主成分として、可聴音の存在に対応して、古典的聴覚系を構成する側頭葉の聴覚野皮質を含む領域が当然ながら抽出された。その次に大きな変化を示す第二主成分として、ハイパーソニック・サウンドの存在に対応して、脳幹、視床、視床下部、上部脳幹から発し前帯状回および前頭前野へと拡がるモノアミン系と推定される神経ネットワーク、さらに頭頂葉楔前部が抽出されるという注目すべき結果が得られた。脳幹、視床やそこから大脳辺縁系、大脳皮質へと投射するモノア

ミン系ネットワークは情動・感性にかかわる報酬系に属し、美しさ快さを司る。また、脳幹と視床下部は、生体制御系すなわち自律神経系、免疫系、内分泌系の最高中枢として健康を司る。第二主成分として抽出されたこれら二つの脳機能が一体化した系はまさに人の心と体の根幹を担うものであり、基幹脳ネットワークと呼ぶにふさわしい (Fig.4)。



Fig.4 ハイパーソニック・サウンドは基幹脳ネットワークの血流増加を導く

主成分分析と同時に行った脳波解析により、基幹脳ネットワーク全体の活性が、頭皮上特定の領域から抽出される特定周波数帯域の脳波 $\alpha$ 波のパワーと高度に有意に相関していることが明らかとなった。この知見により、頭皮表面上から比較的容易に計測できる脳波 $\alpha$ 波を指標として基幹脳活性の高い信頼性が推計することが可能になった。

さらに、基幹脳をネットワークの活性化を反映した領域脳血流値の増大、脳波 $\alpha$ 波の増強とともに、ハイパーソニック・サウンドによって、NK細胞など免疫活性の上昇、アドレナリンなどストレス性ホルモンの減少、音のより快く美しい受容の誘起、音をより大きく聴く接近行動の誘導など多岐にわたる反応が導かれることがわかった<sup>7, 8)</sup>。しかも、ハイパーソニック・エフェクトを発現させるためには、可聴音を聴覚系に呈示するとともに、高周波を体表面に印加する必要があることも見出された<sup>9)</sup>。

### 3 基幹脳活性化と音響療法

#### 3.1 基幹脳活性不全と現代病

ハイパーソニック・サウンドによって活性化される基幹脳ネットワークは、環境適応や生体防御に当たり健康を司る「生命活動」と、美と快の感覚を発

生させ感性・感情を司る「精神活動」とを連携して制御する中枢として働いている。そのため、基幹脳の活性化は自律神経系・内分泌系・免疫系、そして報酬系の活動を包括的に向上させ、体には健康、心には知覚の鋭敏化に加えて美と快として安らぎをもたらす。一方、この基幹脳の活性不全が、がん、高血圧、認知症、うつ、自殺、暴力など、社会を窮地に陥れている多くの現代病の引金になっていることが、最近、多方面から相次いで報告されている。

しかも、超高周波成分を除いた音を呈示した時、音楽を呈示していない時よりも基幹脳ネットワークの活性が顕著に抑制されたことは看過できない。この神経ネットワークの機能はさまざまな生命活動に密接に関与しており、その活性不全がいわゆる現代病の誘発可能性と関連して近年急速に注目されつつあることから、それがもたらす直接間接の影響に十分な注意を払う必要がある。

### 3.2 ハイパーソニック・エフェクトの社会応用

以上から私たちは、ハイパーソニック・エフェクトによる基幹脳の活性化には、心身に及ぶ現代の深刻な病理に対する防御効果が期待されると考え、その社会応用に取り組んでいる。すでに、オーディオ・システムの音質改善や街の音環境の改善<sup>10)</sup>、パッケージメディア<sup>11)</sup>への応用は軌道に乗りつつある。

そして次の段階として私たちはいま、ハイパーソニック・エフェクトによる基幹脳活性化を、現代病の防御に本格的に応用する方途を検討している。これまで行われている音楽療法の、意識すなわち知覚でき意識される音楽の効果を応用するのに対して、私たちが構想するアプローチは、知覚できず意識されない超高周波の効果に注目したものである。そこで、これを音楽療法と区別するために、＜音響療法＞と呼ぶことにする。音響療法では、人類の遺伝子を育んだ熱帯雨林環境音をはじめ、人類史的に安全性が保証された自然音の高忠実度録音物を用いる。自然環境音に対する個人の嗜好の差は音楽よりも小さいので、音楽療法に比べると個人の嗜好の差の影響を受けにくい可能性がある。もしこのようなハイパーソニック応用が実現するならば、薬物を使わないため副作用がなく、薬物に劣らない作用を発揮するこれまで例のないアプローチが実現する可能性がある。

### 4 おわりに

ハイパーソニック・エフェクトを応用した音響療法という構想は、現代病の起源を「人間と情報環境との不適合による基幹脳の活性低下」という根本原因に遡って捉え、先端的情報技術を駆使した基幹脳活性の回復によってその解消をめざすものである。そのためには、脳科学、音響学、心理学、医学、メディア芸術など多様な領域にわたる非分化全方位型の研究開発活性が必要となる。呈示システム、コンテンツ設計などにも未知の課題が多い。そうした課題をひとつひとつと検討しつつ、困難ながら大きな展望のあるこの課題に取り組んでいきたいと考えている。

### 文献

- 1) 大橋 力、2003、至福の音体験と脳——全方位非分化型アプローチの射程から、小泉英明編著、脳科学と芸術、工作舎、270-290。
- 2) 大橋 力、2003、音と文明——音の環境学ことばはじめ、岩波書店。
- 3) Ohashi T, Nishina E, Kawai N, et al, 1991, High frequency sound above the audible range affects brain electric activity and sound perception, AES 91st Convention, Preprint 3207.
- 4) 大橋 力、渡辺一成、服部邦徳、1984、非定常音の高域制限による音質変化検知について、日本音響学会聴覚研究会資料、H-84-42、1-4。
- 5) Ohashi T, Nishina E, Honda M, Kawai N, Shibasaki H et al, 2000, Inaudible high-frequency sounds affect brain activity: Hypersonic effect, J of Neurophysiology 83, 3548-3558.
- 6) Friston K J, et al, 1995, Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach, Human Brain Mapping 2, 189-210.
- 7) 大橋 力、河合徳枝、本田 学、仁科エミ、八木玲子他、2003、ハイパーソニック・エフェクトの生理学、AES 東京コンベンション2003、94-97。
- 8) Yagi R, Nishina E. & Ohashi T, 2003, A method for behavioral evaluation of the "hypersonic effect", Acoustical Science and Technology 24, 197-200.
- 9) Ohashi T, Kawai N, Nishina E, Honda M, Yagi R, Yonekura Y, Shibasaki H et al, 2006, The role of biological system other than auditory air conduction in the emergence of the hypersonic effect, Brain Research 1073-1074, 339-347.
- 10) 仁科エミ、大橋力、2007、ハイパーソニック・エフェクトを応用した市街地音環境の改善とその生理・心理的效果の検討、日本都市計画学会都市計画論文集、42-3、139-144。
- 11) Hypersonic Blu-ray Disc "AKIRA"、2010、バンダイビジュアル、BCXA-0001。

# ハイパーソニック・エフェクト応用による音響療法の予備的検討

A preliminary research on "sound therapy" as an application of hypersonic effect.

○八木玲子<sup>1),2)</sup>, 仁科エミ<sup>3)</sup>, 河合徳枝<sup>1)</sup>, 森本雅子<sup>2)</sup>, 上野 修<sup>2),4)</sup>,  
本田 学<sup>2),4)</sup>, 大橋 力<sup>1)</sup>

1) 国際科学振興財団, 2) 国立精神・神経医療研究センター,  
3) 放送大学/総合研究大学院大学, 4) 科学技術振興機構 CREST  
YAGI Reiko<sup>1),2)</sup>, NISHINA Emi<sup>3)</sup>, KAWAI Norie<sup>1)</sup>, MORIMOTO Masako<sup>2)</sup>, UENO Osamu<sup>2)</sup>,  
HONDA Manabu<sup>2),4)</sup>, OOHASHI Tsutomu<sup>1)</sup>

(Foundation for Advancement of International Science<sup>1)</sup>, National Center of Neurology and  
Psychiatry<sup>2)</sup>, The Open University of Japan/Sokendai<sup>3)</sup>, CREST, JST<sup>4)</sup>)

知覚限界をこえ、非定常なゆらぎ構造をもつ超高周波成分を含む音——ハイパーソニック・サウンドによる基幹脳活性化効果“ハイパーソニック・エフェクト”の臨床応用の可能性を探ることを目的として、精神科領域の一症例を対象に、臨床研究に向けた探索的・予備的検討を行った。生理指標、心理指標、行動指標を組み合わせた複合評価の結果から、本研究の対象者であるうつ病患者において、ハイパーソニック・サウンドの呈示が心身をリラックスさせ、不安を低減する効果をもつ可能性が示唆された。

Key Words: sound therapy, hypersonic effect, hypersonic sound, depression

## 1 はじめに

私たちは、人間の可聴周波数上限の 20kHz をこえ、非定常なゆらぎ構造をもつ超高周波成分を豊富に含む音——ハイパーソニック・サウンドによる基幹脳活性化効果“ハイパーソニック・エフェクト”<sup>1),2)</sup>を応用して心身の状態の改善をはかる<音響療法>について、精神科領域における臨床応用の可能性を探る予備的検討をはじめている。本研究では、気分障害の一症例を対象にした試みについて報告する。

## 2 方法

### 2.1 対象症例

39 歳男性。臨床診断はうつ。薬物療法を中心とした通院治療を継続しつつ、投薬効果が不十分のため、投薬以外の治療法の試みを希望し、X-1 年 12 月から X 年 7 月までの 8 ヶ月間、計 16 回の実験に参加した。実験開始の約 1 ヶ月前の X-1 年 10 月末に、転地療法により症状の改善が見られたため、主治医判断により抗

うつ薬(セルトラリン)の服用を終了。実験期間中は、睡眠導入剤(ゾルピデム)および抗不安薬(ロフラゼブ酸エチル)の内服を継続。4 月中旬~下旬の約 2 週間、会社の組織変更による適応困難を生じた際、セルトラリンを頓服したほか、頓服用頭痛薬を処方されている。その他の投薬量に変化はない。

実験開始時の State-Trait Anxiety Inventory (以下、STAI)<sup>3)</sup>を用いた特性不安の測定値は、52 点(IV 群「高い」と V 群「非常に高い」との境界)、機能の全体的評定尺度(Global Assessment of Functioning Scale; GAF 尺度)<sup>4)</sup>は 70。実験開始時点では休職していたが、X 年 2 月より復職し、X 年 7 月に至る。

### 2.2 呈示刺激

実験には、健康者を対象とした先行研究で、ハイパーソニック・エフェクトを統計的に有意に発生させるハイパーソニック・サウンドであることが検証された音源を用いた<sup>5)</sup>。

具体的には、可聴域上限をこえ非定常な超高周波

成分を豊富に含む熱帯雨林の自然環境音を、高速標本化1ビット量子化方式<sup>9)</sup>でデジタル録音した20分間の音試料を呈示した。Fig. 1に、実験に用いた音源の平均パワースペクトルを示す。

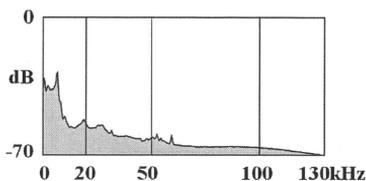


Fig. 1 実験に用いた音源のパワースペクトル

### 2.3 呈示装置

可聴域上限を大きく上回る超高周波成分を含む音源を高忠実度で再生するために、100kHzまでほぼ平坦な再生特性をもつ音響呈示システムを構築した(Fig. 2)。

100kHzまで良好な特性をもつ高速標本化1ビット量子化方式のプレーヤから出力した音源の電気信号を、同じく100kHzまで良好な周波数応答をもつアンプを経由し、約3mの距離をおいて配置した左右のスピーカから呈示した。実験室内の調度および温湿度は、被験者が快適な状況で実験に臨めるよう配慮した。

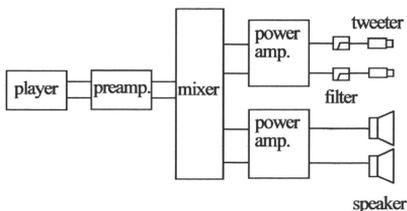


Fig. 2 実験システムのブロックダイアグラム

### 2.4 実験プロトコル

対象者は、左右のスピーカから約3mの位置で安楽に座位をとり、呈示される自然環境音のハイパーソニック・サウンドを20分間受容した。

受容の前後に、生理指標として血圧・心拍数、心理指標としてSTAIを用いた状態不安検査、行動指標として精神テンポをそれぞれ測定した。精神テンポ

は、パーソナルテンポ (personal tempo) とも呼ばれ、特定の制約のない行動場面で自然に表出される個人固有の生体リズムの速度と考えられている。精神状態により変動することが知られており、変動要因が除去されると、時間の経過とともに元の速度に戻る恒常性を持つとの報告もある<sup>7)8)</sup>。ただしその生理学的意義については不明な点も多いため、今回は簡便に計測可能な探索的指標として導入した。

全16回の試行前後に計測した各指標について、対応のある2群のt検定を用いて統計検定を行った。

また、X年4月から、対象者の病状の変化を把握するために、実験開始に先立って、うつ病(抑うつ状態)自己評価尺度(Center for Epidemiologic Studies Depression Scale; 以下CES-D)<sup>9)</sup>を用いたうつ症状の評価を行った。

### 2.5 倫理的配慮

本研究は、国立精神・神経医療研究センター倫理委員会の承認を得て実施した。

本研究に参加しない主治医に実験の目的と内容をあらかじめ説明し、主治医により実験参加に可能な臨床状態と判断された症例を対象とした。

実験参加に先立ち、対象者に対して、研究目的、内容、および本研究に参加しないことや途中で中断することが本人に何ら不利益をもたらさないことを口頭および文書にて説明し、書面による同意を得て研究を実施した。

## 3 結果

### 3.1 生理指標

音響療法前後における血圧および心拍数の変化をFig. 3~Fig. 5に示す。

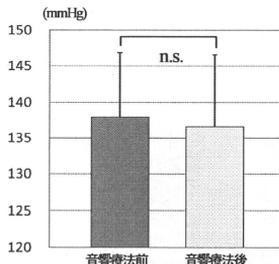


Fig. 3 収縮期血圧の変化

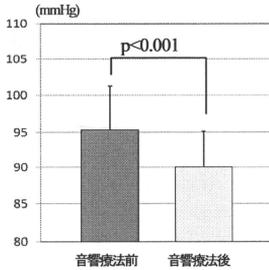


Fig.4 拡張期血圧の変化

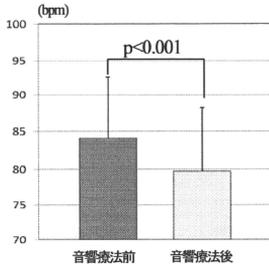


Fig.5 心拍数の変化

音響療法前後で、収縮期血圧 (Fig. 3) は統計的有意な変化は認められなかったが、拡張期血圧 (Fig. 4) および心拍数 (Fig. 5) は、本研究対象者個人内において有意に低下した (拡張期血圧  $p < 0.001$ 、心拍数  $p < 0.01$ )。

### 3.2 心理指標

#### 3.2.1 状態不安

音響療法前後の状態不安の変化を Fig. 6 に示す。

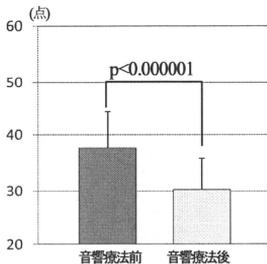


Fig. 6 状態不安の変化

全 16 試行の状態不安の平均値は、音響療法前が 37.69 点に対して音響療法後は 30.25 点を示し、音響療法前後で平均 7.44 点低減した。また統計的有意性は  $p < 0.000001$  というきわめて高い水準を示した。

#### 3.2.2 うつ症状

対象者の病状の全体的な変化を把握する目的で、X 年 4 月～7 月の 4 ヶ月間、全 8 回にわたり、実験に先立って行った CES-D を用いたうつ症状評価の変化を Fig. 7 に示す。

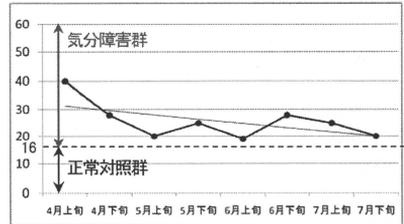


Fig.7 うつ症状評価の変化

うつ症状の自己評価値は、何度かの揺り戻しを経つつ、統計的有意性には達しないものの、全体としては軽減傾向にあることが認められる ( $p = 0.127$ )。6 月下旬にうつ症状の評価値が上昇しているのは、会社での人間関係にストレスを感じているとの対象者の自己申告を反映しているものと看做される。

#### 3.3 行動指標

音響療法前後の精神テンポの変化を Fig. 8 に示す。全 16 試行の精神テンポの平均値は、音響療法前が 55.06bpm、音響療法後が 54.69bpm であり、両者の間に統計的有意差は認められなかった。

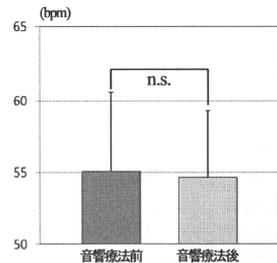


Fig. 8 精神テンポの変化

#### 4 考察

以上の結果から、これまで、健常者を対象とした実験において、基幹脳血流の増大や免疫力の向上、快適性の向上、接近行動の誘導などを統計的有意に導くことが明らかになっているハイパーソニック・サウンドが、本研究の対象者であるうつ病患者においても、少なくとも負の影響を及ぼす可能性は低く、むしろ心身をリラックスさせ、不安を低減させる効果をもつ可能性をもつことが示唆された。

今回の検討は、対象者の心身の状態を改善することを主眼に、ごく探索的な試みを行ったにすぎず、実験条件の設定、対照条件の設定、方法の整備等は今後の課題である。こうした探索的段階であるにもかかわらず、ハイパーソニック・エフェクトの臨床的効果を否定できない結果が得られたことには、注目してよいのではないかと考える。

今後は、まず、適切な実験条件、指標の探索など基本的な実験方法の整備に取り組み、症例を増やして、ハイパーソニック・エフェクトの臨床応用に向けた有効性を確かめていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) Oohashi T. et al. (2000) Inaudible high-frequency sounds affect brain activity, A hypersonic effect, *Journal of Neurophysiology*, 83, 3548-3558.
- 2) Oohashi T. et al. (1991) AES High Frequency Sound Above the Audible Range Affects Brain Electric Activity and Sound Perception, *Audio Engineering Society 91st Convention (New York) Preprint 3207*, 1-25.
- 3) 水口 公信 他 (1991) 日本版 STAI 状態・特性不安検査 使用手引, 三京房.
- 4) 高橋 三郎 他訳(2003) DSM - IV - TR 精神疾患の診断・統計マニュアル, 医学書院.
- 5) 仁科 エミ 他 (2005) 超高密度高複雑性森林環境音の補充による都市音環境改善効果に関する研究一脳波, 血中活性物質, 主観的印象評価の組み合わせによる評価, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.40-3, 169-174.
- 6) 山崎 芳男 他 (1994) 広帯域音響信号の高速標本化 1bit 処理, 電子情報通信学会 信学技報, EA93-102.
- 7) Gotor, P. (1934) The Personal Tempo in Psychopathology (El tempo personal en

psicopatologia), *Arch. de Neurobiol.*, vol. xiv, 363.

- 8) 杉之原 正純 他 (1982) 精神テンポに関する基礎的研究(7), 広島修大論集, 第23巻, 第2号, 120.
- 9) L. S. Radloff (2000) Center for Epidemiologic Studies Depression Scale (CES-D). Modified From: Rush J, et al: *Psychiatric Measures*, APA.

#### 謝辞

本研究にあたり、実験参加者の紹介および情報提供の労をおとりくださった精神科医の小栗 淳先生、実験の実施にあたり、対象者のケアにあたってくださった精神保健福祉士の植村麻紀氏、そして、実験に快くご協力くださった患者さまに、厚く御礼申し上げます。

# ハイパーソニックブルーレイディスク『AKIRA』 Hypersonic sound track for Blu-ray Disc “AKIRA”

仁科エミ/放送大学, 総合研究大学院大学, 森本雅子/国立精神・神経医療研究センター, 福島亜理子/東京大学, 八木玲子/国際科学振興財団

NISHINA Emi<sup>1</sup>/ Open University of Japan, The Graduate University for Advanced Studies, MORIMOTO Masako<sup>2</sup>/ National Center of Neurology and Psychiatry, FUKUSHIMA Aiko<sup>3</sup>/The University of Tokyo, YAGI Reiko<sup>4</sup>/ Foundation for Advancement of International Science

<sup>1</sup>nishina@ouj.ac.jp, <sup>2</sup>morimoto@ncnp.go.jp, <sup>3</sup>ariko@cyber.t.u-tokyo.ac.jp, <sup>4</sup>yagi@fais.or.jp

**Abstract:** The hypersonic Blu-ray Disc “AKIRA”, an animation film directed by OTOMO Katsuhiro, created to deliver superior content, born of an unprecedented level of information density, offering lush visuals and mind-blowing sound that transports the audience to a place of pleasure and awe that is moving and intoxicating at the same time. The authors reported the making process of its sound track for Blu-ray Disc to discuss the new requirement of the sound reproduction system in home theater.

**Keywords:** Hypersonic Effect, Animation movie, Sound track, High frequency components

## 1. Introduction

The animation film “AKIRA”, directed by Japanese famous *manga* creator OTOMO Katsuhiro, swept across the world, flooring audiences everywhere in the blink of an eye after its 1988 theatrical release, and this historic film retains a massive fan base to this day. Some 20 years after its release, we see that the near future it depicted—one of concerted terrorist attacks, the destruction of Earth’s environment, natural disasters, widespread strife, and an array of ailments of the soul, eroding at the hearts of mankind—has steadily become reality. The film’s apocalyptic vision has proven acutely prophetic.

This animated film was published as Laser Disc and VHS video in 1988 with stereo sound track. For its transition to DVD in 2001, 5.1ch sound track has re-mastered by YAMASHIRO Shoji, the composer of the music in this film. In 2009, AKIRA on Blu-ray disc offers

the film’s original Japanese audio in 5.1ch sound, maximizing the potential of the media’s 192 kHz sampling / 24 bit coding audio specs to capture hypersonic sound, a source of sound that includes ultra-high frequencies exceeding 90kHz.

In this paper, as the member of this project, we would like to report the making process of the sound track of Blu-ray Disc AKIRA to discuss the new requirement of the sound reproduction system in home theater.

## 2. What is the “Hypersonic effect” ?

For the film’s transition to Blu-ray Disc (“BD”), 192 kHz-sampled / 24 bit-quantized audio was selected with the finding of “Hypersonic Effect” by OOHASHI Tsutomu, that is the real name of Composer YAMASHIRO.

As is widely known, the upper limit of audible frequency for aerial vibration is approximately 15 kHz (15,000 cycle per second) for ordinary people. There are only a few people who can recognize a frequency of 20 kHz or higher. However, there are myriad sounds on Earth that generate intricately changing, high-frequency components above the so-called audible range. Gamelan music of Bali Island and environmental sounds in tropical rain forests are examples of such sounds; these data are extremely rich in high frequency components of more than 100 kHz. By carefully observing listeners being showered with

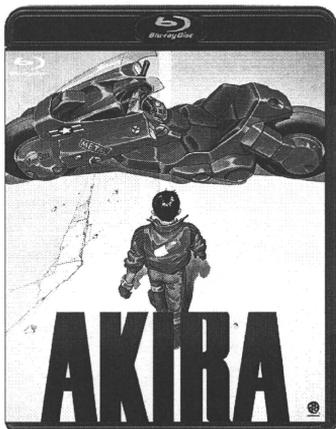


Figure 1: Blu-ray Disc “AKIRA” directed by OTOMO Katsuhiro

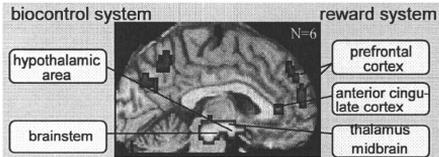


Figure 2: The fundamental brain network significantly activated by the sounds containing high frequency components above the human audible range

hypersonic sounds, OOHASHI and his colleagues came upon the activation process of the neural reward system, which is at the core part of the fundamental brain network (functional center of the brain), which, in turn, generates the pleasure function (Figure 2).

We have learned that when the fundamental brain network is activated, dramatic psychological effects for the better emerge, such as sounds perceived as more pleasurable, beautiful and emotive, and an intensified desire to hear sounds more loudly as a result of the ignition of the neural reward system, which, again, is the function of the brain that regulates pleasure. There is also a heightened physiological state, such as an enhanced alpha-EEG (alpha rhythm of brain waves), increased immune activity, and a decrease in the level of stress hormones. We call the overall composite effect the hypersonic effect.

At the core of brain functions, the fundamental brain network resembles a computer's CPU. This includes the brainstem, thalamus and hypothalamus, all of which regulate the most basic activities of the brain. As mentioned above, it is the center of the neural reward system that regulates the emotional response to beauty, pleasure and wonder. At the same time, it resides as the highest center of the autonomic nervous system, the immune system and the endocrine system, all of which control homeostasis and self-preservation. The activation of the brain in this manner enhances mind and body functions and raises the level of awareness and sensitivity to stimulus response, thus creating the possibility of heightened aesthetic perception of both pleasure and beauty—not only for sound, but visually as well.

The paper in the *Journal of Neurophysiology* on the discovery of the hypersonic effect can be downloaded from the website of the publisher, the *American Physiological Society*. In number of downloads, this research article was ranked among the Top Five for more than four years and ranked in first place for 24 months during that period. Such response from readers around the world surely points to exceptional attention now being accorded the concept of hypersonic effect.

Hypersonic sound, that is, sound that contains the hypersonic effect, is found in the environmental sounds in tropical rain forests, most probably the place on Earth where human DNA evolutionally took form. Hypersonic sound likewise resides in the *Gamelan* and *Jegog* music of Bali, the traditional chorus music of Bulgaria and Georgia, and the traditional musical instruments of Japan and other countries. It is in such places that *AKIRA* music was born! At the same time, it should be noted that a sound structure that can retrieve the hypersonic effect could scarcely be located in the noise of rotating machines or the environmental sounds in urban areas, nor even in modern Western European musical instruments such as the piano.

Moreover, these marvelous effects are not reproducible on popular digital media such as CDs (transmission band: up to 22 kHz), MDs (22 kHz) or DVDs (24 kHz). Neither is the transmission band of DVD-Audios (48 kHz) sufficiently high. Rather, hypersonic BD *AKIRA* has emerged from our long and continuing research into this transcendent realm of ultra sound.

Based on these findings, Hypersonic BD *AKIRA* was created.



Photograph 1 : Recording of Balinese *Jegog* played by Geinoh Yamashirogumi



Photograph 2 : Recording of Balinese *Gamelan* played by Geinoh Yamashirogumi

### 3. Making process of Hypersonic BD *AKIRA*

#### 3.1. Examination of Media format

*AKIRA*'s transition to BD comes at the same time as the implementation of the hypersonic effect has become possible. Including hypersonic surround sound on video media requires a tremendous amount of space, nearly as much as that of the video data, and a high-speed transfer rate. The BD medium boasts an order of magnitude with more high-speed storage than DVDs, so YAMASHIRO thought that perhaps the implementation of the hypersonic effect would be possible. With that in mind, he began to look into the BD medium in earnest. It is well known that two-layer BD disc holds over ten times as much information as a DVD (50 GB), with transfer rate over five times as fast as a DVD (54 Mbps). However suffice it to say that hypersonic data proved too great even for the BD's 50 GB of storage and 54 Mbps transfer rate: it would be impossible to record the sound data in linear PCM format. At the end of a string of discussions with the technology team from industry-leading media firms, however, the conclusion arose that, in theory, using variable transfer rate signal processing for both the video and audio information might make hypersonic sound possible.

The perfectly timed release of the Dolby True HD format for sound track, which allows for a transfer rate of up to 18 Mbps, proved to be the deciding factor. This lossless (ie, reversible) compression format is both variable and highly efficient, bringing within reach the possibility of communicating the incredible subtleties of *AKIRA* through full-HD video and 192 kHz-sampled, 24 bit-quantized, 5.1ch hypersonic sound on a single BD. That said, the possibility remained theoretical—it was still early to be counting the chicks. It was entirely possible that the space and transfer rate requirements of the video and sound would conflict, or that the signal processing system would be unable to keep up with these new, harsh demands. At this point, the technical team began to cooperate in a comprehensive effort to clear those hurdles.

### 3.2. Remaking audio track from the original analogue master tapes

Even with the adoption of the Dolby True HD format, however, there can be no hypersonic effect if the audio content itself contains no signal elements sophisticated enough to surpass the 100 kHz range. From that standpoint, the vast majority of BDs with 192 kHz audio on the market today fall short.

With the music of *AKIRA*, YAMASHIRO composed all music using computer, and made synthesized data was painstakingly translated during step recording into live-recorded Jegog, Gamelan, full choral and percussion music rich in ultra-high-frequency sounds and performed by equally painstakingly selected musicians, *Geinoh Yamashirogumi*. The most important bits were captured with multi-track-analogue recording, so we used these analogue master tapes reserved in the stock yard in the recording studio, and carefully digitized them not to ruin its high frequencies. The finished product was constructed with original technology newly developed for the film's translation to BD. The details of that technology, however, are probably best left for another discussion.

### 3.3. Difficulties in sound remixing

From its birth, *AKIRA*'s composition has repeatedly been granted flight through an uncanny luck in coinciding with epoch-making developments in media technology, and the appearance of the Dolby True HD format at the outset of the film's transition to BD is no exception. Nonetheless, the path opened up by these new technologies has always been a difficult one, laden with hurdles made harder for their lack of precedent.

First and foremost, we were confronted with a need to revise the postproduction environment. The bulk of a sound editing environment is supplied by a mixing console. In order to handle hypersonic sound, an analogue console well-suited to frequencies over 100 kHz is ideal. However, existing MA (master audio) studios do not have consoles capable of supporting ultra-high-frequency sound. In most cases, they use monitor amplifiers and speakers that simply can't reproduce ultra-high-frequency sound, thus making the search for an editing studio incredibly difficult. Ultimately, we were driven to give up the search. As a final recourse,

MA functions were installed in our studio which is used for academic research as Oohashi Laboratory. The reason was the unique analogue console, a top-of-the-line AMEK 9098i designed by Rupert Neve, a sort of demigod among recording console designers. Mr. Neve customized the console for OOHASHI's research by making all of the 64ch modules flat to 200 kHz—an astounding level of frequency response, raising it to an unparalleled standard in both response and sound quality. It was on that one-of-a-kind custom console that we set about to perform the mixing of BD *AKIRA*'s hypersonic sound track.



Photograph 3 : Mixing console AMEK 9098i

Considering that the *Geinoh Yamashirogumi*'s music has always had an omni-directional spread, and given Director OTOMO's request that the composition be a seamless combination of music and the sound of the real world, *AKIRA*'s sound world has always been well-suited to surround sound. Both all the compositions and the original recording tape are full surround. The initial 1988 release was condensed into two channels, but with the 2001 DVD release and the production of the DVD-Audio *Symphonic Suite AKIRA 2002*, it was edited into 5.1ch surround sound, and the multi-dimensional sound space that had always existed within *AKIRA* was set free.

For the BD release, surround sound space effect was pursued even more thoroughly. Over the course of that process, there were countless detailed adjustments at the mastering phase to match the dramatic increase in sound quality that accompanied the transition to hypersonic sound, working from a remix furnished by the chief of Victor Studio, TAKADA Hideo himself. Wrestling with pinpointing the causes and developing solutions to the parade of unforeseen technological issues cost time and effort beyond our expectations time and again, but with the earnest and extremely skilled support of the other people on the project, it was able to arrive at a finished product that met YAMASHIRO' standards. Especially, the commitment of Bandai Visual made this project succeed to prioritizing the highest level of quality attainable, even at the expense of a significantly delayed release schedule.

#### 4. Physiological and psychological effect of Hypersonic BD “AKIRA”

When Hypersonic BD *AKIRA* is played back on appropriate equipment, the fundamental brain network is activated causing sounds and images to be perceived in a more beautiful, sensual, and emotive manner. We will introduce these effects through excerpts of explanations by the artist YAMASHIRO Shoji (Dr. OOHASHI Tsutomu) as contained in a booklet accompanying BD *AKIRA*. Please see that booklet for details.

“Figure 1 compares the frequency spectrum of a segment from a hypersonic BD *AKIRA* with that of the same segment from a DVD version. Whereas the signal recorded on the DVD is limited in frequency to 20 kHz, the BD contains ultra-high-frequency elements in excess of 90 kHz.”

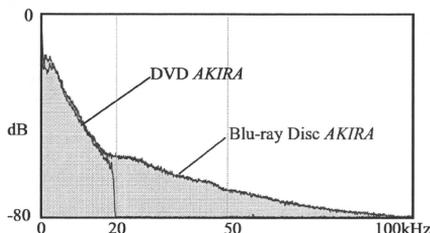


Figure 3: Rich ultra-high-frequency component contained on a hypersonic BD *AKIRA*.

“We compared the brain state of subjects listening to a BD to that of the same subjects listening to audio limited to the DVD-range (from which any frequencies above 24 kHz have been cut) using the DBA (deep brain activity) - index, an index of the activation of the fundamental brain network derived from a potential map of alpha 2 components of an electroencephalogram (Figure 2). The result is clear. The subjects expressed a markedly higher DBA-index score while listening to the BD than when listening to the DVD-range audio. BD *AKIRA*'s audio demography activates the fundamental brain network, a critical engine in regulating the body's health and sensations of beauty, pleasure, and emotion. The data maintain a high statistical significance level of  $p < 0.05$  (less than 5%).”

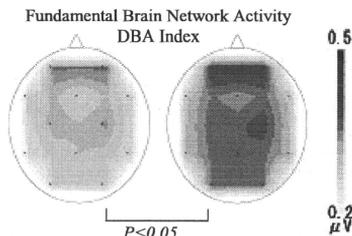


Figure 4: Fundamental brain network activation taking place via a hypersonic BD *AKIRA*.

“Next, we conducted a questionnaire-based experiment, grounded firmly in psychological methodology, asking subjects to comment on the audio and visuals of *AKIRA* on BD. The results we received showed that, when compared to the DVD-range viewing experience, subjects chose responses such as ‘I felt moved by the music,’ ‘the sound quality was high,’ ‘the sound had more volume,’ ‘the bass was rich,’ ‘the audio felt good to the ear,’ ‘the sound remained clearly differentiated, even at high volumes,’ all with a  $p < 0.05$  level of significance.”

“Furthermore, we came to a shocking additional conclusion sure to overturn the conventional wisdom held by many people. Throughout these experiments, participants were shown the same BD HD video, but when asked their impression of the visual experience, they reported, ‘I felt moved by the video,’ and ‘the video quality was high,’ to a higher degree (with  $p < 0.05$  significance) after watching the segment while listening to the hypersonic audio than when listening to the DVD-range sound. When viewers were relaxed to a statistical significance standard of  $p < 0.10$ , the data also support findings that viewers found, to a greater degree, that ‘the animation is smooth,’ ‘the visuals are detailed,’ ‘the backgrounds are realistic,’ ‘the picture is crisp,’ ‘the art is richly nuanced,’ ‘the picture has depth,’ and ‘the colors are vibrant’. Our other experiments also corroborated this phenomenon, in which a hypersonic sound results in a statistically significant improvement in the perception of the same video signal. We call this phenomenon the Hypersonic Visual Effect.”

“These remarkable effects stem from the ability of hypersonic sound to activate the fundamental brain network, raising the body's level of awareness and thereby our perceptual sensitivity. At the same time, this also stimulates the reward-generating nervous system, leading to a greater sensation of beauty, pleasure, and emotion; enough to make not just the audio, but also the video more enjoyable as well. One could hardly ask for a clearer demonstration of the ability of the hypersonic effect to activate the fundamental brain network, the core of the sensory response system.”

(Quoted from explanations by YAMASHIRO Shoji (Dr. OOHASHI Tsutomu) in the special booklet attached to each BD *AKIRA*. “See *AKIRA* on Blu-ray, a hypersonic experience that pairs visuals with astounding sound that stimulates the fundamental brain network directly.”)

All the effects explained here are introduced by audio-visual expressions realized for the first time as BD content on our hypersonic BD *AKIRA*.

#### 4. Plauditory voices to BD *AKIRA*

Hypersonic BD *AKIRA* was put on the market simultaneously in the United States and Japan on February 2009. The popularity of this BD was especially high in US, and *AKIRA* was ranked by second place of the Top 10 Pre-orders of blu-ray.com after the new movie of the famous 007 series “Quantum of Solace”. *AKIRA* was sold out only by the reservation in US, so did not ranked BD hit chart.

Here are some plauditory voices from newspaper, magazines and web sites.

"Akira has appeared on home video several times before (including a Criterion laserdisc from 1993 treasured by anime buffs), but this Blu-ray release from Bandai Entertainment not only improves the image quality but also offers an insanely high-definition version of the Japanese soundtrack (5.1 channel Dolby Tru HD at 192 kHz/24 bit, to be excessively precise) that will test the limits of your system and alienate your neighbors forever."

(from The New York Times, February 20, 2009)

## A Sundance Film Before Sundance

By DAVID KIEHR  
Published: February 20, 2009

### THE WHOLE SHOOTIN' MATCH



Enlarge This Image

The beginnings of the American independent film movement can partly be traced to the 1978 Utah/U.S. Film Festival, a small-scale event in Salt Lake City that presented eight features in a regional cinema competition. On the festival's board

was a local ski resort owner, Robert Redford, who was so taken with what he saw that he went on to found the Sundance Institute three years later. In 1985 the institute took over the festival, which by that point had moved to Park City, Utah, and the Sundance Film Festival was born.



David Kiehr  
Lou Perryman in Eagle Pennell's film, "The Whole Shootin' Match," an influential independent film from 1979.

Among the films in that first Utah/U.S. Film Festival was Eagle Pennell's 16-millimeter, black-and-white feature, "The Whole Shootin' Match," a laconic comedy about a

Figure 5: New York Times web version on February 20,2009

"If I could pick one area where this Blu-ray truly shines, it would be the audio. The default Japanese language track is presented in Dolby TrueHD 5.1 surround sound. There are also Japanese tracks in Linear PCM 2.0 and Dolby Digital 5.1, but I only spent a brief time with these inferior tracks. Getting back to the TrueHD track, this is easily the most noticeable improvement I've heard in the transition to lossless sound. It was as if a blanket was lifted from each of my speakers, and clarity took an instant jump. Spatial separation is dynamic, dialogue is appropriately balanced, and there was an unbelievable level of clarity throughout the film. This is one of those tracks that uses every speaker to envelope you in the on-screen action. A helicopter pan across the soundstage is appropriately loud, but never noisy, and the rumble of the film's many explosions resonates with an oomph you'll feel in your chest."

(Dustin Sorn, <http://www.blu-ray.com/movies/movies.php?id=1872&show-review>)

"In addition to the super fine images, also noteworthy is the music by Geinoh Yamashirogumi. By introducing the theories of brain scientist Dr. Tsutomu Oohashi, aka composer Shoji Yamashiro, which state that high frequency sound activates a certain brain area and brings about pleasure and ecstasy, nearly original sounds of music, including inaudible high frequency components, are recorded on the disc. By taking advantage of the huge capacity of Blu-ray disc, Yamashirogumi's music records sounds including high frequency components from 20 kHz up to 96 kHz, which used to be cut off in movies, CDs or even DVDs. This allows us to be "exposed" to high frequency sounds."

(from Asahi Shimbun, February 13, 2009)

"It was as if the extremely fine particles of sound were thrown out of a bucket: strong sound that I have never experienced. Although the sound had great volume, it was not noisy at all because of its high fidelity. Even if the volume was high, each sound was firmly described, resulting in a comfortable feeling. This good separation of sound may be one of the components that cause the impression of a wide sound field."

(from AV Watch, <http://av.watch.impress.co.jp/docs/20081020/akira.htm>)

"Of course the improved image quality resulting from the huge capacity of the next-generation media was beautiful enough, but the full recording of sound including inaudible frequency components, much higher than 20 kHz (even reaching nearly 100 kHz) that vigorously "stroke the brain" has important meaning for this special work, making us "experience" it rather than "watch" it. The challenge of this unprecedented quality of sound even caused the delay of the release schedule, but the results successfully bring out the fascinating attraction of this work, which you can immediately feel from the opening motorcycle scene."

(from Sound & Recording Magazine, March 2009)

"I never expected that increasing the sampling rates would change the value of a work, but I can honestly say that AKIRA is entirely different from what it was."

(By Mr. YOKOTA Kazuki of Sony PCL Inc, in Sound & Recording Magazine, March 2009)

"This is the revolutionary sound work to indicate the future of the sound track of movies."

(By Mr.ASAKURA Reiji, AV Critic)

## 5. New requirement to the audio system in home theater

To experience the marvelous the hypersonic effect by BD *AKIRA*, there is one simple thing users must do: we have to play the disc with an audio system (comprising of a disc player, amplifiers and speakers) to be able to reproduce the ultra-high-frequency components, some of which reach almost 100 kHz, that are recorded in the disc.

Speakers must be used rather than earphones or headphones to play the high-frequency components that exceed the upper limit of the audible range of 20 kHz. This is due to the fact that the surface of human body has high frequency sensors that bring about the hypersonic effect.

Whether or not you are able to enjoy the hypersonic effect of BD *AKIRA* to its full extent depends on whether your audio system can convert the recorded hypersonic signals that reach almost 100 kHz properly into air vibration. It should be a new requirement to the audio system in the home theater.

What is required in an audio system to playback BD *AKIRA* and reproduce hypersonic sound ?

### 5.1. BD players (including BD recorder)

BD player must have an analogue signal outputting at least 5.1 ch of Dolby True HD 192 kHz 24 bits or must be able to output an HDMI signal to send the same analogue signals through an AV center/AV amplifier. Most early BD recorders (up to 2007 or so) do not meet these standards in that they cannot reproduce the hypersonic and 5.1 ch surround playback signals of BD *AKIRA* as they have

limitations in the way of frequency range or the number of channels (for example, providing only two output channels of 192 kHz 24 bits).

## 5.2. Pre-amplifier and power amplifier

It is needless to say that the amplifiers must reproduce high-frequency components with exceptional quality. Most brand-name amplifiers that are available commercially supposedly have no problem, however there are exceptional amplifiers, regardless of whether they are digital or analogue, that have a sharp decline in response characteristics at high-frequencies. Special attention must be paid to digital amplifiers that are designed to cut off high-frequencies that exceed the audible range. Some amplifiers which degrade the dynamic response as the input frequency become higher may often fail in driving super tweeters sufficiently. However, there are outstanding amplifiers among the first-class ones available in the world.

## 5.3. AV center/AV amplifier

AV center or AV amplifiers receiving HDMI signals from the HDMI output of BD players are required to equip a decoder which perfectly meets the standards of Dolby True HD 192 kHz 24 bits / 5.1ch.

## 5.4. Speaker system

Currently, speaker models that are capable of reproducing hypersonic sound of BD *AKIRA* are extremely rare in comparison to players and amplifiers. Moreover, it is much the same for the data to estimate their real performance of speakers. It is rather general that world famous "super tweeters," designed especially for playback of high-frequencies, have limitations in performance for reproducing high-frequency components up to 96 kHz contained in BD *AKIRA*. It is extremely important to know how to construct a speaker system in order to fully experience the hypersonic effect of BD *AKIRA*.

The frequency responses of a speaker usually outlined in the specifications provided by the manufacturer are generally measured using sine sweep method. The procedure used is as follows: 1) the response to an input signal of a certain single frequency of sine wave is measured; 2) the single frequency of the signal is gradually increased or decreased and responses to them are measured respectively; 3) the resulting frequency response curve is illustrated according to the series of the measured responses. Yet, it is extremely difficult to find such a situation where a single sine wave appears in the actual playback of music. Especially, audio signals recorded in BD *AKIRA* indicate the dynamic appearance and disappearance of almost every frequency component which should be called as a band tone with continuous frequency components. Such a sound presents a very heavy load on amplifiers and speakers. Thereby, there is no guarantee that a speaker system can realize the performance expected from its catalogue data.

Therefore, we set ourselves to collect popular super tweeters from around the world, and to test their performance among the conditions of playback of ultra-broadband and highly complex sound data of BD *AKIRA*. That is, we created white noise (random noise with whole

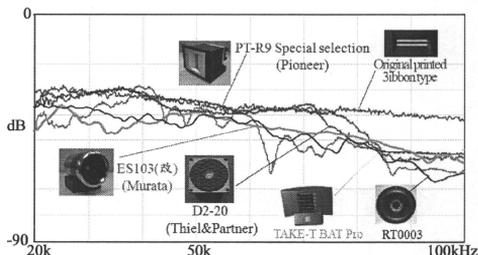


Figure 6: Frequency response characteristics of various super tweeters (FFT spectrum)

frequency components) and input it to each super tweeter and measure air vibrations from the super tweeter.

These characteristics suggest that by just adding two of the super tweeters, one to the left and the other to the right of the front speaker, we will be able to enjoy the sound experience of BD *AKIRA* in a way never experienced before.

## 6. Conclusions

BD *AKIRA* is now unlocking the boundless energy of director OTOMO's epoch-making masterpiece, which succeeded in changing the history of world anime, and granted it new dimension, thanks to this cutting-edge new media technology. We believe this success was led by uniting the media art and brain science, and will innovate the audio-visual entertainment.

## References

- Blu-ray Disc "AKIRA", directed by OTOMO Katsuhiro, music by YAMSHIRO Shoji, Bandai Visual, BCXA-1001(Japanese edition), 62004 (English edition), 2009.
- Oohashi T, Nishina E, Kawai N, Fuwamoto Y and Imai H, High Frequency Sound Above the Audible Range Affects Brain Electric Activity and Sound Perception, Audio Engineering Society 91st Convention (New York) Preprint 3207, 1-25, 1991.
- Oohashi T, Nishina E, Honda M, Yonekura Y, Fuwamoto Y, Kawai N, Maekawa T, Nakamura S, Fukuyama H and Shibasaki H, Inaudible high-frequency sounds affect brain activity, A hypersonic effect, Journal of Neurophysiology, 83: 3548-3558, 2000.
- Oohashi T, *Oto to Bunmei* (Sound and Civilization), Iwanami Shoten, 2003.

持続可能な社会における子育て

——生物学的文化人類学の視点から——

A Constructive Look at Child-Rearing in a Sustainable Society

—From the Perspective of “Biological-Cultural Anthropology”

八木 玲子 河合 徳枝

早稲田大学

水稲文化研究所

### <日本語要旨>

近年、わが国で深刻な社会問題となっている子供の精神・行動障害について、教育学や発達心理学などの人文科学領域のみならず、行動生物学や分子精神医学、脳科学など、自然科学系の学問領域からの生物学的アプローチも盛んに行なわれるようになってきている。しかしながら、人類の子育てとはどうあるべきかという問題について、人類という生物の本来性に着目し、それをレファレンスとした研究は数少ない。この観点に立つと、人類が、その遺伝子に適合した本来性の高い環境において、どのようなライフスタイルを営むのかという文化人類学的知見と、それを実現する脳の構造・機能という生物学的知見とを融合させた、生物学的文化人類学研究というべきアプローチが有効と考えられる。

私たちは、地球上のさまざまな伝統社会におけるフィールドワークから得られた知見と、ヒトの遺伝子および脳の構造・機能という生物学的観点からみて妥当性が高いと考えられる子育ての原理と方法にアプローチすることを目的とした研究に着手している。そして、そこから得られる知見をレファレンスとして、子供の発達において、人類の遺伝子および脳の本来的な活性と適合性の高い社会行動の習得とはどのようにあるべきかを探るとともに、わが国の子育ての今後に活路を拓くための展望を得ることを目指している。これらを通じて、わが国で無視することのできない問題となっている子供の社会行動の病理を形成する背景となっている現代の子育ての発想法、方法論の見直しをはかることを構想している。

本稿では、「遺伝子に約束された人類本来の社会」としてのアフリカ熱帯雨林の狩猟採集民——カメルーンのバカ・ピグミーの社会と、「持続可能な社会」として近年注目を集めつつあるアジアの水田農耕社会——インドネシア・バリ島の伝統的共同体とを対象に、この生物学的文化人類学による予備的なアプローチを試み、その射程と有効性を探る。

### <英文要旨>

The number of children in Japan exhibiting mental and behavioral disorders has greatly increased recently. This burgeoning social problem has attracted scholarly attention both in humanistic fields such as pedagogy and developmental psychology and in natural science fields such as behavioral science, molecular psychiatry, and brain science making use of biological methodologies. There remains, however, a paucity of studies informed by recent breakthroughs in genetic and brain science that might well throw light on appropriate ways of child-rearing by taking advantage of the genetic makeup and brain structure of all humankind. In this study, we have attempted to formulate a multi-disciplinary approach, termed "biological-cultural anthropology", that incorporates the insights of biology in the field of cultural anthropology in search of an optimum life-style for our human species in its primeval environment and one that thus constitutes a perfect fit for humankind's genetic makeup and brain functionality. It is expected that the results of this study will provide useful suggestions for how to cope with the serious challenges of raising children in today's society.

We began this investigation by undertaking extensive fieldwork in how traditional societies around the world engage in their child-rearing activities. Here we report on the extent and effectiveness of "biological cultural anthropology" by introducing research results concerning the *Baka* Pygmy, an hunting-and-gathering people inhabiting the tropical rainforest of southeast Cameroon. We argue that this ethnic polity represents a primeval society of our human species whose genetic activity can be likened to that of the traditional Balinese community of Indonesia, which constitutes a notable Asian polity based on paddy agriculture in a sustainable society.

### <キーワード>

持続可能な社会、子育て、生物学的文化人類学、本来、適応、アフリカ熱帯雨林、狩猟採集、水田農耕、バカ・ピグミー、バリ島

Sustainable society, child-rearing, biological-cultural anthropology, *honrai*, adaptation, tropical rain forest in Africa, hunting-and-gathering, rice paddy agriculture, *Baka* pygmy, Island of Bali

## 1. はじめに

### 1-1. 背景

子供たちの心身に関わる病理的な様相が深刻化する現在、僅かな出来事をきっかけに暴発する子供たちの行動や、その背後にある心の荒廃の問題が、教育学や発達心理学などの人文科学領域のみならず、行動生物学や分子精神医学、脳科学など、自然科学系の学問領域の研究者の関心をも集めつつある。

この問題に生物学的観点からアプローチした先駆者のひとり、動物行動学者の K. ローレンツ(1983)は、若者の心の荒廃と暴発的な攻撃性の亢進を導く要因のひとつとして“情報の喪失”を挙げている。ローレンツは、生態学的な調和を喪った都市の密集生活空間で、自然とふれあう機会の少ない幼少期を過ごした若者においては、美と調和の感覚を養う機会が奪われた結果、感受性の萎縮、感性の平坦化、美的・倫理的感覚や畏敬の念の喪失、不快刺激に対する虚弱化などが導かれ、抑制的制御回路が機能不全に陥って、欲望や競争を自己強化する循環過程の発現を招き、ひいては種としての人類の破局をもたらす危険性があることに警鐘を鳴らしている。

日本では、脳科学者の大橋 力が、後に述べる「本来—適応—自己解体モデル」にもとづいて、環境条件が適応の限界を超えた場合に、自らを解体して物質と空間を環境に還元するための「自己解体モード」が発現し、精神・行動の変調を導くというメカニズムを示している。

私たちはこれまで、大橋の脳機能研究に参画するとともに、その一環として、バリ島の伝統的村落共同体における子供たちの社会行動の教育が、自然と社会環境との調和において、高い水準での成功を収めていることに関心を持ち、その行動制御プログラムの形成過程を視野に入れた実地調査を行ってきた。そして、バリ島における社会

行動の教育が、人類の遺伝子や脳の働きという生物学的基盤への、それとは知らずに蓄積されてきた深い洞察と、それにもとづく合理性に従って行われていること、同時に、それがバリ島の社会システム、さらにはその基盤をなす水田農耕を含む生態系の持続的な安定性の維持に寄与している可能性が高いことを見出している。

また、この間に私たちは、日本の幼児教育の現場や、軽度発達障害児のソーシャル・スキル・トレーニングの現場などを通じて、さまざまな教育論が氾濫する日本の教育現場が混迷を窮めている現状に接し、現代日本における子育てについて深刻な問題意識を抱くに至った。

## 1-2. 目的

以上により私たちは、生物学的文化人類学という新たな観点を構成し、人類の遺伝子および脳の構造・機能という生物学的基盤からみて妥当性が高いと考えられる子育ての原理と方法にアプローチすることを目的とした研究に着手している。そして、このアプローチから得られる知見をレファレンスとして、人類の遺伝子と脳に本来的に適合性の高い社会行動教育の概念を探るとともに、わが国の子育ての今後に活路を拓くための展望を得る。

さらに、これらを通じて、わが国で無視することのできない問題となっている子供の社会行動の病理——いじめ、引きこもり、自殺、暴力、殺人、家庭および学級崩壊などを形成する背景となっている現代の子育ての発想法、方法論の見直しをはかることを構想している。

ここでは、「遺伝子に約束された人類本来のスタイル」としてのアフリカ熱帯雨林の狩猟採集民の社会と、「持続可能な社会」として近年注目を集めつつあるアジアの水田農耕社会とを対象に、この生物学的文化人類学による予備的なアプローチを試み、

その射程と有効性を探る。

## 2. 方法

### 2-1. アプローチの枠組

#### 2-1-1. 本来と適応

遺伝子と脳の設計に適合した「人類本来の子育て」を考えるうえで欠くことのできない新しい生命科学の概念として、まず、「本来と適応」、そして、この概念にもとづく「本来—適応—自己解体モデル」について述べる。

大橋は、生命科学の重要な概念である「適応」に対峙するものとして「本来」という概念を提唱している。この用語自体はごく通俗的なものであるが、その概念は、現代生物学の空白を突く特異なものなので、詳しくは大橋自身による本格的な論考を参照いただきたい（大橋，2010, 2011）。その骨子をごく要約して紹介する。

「適応 (adaptation)」という言葉は、生物が、生まれつきの形態や活性と適合しない状況に出遭ったとき、元々もっている自分の形態や活性を変化させて状況に折り合いをつける応答を意味する。

一方、地球上で特定の生物種が進化的適応を遂げた生態系においては、その生物に生まれつきセットされている遺伝子の活性発現パターンは、その生態系のもつ環境条件とあたかも鍵と鍵穴のようにぴったりと合う傾向をみせる。そのため、こうした環境に生きる生命は、生まれつきの、すなわち初期設定された遺伝子活性のままで生きていけることになり、大橋によれば、「あるがままの生命とあるがままの環境との初めから完成されている美しい調和」と表現されるような世界が実現する。この状態を「本来」と呼ぶ。

さらに、遺伝子に書き込まれたすべての適応のためのプログラムを起動しても環境との不適合が解消できない場合、生命は「自己解体」のプログラムを発現させて自らの生命を終結に導く。これによって、その生命が占有していた物質と空間とは、己の子孫を含む他の生命が再利用可能なかたちで、環境に還元される。このことにより、新たな生命の自己複製が可能となり、進化的適応が加速される。

## 2-1-2. 本来—適応モデルによる人類社会の類別

### 2-1-2-1. 本来型社会

それでは、人類が初期設定された遺伝子活性のまま生きることのできる「本来の環境」とはどのような場所であろうか。

生物にとって最適の環境とは、原則的に、その種が進化的適応を遂げ、遺伝子の鑄型となった場所である。人類については、近年「アフリカ熱帯雨林単一起源説」が主流となっている。オランウータンの先祖に始まる大型類人猿は熱帯雨林で進化的適応を遂げ、アフリカ熱帯雨林で生まれた現生人類もその例外ではない(White, 2003 ほか)。

これに対して、何らかの理由で森を出た人類は、農耕牧畜という「生存行動上の適応領域」に一步踏み込むことになる。そこでは、一定の土地に住んで、農作業や家畜の飼育に携わる必要が生じ、自然と社会環境とのそれぞれにおいて、負担や苦痛、忍耐をともなう「労働」をはじめとする高度な適応行動が必要となる。

### 2-1-2-2. 適応型社会のふたつの系譜

——本来を指向する稲作漁撈文明と適応を指向する畑作牧畜文明

生命科学的な観点からみた文明とは何かについて、大橋 (2010) は、次のように